

Sommaire / Contents

PRODUCTIONS ANIMALES ET PRODUITS ANIMAUX ANIMAL PRODUCTION AND ANIMAL PRODUCTS

183-191 Impact des caractéristiques du troupeau et des pratiques d'élevage sur les performances de reproduction des vaches laitières dans le Nord-Est algérien. *Impact of herd characteristics and breeding practices on the reproductive performance of dairy cows in Northeastern Algeria.* Haou A., Miroud K., Gherissi D.E. (en français)

193-198 Variations saisonnières des performances de reproduction des brebis Ouled Djellal dans la région de Chlef, Algérie. *Seasonal variations in the reproductive performance of Ouled Djellal ewes in the Chlef region, Algeria.* Zidane A., Taherti M., Gadouche L., Metlef S., Ababou A. (en français)

RESSOURCES ALIMENTAIRES ET ALIMENTATION FEED RESOURCES AND FEEDING

199-205 Un drone pour l'évaluation de la phytomasse ligneuse et herbacée des savanes sahéliennes. *Unmanned aerial vehicle for the assessment of woody and herbaceous phytomass in Sahelian savanna.* Bossoukpe M., Ndiaye O., Diatta O., Diatta S., Audebert A., Couteron P., Leroux L., Diouf A.A., Dendoncker M., Faye E., Taugourdeau S. (in English)

207-211 Prévalence des fumonisines dans les aliments pour volaille en Algérie. *Prevalence of fumonisins in poultry feed in Algeria.* Mohammedi D., Mohammedi S., Kardjad M. (en français)

SANTÉ ANIMALE ET ÉPIDÉMIOLOGIE ANIMAL HEALTH AND EPIDEMIOLOGY

213-224 Le Laboratoire de Farcha et les programmes d'éradication de la peste bovine au Tchad de 1949 à 2007 : une synthèse. *Farcha Laboratory and rinderpest eradication programs in Chad from 1949 to 2007: a review.* Deye A.H., Duteurtre G., Ouagal M. (en français)

225-230 Fièvre aphteuse chez les bovins et les petits ruminants en Algérie. Enquête séroépidémiologique dans la région de l'ouest. *Foot-and-mouth disease in cattle and small ruminants in Algeria. Seroepidemiological survey in the western region.* Bouziri A., Sebai A., Kebir A., Khames M., Hamdi T.M., Khelef D. (en français)

231-235 Parasites digestifs des poules villageoises vendues à Ngaoundéré (Cameroun). *Digestive parasites of local hens sold in Ngaoundere (Cameroon).* Bagari Iya S., Mamoudou A., Maliki Ibrahim B., Chahdini Gbambie A., Abah S., Oumarou F., Mohaman B., Awé C., Mbassi L.S., Lontsi-Demano M. (en français)

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/>

Directrice de la publication / *Publication Director:*
Elisabeth Claverie de Saint Martin, PDG / *President & CEO*

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

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

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

Secrétaire de rédaction / *Editorial Secretary:*
Carmen Renaudeau

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 Missohou (SEN),
Harentsoaniana Rasamoelina-Andriamanivo (MDG),
Jeremiah Saliki (USA, CMR), Jeevantee Sunita Sanchum (MUS),
Hakim Senoussi (DZA), Taher Srairi (MAR),
Hussaini Tukur (NGA), Jean Zoundi (BFA, FRA)



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

Cirad, Montpellier, décembre 2021

Impact des caractéristiques du troupeau et des pratiques d'élevage sur les performances de reproduction des vaches laitières dans le Nord-Est algérien

Abir Haou ^{1*} Kamel Miroud ¹ Djallel Eddine Gherissi ²

Mots-clés

Bovin, vache laitière, fertilité, effectif du cheptel, ovulation, Algérie

© A. Haou et al., 2021



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

Submitted: 10 November 2020

Accepted: 6 September 2021

Published: 20 December 2021

DOI: 10.19182/remvt.36798

Résumé

L'étude a porté sur les effets des caractéristiques du troupeau (race, taille, parité et zone d'étude) et des pratiques d'élevage (chaleurs induites/naturelles, pratique du flushing ou non, et durée du tarissement) sur les taux de fécondité et de fertilité de 721 vaches laitières (VL) des races Montbéliarde (n = 379) et Prim'Holstein (n = 342) réparties sur 23 troupeaux, nées et mises à la reproduction en Algérie. Les paramètres de fécondité ont révélé un intervalle entre le vêlage et les premières chaleurs de $86,8 \pm 48$ jours, entre le vêlage et la première insémination artificielle (IA) de $108 \pm 80,4$ jours, entre la première IA et l'IA fécondante de $42,9 \pm 85,2$ jours, entre le vêlage et l'insémination fécondante de 152 ± 116 jours, et entre vêlages de $427 \pm 122,8$ jours. Un taux de réussite moyen en première IA de 54,8 % (VL) et 38,8 \pm 20 % (troupeau), un index de fertilité apparent de 1,83, et 19,3 % de VL inséminées trois fois et plus (dans $16,2 \pm 11$ des troupeaux) ont été enregistrés. La fécondité plus que la fertilité était loin des objectifs. La race n'a eu aucun effet significatif sur la fertilité ($p > 0,05$), mais les performances de reproduction ont varié significativement ($p < 0,05$) en fonction de la taille du troupeau, de la parité, de la région d'étude, des chaleurs induites ou naturelles, et de la pratique ou non du flushing. La fécondité était plus faible chez les animaux dont la durée du tarissement dépassait 60 jours ($p < 0,05$). Une mise à la reproduction tardive au-delà de 80 jours post-partum a été le paramètre qui a affecté le plus les performances de reproduction des VL dans la zone d'étude.

■ Comment citer cet article : Haou A., Miroud K., Gherissi D.E., 2021. Impact of herd characteristics and breeding practices on the reproductive performance of dairy cows in Northeastern Algeria. *Rev. Elev. Med. Vet. Pays Trop.*, 74 (4): 183-191, doi: 10.19182/remvt.36798

■ INTRODUCTION

L'Algérie, pour combler ses besoins considérables en lait, fait appel à l'importation massive de cette denrée de première nécessité. En effet, les niveaux de production des exploitations laitières, principalement peuplées de vaches laitières importées d'Europe, ne permettent pas de contribuer de manière sensible à la réduction des quantités colossales de lait importées. Par ailleurs, la crise actuelle due à la pandémie de Covid-19 a impacté la sécurité alimentaire, la nutrition et les

moyens de subsistance dans le monde en perturbant la production, la transformation, le transport, la vente et la consommation des produits animaux (FAO, 2020).

L'Office national interprofessionnel du lait (ONIL, 2019) a déclaré que l'Algérie a besoin de 200 000 têtes bovines, qui produiraient en moyenne 6000 litres par an pour couvrir les besoins en lait. Plusieurs études montrent que la production est de moins de 15 litres par vache par an (Souames et al., 2018) et que les performances de reproduction sont très loin des objectifs (Miroud et al., 2014). Ce déficit est lié principalement à l'insuffisance d'identification des signes caractéristiques de l'œstrus et des pratiques de conduite du cheptel reproducteur, à la nature des stabulations, et au nombre moyen de bovins par exploitation (Yahimi et al., 2013). Or, tout retard ou dysfonctionnement de la fonction de reproduction entraîne une perte de production qui augmente avec l'allongement de la durée de l'œstrus post-partum (Singh et al., 2017).

1. Epidémiologie-surveillance, santé, productions et reproduction, expérimentation et thérapie cellulaire des animaux domestiques et sauvages, Université Chadli Bendjedid, PO Box 73, 36000 El-Tarf, Algérie.

2. Université Mohammed Chérif Messaadia, Institut des sciences agronomiques et vétérinaires (ISAV), 41000 Taoura, Souk-Ahras, Algérie.

* Auctrice pour la correspondance

Email : haouabir85@gmail.com

Ce travail s'est intéressé, après établissement d'un état des lieux des performances de reproduction d'exploitations bovines laitières algériennes, aux effets des caractéristiques du troupeau (race, taille, parité et zone d'étude) et des pratiques d'élevage (chaleurs induites ou naturelles, pratique ou non du flushing et durée du tarissement) sur les performances de fécondité et de fertilité des vaches laitières (VL) de races Montbéliarde et Prim'Holstein, nées et mises à la reproduction en Algérie.

■ MATERIEL ET METHODES

Site de l'étude et animaux

L'étude a été menée dans 23 troupeaux de bovins laitiers, totalisant 721 vaches laitières âgées de deux à huit ans, dont 50,6 % primipares et 49,4 % multipares. Elles étaient importées d'Europe en tant que génisses pleines Prim'Holstein (47,3 %) et Montbéliardes (52,4 %), et élevées dans cinq wilayas du Nord-Est algérien. Les wilayas d'El-Tarf, d'Annaba, de Guelma, de Constantine et de Sétif détenaient respectivement 17, 10, 22,2, 48,6 et 3 % des VL, et 26, 4,4, 43,4, 21,7 et 4,4 % des troupeaux de la zone d'étude (figure 1). Selon la classification de Köppen-Geiger 1900, le climat de la région est de type Csa : climat tempéré chaud avec été sec méditerranéen, température moyenne annuelle de 16,5 °C et précipitations de 617 mm/an en moyenne.

Les données utilisées dans le cadre de cette étude ont porté sur quatre ans (2017–2020). Le nombre d'individus par troupeau a varié entre 8 et 300. Les troupeaux ont été classés selon le nombre total des vaches en trois groupes : petits troupeaux [1–15] (43,7 %), troupeaux moyens [16–50] (30,4 %) et grands troupeaux [51–300] (26 %). Seuls les troupeaux composés de VL Prim'Holstein ou Montbéliardes ont été considérés.

Mode d'élevage

Le mode d'élevage était de type semi-extensif. Il variait en fonction des troupeaux, des moyens de l'éleveur et de la superficie disponible. Pour ceux disposant de prairies, les vaches pâturaient pendant une période assez courte au printemps (avril) et assez longue après fauchage des blés (juillet-août). Certains éleveurs disposaient d'étables avec cornadis et d'autres entravaient leurs bêtes la plupart du temps.

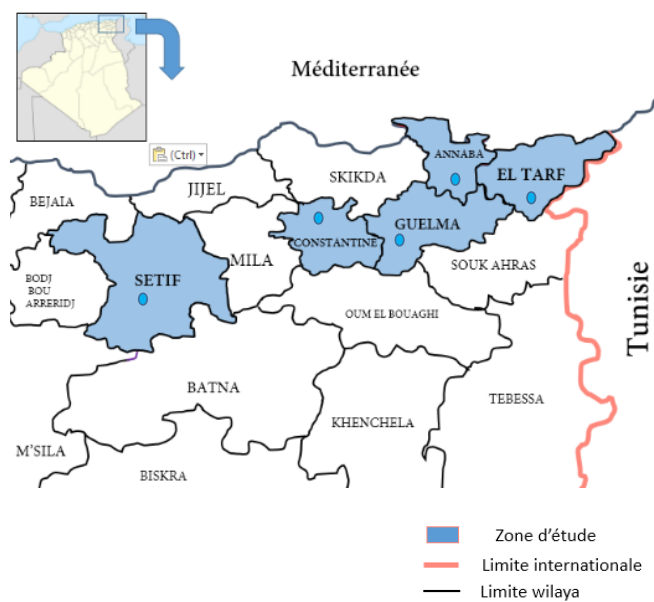


Figure 1 : Délimitation bioclimatique de la zone d'étude (Algérie) // *Bioclimatic delimitation of the study area (Algeria)*

L'alimentation des vaches variait d'une exploitation à l'autre en fonction de la disponibilité plus ou moins régulière des aliments (orge, soja, foin, ensilage, pâturage, autre) pour la majorité importée, et de leur prix. Selon l'exploitation, l'alimentation était rationnelle, élaborée par un nutritionniste, ou elle dépendait du disponible alimentaire, variable au cours de l'année en raison de nombreuses ruptures de stock. L'abreuvement était en général *ad libitum*.

La suralimentation temporaire (flushing) était pratiquée dans 17,3 % (4/23) des troupeaux pendant deux à trois semaines avant et après le vêlage. Les vaches ont été regroupées en fonction de leur durée de tarissement (≤ 60 jours et > 60 jours), et en primipares et multipares.

Mode de reproduction

Les vaches étaient mises à la reproduction par insémination artificielle (IA) sur chaleurs naturelles ou induites, synchronisées au moyen de prostaglandine PGF2alfa ou de progestatifs. La détection des chaleurs se faisait différemment d'un élevage à l'autre : dans la plupart des troupeaux, cette activité était pratiquée par n'importe quelle personne de la ferme. Une exploitation utilisait un moyen électronique de détection des chaleurs (activité mètre). Le diagnostic de gravidité était réalisé à 80 % par palpation transrectale au-delà du 60^e jour postinsémination, et à 20 % par échographie entre 40 et 60 jours postinsémination.

Paramètres de fécondité et de fertilité

Ces paramètres ont été calculés selon la méthodologie de Hanzen et al. (1994). A l'échelle individuelle, les paramètres de fécondité et de fertilité suivants ont été estimés pour l'ensemble des vaches laitières :

- l'intervalle moyen entre le vêlage et les premières chaleurs (IV–C1) observées et consignées par l'éleveur qui s'obtient en divisant la somme des jours entre le vêlage et la détection de la première chaleur par le nombre de VL ayant manifesté des chaleurs. Cet intervalle n'a été calculé que sur 37,9 % des vaches ;
- l'intervalle moyen entre le vêlage et la première insémination (IV–IA1), encore appelé « période d'attente », qui s'obtient par la division de la somme des jours entre le vêlage et la IA1 par le nombre de VL inséminées ;
- l'intervalle moyen entre la première insémination et l'insémination fécondante (IA1–IAf), encore dénommé « période de reproduction », qui s'obtient par la division de la somme des jours entre la première insémination et l'insémination fécondante par le nombre de VL diagnostiquées gravides ;
- l'intervalle moyen entre le vêlage et l'insémination fécondante (IV–IAf) qui s'obtient par la division de la somme des jours entre le vêlage et l'insémination fécondante par le nombre de VL diagnostiquées gravides ;
- l'intervalle entre vêlages (IV–V) qui s'obtient par la division de la somme des jours entre les vêlages par le nombre de VL ayant vêlé au moins deux fois.

Les paramètres suivants de fertilité des deux races laitières réunies ont été déterminés :

- le taux de réussite en première IA (TRIA1) qui représente uniquement le nombre de VL diagnostiquées gravides en première IA ;
- l'indice de fertilité apparent (IFA) qui est égal au rapport entre le nombre total d'IA des VL diagnostiquées gravides et le nombre de VL gravides ; il ne tient pas compte des vaches restées vides ;
- le pourcentage de VL ayant été soumises à trois IA et plus (3IA+) pour être fécondées qui s'obtient par le rapport entre le nombre de VL ayant nécessité 3IA+ pour être fécondées et le nombre total de VL gravides ; il ne tient pas compte des vaches restées vides.

A l'échelle du troupeau l'IV–IAf et le pourcentage des troupeaux, dont l'IV–IAf moyen dépassait 100 jours post-partum, l'IV–V moyen

de chaque troupeau et le TRIA1, le pourcentage de réussite à 3IA+ et le taux de gravidité par race par troupeau ont été calculés.

Collecte des données et analyse statistique

La collecte des données a été réalisée à partir des registres d'élevage, des fiches individuelles des VL, des plannings d'étable, des fiches d'identification des veaux, des bulletins d'IA et des bilans mensuels des inséminateurs du Centre national de l'insémination artificielle et de l'amélioration génétique. Deux grandes exploitations disposaient d'un logiciel de suivi d'élevage.

L'analyse des données a été réalisée avec le logiciel SPSS. La normalité des variables expliquées (IV-C1, IV-IA1, IV-IAf, IA1-IAf, IV-V) a été analysée pour chaque variable explicative (race, taille du troupeau, parité, zone d'étude, chaleurs naturelles ou induites, pratique ou non du flushing, et durée du tarissement) en utilisant le test de Shapiro-Wilk.

La régression non paramétrique par l'analyse de variance à un facteur (test de Kruskal-Wallis) a été appliquée pour chercher la relation des variables dépendantes et de chaque variable explicative. Les différences entre modalités de chaque variable indépendante ont été étudiées selon le *post hoc* test U de Mann-Whitney. Le modèle suivant de la régression simple à un facteur a été retenu : $Y_{i,j} = \mu + \alpha_i + \epsilon_{i,j}$, où i est le nombre de modalités de la variable explicative X , j le nombre de mesures pour chaque modalité $Y_{i,j}$ la valeur prise par la réponse Y dans la condition α_i lors de la j^e répétition, et ϵ le terme résiduel.

Le tableau de contingences et le test du chi carré ont été appliqués pour déterminer l'association entre les paramètres de fertilité (taux de réussite en IA1, pourcentage d'animaux ayant nécessité 3IA+ pour être fécondés) et les facteurs de risque (significativité fixée à $p < 0,05$).

■ RESULTATS

Paramètres de fécondité et de fertilité

Les paramètres de fécondité et de fertilité ont concerné 721 VL réparties dans 23 troupeaux dont 52,1 % (12/23) étaient constitués de Montbéliardes uniquement, 17,3 % (4/23) de Prim'Holstein uniquement, et 30,4 % des deux races. Le tableau I montre que tous

les paramètres de fécondité calculés s'éloignaient sensiblement des valeurs de l'objectif habituellement compatibles avec la rentabilité économique des troupeaux (Hanzen et al., 1994 ; Vallet et al., 1998). Les paramètres de fertilité obtenus étaient proches des valeurs *objectif* (TRIA1 = 54,5 % ; IFA = 1,8 ; pourcentage de VL à 3IA+ = 19,3 %), sans doute parce que le mode de calcul ne prenait pas en considération les vaches restées vides après IA.

A l'échelle du troupeau, 58,3 % (13/23) et 39,7 % (9/23) des élevages ont présenté un IV-IAf et un IV-V moyen dépassant respectivement 100 jours et 400 jours (figures 2 et 3) ; la différence était très significative ($p < 0,001$) entre les IV-IAf moyens et il en était de même entre les IV-V moyens.

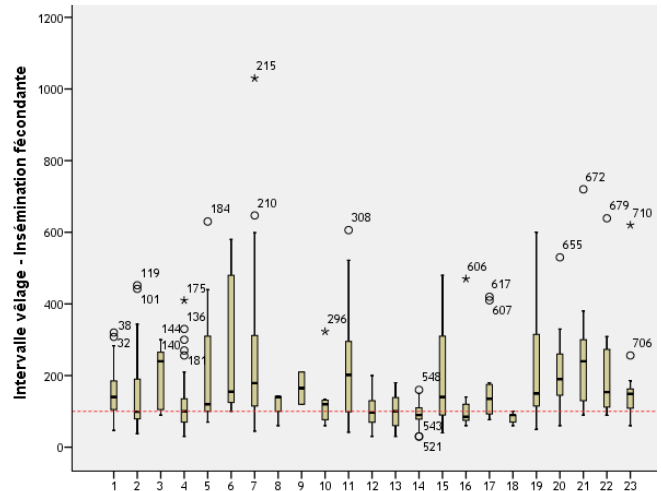


Figure 2 : Intervalle vêlage - insémination artificielle fécondante (en jours) par troupeau. La ligne pointillée indique le seuil « objectif » (ou de référence). Barres au-dessus des diagrammes en boîte : écarts-types ; étoiles et cercles : valeurs extrêmes dans les troupeaux ; lignes noires : moyennes par troupeau // *Calving interval - fertilizing artificial insemination (in days) by herd. The dotted line indicates the "target" (or reference) threshold. Bars above box plots: standard deviations; stars and circles: extreme values within herds; black lines: means per herd*

Tableau I : Paramètres de fécondité des vaches laitières (n) Montbéliardes et Prim'Holstein en Algérie // *Fecundity parameters of Montbéliarde and Prim'Holstein dairy cows in Algeria*

Intervalle (jours)	Moy ± ET	n	Médiane	Classe (jours)	% par classe	n	Objectif (jours)
IV-C1	86,8 ± 48,1	274	72,5	≤ 50	8,8	24	≤ 50
				51-60	25,5	70	51-60
				> 60	65,0	180	
IV-IA1	108 ± 80,4	649	90	≤ 60	13,7	89	60
				61-80	32,4	210	60-80
				> 80	53,8	349	
IA1-IAf	42,9 ± 85,2	569	120	< 0	54,1	307	23-30
				20-30	13,4	76	
				> 30	32,5	184	
IV-IAf	152 ± 116	567	37	≤ 80	20,1	114	85
				80-100	21,5	122	85-100
				> 100	58,4	331	
IV-V	427 ± 122	570	390	≤ 365	33,2	189	365-380
				366-400	27,0	154	
				> 400	39,8	227	

Moy ± ET : moyenne ± écart-type ; IV-C1 : intervalle moyen entre le vêlage et les 1^{res} chaleurs ; IV-IA1 : entre le vêlage et la 1^{re} insémination ; IA1-IAf : entre la 1^{re} insémination et l'insémination fécondante ; IV-IAf : entre le vêlage et l'insémination fécondante ; IV-V : entre vêlages // *Moy ± ET: mean ± standard deviation; IV-C1: mean interval between calving and 1st heat; IV-IA1: between calving and 1st insemination; IA1-IAf: between 1st insemination and fertilizing insemination; IV-IAf: between calving and fertilizing insemination; IV-V: between calving*

Des valeurs moyennes de $38,8 \pm 20\%$ pour le TRIA1, et de $16,2 \pm 11\%$ chez les VL à 3IA+ ont été calculées pour l'ensemble des troupeaux, avec une différence très significative entre les troupeaux (0,001). Elles ont été en moyenne respectivement de $34,5 \pm 23,2$ et $16,3 \pm 14,7$ chez la Montbéliarde, et de $39,5 \pm 27,1$ et $16,5 \pm 12,8$ chez la Prim'Holstein (figures 4 et 5).

L'IFA a varié aussi en fonction des troupeaux ($1,7 \pm 1,3$) et des races ($1 \pm 0,5$ à $2,5 \pm 1,3$ chez la Montbéliarde et $1 \pm 0,57$ à $3,16 \pm 2,43$ chez la Prim'Holstein) (figure 6). Le taux de gravidité en IA1 (TGIA) des troupeaux a été en moyenne de $42,1 \pm 16,2\%$ (figure 7).

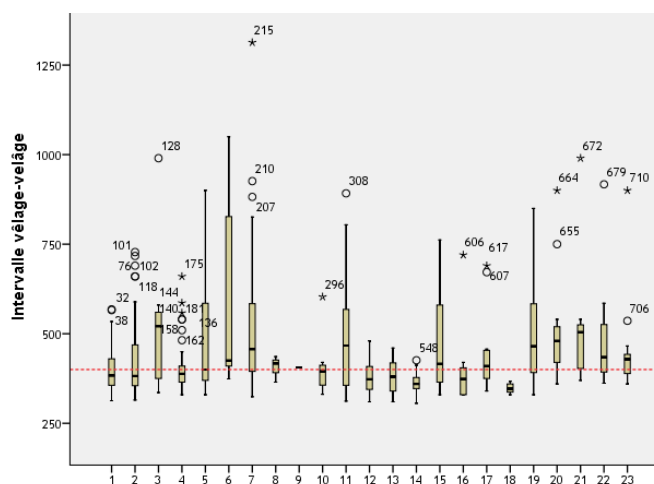


Figure 3 : Intervalle vêlage - vêlage (en jours) par troupeau. La ligne pointillée indique le seuil « objectif » (ou de référence). Barres au-dessus des diagrammes en boîte : écarts-types ; étoiles et cercles : valeurs extrêmes dans les troupeaux ; lignes noires : moyennes par troupeau // *Calving to calving interval (in days) by herd. The dotted line indicates the "target" (or reference) threshold. Bars above box plots: standard deviations; stars and circles: extreme values within herds; black lines: means per herd*

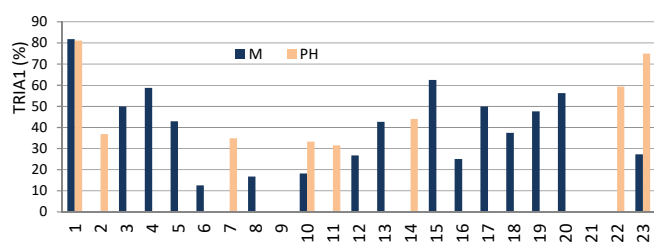


Figure 4 : Taux de réussite moyen (TRIA1) des vaches laitières Montbéliardes (M) et Prim'Holstein (PH) par troupeau // *Mean success rate (TRIA1) of Montbéliarde (M) and Prim'Holstein (PH) dairy cows per herd*

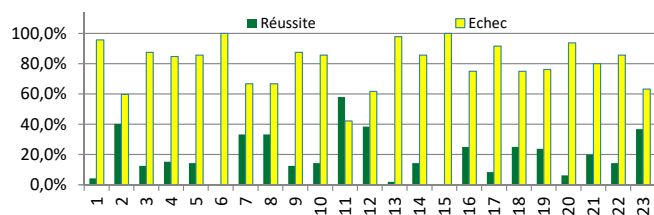


Figure 5 : Pourcentage moyen de vaches laitières Montbéliardes et Prim'Holstein à trois inséminations artificielles et plus pour être fécondées par troupeau // *Mean percentage of Montbéliarde and Prim'Holstein dairy cows per herd with three or more artificial inseminations to be impregnated*

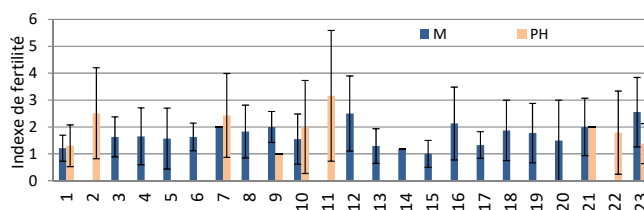


Figure 6 : Index de fertilité des vaches laitières Montbéliardes (M) et Prim'Holstein (PH) par troupeau // *Fertility index of Montbéliarde (M) and Prim'Holstein (PH) dairy cows by herd*

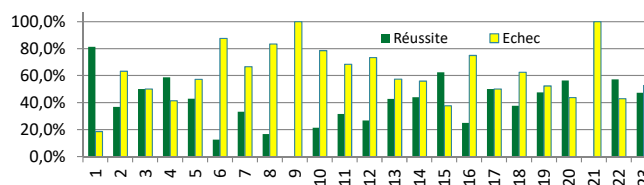


Figure 7 : Taux de gravidité moyen des vaches laitières après la première insémination artificielle par troupeau // *Mean pregnancy rate of dairy cows after the first artificial insemination by herd*

Effets des caractéristiques du troupeau sur les performances de fécondité et de fertilité

Seuls l'IA1-IAf ($p < 0,05$) et le pourcentage des VL à 3IA+ ($p < 0,001$) ont différé significativement entre les deux races (tableau II). Les autres intervalles ne se sont pas révélés être des facteurs de variation de ces deux paramètres. La taille du troupeau a affecté significativement tous les paramètres de fécondité et de fertilité ($p < 0,05$). Ce sont les grands troupeaux qui ont eu l'IV-IA1 le moins long ($100 \pm 66,7$ jours) et les troupeaux moyens qui ont eu l'IV-IAf le plus long ($196,3 \pm 139,6$ jours). Les VL primipares ont eu un IV-IA1 et un IV-IAf significativement plus longs ($p < 0,05$) que les multipares ainsi qu'un TRIA1 plus faible ($39,2\%$ vs $53,5\%$). La zone d'étude a influé sur tous les paramètres de fécondité ($p < 0,001$) et de fertilité ($p < 0,05$) des VL. La wilaya de Constantine a présenté l'IV-IAf le moins long ($117 \pm 78,4$ jours), celle d'Annaba le meilleur TRIA1 ($81,4\%$), et celles de Guelma et Sétif les pourcentages de VL à 3IA+ les plus élevés (respectivement $44,8\%$ et 60%) (tableau II).

Effets des pratiques d'élevage sur les performances de fécondité et de fertilité

Le tableau III présente les paramètres de fécondité et fertilité moyens selon la nature de l'œstrus (chaleurs induites ou naturelles), la pratique ou non du flushing et la durée de tarissement. Les IV-C1 et IA1-IAf moyens faisant suite à des chaleurs naturelles ont été significativement moins longs ($p < 0,05$) que ceux estimés sur chaleurs induites ou synchronisées (respectivement $77,3 \pm 39,7$ jours vs $101 \pm 56,6$ jours, et $37,7 \pm 73,8$ jours vs $56,2 \pm 15,6$ jours). Par ailleurs, tous les paramètres de fertilité ont été significativement meilleurs ($p < 0,05$) lorsque l'IA faisait suite aux chaleurs naturelles.

L'IV-IA1, l'IA1-IAf et l'IV-V ont été significativement moins longs lorsque le flushing était pratiqué ($p < 0,05$) que lorsqu'il ne l'était pas. Tous les paramètres de fertilité ont été significativement ($p < 0,05$) meilleurs quand le flushing était pratiqué. L'IV-C1 moyen était significativement ($p < 0,05$) moins long lorsque la durée de tarissement dépassait 60 jours ($60,7 \pm 16$ vs $85,4 \pm 44,8$ jours), et l'IV-V moyen était significativement ($p < 0,05$) moins long lorsque la durée du tarissement était de moins de 60 jours ($380 \pm 67,2$ vs $401 \pm 85,5$ jours). La durée de tarissement n'a pas influencé ces paramètres.

Tableau II : Paramètres de fécondité et de fertilité des vaches laitières Montbéliardes (M) et Prim'Holstein (PH) en Algérie en fonction de la race, taille du troupeau, parité et zone d'étude // *Fecundity and fertility parameters of Montbeliarde (M) and Prim'Holstein (PH) dairy cows in Algeria according to breed, herd size, parity, and study area*

	Paramètre de fécondité					Paramètre de fertilité		
	IV-C1	IV-IA1	IA1-IAf	IV-IAf	IV-V	IFA	TRIA1 (%)	% VL à 3IA+
	Moy ± ET	Moy ± ET	Moy ± ET	Moy ± ET	Moy ± ET	Moy ± ET		
Race								
PH	86,2 ± 47,6	96,1 ± 50,5	59,9 ± 110 ^a	157 ± 122	429 ± 125	1,80 ± 1,51	46,8	24,6
n	189	270	259	258	264	317	284	
M	87,4 ± 49,1	117 ± 95,3	28,8 ± 51,9 ^C	148 ± 112	425 ± 121	1,68 ± 1,51	42,5	15,4
n	84	377	308	307	304	379	376	
p	0,914	0,065	0,014	0,468	0,982	0,723	0,273	0,003
Taille du troupeau								
1-15	118 ± 66 ^c	119 ± 65,1 ^{a,c}	22,2 ± 47,1 ^a	131 ± 70,4 ^{a,d}	407 ± 69,1 ^a	1,75 ± 0,92	14,2	17,8
n	28	28	13	13	12	28	28	
16-50	83,8 ± 45,1 ^a	129 ± 108 ^a	69,8 ± 104,5 ^d	196,3 ± 139,6 ^d	479,2 ± 15 ^d	2,16 ± 1,6	39,3	29,2
n	95	168	166	166	167	180	178	
51-300	82,7 ± 44,5 ^a	100 ± 66,7 ^c	32 ± 74,1 ^a	134 ± 102 ^a	405 ± 102 ^a	1,57 ± 1,3	48,3	15,5
n	147	448	385	383	386	486	415	
p	0,003	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000
Parité								
Primipare	92 ± 53	116 ± 77 ^a	51,7 ± 104	169 ± 126 ^a	444 ± 139 ^a	1,65 ± 1,25	39,2	18,4
n	99	236	236	234	236	415	380	
Multipare	83,5 ± 44,8	91,1 ± 56,4 ^d	36,1 ± 69,4	125 ± 89,9 ^d	400 ± 89,2 ^d	1,88 ± 1,33	53,5	
n	174	372	295	294	296	241	241	21,1
p	0,234	0,000	0,549	0,000	0,000	0,041	0,000	0,401
Zone d'étude								
El-Tarf	119 ± 66,4 ^a	121 ± 64,4 ^d	98,1 ± 156 ^a	221 ± 170,9 ^d	500 ± 168,5 ^d	2,05 ± 1,45 ^d	34,3	22,9
n	66	51	68	67	70	98	96	
Annaba	52 ^d	144 ± 64,6 ^d	05,9 ± 15,5 ^d	149 ± 60,6 ^d	397 ± 60,9 ^{a,c}	1,26 ± 0,65 ^a	81,4	4,2
n	1	70	70	70	70	70	70	
Guelma	97,3 ± 39,5 ^d	147 ± 127 ^d	36,9 ± 65,7 ^c	183,5 ± 139,8 ^d	466 ± 15,5 ^d	1,69 ± 1 ^b	45,5	44,8
n	10	158	152	151	149	160	158	
Constantine	71,1 ± 24,2 ^a	77,6 ± 32,1 ^a	42,4 ± 37,4 ^c	117 ± 78,4 ^a	393 ± 81,1 ^a	1,75 ± 1,41 ^b	38,3	22
n	178	320	260	260	262	351	318	
Sétif	102 ± 43,4 ^{c,d}	124 ± 51,5 ^{c,d}	43 ± 83,8 ^c	163 ± 132 ^b	445 ± 130 ^{a,c,d}	2 ± 1,06 ^{a,b,d}	46,6	60
n	20	20	20	20	20	15	7	
p	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002

IV-C1 : intervalle moyen entre le vêlage et les 1^{res} chaleurs ; IV-IA1 : entre le vêlage et la 1^{re} insémination ; IA1-IAf : entre la 1^{re} insémination et l'insémination fécondante ; IV-IAf : entre le vêlage et l'insémination fécondante ; IV-V : entre vêlages ; IFA : indice de fertilité apparent ; TRIA1 : taux de réussite en 1^{re} IA ; % VL à 3IA+ : % de vaches laitières ayant nécessité 3 inséminations artificielles et plus pour être fécondées ; Moy ± ET : moyenne ± écart-type ; ^{a,b,c,d} Les moyennes suivies de la même lettre ne diffèrent pas significativement ($p < 0,05$) // IV-C1: mean interval between calving and 1st heat; IV-IA1: between calving and 1st insemination; IA1-IAf: between 1st insemination and fertilizing insemination; IV-IAf: between calving and fertilizing insemination; IV-V: between calvings; IFA: apparent fertility index; TRIA1: 1st IA success rate; % VL à 3IA+: % of dairy cows requiring 3 or more artificial inseminations to be impregnated; Moy ± ET: mean ± standard deviation; ^{a,b,c,d} Means followed by the same letter are not significantly different ($p < 0,05$)

Plus de la moitié des élevages ont présenté un IV-IAf moyen dépassant 100 jours et cet intervalle a été significativement différent ($p < 0,001$) d'un troupeau à l'autre. A l'échelle des troupeaux, une faible corrélation a été enregistrée entre les IV-IA1 et IV-IAf avec une différence très significative ($p < 0,001$) (tableau IV) ; cependant l'IV-V a été fortement corrélé avec l'IV-IAf et moyennement corrélé avec l'IV-IA1 avec une différence très significative ($p < 0,001$).

■ DISCUSSION

Les résultats montrent que tous les paramètres de fécondité et à un degré moindre de fertilité des élevages de VL du Nord-Est algérien sont loin des objectifs généralement recherchés (Hanzen, 1994 ; Vallet

et al., 1998). L'infécondité est attestée par un IV-IA1 trop long. Il est cependant difficile de comparer ces derniers aux objectifs algériens car ceux-ci n'ont toujours pas été définis. Le prix du lait subventionné est fixé par l'Etat et ne reflète pas le coût réel de sa production.

Nos résultats montrent que 53,8 % des VL ont été inséminées pour la première fois bien au-delà des valeurs *objectif* et que 32,4 % seulement l'ont été dans les délais recherchés (Hanzen, 1994 ; Vallet et al., 1998). Cet allongement de la période d'attente, incompatible avec la rentabilité économique des exploitations, aggravé par une période de reproduction trop longue, était à l'origine de l'allongement des intervalles entre vêlages et donc de l'infécondité des troupeaux. Par ailleurs, 13,7 % des VL étaient inséminées à moins de 60 jours post-partum, période connue pour être propice à des taux élevés d'échec

Tableau III : Paramètres de fécondité et de fertilité des vaches laitières Montbéliardes et Prim'Holstein en Algérie en fonction des chaleurs (induites/naturelles), du flushing et de la durée du tarissement // *Fecundity and fertility parameters of Montbeliarde and Prim'Holstein dairy cows in Algeria according to heats (induced/natural), flushing, and duration of the dry-off period*

	Paramètre de fécondité					Paramètre de fertilité		
	IV-C1	IV-IA1	IA1-IAf	IV-IAf	IV-V	IFA	TRIA1 (%)	% VL à 3IA+
	Moy ± ET	Moy ± ET	Moy ± ET	Moy ± ET	Moy ± ET	Moy ± ET		
Chaleurs								
Induites	101 ± 56,6	92,8 ± 48,7	56,2 ± 15,6	148 ± 122	424 ± 123	2,04 ± 1,34	36	25,4
n	103	149	179	178	429	214	208	
Naturelles	77,3 ± 39,7	100 ± 56,9	37,7 ± 73,8	140 ± 88,2	411 ± 97,1	1,69 ± 1,18	49,1	17,4
n	167	304	246	246	429	306	303	
p	0,000	0,468	0,020	0,785	0,256	0,001	0,003	0,029
Flushing								
Oui	52 ± 28,3	146 ± 66,5	08,5 ± 20,7	155 ± 64,9	410 ± 94,1	1,29 ± 1,66	78,2	37,8
n	78	78	78	78	78	78	78	
Non	92,6 ± 53,4	92,9 ± 53,3	94,9 ± 136	189 ± 154	472 ± 156	2,48 ± 1,62	35,9	5,1
n	97	98	98	98	100	103	103	
p	0,229	0,000	0,000	0,845	0,007	0,000	0,000	0,000
Durée du tarissement (jours)								
45-60	85,4 ± 44,8 ^a	87,7 ± 35,2	21,5 ± 42,1	108 ± 67,3	380 ± 67,2 ^a	1,66 ± 0,90	45,5	18,8
n	68	89	86	86	89	91	90	8,3
> 60	60,7 ± 16 ^b	90,5 ± 44,1	31 ± 76,9	123 ± 86,3 ^b	401 ± 85,5 ^b	1,60 ± 1,1	41,6	
n	30	68	60	67	69	72	72	
p	0,000	0,346	0,171	0,622	0,045	0,433	0,486	0,146

IV-C1 : intervalle moyen entre le vêlage et les 1^{res} chaleurs ; IV-IA1 : entre le vêlage et la 1^{re} insémination ; IA1-IAf : entre la 1^{re} insémination et l'insémination fécondante ; IV-IAf : entre le vêlage et l'insémination fécondante ; IV-V : entre vêlages ; IFA : indice de fertilité apparent ; TRIA1 : taux de réussite en 1^{re} IA ; % VL à 3IA+ : % de vaches laitières ayant nécessité 3 inséminations artificielles et plus pour être fécondées ; Moy ± ET : moyenne ± écart-type ; ^{a,b} Les moyennes suivies de la même lettre ne diffèrent pas significativement (p < 0,05) // *IV-C1: mean interval between calving and 1st heat; IV-IA1: between calving and 1st insemination; IA1-IAf: between 1st insemination and fertilizing insemination; IV-IAf: between calving and fertilizing insemination; IV-V: between calvings; IFA: apparent fertility index; TRIA1: 1st IA success rate; % VL à 3IA+ : % of dairy cows requiring 3 or more artificial inseminations to be impregnated; Moy ± ET: mean ± standard deviation; ^{a,b} Means followed by the same letter are not significantly different (p < 0.05)*

Tableau IV : Matrice de corrélation de Pearson entre les paramètres de fécondité de troupeaux de vaches laitières Montbéliardes et Prim'Holstein en Algérie // *Pearson's correlation matrix between the herd fecundity parameters of Montbeliarde and Prim'Holstein dairy cows in Algeria*

Paramètres de fécondité	IV-C1	IV-IA1	IV-IAf	IA1-IAf	IV-V
IV-C1	1	0,929***	0,462***	0,167**	0,445***
IV-IA1	0,929***	1	0,681***	-0,019	0,626***
IV-IAf	0,462***	0,681***	1	0,719***	0,954***
IA1-IAf	0,167**	-0,019	0,719***	1	0,706***
IV-V	0,445***	0,626***	0,954***	0,706***	1

** p < 0,01 ; *** p < 0,001 ; IV-C1 : intervalle moyen entre le vêlage et les 1^{res} chaleurs ; IV-IA1 : entre le vêlage et la 1^{re} insémination ; IV-IAf : entre le vêlage et l'insémination fécondante ; IA1-IAf : entre la 1^{re} insémination et l'insémination fécondante ; IV-V : entre vêlages // ** p < 0,01 ; *** p < 0,001 ; *IV-C1: mean interval between calving and 1st heat; IV-IA1: between calving and 1st insemination; IV-IAf: between calving and fertilizing insemination; IA1-IAf: between 1st insemination and fertilizing insemination; IV-V: between calvings*

de conception (Cauty et Perreau, 2003), quoiqu'une mise à la reproduction avant 50 jours post-partum soit recherchée en raison d'une meilleure maîtrise de ce délai (Le Mezec et al., 2005).

