

Epidémiologie de la brucellose et de la tuberculose animales dans les milieux urbain, périurbain et rural au Niger



Epidemiology of animal brucellosis and tuberculosis in the urban, suburban and rural areas in Niger

Abdou Razac BOUKARY

THESE PRESENTEE EN VUE DE L'OBTENTION DU GRADE DE
DOCTEUR EN SCIENCES VETERINAIRES
ORIENTATION MEDECINE VETERINAIRE

ANNEE ACADEMIQUE 2012-2013

**Epidémiologie de la brucellose et de la tuberculose animales
dans les milieux urbain, périurbain et rural au Niger**

**Epidemiology of animal brucellosis and tuberculosis
in the urban, suburban and rural areas in Niger**

ABDOU RAZAC BOUKARY

Promoteurs :

- Prof. Claude SAEGERMAN, Service d'Epidémiologie et Analyse de Risques appliquées aux sciences vétérinaires, Département des Maladies Infectieuses et Parasitaires, Faculté de Médecine Vétérinaire, Université de Liège
- Dr Eric THYS, Département des Sciences Biomédicales, Institut de Médecine Tropicale d'Anvers

*« Les scientifiques, dans une démocratie, doivent influencer les décideurs
en mettant l'accent sur la gravité de certains problèmes. »*

Trinh Xuan Th

Remerciements

Au terme de la présente thèse, je tiens tout d'abord à rendre un vibrant hommage à mes Promoteurs ainsi qu'à tous les membres de mon Comité de thèse pour avoir accepté de superviser ce travail dans un cadre interactif et multidisciplinaire.

Au Professeur Claude SAEGERMAN pour avoir accepté le pari inédit d'encadrer ce travail dans un contexte particulièrement atypique alliant plusieurs secteurs d'activités aux sensibilités et intérêts souvent divergents. Professeur, par votre clairvoyance et votre rigueur scientifique, vous avez su à temps donner les orientations scientifiques pertinentes qui ont permis l'atteinte des résultats présentés dans cette thèse. Tout au long de ma formation doctorale, vous avez répondu promptement à toutes mes sollicitations et j'ai pu bénéficier de votre expérience scientifique et de vos encouragements. Je vous prie d'accepter l'expression de mes sincères remerciements.

Au Docteur Eric THYS, je ne sais comment vous remercier pour l'énorme soutien que vous m'avez apporté tout au long de cette thèse. Grand merci à vous pour m'avoir fait confiance en acceptant de défendre ma candidature de thèse et de parrainer ce travail dont vous avez été le garant de la réussite. En effet, vous avez su coordonner avec une méthodologie efficace et rigoureuse l'ensemble des travaux relatifs à la présente thèse. Votre appui scientifique ainsi que votre soutien moral et financier ont été déterminants dans la réussite de ce travail. Veuillez trouver l'expression de ma profonde reconnaissance.

J'exprime ma profonde gratitude au Professeur Alhassane YENIKOYE, pour l'appui constant à la réalisation de cette thèse. Professeur, vous m'avez adopté et prodigué des sages conseils dans des périodes souvent difficiles. Malgré vos multiples charges rectorales, votre porte m'a été toujours ouverte et vous m'avez fait bénéficier de votre grande expérience scientifique et de nombreuses facilitations à la réalisation de mes travaux sur le terrain. Cher Papa, merci du fond du cœur pour votre inestimable soutien.

Mes sincères remerciements au Prof. Dr Patrick VAN DER STUYFT et au Dr Annick LINDEN membres de mon comité de thèse pour le suivi constant et leurs contributions scientifiques de haut niveau à l'évaluation de mes travaux. J'exprime également mes sincères remerciements au Professeur Françoise PORTAELS, au Dr Maryse FAUVILLE-DUFAUX, au Prof. Jean-Luc HORNICK, au Prof. Frédéric FARNIR, au Prof. Hugues GUYOT et au Dr Bernard TAMINIAU pour leurs contributions scientifiques respectives et pour avoir accepté d'évaluer cette thèse malgré leurs multiples occupations.