Ces résultats se rapprochent moins des valeurs *objectif* que ceux de Balandraud et al. (2018) qui rapportent en France des IV-IA1 et IV-IAf moyens moins longs respectivement de 17 et 22 jours, mais un index de fertilité légèrement plus élevé que le nôtre (1,91 vs 1,83) dans

des cheptels laitiers mixtes (Montbéliard et Prim'Holstein). D'autres auteurs rapportent en cheptel mixte (Prim'Holstein et Montbéliard), des IV-IA1 et IV-IAf plus longs de 24 jours que les nôtres en zone semi-aride des plaines du Haut Cheliff algérien (Bouamra et al., 2016). Dans notre étude 39,8 % des IV-V dépassaient le seuil de 400 jours. Mouffock et al. (2019) rapportent que dans 11 % des cas ce paramètre dépasse 500 jours dans des cheptels mixtes Montbéliard, Prim'Holstein et Brun des Alpes.

Les taux de réussite en IA1, l'IFA des deux races de VL et le pourcentage de VL nécessitant 3IA+, quoique proches de la valeur *objectif*, n'améliorent pas l'infécondité des troupeaux, car l'IA se fait bien au-delà des périodes recommandées. Nos résultats étaient inférieurs à l'IV-IA1 moyen de 97 jours sur la campagne 2016-2017 en France (www.reproscope.fr). Bidan et al. (2020) rapportent qu'en dépit d'un léger rebond sur cette campagne, l'IV-V tendait à diminuer depuis six ans pour atteindre 422 jours sur la campagne 2018-2019 (www.reproscope.fr) et la fertilité a progressé de deux points pour atteindre un TRIA1 de 51 % en moyenne, un taux bien meilleur que le nôtre. Ceci conforte l'idée que c'est davantage le délai de mise à la reproduction que la fertilité qui est à l'origine des faibles performances de la reproduction des VL élevées en Algérie. Le TRIA1 moyen a varié d'une race à l'autre à l'intérieur du troupeau et entre troupeaux, montrant un effet du troupeau et ainsi un effet de la conduite d'élevage des troupeaux.

Race

La race n'a affecté que l'IA1-IAf avec un effet significativement meilleur chez la Montbéliarde que chez la Prim'Holstein (p = 0,014)

même si l'IV-IA1 de la Montbéliarde a été plus long. Une détection des chaleurs pouvait en être partiellement la cause car une meilleure expression des chaleurs chez la Montbéliarde que chez la Prim'Holstein a été rapportée (Balandraud et al., 2018). Chez la Prim'Holstein un IV-IA1 moyen proche du nôtre a été rapporté par Ben Salem et al. (2007) et plus long que le nôtre de 55 jours par Bouamra et al. (2016). Aussi, des IV-IAf moins longs que le nôtre de 18 jours (Montbéliarde) et de 65 jours (Prim'Holstein) ont été rapportés en Algérie par Allouche et al. (2018). Chez la Prim'Holstein l'IV-IAf a été plus long que le nôtre de 54 jours en Tunisie (Ben Salem et al., 2007) et de 8 jours au Maroc (Boudjenane et Aissa, 2008). Le pourcentage de VL à 3IA+ chez les vaches gravides a été significativement plus élevé chez la Prim'Holstein que chez la Montbéliarde mais ceci n'a pas influé sur leurs fécondités respectives (IV-V moyens similaires).

Bouamra et al. (2016) et Ben Salem et al. (2007) ont rapporté respectivement des TRIA1 de 72,2 % et 40 % et un pourcentage de vaches à 3IA+ de 7,41 % et 31,5 % chez la Prim'Holstein. Des TRIA1 de 66,6 % et 77,9 %, et des taux de VL à 3IA+ de 9,5 % et 2,9 % chez la Montbéliarde, bien meilleurs que les nôtres, ont été rapportés respectivement par Bouamra et al. (2016) et Allouche et al. (2018). Le Mezec et al. (2010) rapportent que « les générations de vaches Montbéliardes et Prim'Holstein les plus récentes présentent de meilleures aptitudes à la fertilité que leurs aînées, annonçant ainsi une possible amélioration des performances » qui est passée d'un TRIA1 de 38 % en 2012 à 40 % en 2015 et à 46 % en 2016 (www.reproscope.fr), résultats proches des nôtres chez la Prim'Holstein.

Taille du troupeau

La taille du troupeau a été un facteur de risque pour l'ensemble des paramètres de fécondité et de fertilité. L'IV-IAf a été plus long dans les troupeaux de taille moyenne en raison d'un plus grand IV-IA1 pouvant résulter d'une insuffisance de détection des chaleurs ou d'une reprise tardive de la cyclicité. Les troupeaux de petite taille ont eu une meilleure période de reproduction et un très faible TRIA1 (14,2 %), et les troupeaux de grande taille ont eu une période d'attente plus courte et un meilleur TRIA1, sans doute car les chaleurs y étaient mieux détectées, comme rapporté par Pham Duy Khanh et al. (2016). Nos résultats sont différents de ceux de Miroud et al. (2014) qui rapportent que les grands troupeaux présentent une période de reproduction plus courte, liée à une meilleure fertilité. La rareté ou l'absence de pâturage dans la plupart de nos exploitations serait à l'origine des chaleurs silencieuses (Palmer et al., 2010). Disenhaus et al. (2005) rapportent que l'expression des chaleurs peut être limitée en bâtiment ce qui complique davantage la perception des cycles ovariens par l'éleveur.

Parité

La parité a eu un effet sur la fécondité plus dégradé chez les primipares que chez les multipares. Stevenson (2007) rapporte que la durée de l'œstrus est plus longue de trois semaines environ chez les primipares et elle est de 10 à 30 % plus élevée si l'âge au premier vêlage est précoce ; Folnožić et al. (2016) rapportent que les primipares sont inséminées plus tard que les multipares. Vercouteren et al. (2015) montrent que la primiparité est positivement corrélée aux problèmes de vêlage plus fréquents chez les primipares, ce qui peut expliquer l'allongement marqué de l'intervalle entre vêlages des primipares par rapport aux multipares dans notre étude.

La parité s'est révélée être un facteur favorisant la réussite de l'IA. Un TRIA1 beaucoup plus faible chez les primipares a été enregistré dans notre étude. En France Corbrion-Mouret (2018) rapporte que « le taux de réussite à l'insémination artificielle est de 46 % lorsque la parité est inférieure ou égale à deux et diminue de six points au-delà ; cependant cette différence n'est pas significative ($p > 0,2$) ».

Zone d'étude

La zone d'étude a eu un impact important sur tous les paramètres de fécondité et de fertilité. L'IV-V moyen allait de $393 \pm 81,1$ à $500 \pm 168,5$ jours. Le TRIA1 était loin de la valeur *objectif* dans quatre wilayas sur cinq, de même le pourcentage d'animaux à 3IA+ était dans deux wilayas sur cinq. Il serait donc difficile d'incriminer le bioclimat comme facteur de risque d'autant que deux wilayas ne comportaient qu'un seul troupeau (Sétif et Annaba), et que l'étude n'a porté que sur 23 élevages et dans une seule zone agricole.

Type de chaleurs

Le type de chaleurs s'est révélé être un facteur déterminant des périodes d'attente et de reproduction ainsi que du TRIA1, de l'IFA et du pourcentage de VL à 3IA+. Ces derniers étaient significativement meilleurs sur chaleurs naturelles. Ceci pourrait être dû au fait que l'IA était pratiquée en aveugle environ 84 heures après injection de PGF2alpha et 56 heures après arrêt des progestatifs, pas toujours sur chaleurs détectées. Or, le taux de réussite de l'IA est rapporté être meilleur sur chaleurs détectées qu'en aveugle à temps fixe après injection de PGF2 (Wahome et al., 1985 ; Grimard et al., 2003). Par ailleurs, on peut supposer que « si le problème est dû à une mauvaise détection des chaleurs par le personnel et/ou à une faible expression des chaleurs par les animaux, le traitement n'améliorera pas les performances de reproduction » (Fleurquin, 2013). Le type de chaleurs n'a cependant pas influencé significativement la durée de l'IV-V.

Flushing

Le flushing, quand il était pratiqué, a influencé significativement la fécondité et la fertilité. Les VL bénéficiant d'une suralimentation énergétique ont eu une période de reproduction et un IV-V moins longs, et de meilleurs TRIA1. La principale difficulté de la détection des chaleurs vient le plus souvent d'une sous-nutrition énergétique en début de lactation (Disenhaus et al., 2005). Ce constat est en accord avec ceux de Bouamra et al. (2016) et Poncet (2002) qui rapportent une meilleure fertilité chez les vaches recevant plus de concentrés.

Durée du tarissement

La durée du tarissement a affecté sensiblement l'IV-C1 moyen. Le premier intervalle était moins long lorsque les VL étaient tarées à plus de 60 jours alors que le deuxième intervalle suivait une tendance contraire ; il était moins long lorsque la durée du tarissement était inférieure à 60 jours ce qui laisse supposer que c'est l'œstrus post-partum qui est partiellement responsable de l'infécondité. Certains auteurs ont rapporté que l'IV-V s'étend avec l'allongement de la durée du tarissement. Gobikrushanth et al. (2014) ont noté que la durée de la période d'attente augmentait de 42 jours lorsque la durée du tarissement dépassait 76 jours. D'autres auteurs (Vercouteren et al., 2015 ; Opsomer et al., 2000) ont observé que les VL avec une période sèche supérieure à 77 jours avaient une cyclicité retardée de 50 jours post-partum.

■ CONCLUSION

Les performances de reproduction des troupeaux des deux principales races laitières importées et élevées dans l'Est algérien s'éloignent sensiblement des objectifs habituellement compatibles avec une rentabilité économique des élevages. La fécondité en est davantage la cause que la fertilité, principalement en raison de la mise tardive des vaches à la reproduction après un œstrus post-partum avéré ou la non-détection des chaleurs. Par conséquent, les éleveurs doivent assurer une alimentation adaptée aux besoins réels des vaches, notamment la suralimentation énergétique avant et après vêlage, et faire inséminer

leurs vaches sur chaleurs détectées, qu'elles soient naturelles ou induites, en utilisant si nécessaire des moyens complémentaires de détection. Un état des lieux se basant sur les bilans de reproduction des vaches de tout le troupeau, utilisant des données d'élevages fiables et clairement consignées, doit être établi au moins une fois par an pour identifier les contraintes liées aux conditions réelles des élevages et situer les objectifs à atteindre dans le cadre de l'amélioration des performances des vaches laitières en Algérie.

Remerciements

Les auteurs remercient tous les éleveurs et vétérinaires praticiens pour leur contribution à ces travaux ainsi que la Direction générale

de la recherche scientifique et du développement technologique (DGRSDT).

Conflits d'intérêts

Les auteurs déclarent n'avoir aucun conflit d'intérêts.

Déclaration des contributions des auteurs

AH et KM ont assuré la conception et planification de l'étude ainsi que la collecte et l'interprétation des données. DEG a assuré l'analyse statistique. AH et KM ont rédigé la première version du manuscrit et assuré la révision critique du manuscrit.

REFERENCES

- Allouche L., Madani T., Mechmeche M., Bouchemal A., 2018. Reproductive performance of Montbeliard cows reared under subtropical environment: effects of heat stress and acclimatization duration. *Livest. Res. Rural Dev.*, **30** (7): 128
- Balandraud N., Mosnier C., Delaby L., Dubief F., Goron J.P., Martin B., Pomies D., et al., 2018. Holstein ou Montbéliarde : des différences phénotypiques aux conséquences économiques à l'échelle de l'exploitation. *Prod. Anim.*, **31** (4) : 337-352, doi : 10.20870/productions-animales.2018.31.4.2394
- Ben Salem M., Bouraoui R., Chebbi I., 2007. Tendances et identification des facteurs de variation des paramètres de reproduction chez la vache laitière en Tunisie. *Rencontres Rech. Rumin.*, **14**: 371
- Bidan F., Salvetti P., Lejard A., Bareille N., Le Mezec P., Dimon P., 2020. Reproscope n°5 – Campagne 2018-2019. Institut de l'Élevage, France
- Bouamra M., Ghozlane F., Ghozlane MK., 2016. Factors influencing the reproductive performances of dairy cows in Algeria. *Livest. Res. Rural Dev.*, **28** (4): 13 p.
- Boujenane I., Aïssa H., 2008. Performances de reproduction et de production laitière des vaches de race Holstein et Montbéliarde au Maroc. *Rev. Elev. Med. Vet. Pays Trop.*, **61** (3-4): 191-196, doi: 10.19182/remvt.9988
- Cauty I., Perreau JM., 2003. La conduite du troupeau laitier. France Agricole, Paris, France, 288 p.
- Corbrion-Mouret L., 2018. Influence du moment de l'insémination artificielle sur le taux de réussite chez la vache laitière. Thèse d'exercice, Ecole nationale vétérinaire, Toulouse, France, 77 p.
- Disenhaus C., Grimard B., Trou G., Delaby L., 2005. De la vache au système : s'adapter aux différents objectifs de reproduction en élevage laitier ? *Rencontres Rech. Rumin.*, **12**: 125-136
- FAO, 2020. Atténuer les effets de covid-19 sur le secteur de l'élevage. FAO, Rome, Italie, 6 p.
- Fleurquin F.I.F., 2013. Intérêt d'un traitement individuel du subœstrus par la prostaglandine F2A : Etude rétrospective dans deux élevages. Thèse Doct., Faculté de médecine, Créteil, Ecole nationale vétérinaire d'Alfort, France.
- Folnožić I., Turk R., Đuričić D., Vince S., Meštrić Z.F., Sobiech P., Lojkić M., et al., 2016. The effect of parity on metabolic profile and resumption of ovarian cyclicity in dairy cows. *Vet. Archiv.*, **86** (5): 641-653
- Gobikrushanth M., De Vries A., Santos J.E., Risco C.A., Galvão K.N., 2014. Effect of delayed breeding during the summer on profitability of dairy cows. *J. Dairy Sci.*, **97** (7): 4236-4246, doi: 10.3168/jds.2013-7664
- Grimard B., Humblot P., Ponter A.A., Chastant-Maillard S., Constant F., Mialot J.P., 2003. Efficacité des traitements de synchronisation des chaleurs chez les bovins. *Prod. Anim.*, **16** (3): 211-227, doi: 10.20870/productions-animales.2003.16.3.3661
- Hanzen C., 1994. Etude des facteurs de risque de l'infertilité et des pathologies puerpérales et du postpartum chez la vache laitière et la vache viandeuse. Thèse Doct., Faculté médecine vétérinaire Liège, Belgique, 172 p.
- Le Mezec P., Barbat A., Duclos D., 2005. Fertilité des vaches laitières : la situation dans 4 coopératives d'insémination de l'Ouest. *Rencontres Rech. Rumin.*, **12**: 157
- Le Mezec P., Barbat-Leterrier A., Barbier S., De Cremoux R., Gion A., Ponsart C., 2010. Evolution de la fertilité et impact de la FCO sur la reproduction du cheptel laitier français. *Rencontres Rech. Rumin.*, **17**: 157-160
- Miroud K., Hadeif A., Khelef D., Ismail S., Kaidi R., 2014. Reproduction status of dairy cows in the northeast of Algeria. *Livest. Res. Rural Dev.*, **26** (6): 1-10
- Mouffok C., Allouni A., Semara L., Belkasmi F., 2019. Factors affecting the conception rate of artificial insemination in small cattle dairy farms in an Algerian semi-arid area. *Livest. Res. Rural Dev.*, **31** (4): 1-9
- ONIL, 2019. Office national interprofessionnel du lait et des produits laitiers, Algérie
- Opsomer G., Gröhn Y.T., Hertl J., Coryn M., Deluyker H., De-Kruif A., 2000. Risk factors for post partum ovarian dysfunction in high producing dairy cows in Belgium: a field study. *Theriogenology*, **53** (4): 841-57, doi: 10.1016/S0093-691X(00)00234-X
- Palmer M.A., Olmos G., Boyle L.A., Mee J.F., 2010. Oestrus detection and oestrus characteristics in housed and pastured Holstein-Friesian cows. *Theriogenology*, **74** (2): 255-264, doi: 10.1016/j.theriogenology.2010.02.009
- Pham Duy Khanh K., Duteurtre G., Cournut S., Messad S., Dedieu B., Hostiou N., 2017. Characterizing dairy farm diversity and sustainability in Vietnam: case study in suburban Hanoi. *Rev. Elev. Med. Vet. Pays Trop.*, **69** (4): 131-141, doi: 10.19182/remvt.31198
- Poncet J., 2002. Etude des facteurs de risque de l'infertilité dans les élevages bovins laitiers de l'île de la Réunion : influence de l'alimentation sur la reproduction. Thèse Doct., Ecole nationale vétérinaire, Toulouse, France, 145 p.
- Singh M., Sharma A., Sharma A., Kumar P., 2017. Repeat breeding and its treatment in dairy cattle of Himachal Pradesh (India). *Indian J. Anim. Reprod.*, **38** (2): 1-4
- Souames S., Abdelli A., Berrama Z., 2018. Factors associated with abnormal resumption of ovarian activity after calving of Holstein-Friesian cows reared in northern Algeria. *Livest. Res. Rural Dev.*, **30**: 52
- Stevenson J.S., 2007. Clinical reproductive physiology of the cow. *Theriogenology*, **35**: 258-270, doi: 10.1016 / B978-072169323-1.50038-6
- Vallet A., Paccard P., Dumonthier P., 1998. Méthode d'analyse des causes de l'infécondité d'un troupeau laitier. Institut de l'Élevage, Paris, France, 48 p.
- Vercouteren M.M.A.A., Bittar J.H.J., Pinedo P.J., Risco C.A., Santos J.E.P., Vieira Neto A., Galvao K.N., 2015. Factors associated with early cyclicity in postpartum dairy cows. *J. Dairy Sci.*, **98** (1): 229-239, doi: 10.3168/jds.2014-8460
- Wahome J.N., Stuart M.J., Smith A.E., Hearne W.R., Fuquay J.W., 1985. Insemination management for a one-injection prostaglandin F(2)alpha synchronization system. II. One versus two inseminations following detection of estrus. *Theriogenology*, **24**: 501-507, doi: 10.1016/0093-691x(85)90057-3
- Yahimi A., Djellata N., Hanzen C., Kaidi R., 2013. Analyse des pratiques de détection des chaleurs dans les élevages bovins laitiers algériens. *Rev. Elev. Med. Vet. Pays Trop.*, **66** (1): 31-35, doi: 10.19182/remvt.10147

Summary

Haou A., Miroud K., Gherissi D.E. Impact of herd characteristics and breeding practices on the reproductive performance of dairy cows in Northeastern Algeria

The study investigated the effects of herd characteristics (breed, size, parity and study area) and husbandry practices (induced/natural heats, flushing or not, and drying-off duration) on the fertility and fecundity rates of 721 Montbeliarde ($n = 379$) and Prim'Holstein ($n = 342$) dairy cows (DC) from 23 herds, born and bred in Algeria. Fertility parameters revealed an interval between calving and first heat of 86.8 ± 48 days, between calving and first artificial insemination (AI) of 108 ± 80.4 days, between first AI and fertilizing AI of 42.9 ± 85.2 days, between calving and fertilizing AI of 152 ± 116 days, and between calvings of 427 ± 122.8 days. A mean first AI success rate of 54.8% (DC) and $38.8 \pm 20\%$ (herd), an apparent fertility index of 1.83, and 19.3% DC inseminated three times or more (in 16.2 ± 11 of the herds) were recorded. Fertility was far from the objective. Breed had no significant effect on fertility ($p > 0.05$), but reproductive performance varied significantly ($p < 0.05$) with herd size, parity, study region, induced or natural heat, and whether or not flushing was practiced. Fecundity was lower in animals with a drying-off duration of more than 60 days ($p < 0.05$). Late breeding beyond 80 days postpartum was the parameter that most affected the reproductive performance of DC in the study area.

Keywords: cattle, dairy cows, fertility, livestock numbers, ovulation, Algeria

Resumen

Haou A., Miroud K., Gherissi D.E. Impacto de las características del hato y de las prácticas de cría sobre los rendimientos de reproducción de las vacas lecheras en el noreste argelino

El estudio se llevó a cabo sobre los efectos de las características del hato (raza, tamaño, número de partos y zona de estudio) y de las prácticas de cría (celos inducidos/naturales, práctica de flushing o no, y duración del secado) sobre las tasas de fecundidad y de fertilidad de 721 vacas lecheras (VL) de razas Monbéliarde ($n = 379$) y Prim'Holstein ($n = 342$) repartidas en 23 hatos, nacidas y puestas en producción en Argelia. Los parámetros de fecundidad revelaron un intervalo entre el parto y el primer celo de $86,8 \pm 48$ días, entre el parto y la primera inseminación artificial (IA) de $108 \pm 80,4$ días, entre la primera IA y la IA fecundante de $42,9 \pm 85,2$ días, entre el parto y la IA fecundante de 152 ± 116 días, entre partos de $427 \pm 122,8$ días. Se registró una tasa de éxito promedio a la primera IA de 54,8% (VL) y de $38,8 \pm 20\%$ (hato), un índice de fertilidad aparente de 1,83, y 19,3% de VL inseminadas tres veces y más (en $16,2 \pm 11$ de los hatos). La fecundidad más que la fertilidad estuvo lejos de los objetivos. La raza no tuvo ningún efecto significativo sobre la fertilidad ($p > 0,05$), pero los rendimientos de reproducción variaron significativamente ($p < 0,05$) en función del tamaño del hato, del número de partos, de la región en estudio, de los celos inducidos o naturales, y de la práctica o no de flushing. La fecundidad fue más baja en los animales con un período de secado mayor de 60 días ($p < 0,05$). Un regreso a la reproducción tardío más allá de 80 días post parto fue el parámetro que más afectó los rendimientos de reproducción de las VL en la zona en estudio.

Palabras clave: ganado bovino, vacas lecheras, fertilidad, número de cabezas, ovulación, Argelia

Variations saisonnières des performances de reproduction des brebis Ouled Djellal dans la région de Chlef, Algérie

Azdinia Zidane ^{1*} Mourad Taherti ¹ Leila Gadouche ²
Sarrah Metlef ³ Adda Ababou ¹

Mots-clés

Ovin, brebis Ouled Djellal, performance de reproduction, reproduction animale, printemps, automne, Algérie

© A. Zidane et al., 2021



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

Submitted: 27 November 2020

Accepted: 27 September 2021

Published: 20 December 2021

DOI: 10.19182/remvt.36801

Résumé

La reproduction contribue directement à la rentabilité des élevages et les performances associées sont synthétisées dans des indicateurs économiques centraux dans l'analyse des performances globales des systèmes d'élevages. L'activité sexuelle et ainsi les performances reproductives des brebis sont affectées par des facteurs environnementaux, en premier lieu la photopériode. La brebis Ouled Djellal, naturellement davantage désaisonnée que d'autres races ovines, est peu sensible au facteur photopériodique, parvenant ainsi à maintenir des cycles sexuels pendant la majeure partie de l'année et exprimant peu d'œstrus saisonnier. Les performances reproductives de cette race n'étant que partiellement exploitées, la présente étude a visé à les caractériser dans la région de Chlef, Algérie. Elle a concerné 834 brebis Ouled Djellal réparties dans 20 exploitations localisées dans différentes communes avec 417 brebis pour chaque saison. Les brebis étaient âgées de trois à cinq ans, et soumises à la photopériode et aux températures naturelles. Les paramètres reproductifs analysés à l'automne et au printemps ont été les taux de fertilité, de fécondité, de prolificité, de productivité numérique et de mortalités. À l'exception des mortalités qui ont montré une différence non significative entre l'automne et le printemps, les résultats sur les autres paramètres de performance ont mis en évidence une différence très significative ($p < 0,0001$) entre les deux saisons. Malgré ces différences entre saisons, dont les origines sont discutées, les performances reproductives analysées ont été globalement encourageantes pour améliorer la rentabilité des élevages de cette race.

■ Comment citer cet article : Zidane A., Taherti M., Gadouche L., Metlef S., Ababou A., 2021. Seasonal variations in the reproductive performance of Ouled Djellal ewes in the Chlef region, Algeria. *Rev. Elev. Med. Vet. Pays Trop.*, 74 (4): 193-198, doi: 10.19182/remvt.36801

■ INTRODUCTION

La reproduction et la survie des espèces sont liées à la coordination de divers mécanismes qui engendrent la production de gamètes, un comportement sexuel spécifique conduisant à l'accouplement et à la rencontre des gamètes, et *in fine* au développement d'embryons viables

1. Laboratoire bio-ressources naturelles, Département de biologie, Faculté des sciences de la nature et de la vie, Université Hassiba Benbouali de Chlef, BP151, Chlef 02000, Algérie.

2. Université des sciences et de la technologie Houari Boumediène (USTHB), Faculté des sciences biologiques, Département de biologie et physiologie des organismes, El Alia, 16111 Bab Ezzouar Alger, Algérie.

3. Laboratoire bio-ressources naturelles, Département des sciences alimentaires et nutrition humaine, Faculté des sciences de la nature et de la vie, Université Hassiba Benbouali de Chlef, Chlef 02000, Algérie.

* Auteur pour la correspondance

Tél. : +213 556 88 78 00 ; email : zidazdinia.2020@gmail.com

(Lamrani, 2008). Ces conditions sont également indispensables pour l'élevage car elles participent à sa rentabilité (Meyer, 2009). L'activité sexuelle ainsi que les performances reproductives des brebis sont affectées par des facteurs de leur environnement, principalement la photopériode. Chez certaines races plus désaisonnées, dont le lieu d'habitat est proche de l'équateur, la faible sensibilité au facteur photopériodique conduit les femelles à pouvoir maintenir des cycles sexuels pendant la majeure partie de l'année (Castonguay, 2018). C'est notamment le cas des brebis de race Ouled Djellal qui expriment peu ou pas d'œstrus saisonnier.

De nombreux auteurs témoignent des bonnes qualités reproductives de la Ouled Djellal, de son bon comportement maternel et surtout de sa rusticité exceptionnelle à l'égard des conditions environnementales (Chellig, 1992). En Algérie, malgré son indéniable importance économique et sociale, l'élevage ovin est pénalisé par un faible niveau de technicité et une organisation des systèmes de production favorisant une conduite des activités de reproduction en pleine saison sèche, ceci

visant à faire coïncider les mises bas avec le pic de végétation des premières pluies d'octobre (Arbouche et al., 2013). Toutefois, cette organisation empêche d'exploiter pleinement le potentiel des performances reproductives, notamment du fait d'une mauvaise préparation nutritionnelle des femelles autour de la période de lutte (Lamrani, 2008).

L'obtention de données fiables sur la conduite et la productivité des élevages utilisant cette race est encore aujourd'hui laborieuse. Ainsi, d'importantes investigations doivent être conduites afin de déterminer précisément les performances associées. Dans ce contexte, la présente étude a visé à caractériser les performances reproductives des brebis Ouled Djellal dans la région de Chlef, et à les comparer entre saisons d'automne (correspondant à la saison des pluies) et de printemps (correspondant à la saison sèche).

■ MATERIEL ET METHODES

Site de l'étude et conduite des animaux

La région de Chlef, organisée autour de la ville éponyme, est localisée dans le Tell occidental à 200 kilomètres à l'ouest d'Alger. Elle est caractérisée par un climat méditerranéen de type semi-aride avec une pluviométrie annuelle moyenne de 40,1 ± 5,7 millimètres par mois.

L'expérimentation a concerné 834 brebis de race Ouled Djellal, réparties dans 20 exploitations localisées dans différentes communes, avec 417 brebis pour chaque saison étudiée (tableau I). Les résultats des performances reproductives des femelles mises à la lutte à l'automne (saison humide) sont représentés par le groupe « Printemps », et ceux des brebis mises à la lutte au printemps (saison sèche) par le groupe « Automne ». Les femelles retenues étaient des brebis âgées de trois à cinq ans, soumises à la photopériode et aux températures naturelles de la zone. Quelle qu'ait été la saison, les béliers étaient introduits dans les troupeaux au moment de la période de lutte pour une reproduction par la monte naturelle. Les élevages étaient conduits en mode semi-intensif avec une période de pâturage dans la journée et une période dans la bergerie en fin de journée où les brebis bénéficiaient d'une supplémentation à base de concentrés et d'un abreuvement *ad libitum*. Durant les périodes où l'offre alimentaire au pâturage était jugée insuffisante, les brebis étaient gardées en bergerie et alimentées à base de foin naturel et de paille de blé.

Tableau I : Répartition des brebis Ouled Djellal dans les exploitations et selon la saison de lutte (Prin, groupe Printemps, n=417) ; Aut, groupe Automne, n=417) en Algérie // *Distribution of Ouled Djellal ewes in the farms and according to the mating season (Prin: Spring group, n=417); Aut: Fall group, n=417) in Algeria*

Commune	Prin	Aut	Commune	Prin	Aut
Chlef	11	14	Tadjena	40	38
Chettia	13	15		18	20
Ouled Fares	18	17		30	26
	50	45	Sidi Akkacha	14	15
Labioud Medjadja	25	22	Abou El Hassan	13	18
Zeboudja	22	18	Talassa	10	15
Bouzghaia	16	13		12	16
	30	27		15	14
	21	25	Sidi Abder-rahmane	12	10
	33	34	Ténès	14	15

Paramètres enregistrés

Un suivi spécifique a été mis en place afin de mesurer différents paramètres, créer une base de données et procéder aux analyses. L'objectif

principal était d'obtenir des valeurs fiables pour les différents critères associés aux performances de reproduction. Ainsi le taux de fertilité apparente, soit l'indicateur de l'aptitude des femelles à concevoir au moins un agneau suite à la campagne de reproduction, a été calculé selon la formule : $\frac{\text{(nb. de femelles ayant mis bas)}}{\text{(nb. de femelles mises à la lutte)}} \times 100$.

Le taux de fécondité, soit l'indicateur du nombre d'agneaux produits à l'échelle du troupeau suite à la campagne de reproduction, a été calculé selon la formule : $\frac{\text{(nb. de nouveau-nés)}}{\text{(nb. de femelles mises à la lutte)}} \times 100$.

Le taux de prolificité, soit l'indicateur de la taille moyenne d'une portée, a été calculé selon la formule : $\frac{\text{(nb. de nouveau-nés)}}{\text{(nb. de femelles ayant mis bas)}} \times 100$.

Le taux de productivité numérique, soit l'indicateur du nombre d'agneaux viables produits par brebis suite à la campagne de reproduction, a été calculé selon la formule : $\frac{\text{(nb. de nouveau-nés élevés)}}{\text{(nb. de femelles mises à la lutte)}} \times 100$.

Le taux de mortalités, soit l'indicateur des pertes néonatales aussi bien chez les brebis que chez les agneaux, a été calculé selon la formule : $\frac{\text{(nb. de morts chez les nouveau-nés)}}{\text{(nb. de nouveau-nés)}} \times 100$.

Cette organisation a permis de s'adapter aux différents modes de conduite rencontrés, souvent associés à des niveaux de performances techniques très différents, mais également de dépasser le caractère trop fastidieux pour l'acquisition de certains enregistrements, notamment le contrôle des performances de reproduction. Elle a permis d'obtenir avec précision les valeurs réelles des indicateurs de performances recherchés. Les Ouled Djellal étant identifiées grâce à des boucles, des fiches individuelles ont également été établies pour ces femelles, avec des visites hebdomadaires pour chaque exploitation suivie.

Analyses statistiques

Le modèle statistique a consisté en un test paramétrique t de Student visant à comparer les valeurs moyennes des différents paramètres entre saisons de mise bas au seuil de significativité fixé à 5 %. Ensuite une analyse en composantes principales (ACP) a été effectuée pour établir les relations entre les paramètres analysés et les saisons de mise bas. Les analyses ont été menées avec le logiciel XLSTAT version 2019.1 de Addinsoft. Toutes les données ont été présentées sous la forme de la moyenne plus ou moins l'écart-type.

■ RESULTATS

Fertilité

Les taux de fertilité ont été très significativement différents (p < 0,0001) dans les deux groupes avec un taux moyen plus élevé dans le groupe Automne (88 ± 8 %) que dans le groupe Printemps (75 ± 7 %).

Fécondité

Les analyses ont mis en évidence une différence très significative (p < 0,0001) du taux de fécondité selon la période de mises bas, avec une moyenne de 95 ± 8 % dans le groupe Automne contre 77 ± 8 % dans le groupe Printemps.

Prolificité

Les moyennes ont été différentes très significativement (p < 0,0001) entre les deux groupes de mises bas avec 109 ± 5 % dans le groupe Automne contre 102 ± 4 % dans le groupe Printemps.

Productivité numérique

Les analyses des taux de productivité numérique ont montré une différence très significative ($p < 0,0001$) entre les groupes Automne ($93 \pm 8 \%$) et Printemps ($74 \pm 8 \%$).

Mortalités

Les moyennes des taux de mortalités ont montré une différence non significative ($p > 0,05$) entre les deux saisons de mise bas avec $3,0 \pm 2,8 \%$ dans le groupe Automne et $1,9 \pm 2,1 \%$ dans le groupe Printemps. Cependant, alors que les valeurs des paramètres précédents étaient favorables au groupe Automne, les mortalités des agneaux ont été moins nombreuses dans le groupe Printemps.

L'ACP, prenant en considération la saison de mise bas en tant que variable supplémentaire (figure 1), a montré que les deux premiers axes expliquaient 93,41 % de l'information. Le premier axe avec 69,93 % de variabilité expliquée a montré une nette séparation entre les deux saisons de mise bas ; cet axe est corrélé positivement à la saison automnale et négativement à la saison printanière. L'analyse permet de souligner que les meilleures performances correspondaient à la lutte de printemps. Toutefois, le taux de mortalités n'a été lié à aucune des deux saisons de mise bas.

DISCUSSION

L'analyse des systèmes de production pratiqués par les éleveurs de la région de Chlef en fonction des rythmes et périodes de reproduction, associée au caractère désaisonné de la race Ouled Djellal, ainsi qu'à la répartition des agnelages, nous ont permis de caractériser deux saisons de mise bas distinctes : une mise bas de printemps correspondant aux performances associées à la lutte d'automne (groupe Printemps) et une mise bas d'automne correspondant aux performances associées à la lutte de printemps (groupe Automne).

Afin d'expliquer les variations des performances de reproduction entre les deux saisons, plusieurs facteurs peuvent être mis en avant, l'état corporel de l'animal étant probablement le plus important. Il

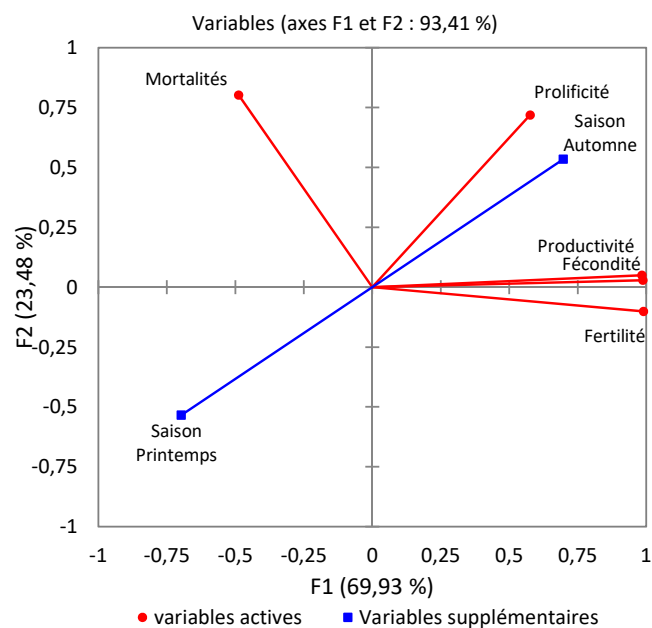


Figure 1 : Projection des variables sur les deux premiers axes de l'ACP chez la brebis Ouled Djellal selon la période de mise bas en Algérie /// Projection of variables on the first two axes of the PCA in Ouled Djellal ewes according to the period of lambing in Algeria

semble ainsi nécessaire d'atteindre un état corporel satisfaisant au début de la lutte pour obtenir de bonnes performances, hypothèse privilégiée notamment par Taherti et Kaidi (2016) pour lesquels ce serait le déterminant principal du potentiel productif des brebis. Cependant, face à la réticence de certains éleveurs vis-à-vis de l'enregistrement de cette variable, aucune notation de l'état corporel des femelles n'a été réalisée durant l'expérimentation.

Au sein des exploitations enquêtées, l'état corporel des animaux au moment de la lutte n'était pourtant pas le facteur déterminant dans l'organisation des pratiques des éleveurs qui privilégiaient une mise à la reproduction au printemps, en saison sèche, pour des agnelages majoritairement en automne, en saison humide (Zidane et Ababou, 2017 ; Hadeff, 2018). Pour ces éleveurs, le facteur prépondérant était le coût des saillies moindre au printemps qu'en automne. Si cette organisation favorise un environnement nutritionnel propice à la période des mises bas, elle contribue par ailleurs aussi à l'expression des impacts négatifs d'une sous-nutrition sur les événements reproductifs associés à la période de la lutte. En conséquence, les brebis sont maintenues la plupart du temps en bergerie et les éleveurs cherchent à faire coïncider le plus longtemps possible leurs stocks de fourrages disponibles et les besoins des animaux. Ceux-ci bénéficient alors de fourrages verts et d'une complémentation, ainsi que de périodes de pacage sur chaumes de céréales en été. Cette organisation du rationnement alimentaire, principalement à base de paille et de foin, ne permet pas d'éviter des périodes de restrictions. Si elle ne favorise pas de gain de poids significatif, elle semble néanmoins agir comme le flushing et permettre aux brebis d'exprimer de meilleures performances lors de l'agnelage d'automne. Quant aux brebis mises à la reproduction à l'automne, elles bénéficient d'une période de pâturage plus longue qui correspond aussi à une période d'épuisement des pâturages et semble ainsi avoir un effet moins favorable sur les performances lors de l'agnelage de printemps.

Fertilité

Il est admis que les ovins sont capables de présenter, en monte naturelle, un taux de fertilité de 92 %. D'autre part, certains auteurs indiquent dans des conditions d'études comparables qu'une fertilité moyenne de 70 % à 80 % après saillie naturelle peut être considérée comme normale à bonne en automne et comme bonne à très bonne au printemps (Provost et al., 1980). Nos résultats pour les mises bas à l'automne ont été similaires à ceux rapportés pour les brebis Béni Guil au Maroc (Bourfia et Touchberry, 1993), Noires de Thibar en Tunisie (Zaiem et al., 2000), et Ouled Djellal dans les hauts plateaux d'Algérie (Dekhili, 2014). D'autre part, les résultats de fertilité observés pour les mises bas de printemps s'accordaient avec ceux de Benyounes et al. (2013a) et de Belhadia et al. (2020) obtenus chez des brebis Taâdmit en Algérie. Toutefois, pour cette même période et aussi en Algérie, les performances de fertilité observées dans notre étude ont été meilleures que celles de 83 % chez la même race dans la région de Biskra (Mefti Korteby et al., 2017) et de 44,8 % chez la Rembi dans la région de Tiaret (Khiati, 2013). Selon Chafri et al. (2008) ces meilleurs résultats associés à la saison d'automne sont à imputer à une préparation alimentaire adéquate (assimilable à un flushing) au cours des semaines précédant la lutte, facteur favorable à une bonne fertilité. De plus, Atti et Abdennebi (1995) montrent que l'état corporel des femelles est un facteur déterminant dans l'obtention de bonnes performances de reproduction en analysant la fertilité des brebis en fonction de leur note d'état corporel au moment de la lutte.

Fécondité

Les résultats obtenus pour la fécondité à l'issue de la lutte de printemps ont concordé avec ceux rapportés aussi chez des brebis

Ouled Djellal en Algérie par Dekhili (2010) dans la région de Sétif, Arbouche et al. (2013) dans la région de Bordj Bou Arreridj, et Abaidia et al. (2020) dans la région de Tébessa. Ils ont été toutefois très différents du taux de 106 % relevé chez les brebis laitières Sicilo-Sardes en Tunisie (Selmi et al., 2009), et de 108 % obtenu chez les brebis Ouled Djellal de la région de Souk-Ahras en Algérie (Benyounes et al., 2013a). Ces différences peuvent provenir du mois et de la saison de saillie qui ont un effet très marqué sur cette performance (Dekhili, 2010), de la gestion de l'alimentation, et de l'adaptation spécifique de la brebis Ouled-Djella et des systèmes d'élevages associés. Quant au taux de fécondité pour les brebis issues d'une lutte automnale, il a été le même que ceux rapportés chez la brebis Taâdmit dans la région de Souk-Ahras (Benyounes et al., 2013a) et chez la Noire de Thibar en Tunisie (Ben Salem et al., 2009).

Prolificté

La prolificité est considérée comme un paramètre zootechnique primordial pour la rentabilité en élevage ovin. Nos résultats relatifs à la prolificité des brebis issues de la lutte de printemps ont été semblables à ceux de Chellig (1992) chez des brebis Ouled Djellal et de Khiati (2013) chez des brebis Rembi à Tiaret en Algérie, ainsi que ceux de Buldgen et al. (1992) chez des brebis améliorées dans la région du Sine-Saloum au Sénégal. Toutefois, El Fadili (2005) rapporte une valeur de 220 % chez des brebis D'Man, caractérisées par une prolificité exceptionnelle, dans la zone Bour Atlantique du Maroc (Boujenane, 2003). A l'inverse, la Ouled Djellal n'étant pas connue pour être une brebis prolifique (Lamrani et al., 2008), cette différence s'expliquerait surtout par un facteur génétique. Concernant le taux de prolificité associé à la lutte automnale, il a été en accord avec ceux rapportés chez les brebis Toronké au Mali (Kouriba et al., 2004) et Taâdmit en Algérie (Benyounes et al., 2013a ; Belhadia et al., 2020).

Comme le montrent Scaramuzzi et al. (2006), les résultats peuvent expliquer la relation directe entre la prolificité d'un troupeau et son état général avant la lutte. Ainsi, l'alimentation des animaux ayant été principalement basée sur des parcours pauvres durant la période de lutte en automne, ce paramètre s'est répercuté négativement sur la prolificité des brebis ayant mis bas au printemps, comme observé par Chikhi et Boujenane (2003).

Productivité numérique

Etant l'outil d'appréciation du niveau de performances d'un troupeau, la moyenne de productivité numérique de 93 % associée à la lutte printanière observée dans notre étude a été la même que celle des brebis de la même race dans la région de Sétif (Dekhili et Benkhilif, 2005) et des brebis Sicilo-Sardes en Tunisie (Selmi et al., 2009). Cependant, elle a dépassé largement celle de 73 % chez des brebis Ouled Djellal dans la même zone d'étude (Taherti et Kaidi, 2018). Les résultats moyens des brebis mises à la lutte à l'automne ont été supérieurs à ceux de 68,9 % chez des brebis Ouled Djellal croisées avec des béliers D'man (Adaouri et al., 2017). En termes de productivité numérique, Niaré (1995) souligne l'effet de la saison d'agnelage qui se manifeste par la survie des jeunes dans la portée. D'autre part, la brebis Ouled Djellal présente un comportement reproductif différent lorsqu'elle est placée dans des systèmes d'élevage différents (Taherti et Kaidi, 2018). En résumé, l'année, la saison et le mois de lutte ont une incidence sur le taux de productivité (Dekhili et Aggoun, 2006). Ainsi, les différences observées dans notre étude étaient probablement la conséquence des modes de conduite de la reproduction et de l'alimentation.

Mortalités

Quelle qu'ait été la saison, nous avons relevé des taux de mortalités des agneaux de 0-7 jours similaires à ceux de Boubekour et al.

(2019) chez des brebis D'man en Algérie. Ces taux ont été très faibles comparés à celui de 14,6 % chez des brebis laitières Sicilo-Sardes en Tunisie (Selmi et al., 2009), et de 21,4 % chez des brebis Ouled Djellal en Algérie (Chemmam et al., 2014). Ainsi, contrairement à l'ensemble des autres performances, les mortalités des agneaux ont diminué au printemps par rapport à l'automne. Stafford et al. (2007) rapportent que la survie des agneaux après la naissance dépend de nombreux facteurs. Dans notre étude, le taux plus important des mortalités des agneaux nés à l'automne a été surtout dû au froid, corroborant ainsi les constatations de Prud'hon (1971) selon lequel les mortalités maximales en hiver sont imputables au froid qui peut perturber le réflexe des têtées et l'instinct maternel des brebis. Elles peuvent aussi être la conséquence d'une mauvaise prise en charge des agneaux durant la première semaine suivant la naissance (Benyounes et al., 2013b). Généralement, les pertes les plus importantes sont observées durant les périodes de fortes pluies (Boucherit, 1985). Cependant, les conditions climatiques clémentes du printemps, associées à certains soins apportés par les éleveurs aux nouveau-nés ont permis leur survie et ont ainsi minimisé le taux de mortalités durant cette saison.

■ CONCLUSION

Les variations des performances reproductives relevées au cours des saisons provenaient probablement d'une interaction temporelle complexe entre les disponibilités alimentaires de la région, l'organisation du rationnement et le degré de mobilisation des réserves corporelles selon le stade physiologique. Les faibles performances reproductives des brebis Ouled Djellal mises à la lutte à l'automne ont été probablement la conséquence d'une sous-alimentation durant cette saison. Le contrôle de la saison de lutte s'avère ainsi primordial pour mettre à profit les ressources alimentaires qui sont très saisonnées dans la région. Les différences de rendements constatées étaient la répercussion des différents comportements développés par la brebis Ouled Djellal par rapport aux modes de conduite des activités de reproduction mais surtout de l'alimentation qui a eu un effet majeur sur les performances saisonnières de reproduction. Bien que des différences au niveau du bilan reproductif des brebis Ouled Djellal dans la région de Chlef aient été évidentes, le rendement reproductif à travers ses composantes (fertilité, fécondité, prolificité, productivité numérique et mortalités) a été globalement encourageant pour cette race, comparé à d'autres races en Algérie ou dans d'autres pays. Il ressort aussi l'intérêt de mettre la Ouled Djellal à la reproduction durant toute l'année ; sa capacité de conception continue est un atout permettant d'avoir des mises bas tout au long de l'année, ou de les moduler en fonction des besoins (automne-printemps) et des disponibilités fourragères. La Ouled Djellal présente de nombreux avantages dont une forte capacité productive des troupeaux dans une perspective d'amélioration de la production de viande rouge en Algérie.

Remerciements

Les auteurs remercient sincèrement tous les éleveurs qui ont contribué à la réalisation de cette étude.

Déclaration de conflits d'intérêts

Les auteurs déclarent que l'étude a été réalisée sans conflit d'intérêts.

Déclaration des contributions des auteurs

AZ, MT et SM ont conçu et planifié l'étude ; AZ et MT ont collecté les données ; AZ a rédigé la première version du manuscrit ; AA a analysé et interprété les données ; LG a fait la révision critique du manuscrit. Tous les auteurs ont lu et approuvé le manuscrit dans sa forme actuelle.

REFERENCES

- Abaidia A., Mebirouk-Boudechiche L., Chaker-Houd K., 2020. Effet d'une addition de rebuts de dattes sur les performances de brebis Ouled Djellal et leurs agneaux en milieu steppique. *Livest. Res. Rural Dev.*, **32** (38)
- Adaouri M., Mefti Korteby H., Triki S., Lebied M., Djouadi S., Balouli N., Sebbagh L., 2017. Effets d'un croisement D'man x Ouled Djellal sur la reproduction des brebis et la croissance des F₁ (première lutte). *Livest. Res. Rural Dev.*, **29**: 206
- Arbouche R., Arbouche H.S., Arbouche F., Arbouche Y., 2013. Facteurs influençant les paramètres de reproduction des brebis Ouled Djellal. *Arch. Zootechn.*, **62** (238): 311-314, doi: 10.4321/S0004-05922013000200020
- Atti N., Abdennebi L., 1995. Etat corporel et performances de la race ovine Barbarine. *CIHEAM, Cahiers Opt. Méditerran.*, **6**: 75-80
- Belhadia M.A., Fantazi K., Benaouina H., Kada M., Belhandouze T., Housseini N., 2020. Performances de reproduction de brebis Taâdmit avec effet mâle et synchronisation des chaleurs. *Livest. Res. Rural Dev.*, **32**: 123
- Ben Salem I., Rekik M., Hammami H., Ben Hamouda M., Aloulou R., Saâdoun L., 2009. Non-genetic factors of variation of the productivity of the Noire de Thibar ewe. *Rev. Elev. Med. Vet. Pays Trop.*, **62** (1): 59-66, doi: 10.19182/remvt.10095
- Benyounes A., Rezaigui M., Lamrani F., 2013a. Rendement reproductif des brebis Ouled Djellal et Taadmit élevées dans la région Nord-Est d'Algérie. *Livest. Res. Rural Dev.*, **25**: 199
- Benyounes A., Rezaigui M., Lamrani F., 2013b. Effet de la saison d'agnelage sur la mortalité des agneaux chez les races ovines Ouled Djellal et Taâdmit élevées dans le Nord-est d'Algérie. *Rev. Agric.*, **5**: 5-9
- Boubekeur A., Benyoucef M.T., Benidir M., Slimani A., Maaref A., Lounassi M., 2019. Qualités reproductives des brebis D'Man en oasis algériennes. *Livest. Res. Rural Dev.*, **3**: 129
- Boucherit N., 1985. Contribution à l'étude de la mortalité périnatale chez les agneaux : influence des facteurs zootechniques et causes de la mortalité. Thèse Doct., IAV Hassan II, Rabat, Maroc, 132 p.
- Boujenane I., 2003. Amélioration génétique ovine au Maroc : contraintes et voies d'amélioration. *Terre et vie*, **70**: 1-4
- Bourfia M., Touchberry R.W., 1993. Diallel cross of three Moroccan breeds of sheep. I. lamb growth and carcass traits. *J. Anim. Sci.*, **71** (4): 870-881, doi: 10.2527/1993.714870x
- Buldgen A., Dieng A., Ducrot D., Dumont D., Compère R., 1992. Productivité des élevages villageois de moutons du bassin arachidier sénégalais. FAO, Rome, Italie, 11 p (Série 72)
- Castonguay F., 2018. La reproduction chez les ovins. Université Laval, Edition Mars, Québec, Canada, 145 p.
- Chafri H., Mahouachi M., Ben Hamouda M., 2008. Effet du niveau alimentaire après mise bas sur le développement de la fonction reproductive chez l'agneau de race prolifique D'man : Développement testiculaire et déclenchement de la puberté. *Rencontres Rech. Rumin.*, **15**: 394
- Chellig R., 1992. Les races ovines algériennes. OPU, Alger, Algérie, 80 p.
- Chemmam M., Meftah N., Boudechiche M.L., 2014. Effets de l'avancement de la saison sexuelle sur les performances de reproduction et le poids des agneaux Ouled Djellal au sevrage dans le nord-est de l'Algérie. *Livest. Res. Rural Dev.*, **26**: 142
- Chikhi A., Boujenane I., 2003. Genetic and phenotypic parameters of reproductive performance of Boujaâd and Sardi ewes. *Rev. Elev. Med. Vet. Pays Trop.*, **56** (1-2): 83-88, doi: 10.19182/remvt.9880
- Dekhili M., Benkhilif R., 2005. Bilan portant sur les performances reproductives d'un troupeau de brebis Ouled Djellal. *Rencontres Rech. Rumin.*, **12**: 162
- Dekhili M., Aggoun A., 2006. Paramètres génétiques de la productivité numérique des brebis Ouled-Djellal. *Rencontres Rech. Rumin.*, **13**: 221
- Dekhili M., 2010. Fertilité des élevages ovins type « Hodna » menés en extensif dans la région de Sétif. *Rev. Agron.*, **1** (0): 1-7
- Dekhili M., 2014. Paramètres phénotypiques et génétiques de la reproduction de la brebis Ouled-Djellal (Algérie). *Arch. Zootech.*, **63** (242): 269-275, doi: 10.4321/S0004-05922014000200005
- El Fadili M., 2005. La race prolifique ovine D'man : productivité et voies de valorisation en dehors de l'oasis. *Transfert Techn. Agri.*, **130**: 1-4
- Hadeif A., 2018. Caractéristiques de l'activité sexuelle chez les brebis pâturant les prairies littorales de l'extrême nord est algérien. *Rev. Algérienne Sci. Sect. A* (1) : 27-31
- Khiati B., 2013. Etude des performances reproductives de la brebis de race Rembi. Thèse Doct., Université d'Oran, Algérie, 188 p.
- Kouriba A., Nantoumé H., Ogola D., 2004. Caractères de reproduction et mortalité des jeunes moutons Toronké à la station de recherches zootechniques de Kayes. *Tropicicultura*, **22** (3): 134-138
- Lamrani F., 2008. Etude de la cyclicité des agnelles et des possibilités de maîtrise de la reproduction des femelles Ouled Djellal combinées à l'effet de l'emploi répété de la PMSG sur leurs aptitudes reproductives. Thèse Doct., Université Badji Mokhtar, Annaba, Algérie, 179 p.
- Lamrani F., Benyounes A., El Bouyahiaoui R., Toumi Feddaoui K., Sebbagh L., 2008. Effet du mode d'induction et de synchronisation des chaleurs sur le rendement reproductif des brebis Ouled Djellal. *Rech. Agronom.*, **12** (21): 59-71
- Mefti Korteby H., Koudri Z., Saadi M.A., 2017. Caractérisation des performances de la race ovine algérienne Ouled Djellal type Djellalia dans des conditions steppiques. *Nat. Technol.*, **9** (2) : 1-5
- Meyer C., 2009. Les variations saisonnières de la reproduction des bovins domestiques en zone tropicale, synthèse. CIRAD, Montpellier, France 26 p.
- Niaré T., 1995. Pre-weaning growth of lambs and productivity in Sudano-Sahelian traditional area in Mali. *Rev. Elev. Med. Vet. Pays Trop.*, **48** (2): 195-202, doi: 10.19182/remvt.9472
- Provost A., Charray J., Coulomb J., Haumesser J.B., Planchenault D., Pugliese P.L., 1980. Les petits ruminants d'Afrique Centrale et d'Afrique de l'Ouest : synthèse des connaissances actuelles. GERDAT-IEMVT, ministère de la Coopération, Maisons-Alfort, France, 295 p.
- Prud'hon M.H., 1971. Etude de paramètres influençant la fécondité des brebis et la mortalité des agneaux d'un troupeau de race Mérinos d'Arles. Thèse Sciences appliquées, Université Sciences et techniques de Languedoc, Montpellier, France, 157 p.
- Scaramuzzi R.J., Campbell B., Downing J.A., Kendall N.R., Khaldi M., Munoz-Gutiérrez M., Somchit A., 2006. A review of the effects of supplementary nutrition in the ewe on the concentrations of reproductive and metabolic hormones and the mechanisms that regulate folliculogenesis and ovulation rate. *Reprod. Nutr. Dev.* **46** (4): 339-354. doi: 10.1051/rnd:2006016
- Selmi H., N'cir M., Rekik B., Ben Gara A., Rouissi H., 2009. Performances de reproduction et de production en relation avec l'état sanitaire des brebis laitières Sicilo-Sarde. *Livest. Res. Rural Dev.*, **21**: 130
- Stafford K.J., Kenyon P.R., Morris S.T., West D.M., 2007. The physical state and metabolic status of lambs of different birth rank soon after birth. *Livest. Sci.*, **111** (1-2): 10-15, doi: 10.1016/j.livsci.2006.10.018
- Taherti M., Kaidi R., 2016. Body condition variations and sheep breeding systems in the region of Chlef, Algeria. *Rev. Elev. Med. Vet. Pays Trop.*, **69** (3): 105-109, doi: 10.19182/remvt.31193
- Taherti M., Kaidi R., 2018. Productivité de la brebis Ouled Djellal selon le mode de conduite de la reproduction. *J. Sci. Lib.*, **19** (1): 47-58, doi: 10.22453/LSJ-019.1.047-058
- Zaiem I., Chemli J., Slama H., Tainturier D., 2000. Amélioration des performances de reproduction par l'utilisation de la mélatonine chez la brebis à contre-saison en Tunisie. *Rev. Méd. Vét.*, **151** (6): 517- 522
- Zidane A., Ababou A., 2017. Variations hormonales saisonnières de brebis Ouled Djellal dans la région de Chlef, Algérie. *Livest. Res. Rural Dev.*, **29**: 239

Summary

Zidane A., Taherti M., Gadouche L., Metlef S., Ababou A. Seasonal variations in the reproductive performance of Ouled Djellal ewes in the Chlef region, Algeria

Reproduction contributes directly to the profitability of the farms and the associated performances are synthesized in central economic indicators in the analysis of the global performances of the breeding systems. The sexual activity and thus the reproductive performance of ewes are affected by environmental factors, primarily the photoperiod. The Ouled Djellal ewe, naturally more often bred out of season than other sheep breeds, is not very sensitive to the photoperiod factor, thus managing to maintain sexual cycles during most of the year and expressing little seasonal anestrus. As the reproductive performance of this breed is only partially exploited, the present study aimed to characterize it in the region of Chlef, Algeria. It involved 834 Ouled Djellal ewes distributed in 20 farms located in different municipalities with 417 ewes for each season. The ewes were three to five years old, and subjected to photoperiod and natural temperatures. The reproductive parameters analyzed in the fall and spring were fertility, fecundity, conception rate, numerical productivity and mortality. With the exception of mortality, which showed a non-significant difference between fall and spring, the results on the other performance parameters showed highly significant differences ($p < 0.0001$) between the two seasons. In spite of these differences between seasons, whose origins are discussed, the reproductive performances analyzed were globally encouraging to improve the profitability of this breed.

Keywords: sheep, Ouled Djellal ewes, reproductive performance, animal reproduction, spring, autumn, Algeria

Resumen

Zidane A., Taherti M., Gadouche L., Metlef S., Ababou A. Variaciones estacionales de los rendimientos de reproducción de las ovejas Ouled Djellal en la región de Chlef, Argelia

La reproducción contribuye directamente a la rentabilidad de los criaderos y los rendimientos asociados son sintetizados mediante los indicadores económicos centrales en el análisis de los rendimientos globales de los sistemas de cría. La actividad sexual y por ende los rendimientos reproductivos de las ovejas se ven afectados por factores ambientales, en primer lugar, el fotoperiodo. La oveja Ouled Djellal, naturalmente menos dependiente de la estacionalidad que otras razas ovinas, es poco sensible al factor fotoperiódico, logrando así mantener ciclos sexuales durante la mayor parte del año y expresando pocos anestros estacionales. Siendo los rendimientos reproductivos de esta raza sólo parcialmente explotados, el presente estudio pretendió caracterizarlos en la región de Chlef, Argelia. Este concernió 834 ovejas Ouled Djellal repartidas en 20 explotaciones localizadas en diferentes comunidades con 417 ovejas para cada estación. Las ovejas tenían de tres a cinco años de edad y estaban sometidas al fotoperiodo y a las temperaturas naturales. Los parámetros reproductivos analizados durante el otoño y la primavera fueron las tasas de fertilidad, de fecundidad, de prolificidad, de productividad numérica y de mortalidad. Con excepción de la mortalidad que mostró una diferencia no significativa entre el otoño y la primavera, los resultados sobre los otros parámetros de rendimiento evidenciaron una diferencia muy significativa ($p < 0,0001$) entre las dos estaciones. A pesar de estas diferencias entre estaciones, cuyos orígenes son discutibles, los rendimientos reproductivos analizados fueron globalmente alentadores para el mejoramiento de la rentabilidad de los criaderos de esta raza.

Palabras clave: ovino, oveja Ouled Djellal, reproductividad, reproducción animal, primavera, otoño, Argelia

Unmanned aerial vehicle for the assessment of woody and herbaceous phytomass in Sahelian savanna

Marina Bossoukpe¹ Ousmane Ndiaye² Ousmane Diatta²
Sékouna Diatta¹ Alain Audebert^{3,4} Pierre Couteron⁵
Louise Leroux⁶ Abdoul Aziz Diouf⁷ Morgane Dendoncker⁸
Emile Faye^{9,10} Simon Taugourdeau¹¹

Keywords

Above ground biomass, trees, grasses, grassland management, multispectral imagery, Sahel, Senegal

© M. Bossoukpe et al., 2021



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

Submitted: 10 December 2020

Accepted: 7 October 2021

Published: 20 December 2021

DOI: 10.19182/remvt.36802

Summary

The phytomass of herbaceous and woody plants is the main source of feed for pastoral livestock in the Sahelian savanna. The assessment of the available feedstock plays a key role in national livestock policies and generally requires many field measurements of both herbaceous and woody plants. In this study, we tested the possibility of using a red-green-blue (RGB) unmanned aerial vehicle (UAV) to evaluate the phytomass of both woody and herbaceous species. We thus mapped 38 one-hectare plots with a Dji Spark UAV in Northern Senegal. The herbaceous phytomass was measured on the ground. For the woody communities, we evaluated the leaf phytomass using dendrometric parameters combined with allometric equations. We performed partial-least-square regressions between UAV-based three-dimension and color indices and phytomass. Results showed a Q^2 (cross-validation results for each response variable) of 0.57 for woody phytomass, 0.68 for herbaceous dry mass, and 0.76 for their fresh mass. This study confirmed the relevance of using low-cost RGB UAV to assess savanna phytomass.

■ How to quote this article: Bossoukpe M., Ndiaye O., Diatta O., Diatta S., Audebert A., Couteron P., Leroux L., Diouf A.A., Dendoncker M., Faye E., Taugourdeau S., 2021. Unmanned aerial vehicle for the assessment of woody and herbaceous phytomass in Sahelian savanna. *Rev. Elev. Med. Vet. Pays Trop.*, 74 (4): 199-205, doi: 10.19182/remvt.36802

■ INTRODUCTION

The Sahel is an ecological transition zone between the Sahara to the north and the Sudanese savannas to the south. The climate is characterized by a long dry season (lasting from 9 to 11 months) followed by a short rainy season, with an increasing gradient in rainfall quantity

and in the length of the rainy season from north to south. Rainfall displays a high spatiotemporal variability (L'Hote et al., 2002).

Due to limited water availability, the vegetation in the Sahel belongs to the savanna type (Le Houerou, 1980) where herbaceous and woody communities coexist in a low woody cover. Annual herbaceous plants mostly grow during the rainy season. The main agricultural activity is transhumant pastoralism (Garba et al., 2012), which mainly depends on natural herbaceous and woody plants. Years with low rainfall can cause high mortality among the livestock (Lesnoff et al., 2012).

Because of the high climate variability and strong dependence of the local population on natural resources, the assessment of available resources (i.e. phytomass) is a key challenge for pastoralism and therefore for Sahelian countries' economy. Assessments are typically based on field measurements that are then scaled up using empirical statistical relationships applied to satellite imagery (Brandt et al., 2015). Field measurements are extremely time and labor consuming. Indeed, in the Sahel, larger areas need to be sampled (Levang and Grouzis, 1980) to cover the high heterogeneity of the herbaceous layer (Hiernaux et Gérard, 1999; Le Houerou, 1980; White, 1970). Moreover, woody and herbaceous species are usually assessed separately, thus preventing a global view of these ecosystems' state.

1. UCAD, Département de biologie végétale, PPZS, Dakar, Sénégal.
2. ISRA, CRZ Dahra-PPZS, Dahra Djoloff, Sénégal.
3. CIRAD, UMR AGAP, F-34398 Montpellier, France. AGAP, Univ Montpellier, CIRAD, INRAE, Institut Agro, Montpellier, France.
4. ISRA, CERAAS, Thies, Sénégal.
5. CIRAD, UMR AMAP, F-34398 Montpellier, France. AMAP, Univ Montpellier, CNRS, CIRAD, INRAE, IRD, Montpellier, France.
6. CIRAD, UPR AIDA, Dakar, Sénégal. AIDA, Univ Montpellier, CIRAD, Montpellier, France.
7. Centre de suivi écologique, Fann Résidence, Dakar, Sénégal.
8. Université catholique de Louvain, Earth and Life Institute, 1348 Louvain-la-Neuve, Belgique.
9. CIRAD, UPR HortSys, F-34398 Montpellier, France. HortSys, Univ Montpellier, CIRAD, Montpellier, France.
10. ISRA, CDH, Dakar 14000, Sénégal.
11. CIRAD UMR SELMET-PPZS, Dakar, Sénégal. SELMET, Univ Montpellier, CIRAD, INRAE, Institut Agro, Montpellier, France.

The use of unmanned aerial vehicles (UAV) has considerably increased in recent years following lower prices, miniaturization, improved-sensor resolutions, and their easier use (piloting and flight programming) in particular to monitor vegetation across the world (Grenzdörffer et al., 2008). UAV have many advantages: they enable the production of very-high-resolution spatial images (less than 1 cm for red-green-blue [RGB] camera) at low cost with no weather constraints. Moreover, as images taken by UAV have sufficient overlap to a certain extent, the same object is photographed several times from slightly different angles and, thanks to a series of overlapping images, a three-dimensional (3D) model can be built by photogrammetry (Bossoukpe et al., 2021). From the 3D model, a digital surface model (DSM) and digital terrain model (DTM) can be computed to evaluate the height, the volume (based on the height) and the area of the object. This approach has already been used to measure the characteristics of trees in different types of ecosystems such as in orchards (Sarron, 2019), plantations (Anifantis et al., 2019), drylands (Cunliffe et al., 2016), tropical forests (Bourgoin et al., 2020) and natural savannas (Mayr et al., 2018).

Other tools than the UAV can be used to assess the woody and herbaceous phytomass. For instance, very-high-resolution-spatial (VHRS) images from satellites have been used to assess tree density (Brandt et al., 2020), and so has the tree-leaf area index (Taugourdeau et al., 2014). However, VHRS remote sensing tools have a lower spatial resolution than onboard UAV sensors. Furthermore, VHRS images are very costly and affected by cloudy conditions.

UAV sensors allow the computation of different VHRS RGB vegetation indices depending on the spectral specificity of onboard sensors. These indices can then be linked to different biophysical vegetation variables, particularly those of the herbaceous layer of crops or natural species. These indices can be combined with volumes obtained from

the 3D model, then used to assess yield or biomass using multispectral mosaics for grassland (Pecina et al., 2021) or cropland (Roupsard et al., 2020). Some studies only used RGB indices (Lussem et al., 2019). UAV with RGB are widely available and much cheaper than multispectral UAV. It could be a relevant tool in developing countries where the funding of research institutes, agencies, and producer organizations are limited. Low-cost UAV could be very appropriate for these different users if they produce good enough results. In the Sahelian savannas both woody and herbaceous strata contribute to the available phytomass, i.e. the use of UAV is a possible way to monitor the two vegetation layers. The objective of the present study was thus to test the interest of using a UAV system with RGB images to estimate the phytomass of both herbaceous species and woody plants in Sahelian pastoral areas.

■ MATERIALS ET METHODS

The overall process of acquisition and data analysis are presented in Figure 1.

Study area

This study was conducted at the Center for Zootechnical Research (French abbreviation CRZ) of Dahra Djoloff in the sylvopastoral zone of Senegal, otherwise known as Ferlo. CRZ extends over 6800 hectares that are managed by the Institut sénégalais de recherches agricoles (ISRA) (Raynal, 1964). Mean annual rainfall over the last 50 years was 371.6 mm (Fall, 2014). The soils are mainly sandy. We studied the vegetation on 38 one-hectare sites. The plots were chosen based on several vegetation dynamics (Raynal, 1964). Two types of data were acquired: (i) images with Dji Spark UAV and (ii) data for the phytomass collected in the field. All plots were georeferenced.

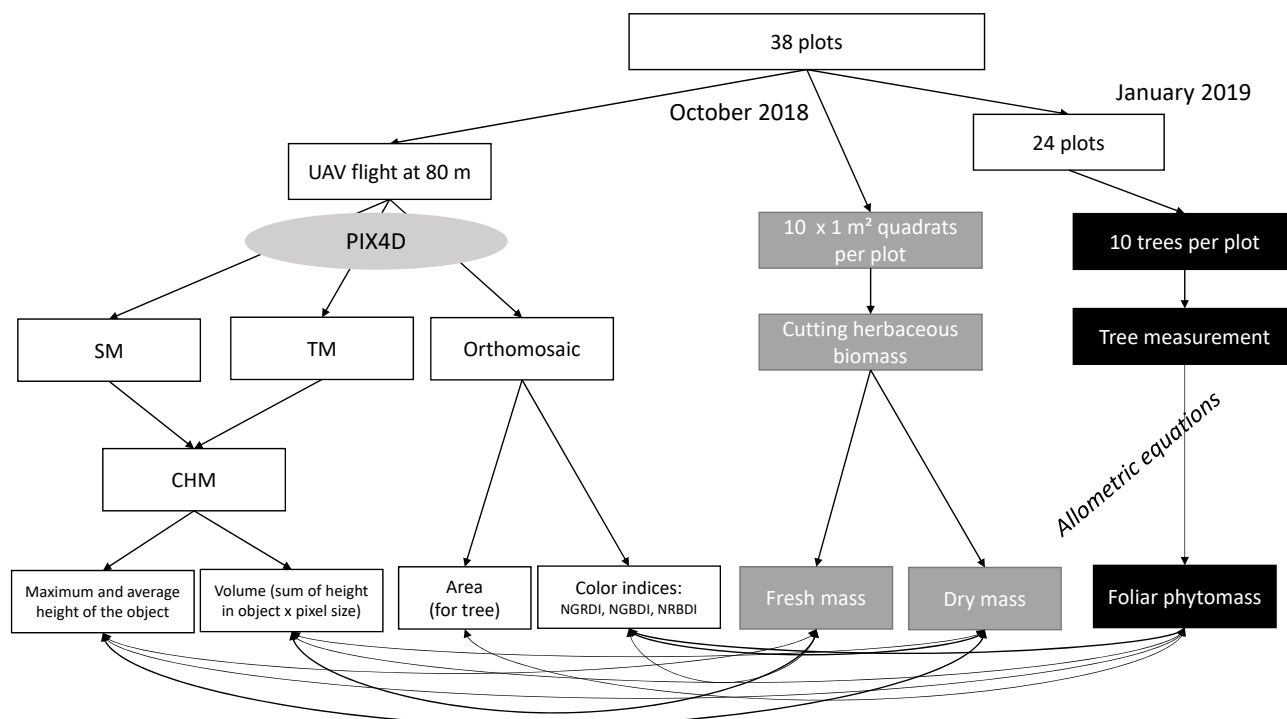


Figure 1: Graphic representation of the methodology used to assess grass and foliar phytomass with UAV in Sahelian savanna; SM: surface model; TM: terrain model; CHM: canopy height model; NRBDI = normalized difference between red and blue canals (Red-Blue) / (Red Blue); NGRDI = between red and green canals (Red-Green) / (Red Green); NGBDI = between green and blue canals (Green-Blue) / (Green Blue) /// *Représentation graphique de la méthodologie utilisée pour évaluer avec un drone la phytomasse herbacée et foliaire dans la savane sahélienne ; SM : modèle de surface ; TM : modèle de terrain ; CHM : modèle de hauteur de canopée ; NRBDI = différence normalisée entre les canaux rouges et bleus (Red-Blue) / (Red Blue) ; NGRDI = entre les canaux rouges et verts (Red-Green) / (Red Green) ; NGBDI = entre les canaux verts et bleus (Green-Blue) / (Green Blue)*

Images acquired with DJI Spark

We used a Da-Jiang-Innovation (DJI) model Spark UAV. This very light drone has an integrated 12 M pixels RGB camera in the visible band. The focus was set in automatic mode for all the shots. Images were acquired in jpeg format and geotagged using Spark-embedded global-positioning system (GPS). UAV was piloted from an android tablet. We used Litchi application to build the flight plans (<https://flylitchi.com/>).

For each plot, one flight with six transects of 100 m separated by 20 m was performed at 80 m altitude and 5 m.s⁻¹ speed. Images were acquired in autofocus mode (ISO exposure was automatically adjusted) at two-second intervals throughout the flight. We did not make any calibration. A color reference was put on the ground but the use of this reference induced poorer results (results not shown). We first tested the flight protocol with no calibration to see if a very simple protocol could be used. The angle of view was 80°. The frontal overlap was about 90% and the side one about 80%. The flights were performed from October 1 to 15, 2018, in any light and weather conditions (at the end of the rainy season).

Field measurements

On each of the 38 one-hectare plots, we randomly selected ten one-meter-square quadrats. Next to each quadrat, a trash bag in the shape of an arrow was placed on the ground to enable us to identify correctly the quadrats on the images. All the flights took place before field measurements. Herbaceous vegetation in each quadrat was sampled in October 2018. The herbaceous phytomass was collected by cutting the grasses at ground level. The samples were directly weighed to obtain fresh phytomass (FM). A 300-g FM composite sample was made up for each plot (composite of the 10 quadrats). Each of the 38 composite samples was dried at 65°C until mass stabilization to measure the dry matter content (%DM) of each plot. The same mean %DM value was attributed to all the quadrats in one plot as it was impossible to dry all the samples.

Woody plants were measured in a subsample of 24 plots out of the 38 in January 2019 and January 2020. On each of the 24 plots, 10 adult trees (> 1.3 m height; > 5 cm trunk diameter) were selected. The selection aimed to cover the diversity of the tree morphology present on the plot and was based on their height distribution from the canopy height model (CHM, see below) in order to have small, medium and tall woody individuals. Their GPS coordinates were obtained from the UAV outputs (see below). For each individual, the species was recorded and the diameter at 30 cm from ground level was measured. The diameter measurement at this height is recommended for the Sahel because of trees' morphology (Henry et al., 2011). A total of 239 woody individuals belonging to six species were recorded: *Acacia nilotica* (n = 9), *A. senegal* (n = 29), *A. seyal* Del (n = 5), *A. tortilis* subsp. *raddiana* (n = 54), *Balanites aegyptiaca* (n = 132) and *Boscia senegalensis* (n = 10). Allometric equations by Hiernaux (2006) were used to calculate the leaf dry phytomass based on the diameter. We did not have an equation for *A. nilotica*; given their similar morphology, that of *A. tortilis* was used in its stead.

Image analysis

The jpeg images acquired with UAV were processed with Pix4Dmapper software (www.pix4d.com). The automatic photogrammetric processing follows the structure from motion principles and comprises three main steps: initialization, densification, and model building. The initiation process detects and bundles the characteristic image objects (i.e. tie points) between overlapping parts of the geotagged images to create a sparse point cloud. In the densification step, the software looks for corresponding pixels and generates a densified

point cloud thanks to a dense matching algorithm. Finally, by projecting UAV images on this cloud of points, the software generates orthorectified mosaics in tiff format. For each plot we used the basic settings ('3D map') of the software¹ to generate an RGB orthomosaic, a digital surface model (DSM) and DTM in Universal-Transverse-Mercator coordinates system-zone 28 N, datum WGS84. DSM is produced by the surface reconstruction method based on the point cloud. DTM is generated by using interpolating ground points based on the method by Becker et al. (2017). Some bare ground areas were present in some plots but we assumed that DTM was able to separate grass layer from soil.

The output rasters (orthomosaic, DSM, DTM) were exported to ArcGis to extract geometric data. Finally, the canopy height model was calculated as the difference between DSM and DTM. Figure 2 presents for one plot the four UAV outputs (mosaic, DSM, DTM and CHM). The orthomosaic and DSM had a ground sample distance (GSD) of 2.58 cm. MNT and CHM had a GSD of 12.9 cm, i.e. five times that of DSM.

To account for the diversity of tree heights in each plot, ten trees of different sizes were selected on the orthomosaic and the contour of their crowns was manually delineated. The one-meter-square quadrats were also delimited based on the presence of the markers (trash bags) on the ground.

The average and maximum CHM heights were extracted from all the quadrats and for all the selected trees (object). The volume was obtained by multiplying the sum of the heights of all pixels within an object by the unit area of the CHM raster pixel.

Colorimetric information (red, green and blue) was extracted for each tree or each herbaceous square. We directly used the digital number. We did not normalize the colors. Indeed, we did not have a ground reference that could have been used to correct the colors between plots. The only option would have been to normalize each plot separately but it would have created more differences between the different plots. Our goal was to test the relevance of using digital number directly in our indices. Subsequently, the normalized difference indices between the channels taken pairwise were calculated according to the following formula (*C1* and *C2* representing color 1 and color 2, respectively).

$$NCIC2DI = \frac{(C1 - C2)}{(C1 + C2)}$$

Three indices were calculated: (i) normalized difference between the red and blue canals (NRBDI: [red-blue] / [red blue]); (ii) normalized difference between the red and green canals (NGRDI: [red-green] / [red green]); and (iii) normalized difference between the green and blue canals (NGBDI: [green-blue] / [green blue]). Lussem et al. (2018) found that NGRDI was an interesting index. The indices were calculated with the average colors of the object.

For the 10 trees per plot, the crown area was extracted from the orthomosaic and the ratio of this area to the maximum tree height was calculated. All UAV outputs and field measurements are available online (<https://zenodo.org/record/5145395>) (see Supplementary Materials for statistics on both tree and herbaceous subplots; UAV and phytomass).

Data analysis

Partial-least-square (PLS) regression (Tenenhaus, 1998) was used to predict woody and herbaceous phytomass with R plsdepot package (Sanchez, 2012). Herbaceous phytomass, fresh mass and dry mass were related with the PLS using the maximum height in the square (max), mean square height (mean), the height standard deviation

¹ <https://support.pix4d.com/hc/en-us/articles/115002472186-Processing-steps>

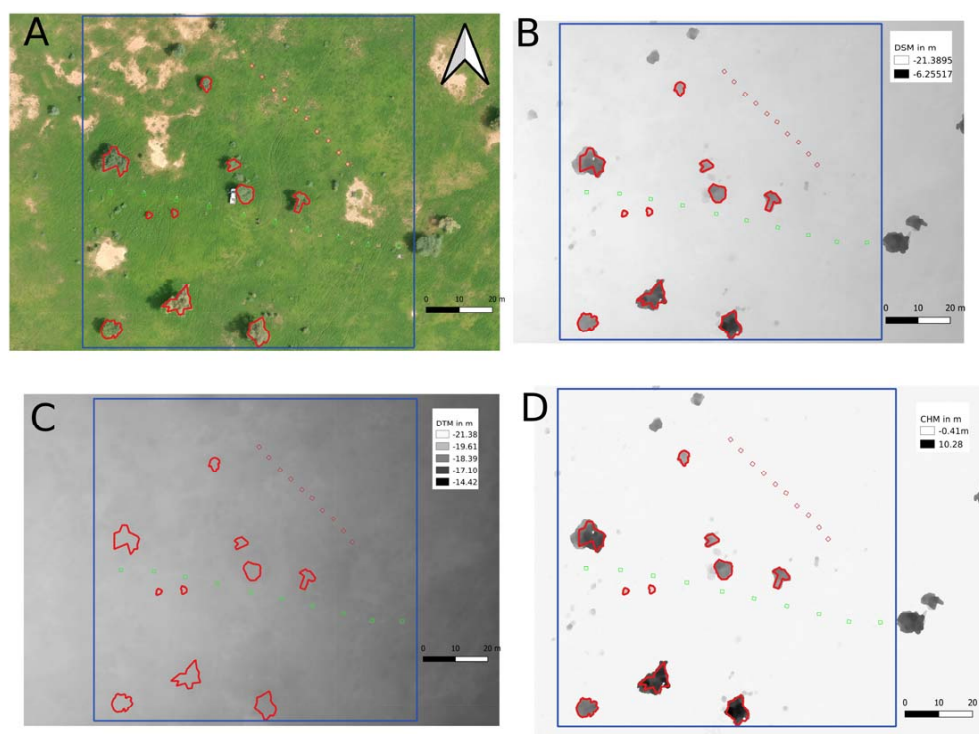


Figure 2: UAV outputs in Sahelian savanna. A) Orthomosaic with the position of the plot, the 10 selected trees and the 1-m² quadrats. B) DSM: digital surface model with the plot and the 10 selected trees. C) DTM: digital terrain model with the plot limits. D) CHM: canopy height model obtained by the difference between DSM and DTM // Images obtenues par drone dans la savane sahélienne. A) Orthomosaïque avec la position de la parcelle, les 10 arbres sélectionnés et les quadrats de 1 m². B) DSM : modèle numérique de surface avec la parcelle et les 10 arbres sélectionnés. C) DTM : modèle numérique de terrain avec les limites de la parcelle. D) CHM : modèle de hauteur de la canopée obtenu par la différence entre DSM et DTM.

within an object (tree and squares) (STD) obtained from CHM, volume (Vol) and the three normalized indices (NGRDI, NBGDI and NRBDI). Woody phytomasses from the allometric equations were related with the PLS from the previous variables along with the crown area (Area) and the ratio of the area to the maximum crown height (AH). R^2 of the two axes were used to describe the explained variances of the two axes of the PLS. It corresponded to the correlation between the Y variables (here phytomass) and the axes of the PLS constructed with the UAV output variables. Q^2 represents the cross-validation results for each response variable (Sanchez, 2012). This value results of a cross validation and can be used to evaluate the predictive ability of the PLS regression.

■ RESULTS

Woody phytomass

Figure 3 shows the correlation circle obtained from the PLS regression made to predict the woody phytomass of trees obtained with the allometric equations. R^2 (explained variance) was 0.59 for the first axis and 0.03 for the second. The biomass is mostly explained by the first axis of the PLS. The second axis was not important. The cumulative Q^2 of the PLS was 0.57 (Q^2 of 0.57 for the first axis and 0.02 for the second). The woody phytomass was strongly correlated with the maximum height (max) and mean height of the trees (mean). The other structural indices (volume, standard deviation and area/height ratio) were also linked with the woody phytomass but less correlated than height. The three color indices were not linked with the woody phytomass (see Suppl. Mat. for predicted vs observed phytomass).

Herbaceous phytomass

Figure 4 shows the correlation circle obtained from the PLS regression on dry and fresh matter phytomass (respectively DM and FM). R^2 was 0.71 for the first axis and 0.02 for the second. Q^2 for DM was 0.67 for the first axis and 0.02 for the second (cumulative $Q^2 = 0.68$). Q^2 for FM was 0.73 for the first axis and 0.09 for the second (cumulative $Q^2 = 0.76$). Both masses were strongly correlated and linked with the two-color indices calculated with the green color: NBGDI and NGRDI (see Suppl. Mat. for predicted vs observed phytomass).