Un tout grand merci au Dr Leen RIGOUTS pour sa contribution inconditionnelle à la réalisation des travaux de laboratoire concernant l'analyse des échantillons de biopsie et le typage moléculaire de *Mycobacterium bovis*. Chère Leen, merci pour votre amitié, vos précieux conseils et la sympathie avec laquelle vous m'avez toujours accueilli au sein de votre laboratoire. J'adresse aussi mes sincères remerciements à Monsieur David FRETIN, à Monsieur Karl WALRAVENS et l'ensemble des techniciens du CERVA pour l'aide combien inestimable qu'ils m'ont apportée pour la formation en techniques de laboratoire, la réalisation des analyses sérologiques ainsi que le typage des souches de *Brucella* spp.

Mes sincères remerciements à l'ensemble de mes collègues de l'ONG Karkara pour le soutien sans faille qu'ils m'ont accordé tout au long du travail. En particulier, j'exprime toute ma gratitude à mon grand frère et ami, Monsieur Amadou Cheiffou BARRE pour son encouragement, sa constante disponibilité et ses sages conseils dans des moments délicats. Je dis merci à tout le personnel administratif, au personnel de soutien et aux stagiaires de Karkara qui ont été une famille pour moi durant tout ce processus. Un grand merci à Monsieur Salissou YAHOUZA pour m'avoir autorisé et encouragé à entreprendre cette thèse.

J'adresse mes vifs remerciements au Prof. Dirk BERKVENS que j'appelle affectueusement mon père spirituel. Malgré vos multiples occupations, vous avez toujours été à l'écoute de mes questions et les orientations que vous m'avez données ont été utiles pour moi au-delà de cette thèse car grâce à vos enseignements, j'ai pu disposer d'un fondement statistique solide et d'un esprit critique somme toute indispensable à la démarche scientifique. Grand merci au Dr Emmanuel ABATIHI pour son appui décisif dans les traitements statistiques et la modélisation des données. Emmanuel, merci encore pour ta disponibilité et pour l'affection que tu m'as toujours témoignée.

J'exprime toute ma gratitude à mes amis de toujours, Dr Malick HAIDO JACKOU et Dr Gilles Vias FRANK pour leurs encouragements et leur soutien inconditionnel à la réalisation de cette thèse. Chers amis, vous avez toujours été là quand ça va, mais aussi et surtout quand ça ne va pas. Trouvez là l'expression de ma profonde reconnaissance à votre égard pour le soutien que vous avez toujours apporté à ma famille pendant les longues absences occasionnées par mes travaux.

Qu'il me soit permis d'exprimer toute ma gratitude à l'ensemble du personnel de l'IMT qui s'est occupé de moi aussi bien sur le plan académique que social. Je commencerais par dire un grand merci à mon amie personnelle, Danielle DEBOIS, pour sa gentillesse, l'accueil chaleureux qu'elle m'a toujours réservé et sa constante disponibilité. Un tout grand merci à tous mes enseignants en particulier au Prof. Stanny GEERTS, au Prof. Pierre DORNY et au Dr Redgi DE DEKEN pour l'accueil cordial qu'ils m'ont réservé. Leur appui scientifique a été déterminant tout au long de ma

formation à l'IMT. Je rends un vibrant hommage à la mémoire du Dr Francine MATTHYS pour son apport inestimable à la réalisation de cette thèse. Un grand merci également à Anke VAN HUL, à Cecile UWIZEYE et tout le personnel de laboratoire pour leur appui, sans oublier l'ensemble du personnel du service étudiant pour les nombreuses facilitations.