■ DISCUSSION

Our results showed that low-cost UAV can be used to evaluate efficiently the herbaceous phytomass and the woody leaf biomass. The percentage of variance explained by UAV outputs was around 60% for the woody leaf phytomass and 70% for the herbaceous phytomass. The woody phytomass was mainly related to the 3D variables (area, height) and not to the color-based indices. Many studies have shown that UAV-based indices can be linked to the morphological features of trees (Surový et al., 2018). However, in our case, 41% of the variability of the woody phytomass was not explained by any UAV output. One part of the error observed could be due to the way we calculated the woody phytomass. We used allometric equations based on the trunk diameter. Collecting the woody phytomass (all the leaves of the tree) is laborious, so allometric equations with a few individuals are generally preferred and are not available for all species (Henry et al., 2011). Another source of imprecision could be due to the error from the allometric equation.

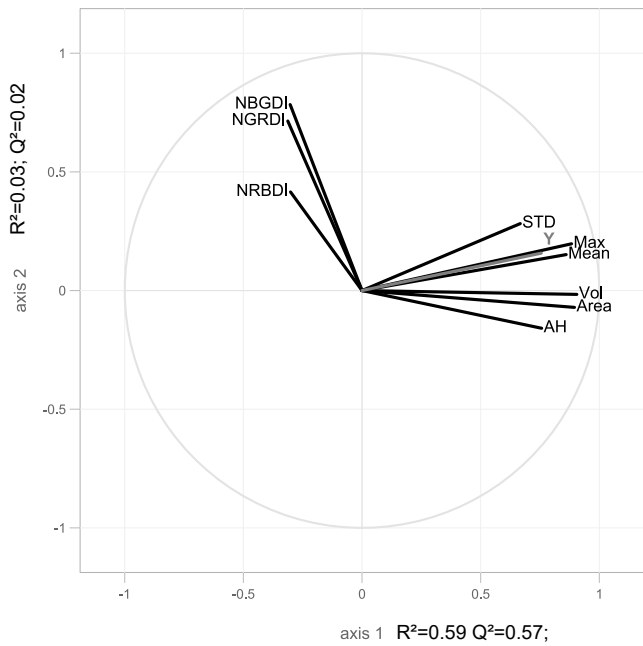


Figure 3: Partial-least-square regression between UAV variables and phytomass of the woody species (Y). UAV variables are the maximum height (Max), mean height (Mean), standard deviation of the tree height (STD), projected volume (Vol), crown area (Area), ratio between maximum height and crown area (AH), and three normalized vegetation indices: NRBBDI, between red and blue canals (Red-Blue) / (Red Blue); NGRDI, between red and green canals (Red-Green) / (Red Green); NGBDI, between green and blue canals (Green-Blue) / (Green Blue). R² explains variance of each axis // Régression par moindres carrés partiels entre les variables obtenues par drone et la phytomasse des espèces ligneuses (Y). Les variables drone sont la hauteur maximale (Max), la hauteur moyenne (Mean), l'écart-type de la hauteur des arbres (STD), le volume projeté (Vol), la superficie de la couronne (Area), le rapport entre la hauteur maximale et la superficie de la couronne (AH), et trois indices de végétation normalisés : NRBBDI, entre les canaux rouge et bleu (Red-Blue) / (Red Blue) ; NGRDI, entre les canaux rouge et vert (Red-Green) / (Red Green) ; NGBDI, entre les canaux vert et bleu (Green-Blue) / (Green Blue). R² explique la variance de chaque axe

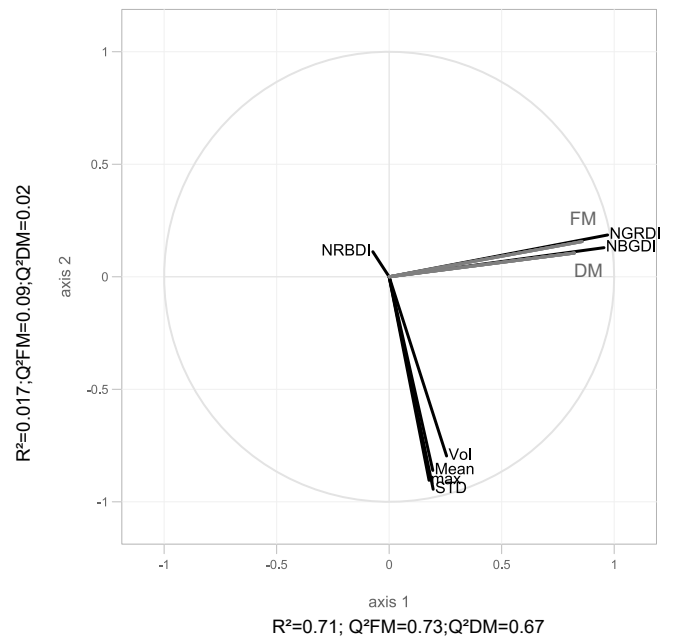


Figure 4: Partial-least-square regression between UAV variables and herbaceous phytomass: fresh phytomass (FM) and dry phytomass (DM). UAV variables are the maximum height (Max), average height (Mean), and standard deviation (STD) of the quadrats, volume of the quadrats (Vol), and three normalized vegetation indices: NRBBDI, between red and blue canals (Red-Blue) / (Red Blue); NGRDI, between red and green canals (Red-Green) / (Red Green); NGBDI, between green and blue canals (Green-Blue) / (Green Blue). R² explains variance of each axis. Q² is obtained from the cross-validation process // Régression par moindres carrés partiels entre les variables obtenues par drone et la phytomasse herbacée : phytomasse fraîche (FM) et sèche (DM). Les variables drone sont la hauteur maximale (Max), moyenne (Mean) et l'écart-type (STD) des quadrats, le volume des quadrats (Vol), et trois indices de végétation normalisés : NRBBDI, entre les canaux rouge et bleu (Red-Blue) / (Red Blue) ; NGRDI, entre les canaux rouge et vert (Red-Green) / (Red Green) ; NGBDI, entre les canaux vert et bleu (Green-Blue) / (Green Blue). R² explique la variance de chaque axe. Q² est obtenu par processus de validation croisée

An additional source of uncertainty could be the accuracy of the GPS positioning of the images. Indeed, Spark only records the geolocation at the second degree (around 10 m) with no decimal point (contrary to other commonly used UAV for photogrammetry that have better geolocation accuracy). This limited geolocation capacity impacts the first step in PIX4D software. In the first step, the geolocation is corrected based on key points that are similar in different images. The geolocation of the image is the only referential that defines all the measurements that are used to define all the metrics in the 3D model so it can change. One way to correct the referential would be to position a 'reference' of known height, length and width (for example a car) in the plot. The most recent UAV such as DJI Mavic or Parrot Anafi have better geolocation accuracy. The problem is less important for herbaceous plants because they are mostly related to color based variables.

We did not correct the color reflectance between the different plots and the flights did not take place in exactly the same meteorological and sunlight conditions. That means that we did not use a color reference on the ground nor flew in normalized light conditions (i.e. flying only in homogenous cloudy conditions, or before sunrise or after sunset). We were not able to compare data with and without calibration but one part of the unexplained biomass variability could be explained by the differences in light conditions. Another possibility to improve the quality of the relationship would be to test some other vegetation indices based on RGB colors (Xue et Su, 2017). In our

work, we only used visible colors. In many remote sensing studies, infrared is used to evaluate the vegetation biomass. We can assume that infrared could improve the quality of the prediction. Hyperspectral UAV could also capture the quality and not only the quantity of forage (Gao et al., 2019). However, multi- and hyper-spectral UAV are more expensive than visible UAV.

In our work the 3D indices based on photogrammetry were not related to herbaceous phytomass. In other studies (Lussem et al., 2019; Possoch et al., 2016), 3D indices were more relevant as predictors. These studies were mostly based on experimental designs that created more visible differences in plant heights. Furthermore, flight altitude was lower (around 20 m above ground). We chose a flight height of 80 m to obtain a good 3D representation of the woody layer (Sadeghi et Sohrabi, 2019). Indeed, in low flight height, the distance between the tree crown and the captor is too short, which can be problematic in the photogrammetry of woody individuals and sometime of the whole plot.

■ CONCLUSION

This study shows that it is possible to use low-cost UAV to predict woody and herbaceous phytomass in the savanna. For the woody phytomass, the estimation is mainly based on the 3D structure of the woody individuals. The link between UAV and tree structure is generic and not impacted by the UAV type. For herbaceous plants,

we may assume that the relationships are less generic and have to be calibrated for each study. UAV can be used as an intermediate tool between field measurements and remote sensing images usually used for vegetation monitoring. UAV can produce a biomass map of several hectares considering the vegetation variability. The UAV map produced can be linked with remote sensing data. The use of UAV is one way to reduce the sampling effort in the field that is usually undertaken to monitor vegetation in this region. The very high resolution RGB mosaics are also useful to study spatial patterns of vegetation and particularly the impact of the woody cover on the herbaceous cover.

Acknowledgments

This research was financed by the Carbon Sequestration and Greenhouse Gas Emissions in (Agro) Sylvopastoral Ecosystems in the Sahelian CILSS States (CaSSECS) project, supported by the European Union under the Development Smart Innovation through Research in Agriculture (DeSIRA) Initiative. The opinions expressed in this article are not necessarily those of the European Union.

Author contributions statement

MB, ST and EF carried out conceptualization, data curation and formal analysis. OD, ON and MD performed investigation. ST made the figures, wrote the original draft and obtained funding. MB, EF, OD, ST, MD, OD developed the methodology. MB, OD, ON, SD, AA, PC, LL, AAD, MD, EF contributed to reviewing and editing.

Conflicts of interest

The authors declare no conflict of interest.

REFERENCES

- Anifantis A.S., Camposeo S., Vivaldi G.A., Santoro F., Pascuzzi S., 2019. Comparison of UAV photogrammetry and 3D modeling techniques with other currently used methods for estimation of the tree row volume of a super-high-density olive orchard. *Agriculture* **9** (11): 233, doi: 10.3390/agriculture911023
- Becker C., Häni N., Rosinskaya E., d'Angelo E., Strecha C., 2017. Classification of aerial photogrammetric 3D point clouds. *ISPRS Ann. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, IV-1W/1: 3-10 doi: 10.5194/isprs-annals-IV-1-W1-3-2017
- Bourgoin C., Betbeder J., Couteron P., Blanc L., Dessard H., Oszwald J., Le Roux R., et al., 2020. UAV-based canopy textures assess changes in forest structure from long-term degradation. *Ecol. Ind.*, **115**: 106386, doi: 10.1016/j.ecolind.2020.106386
- Brandt M., Mbow C., Diouf A.A., Verger A., Samimi C., Fensholt R., 2015. Ground- and satellite-based evidence of the biophysical mechanisms behind the greening Sahel. *Global Change Biol.*, **21** (4): 1610-1620
- Brandt M., Tucker C.J., Kariryaa A., Rasmussen K., Abel C., Small J., Chave J., et al., 2020. An unexpectedly large count of trees in the West African Sahara and Sahel. *Nature*, **587**: 78-82, doi: 10.1038/s41586-020-2824-5
- Cunliffe A.M., Brazier R.E., Anderson K., 2016. Ultra-fine grain landscape-scale quantification of dryland vegetation structure with drone-acquired structure-from-motion photogrammetry. *Remote Sens. Environ.*, **183**: 129-143, doi: 10.1016/j.rse.2016.05.019
- Fall A., 2014. Approche géographique de la vulnérabilité des anthroposystèmes sahéliens. Thèse Doct., Sorbonne, Paris, France
- Gao R., Kong Q., Wang H., Su Z., 2019. Diagnostic feed values of natural grasslands based on multispectral images acquired by small unmanned aerial vehicle. *Rangel. Ecol. Manag.*, **72** (6): 916-922
- Garba I., Cesaro J.-D., Touré I., Ickowicz A., Toutain B., 2012. Evolution des transhumances. In: Atlas des évolutions des systèmes pastoraux au Sahel : 1970-2012. FAO, Rome, Italie, p. 14-15
- Grenzdörffer G., Engel A., Teichert B., 2008. The photogrammetric potential of low-cost UAV in forestry and agriculture. *Remote Sens. Spat. Inf. Sci.*, **31** (B3): 1207-1214
- Henry M., Picard N., Trotta C., Manlay R., Valentini R., Bernoux M., Saint André L., 2011. Estimating tree biomass of subSaharan African forests: a review of available allometric equations. *Silv. Fenn.*, **45** (3B): 477-569, doi: 10.14214/sf.38
- Hiernaux P., 2006. Le suivi écologique de Widou Thiengoly : un patrimoine scientifique à développer et valoriser. Rapport de mission, Saint-Louis, Sénégal, PAF 47
- Hiernaux P., Gérard B., 1999. The influence of vegetation pattern on the productivity, diversity and stability of vegetation: The case of brousse tigrée in the Sahel. *Acta oecologica*, **20** (3): 147-158, doi: 10.1016/S1146-609X(99)80028-9
- L'Hôte Y., Mahé G., Somé B., Triboulet J.P., 2002. Analysis of a Sahelian annual rainfall index from 1896 to 2000; the drought continues. *Hydrol. Sci. J.*, **47** (4): 563-572, doi: 10.1080/02626660209492960
- Le Houerou H.N., 1980. The rangelands of the Sahel. *J. Range Manag.*, **33** (1): 41-46, doi: 10.2307/3898226
- Lesnoff M., Corniaux C., Hiernaux P., 2012. Sensitivity analysis of the recovery dynamics of a cattle population following drought in the Sahel region. *Ecol. Model.*, **232**: 28-39, doi: 10.1016/j.ecolmodel.2012.02.018
- Levang P., Grouzis M., 1980. Méthodes d'étude de la biomasse herbacée de formations sahéliennes: application à la Mare d'Oursi, Haute-Volta. *Oecol. Plant.*, **1** (15): 231-244
- Lussem U., Bolten A., Gnyp M., Jasper J., Bareth G., 2018. Evaluation of RGB-based vegetation indices from UAV imagery to estimate forage yield in grassland. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, **42** (3): 1215-1219, doi: 10.5194/isprs-archives-XLII-3-1215-2018
- Lussem U., Bolten A., Menne J., Gnyp M.L., Schellberg J., Bareth G., 2019. Estimating biomass in temperate grassland with high resolution canopy surface models from UAV-based RGB images and vegetation indices. *J. Appl. Remote Sens.*, **13** (3): 034525, doi: 10.1117/1.JRS.13.034525
- Mayr M.J., Malß S., Ofner E., Samimi C., 2018. Disturbance feedbacks on the height of woody vegetation in a savannah: a multi-plot assessment using an unmanned aerial vehicle (UAV). *Int. J. Remote Sens.*, **39** (14): 4761-4785, doi: 10.1080/01431161.2017.1362132
- Pecina M.V., Bergamo T.F., Ward R., Joyce C., Sepp K., 2021. A novel UAV-based approach for biomass prediction and grassland structure assessment in coastal meadows. *Ecol. Indic.*, **122**: 107227
- Possoc'h M., Bieker S., Hoffmeister D., Bolten A., Schellberg J., Bareth G., 2016. Multi-temporal crop surface models combined with the RGB vegetation index from UAV-based images for forage monitoring in grassland. *Remote Sens. Spat. Inf. Sci.*, **41**: 991, doi: 10.5194/isprsarchives-XLI-B1-991-2016
- Raynal J., 1964. Etude botanique de pâturages du Centre de Recherches Zootechniques de Dahra-Djolo (Sénégal). Orstom, Paris, France, 99 p.
- Roupsard O., Audebert A., Ndour A.P., Clermont-Dauphin C., Agbohessou Y., Sanou J., Koala J., et al., 2020. How far does the tree affect the crop in agroforestry? New spatial analysis methods in a Faidherbia parkland. *Agric. Ecosyst. Environ.*, **296**: 106928, doi: 10.1016/j.agee.2020.106928
- Sadeghi S., Sohrobi H., 2019. The effect of UAV flight altitude on the accuracy of individual tree height extraction in a broad-leaved forest. *Remote Sens. Spat. Inf. Sci.*, **42** (4/W18), doi: 10.5194/isprs-archives-xlii-4-w18-1168-2019
- Sanchez G., 2012. plsdepot: Partial Least Squares (PLS) Data Analysis Methods. R package version 0.1.17. <https://CRAN.R-project.org/package=plsdepot>
- Sarron J., 2019. Estimation spatialisée des rendements d'une culture pérenne en Afrique de l'Ouest : le cas du manguier au Sénégal. SupAgro, Montpellier, France
- Surový P., Almeida Ribeiro N., Panagiotidis D., 2018. Estimation of positions and heights from UAV-sensed imagery in tree plantations in agrosilvopastoral systems. *Intern. J. Remote Sens.*, **39** (14): 4786-4800, doi: 10.1080/01431161.2018.1434329
- Taugourdeau S., Le Maire G., Avelino J., Jones J.R., Ramirez L.G., Quesada M.J., Charbonnier F., et al., 2014. Leaf area index as an indicator of ecosystem services and management practices: an application for coffee agroforestry. *Agric. Ecosyst. Environ.*, **192**: 19-37, doi: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2014.03.042>
- Tenenhaus M., 1998. La régression PLS: théorie et pratique. Technip, Paris, France, 254 p.
- White L., 1970. Brousse tigrée patterns in southern Niger. *J. Ecol.*, **58** (2): 549-553, doi: 10.2307/2258290
- Xue J., Su B., 2017. Significant remote sensing vegetation indices: A review of developments and applications. *J. Sens.*, Article ID 1353691, 17 p., doi: 10.1155/2017/1353691

Résumé

Bossoukpe M., Ndiaye O., Diatta O., Diatta S., Audebert A., Couteron P., Leroux L., Diouf A.A., Dendoncker M., Faye E., Taugourdeau S. Un drone pour l'évaluation de la phytomasse ligneuse et herbacée des savanes sahéliennes

La phytomasse des plantes herbacées et ligneuses est la principale source d'alimentation du bétail pastoral dans les savanes sahéliennes. L'évaluation de la matière première disponible joue un rôle clé dans les politiques nationales d'élevage et nécessite généralement de nombreux relevés de mesures de terrain des plantes herbacées et ligneuses. Dans cette étude, nous avons testé la possibilité d'utiliser un drone à bandes spectrales rouge-vert-bleu (RGB) pour évaluer la phytomasse des espèces ligneuses et herbacées. Avec un drone *Dji Spark* nous avons ainsi cartographié 38 parcelles d'un hectare dans le nord du Sénégal. La phytomasse herbacée a été mesurée au sol. Pour les communautés ligneuses, nous avons évalué la phytomasse foliaire en utilisant des paramètres dendrométriques associés à des équations allométriques. Nous avons effectué des régressions des moindres carrés partiels entre les indices (en trois dimensions et couleurs) obtenus par drone et la phytomasse. Les résultats ont montré un Q^2 (résultats de validation croisée pour chaque variable de réponse) de 0,57 pour la phytomasse des ligneux, 0,68 pour la masse sèche des herbacées, et 0,76 pour leur masse fraîche. Cette étude a confirmé la pertinence de l'utilisation d'un drone RGB à faible coût pour l'évaluation de la phytomasse des savanes.

Mots-clés : biomasse aérienne, arbre, graminée, imagerie multispectrale, conduite des herbages, Sahel, Sénégal

Resumen

Bossoukpe M., Ndiaye O., Diatta O., Diatta S., Audebert A., Couteron P., Leroux L., Diouf A.A., Dendoncker M., Faye E., Taugourdeau S. Un dron para la evaluación de la fitomasa leñosa y herbácea de las sabanas sahelianas

La fitomasa de las plantas herbáceas y leñosas es la principal fuente de alimentación del ganado de pastoreo en las sabanas sahelianas. La evaluación de la materia prima disponible juega un rol clave en las políticas nacionales de cría y requiere generalmente numerosas tomas de medidas de terreno de las plantas herbáceas y leñosas. En este estudio, hemos examinado la posibilidad de utilizar un dron de bandas espectrales rojo-verde-azul (RGB) para evaluar la fitomasa de las especies leñosas y herbáceas. Con un dron *Dji Spark* hemos así cartografiado 38 parcelas de una hectárea en el norte de Senegal. La fitomasa herbácea fue medida en el suelo. Para las comunidades leñosas, hemos evaluado la fitomasa foliar utilizando parámetros dendrométricos asociados a ecuaciones alométricas. Hemos efectuado regresiones de mínimos cuadrados parciales entre los índices (en tres dimensiones y a color) obtenidos mediante dron y la fitomasa. Los resultados mostraron un Q^2 (resultados de validación cruzada para cada variable de respuesta) de 0,57 para la fitomasa de las leñosas, 0,68 para la masa seca de las herbáceas y 0,76 para su masa fresca. Este estudio confirmó la pertinencia de la utilización de un dron RGB de bajo costo para la evaluación de la fitomasa de las sabanas.

Palabras clave: biomasa sobre el suelo, árboles, gramíneas, imágenes multispectrales, manejo de praderas, Sahel, Senegal

Prévalence des fumonisines dans les aliments pour volaille en Algérie

Dahmane Mohammedi ^{1*} Sarah Mohammedi ²
Moustafa Kardjadj ²

Mots-clés

Aliment pour animaux, alimentation des volailles, fumonisines, Algérie

© D. Mohammedi et al., 2021



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

Accepted: 22 October 2021

Published: 20 December 2021

DOI: 10.19182/remvt.36814

Résumé

Les fumonisines sont des mycotoxines produites par le genre *Fusarium*, et plus particulièrement *Fusarium verticillioides* (anciennement appelé *F. moniliforme*) et *F. proliferatum*. Elles ont une large distribution et une grande importance économique et sanitaire. Les plus courantes sont la fumonisine B1 (FB1) et la fumonisine B2 (FB2). La FB1 est un puissant cancérigène chez les animaux de laboratoire et elle est suspectée d'être à l'origine du cancer de l'œsophage chez les humains. Les fumonisines sont également considérées comme altérant l'intégrité intestinale chez la volaille, engendrant de l'entérite nécrotique responsable de diarrhées et réduisant les performances zootechniques. Cet article présente la prévalence des FB1 et FB2 dans des aliments pour volaille prélevés dans plusieurs sites (wilayas) en Algérie. La méthode d'analyse LC/MS/MS a été utilisée pour déterminer les concentrations de fumonisines. Les FB1 et FB2 ont été retrouvées dans les 69 échantillons testés, dont 11,60 % avaient des concentrations inférieures à 400 µg/kg, 53,62 % des concentrations inférieures à 3000 µg/kg et 34,78 % des concentrations supérieures à 3000 µg/kg. C'est la première étude en Algérie montrant qu'il serait important de rechercher les fumonisines dans les aliments pour volaille et d'éviter d'utiliser ceux dont les teneurs dépasseraient les seuils considérés comme élevés. Il serait donc justifié d'établir des limites de fumonisines à ne pas dépasser dans l'aliment pour volaille. Lors de pertes de performances et de dysfonctionnement du système immunitaire, les vétérinaires devraient rechercher la présence éventuelle de fumonisines.

■ Comment citer cet article : Mohammedi D., Mohammedi S., Kardjadj M., 2021. Prevalence of fumonisins in poultry feed in Algeria. *Rev. Elev. Med. Vet. Pays Trop.*, 74 (4): 207-211, doi: 10.19182/remvt.36814

■ INTRODUCTION

La recherche sur les fumonisines remonte à 1988, lors de l'identification d'une classe jusqu'ici inconnue de métabolites secondaires qui, à partir de ce moment, a été appelée « fumonisines » ; elle a permis la même année d'identifier leur structure chimique (Chulze et al., 1996). Au cours des premières isolations, ces toxines ont été récupérées dans des cultures de *Fusarium verticillioides* (anciennement appelé *Fusarium moniliforme*) infestant le maïs mais d'autres moisissures, comme *Fusarium proliferatum*, produisent également des fumonisines. Ces deux espèces sont des contaminants fréquents du maïs et se développent au champ, avant la récolte. Les fumonisines ont une analogie structurale avec la sphinganine et la sphingosine,

constituants du squelette hydrocarboné des sphingolipides. « Ces molécules assurent dans l'organisme plusieurs fonctions dont la croissance, la différenciation et la mort cellulaire » (Wang et al., 1991). Les fumonisines les plus courantes sont les B1, B2 et B3, la B1 étant la plus considérée en ce qui concerne la toxicité et la distribution. Dans leur forme libre, elles peuvent être facilement détectées mais cela peut ne pas être simple dans le cas des mycotoxines masquées (Dall'Asta et Battilani, 2016).

Une classification récente divise ces mycotoxines en formes matricielles (interactions covalentes avec les composants de la matrice, complexation ou emprisonnement physique avec les biopolymères de la matrice) et en formes modifiées (combinaison des deux) (Rychlik et al., 2014). Un exemple de mycotoxines associées à la matrice est celui des fumonisines emprisonnées dans des macroconstituants comme l'amylose ou l'amylopectine (Dall'Asta et Battilani, 2016). En revanche, ces derniers composés sont toujours formés par la modification des structures chimiques de base des mycotoxines libres. Cela donne lieu à des mycotoxines biologiquement modifiées (par exemple, par métabolisation fongique ou par des mécanismes de défense des

1. Ecole nationale supérieure vétérinaire, rue Issad Abbes, Oued Smar, Alger, Algérie.

2. ESSAIA, Beaulieu, Oued Smar, Alger, Algérie.

* Auteur pour la correspondance

Tél. : +213 (0)55 99 32 29 ; email : mohammedidahmane@yahoo.fr

plantes) ou à des mycotoxines chimiquement modifiées (Rychlik et al., 2014). En ce qui concerne la fumonisine B1 (FB1), la toxicité a effectivement été associée à des effets néfastes sur le métabolisme des lipides, y compris les effets sur les phospholipides et les acides gras, des tendances ressemblant de près à celles observées dans les nodules hépatocytaires obtenus à l'aide de modèles d'initiation / de stimulation de cancer (Riedel et al., 2016).

Le mécanisme d'action de la toxicité des fumonisines chez les animaux semble être attribuable à la perturbation du métabolisme des sphingolipides. Les données actuelles indiquent que les fumonisines sont des inhibiteurs spécifiques du céramide synthétase (sphinganine/sphingosine N-acyltransférase), une enzyme-clé requise pour la synthèse de céramides et de sphingolipides plus complexes. L'inhibition de ce système enzymatique entraîne une augmentation des concentrations tissulaires de sphingolipides sphingosine (So) et sphinganine (Sa), ainsi qu'un changement du rapport Sa:So. Une augmentation du rapport Sa:So a été observée dans les tissus de poulets de chair, de dindons et de canetons recevant de la FB1 (Li et al., 2012).

Des anomalies du tube neural et un retard de croissance ont été observés chez les enfants (Missmer et al., 2006) exposés aux fumonisines. De nombreux rapports établissent un lien entre l'exposition élevée à la FB1 et les cas de cancer de l'œsophage chez les humains. Toutefois, la relation de cause à effet entre l'exposition à la fumonisine et le cancer chez les humains n'a pas encore été établie sans équivoque. La FB1 est considérée de ce fait comme un cancérigène du groupe 2B (possiblement cancérigène pour les humains ; IARC, 2002).

Chez les animaux, les symptômes de l'intoxication à la fumonisine sont divers. Après l'exposition, les porcs sont atteints d'un œdème pulmonaire porcin, les chevaux souffrent de lésions hémorragiques et liquéfiées du cerveau (leuco-encéphalopathie équine). Chez les animaux de laboratoire et d'élevage, la FB1 est un cancérigène puissant. En général, la volaille est relativement résistante à la toxicité des fumonisines comparativement aux porcs et aux chevaux (Li et al., 2012).

La DL₅₀ (dose létale administrée en une fois qui cause la mort de 50 % d'un groupe d'animaux d'essai, mesurant le potentiel toxique à court terme d'une matière) de la FB1 par injection dans la chambre à air d'œufs embryonnés a été établie à 18,7 µg par œuf. L'évaluation comparative de l'embryotoxicité a révélé une toxicité plus élevée de la FB1 que des FB2 ou FB3 (Henry et Wyatt, 2001). Chez la volaille, d'importantes différences de sensibilité aux effets nocifs des FB sont observées selon l'âge et l'espèce. Une augmentation des mortalités attribuables à la FB1 n'a été observée que chez les poulets de chair au cours des trois premiers jours de vie (125 mg/kg d'aliment) et chez les canards de 12 à 14 semaines (20 mg/kg d'aliment). Aucune mortalité n'a été enregistrée chez les poules pondeuses, les dindons ou les poulets de chair plus âgés nourris à des doses élevées de FB1 (200 mg/kg d'aliment) pendant plusieurs semaines (Kubena et al., 1999).

La présence de fortes concentrations de fumonisines dans les aliments pour poulets de chair (100 mg/kg) a une incidence sur leurs performances zootechniques. Les poussins de chair recevant un aliment contaminé par la FB1 à des doses allant de 100 à 400 mg/kg pendant deux à trois semaines montrent une diminution proportionnelle de leur consommation alimentaire et de leur gain de poids vif (Knap et al., 2010).

Dans des conditions expérimentales, aucun effet négatif sur les paramètres de performance zootechniques n'a été observé à des niveaux de contamination inférieurs à la teneur maximale recommandée en Europe de 20 mg FB1 et FB2 / kg d'aliment pour volailles ayant une teneur en eau de 12 % (European Commission, 2007). Cependant, l'augmentation du rapport Sa:So a clairement montré la toxicité de la

FB1 chez les poulets de chair lorsqu'elle est administrée à 20 mg/kg pendant trois semaines (Henry et Wyatt, 2001).

Cependant, dans les conditions d'élevage habituelles ou de terrain, les animaux sont constamment soumis à une variété de stress en plus des mycotoxines. Ceci les rend bien plus sensibles aux mycotoxines, donnant des symptômes même à des niveaux bien en dessous de ceux considérés comme dangereux par la réglementation ou dans des études scientifiques. Ainsi, une concentration de fumonisines supérieure à 3000 µg/kg représente un risque élevé pour la volaille de chair ou pour les poules pondeuses (Biomin, GmbH, Getzersdorf, Austria). De plus, une dose journalière maximale admissible temporaire pour les fumonisines a été fixée chez les humains à 2 µg/kg/jour en raison de l'absence d'effets indésirables observés sur la néphrotoxicité chez les rats mâles (WHO, 2015).

Antonissen et al. (2015) ont observé une augmentation du ratio Sa:So mais aussi des effets au niveau de l'intestin chez les poulets recevant 18 600 µg/kg d'aliment de FB1 et FB2 à l'âge de 1 à 23 jours. La hauteur des villosités et la profondeur des cryptes ont été diminuées au niveau de l'iléon et la population de *Clostridium perfringens* a été significativement augmentée. L'exposition aux fumonisines pourrait donc prédisposer les animaux à développer une entérite nécrotique. Afin de réduire l'exposition à la fumonisine, les autorités de plusieurs pays ont adopté des limites maximales ou des niveaux d'orientation recommandés pour le maïs et les produits à base de maïs (USFDA, 2001 ; Commission européenne, 2007) (Braun et Wink, 2018).

■ MATERIEL ET METHODES

Zone d'étude

L'Algérie s'étend sur 2 381 741 kilomètres carrés et compte 44 millions d'habitants. Pour les besoins de l'étude, le pays a été divisé en cinq régions (figure 1) : le Centre-Nord (35,3-36,8° N et 1-4,7° E) avec 10 wilayas, le Nord-Ouest (35-36,3° N et 2° O - 1° E) avec 10 wilayas, le Nord-Est (35,3-37° N et 4,7-8,5° E) avec 9 wilayas, la région steppique (33-35,3° N et 2° O - 8,5° E) avec 11 wilayas, et le Sud (Sahara) (19-33° N et 8,8° O - 12° E) avec 11 wilayas. La région steppique et la région saharienne ont été exclues de l'étude car l'élevage avicole y est très rare. Le climat est de type méditerranéen sur toute la zone Nord (étés chauds et secs, hivers humides et frais).

Prélèvements des échantillons

Six wilayas ont été sélectionnées en raison de leur accessibilité pour effectuer les prélèvements : Oran, Tlemcen, Sétif, Batna, Médéa et Boumerdès. Les prélèvements ont eu lieu sur deux saisons : l'hiver, de janvier 2015 à février 2015 ; et l'été, de juin 2016 à juillet 2016. Au total, 69 échantillons d'aliments pour volaille (poulet de chair) ont été prélevés : 24 dans le Nord-Ouest, 23 dans le Centre-Nord, et 22 dans le Nord-Est.

Nous avons prélevé 100 g d'aliment à partir de dix sacs de 50 kg et les avons rassemblés pour constituer un échantillon de 1 kg d'aliment

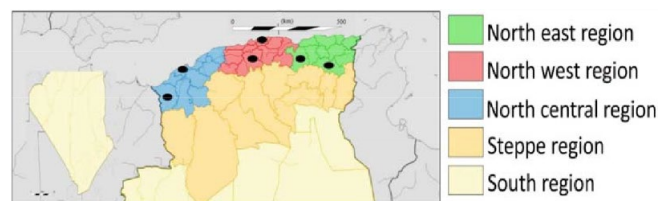


Figure 1 : Carte d'Algérie montrant les trois zones de prélèvements d'échantillons d'aliment pour volaille // Map of Algeria showing the three sampling areas for poultry feed

complet dont la composition a été la même dans tous les élevages (maïs 61 %, tourteau de soja 29 %, son de blé 6 %) et l'avons placé dans un sac mentionnant les coordonnées de l'éleveur. Par ailleurs, nous avons considéré que les élevages industriels de petite taille avaient une bande de poulets inférieure à 10 000 poulets et que ceux de grande taille avaient une bande supérieure à 10 000 poulets.

Analyse des échantillons

Les échantillons ont été placés dans des sacs en plastique scellés où ils ont été conservés à 4 °C pendant une semaine puis transférés en Autriche (University of Natural Resources and Life Sciences Center for Analytical Chemistry, Department IFA, Tulln) pour analyse sans traitement ultérieur.

Cinq grammes de chaque échantillon ont été extraits avec 20 ml de solvant d'extraction (SE) (acétonitrile/eau / acide acétique, 79:20:1, v:v:v) pendant 90 min à 180 tr/min à l'aide d'un agitateur rotatif (GFL 3017, Burgwedel, Allemagne). Ensuite, 500 µl de chaque extrait ont été transférés dans un flacon en verre de 1,5 ml contenant un volume égal de solvant de dilution (SD) (acétonitrile/eau / acide acétique, 20:79:1, v:v:v) et agités par vortex pendant 30 s. Puis, 5 µl de l'extrait dilué ont été injectés dans un système LC/ESI/MS/MS. Des expériences d'enrichissement ont été effectuées pour obtenir la gamme étalon et déterminer la récupération apparente des métabolites cibles. Trois échantillons les moins contaminés (0,25 g chacun), considérés comme des aliments non complétés, ont été enrichis chacun de 100 µl de multimétabolite étalon, bien mélangés et conservés à la température ambiante dans l'obscurité dans une hotte durant la nuit pour établir l'équilibre entre les métabolites et la matrice. Par la suite, 1 ml de SE a été ajouté et placé sur un agitateur rotatif à 180 tr/min pendant 90 min. Puis, 300 µl d'extrait ont été dilués avec 300 µl de SD et agités par vortex pendant 30 s, et 5 µl ont été injectés dans le système LC/ESI/MS/MS.

La détection et la quantification ont été effectuées à l'aide d'un système QTRAP 5500 LC/ESI/MS/MS (AB SCIEX, CA, USA) équipé d'une source d'ionisation par pulvérisation d'ions turbo (ESI) et d'un système CLHP (Agilent Technologies 1290 Infinity). La séparation

chromatographique a été effectuée à 25 °C sur une colonne Gemini C18 (Phenomenex, CA, USA). L'ESI-MS/MS a été réalisé en mode de surveillance de réaction multiple prévu à la fois en polarité positive (54 s) et négative (96 s) (temps de cycle = 1 s) avec deux injections distinctes dans l'appareil par échantillon en analysant deux réactions de fragmentation par analyse.

Avec des caractéristiques optimales de performance de la méthode, les mycotoxines ont été quantifiées à l'aide d'un étalonnage externe (pondéré 1/x) et les niveaux ont ensuite été ajustés en fonction de la récupération calculée à partir de la gamme étalon. Chaque mycotoxine présente dans les échantillons a été quantifiée en comparant l'aire relative à son pic à celle de l'étalon correspondant. Les limites de détection et de quantification ont été estimées à la concentration la plus faible dans les échantillons enrichis correspondant à un rapport signal-bruit respectivement de 3:1 et 10:1.

■ RESULTATS ET DISCUSSION

Cette enquête est la première sur la présence de fumonisines dans les aliments pour volaille en Algérie à l'aide d'une technique LC/MS/MS. Elle a concerné 69 échantillons d'aliments de poulet de chair provenant de différentes wilayas du pays, analysés pour les FB1 et FB2. Le profil de contamination par les mycotoxines a montré clairement que les fumonisines (FB1 et FB2) étaient des contaminants courants des aliments pour volaille en Algérie.

Les FB1 et FB2 ont été retrouvées dans tous les échantillons à différentes concentrations (tableau I). Ces concentrations ont été inférieures à 400 µg/kg dans 11,60 % des échantillons, inférieures à 3000 µg/kg dans 53,62 % d'entre eux et supérieures à 3000 µg/kg dans 34,78 %. Les écarts-types ont été calculés pour tous les échantillons sur la base de deux répétitions.

L'étude montre qu'il n'y a pas de différences significatives entre les régions, ni entre les tailles de l'élevage, ni entre les saisons (tableau I). En effet, les fumonisines sont des mycotoxines produites dans les champs, d'où leur nom « mycotoxines des champs », tout comme les

Tableau I : Répartition des concentrations de fumonisines (B1 et B2) dans l'aliment pour volaille selon la région, l'élevage et la saison en Algérie
/// *Distribution of fumonisin (B1 and B2) concentrations in poultry feed according to region, farm and season in Algeria*

		N	FB1 et FB2 (µg/kg)		
			< 400	401-3000	> 3000
			N (Moy ± ET)	N (Moy ± ET)	N (Moy ± ET)
Région	Wilaya				
Nord-Est	Sétif, Batna	22	4 (244 ± 50)	13 (2100 ± 733)	5 (3919 ± 618)
Centre-Nord	Médéa, Boumerdes	23	2 (390 ± 3)	13 (1869 ± 769)	8 (3926 ± 492)
Nord-Ouest	Oran, Tlemcen	24	2 (234 ± 171)	11 (1775 ± 447)	11 (3902 ± 797)
Taille de l'élevage					
Petite		36	6 (263 ± 105)	18 (1868 ± 680)	12 (3864 ± 633)
Grande		33	2 (326 ± 93)	19 (1992 ± 675)	12 (3963 ± 692)
Saison					
Hiver (janv-fév 201)		36	3 (324 ± 88)	24 (1969 ± 701)	9 (3872 ± 780)
Été (juin-juil 2016)		33	5 (251 ± 105)	13 (1863 ± 633)	15 (3937 ± 579)
Total (%)		69 (100 %)	8 (11,60 %)	37 (53,62 %)	24 (34,78 %)

N : nombre d'échantillons ; Moy ± ET : moyenne ± écart-type. Anova pour l'effet région : non significatif (NS) (p = 0,58). Test de Student pour l'effet de la taille de l'élevage : NS (p = 0,22). Test de Student pour l'effet de la saison : NS (p = 0,17) /// N: number of samples; Moy ± ET: mean ± standard deviation. ANOVA for the region effect: not significant (NS) (p = 0.58). Student's test for the farm size effect: NS (p = 0.22). Student's test for the season effect: NS (p = 0.17)

aflatoxines (Chulze et al., 1996) ; par conséquent les conditions de leur stockage influent très peu ou pas du tout sur leur production.

Dans notre étude, tous les échantillons contenaient des concentrations de FB1 et FB2 inférieures aux niveaux réglementaires pour l'alimentation animale, comme observé en Tunisie (Ghali et al., 2009). Aucun échantillon n'a dépassé la teneur maximale autorisée aux États-Unis (100 000 µg/kg) ni même celle autorisée par l'Union européenne (20 000 µg/kg). Des travaux récents réalisés avec différentes mycotoxines en mélange montrent qu'une interaction synergique pourrait être observée entre les mycotoxines quand elles sont distribuées à des doses non toxiques (Magnin et al., 2016). L'administration d'un mélange d'aflatoxine B1, de zéaralénone, de fumonisines et de déoxynivalénone aux concentrations respectives de 102, 280, 5874, et 2039 µg/kg d'aliments distribués à des poulets pendant 42 jours conduit à différents dysfonctionnements biochimiques et à des atteintes fonctionnelles non rapportés dans la littérature aux doses individuelles de chaque mycotoxine. Il a été observé une augmentation du taux d'albumine, de l'ARN-messager, des cytokines inflammatoires IL1 et IL6, une diminution du taux de globuline, de l'immunoglobuline A, de l'interféron et des titres d'anticorps vaccinaux contre la maladie de Newcastle aux âges de 21 et 22 jours (Li et al., 2012).

Un peu plus du tiers des échantillons ont présenté des concentrations supérieures de FB1 et FB2 à 3000 µg/kg. Cette teneur est considérée comme présentant un risque élevé pour la volaille (Li et al., 2012) chez les poulets de chair et les poules pondeuses. La présence de fumonisines n'est pas réglementée en Algérie et les niveaux de concentration maximums n'ont pas encore été fixés. Ainsi, la présence de fumonisines que nous retrouvons dans l'aliment pour volaille pourrait en présence d'une perturbation du microbiote expliquer la forte incidence d'entérite nécrotique chez le poulet de chair en Algérie étant donné que les fumonisines sont responsables d'une perturbation de l'intégrité intestinale (Antonissen et al., 2015).

Mohammedi et Mohammedi (2014) rapportent que « de nombreux échecs vaccinaux sont observés malgré l'application des règles de [biosécurité] ; les coccidioses sont relativement fréquentes alors que l'aliment est correctement supplémenté en coccidiostatiques », et ceci pourrait être lié à la présence de fumonisines dans l'aliment à des doses subcliniques qui provoquent des perturbations métaboliques et immunologiques qui amplifient la gravité de la coccidiose (Antonissen et al., 2015 ; Grenier et al., 2017).

Comme l'adsorption efficace des fumonisines est pratiquement limitée à un pH acide, la biotransformation est la méthode de lutte la plus intéressante. Une bactérie *aMTA 144* isolée du sol est capable de transformer FB1 par dégradation enzymatique à l'aide de la fumonisine estérase, une enzyme du catabolisme bactérien, en un métabolite non toxique le 2-keto-HFB1 (Heinl et al., 2010). Cette enzyme a été récemment commercialisée sous le nom de FUMzym et autorisée par l'Union européenne pour l'utilisation dans les rations chez la volaille et le porc (Grenier et al., 2017).

■ CONCLUSION

La contamination des aliments pour volaille par les fumonisines est une menace importante pour la santé des poulets, les rendant sensibles aux différentes maladies virales contre lesquelles ils sont pourtant vaccinés. Il serait donc justifié d'établir des limites de fumonisines à ne pas dépasser dans l'aliment pour volaille. L'attention des vétérinaires devrait être attirée sur la présence éventuelle de fumonisines en cas de pertes de performances et d'atteinte du système immunitaire. Il serait souhaitable d'imposer des règles strictes de stockage des céréales chez les éleveurs en vue de réduire le développement de moisissures productrices de fumonisines. La prévention des entérites

nécrotiques et des coccidioses, dont les fumonisines sont responsables, permettrait de réduire les coûts de production de viande de volaille qui représente la protéine la plus consommée en Algérie.

Remerciements

Les auteurs remercient la University of Natural Resources and Life Sciences Center for Analytical Chemistry (Department IFA, Tulln, Austria) pour sa contribution et collaboration permanente.

Déclaration des contributions des auteurs

DM a coordonné les travaux de conception, la planification de l'étude et la mise en œuvre des analyses de laboratoire. SM et MK ont participé à l'interprétation des résultats.

Conflits d'intérêts

L'étude a été réalisée sans conflit d'intérêts.

REFERENCES

- Antonissen G., Croubels S., Pasmans F., Ducatelle R., Eeckhaut V., Devreese M., Verlinden M., et al., 2015. Fumonisin affect the intestinal microbial homeostasis in broiler chickens, predisposing to necrotic enteritis. *Vet. Res.*, **46**: 98, doi: 10.1186/s13567-015-0234-8
- Braun M.S., Wink M., 2018. Exposure, occurrence, and chemistry of fumonisins and their cryptic derivatives. *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.*, **17**: 769-791, doi: 10.1111/1541-4337.12334
- Chulze S.N., Ramirez M.L., Farnochi M.C., Pascale M., Visconti A., March G., 1996. *Fusarium* and fumonisins occurrence in Argentinian corn at different ear maturity stage. *J. Agric. Food Chem.*, **44** (9): 2797- 2801, doi: 10.1021/jf950381d
- Commission européenne, 2007. Setting maximum levels for certain contaminants in foodstuffs as regards *Fusarium* toxins in maize and maize products. *EU Official Journal*, **L255**: 14-17
- Dall'Asta C., Battilani P., 2016. Fumonisin and their modified forms, a matter of concern in future scenario? *World Mycotoxin J.*, **9** (5): 727-739, doi: 10.3920/wmj2016.2058
- Ghali R., Ghorbel H., Hedilli A., 2009. Fumonisin determination in Tunisian foods and feeds. ELISA and HPLC methods comparison. *J. Agric. Food Chem.*, **57**: 3955-3960, doi: 10.1021/jf803786h
- Grenier B., Schwartz-Zimmermann H.E., Gruber-Dorninger C., Dohnal I., Aleschko M., Schatzmayr G., Moll W.D., et al., 2017. Enzymatic hydrolysis of fumonisins in the gastrointestinal tract of broiler chickens. *Poult. Sci.*, **96**: 4342-4351, doi: 10.3382/ps/pep280
- Heinl S., Hartinger D., Thamhesl M., Vekiru E., Krska R., Schatzmayr G., Moll W.D., et al., 2010. Degradation of fumonisin B1 by the consecutive action of two bacterial enzymes. *J. Biotechnol.*, **145**: 120-129, doi: 10.1016/j.jbiotec.2009.11.004
- Henry M.H., Wyatt R.D., 2001. The toxicity of fumonisin B1, B2, and B3, individually and in combination, in chicken embryos. *Poult. Sci.*, **80**: 401-407, doi: 10.1093/ps/80.4.401
- IARC, 2002. Fumonisin B1. In: IARC Monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans, some traditional herbal medicines, some mycotoxins, naphthalene and styrene. IARC Press, Lyon, France, **82**: 301-366
- Knap I., Lund B., Kehlet A.B., Hofacre C., Mathis G., 2010. *Bacillus licheniformis* prevents necrotic enteritis in broiler chickens. *Avian Dis.*, **54** (2): 931-935, doi: 10.1637/9106-101509-resnote.1
- Kubena L.F., Harvey R.B., Buckley S.A., Bailey R.H., Rottinghaus G.E., 1999. Effects of long-term feeding of diets containing moniliformin, supplied by *Fusarium fujikuroi* culture material, and fumonisin, supplied by *Fusarium moniliforme* culture material, to laying hens. *Poult. Sci.*, **78**: 1499-1505, doi: 10.1093/ps/78.11.1499
- Li Z., Yang Z.B., Yang W.R., Wang S.J., Jiang S.Z., Wu Y.B., 2012. Effects of feed-borne *Fusarium* mycotoxins with or without yeast cell wall adsorbent on organ weight, serum, biochemistry and immunological parameters of broiler chickens. *Poult. Sci.*, **91**: 2487-2495, doi: 10.3382/ps.2012-02437
- Magnin M., Travel A., Bailly J.D., Guerre P., 2016. Effets des mycotoxines sur la santé et les performances des volailles. *Prod. Anim.*, **29** (3): 217-232, doi: 10.20870/productions-animales.2016.29.3.2961

- Missmer S.A, Suarez L., Felkner M., Wang E., Merrill A.H. Jr, Rothman K.J., Hendricks K.A., 2006. Exposure to fumonisins and the occurrence of neural tube defects along the Texas-Mexico border. *Environ. Health Perspect.*, **114** (2): 237-241, doi: 10.1289/ehp.8221
- Mohammedi D., Mohammedi S., 2014. Ochratoxine A dans les aliments, les fluides et les tissus de volaille en Algérie. *Rev. Elev. Med. Vet. Pays Trop.*, **67** (1): 35-39, doi: 10.19182/remvt.10157
- Riedel S., Abel S., Burger H., Van der Westhuizen L., Swanevelder S., Gelderblom W.C.A., 2016. Differential modulation of the lipid metabolism as a model for cellular resistance to fumonisin B1-induced cytotoxic effects *in vitro*. *Prostaglandins Leukot. Essent. Fatty Acids*, **109**: 39-51, doi: 10.1016/j.plefa.2016.04.006
- Rychlik M., Humpf H.U., Marko D., Dänicke S., Mally A., Berthiller F., Lorenz N., 2014. Proposal of a comprehensive definition of modified and other forms of mycotoxins including "masked" mycotoxins. *Mycotoxin Res.*, **30** (4): 197-205, doi: 10.1007/s12550-014-0203-5
- USFDA, 2001. Guidance for industry: Fumonisin levels in human foods and animal feeds. Background paper in support of fumonisin levels in corn and corn products intended for human consumption. USFDA, Washington, DC, USA
- Wang E., Norred W.P., Bacon C.W., Riley R.T., Merrill A.H. Jr., 1991. Inhibition of sphingolipid biosynthesis by fumonisins. Implications for diseases associated with *Fusarium moniliforme*. *J. Biol. Chem.*, **266**: 14486-14490
- WHO, 2015. Safety evaluation of food additives. WHO, Geneva, Switzerland, 378 p. (Food Additives Ser.; 70

Summary

Mohammedi D., Mohammedi S., Kardjad M. Prevalence of fumonisins in poultry feed in Algeria

Fumonisin are mycotoxins produced by the genus *Fusarium*, especially *Fusarium verticillioides* (formerly called *F. moniliforme*) and *F. proliferatum*. They are widely distributed and have major economic and sanitary impacts. The most common ones are fumonisin B1 (FB1) and fumonisin B2 (FB2). FB1 is a potent carcinogen in laboratory animals and is suspected of causing esophageal cancer in humans. Fumonisin are also considered to alter intestinal integrity in poultry, leading to necrotic enteritis causing diarrheas and reducing animal performance. This article presents the prevalence of FB1 and FB2 in poultry feeds collected in several sites (wilayas) in Algeria. The LC/MS/MS analytical method was used to determine the concentrations of fumonisins. FB1 and FB2 were found in the 69 samples tested, of which 11.60% had concentrations below 400 µg/kg, 53.62% had concentrations below 3000 µg/kg and 34.78% had concentrations above 3000 µg/kg. This is the first study in Algeria showing that it would be important to screen poultry feeds for fumonisins and to avoid using feeds with levels above thresholds considered high. It would therefore be warranted to establish limits of fumonisins not to be exceeded in poultry feed. In case of performance losses and immune system dysfunction, veterinarians should investigate the possible presence of fumonisins.

Keywords: poultry feeding, poultry feed, fumonisins, Algeria

Resumen

Mohammedi D., Mohammedi S., Kardjad M. Prevalencia de fumonisinas en los alimentos para aves en Argelia

Las fumonisinas son micotoxinas producidas por el género *Fusarium* y en particular *Fusarium verticillioides* (antiguamente llamado *F. moniliforme*) y *F. proliferatum*. Estas tienen una gran distribución y una gran importancia económica y sanitaria. Las más corrientes son la fumonisina B1 (FB1) y la fumonisina B2 (FB2). La FB1 es un potente cancerígeno en los animales de laboratorio y se sospecha que se encuentra al origen del cáncer de esófago en los humanos. Las fumonisinas son igualmente consideradas como alterantes de la integridad intestinal en las aves, generando una enteritis necrótica responsable de diarreas y de una reducción en los rendimientos zootécnicos. Este artículo presenta la prevalencia de FB1 y FB2 en los alimentos para aves recolectados en varios sitios (wilayas) en Argelia. El método de análisis LC/MS/MS fue utilizado para determinar las concentraciones de fumonisinas. Las FB1 y FB2 se encontraron en las 69 muestras examinadas, de las cuales 11,60% tenían concentraciones inferiores a 400 µg/kg, 53,62% concentraciones inferiores a 3000 µg/kg y 34,78% de las concentraciones superiores a 3000 µg/kg. Es el primer estudio en Argelia mostrando que sería importante buscar las fumonisinas en los alimentos para aves y evitar la utilización de aquellos cuyos niveles sobrepasarían los límites considerados como elevados. Sería entonces justificado el establecer límites de fumonisinas a respetar en los alimentos de aves. En caso de pérdidas de rendimientos y de disfuncionamiento del sistema inmunitario, los veterinarios deberían buscar la presencia eventual de fumonisinas.

Palabras clave: piensos, alimentación avícola, fumonisinas, Argelia

Le Laboratoire de Farcha et les programmes d'éradication de la peste bovine au Tchad de 1949 à 2007 : une synthèse

Adam Hassane Deye ^{1*} Guillaume Duteurtre ²
Mahamat Ouagal ³

Mots-clés

Bovin, peste bovine, vaccin, élevage de bétail, laboratoire vétérinaire, Tchad

© A.H. Deye et al., 2021



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

Accepted: 8 November 2021

Published: 20 December 2021

DOI: 10.19182/remvt.36816

Résumé

Ce travail de synthèse présente le rôle de l'Institut de recherche en élevage pour le développement (IREDD), anciennement Laboratoire de Farcha, dans la lutte contre la peste bovine au Tchad. Créé en 1949 par les autorités coloniales, ce laboratoire implanté à N'Djamena joue dès sa création un rôle déterminant dans les recherches sur la peste bovine en Afrique centrale. Dans la première période, ou « temps des vaccins » (1953–1961), les travaux du laboratoire conduisent notamment à la fabrication de plusieurs générations de vaccins. Dans la deuxième période, ou « temps des campagnes » (1962–1985), ces vaccins sont utilisés à grande échelle pour des programmes d'éradication de la maladie. Les vaccins en culture cellulaire produits à Farcha sont en particulier utilisés lors de la campagne lancée par l'Organisation de l'Unité africaine (1962–1976) sous le nom de Programme conjoint n° 15. Ce programme aboutit à l'éradication temporaire de la peste bovine au Tchad. Malheureusement la persistance de foyers de la maladie dans plusieurs zones d'Afrique et l'arrêt des campagnes de vaccination au Tchad à la fin des années 1970 conduisent à son retour à partir de 1982. Suite au redémarrage de la production de vaccins en 1983 puis à la nationalisation du laboratoire en 1985, Farcha reste actif dans la lutte contre la peste bovine. Au cours de la troisième période, ou « temps de la surveillance » (1986–2007), le laboratoire contribue activement à la Campagne panafricaine contre la peste bovine (PARC), puis au Programme panafricain de contrôle des épizooties (PACE), notamment par des activités d'épidémiologie et de séro-surveillance. Ces programmes conduisent à l'éradication définitive de la maladie dans la région. Depuis 2007, le Tchad est déclaré indemne de peste bovine, ce qui a contribué à l'augmentation rapide des effectifs bovins dans le pays et lui a ouvert des opportunités commerciales, surtout en matière d'exportation de bétail sur pied vers ses voisins.

■ Comment citer cet article : Deye A.H., Duteurtre G., Ouagal M., 2021. Farcha Laboratory and rinderpest eradication programs in Chad from 1949 to 2007: a review. *Rev. Elev. Med. Vet. Pays Trop.*, 74 (4): 213-224, doi: 10.19182/remvt.3681610.19182/remvt.36816

Introduction

Au Tchad, on estime que l'élevage représente 37 % de la valeur totale de la production agricole, soit 14 à 20 % du produit intérieur brut. L'élevage contribue aussi à la balance commerciale, puisque le bétail sur pied représente en valeur, hors pétrole, le premier poste des

exportations, juste avant le coton (PNDE, 2017). L'élevage mobilise par ailleurs 40 % de la population active et fait vivre plus de 70 % de la population rurale, leur procurant une source de revenus (PNDE, 2017). Enfin, l'élevage au Tchad, en plus d'être un secteur important de l'économie nationale, est ancré dans la culture et les traditions de nombreuses populations rurales.

Pour ces populations, la peste bovine a constitué pendant la plus grande partie du XX^e siècle une entrave majeure au développement du cheptel bovin en raison du taux très élevé des mortalités qu'elle engendre dans un troupeau contaminé (encadré 1). Toutefois, à la suite des nombreux programmes de lutte conduits entre les années 1960 et 2000, le Tchad fut reconnu en 2007 indemne de peste bovine par l'Office international des épizooties (OIE).

1. Lycée francophone Goudji, Quartier Goudji, N'Djamena, Tchad.

2. CIRAD, UMR SELMET, F-34398 Montpellier, France. SELMET, Univ Montpellier, CIRAD, INRAE, Institut Agro, Montpellier, France.

3. Institut de recherche en élevage pour le développement (IREDD), N'Djamena, Tchad.

* Auteur pour la correspondance

Tél. : +235 66 24 82 26 ; email : hassadeye@yahoo.fr

Créé en 1949 en tant qu'institution coloniale et nationalisé dans les années 1980, l'Institut de recherche en élevage pour le développement (IREDD), anciennement Laboratoire de Farcha (figure 1), est un centre de recherche tchadien qui a joué dès sa création un rôle déterminant dans les recherches et la lutte contre la peste bovine en Afrique centrale. Quels ont été les principaux programmes mis en œuvre ? Quelle fut, en particulier, l'implication du Laboratoire de Farcha dans l'éradication ? Pour répondre à ces questions, cet article présente un historique de ce laboratoire, en particulier de ses activités de diagnostic et de lutte sanitaire. Ces éléments sont mis en perspective avec les programmes de lutte internationaux ayant conduit à l'éradication de la peste bovine. Cet historique s'appuie sur une revue bibliographique, notamment des articles publiés par des chercheurs tchadiens ou étrangers, des témoignages de plusieurs vétérinaires ayant travaillé sur le territoire du Tchad, et des rapports d'activités du laboratoire. Les



Figure 1 : Le Laboratoire de Farcha en 2006 // Farcha Laboratory in 2006

Encadré 1 // Box 1

LA PESTE BOVINE // RINDERPEST

La peste bovine est une maladie qui fut internationalement combattue jusqu'à son éradication planétaire en 2011. L'Office international des épizooties, rebaptisé Organisation mondiale de la santé animale, définit la peste bovine « comme une maladie virale contagieuse qui touche essentiellement les bovins et les buffles. Elle est due à un virus de la famille des paramyxoviridés, du genre *Morbillivirus*. Chez de nombreuses espèces d'animaux sauvages et domestiques artiodactyles, y compris les ovins et les caprins, l'infection est à l'origine d'une maladie qui se traduit par des symptômes atténués, mais dans un troupeau de bovins ou de buffles sensibles, espèces les plus souvent atteintes, le taux de mortalité peut atteindre 100 % » (OIE, 2013).

En Afrique, la peste bovine a été signalée à la fin du XIX^e siècle. Pour Leplae et al. (1925), l'arrivée de la peste bovine sur le continent africain serait due à du bétail importé d'Autriche vers l'Égypte en 1841. Pour Curson (1919), elle aurait pu être importée en Afrique par du bétail russe embarqué dans des ports de la mer Noire et transporté au Soudan lors de l'expédition du Nil menée par les troupes britanniques en 1884-1885. Mais c'est plus probablement à partir du port de Massawa, conquis par l'armée italienne en 1885 lors de la 1^{re} campagne d'Abyssinie, que les autres pays d'Afrique furent contaminés, donnant lieu à une épizootie majeure sur le continent de 1888 à 1897 (Sunseri, 2018).

Sur le territoire du Tchad, des contaminations sont rapportées dès le début de XX^e siècle. Des épizooties plus tardives ont été signalées dans les années 1927, 1928 et 1934 dans les régions du Tchad, du Nord Cameroun et du Nigeria britannique. Des épizooties avaient aussi frappé le Niger et le Sénégal entre 1915 à 1917, puis de 1918 à 1922 (Gallais, 1979), et encore en 1955-1956 au Sénégal et en Mauritanie (Daumal, 1996).

En arabe tchadien, les éleveurs appellent la peste bovine Djéderi ou Ammassarine. Cette dernière dénomination fait allusion aux diarrhées provoquées par la maladie. Dans la tradition tchadienne, la peste bovine est présentée comme une maladie très dangereuse et contagieuse : aucun éleveur ne veut voir son bétail approcher une zone supposée touchée. C'est pourquoi, durant les épizooties, des éleveurs se déplacent d'une zone à l'autre afin d'échapper à la contagion. Ces déplacements sont d'ailleurs susceptibles de favoriser la propagation de la maladie.

rapports des campagnes de vaccination du Programme conjoint n° 15 (PC 15) de la Campagne panafricaine contre la peste bovine (PARC) et du Programme panafricain de contrôle des épizooties (PACE) ont également été explorés.

La contribution du Laboratoire de Farcha aux programmes d'éradication de la peste bovine au Tchad s'articule autour de trois grandes périodes. Dans la première période (1949–1961) s'inscrivent les premiers programmes de lutte contre les foyers de peste bovine au Tchad. Dans la deuxième période (1962–1985) la campagne de vaccination panafricaine contre la peste bovine est conduite à travers le PC 15. Ce programme aboutit à une première éradication en 1979, suivie d'une période d'instabilité politique et du retour de la maladie dans le pays à partir de 1982. Dans la troisième période (1986–2007) le laboratoire redémarre sous un nouveau statut national, et les dernières campagnes de vaccination sont conduites avec les programmes PARC et PACE, jusqu'à l'éradication de la peste bovine au Tchad en 2007.

Création du Laboratoire de Farcha et mise au point des premiers vaccins contre la peste bovine (1949–1961)

Naissance des services vétérinaires coloniaux

L'implantation d'un laboratoire vétérinaire et zootechnique au Tchad procède de deux dynamiques concomitantes : un héritage colonial français et le soutien des autorités tchadiennes. Jusqu'aux années 1960, c'est la première dynamique qui prévaut. « L'histoire des vétérinaires tropicalistes est intimement liée aux conquêtes coloniales auxquelles les vétérinaires militaires attachés aux unités montées ont participé, d'abord pour s'occuper des animaux de transport (chevaux, dromadaires, bœufs porteurs) et du ravitaillement de la troupe. » (Daumal, 1996). Ces premiers vétérinaires tropicaux, accompagnant les troupes françaises qui pénètrent au Tchad à partir de 1891, étudient plusieurs maladies animales présentes en Afrique noire. Dupuy conduit des études sur les piroplasmoses équine, Pierre s'intéresse à la peste bovine et Monod à la péripneumonie contagieuse bovine (PPCB). Au Tchad, Pecaud travaille sur les trypanosomiasés, puis rédige, de 1910 à 1917, plusieurs études sur les races domestiques tchadiennes (Daumal, 1996). Le Tchad est alors considéré comme un protectorat et garde ce statut jusqu'en 1920, date à laquelle il est érigé en colonie dans le cadre de l'Afrique équatoriale française (AEF).

Le Service de l'élevage du Tchad naît dans les années 1920 à l'initiative de la métropole. Le premier vétérinaire non militaire qui en est chargé est le Dr René Malbrant, en poste à partir de 1927. Il deviendra plus tard député de l'AEF représentant le Tchad et l'Oubangui-Chari. Pendant les années 1930, les vétérinaires français sont environ une trentaine. Le service d'élevage est alors une direction sous la tutelle du ministère français de l'Agriculture puis du ministère des Colonies.

C'est dans ce cadre que sont créés au Tchad plusieurs centres de diagnostic vétérinaire et de recherche zootechnique : le Haras de Ngouri (province du Lac), le Centre de recherche zootechnique de Fianga (Mayo-Kebbi), le Centre expérimental de Ouadi-Rimé (Batha), le Centre d'Abou Goudam (Abéché), la Ferme de Bekamba (Mandoul), le Ranch de Bachoum et le Centre de Koukaya (dans le Hadjer-Lamis), et le Centre de Gaoui (Chari-Baguirmi). Répartis sur une grande partie du territoire, ces centres avaient pour mission de contribuer à améliorer les paramètres zootechniques des différentes espèces animales. A partir de 1933 entrent en fonction les deux centres vaccinogènes de Fort-Lamy (actuelle N'Djamena) et d'Abéché qui permettent de lancer les premières campagnes de vaccination (OIE, 1972).

Les grandes épizooties affectant l'élevage bovin tchadien sont alors la peste bovine, la PPCB, le charbon bactérien, le charbon symptomatique et la pasteurellose (PNDE, 2017). La peste bovine, en particulier, est vécue par les éleveurs comme un véritable fléau. « Jusqu'en 1933, le Service de l'élevage s'est trouvé désarmé devant cette terrible maladie, hantise des éleveurs. On signale une épizootie ayant fait 200 000 morts. A cette date, le premier centre vaccinogène fut créé mais les possibilités d'intervention, de par le nombre de doses produites, se trouvaient limitées autour des foyers pour empêcher la maladie de s'étendre » (Alfaroukh, 1989).

Fondation du laboratoire

Les pressions sanitaires persistantes et les défis rencontrés par les services de l'élevage au Tchad et dans la région nécessitent alors de créer sur place un centre de recherche, de diagnostic et de production de vaccins. « Pour une meilleure organisation, notamment de la lutte contre les maladies infectieuses les plus contraignantes pour la production animale, il s'est avéré nécessaire de mettre en place une structure de coordination au niveau régional. C'est ainsi que fut créé, à l'initiative de la direction de l'élevage, le Laboratoire de Farcha en 1949 dont la gestion scientifique et administrative fut confiée à l'Institut d'élevage et de médecine vétérinaire des pays tropicaux (IEMVT) », situé à Maisons-Alfort, France (PNDE, 2017).

La création du Laboratoire de Farcha est inscrite dans le premier plan du Fonds d'investissement pour le développement économique et social (FIDES), organisme français créé par la loi du 30 avril 1946, et dont la mission est d'encourager le développement économique et social des territoires d'outre-mer de l'Union française. L'installation de ce centre au Tchad a pour objectif l'amélioration de la production animale afin de permettre au pays de générer des revenus supplémentaires, en dehors de la culture du coton qui était alors la principale source de revenus du territoire. Le Tchad est aussi pensé comme pouvant jouer un rôle central dans l'approvisionnement en viande de la sous-région et de la Métropole.

Le chantier du laboratoire débute en 1949. Un emplacement lui est dédié à Farcha, quartier du premier arrondissement de Fort-Lamy, la capitale, sur la rive droite du fleuve Chari. Il s'agit de l'un des trois centres de recherches vétérinaires et zootechniques installés à cette époque dans les pays francophones d'Afrique, en plus de ceux de Dakar (Sénégal) et de Tananarive (Madagascar). Ces trois laboratoires dépendent de l'IEMVT qui, en plus de ses activités de recherche et de documentation, est un centre d'enseignement pour tous les jeunes docteurs vétérinaires qui désirent se spécialiser en médecine vétérinaire tropicale.

C'est Pierre Receveur, directeur de l'Élevage du Tchad dans les années qui suivent la Deuxième Guerre mondiale, qui soutient l'idée d'installer un tel centre à Fort-Lamy. « C'est toujours lui, ensuite, qui conçoit les plans d'un ensemble de bâtiments [...] et prend contact avec un architecte à Brazzaville [...]. C'est encore Pierre Receveur qui a l'idée géniale de ceindre les deux bâtiments principaux d'un immense couloir. Dans ce pays où la température monte aisément à 45 °C et où l'électricité est très couteuse, ce grand couloir joue le rôle

de tampon thermique bien avant l'arrivée de la climatisation » (Dau-mal, 1996). D'autres vétérinaires se joignent au projet de création du laboratoire, notamment Maurice Thomé, vétérinaire colonial en poste à l'est du Tchad dans la ville d'Abéché. Thomé est nommé directeur du Laboratoire de Farcha en 1952 et occupera ce poste jusqu'en 1965. Le premier bâtiment achevé (en 1953) du laboratoire est celui de la microbiologie. La construction se poursuivra jusqu'en 1955 avec les bâtiments destinés à la direction, à l'administration, à la bibliothèque, à la parasitologie, à l'agrostologie et à l'entomologie.

Premières années orientées vers la formation et la santé animale

Dans ses premières années, le Laboratoire de Farcha éprouve des difficultés liées au manque de moyens. Le Fides finance la construction du laboratoire mais le budget de fonctionnement incombe au territoire du Tchad. Les activités du laboratoire restent ainsi, en quelque sorte, limitées. Face à cette situation, les premiers chercheurs en poste se concentrent sur la formation. Ils décident d'envoyer des jeunes agents pour se former en médecine vétérinaire à l'IEMVT, et à l'Institut Pasteur de Paris.

Les missions du laboratoire sont orientées sur les recherches scientifiques et techniques nécessaires à la conservation, au développement et à l'amélioration du cheptel national ainsi qu'à la valorisation de ses sous-produits. Il a aussi pour mission la production de vaccins, sérums et autres produits biologiques nécessaires au maintien du cheptel en bon état sanitaire, ainsi que l'examen et l'analyse des prélèvements divers aux fins de poser les diagnostics.

Au-delà du Tchad, le Laboratoire de Farcha a une vocation régionale : il intervient dans certains pays voisins en vue d'entreprendre et de poursuivre des recherches, enquêtes et études pour appuyer le développement de l'élevage et l'exploitation des produits animaux. Le laboratoire appuie également l'École nationale des infirmiers vétérinaires (ENIV) de Farcha, créée en 1946, qui deviendra en 1975 l'École nationale de techniques d'élevage (ENATE), notamment en accueillant les étudiants en stage. Même si les missions du laboratoire sont larges, les travaux d'amélioration de la santé animale dominent en nombre et en importance.

Organisation sous la tutelle de l'IEMVT

Dans les années qui suivent sa création, le Laboratoire de Farcha est organisé administrativement en divisions et en services. La division de pathologie animale comprend les services de production de vaccins bactériens, de vaccins viraux, de diagnostics et recherches bactériologiques, de diagnostics et recherches virologiques, de diagnostics et recherches parasitologiques. Plus tard seront créés les deux services distincts d'épidémiologie et de biochimie appliquée. Le laboratoire compte aussi une division de production animale qui regroupe notamment les services de zootechnie-nutrition et d'agrostologie.

Le laboratoire est alors dirigé par l'IEMVT qui affecte un directeur résidant à Fort-Lamy. De sa création jusqu'à l'année de sa nationalisation en 1985, les directeurs du laboratoire sont des agents français de l'IEMVT, tous docteurs vétérinaires. De 1949 à 1960, le personnel tchadien du laboratoire passe de 67 à 108 personnes. Il se compose de techniciens, de personnels administratifs, d'ouvriers et de manœuvres. Dans la même période, le personnel européen passe de 6 à 30 personnes. Il est constitué de chercheurs, de techniciens et de personnels administratifs. Le laboratoire accueille aussi à cette époque en stage de nombreux étudiants (LRVZ, 1990).

Foyers de peste bovine et premiers moyens de lutte pérfocale

Entre 1940 et 1950, les services vétérinaires identifient environ 400 foyers de peste bovine sur le territoire du Tchad. La stratégie de vaccination pérfocale permet en théorie de circonscrire ces foyers. On utilise alors le vaccin formolé (ou vaccin poto-poto), qui reste en usage jusqu'au début des années 1950 (encadré 2).

Encadré 2 /// Box 2

UTILISATION DU VACCIN FORMOLÉ CONTRE LA PESTE BOVINE À OUM HADJER EN 1954 /// USE OF FORMALIN VACCINE AGAINST RINDERPEST IN OUM HADJER IN 1954

« Pour rejoindre Oum-Hadjer, Libeau mit à ma disposition son véhicule de tournée et son chauffeur. En cours de route, je rencontrais de nombreux éleveurs qui s'apprêtaient à partir en transhumance. Prévenus de mon passage, ils amenaient leurs troupeaux à vacciner contre la peste. L'ancien vaccin antibovipestique était encore seul en usage. A base de pulpe formolée de nœuds lymphatiques de veaux inoculés avec le virus, le vaccin poto-poto, bien que dépourvu d'un pouvoir protecteur de longue durée, était apprécié de ces éleveurs, si bien que nous passâmes, mes infirmiers et moi-même, quelques jours, dans la chaleur et la poussière, à vacciner plusieurs centaines de zébus » (Itard, 2012).

Le vaccin formolé est alors légèrement amélioré : « Quelques progrès sont réalisés vers 1950 par adjonction d'alumine au vaccin formolé, ce qui augmente la capacité de production. » (Alfaroukh, 1989). Ce vaccin formolé aluminé sera utilisé de 1951 à 1954 et produit dans les centres vaccino-gènes de Fort-Lamy et d'Abéché (OIE, 1972).

Mais la couverture sanitaire du cheptel n'est pas satisfaisante et le nombre de foyers augmente (Vindrinet, 1991). D'une part, le vaccin formolé s'avère difficile à produire en grande quantité, et confère une immunité à la fois insuffisante et temporaire (Sacquet et Troquereau, 1952). D'autre part, les programmes de lutte s'avèrent complexes. Une des difficultés rencontrées pour les mettre en place réside dans l'impossibilité de mettre en œuvre l'abattage du bétail contaminé pour des raisons sociologiques, techniques et économiques (absence d'indemnités d'abattage) (Vindrinet, 1991). En 1951, la situation sanitaire est très mauvaise avec 698 foyers enregistrés et 21 979 cas de maladie (figure 2).

Production locale de vaccins lyophilisés et élargissement de la lutte

A partir de 1953, la production locale de nouveaux types de vaccins permet cependant d'améliorer la stratégie de lutte contre la peste bovine. Le premier de ces nouveaux vaccins produits à Farcha est le vaccin capripéistique. Il s'agit d'un vaccin vivant atténué produit sur chèvres inoculées, déjà testé à l'est du Tchad en 1949-1950 au centre vaccino-gène d'Abéché (Sacquet et Troquereau, 1952). A cette époque, le vaccin n'est pas lyophilisé et il est conditionné en phase liquide. « C'est à partir de ce moment que sont entreprises des campagnes systématiques de vaccinations des jeunes. Ces campagnes sont rendues possibles par l'utilisation d'un vaccin capripéistique dit humide à partir de 1953 » (Alfaroukh, 1989). En l'absence de matériel de lyophilisation, il est alors possible, à l'aide d'un simple réfrigérateur à pétrole, de conserver le virus au moins 60 jours (encadré 3).

Suite aux premières vaccinations capripéistiques, le nombre de foyers baisse sensiblement (figure 2). Mais les mortalités postvaccinales

Encadré 3 /// Box 3

UTILISATION DU VACCIN CAPRIPESTIQUE CONTRE LA PESTE BOVINE À MOUSSORO EN 1954 /// USE OF CAPRIPESTIC (GOAT PLAGUE) VACCINE AGAINST RINDERPEST IN MOUSSORO IN 1954

« [A Moussoro] nous disposions du réfrigérateur à pétrole des Leclercq, où je conservais, dans le tiroir à congélation [...] les rates de chèvres inoculées avec le virus bovipéistique que m'envoyait Farcha. Le vaccin poto-poto venait d'être supplanté par le vaccin « capripéistique », produit sur chèvres inoculées avec un variant peu pathogène du virus bovipéistique. Les rates renfermant ce virus atténué étaient, après broyage, injectées à des chèvres saines que j'achetais une fois par mois au marché local. [...] Quand nous étions arrivés au campement des éleveurs, celles-ci étaient sacrifiées à l'acmé de leur température corporelle. Comme nous n'avions pas de thermomètres médicaux, la température s'évaluait au toucher. Le sang et la rate étaient, après broyage, injectés aux zébus de l'endroit. La plupart des éleveurs Kanembou appréciaient ce vaccin qui conférait à leurs animaux une immunité solide. Mais quelques-uns étaient méfiants et fuyaient notre approche avec leurs troupeaux » (Itard, 2012).

sont encore très élevées, le vaccin atténué gardant une virulence assez importante. Alors que les rapports officiels de l'époque indiquent des mortalités postvaccinales de 2 %, Provost et al. (1961) estiment qu'elles sont plutôt de l'ordre de 20 % des primovaccinés.

Deux améliorations techniques majeures vont alors permettre de faire émerger de nouvelles générations de vaccins : la lyophilisation et l'utilisation des œufs embryonnés comme alternative à la chèvre pour la production de virus atténués. La production des premiers vaccins sous forme lyophilisée à Farcha est permise par l'acquisition de nouveaux matériels. En 1955, l'aide américaine permet l'achat d'un lyophilisateur Stokes, d'un appareil Cryochen, de machines destinées au remplissage et au scellement des ampoules, et d'un broyeur Eppenbach. Tout ce matériel permet la production, entre 1956 et 1960, de 23 gammes de vaccins contre diverses maladies telles que le charbon symptomatique, le charbon bactérien, la pasteurellose bovine, la PPCB, la dermatophilose bovine et la peste bovine (rapports annuels 1956-1960). Les vaccins sont produits à partir de souches déjà disponibles, maintenues par passage sur des animaux locaux, notamment des veaux, des lapins et des chèvres.

Le vaccin antibovipestique lapinisé est plus atténué que le vaccin capripéistique (Mornet et al., 1953), mais il s'avère beaucoup plus fragile et difficile à produire à Farcha en raison des difficultés rencontrées par l'élevage de lapins en zone sahélienne (Provost, 1961). Par ailleurs, le vaccin formolé est amélioré à partir de 1955 par l'utilisation de la saponine. Toutefois, la production de ce vaccin formolé saponiné est « rendue difficile par le trop petit nombre de veaux réagissant à l'inoculation virulente et dont l'immunité qu'il conférait ne remplissait

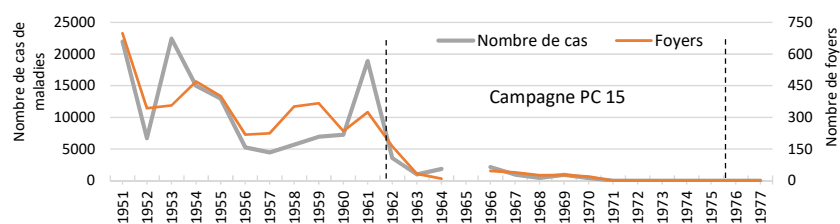


Figure 2 : Situation sanitaire de la peste bovine au Tchad entre 1951 et 1978 (NB : le « silence épidémiologique » de 1965). Source : données issues de Vindrinet (1991) /// Rinderpest situation in Chad between 1951 and 1978 (note the 'epidemiological silence' of 1965). Source : based on data from Vindrinet (1991)

pas les conditions acceptables d'une politique de vaccination visant à l'éradication de la maladie » (Provost et al., 1961). Il reste utilisé uniquement dans les postes les plus isolés ne disposant pas d'équipements de réfrigération (Tacher, 2011).

Il convient alors de remplacer les vaccins formolé, capripéistique et lapinisé par un autre vaccin de valeur antigénique comparable mais plus atténué. A partir de 1957, le laboratoire met au point un vaccin péistique avianisé, c'est-à-dire produit par passage sur œuf embryonné, technique déjà utilisée par d'autres laboratoires. Ce nouveau vaccin utilise la souche virale BA importée du Kenya en mars 1957 (Provost et al., 1961). Il sera d'une grande utilité pour faire face à une épizootie de peste bovine au Nord Cameroun en 1960. « La peste n'ayant pas sévi en Adamaoua depuis 1927, on avait affaire à une population bovine intégralement réceptive, et se posait alors la question du vaccin à employer pour renforcer les mesures sanitaires mises en place pour la protection. Le vaccin formolé est écarté par suite de ses difficultés de production et de la lenteur connue d'apparition de l'immunité. Restait le choix entre le capripéistique et le vaccin avianisé souche BA que pouvait fournir le Laboratoire de Farcha » (IEMVT, 1960). Grâce à ce vaccin, une campagne d'éradication complète de la peste bovine est conduite en Adamaoua. Après cette épizootie au Nord Cameroun, les activités du laboratoire s'intensifient au début des années 1960 avec la réapparition de la peste bovine au Tchad et dans la sous-région de l'Afrique centrale.

La figure 3 résume la succession d'innovations vaccinales auxquelles le Laboratoire de Farcha a contribué. Elle mentionne en particulier les vaccins formolés, puis les vaccins lyophilisés capripéistiques et avianisés. Les innovations ultérieures à 1961 sont abordées dans la section suivante.

Activités de recherche et de mise au point de méthodes de diagnostic

La peste bovine occupe également une place importante parmi les activités de recherche conduites à Farcha dans les premières années suivant

sa création. Les équipes du laboratoire mettent ainsi en place une première méthode de diagnostic de la peste bovine dès 1955 et en développent ensuite plusieurs autres. L'enjeu consiste alors à mettre au point une technique de diagnostic spécifique permettant de différencier la peste bovine des autres maladies cliniquement semblables, notamment de la PPR (IEMVT, 1958 ; Bidjeh et al., 1995). Au début des années 1960 sont ensuite entrepris des travaux qui permettent la mise en évidence d'anticorps antibovipéistiques chez des bovins convalescents et le développement de méthodes devant permettre à terme de détecter les animaux porteurs d'anticorps péistiques vaccinaux (IEMVT, 1960). Toutefois, au début des années 1960 deux événements majeurs vont profondément modifier l'environnement et les activités du laboratoire : l'accession du Tchad à l'indépendance en août 1960 et le lancement d'un programme panafricain de vaccination contre la peste bovine en 1962.

Campagnes de vaccination et première éradication temporaire de la peste bovine (1962–1985)

Suite à l'indépendance, la question du statut des centres de recherche est posée. En 1962, soit deux ans après l'indépendance du pays, le choix est fait de conserver le laboratoire sous la tutelle de son institution mère, l'IEMVT. Une convention est signée entre la République du Tchad et l'institut afin d'assurer le fonctionnement du Laboratoire de Farcha. Cette convention restera en vigueur pendant 25 ans, jusqu'à la rétrocession du laboratoire aux autorités tchadiennes en 1985. Pendant cette vingtaine d'années, il fournit 40,5 millions de doses de vaccin contre la peste bovine pour les campagnes de vaccination (Delate, 1985 ; Alfoukh, 1989).