Mes sincères remerciements vont aussi aux membres de l'Unité d'Epidémiologie et d'Analyse de Risques appliquées aux sciences vétérinaires (UREAR-ULg), à l'ensemble du personnel administratif de la Faculté Médecine Vétérinaire de l'ULg pour les nombreuses facilitations. En particulier, j'adresse un grand merci à Marie-France HUMBLET pour sa gentillesse et son appui scientifique. Un tout grand merci également à Christina ESPERT et Jessica COLLARD, secrétaires du Département des Maladies Infectieuses et Parasitaires pour l'appui à la mise en forme de mon document de thèse.

L'une des particularités de ce travail est son caractère multidisciplinaire. Il allie pour une des premières fois au Niger des Médecins et Vétérinaires sur une même thématique. Je voudrais à cet égard souligner et féliciter mes amis de la Médecine humaine. L'intérêt et le grand enthousiasme qu'ils ont manifestés dès le début de ce travail ont permis de relever un grand défi, celui de la mise en place d'un cadre conjoint de réflexion et d'action dans la lutte contre les maladies zoonotiques au Niger. Mes sincères remerciements vont particulièrement au Prof. Eric ADEHOSSI, au Prof. Saidou MAHAMADOU et au Dr Abdou Malam BADE pour leur contribution inconditionnelle.

J'adresse aussi mes sincères remerciements à tout le personnel de l'abattoir de Niamey, en particulier à Monsieur Aboubacar AMANKAY, au Dr Ibrahima MAHAMADOU, au Dr Sido SOULEY pour m'avoir permis un accès permanent à l'abattoir et pour leur disponibilité et leur contribution dans la collecte des données et des échantillons d'organes.

Je remercie très sincèrement l'ensemble de mes collègues du Haut Commissariat à l'initiative 3N et de la Présidence de la République du Niger, et au premier rang desquels Monsieur Amadou Diallo ALLAHOURI pour leur soutien et leurs encouragements dans l'achèvement de ce travail.

Un grand merci à tous ceux qui ont contribué à la réussite de ce travail au niveau du terrain, particulièrement mes amis Amadou TOUJANI et Boubacar ALZOUUMA de l'association Gajel Sudu-Baba, les agents des services d'élevage de Niamey, de Torodi, de Balleyara ainsi que les honorables chefs coutumiers de ces zones pour leur implication sans réserve et leur contribution à ce travail.

Cette thèse n'aurait pas été possible sans le soutien affectif et la compréhension de ma famille. Je dédie ce travail à la mémoire de mon père qui nous a quittés si tôt mais qui a su me guider dans le droit chemin, à ma mère qui a tout fait et qui représente tout pour moi, à ma femme Ami, à mes

enfants Omar, Fatouma-Zara et Ismael et à mes frères et sœurs. Merci à tous de votre patience et de votre inestimable soutien.

J'exprime ma profonde gratitude à la mémoire du Prof. André BULDGEN à qui je suis profondément attaché pour sa gentillesse et sa constante disponibilité et aussi pour toute l'aide qu'il m'a apportée dans les moments difficiles. J'exprime aussi toute ma reconnaissance à sa veuve Marielle et ses enfants Clara et Céline pour leur affection à mon égard, qu'elles trouvent là, l'expression de ma sincère amitié. Mes sincères remerciements au Prof. Chedly KAYOULI et toute sa famille. Je remercie aussi vivement Géneviève, Jean, Bernadette SMETS, Prof André THEWIS et tout le personnel de l'unité de Zootechnie de Gembloux Agro-Bio Tech (ULg) pour l'accueil chaleureux qu'ils m'ont toujours réservé.

Ce travail a été rendu possible grâce au financement de la Direction Générale du Développement (DGD) à qui j'exprime ma profonde gratitude. Je remercie également VSF-Belgium pour l'appui apporté au déroulement des travaux sur le terrain. Mes remerciements vont également à Merial pour le sponsoring ayant permis l'impression de cette thèse.

Je ne saurais terminer mes propos sans adresser un grand merci à mes amis, Sébastien GROLET, Steven De CLERK, Remi SCHIFFELEERS et à toute la communauté nigérienne en Belgique pour le soutien moral et matériel inconditionnel.