Organisation et fonctionnement : un laboratoire national à vocation régionale

Au terme du mandat de Maurice Thomé en 1965, Michel Graber lui succède à la direction du laboratoire (1965–1969), puis Alain Provost

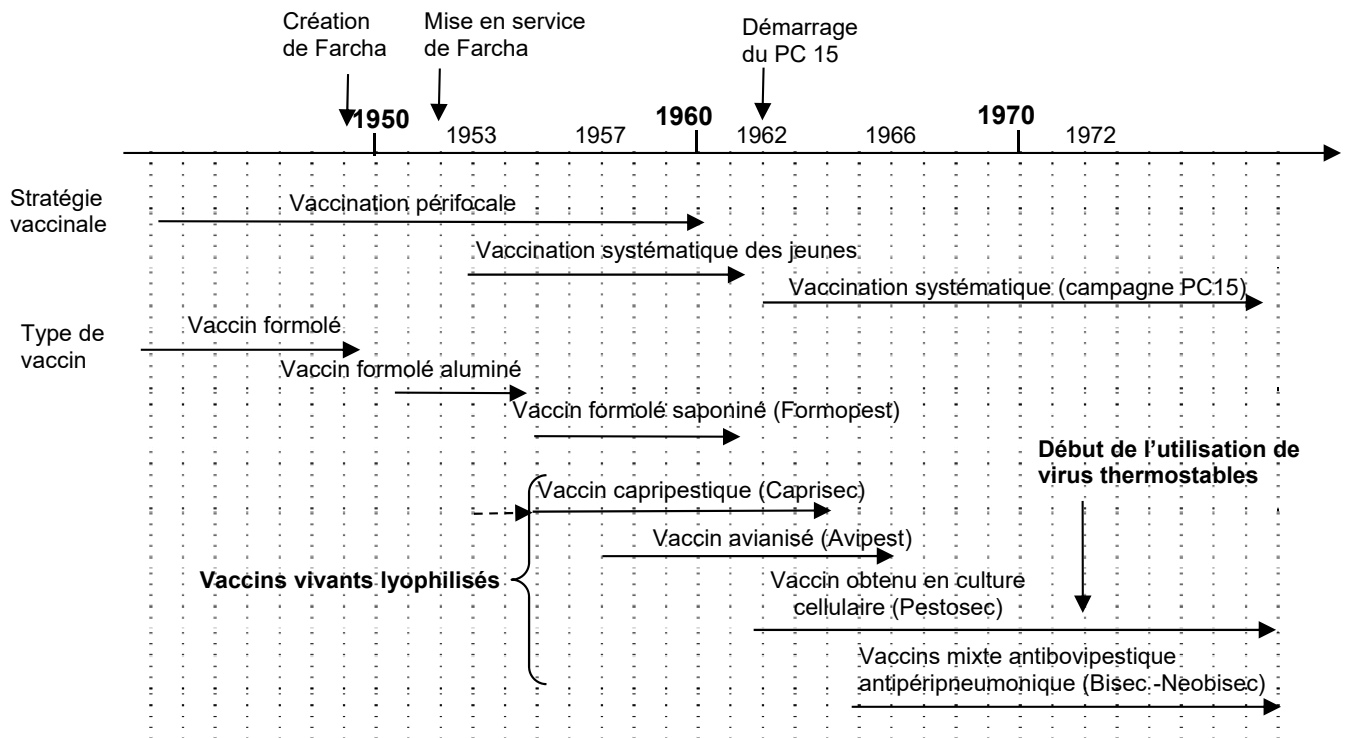


Figure 3 : Stratégies vaccinales au Tchad de 1945 à 1978. NB : la figure ne mentionne pas le vaccin lapinisé (Lapisecc) produit uniquement de 1963 à 1964 et peu utilisé. Source : d'après Provost et al. (1961), OIE (1972), Vindrinet (1991), Libeau et al. (2011) // *Vaccine strategies in Chad from 1945 to 1978. Note the figure does not include the rabbit vaccine (Lapisecc) produced only from 1963 to 1964 and little used. Source: adapted from Provost et al. (1961), OIE (1972), Vindrinet (1991), Libeau et al. (2011)*

(1969–1976) et Yves Cheneau (1976–1980). Devenu centre national, le laboratoire voit son organigramme légèrement modifié. La direction est transformée en direction générale appuyée d'un conseil d'administration. De 1963 à 1975, l'effectif du laboratoire augmente nettement, ce qui s'explique par l'intensification de la production de vaccins pour les campagnes conjointes antipestiques interafricaines. Les premiers scientifiques tchadiens sont recrutés au Laboratoire de Farcha entre 1974 et 1977 : il s'agit, par ordre d'arrivée, du Dr Nokouri Goukouni, microbiologiste, formé à l'École vétérinaire de Maisons-Alfort, du Dr Djoudi Ozané, parasitologue, diplômé de l'École vétérinaire de Bruxelles et spécialisé à Maisons-Alfort, puis de Brahim Boye, biochimiste diplômé de l'Université de Kharkov (H. Guerin et Y. Mopaté Logténé, commun. pers.). De 1962 à 1976, c'est au total 183 chercheurs européens (français essentiellement) qui auront travaillé au Laboratoire de Farcha, et autour de 1800 travailleurs tchadiens qui y seront passés. Ces effectifs rendent compte du rayonnement de cette institution.

Mise au point de vaccins antibovipestiques en culture cellulaire

Au début des années 1960, les programmes de lutte contre la peste bovine en Afrique centrale se heurtent au manque d'efficacité des vaccins capripéistiques et avianisés. Le Laboratoire de Farcha est alors sollicité pour mettre au point un vaccin alternatif plus efficace. Cette demande est d'autant plus pressante que doit se lancer en 1962 une campagne internationale d'envergure.

En plus de la lyophilisation introduite en 1962, une nouvelle solution tampon à base de peptones est adoptée. Cette solution permet de multiplier les rendements en lyophilisation pour le vaccin capripéistique (Caprisecc) et pour le vaccin avianisé (Avipest). A la demande du Cameroun, du Tchad et de la République centrafricaine (RCA), le vaccin capripéistique est produit en 1962 à hauteur de 3 242 600 doses, en remplacement du Formopest qui n'est plus produit qu'à hauteur de 6860 doses (IEMVT, 1962). Or, comme il l'a été signalé précédemment, le taux de mortalités postvaccinales induit par le vaccin capripéistique s'avère plus élevé que prévu (Provost et al., 1961).

Dans ce contexte, c'est la mise au point de vaccins obtenus en culture cellulaire qui va constituer l'innovation majeure du début de ces années 1960 (figure 2). Au cours d'une expérience pilote réalisée à Farcha en 1960, les chercheurs montrent que le vaccin préparé avec la souche RBOK de Plowright et Ferris, multipliée sur culture cellulaire, immunise correctement les zébus, qui n'avaient jamais jusqu'ici été vaccinés avec ce type de vaccin (Provost, 1961). Ces recherches vont donner naissance au vaccin Pestosec qui sera fabriqué à partir de 1963. La confiance dans ce vaccin permet de généraliser sa production à d'autres laboratoires en Afrique, au Moyen-Orient et en Asie pour lutter contre cette maladie.

L'année 1963 marque le record dans la production de vaccins antibovipestiques depuis la création du laboratoire. Cette année-là, il produit près de sept millions de doses de vaccin capripéistique. Le Pestosec est commercialisé mais en quantités encore très faibles car il vient d'être mis au point. Les livraisons des différents vaccins sont faites essentiellement au Tchad et au Cameroun, et de manière plus anecdotique au Mali, en RCA et en Côte d'Ivoire (tableau I).

Tableau I : Nombre de doses et pays de destination des vaccins antibovipestiques produits par le Laboratoire de Farcha (Tchad) en 1963 // Number of doses and countries of destination of the antibovine vaccines produced by Farcha Laboratory (Chad) in 1963

	Caprisecc	Pestosec	Lapisecc
Nb. de doses	6 987 240	194 200	52 900
Dont livraison :	4 378 140	27 000	700
au Tchad			
au Cameroun	1 063 000	102 000	11 000
au Mali	80 200	65 200	15 000
en République centrafricaine	9 020		
en Côte d'Ivoire	160		

Source : IEMVT, 1963

Campagne de vaccination panafricaine du Programme conjoint (1962–1976)

Le PC 15 contre la peste bovine est lancé en 1962 à l'initiative de plusieurs partenaires nationaux et internationaux, et grâce à l'aide de plusieurs bailleurs de fonds comme le Fonds européen de développement (FED), l'Agence des Etats-Unis pour le développement international (USAID), et les gouvernements du Canada, de l'Allemagne et du Royaume-Uni. La campagne conjointe est coordonnée par le Bureau interafricain pour les ressources animales de l'Organisation de l'Unité africaine (OUA-BIRA, actuel UA-IBAR). L'objectif visé à travers le PC 15 est de vacciner tous les bovins de tous âges, chaque année pendant trois années successives, en utilisant des vaccins vivants atténués permettant de conférer une immunité durable. De 1962 à 1976, le PC 15 est conduit en six phases dans 22 pays d'Afrique de l'Ouest, de l'Est et centrale. Il permet la vaccination de plus de 120 millions de têtes de bétail, pour un coût de 51 millions de dollars. Ses résultats aboutissent à une réduction sensible de l'incidence de la peste bovine mais sans parvenir à éradiquer définitivement la maladie sur le continent. Au terme de la campagne, la maladie refait surface en raison de foyers résiduels au Mali et en Ethiopie, les programmes de vaccination n'ayant pas été partout conduits avec la même rigueur.

Du fait de la campagne conjointe, le Tchad rend obligatoire la vaccination contre la peste bovine sur tout son territoire (Gouvernement du Tchad, 1960). Par ailleurs, il est institué un contrôle sanitaire de la circulation du bétail destiné aussi bien au commerce intérieur du Tchad qu'à l'exportation (Gouvernement du Tchad, 1962).

Le Laboratoire de Farcha est mis à contribution pour le PC 15. Il joue un rôle majeur dans la production de vaccins. Les autres laboratoires désignés pour cette production sont ceux de Dakar (Sénégal), Vom (Nigeria), Bamako (Mali), Debre Zeit (Ethiopie) et Muguga (Kenya). Au Tchad, entre 1 et 3 millions de têtes de bovins sont vaccinées chaque année entre 1962 et 1977 grâce aux vaccins produits à Farcha (figure 4).

Mise au point de vaccins bivalents et thermostables

Au début du programme PC 15, la production des vaccins capripéistiques et avianisés diminue progressivement au profit du Pestosec. A

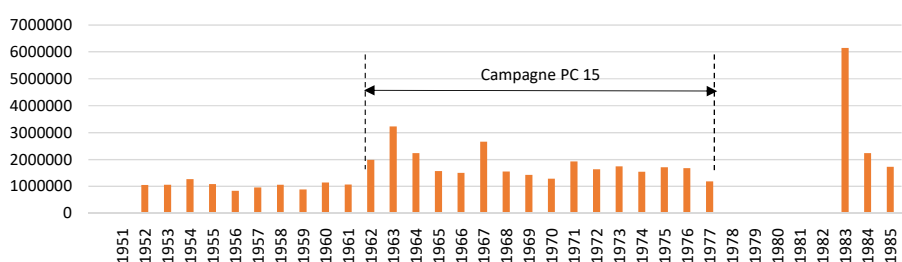


Figure 4 : Nombre de vaccinations contre la peste bovine effectuées au Tchad de 1951 à 1985 // Number of vaccinations against rinderpest carried out in Chad from 1951 to 1985

partir de 1966, seule la technique de production de virus sur culture cellulaire est utilisée. Or, deux nouvelles innovations majeures vont permettre d'améliorer l'efficacité de ce vaccin et donc l'impact des campagnes de vaccinations sur le terrain : il s'agit de la production de vaccins bivalents et de la production de vaccins thermostables.

En s'inspirant d'autres travaux conduits à l'étranger, des essais sont conduits à Farcha dès le début des années 1960 en vue de produire des vaccins polyvalents. En effet, en conditions tropicales où la prophylaxie est particulièrement difficile, ces vaccins mixtes sont susceptibles d'améliorer l'efficacité des programmes de lutte (Tacher, 2011). En 1965, un vaccin mixte antibovipestique-antipéripneumonique est mis au point par l'équipe de virologie du laboratoire (Provost et al., 1974). Ce vaccin Bisec, comme le Pestosec, utilise un virus bovipestique atténué produit sur culture cellulaire.

Au cours des années 1967 et 1968, 6 232 430 vaccinations sont réalisées au Tchad (IEMVT, 1968) dont 4 209 433 contre la peste bovine. Au premier trimestre de l'année 1969, seuls trois foyers de peste bovine sont signalés pour une dizaine de morts enregistrés. Fin 1970, plus aucun foyer n'est déclaré dans la zone d'intervention de la campagne conjointe (figure 2).

Un autre vaccin bivalent, le Neobisec, est proposé à partir de 1971. Il s'agit d'un vaccin utilisant une autre souche de *Mycoplasma*, l'agent pathogène responsable de la PPCB. Elle provient de la souche T1 et non plus de la souche KH3J (OIE, 1972). A partir du début des années 1970, seuls les vaccins bivalents Bisec puis Neobisec sont produits de manière significative.

En 1971, un vaccin trivalent (charbon bactérien, peste bovine et PPCB) est envisagé afin de profiter des avantages logistiques des vaccins polyvalents, en particulier pour les zones enclavées. Malheureusement, il s'avère que l'antigène charbonneux du vaccin mixte est détérioré par la solution de sulfate de magnésium utilisée pour améliorer la stabilité du vaccin. En conséquence, « le vaccin mixte décrit ne trouve pas son indication au Tchad, conclusion décevante pour le chercheur. Il n'en reste pas moins que le vaccin trivalent conserve son indication dans les Etats qui continuent à utiliser la réfrigération en glace fondante pour le transport des vaccins lyophilisés sur le terrain et surtout le rafraîchissement des diluants de reconstitution des vaccins lyophilisés » (Provost et al., 1974).

Parallèlement, dès 1965, les travaux du laboratoire sont orientés vers la mise au point d'un vaccin thermostable, notamment en utilisant du sulfate de magnésium lors de sa reconstitution à partir du lyophilisat, comme mentionné précédemment. Des techniques plus élaborées, basées sur la sélection de virus thermorésistants, aboutissent en 1972, après plusieurs études, à la production de virus thermorésistants. Ils sont utilisés pour la fabrication d'un vaccin qui résiste 14 jours à 45 °C (Provost et Borredon, 1972). Cette nouvelle génération de vaccins va permettre aux services chargés de la prophylaxie de s'affranchir d'une partie des contraintes de la chaîne du froid.

Poursuite des recherches et mise au point de méthodes de diagnostics

A cette période, les recherches conduites au laboratoire accompagnent les développements des vaccins et la campagne de lutte PC 15. Elles portent notamment sur la caractérisation du virus pestique, sur la détermination de la durée de sa survie dans les carcasses d'animaux morts ou sur la mise au point de tests de diagnostics (IEMVT, 1966).

Eradication provisoire de la peste bovine, puis fermeture de Farcha

A partir de 1971, les foyers de peste bovine ont disparu du Tchad (figure 2). Cette éradication provisoire constitue un véritable succès de la campagne PC 15. Pendant les années 1970 et 1980, les campagnes de vaccinations et la collecte des données sont fortement perturbées par les difficultés budgétaires et par l'instabilité politique que connaît le

pays, surtout à partir de 1978. Ces événements entraînent cette année-là la suspension des vaccinations puis l'arrêt de la production de vaccins (Vindrinet, 1991). De mai 1980 au 15 mars 1982, toutes les activités de production et de recherche sont ainsi suspendues (LRVZ, 1987).

Au Cameroun, pour faire face à cette incertitude dans la production de vaccins, le gouvernement décide en 1978, sous l'impulsion du Dr Abdoulaye Maikano, de construire son propre laboratoire de fabrication de vaccins à Garoua. C'est le Laboratoire national vétérinaire du Cameroun (Lanavet) qui entre en fonction au début des années 1980. La création de ce laboratoire a pour conséquence de priver celui de Farcha d'un de ses plus gros clients.

Les activités du Laboratoire de Farcha sont relancées en 1982 à la faveur de l'arrêt des troubles politico-militaires. La production des vaccins bactériens reprend progressivement en 1982-1983, puis dans les années 1983-1984 reprend celle des vaccins viraux.

Réapparition de la peste bovine

La peste bovine fait sa réapparition au Tchad en décembre 1982 à partir du Soudan. Elle envahit ensuite tout le territoire, d'abord le long de la piste à bétail dite « du 13^e parallèle », puis vers le sud et le sud-est en suivant les mouvements de transhumance (Cheneau, 1985). Fin 1982, 55 foyers de peste bovine sont dénombrés entre le Tchad et le nord du Nigeria. Entre janvier et juin 1983, ce sont 814 foyers qui sont dénombrés, causant la mort de 380 298 bovins (Cheneau, 1985).

La réapparition de la peste bovine au Tchad intervient à un moment où les services de l'Etat sont désorganisés. Le Laboratoire de Farcha, producteur des vaccins, a rouvert, mais ses services ne sont pas tous opérationnels. Le Service de l'élevage, quant à lui, n'a pas de moyens adéquats pour lutter efficacement contre la peste bovine, véritable catastrophe nationale et toujours considérée par les éleveurs tchadiens comme un drame. Malgré ces contraintes, une campagne de vaccination d'urgence est lancée par le Tchad dès janvier 1983. Toutefois, pour répondre à cette crise le laboratoire ne dispose que d'un stock de 1 000 000 de doses de vaccin dans sa chambre froide, et le matériel frigorifique et les moyens de transport lui font cruellement défaut. « Le goulot d'étranglement pour le bon déroulement de cette campagne de lutte contre la peste bovine est constitué par le manque de vaccins. Les ruptures de stock sont fréquentes et l'approvisionnement difficile » (Mahamat Saleh, 1983a). Il faut donc commander des doses de vaccins auprès des laboratoires de Dakar au Sénégal et de Debre Zeit en Ethiopie, ainsi qu'en France, grâce à un financement de la coopération française (Mahamat Saleh, 1983b).

A partir de février 1983 l'effet positif de ces vaccinations se fait sentir. Le dernier foyer de peste bovine est notifié en 1984. Après 1985, presque tout le territoire national est exempt de foyers mais les vaccinations se poursuivent pour permettre le maintien d'un taux d'immunisation suffisant dans la population bovine. Une nouvelle période s'ouvre alors pour le Laboratoire de Farcha. Le nouveau contexte politique va conduire à un changement de structure.

Redémarrage du Laboratoire de Farcha et sa contribution aux programmes PARC et PACE (1985-2007)

Au sortir de la guerre civile et suite à l'accession au pouvoir de Hissène Habré, la présence au Tchad d'un laboratoire sous tutelle française est devenue anachronique. La cession du Laboratoire de Farcha aux autorités nationales intervient en 1985. Suite à cet accord, ses statuts sont modifiés et le centre quitte la tutelle de l'IEMVT (Gouvernement du Tchad, 1985). La direction du laboratoire est confiée à un chercheur tchadien, le Dr Idriss Alfaroukh. Cependant, la vocation du laboratoire reste la même, celle de l'amélioration de la santé et des productions animales aux fins du développement économique et social.

Organisation et fonctionnement

Le laboratoire devient alors un établissement public à caractère industriel et commercial (EPIC) de droit tchadien doté de la personnalité civile et de l'autonomie financière (Gouvernement du Tchad, 1985). Il est rebaptisé Laboratoire de recherches vétérinaires et zootechniques de Farcha (LRVZ). Le conseil d'administration est présidé par le ministre en charge de l'Élevage et des Productions animales. Y siègent également le directeur de l'Élevage et des Industries, le directeur de l'Enseignement, de la Formation, de la Recherche vétérinaire et zootechnique, le chef de division recherche agronomique du ministère de l'Agriculture, des représentants des ministères des Finances, de l'Éducation, du Plan, un représentant de la présidence de la République et un représentant de l'IEMVT.

Le premier rapport d'activité du laboratoire publié après sa réouverture relate les activités des années 1986 et 1987. A cette période, le laboratoire bénéficie de l'appui de plusieurs partenaires. « Dans l'ensemble, les années 1986-1987 ont été des années test pour l'ensemble des activités du laboratoire qui ont été facilitées grâce au financement par le FAC [Fonds d'aide et de coopération], le FED et la FIS [Fondation internationale pour la science] pour l'équipement scientifique, de production et l'appui à la recherche ». Le nouvel organigramme crée un service d'épidémiologie pour renforcer la division de pathologie, et un service de parasitologie qui regroupe les anciens services d'helminthologie, d'entomologie et d'entomoprotozoologie (LRVZ, 1987).

L'arrivée de chercheurs tchadiens va alors permettre de prendre le relais des équipes françaises à la faveur de la poursuite des programmes de formation à l'étranger. De 1986 à 1989 le personnel tchadien compte environ 50 personnes, alors que l'effectif des agents français se maintient à un peu moins de 30 personnes, chercheurs et personnel technique compris. Cette transition se poursuit pendant les années 1990. Au début des années 2000, le personnel tchadien du laboratoire compte déjà 85 employés, dont 11 docteurs vétérinaires, 14 ingénieurs et cadres de niveau du diplôme d'études appliquées et du master, 3 administrateurs, 1 bibliothécaire, 22 cadres moyens, et 34 agents d'exécution. En ce qui concerne le personnel expatrié, le laboratoire n'est plus épaulé que par 10 experts de la coopération française (LRVZ, 1987 ; 1990 ; 1991 ; Servat et Tulasne, 2000).

Production de vaccins

En 1985, la production de vaccins contre la peste bovine et contre la PPCB est progressivement relancée en partenariat avec l'IEMVT qui vient d'être intégré au Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement (Cirad) (Lefèvre et Bréart, 1985). En vue de fournir des vaccins au programme PARC lancé en 1987, deux principaux vaccins sont produits à Farcha : le Pestosec et le Neobisec (tableau II).

Tableau II : Production de vaccins antibovipestiques au Laboratoire de recherches vétérinaires et zootechniques de Farcha (Tchad) de 1986 à 1990 /// *Production of rinderpest vaccines at the Veterinary and Zootechnical Research Laboratory of Farcha (Chad) from 1986 to 1990*

Année	Neobisec	Pestosec
1986	4 685 900	-
1987	2 877 500	2 635 000
1988	3 423 800	387 500
1989	1 399 100	1 790 100
1990	3 069 500	1 097 100

Source : LRVZ, 1990

Les vaccins produits au Laboratoire de Farcha suivant les techniques développées par l'IEMVT sont de bonne qualité et répondent aux normes internationales. Toutefois, au niveau national il n'existe aucune structure indépendante pour contrôler la qualité des vaccins. Pour répondre à ce besoin de certification, le Centre panafricain des vaccins vétérinaires (Panvac) est créé en 1986 par l'Union africaine dans le cadre de la lutte contre la peste bovine, avec un centre à Dakar et un autre à Debré Zeit.

Campagne panafricaine contre la peste bovine (1987-1998)

Durant cette période, la lutte contre la peste bovine entre dans une nouvelle dynamique. L'objectif d'éradication de la maladie est décidé au niveau mondial. Le programme PARC est lancé en 1987 sous les auspices de l'Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO), de l'Office international des épizooties (OIE) et de l'OUA-BIRA. Trente-cinq pays africains sont impliqués dans cette campagne dont le financement est assuré par divers partenaires, dont la Communauté économique européenne qui y contribue pour 115 millions d'euros à travers les 6^e et 7^e FED.

Au Tchad, la stratégie consiste à vacciner tous les troupeaux entrant ou sortant du pays à l'aide du vaccin mixte peste-péripneumonie bovine. Le vaccin utilisé est le Neobisec fabriqué au Laboratoire de Farcha. Une fois l'opération effectuée, tous les animaux vaccinés doivent être obligatoirement identifiés pour permettre leur suivi. Des mesures de police sanitaire sont mises en place, notamment le contrôle des mouvements du bétail, des foires et marchés, et des pistes de transhumance.

En 1988 et 1989, la situation sanitaire est sous contrôle. Aucun foyer de peste bovine n'est signalé au cours de l'année 1989. Toutefois, la vaccination est maintenue, surtout à la frontière est du Tchad, la maladie continuant à sévir au Soudan. La vaccination se double d'une surveillance continue fondée sur des diagnostics et enquêtes épidémiologiques (LRVZ, 1990).

Les vaccinations dans le cadre du PARC sont lancées en même temps qu'un programme de libéralisation progressive de la profession vétérinaire. L'année 1993 marque au Tchad le début des activités des vétérinaires privés « mandataires » installés grâce à l'appui de l'État et de ses partenaires. En 1994, est mis en place un « cordon sanitaire » qui vise à empêcher la réémergence de la peste bovine à partir du Sud-Soudan vers les pays d'Afrique du centre et de l'ouest désormais indemnes. Pour le cheptel présent au sein du cordon sanitaire, la vaccination incombe aux agents de l'État : les services vétérinaires de l'État poursuivent donc leurs opérations de terrain. En revanche, pour les animaux situés en dehors du cordon sanitaire, la vaccination incombe aux vétérinaires privés (Bendali, 2001). La libéralisation des services et des produits vétérinaires conduit alors à une réorganisation du marché des vaccins qui aboutit à la perte progressive du monopole du Laboratoire de Farcha sur ces produits.

Activités de recherche et de diagnostic

La recherche et les travaux de diagnostic sur la peste bovine continuent d'être conduits à Farcha parallèlement à la production de vaccins. En 1986 le laboratoire lance par exemple une « Étude de l'état immunitaire du cheptel bovin vis-à-vis de la peste bovine » (Guillaud et al., 1989). Ces travaux sont poursuivis jusqu'en 1991 notamment grâce à un partenariat avec l'Agence internationale de l'énergie atomique, puis par d'autres enquêtes conduites en 1992-1993 par le LRVZ dans le cadre du PARC (Diguimbaye et al., 1993). Toutes ces études contribuent au pilotage des actions de lutte contre la maladie. Ainsi les travaux de Diguimbaye et al. (1993) soulignent « une nette amélioration du taux d'immunité chez les bovins vis-à-vis du virus bovipestique [...] ». Les efforts entrepris en vue d'accroître le taux d'animaux immunisés doivent être maintenus ou renforcés selon les

circonscriptions pour que le Tchad puisse assurer son rôle de barrière dans le cadre du PARC ».

En 1996 le Tchad envisage d'abandonner la vaccination contre la peste bovine. Toutefois, à cause de la présence du virus au Soudan et en Afrique de l'Est, une surveillance est maintenue pendant toute la fin du programme PARC jusqu'au début des années 2000. Le LRVZ participe alors activement à la poursuite des activités de sérosurveillance qui constituent une action phare du PARC.

Ces activités sont couplées aux activités de surveillance épidémiologique par la mise en place en 1995 du Réseau d'épidémiosurveillance des maladies animales au Tchad (Repimat). Ce réseau, animé par le service d'épidémiologie du LRVZ, est dédié au moment de sa création à la surveillance de cinq maladies autres que la peste bovine car cette dernière, considérée à cette période comme maladie rare, n'est pas incluse dans ce suivi national au moment du démarrage du réseau. Le Repimat couvre alors une dizaine de postes vétérinaires sur les 140 répartis dans les neuf circonscriptions d'élevage que compte le pays (Hendrikx et al., 1997). Cependant, en 1997, une mission d'évaluation externe du Repimat recommande que ce réseau puisse s'adapter pour « participer à l'épidémiologie de la peste bovine au Tchad » (Dufour et al., 1998). La peste bovine est alors intégrée à la liste des maladies surveillées par le Repimat qui bénéficie dès lors du financement du programme PARC et couvre l'ensemble des postes vétérinaires du pays.

Suite à l'arrêt du PARC en 1998, c'est le PACE qui va reprendre à son compte l'appui aux activités de sérosurveillance et d'épidémiosurveillance.

Programme panafricain de contrôle des épizooties (1999–2007) et éradication définitive de la peste bovine

Le PACE est lancé en 1999 pour pérenniser les acquis du programme PARC en établissant des réseaux de surveillance épidémiologique dans les pays africains. Coordonné par le Bureau interafricain des ressources animales de l'Union africaine (UA-IBAR), le PACE couvre 30 Etats du continent dont le Tchad. Ses activités sont élargies aux épizooties autres que la peste bovine, notamment à la PPR, à la PPCB et à la fièvre aphteuse (PACE, 2007).

Le PACE contribue, pour les programmes nationaux et régionaux de suivi de ces épizooties, à l'établissement d'une capacité de diagnostic différentiel de la peste bovine. Le programme se fonde sur la mise en place de véritables systèmes de surveillance qui intègrent a) des observations de terrain transmises en temps réel par les services vétérinaires (surveillance passive), b) des observations cliniques et des analyses en laboratoire permettant de confirmer les cas d'infection (surveillance active), et c) des enquêtes sérologiques (sérosurveillance) (PACE, 2007 ; Ouagal et al., 2010).

En raison de ses capacités en matière de production de vaccins et de diagnostic, le LRVZ constitue au Tchad le fer de lance du programme. Le Repimat voit ses capacités logistiques et matérielles considérablement améliorées par ce programme en vue de renforcer l'épidémiologie de la peste bovine (Ouagal et al., 2008). Une des innovations du PACE pour le suivi de la maladie au Tchad va alors consister à intégrer dans le système de surveillance une sérosurveillance de la faune sauvage sensible à la peste bovine. En effet, la sérosurveillance des bovins domestiques « ne fait pas de distinction entre l'infection par le virus sauvage et les anticorps vaccinaux, limitant ainsi la spécificité de cette méthode ». Les animaux sauvages représentent alors « une population sentinelle non vaccinée » (PACE, 2007).

A l'exception de certaines zones couvertes par les vétérinaires privés mandataires, la vaccination demeure majoritairement assurée par les agents étatiques. Les vaccins utilisés sont principalement ceux fournis

par Farcha mais aussi dans certains cas le Bivax, vaccin mixte contre la peste bovine et la PPCB, produit au Cameroun par le Lanavet.

Dans les premières années du programme, la couverture vaccinale dans le cordon sanitaire reste en deçà de 30 %, et les sérologies concernant la faune sauvage sont négatives, ce qui prouve une absence d'infection récente de ces animaux. Par ailleurs, aucune suspicion de peste bovine n'est rapportée par le Repimat dont l'animation est transférée en 2001 à la Direction de l'élevage et des ressources animales (DERA) du ministère de l'Élevage afin de garantir une bonne implication des services vétérinaires. En conséquence, au Tchad tout au moins, le cordon est abandonné dès mars 2002 et la vaccination contre la peste bovine est suspendue (Bendali, 2003 ; PACE, 2007).

En 2002, le Tchad est déclaré « provisoirement indemne » de la maladie. Au cours des années suivantes, les suivis sérologiques et la surveillance épidémiologique se maintiennent. Grâce à ces garanties et à la disparition de tout foyer de peste bovine sur l'ensemble du territoire national, la demande du Tchad de déclaration d'éradication est approuvée par la commission scientifique de l'OIE en janvier 2006 (PACE, 2007). En 2007, c'est-à-dire à la clôture du programme, le Tchad et 11 autres pays sont reconnus indemnes de peste bovine par l'OIE.

Période récente et perspectives

Depuis l'arrêt du PACE en 2007, le Laboratoire de Farcha souffre de difficultés logistiques qui limitent sa capacité à rester un acteur majeur dans le domaine du diagnostic et de la production de vaccins. « Depuis sa création, le laboratoire produit des vaccins pour la protection du cheptel contre les différentes maladies. C'est grâce aux vaccins produits au Tchad que l'Afrique a été sauvée de la peste bovine et le Tchad a été déclaré indemne de cette maladie. Mais la production des vaccins a eu des difficultés à un certain moment et nous étions obligés d'en importer certains. Nous ne pouvions pas produire les vaccins au Tchad à cause de certains problèmes, entre autres le manque d'énergie. La production de vaccin nécessite l'utilisation de gros appareils [notamment un lyophilisateur et une chaîne du froid] qui consomment beaucoup d'énergie. Le générateur du laboratoire ne pouvant plus supporter les charges, cela a joué sur la qualité des vaccins et nous étions obligés d'en arrêter la production » (Anon., 2011).

En 2018, seuls trois vaccins bactériens y sont produits : l'Antravac contre le charbon bactérien, le Symptovac contre le charbon symptomatique et le Pastovac contre la pasteurellose. Les installations des unités de production de vaccins viraux sont fermées faute de moyens et de personnel qualifié. Sur d'autres sujets, le laboratoire est resté actif, contribuant par exemple à développer des recherches originales en épidémiologie et santé animale, en pastoralisme ou sur les systèmes d'élevage et les filières (Colas, 1999 ; Jamin et al., 2003 ; Alfaroukh et al., 2011).

En 2012, pour appuyer sa relance, les autorités ont validé le changement de nom du laboratoire qui est devenu l'Institut de recherche en élevage pour le développement (IRED) (Gouvernement du Tchad, 2012). Une année plus tard, l'IRED participait activement à une réunion d'envergure internationale sur le pastoralisme en Afrique, confirmant sa position stratégique (SCSAO/AFD, 2013).

Tous ces efforts ont eu pour objet de préserver l'élevage tchadien qui demeure un secteur stratégique dans le développement économique du pays. En 2015, le recensement national du bétail (RGE, 2016) a évalué le nombre de ruminants à environ 93 millions de têtes. Un chiffre qui reste une estimation mais qui montre le chemin parcouru depuis le recensement du bétail de 1976 : il n'y avait alors que 8,6 millions de têtes. Pour ce qui est des bovins, le cheptel est passé de 3,3 à 25 millions de têtes entre 1976 et 2015 (RGE, 2016). Cette croissance particulièrement remarquable des effectifs a sans aucun doute bénéficié de manière déterminante des programmes de lutte contre la

peste bovine auxquels le Laboratoire de Farcha a contribué. Le statut indemne du pays a aussi permis d'augmenter la production en lait et en viande et a ouvert des opportunités commerciales surtout en matière d'exportation de bétail sur pied vers ses voisins (Cameroun, Nigeria, Soudan et Libye) (Duteurtre et al., 2003 ; Koussou et al., 2012 ; PNDE, 2017).

Conclusion

Mis en place par les autorités coloniales françaises au début des années 1950, le Laboratoire de Farcha a été un centre de référence en matière de recherche, de diagnostic et de production de vaccins. Pendant les grandes campagnes panafricaines de lutte contre la peste bovine, il a joué un rôle central en élaborant plusieurs générations de vaccins et en contribuant à la mise au point d'outils de diagnostic et de surveillance. Grâce à l'appui de nombreux partenaires techniques et financiers, il a produit des millions de doses de vaccins jusqu'à l'éradication définitive de la peste bovine en 2007.

De sa création en 1949 jusqu'en 1961 (« temps des vaccins »), le laboratoire a été le lieu des premières recherches sur le virus et sur la prévalence de la maladie au Tchad, recherches qui ont abouti à la mise en place des premiers vaccins lyophilisés vivants produits localement. De 1962 jusqu'au milieu des années 1980 (« temps des campagnes »), le laboratoire a travaillé à la mise au point de vaccins mixtes et thermostables qui ont permis à la Campagne conjointe PC 15 d'aboutir à une éradication provisoire de la maladie au milieu des années 1970. Le laboratoire a ensuite connu une courte période de fermeture liée à l'instabilité politique dans le pays au début des années 1980. Après sa nationalisation en 1985 et jusqu'en 2007 (« temps de la surveillance »), le laboratoire (renommé LRVZ) a contribué aux divers projets et programmes nationaux et régionaux de lutte contre la peste bovine avec l'appui de nombreux partenaires européens et américains. Les programmes PARC et PACE, notamment, ont joué un rôle déterminant dans l'éradication de la maladie. Au cours de cette dernière période, l'appui du laboratoire aux activités de surveillance de la maladie a été essentiel.

Le laboratoire, devenu IRED, doit aujourd'hui répondre aux nouvelles réalités du secteur. L'éradication de la peste bovine a contribué à l'augmentation significative des effectifs bovins. De nombreux défis se posent encore à l'élevage tchadien, pilier de l'économie nationale, qui nécessitent de poursuivre les recherches dans de nombreux

domaines. En raison des risques sanitaires qui restent élevés, des efforts sont nécessaires dans le domaine de la santé animale, en particulier pour lutter contre la PPR qui constitue un enjeu majeur au Sahel. L'élevage représente une ressource précieuse qui pourrait être mieux valorisée à travers la mise en place d'infrastructures de transformation et de commercialisation des produits animaux, comme des abattoirs, des boucheries modernes, des laiteries ou des tanneries. Les pratiques d'élevage et de gestion des ressources pastorales nécessitent, elles aussi, d'être appuyées pour favoriser la gestion concertée des ressources en vue de limiter les conflits, et la complémentarité entre agriculture et élevage, dans un contexte de changement climatique et de pression sur les ressources.

En fin de compte, l'histoire du Laboratoire de Farcha et des programmes d'éradication de la peste bovine illustre l'apport précieux de la recherche dans le développement. Alors qu'il vient de fêter ses 70 ans, cet institut devrait pouvoir continuer à contribuer à l'histoire des sciences et des techniques au Tchad, et à éclairer les stratégies de développement durable.

Remerciements

Les auteurs adressent leurs remerciements aux responsables de l'IRED, parmi lesquels son directeur général, le Dr Adoum Goudja, qui a contribué à orienter ces recherches. Les auteurs remercient aussi le Prof. Youssouf Mopate Logtene, directeur adjoint de l'IRED, pour sa lecture attentive du manuscrit et ses compléments précieux. Enfin, les auteurs tiennent à remercier le comité éditorial de la revue ainsi que les évaluateurs du manuscrit pour leurs remarques constructives et rigoureuses.

Déclaration des contributions des auteurs

Cette synthèse a fait en partie l'objet du master 2 de A.H. Deye (2018). AHD et MO ont participé à la conception et à la planification de l'étude. AHD a recueilli les données et rédigé une première version du manuscrit. GD, AHD et MO ont participé à la réécriture du manuscrit, à la collecte complémentaire d'archives et de références, à la confection des figures, et à la révision du manuscrit.

Conflits d'intérêts

L'étude a été réalisée sans conflit d'intérêts.

REFERENCES

- Alfaroukh I., 1989. La recherche vétérinaire et zootechnique au Tchad : à la lumière des activités du Laboratoire de Farcha. Note de synthèse n°3919/89. Laboratoire de Farcha, N'Djamena, Tchad
- Alfaroukh I., Avella N., Grimaud P. (Eds), 2011. La politique sectorielle du pastoralisme au Tchad : quelles orientations ? Coll. national, LRVZ, N'Djamena, Tchad, 1-3 mars 2011, 183 p.
- Anon., 2011. Interview du directeur général du LRVZ Mahamat Hamid Mahamat. *J. Notre Temps*, **450**: 3
- Bendali F., 2001. Rapport de mission « Cordon Sanitaire », PACE. Cirad-EMVT, Montpellier, France, 18 p.
- Bendali F., 2003. Le cordon sanitaire contre la peste bovine : bilan et perspectives. In: Actes Colloq. Savanes africaines : des espaces en mutation, des acteurs face à de nouveaux défis (Eds Jamin J.Y. et al.), Garoua, Cameroun, mai 2002. Cirad, Montpellier, France, 8 p.
- Bidjeh K., Bornarel P., Imadine M., Lancelot R., 1995. Premier isolement au Tchad du virus de la PPR et reproduction expérimentale de la maladie. *Rev. Elev. Med. Vet. Pays Trop.*, **48** (4): 295-300, doi: 10.19182/remvt.9427
- Cheneau Y., 1985. Evolution de la peste bovine et stratégie de la campagne panafricaine. *Rev. Sci. Tech. Off. Int. Epizoot.*, **4** (2): 403-414, doi: 10.20506/rst.4.2.196
- Colas F. (Ed.), 1999. Actes des 3es journées agro-sylvo-pastorales, LRVZ, N'Djamena, Tchad 29 nov. - 3 déc., 319 p.
- Curson H.H., 1919. Rinderpest in the New Langerberg Province of German East-Africa during 1917-1918. *J. Comp. Path. Ther.*, **32**: 197-210, doi: 10.1016/S0368-1742(19)80022-X
- Daumal S., 1996. Autrefois l'élevage : L'institut d'élevage et de médecine vétérinaire des pays tropicaux : 1920-1993. Cirad, Montpellier, France, 152 p. (coll. Autrefois l'agriculture)

- Delate J.J., 1985. Note de synthèse sur les activités du Laboratoire de Farcha de sa création jusqu'en 1979. Cirad-Iemvt, Maisons-Alfort, France, 37 p.
- Deye A.H., 2018. Le Laboratoire de Recherche vétérinaire et zootechnique de Farcha et l'éradication de la peste bovine : 1949-2007. Mém. Master 2, Université de Nantes, France, 88 p.
- Diguimbaye C., Kebkiba B., Bornarel P., 1993. La sérosurveillance sérologique des anticorps antiviral bovipestiques chez les bovins du Tchad. In: Proc. Sero-monitoring of rinderpest throughout Africa, Phase 2, Cairo, Egypt, 7-11 Nov. 1993. FAO, Rome, Italy, 147-148
- Dufour B., Ouagal M., Idriss A., Maho A., Saboun M., Bidjeh K., Haggag A.I., et al., 1998. Evaluation du réseau d'épidémiologie tchadien : Le REPIMAT. *Epidémiol. Santé Anim.*, **33**: 133-140
- Duteurtre G., Koussou M.O., Essang T., Kadekoy-Tigague D., 2003 : « Le commerce de bétail dans les savanes d'Afrique centrale : réalités et perspectives ». In: Actes Colloq. Savanes africaines : des espaces en mutation, des acteurs face à de nouveaux défis (Eds Jamin J.Y. et al.), Garoua, Cameroun, mai 2002. Cirad, Montpellier, France, 7 p. <https://agritrop.cirad.fr/527576/>
- Gallais J., 1979. La situation de l'élevage bovin et le problème des éleveurs en Afrique occidentale et centrale. *Cah. Outremer*, **126**: 113-138, doi: 10.3406/caoum.1979.2897
- Gouvernement du Tchad, 1960. Ordonnance n° 19 du 16 juil 1960 organisant la police sanitaire en matière de maladies contagieuses du bétail. N'Djamena, Tchad
- Gouvernement du Tchad, 1962. Décret n° 40/EL du 10 fév 1962 relatif au contrôle sanitaire de la circulation du bétail. N'Djamena, Tchad
- Gouvernement du Tchad, 1985. Décret n° 090/PR/MEHP/85 du 21 mars 1985, portant organisation et fonctionnement du LRVZ de Farcha. N'Djamena, Tchad
- Gouvernement du Tchad, 2012. Ordonnance n° 029/PR/2012 du 2 oct 2012 portant création en lieu et place du LRVZ, de l'IRED. N'Djamena, Tchad
- Guillaud M., Fabre S.M., Imadiné M., Buron S., 1989. Evaluation de la protection sérologique contre la peste bovine du cheptel bovin tchadien. *Rev. Elev. Med. Vet. Pays Trop.*, **42** (2): 163-167, doi: 10.19182/remvt.8821
- Hendrikx P., Bidjeh K., Ganda K., Ouagal M., Haggag A.I., Saboun M., Maho A., et al., 1997. Le réseau d'épidémiologie des maladies animales au Tchad, *Rev. Sci. Tech. Off. Int. Epizoot.*, **16** (3): 759-769, doi: 10.20506/rst.16.3.1071
- IEMVT, 1958. Rapport d'activités 1958 du Laboratoire de Farcha. IEMVT / bibliothèque de IRED, Fort-Lamy, Tchad
- IEMVT, 1960. Rapport d'activités 1960 du Laboratoire de Farcha. IEMVT / bibliothèque de IRED, Fort-Lamy, Tchad
- IEMVT, 1962. Rapport d'activités 1962 du Laboratoire de Farcha. IEMVT / bibliothèque de IRED, Fort-Lamy, Tchad
- IEMVT, 1963. Rapport d'activités 1963 du Laboratoire de Farcha. IEMVT / bibliothèque de IRED, Fort-Lamy, Tchad
- IEMVT, 1966. Rapport d'activités 1966 du Laboratoire de Farcha. IEMVT / bibliothèque de IRED, Fort-Lamy, Tchad
- IEMVT, 1968. Rapport d'activités 1968 du Laboratoire de Farcha. IEMVT / bibliothèque de IRED, Fort-Lamy, Tchad, 505 p.
- Itard J., 2012. Un vétérinaire au Tchad en 1954-55 : Souvenirs. *Bull. Soc. Fr. Hist. Méd. Sci. Vét.*, **12**: 151-160
- Jamin J.Y., Seiny Boukar L., Floret C. (Eds) 2003. Actes colloq. Savanes africaines : des espaces en mutation, des acteurs face à de nouveaux défis, Garoua, Cameroun, 27-31 mai 2002. Cirad, Montpellier, France
- Koussou M.O., Grimaud P., Aubague S., 2012. Les filières d'exportation du bétail sur pied au Tchad. *Bull. Anim. Health Prod. Afr.*, **60** (4) : 539-548
- Lefèvre P.C., Bréard A., 1985. Relance de la production des vaccins anti-peste bovine et antipéripleumonie contagieuse au Laboratoire de Farcha (Tchad). Rapport de mission. Cirad-Iemvt, Maisons-Alfort, France, 23 p.
- Leplae E., Carlier F., Van Saeghem R., Chiwy H., 1925. Notes relatives à la lutte contre la peste bovine. G. Wagemans, Bruxelles, Belgique, 39 p.
- Libeau G., Lancelot R., Martinez P., 2011. La contribution du Cirad à l'éradication de la peste bovine. *EMPRES Bull. Mal. Anim. Transfront.* **38**: 54-55
- LRVZ, 1987. Rapport d'activité 1986. Laboratoire de recherche vétérinaire et zootechnique de Farcha, N'djamena, Tchad (consulté à la bibliothèque de l'IRED)
- LRVZ, 1990. Rapport d'activité 1989-1990. Laboratoire de recherche vétérinaire et zootechnique de Farcha, Tchad (consulté à la bibliothèque de l'IRED)
- LRVZ, 1991. Plan directeur. Laboratoire de recherche vétérinaire et zootechnique de Farcha N'Djamena, Tchad (consulté à la bibliothèque de l'IRED)
- Mahamat Saleh A., 1983a. Rapport sur la réapparition de la peste bovine au Tchad du 18 janvier 1983. Bureau de coordination de la campagne d'urgence de lutte contre la peste bovine, Laboratoire de Farcha, Min. de l'Elevage, N'Djamena, Tchad, 5 p.
- Mahamat Saleh A., 1983b. Troisième rapport de la campagne d'urgence contre la peste bovine du 22 février 1983. Bureau de coordination de la campagne d'urgence de lutte contre la peste bovine. Minist. Elevage, Laboratoire de Farcha, N'Djamena, Tchad
- Mornet P., Orue J., Labouche C., Majnguy P., 1953. Les virus-vaccins contre la peste bovine : Le virus bovipestique lapinisé. *Rev. Elev. Med. Vet. Pays Trop.*, **6** (3): 125-166, doi: 10.19182/remvt.6917
- OIE, 1972. Rapport 2e conf. Commission régionale de l'OIE pour l'Afrique, Khartoum, Soudan, 7-10 déc. 1971. *Bull. Off. Int. Epizoot.*, **77** (1-2): 3-4
- OIE, 2013. Fiches d'information générale sur les maladies - Rinderpest. www.oie.int/fileadmin/Home/eng/Animal_Health_in_the_World/docs/pdf/Disease_cards/RINDERPEST.pdf
- Ouagal M., Hendrikx P., Berkvens D., Ncharé A., Cissé B., Akpeli P.Y., Sory K. et al., 2008. Les réseaux d'épidémiologie des maladies animales en Afrique francophone de l'Ouest et du Centre. *Rev. Sci. Tech. Off. Int. Epizoot.*, **27** (3): 689-702, doi: 10.20506/rst.27.3.1828
- Ouagal M., Hendrikx P., Saegerman C., Berkvens D., 2010. Comparison between active and passive surveillance within the network of epidemiological surveillance of animal diseases in Chad. *Acta Tropica*, **116** (2): 147-151, doi: 10.1016/j.actatropica.2010.07.004
- PACE, 2007. Programme pan-africain de contrôle des épizooties, vol. 1 Rapport descriptif. www.au-ibar.org/component/jdownloads/finish/29-pace/675-pace-final-report-vol-1-narrative-report
- PNDE, 2017. Plan national de développement de l'élevage. Ministère de l'Elevage, FAO, N'Djamena, Tchad, 103 p.
- Provost A., 1961. Note sur la possibilité d'emploi du vaccin antibovipestique de culture tissulaire pour la protection des zébus vivant en zone d'endémicité trypanosomienne. *Rev. Elev. Med. Vet. Pays Trop.*, **14** (4): 369-373, doi: 10.19182/remvt.7085
- Provost A., Villemot J.M., Queval R., 1961. Emploi du vaccin avianisé souche B.A. contre la peste bovine en Afrique Centrale. *Rev. Elev. Med. Vet. Pays Trop.*, **14** (4): 375-383, doi: 10.19182/remvt.7086
- Provost A., Borredon C., 1972. Un vaccin mixte antibovipestique-antipéripleumonique lyophilisé utilisable, sur le terrain, sans réfrigération : 1. Sélection de virions bovipestiques à inactivation thermique retardée. *Rev. Elev. Med. Vet. Pays Trop.*, **25** (4): 507-520, doi: 10.19182/remvt.7772
- Provost A., Borredon C., Bocquet P., 1974. Un vaccin mixte trivalent contre la peste bovine, la péripleumonie et le charbon bactérien. *Rev. Elev. Med. Vet. Pays Trop.*, **27** (4): 385-395, doi: 10.19182/remvt.7935
- RGE, 2016. Recensement général de l'élevage, vol. II : Principaux résultats définitifs. Ministère de l'Elevage et des Productions animales, N'Djamena, Tchad, 78 p.
- Sacquet E., Troquereau P., 1952. Essai de vaccination contre la peste bovine au moyen du virus capri-pestique dans le Nord-Est du Tchad. *Rev. Elev. Med. Vet. Pays Trop.*, **5** (2): 45-50, doi: 10.19182/remvt.6901
- SCSAO- AFD, 2013. Elevage pastoral : Une contribution durable au développement et à la sécurité des espaces saharo-sahéliens. N'Djamena, Tchad, 162 p.
- Servat D., Tuslasne J.J., 2000. Réhabilitation des infrastructures des laboratoires de diagnostic et de recherches du Laboratoire de recherches vétérinaires et zootechniques de Farcha, N'Djamena, Tchad. Cirad-EMVT, Montpellier, France, 50 p.
- Sunseri T., 2018. The African rinderpest panzootic, 1888-1897. Oxford University Press, London, UK, doi: 10.1093/acrefore/9780190277734.013.375
- Tacher G., 2011. Campagnes de vaccination bovine au Tchad : souvenir des années 1960. *Bull. Soc. Fr. Hist. Méd. Sci. Vet.*, **11**: 107-115
- Vindrinet R., 1991. Note sur quelques enseignements de la lutte contre la peste bovine au Tchad depuis 1935. *Rev. Elev. Med. Vet. Pays Trop.*, **44** (1): 38-41, doi: 10.19182/remvt.9213

Summary

Deye A.H., Duteurtre G., Ouagal M. Farcha Laboratory and rinderpest eradication programs in Chad from 1949 to 2007: a review

This work reviews the role of the Institut de recherche en élevage pour le développement (IRED), formerly Farcha Laboratory, in the control of rinderpest in Chad. Created in 1949 by colonial authorities, this laboratory located in N'Djamena has been playing a decisive role in rinderpest research in Central Africa since its creation. During the first period, or "Vaccines' Period" (1953–1961), the laboratory's work led to the production of several generations of vaccines. In the second period, or "Campaigns' Period" (1962–1985), these vaccines were used on a large scale for disease eradication programs. The cell culture vaccines produced in Farcha were used in particular in the campaign launched by the Organization of African Unity (1962–1976) under the name of Joint Program No. 15. This program led to the temporary eradication of rinderpest in Chad. Unfortunately, the persistence of rinderpest outbreaks in several regions of Africa and the cessation of vaccination campaigns in Chad in the late 1970s led to its return in 1982. After relaunching vaccine production in 1983 and nationalizing the laboratory in 1985, Farcha kept playing a part in rinderpest control. During the third period, or "Surveillance Period" (1986–2007), the laboratory actively contributed to the Pan-African Rinderpest Campaign (PARC), then to the Pan-African Program for the Control of Epizootics (PACE), notably through epidemio- and sero-surveillance activities. These programs led to the definitive eradication of the disease in the region. Since 2007, Chad has been declared rinderpest-free, which has contributed to a rapid increase in the number of cattle in the country and has opened up trade opportunities, especially in the export of live cattle to neighboring countries.

Keywords: cattle, rinderpest, vaccine, livestock-raising, veterinary laboratories, Chad

Resumen

Deye A.H., Duteurtre G., Ouagal M. El Laboratorio de Farcha y los programas de erradicación de la peste bovina en Chad de 1949 a 2007: una síntesis

Este trabajo de síntesis presenta el papel del Instituto de investigación de crianza para el desarrollo (IRED), antiguamente Laboratorio de Farcha, en la lucha contra la peste bovina en Chad. Creado en 1949 por las autoridades coloniales, este laboratorio implantado en Yamena jugó desde su creación un papel determinante en las investigaciones sobre la peste bovina en África central. En el primer periodo, o "tiempo de vacunas" (1953–1961), los trabajos del laboratorio conducen principalmente a la fabricación de varias generaciones de vacunas. En el segundo periodo, o "tiempo de campañas" (1962–1985), estas vacunas son utilizadas a gran escala para programas de erradicación de la enfermedad. Las vacunas en cultivo celular producidas en Farcha son en particular utilizadas durante la campaña lanzada por la Organización de la Unidad africana (1962–1976) bajo el nombre de Programa conjunto n°15. Este programa llevó a la erradicación temporal de la peste bovina en Chad. Desgraciadamente la persistencia de focos de la enfermedad en varias zonas de África y la suspensión de las campañas de vacunación en Chad a fines de los años 1970 condujeron a un retorno a partir de 1982. Después del reinicio de la producción de vacunas en 1983, luego de la nacionalización del laboratorio en 1985, Farcha se mantiene activo en la lucha contra la peste bovina. En el curso del tercer periodo, o "campaña de vigilancia" (1986–2007), el laboratorio contribuye activamente a la Campaña panafricana contra la peste bovina (PARC), luego al Programa panafricano de control de epizootias (PACE), principalmente mediante actividades de vigilancia epidemiológica y de vigilancia serológica. Estos programas conducen a la erradicación definitiva de la enfermedad en la región. Desde 2007, Chad ha sido declarado indemne a la PB, lo que ha contribuido al aumento rápido de los efectivos bovinos en el país y le ha abierto oportunidades comerciales, sobre todo en materia de exportación de ganado en pie a sus vecinos.

Palabras clave: ganado bovino, peste bovina, vacuna, ganadería, laboratorios veterinarios, Chad

Fièvre aphteuse chez les bovins et les petits ruminants en Algérie. Enquête séroépidémiologique dans la région de l'ouest

Abdeldjalal Bouziri ^{1,2*} Ali Sebai ² Ahmed Kebir ²
Maamar Khames ⁴ Taha Moussadak Hamdi ³ Djamel Khelef ¹

Mots-clés

Bovin, petits ruminants, fièvre aphteuse, morbidité, Algérie

© A. Bouziri et al., 2021



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

Submitted: 14 February 2021

Accepted: 27 October 2021

Published: 20 December 2021

DOI: 10.19182/remvt.36815

Résumé

La fièvre aphteuse (FA) est une maladie infectieuse d'origine virale qui affecte les ruminants et les porcins. Une enquête séroépidémiologique a été menée chez les ruminants de la région ouest de l'Algérie afin d'estimer la séroprévalence de la FA et de déterminer les facteurs de risque susceptibles de favoriser l'atteinte des animaux par cette pathologie. Au total 420 sérums ont été collectés (210 de bovins et 210 de petits ruminants) et soumis au test Elisa NSP permettant la détection des anticorps dirigés contre le virus de la FA induits par les protéines non structurales, puis à des tests Elisa détectant les protéines structurales spécifiques des sérotypes A, O, SAT 1, SAT 2 et Asia 1. Les résultats ont montré une différence non significative ($p > 0,05$) de la séroprévalence entre les espèces avec 23,8 % chez les bovins et 27,1 % chez les petits ruminants. Le sérotype O était présent dans 95,3 % des sérums positifs. Il était présent seul chez 64,9 % des petits ruminants alors que les bovins étaient généralement infectés par plusieurs sérotypes simultanément, avec l'association prédominante des quatre sérotypes A, O, SAT 1 et Asia 1, qui représentait 36 % des infections. Le taux de couverture vaccinale a atteint 48,7 % du cheptel (bovins et petits ruminants) âgé de plus de six mois. Aucun lien statistique n'a été mis en évidence entre le mode d'élevage (extensif, semi-intensif ou intensif) et l'atteinte par la FA ($p > 0,05$). En revanche, une association significative ($p < 0,05$) a été établie entre la vaccination des animaux et l'infection, les animaux vaccinés ayant été moins infectés par la FA.

■ Comment citer cet article : Bouziri A., Sebai A., Kebir A., Khames M., Hamdi T.M., Khelef D., 2021. Foot-and-mouth disease in cattle and small ruminants in Algeria. Seroepidemiological survey in the Western region. *Rev. Elev. Med. Vet. Pays Trop.*, 74 (4): 225-230, doi: 10.19182/remvt.36815

■ INTRODUCTION

La fièvre aphteuse (FA) est une maladie virale transfrontalière très contagieuse. Tous les animaux artiodactyles domestiques et sauvages y sont sensibles (Leforban, 2003). L'Organisation mondiale de la santé animale (OIE) a classé la FA parmi les maladies à notification

obligatoire en raison de sa diffusion potentiellement rapide et pouvant s'étendre sur plusieurs pays, et des pertes économiques considérables qu'elle engendre sur la production animale et en entravant le commerce international des animaux et des denrées d'origine animale (Alexandersen et al., 2003). Selon les estimations de l'OIE, cette maladie circule au sein de 77 % du bétail mondial, en Afrique, au Moyen-Orient et en Asie, ainsi que dans une zone restreinte d'Amérique du Sud (OIE, 2018b). Au cours des dernières années, et particulièrement en 2005-2006, le monde a fait face à une recrudescence de la maladie avec de nombreux foyers affectant des millions d'animaux et occasionnant d'importantes pertes économiques en Asie, en Amérique latine et en Afrique (Houndjè et al., 2013). L'Algérie a également connu plusieurs épisodes de FA durant ces dernières décennies, dont les plus marquants ont été ceux des années 1999, 2014-2015 et 2018, au cours desquels les taux de morbidité et de mortalité les plus élevés

1. Laboratoire de Santé et production animale (SPA), Ecole nationale supérieure vétérinaire Rabie Bouchama, rue Issad Abbes, Oued Smar-Alger, Algérie.

2. Laboratoire vétérinaire régional de Mostaganem (LVRM), Hassi Mameche, Mostaganem.

3. Laboratoire HASAQ, Ecole nationale supérieure vétérinaire d'Alger (ENSV).

4. Université de Yahia Farès de Médéa.

* Auteur pour la correspondance

Tél. : +213 (0)6 66 43 20 42 ; email : bouziri.vet@gmail.com

ont été observés chez les espèces bovines, ovines et caprines. Durant ces épisodes, les sérotypes A et O du virus aphteux ont été identifiés (commun. Direction des vétérinaires algériens, 2019). Le virus de la FA présente en effet une grande variabilité génétique puisqu'il existe actuellement sept sérotypes immunologiques distincts (O, A, C, SAT 1, SAT 2, SAT 3 et Asia 1) qui circulent dans le monde.

Lors de l'épidémie de fièvre aphteuse de 2014-2015, l'analyse phylogénétique des isolats viraux a permis d'identifier la souche O/ME-SA/Ind-2001 sérotype O qui a circulé en Libye, en 2014 en Tunisie, et a été introduite en Algérie par la Tunisie. Il s'agissait d'un nouveau sérotype au Maghreb, provenant du Moyen-Orient (Bouguedour, 2017). Lors de l'épidémie de FA de 2018, le sérotype O, topotype East Africa 3, a été identifié (Calavas et al., 2018).

Pour faire face à ces épidémies, l'Algérie a mis en place plusieurs dispositifs. Des campagnes de vaccination des bovins et des petits ruminants contre la FA ont été lancées dès l'apparition des premiers foyers, à l'aide d'un vaccin bivalent A et O (Calavas et al., 2018). Les sérotypes utilisés dans le vaccin doivent en effet correspondre aux types sérologiques des souches isolées sur le terrain. Selon un rapport semestriel des autorités algériennes de 2017, presque deux millions de bovins ont été vaccinés de manière préventive contre la FA de juillet à décembre 2017. D'autres campagnes ont eu lieu en 2018 et 2019, c'est-à-dire au cours des années précédant notre étude.

L'identification du cheptel national bovin a d'autre part été initiée grâce à un projet de jumelage avec l'Union européenne (2014-2016) en vue du renforcement de la traçabilité et de l'identification des animaux. Enfin, des laboratoires d'alerte précoce (appelés observatoires) ont été installés dans les wilayas (préfectures) frontalières du grand sud, observatoires dont le rôle principal est la détection rapide et le diagnostic précoce des cas de FA transfrontalière. Dans ce contexte, les objectifs de notre étude ont été d'estimer la séroprévalence de la fièvre aphteuse dans le cheptel de bovins et de petits ruminants à l'ouest de l'Algérie, où se situe le laboratoire ayant réalisé les analyses, d'identifier les facteurs de risque d'infection, de caractériser les sérotypes des souches de virus de la FA circulant au sein des élevages, et d'estimer le taux de couverture vaccinale par le vaccin anti-aphteux.

MATERIEL ET METHODES

Site et réalisation de l'étude sur le terrain

Cette enquête a été menée à l'ouest de l'Algérie du 15 au 26 septembre 2019. Compte tenu du nombre de kits Elisa disponibles, 420 prélèvements sanguins (210 de bovins et 210 de petits ruminants) ont été effectués dans sept wilayas (Mostaganem, Oran, Mascara, Tiaret, Chlef, Relizane et Tissemsilt, figure 1), à raison de 30 prélèvements par espèce et par wilaya répartis dans trois élevages différents. La sélection des élevages visités a été effectuée par tirage aléatoire à partir des listes disponibles d'élevages de chaque wilaya. Si l'élevage sélectionné comptait moins de 10 animaux, l'échantillonnage était

complété par un autre élevage du même site. Les animaux à prélever ont également été sélectionnés de manière aléatoire.

Les prélèvements sanguins ont été réalisés à la veine caudale chez les bovins et à la veine jugulaire chez les petits ruminants dans des tubes secs de 5 ml. Ils ont été transportés sous couvert du froid jusqu'au Laboratoire vétérinaire régional de Mostaganem (LVRM) où ils ont été centrifugés à 3500 tours/min pendant 5 min en vue de leur analyse.

Parallèlement, un questionnaire a été rempli pour chaque élevage ayant fait l'objet de prélèvements. Des informations relatives au mode d'élevage (intensif, semi-intensif ou extensif), au type de production (laitier, reproduction, engraissement) et à la vaccination du cheptel vis-à-vis de la FA ont été recueillies. Cette vaccination était effectuée sur tous les animaux de plus de six mois lors de campagnes annuelles qui avaient lieu chaque année depuis 2017.

Analyses de laboratoire

Les analyses ont été effectuées au LVRM par la technique immuno-enzymatique (Elisa) en utilisant la gamme de kits commerciaux Prio-CHECKR. Dans un premier temps, tous les sérums ont été soumis au test Elisa recherchant des anticorps dirigés contre les protéines non structurales (NSP) du virus de la FA, protéines qui ne sont synthétisées que lors de la multiplication du virus. Ce test permet de distinguer les anticorps générés par l'infection de ceux induits par la vaccination (Leforban, 2003). Les NSP peuvent ainsi être considérées comme des indicateurs de l'infection indépendamment du statut vaccinal de l'animal (OIE, 2018c). Seuls les animaux positifs à ce test sont par la suite considérés comme séropositifs.

Puis les sérums positifs au test Elisa NSP ont été soumis aux divers tests Elisa caractéristiques des types A, O, SAT 1, SAT 2 et Asia 1 afin d'identifier les sérotypes en cause par la recherche des anticorps dirigés contre les protéines structurales spécifiques du virus aphteux. Les sérotypes SAT 3 et C n'ont pas été inclus dans l'enquête car, d'une part, les kits n'étaient pas disponibles, d'autre part, ces sérotypes rares ne circulent pas dans les pays qui entourent l'Algérie. Le test est de type bloquant, basé sur une compétition entre les anticorps monoclonaux et les anticorps présents dans l'échantillon.

Chaque technique Elisa a été réalisée selon la notice fournie par le fabricant en respectant les recommandations des normes Afnor NF-U47-019 de février 2010 (« Guide de bonnes pratiques pour la mise en œuvre des techniques Elisa ») et NF-U47-020 de juillet 2001 (« Guide de bonnes pratiques de traitement de l'échantillon soumis à des analyses immunosérologiques »).

Analyses statistiques

La comparaison de la séroprévalence (taux d'animaux ayant été infectés par la FA) et des pourcentages de positivité des sérotypes A, O, SAT 1, SAT 2 et Asia 1 entre les bovins et les petits ruminants, et

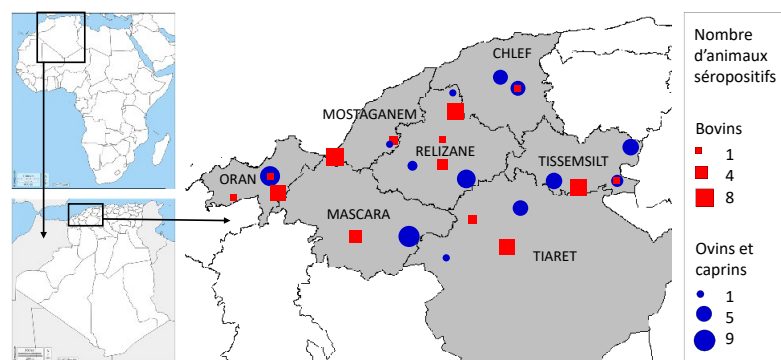


Figure 1 : Répartition des foyers de fièvre aphteuse des bovins et des petits ruminants dans l'Ouest algérien // Distribution of foot-and-mouth disease outbreaks in cattle and small ruminants in the study area in Western Algeria

l'association entre le statut sérologique des animaux et les variables « mode d'élevage » (extensif, intensif et semi-intensif) et « vaccination » ont été effectuées par le test de Chi². Les tests ont été réalisés avec le logiciel Xlstat version 2015. Le rapport de cote (*odds ratio*) a été calculé pour évaluer le degré de dépendance entre le statut vaccinal, connu par le questionnaire, et le statut sérologique. Les différences ont été considérées comme significatives pour $p \leq 0,05$.

■ RESULTATS

Sur les 420 sérums soumis au test Elisa NSP, 107 ont été trouvés séropositifs soit une séroprévalence globale de 25,5 % (intervalle de confiance à 95 % [IC95] : 21,3-29,6 %). Parmi ces sérums positifs, 50 provenaient de bovins et 57 de petits ruminants, soit des séroprévalences respectives de 23,8 % et 27,1 % (pas de différence significative : $p = 0,43$).

Les tests de sérotypage réalisés sur les 107 sérums positifs ont permis l'identification des cinq sérotypes et ont montré la prédominance marquée du sérotype O présent dans 102 sérums (prévalence observée : 95,3 % ; IC95 : 91,3-99,3 %). Il y avait également 53 sérums positifs au sérotype A (49,5 % ; IC95 : 40,1-59,0 %), 38 au sérotype SAT 1 (35,5 % ; IC95 : 26,4-44,6 %), 35 au sérotype Asia 1 (32,7 % ; IC95 : 23,8-41,6 %) et 3 au sérotype SAT 2 (2,8 % ; IC95 : 0,0-5,9 %) (tableau I). Un seul sérotype (A ou O) a été identifié dans 47 des 107 sérums (43,9 %) soumis au sérotypage, deux ou trois sérotypes dans 19 sérums (17,8 %), quatre sérotypes dans 21 sérums (19,6 %), et les cinq sérotypes dans un seul sérum (0,9 %).

Sur les 57 sérums séropositifs chez les ovins et caprins, 37 (64,9 %) étaient positifs uniquement pour l'antigène O. D'autre part, 9 sérums (15,8 %) contenaient d'autres sérotypes que les trois majoritairement présents, A, O ou SAT 1. Chez les bovins, c'est l'association des quatre sérotypes A, O, SAT 1 et Asia 1 qui était prédominante, avec 36 % des infections, le sérotype O seul étant présent dans 16 % des sérums. Les sérotypes A et O ont été retrouvés seuls ou conjointement, en l'absence d'autres types, dans 58 sérums des bovins et petits ruminants, soit 54,2 % des sérums positifs (tableau II). Autrement dit, 45,8 % des sérums contenaient au moins un sérotype non présent dans les vaccins. Ces sérums représentaient 24,6 % des échantillons des petits ruminants et 70,0 % des échantillons bovins ($p < 0,001$).

Le sérotype O a été retrouvé dans 54 des 57 sérums positifs de petits ruminants (94,7 %) et dans 48 des 50 sérums positifs de bovins (96,0 %) (différence non significative ; $p > 0,05$). Par contre, le sérotype A a été retrouvé dans 26,3 % des sérums positifs de petits ruminants et dans 76,0 % des sérums bovins positifs, Asia 1 respectivement dans 12,3 % (ovins-caprins) et 56,0 % (bovins) des échantillons positifs, et SAT 1 dans 17,5 % (ovins-caprins) et 56,0 % (bovins) (différences significatives dans ces trois cas ; $p < 0,05$). SAT 2 a présenté le pourcentage de positivité le plus faible : 3,5 % des petits ruminants et 2 % des bovins (différence non significative ; $p > 0,05$).

Tableau I : Répartition des sérotypes de virus de la fièvre aphteuse identifiés en fonction de l'espèce animale dans l'Ouest algérien // *Distribution of identified foot-and-mouth disease virus serotypes according to animal species (Western Algeria)*

	Nb. de sérums positifs	Sérotypes identifiés					Total
		A	O	SAT 1	SAT 2	Asia 1	
Bovins	50	38	48	28	1	28	143
Petits ruminants	57	15	54	10	2	7	88
Total	107	53	102	38	3	35	231

Au moins un animal séropositif a été identifié dans chacune des wilayas avec des taux de séroprévalence variables d'une wilaya à l'autre (tableau III ; figure 1). Tissemsilt et Relizane ont enregistré les séroprévalences les plus élevées avec respectivement 36,6 % chez les bovins à Relizane et 46,6 % chez les petits ruminants à Tissemsilt. Par contre, Chlef et Mostaganem ont affiché les séroprévalences les plus faibles pour les bovins et les petits ruminants avec un taux de 3,3 % chacune.

Le mode d'élevage semi-intensif était le plus répandu (57,1 % des 42 élevages) parmi les troupeaux enquêtés, suivi du mode extensif (23,8 %) et intensif (19,0 %). Toutefois, le type d'élevage n'a pas eu d'influence sur la séroprévalence ($p = 0,589$) (tableau IV).

Parmi les 420 animaux testés, 230 étaient âgés de plus de six mois. Parmi eux, seuls 112 animaux avaient été vaccinés contre la FA (tableau V), soit un taux de couverture vaccinale des animaux de plus de six mois de 48,7 %. Une plus faible proportion des animaux vaccinés (22,3 % contre 48,3 %) ont été trouvés séropositifs avec le test Elisa NSP, donc infectés par le virus ($p < 0,001$). Il y avait ainsi une association positive entre la vaccination et la prévention contre la fièvre aphteuse.

Tableau II : Fréquence des sérotypes rencontrés chez les ruminants séropositifs à l'Elisa NSP (recherchant les anticorps dirigés contre les protéines non structurales du virus aphteux) dans l'Ouest algérien // *Frequency of serotypes found in ruminants seropositive to NSP ELISA (searching for antibodies directed against nonstructural proteins of the foot-and-mouth disease virus) in Western Algeria*

Sérotypes	Petits ruminants	Bovins
	n (%)	n (%)
O	37 (64,9)	8 (16,0)
A, O	4 (7,0)	7 (14,0)
A, O, SAT 1	4 (7,0)	4 (8,0)
O, Asia 1	3 (5,3)	0 (0)
A, O, SAT 1, Asia 1	2 (3,5)	18 (36,0)
A	2 (3,5)	0 (0)
A, O, SAT 2	1 (1,8)	0 (0)
A, O, SAT 1, SAT 2	1 (1,8)	0 (0)
O, SAT 1	1 (1,8)	3 (6,0)
A, SAT 1, Asia 1	1 (1,8)	1 (2,0)
O, SAT 1, Asia 1	1 (1,8)	1 (2,0)
A, O, SAT 1, SAT 2, Asia 1	0 (0)	1 (2,0)
A, O, Asia 1	0 (0)	6 (12,0)
A, Asia 1	0 (0)	1 (2,0)

Tableau III : Séroprévalence de la fièvre aphteuse selon la wilaya dans l'Ouest algérien // *Foot-and-mouth disease seroprevalence by wilaya in Western Algeria*

Wilayas	Petits ruminants	Bovins
	n (%)	n (%)
Tissemsilt	14/30 (46,6)	8/30 (26,6)
Relizane	10/30 (33,3)	11/30 (36,6)
Chlef	9/30 (30,0)	1/30 (3,3)
Mascara	9/30 (30,0)	4/30 (13,3)
Oran	8/30 (26,6)	8/30 (26,6)
Tiaret	6/30 (20,0)	8/30 (26,6)
Mostaganem	1/30 (3,3)	10/30 (33,3)
Total	27,1	23,8

Tableau IV : Influence du mode d'élevage sur la séropositivité des ruminants au virus de la fièvre aphteuse dans l'Ouest algérien // *Influence of the farming system on the seropositivity of ruminants to the foot-and-mouth disease virus in Western Algeria*

Mode d'élevage	Séropositifs	Séronégatifs	Total
	n (%)	n (%)	
Intensif (n = 8)	21 (26,3)	59 (73,8)	80
Semi-intensif (n = 24)	57 (23,8)	183 (76,3)	240
Extensif (n = 10)	29 (29)	71 (71)	100
Total (n = 42)	107	313	420

Tableau V : Influence du statut vaccinal * sur la séropositivité des ruminants au virus de la fièvre aphteuse dans l'Ouest algérien // *Influence of vaccination status* on seropositivity of ruminants to foot-and-mouth disease virus in Western Algeria*

	Séropositifs	Séronégatifs	Total
	n (%)	n (%)	
Vaccinés	25 (22,3)	87 (77,7)	112
Non vaccinés	57 (48,3)	61 (51,7)	118
Total	82 (35,7)	148 (64,3)	230

* Seuls les animaux de plus de six mois (n = 230) sont susceptibles d'être vaccinés en Algérie // * Only animals over six months of age (n = 230) are eligible for vaccination in Algeria

■ DISCUSSION

Les séroprévalences estimées lors de cette enquête ont été de 23,8 % chez les bovins et de 27,1 % chez les petits ruminants. Ceci indique l'importance de la circulation du virus aphteux en Algérie, confirmant le statut non indemne du pays pour la FA. La dernière notification de foyers de FA en Algérie a d'ailleurs été introduite à l'OIE en juin 2018 (OIE, 2018a). Actuellement, l'OIE ne reconnaît que trois catégories de pays en ce qui concerne la FA (Maree et al., 2014) : les pays indemnes de FA où la vaccination n'est pas pratiquée (cas des pays de l'Union européenne), les pays indemnes de FA où est pratiquée la vaccination, et les pays infectés par la FA. En 2014, après 15 ans d'absence de la FA, l'Algérie est passée du statut de pays indemne avec vaccination au statut de pays infecté. Depuis 2018, la FA reste endémique en Algérie malgré les campagnes de vaccination.

La différence de séroprévalence globale entre les bovins et les petits ruminants n'était pas significative, mais il y avait des divergences pour ce qui concernait les sérotypes retrouvés. Les sérotypes O et SAT 2 affectaient les bovins et les petits ruminants sans prédilection d'espèce, mais les sérotypes A, SAT 1 et Asia 1 étaient retrouvés plus souvent chez les bovins que chez les petits ruminants. Ailleurs dans le monde, les bovins sont généralement considérés comme étant le principal réservoir du virus de la FA. Les petits ruminants peuvent jouer un rôle important dans sa propagation mais il n'est pas certain que le virus puisse être maintenu chez ces espèces pendant de longues périodes en l'absence d'infection des bovins (OIE, 2018c).

Des foyers de la FA ont été détectés par séroprévalence dans toutes les wilayas ciblées. Certains élevages participant à l'enquête avaient d'ailleurs été touchés par des épisodes de FA en 2014, 2017 et 2018. La propagation de la maladie est due à l'excrétion massive de virus par les animaux infectés et à la résistance très importante du virus aphteux dans le milieu extérieur (Leforban, 2003). Le virus de la FA peut d'autre part se propager sur de longues distances par voie aérienne (Donaldson et Alexandersen, 2002).

Les résultats ont montré que tous les type d'élevages étaient affectés par la FA, y compris les élevages intensifs comme les systèmes laitiers fermés où la biosécurité est maîtrisée. Pourtant, le mode d'élevage extensif paraît le plus à même de favoriser la transmission du virus, car on y observe un risque plus important de mélange de différents troupeaux et de contacts étroits entre animaux d'origines diverses, associé à la faible disponibilité de l'eau et de l'alimentation. Le risque de propagation de la maladie est surtout important pendant la saison sèche au cours de laquelle les animaux se rassemblent dans les pâturages et aux points d'eau.

« Le virus de la FA est virus à ARN qui, en raison de son mode de réplication impliquant une ARN polymérase ARN-dépendante possède un taux de mutation assez élevé de 10^{-3} à 10^{-4} par nucléotide et par cycle de réplication de l'ARN » (Thiry et al., 2001). « Ces mutations génèrent des quasi-espèces qui favorisent la multiplicité antigénique » (Brehmet al., 2008). « L'immunité croisée entre les sous-types au sein d'un même type n'est souvent que partielle » (Geering, 1986) et « l'introduction d'un nouveau type antigénique dans un troupeau peut entraîner une morbidité pouvant aller jusqu'à 80 % dans les zones endémiques » (Houndjè et al., 2013). Ainsi, un animal vacciné envers un sérotype de virus peut présenter après la vaccination un tableau clinique de FA dû à un autre sous-type du même sérotype, ou à un autre sérotype viral. Malgré cela, la différence de séroprévalence constatée dans notre étude entre les animaux vaccinés et non vaccinés a été significative parce que l'infection due uniquement aux sérotypes O et A, présents dans le vaccin, représentait 54,2 % des infections.

Parmi les sept sérotypes immunologiques distincts qui circulent dans le monde, cinq ont été identifiés en Algérie à travers cette enquête. Outre les sérotypes A et O déjà identifiés et contre lesquels des campagnes de vaccination ont été mises en place, trois autres sérotypes (SAT 1, SAT 2 et Asia 1) ont été mis en évidence, ce qui indique qu'il y a eu de nouvelles introductions du virus aphteux en Algérie. Or, les sérotypes SAT 1 et SAT 2 ne circulent ni en Tunisie ni en Libye. L'introduction serait plutôt liée à la transhumance de zébus en provenance des pays d'Afrique subsaharienne (ASS), qui jouerait ainsi un rôle significatif au plan épidémiologique pour les ruminants d'Algérie. En effet, la transhumance inter pays constitue une voie prépondérante de transmission de la FA en ASS (Bizimana, 1994), la FA étant enzootique dans presque tous les pays d'ASS (Souley Kouato et al., 2018) où la lutte contre cette maladie est plus compliquée que dans les autres régions du monde. La FA est endémique dans cette région et pourtant « très peu de cas de fièvre aphteuse sont rapportés en raison soit du système d'élevage qui est de type extensif, soit par manque de sensibilisation des populations locales, soit par manque de moyens et de volonté politique des gouvernements de cette région » (Garabed et al., 2009).

Pour lutter contre la FA, l'Algérie a choisi d'appliquer la vaccination avec un vaccin bivalent (sérotypes A et O), la séquestration des foyers et l'abattage des animaux malades. Un bon nombre de pays qui sont parvenus à contrôler la FA ont également appliqué des mesures sanitaires strictes et/ou eu recours à la vaccination (Paton et al., 2009). Il est important de noter que la FA a été éradiquée dans de vastes régions (près de 40 pays concernés), comme l'Europe de l'Ouest qui a cessé de vacciner après une dizaine d'années de campagnes massives ininterrompues. L'Amérique du Nord, la majeure partie des pays d'Amérique latine et ceux du Pacifique Sud sont aujourd'hui également indemnes (Domenech et Vallat, 2012). Toutefois, l'absence actuelle presque totale de vaccination en ASS, et plus particulièrement en Afrique de l'Ouest (Vosloo et al., 2002), ne favorise pas le contrôle de la maladie. Par ailleurs, l'application de mesures sanitaires très sévères, comme l'abattage des animaux présents dans les foyers, l'abattage en anneau des élevages proches ou ayant eu des contacts à risque avec les élevages infectés, les restrictions à la circulation des animaux et des produits d'origine animale, semble irréaliste dans les

pays d'ASS en raison du manque de moyens financiers et du faible intérêt accordé par les gouvernements à la surveillance et à la lutte contre les maladies contagieuses des animaux. C'est pourquoi, en matière de surveillance de la FA l'autorité vétérinaire algérienne compte sur le programme d'identification du cheptel et l'installation des observatoires au sud du pays qui, une fois achevés, permettraient d'assurer une détection plus précoce des maladies transsahariennes et un contrôle des mouvements du cheptel.

■ CONCLUSION

L'enquête a permis d'estimer la séroprévalence actuelle et le taux de couverture vaccinale de la fièvre aphteuse dans plusieurs wilayas de l'ouest de l'Algérie. Elle a mis en évidence quelques facteurs qui contribuent au maintien de cette maladie dans la région, comme la variabilité antigénique et la propagation du virus aphteux, mais aussi l'efficacité de vaccin antiaphteux. Parmi les systèmes d'élevage en vigueur dans le pays, aucun ne présente de risque plus important d'atteinte par la FA. Les animaux non vaccinés ont en revanche présenté un risque plus important de contracter la FA que les animaux vaccinés. La moitié de la population étudiée avait reçu un vaccin bivalent A et O mais l'efficacité du vaccin pourrait encore être améliorée si le

cocktail vaccinal était modifié. Comme de nombreux pays d'Europe et d'Amérique, l'Algérie pourrait passer au statut de pays indemne avec vaccination si les campagnes de vaccination étaient pratiquées sans interruption chez les bovins et les petits ruminants, quel que soit le mode d'élevage (extensif, intensif ou semi-intensif), en adaptant la composition du vaccin à la nature des souches circulant dans le pays, notamment en intégrant les sérotypes SAT 1 et Asia 1, surtout pour les bovins qui se sont révélés être les plus touchés.

Conflits d'intérêts

La présente enquête a été réalisée sans conflit d'intérêts. Il s'agit d'un travail de recherche dont la finalité est l'estimation de la situation en matière de fièvre aphteuse dans la région étudiée.

Déclaration des contributions des auteurs

AB a analysé et interprété les données et résultats, rédigé la première version du manuscrit ; AK a planifié l'enquête et la fourniture des kits Elisa, réalisé les prélèvements sanguins, collecté les données ; AS a géré l'équipe des techniciens d'analyse ; MK a réalisé les analyses statistiques des résultats ; TMH et DK ont fait la révision critique du manuscrit.

REFERENCES

- Alexandersen S., Zhang Z., Donaldson A.I., Garland A.J.M., 2003. The pathogenesis and diagnosis of foot-and-mouth disease. *J. Comp. Pathol.*, **129** (1): 1-36, doi: 10.1016/s0021-9975(03)00041-0
- Bizimana N., 1994. Epidemiology, surveillance and control of the principal infectious animal diseases in Africa. *Rev. Sci. Tech. Off. Int. Epizoot.*, **13** (2): 397-416, doi: 10.20506/rst.13.2.770
- Bouguedour R., 2017. Analyse de la situation au regard de la fièvre aphteuse et de la peste des petits ruminants en Afrique en 2015 et 2016. Atelier régional OIE fièvre aphteuse et peste des petits ruminants Tunis (Tunisie), 14-16 mars 2017. <https://rr-africa.oie.int/wp-content/uploads/2017/03/oie-fmd-and-ppr-in-africa.pdf> (consulté 30 jan. 2021)
- Brehm K.E., Kumar N., Thulke H.H., Haas B., 2008. High potency vaccines induce protection against heterologous challenge with foot-and-mouth disease virus. *Vaccine*, **26** (13): 1681-1687, doi: 10.1016/j.vaccine.2008.01.038
- Calavas D., Cauchard J., Hendrikx P., Lambert Y., Mercier A., Kassimi L.B., 2018. Fièvre aphteuse en Algérie. Point de situation au 31 Juillet 2018, www.plaforme-esa.fr/article/fievre-aphteuse-en-algerie-point-de-situation-au-31-juillet-2018 (consulté 20 déc. 2020)
- Domenech J., Vallat B., 2012. La lutte contre les épizooties au XXI^e siècle. *CR Biol.*, **335** (5): 356-369, doi: 10.1016/j.crvi.2012.04.003
- Donaldson A.I., Alexandersen S., 2002. Predicting the spread of foot and mouth disease by airborne virus. *Rev. Sci. Tech. Off. Int. Epizoot.*, **21** (3): 569-575, doi: 10.20506/rst.21.3.1362
- Garbed R.B., Perez A.M., Johnson W.O., Thurmond M.C., 2009. Use of expert opinion for animal disease decisions: an example of foot-and-mouth disease status designation. *Prev. Vet. Med.*, **92** (1-2): 20-30, doi: 10.1016/j.prevetmed.2009.06.010
- Geering W.A., 1986. Maladies prioritaires du bétail. FAO, Rome, Italie, 421 p.
- Houndjè E., Kpodékon M., Moutou F., Blaise-Boisseau S., Bakkali-Kassimi L., Berkvens D., Zientara S., et al., 2013. Principales caractéristiques épidémiologiques et impact économique de la fièvre aphteuse en Afrique : synthèse bibliographique. *Ann. Méd. Vét.*, **157**: 120-134
- Leforban Y., 2003. Fièvre aphteuse. In : Principales maladies infectieuses et parasitaires du bétail. Europe et régions chaudes. Tome 1 : Généralités ; maladies virales (Eds : Lefèvre P.C., Blancou J., Chermette R.). Tec & Doc Lavoisier, Paris, France, 339-361
- Maree F.F., Kasanga C.J., Scott K.A., Opperman P.A., Chitray M., Sangula A.K., Sallu R., et al., 2014. Challenges and prospects for the control of foot-and-mouth disease: an African perspective. *Vet. Med. Res. Rep.*, **5**: 119-138, doi: 10.2147/VMRR.S62607
- OIE, 2018a. Récents foyers et événements épidémiologiques en Afrique. <https://rr-africa.oie.int/fr/notifications-immédiates-en-afrique/> (consulté 27 juin 2021)
- OIE, 2018b. Récents foyers et événements épidémiologiques en Afrique. www.oie.int/fr/maladie/fievre-aphteuse/ (consulté 27 juin 2021)
- OIE, 2018c. Manuel des tests de diagnostic et des vaccins pour les animaux terrestres 2019. www.oie.int/fileadmin/Home/fr/Health_standards/tahm/3.01.08_FMD.pdf (consulté 30 déc. 2020)
- Paton D., Sumption K., Charleston B., 2009. Options for control of foot-and-mouth disease: knowledge, capability and policy. *Philos. Trans. R. Soc. B.*, **364**: 2657-2667, doi: 10.1098/rstb.2009.0100
- Souley Kouato B., De Clercq K., Abatih E., Dal Pozzo F., King D.P., Thys E., Marichatou H., et al., 2018. Review of epidemiological risk models for foot-and-mouth disease: Implications for prevention strategies with a focus on Africa. *PLoS One*, **13** (12): e0208296, doi: 10.1371/journal.pone.0208296
- Thiry E., Baranowski E., Domingo E., 2001. Épidémiologie moléculaire de la fièvre aphteuse. *Epidémiol. Santé Anim.*, **39**: 59-67
- Vosloo W., Bastos A.D.S., Sangare O., Hargreaves S.K., Thomson G.R., 2002. Review of the status and control of foot and mouth disease in sub-Saharan Africa. *Rev. Sci. Tech. Off. Int. Epizoot.*, **21**: 437-449, doi: 10.20506/rst.21.3.1349

Summary

Bouziri A., Sebai A., Kebir A., Khames M., Hamdi T.M., Khelef D. Foot-and-mouth disease in cattle and small ruminants in Algeria. Seroepidemiological survey in the western region

The foot-and-mouth disease (FMD) is an infectious disease of viral origin that affects ruminants and pigs. A seroepidemiological survey was conducted in ruminants in the western region of Algeria to estimate the seroprevalence of FMD and to determine the risk factors that might lead to animals being affected by this disease. A total of 420 sera were collected (210 from cattle and 210 from small ruminants) and subjected to an NSP ELISA for the detection of antibodies against FMD virus induced by nonstructural proteins, followed by ELISAs for the detection of structural proteins specific to serotypes A, O, SAT 1, SAT 2 and Asia 1. The results showed a non-significant difference ($p > 0.05$) in seroprevalence between species with 23.8% in cattle and 27.1% in small ruminants. Serotype O was present in 95.3% of positive sera. It was present singly in 64.9% of small ruminants, whereas cattle were usually infected with several serotypes simultaneously, with the predominant association of the four serotypes A, O, SAT 1 and Asia 1, which accounted for 36% of infections. Vaccination coverage reached 48.7% of the herd (cattle and small ruminants) over six months of age. No statistical association was found between the farming system (extensive, semi-intensive or intensive) and FMD infection ($p > 0.05$). In contrast, a significant association ($p < 0.05$) was found between animal vaccination and infection, with vaccinated animals being less infected with FMD.

Keywords: cattle, small ruminants, foot-and-mouth disease, morbidity, Algeria

Resumen

Bouziri A., Sebai A., Kebir A., Khames M., Hamdi T.M., Khelef D. Fiebre aftosa en los bovinos y pequeños rumiantes en Argelia. Encuesta sero-epidemiológica en la región del oeste

La fiebre aftosa (FA) es una enfermedad infecciosa de origen viral, que afecta los rumiantes y los porcinos. Una encuesta sero-epidemiológica se llevó a cabo en los rumiantes de la región oeste de Argelia, con el fin de estimar la seroprevalencia de la FA y de determinar los factores de riesgo susceptibles de favorecer la aparición de esta patología en los animales. En total se recolectaron 420 sueros (210 de bovinos y 210 de pequeños rumiantes) y se sometieron a la prueba Elisa NSP, permitiendo la detección de anticuerpos dirigidos contra el virus de la FA inducidos por las proteínas no estructurales, luego a pruebas de Elisa para detectar las proteínas estructurales específicas de los serotipos A, O, SAT 1, SAT 2 y Asia 1. Los resultados mostraron una diferencia no significativa ($p > 0,05$) de la seroprevalencia entre las especies con 23,8% en los bovinos y 27,1% en los pequeños rumiantes. El serotipo O estaba presente en 95,3% de los sueros positivos. Estaba presente en exclusividad en 64,9% de los pequeños rumiantes, mientras que los bovinos estaban generalmente infectados simultáneamente por varios serotipos, con la asociación predominante de cuatro serotipos A, O, SAT 1 y Asia 1, que representaron 36% de las infecciones. La tasa de cobertura de vacunación alcanzó 48,7% del hato (bovinos y pequeños rumiantes) con edades mayores de seis meses. No se evidenció ninguna relación estadística entre el tipo de cría (extensiva, semi intensiva o intensiva) y el padecimiento por FA ($p > 0,05$). Por otro lado, una asociación significativa ($p < 0,05$) fue establecida entre la vacunación de los animales y la infección, los animales vacunados fueron menos infectados por la FA.

Palabras clave: bovino, pequeños rumiantes, fiebre aftosa, morbilidad, Argelia

Parasites digestifs des poules villageoises vendues à Ngaoundéré (Cameroun)

Souley Bagari Iya ^{1*} Abdoulmoumini Mamoudou ² Bello Maliki Ibrahim ¹ Abass Chahdini Gbambie ³ Samuel Abah ⁴ Farikou Oumarou ⁴ Bello Mohaman ⁴ Charles Awé ⁵ Linda Stella Mbassi ¹ Michel Lontsi-Demano ³

Mots-clés

Gallus gallus, volaille, parasitisme, helminthe, Coccidia, Cameroun

© S. Bagari Iya et al., 2021



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

Submitted: 29 March 2020

Accepted: 6 September 2021

Published: 20 December 2021

DOI: 10.19182/remvt.36800

Résumé

Une étude a été menée sur le parasitisme digestif des poules villageoises collectées dans deux marchés de la ville de Ngaoundéré (Cameroun) entre mai et août 2018. Neuf genres (*Eimeria* sp., *Raillietina* sp., *Capillaria* sp., *Choanotaenia* sp., *Gongylonema* sp., *Amoebotaenia* sp., *Hymenolepis* sp., *Tetrameres* sp. et *Echinostoma* sp.) et trois espèces (*Ascaridia galli*, *Heterakis gallinarum* et *Trichostrongylus tenuis*) ont été identifiés. Sur les 429 échantillons examinés, 362 étaient porteurs d'un ou de plusieurs parasites, soit un taux d'infestation de 84,4 %. Ce taux était de 86,3 % chez les 240 oiseaux examinés par coproscopie, et de 82,0 % chez les 189 examinés par autopsie. A la coproscopie, les oiseaux adultes étaient plus infestés que les jeunes par *Ascaridia galli*, *Raillietina* sp. et *Eimeria* sp. De même, à l'autopsie une plus forte prévalence de *Capillaria* sp. et *Raillietina* sp. a été observée chez les adultes. La plupart des helminthes parasitaient l'intestin grêle. Aucune lésion coccidienne n'a été observée le long du tractus intestinal. Diverses associations de parasites ont été observées avec celle prédominante de *Eimeria* sp. L'intensité moyenne d'infestation par *Eimeria* sp., estimée par la méthode de détermination du nombre d'œufs par gramme de fèces de McMaster, a été la plus élevée chez les volailles adultes.

■ Comment citer cet article : Bagari Iya S., Mamoudou A., Maliki Ibrahim B., Chahdini Gbambie A., Abah S., Oumarou F., Mohaman B., Awé C., Mbassi L.S., Lontsi-Demano M., 2021. Digestive parasites of local hens sold in Ngaoundere (Cameroon). *Rev. Elev. Med. Vet. Pays Trop.*, 74 (4): 231-235, doi: 10.19182/remvt.36800

■ INTRODUCTION

Avec un taux d'accroissement démographique de 3 % par an, l'élevage bovin ne peut à lui seul subvenir aux besoins en alimentation carnée de la populations camerounaise, qui s'élèvent à 46 kilogrammes de viande par habitant et par an (Ngandeu et Ngatchou, 2006). Jusqu'à récemment, les politiques étaient pourtant focalisées

sur le développement du secteur des ruminants pour couvrir ces besoins. Cependant, face aux faibles résultats obtenus, les stratégies de développement ont été réorientées vers la production d'animaux à cycle court, notamment la poule (Ngandeu et Ngatchou, 2006). L'aviculture industrielle est ainsi une activité d'élevage en nette croissance en Afrique subsaharienne, mais l'aviculture traditionnelle reste la plus répandue et joue un rôle-clé dans la quête de l'autosuffisance et de la durabilité de la sécurité alimentaire (Ayssiwede et al., 2011).

La viande de poulet occupe donc une place importante dans l'alimentation des populations africaines en général et camerounaise en particulier. Toutefois, le déficit en produits issus de volailles persiste dans plusieurs pays en développement et particulièrement en Afrique subsaharienne. Cette carence est surtout due aux faibles niveaux de productivité des poules et coqs villageois qui ne bénéficient d'aucun suivi sanitaire (Gueye, 1998). Bien que les maladies parasitaires ne soient pas le plus souvent des causes directes de mortalités chez ces volailles, elles sont néanmoins à l'origine de pertes économiques considérables en raison des baisses de productivité consécutives à l'infestation des animaux

1. Institut de recherche agricole pour le développement, Centre de recherche agricole de Wakwa, BP 65, Ngaoundéré, Cameroun.

2. Département de parasitologie et de pathologies parasitaires, Ecole des sciences et de médecine vétérinaire, Université de Ngaoundéré, Ngaoundéré, Cameroun.

3. Unité de recherche de biologie et d'écologie appliquées, Faculté des sciences, Université de Dschang, Dschang, Cameroun.

4. Laboratoire d'entomologie médicale et vétérinaire, Mission spéciale d'éradication des glossines, Ngaoundéré, Cameroun.

5. Laboratoire national vétérinaire, Garoua, Cameroun.

* Auteur pour la correspondance

Tél. : +237 694 688 847 ; email : iyasouley@yahoo.fr

(Amoussou, 2007). Il est donc important de maîtriser ces affections, ce qui passe nécessairement par la connaissance des agents pathogènes en cause. Or, la dernière étude menée sur les helminthes digestifs des poules et coqs villageois au Cameroun, réalisée dans la ville de Dschang à l'ouest du pays, remonte à 25 ans (Mpoame et Agbede, 1995). A Ngaoundéré, il n'existe aucune étude sur les helminthes digestifs et les coccidies des poules villageoises. L'objectif de nos travaux était ainsi de réaliser un premier inventaire des genres et espèces parasitant les poules villageoises élevées dans cette région du nord du Cameroun.

■ MATERIEL ET METHODES

Collecte du matériel animal

Au total 429 tractus digestifs de poules (ce terme désigne en général dans cet article à la fois les mâles et les femelles) villageoises de races indéterminées ont été collectés de façon aléatoire durant la saison pluvieuse entre mai et août 2018 dans deux marchés de la ville de Ngaoundéré (région de l'Adamaoua, 1100 m d'altitude, 7° 3' N, 13° 4' E). Après abattage et dépeçage des volailles, les viscères ont été placés dans des sacs en plastique identifiés, stockés dans un sac isotherme contenant de la carboglace, puis acheminés au laboratoire de parasitologie de la Mission spéciale d'éradication des glossines où ils ont été conservés entre 4 et 8 °C jusqu'à leur examen (Chollet et al., 1994). Le sexe et l'âge des volailles (trois mois au plus pour les juvéniles et plus de trois mois pour les adultes) ont été déterminés par observation des caractères phénotypiques (FAO, 2013). Les échantillons ont été analysés soit par coproscopie, soit par autopsie helminthologique. Dans un premier temps (mai à mi-août), chaque méthode a été utilisée alternativement un jour sur deux. Pendant les quinze derniers jours de l'étude, seule la coproscopie a été employée.

Recherche des œufs et des oocystes coccidiens

Parmi les 429 échantillons collectés, 240 ont été analysés par coproscopie. Deux méthodes qualitatives (sédimentation et flottaison) et une méthode quantitative (technique de McMaster réalisée à partir de 2 g de fèces mélangés à 60 ml d'eau sursaturée de NaCl) ont été utilisées pour la recherche et la quantification des œufs et oocystes dans les matières fécales (Chollet et al., 1994) de ces 240 animaux. La quantité d'œufs par gramme de fèces (opg) a été déterminée par la lecture d'une seule lame de McMaster par volaille.

Collecte et identification des helminthes adultes

Une autopsie a été pratiquée sur 189 des tubes digestifs collectés. Le tractus digestif de chaque volaille a été étalé sur la paille et divisé en quatre portions : œsophage-jabot, proventricule-gésier, intestin grêle (duodénum et jéjunum) et caeca. Chaque portion a été incisée longitudinalement et mise dans une boîte de Petri. La paroi a été lavée et rincée à l'eau du robinet, puis le contenu a été décanté à plusieurs reprises jusqu'à obtention finale d'une suspension claire permettant une collecte aisée des parasites à l'aide d'une loupe binoculaire (Kaufmann et Pfister, 1990).

Les helminthes récoltés ont été placés dans des flacons contenant de l'alcool à 70 %. Les nématodes ont été éclaircis à la glycérine pure pendant 24 à 48 h. Les cestodes ont été fixés, plongés dans l'acide acétique pendant 5 à 10 min, puis lavés à l'eau et à l'éthanol à 80 °C. Après éclaircissement, les vers ont été rincés à l'éthanol 70 °C pendant 5 à 10 min (Meyer et Olsen, 1980 ; Euzéby, 1982). L'identification et le comptage des helminthes ont été faits au microscope photonique en suivant les clés disponibles (Yamaguti, 1963 ; Euzéby, 1963 ; 1966 ; Troncy et al., 1981). Pour les cestodes, seuls les scolex ont été comptés car il y avait de nombreux segments séparés dans les boîtes de Petri.

Analyses des données

Les données collectées ont été analysées avec le logiciel SPSS version 22.0. Le test de chi-2 a permis de comparer les prévalences en fonction du sexe et de l'âge. Les charges parasitaires, quant à elles, ont été comparées par le test d'analyse de variance (Anova) à deux facteurs. La prévalence apparente (P) et l'intervalle de confiance (IC) à 95 % ont été calculés par les formules suivantes (avec n la taille d'échantillon) :

$$P = \frac{\text{Nombre d'animaux positifs à une méthode de diagnostic}}{n}$$

$$IC = [P - 1,96 \times \sqrt{\frac{P \times (1-P)}{n}} ; P + 1,96 \times \sqrt{\frac{P \times (1-P)}{n}}]$$

■ RESULTATS

Parasites identifiés

Sur les 429 échantillons examinés, il y avait 174 (40,6 %) femelles et 255 (59,4 %) mâles, et 115 (26,8 %) juvéniles et 314 (73,2 %) adultes. Par ailleurs, 362 étaient porteurs d'un ou de plusieurs parasites, ce qui équivaut à un taux d'infestation de 84,4 % (IC : 80,9–87,8 %). Le taux était de 86,3 % (IC : 81,9–90,6 %) pour les 240 oiseaux examinés par coproscopie, et de 82,0 % (IC : 76,5–87,5 %) pour les 189 examinés par autopsie. Il n'y a pas eu de différence ($p > 0,05$) dans les taux d'infestation en fonction de la méthode d'analyse utilisée.

Trois espèces et neuf genres de parasites ont été observés : *Ascaridia galli*, *Heterakis gallinarum* et *Trichostrongylus tenuis* ; *Eimeria* sp., *Raillietina* sp., *Capillaria* sp., *Choanotaenia* sp., *Gongylonema* sp., *Amoebotaenia* sp., *Hymenolepis* sp., *Tetrameres* sp. et *Echinostoma* sp. (tableau I). Certains parasites ont été plus fréquemment observés par autopsie, comme la plupart des cestodes. À l'inverse, les taux d'infection par les nématodes ont été généralement plus élevés lors des coproscopies. *Eimeria* sp. a été diagnostiqué exclusivement par coproscopie et a été le parasite le plus fréquemment observé.

À la coproscopie, nous n'avons pas observé de différence significative entre les taux d'infestation des deux sexes, ni entre les oiseaux adultes et jeunes, bien que les premiers aient été généralement plus infestés. À l'autopsie, l'infestation des animaux adultes a été en revanche significativement plus importante ($p < 0,05$) pour *Capillaria* sp., *Raillietina* sp. et *Choanotaenia* sp.

La plupart des helminthes parasitaient l'intestin grêle (tableau II). Deux genres ont cependant été retrouvés dans l'œsophage et le jabot, un dans le gésier, et deux dans les caeca. *Heterakis gallinarum* a été retrouvé dans l'intestin grêle et les caeca.

Intensités moyennes d'infestation

Les poules adultes ont eu une intensité moyenne d'infestation par *Eimeria* sp., estimée par la détermination des opg (tableau III), légèrement plus importante que les jeunes, mais de façon non significative ($p = 0,36$). Toutefois cette infestation coccidienne, plus importante chez les sujets âgés, s'est présentée sous forme bénigne, sans symptômes apparents et sans qu'aucune lésion coccidienne n'ait été observée le long du tractus intestinal.

Associations parasitaires chez les poules locales

Différents types d'associations parasitaires ont été observés au cours de l'étude, le nombre d'espèces et de genres de parasites différents par animal pouvant être de deux, trois ou quatre. Les associations de parasites observées ont été très variables avec plus de 30 associations différentes de deux parasites, 25 de trois parasites et 5 de

Tableau I : Prévalences des parasites digestifs en fonction du sexe et de l'âge des poules (n=429) pour les échantillons examinés par coproscopie (Copro, n=240) et par autopsie (Autops, n=189) à Ngaoundéré, Cameroun /// *Prevalence of digestive parasites according to sex and age of hens (n=429) for samples examined by coproscopy (Copro, n=240) and necropsy (Autops, n=189) in Ngaoundere, Cameroon*

	Sexe				Age				Total	
	Mâle (%)		Femelle (%)		Adulte (%)		Juvénile (%)		Copro	Autops
	Copros	Autops	Copro	Autops	Copro	Autops	Copro	Autops		
Nématodes										
<i>Ascaridia galli</i>	36 (26,5)	11 (9,2)	23 (21,1)	5 (7,1)	44 (25,4)	10 (7,1)	15 (22,4)	6 (12,5)	59 (24,6)	16 (8,5)
<i>Heterakis gallinarum</i>	23 (16,9)	14 (11,8)	21 (20,2)	7 (10)	36 (20,8)	17 (12)	8 (11,9)	4 (8,3)	44 (18,3)	21 (11,1)
<i>Capillaria</i> sp.	15 (11)	17 (14,3)	16 (15,4)	10 (14,2)	26 (15)	25 (17,8)	5 (7,4)	2 (4,1)	31 (12,9)	27 (14,3)
<i>Tetrameres</i> sp.	7 (5,1)	2 (1,7)	9 (8,7)	0	13 (7,5)	2 (1,4)	3 (4,4)	0	16 (6,7)	2 (1,1)
<i>Trichostrongylus tenuis</i>	2 (1,4)	0	1 (0,9)	0	3 (1,7)	0	0 (0)	0	3 (1,3)	0
<i>Gongylonema</i> sp.	13 (9,6)	6 (5)	5 (4,8)	2 (2,8)	11 (6,4)	6 (4,2)	7 (10,4)	2 (4,2)	18 (7,5)	8 (4,2)
Cestodes										
<i>Raillietina</i> sp.	34 (25)	67 (56,3)	35 (33,7)	38 (54,3)	52 (30,1)	85 (60,3)	17 (25,4)	20 (41,7)	69 (28,8)	105 (55,6)
<i>Choanotaenia</i> sp.	4 (2,9)	15 (12,6)	9 (8,6)	11 (15,7)	10 (5,8)	24 (17)	3 (4,4)	2 (4,2)	13 (5,4)	26 (13,8)
<i>Amoebotaenia</i> sp.	13 (9,5)	0	10 (9,6)	0	17 (9,8)	0	6 (8,9)	0	23 (9,6)	0
<i>Hymenolepis</i> sp.	5 (3,7)	6 (5)	7 (6,7)	3 (4,2)	10 (5,8)	6 (4,2)	2 (2,9)	3 (6,25)	12 (5,0)	9 (4,8)
Trématodes										
<i>Echinostoma</i> sp.	0	1 (0,7)	0	0	0	1 (0,7)	0	0	0	1 (0,5)
Coccidies										
<i>Eimeria</i> sp.	79 (58,9)	0	52 (50)	0	96 (55,4)	0	35 (52,2)	0	131 (54,6)	0

Tableau II : Distribution des helminthes digestifs en fonction du site de prédilection chez les poules à Ngaoundéré, Cameroun /// *Distribution of digestive helminths according to the site of predilection in hens in Ngaoundéré, Cameroon*

Site de prédilection	Espèce ou genre rencontré
Cœsophage-jabot	<i>Capillaria</i> sp. et <i>Gongylonema</i> sp.
Proventricule-gésier	<i>Tetrameres</i> sp.
Intestin grêle	<i>Ascaridia galli</i> , <i>Raillietina</i> sp., <i>Choanotaenia</i> sp., <i>Hymenolepis</i> sp., <i>Heterakis gallinarum</i>
Caeca	<i>Heterakis gallinarum</i> , <i>Echinostoma</i> sp.

quatre parasites. Les coccidies ont été impliquées dans la plupart de ces associations, car il s'agissait des parasites les plus fréquents : elles étaient présentes chez 75 % des oiseaux alors que l'helminthe le plus abondant, *Raillietina* sp., n'a été observé que chez 40 % des animaux.

■ DISCUSSION

Les parasites digestifs ont très fréquemment des prévalences élevées chez les volailles villageoises. Cela a été observé dans notre étude (84,4 %), comme dans celles réalisées dans une autre région du Cameroun (93,5 % ; Mpaome et Agbede, 1995), au Bénin (86,4 % ;

Tableau III : Intensité moyenne d'infestation des poules par les helminthes digestifs et les coccidies, à Ngaoundéré, Cameroun, estimée par la détermination du nombre d'œufs/ocystes par gramme de fèces (méthode de McMaster) /// *Mean infestation intensity of hens with digestive helminths and coccidia in Ngaoundere, Cameroon, estimated by determining the number of eggs/ocysts per gram of feces (McMaster method)*

	Sexe (moyenne ± écart-type)		Age (moyenne ± écart-type)	
	Mâle	Femelle	Adulte	Juvénile
<i>Ascaridia galli</i>	263 ± 119	343 ± 245	315 ± 209	297 ± 203
<i>Heterakis gallinarum</i>	176 ± 112	296 ± 176	258 ± 161	136 ± 106
<i>Capillaria</i> sp.	266 ± 121	223 ± 88	246 ± 113	238 ± 48
<i>Tetrameres</i> sp.	205 ± 83	242 ± 111	200 ± 84	300 ± 100
<i>Trichostrongylus tenuis</i>	350 ± 50	200 ± 0	300 ± 47	0
<i>Gongylonema</i> sp.	320 ± 45	227 ± 109	259 ± 128	243 ± 53
<i>Raillietina</i> sp.	311 ± 180	291 ± 134	313 ± 159	265 ± 154
<i>Choanotaenia</i> sp.	261 ± 171	213 ± 111	270 ± 160	167 ± 104
<i>Amoebotaenia</i> sp.	200 ± 103	212 ± 98	221 ± 102	167 ± 81
<i>Hymenolepis</i> sp.	271 ± 125	200 ± 71	250 ± 118	200 ± 0
<i>Eimeria</i> sp.	5625 ± 4699	5861 ± 4256	6088 ± 4470	4847 ± 4200

Amoussou, 2007), en Algérie (100 % ; Yousfi, 2012) ou au Niger (100 % ; Tager-Kagan et al., 1992). L'absence de suivi technique et sanitaire de ces élevages est sans doute une des causes principales de ces observations.

Durant l'étude, deux méthodes d'analyses ont été utilisées, la coproscopie et l'autopsie helminthologique. La combinaison des deux méthodes, même si elle n'a pas été utilisée pour les mêmes échantillons, a permis de faire un diagnostic exhaustif dans la zone d'étude et d'évaluer les lésions potentielles le long du tractus digestif (autopsie). Toutefois, comme les différents échantillons n'ont pas été examinés par les deux méthodes à la fois, il est difficile de faire une comparaison fine entre ces dernières.

Eimeria sp. et *Raillietina* sp. ont été les parasites les plus fréquemment rencontrés. Ceci peut s'expliquer par le fait que la population étudiée était en majorité adulte. Or, une durée d'élevage prolongée entraîne l'accumulation d'*Eimeria* sp. chez les oiseaux (Fortineau et Troncy, 1985). Par ailleurs, la coccidiose se présente sous forme bénigne chez les volailles âgées avec des charges faibles et sans symptômes apparents. Ceci est lié à l'immunité protectrice qui se développe avec l'âge et qui existe chez les animaux rustiques (Fortineau et Troncy, 1985 ; Adjovi, 1990). Il est toutefois possible, comme cela a été montré au Bénin, que la coccidiose soit plus sévère chez les poussins (Adjovi, 1990).

Les volailles villageoises, qu'elles soient mâles ou femelles, sont toutes soumises au même risque d'exposition aux infections parasitaires (Kibadi et al., 2019). D'autre part, les animaux de tous les âges (juvéniles et adultes) étaient infestés. Il y avait toutefois des prévalences d'infestation à *Capillaria* sp., *Raillietina* sp. et *Choanotaenia* sp. plus importantes chez les adultes. Ceci pourrait être en rapport avec les habitudes alimentaires des animaux âgés qui consomment plus d'aliments que les jeunes (Amoussou, 2007), ce qui expliquerait aussi l'intensité moyenne d'infestation élevée chez les oiseaux adultes. D'autre part, selon Nalubamba et al. (2015), la volaille adulte est plus insectivore que granivore ce qui peut expliquer une forte prévalence de cestodes et particulièrement de *Raillietina* sp. car les insectes (et les vers de terre) constituent des hôtes intermédiaires pour plusieurs de ces parasites.

CONCLUSION

Cette étude a révélé la présence de trois genres (*Capillaria* sp., *Tetrameres* sp. et *Gongylonema* sp.) et trois espèces (*Ascaridia galli*, *Heterakis gallinarum* et *Trichostrongylus tenuis*) de nématodes, de quatre cestodes (*Raillietina* sp., *Choanotaenia* sp., *Amoebotaenia* sp. et *Hymenolepis* sp.), d'un trématode (*Echinostoma* sp.) et d'*Eimeria* sp. chez les poules vendues au marché de Ngaoundéré, et donc dans les élevages paysans de l'Adamaoua. Des cas d'associations parasitaires ont été observés, impliquant de façon prédominante *Eimeria* sp. Ce parasitisme interne, de même que le parasitisme externe qu'il faudrait identifier, a-t-il un impact notable sur la productivité des poules villageoises au Cameroun ? Il conviendrait de le déterminer pour savoir si une lutte, impliquant des dépenses pour les éleveurs, est nécessaire ou pas.

Remerciements

Nous tenons à remercier le personnel de la Mission spéciale d'éradication des glossines ainsi que les plumeurs des lieux d'abattage des marchés « Bantai » et « Petit marché » de la ville de Ngaoundéré pour leur contribution à cette étude.

Déclaration des contributions des auteurs

SBI, AM, SA, FO et BM ont participé à la conception et à la planification de l'étude ; SBI a recueilli les données de terrain ; SBI et ACG

ont effectué les analyses de laboratoire et les analyses statistiques ; SBI, AM et FO ont révisé la première version du manuscrit ; MLD et BMI ont refait les analyses statistiques ; CA a participé à la révision de la première correction ; SBI, BMI, CA et LSM ont participé à la deuxième correction du manuscrit.

REFERENCES

- Adjovi A., 1990. L'aviculture traditionnelle Béninoise. In: Proc. CTA Semin. Small holder Rural Poultry Production, Thessaloniki, Greece, 2: 3-11
- Amoussou B., 2007. Ectoparasitisme et parasitisme helminthique du poulet local dans le Sud Bénin (les Départements de l'Atlantique, du Littoral, de l'Ouémé et du Plateau). Thèse Doct., Ecole inter-Etat des sciences et médecine vétérinaires, Dakar, Sénégal, 85 p.
- Ayssiwede S.B., Dieng A., Houinato M.R.B., Chrysostome C.A.A.M., Issay I., Hornick J.L., Missouhou A.I., 2011. Elevage des poulets traditionnels ou indigènes au Sénégal et en Afrique subsaharienne : état des lieux et contraintes. *Ann. Méd. Vét.*, 157: 103-119
- Chollet J.Y., Martrenchar A., Bouchel D., Njoya A., 1994. Epidémiologie des parasitoses digestives des jeunes bovins dans le Nord-Cameroun. *Rev. Elev. Med. Vet. Pays Trop.*, 47 (4) : 365-374, doi : 10.19182/remvt.9073
- Euzeby J., 1963. Les maladies vermineuses des animaux domestiques et leurs incidences sur la pathologie humaine. Tome 1, Maladies dues aux nématelminthes. Vigot Frères, Paris, France, 843 p.
- Euzeby J., 1966. Les maladies vermineuses des animaux domestiques et leurs incidences sur la pathologie humaine. Tome 2, Maladies dues aux plathelminthes. Vigot Frères, Paris, France, 663 p.
- Euzeby J., 1982. Diagnostic expérimental d'helminthoses animales. Livre 2, Diagnostic direct *post-mortem*, Diagnostic indirect. Informations techniques des services vétérinaires, Paris, France, 364 p.
- FAO, 2013. Phenotypic characterization of animal genetic resources. FAO Animal production and health guidelines, FAO Rome, Italy, 143 p.
- Fortineau O., Troncy P.M., 1985. Coccidiose, maladies animales majeures. Les coccidioses du poulet. *Rev. Elev. Med. Vet. Pays Trop. Nouvelle Calédonie* (2) : 11-18
- Gueye E.F., 1998. Village egg and meat production in Africa. *World Poult. Sci. J.* 54: 73-86, doi: 10.1079/WPS19980007
- Kaufmann J., Pfister K., 1990. The seasonal epidemiology of gastrointestinal nematodes in N'Dama cattle in the Gambia. *Vet. Parasitol.*, 37 (1): 45-54, doi: 10.1016/0304-4017(90)90024-6
- Kibadi V.M., Malonga B., Mukwela Mutekisel M., 2019. Parasites gastrointestinaux de la poule locale en divagation dans la cellule Ott, quartier Ngunzamba, ville de Kikwit en République démocratique du Congo. *Congosciences*, 7 (1) : 182-188
- Meyer M.C., Olsen O.W., 1980. Essentials of parasitology, 3rd edn. C. Brown, Dubuque, IA, USA, 303 p.
- Mpoame M., Agbede G., 1995. The gastro-intestinal helminth infection of domestic fowl in Dschang, Western Cameroon. *Rev. Elev. Med. Vet. Pays Trop.*, 48 (2), 147-151, doi: 10.19182/remvt.9466
- Nalubamba K.S., Bwalya E.C., Mudenda N.B., Munangandu H.M., Munyeme M., Squarre D., 2015. Prevalence and burden of gastrointestinal helminths in wild and domestic guineafowls (*Numida meleagris*) in the Southern Province of Zambia. *Asian Pac. J. Trop. Biomed.*, 5 (8): 663-670, doi: 10.1016/j.apjtb.2015.04.009
- Ngandeu E., Ngatchou A., 2006. Première évaluation du secteur avicole au Cameroun : Structure et importance du secteur avicole commercial et familial pour une meilleure compréhension de l'enjeu de l'influenza aviaire. FAO, Rome, Italy, 48 p.
- Tager-Kagan P., Tibayrenc R., Garba, D., 1992. Epidémiologie du parasitisme aviaire en élevage villageois dans la région de Niamey, Niger. *Rev. Elev. Med. Vet. Pays Trop.*, 45 (2) : 139-147, doi : 10.19182/remvt.8940
- Troncy P.M., Itard J., Morel P.C., 1981. Précis de parasitologie vétérinaire tropicale. Ministère de la Coopération et du Développement, Paris, France, 717 p.
- Yamaguti S., 1963. Systema helminthum, Acanthocephala. Vol. V Inter-science. John Wiley, New York, USA, 423 p.
- Yousfi F., 2012. Contribution à l'étude des helminthes parasites du tube digestif du poulet local, (*Gallus gallus domesticus*, Linnaeus, 1758) dans la région d'Oran, Thèse Doct., Algérie, 131 p.

Summary

Bagari Iya S., Mamoudou A., Maliki Ibrahim B., Chahdini Gbambie A., Abah S., Oumarou F., Mohaman B., Awé C., Mbassi L.S., Lontsi-Demano M. Digestive parasites of local hens sold in Ngaoundere (Cameroun)

A study was conducted on the digestive parasitism of local hens collected in two markets in the city of Ngaoundéré (Cameroun) between May and August 2018. Nine genera (*Eimeria* sp., *Raillietina* sp., *Capillaria* sp., *Choanotaenia* sp., *Gongylonema* sp., *Amoebotaenia* sp., *Hymenolepis* sp., *Tetrameres* sp. and *Echinostoma* sp.) and three species (*Ascaridia galli*, *Heterakis gallinarum* and *Trichostrongylus tenuis*) were identified. Of the 429 samples examined, 362 carried one or more parasites for an infestation rate of 84.4%. This rate was 86.3% in the 240 birds examined by coproscopy, and 82.0% in the 189 birds examined by necropsy. At coproscopy, adult birds were more infested than young birds with *Ascaridia galli*, *Raillietina* sp. and *Eimeria* sp. Similarly, at necropsy a higher prevalence of *Capillaria* sp. and *Raillietina* sp. was observed in adults. Most helminths were parasitizing the small intestine. No lesions of Coccidia were observed along the intestinal tract. Various associations of parasites were observed, with *Eimeria* sp. predominating. The average intensity of infestation by *Eimeria* sp., estimated by McMaster's egg per gram of feces method, was highest in adult birds.

Keywords: *Gallus gallus*, poultry, parasitism, helminths, Coccidia, Cameroon

Resumen

Bagari Iya S., Mamoudou A., Maliki Ibrahim B., Chahdini Gbambie A., Abah S., Oumarou F., Mohaman B., Awé C., Mbassi L.S., Lontsi-Demano M. Parásitos digestivos de las gallinas de pueblo vendidas en Ngaoundéré (Camerún)

Se llevó a cabo un estudio sobre el parasitismo digestivo de las gallinas de pueblo recolectadas en dos mercados de la villa de Ngaoundéré (Camerún) entre mayo y agosto 2018. Nueve géneros (*Eimeria* sp., *Raillietina* sp., *Capillaria* sp., *Choanotaenia* sp., *Gongylonema* sp., *Amoebotaenia* sp., *Hymenolepis* sp., *Tetrameres* sp. y *Echinostoma* sp.) y tres especies (*Ascaridia galli*, *Heterakis gallinarum* y *Trichostrongylus tenuis*) fueron identificados. Sobre las 429 muestras examinadas, 362 fueron portadoras de uno o más parásitos, o sea una tasa de infestación de 84,4%. Esta tasa fue de 86,3% en las 240 aves examinadas por examen coprológico y de 82,0% en las 189 examinadas por autopsia. En el examen coprológico, las aves adultas estaban más infestadas que las jóvenes por *Ascaridia galli*, *Raillietina* sp. y *Eimeria* sp. Igualmente, en la autopsia se observó una prevalencia más fuerte de *Capillaria* sp. y *Raillietina* sp. en los adultos. La mayoría de los helmintos parasitaron el intestino delgado. No se observó ninguna lesión por coccidia a lo largo del tracto intestinal. Diversas asociaciones de parásitos fueron observadas, con predominancia de *Eimeria* sp. La intensidad media de infestación por *Eimeria* sp., estimada mediante el método de determinación del número de huevos por gramo de heces de McMaster, fue más elevada en los volátiles adultos.

Palabras clave: *Gallus gallus*, aves de corral, parasitismo, helmintos, Coccidia, Camerún