Abbréviations

Af1	African type 1
AFSSA	Agence Française de Sécurité Sanitaire des Aliments (s'est transformée depuis lors en une Agence Nationale de Sécurité Sanitaire de l'Alimentation, de l'Environnement et du Travail, ANSES)
AP	Apparent prevalence
ASS	Afrique subsaharienne
BTB	Bovine Tuberculosis
CERVA	Centre d'Etude et de Recherches Vétérinaires et Agrochimiques
CI	Confidence Interval
CITT	Comparative Intradermal Tuberculin Test
CNAT	Centre National Antituberculeux de Niamey
Cont	Contaminated
CRF	Commune Rurale de Filingué
DALY	Disability-Adjusted Life Year
Elisa	Enzyme Linked Immunosorbent Assay
F	Female
FAO	Food and Agriculture Organization
FC	Test de Fixation de Complément
ha	hectare
HC3N	Haut Commissariat à l'Initiative 3N
HNN	Hôpital National de Niamey
i.ELISA	indirect Enzyme-Linked Immuno Sorbent Assay
IMT	Institut de Médecine Tropicale d'Anvers
INS	Institut National de la Statistique
IRR	Incidence Rate Ratio
Km	Kilomètre
Km ²	Kilomètre carré
Labocel	Laboratoire Central d'Elevage
LNR-VIH/TB	Laboratoire National de Référence sur le Sida et la Tuberculose
LSTB	Lésions Suspectes de Tuberculose Bovine
M	Male
MEL	Ministère de l'Elevage
MLVA	Multiple-Locus Variable number tandem repeat Analysis
MNT	Mycobactéries Non Tuberculeuses
MSP	Ministère de la Santé Publique
Neg	Negative
NT	Not Tested
NTM	Non-Tuberculous Mycobacteria
NS	Non spécifié
OIE	Office International des Epizooties (World Organization for Animal Health)
OMS	Organisation Mondiale de la Santé
OR	Odds Ratio
Pos	Positive

Pu	Périurbain ; Peri-urban
RB	Rose Bengale
Ru	Rural
Ref.	reference group
SAW	Séro-Agglutination de Wright
Se	Sensitivity
SITT	Simple Intradermal Tuberculin Test
Sp	Specificity
SSA	Sub-Saharan Africa
TB	Tuberculose; Tuberculosis
TBb	Tuberculose Bovine
TP	True Prevalence
UAM	Université Abdou Moumouni de Niamey
ULg	Université de Liège
Ur	Urbain ; Urban
VAR	Veterinary and Agrochemical Research Centre
VNTR	Variable Number Tandem Repeats
WHO	World Health Organization

Table de matières

Résumé	1
Summary	4
Préambule	7
Partie 1 – Introduction générale	
Chapitre 1 : Description du contexte	11
Chapitre 2 : Caractérisation des systèmes d'élevage	20
Chapitre 3 : Revue de synthèse bibliographique sur brucellose	29
Chapitre 4 : Revue de synthèse bibliographique sur tuberculose à <i>M. bovis</i>	50
Partie 2 – Objectifs	
Objectifs	66
Partie 3 – Travail expérimentale	
Chapitre 5 : Etude de la séroprévalence et des facteurs de risque de transmission de la brucellose à <i>Brucella abortus</i> biovar 3 chez les bovins, ovins et caprins dans les élevages urbains, périurbains ruraux au Niger	70
Chapitre 6 : Etude des facteurs de risque associés à la tuberculose bovine et caractérisation moléculaire des souches de <i>M. bovis</i> dans la zone urbaine de Niamey	102
Chapitre 7 : Etude de la prévalence de la tuberculose bovine dans les systèmes de production ruraux de Torodi (Niger)	116
Partie 4 – Discussion générale	
Discussion générale	127
Partie 5 – Conclusions et recommandations	
Conclusions et recommandations	147
Partie 6 – Références bibliographiques	
Références bibliographiques	151

Résumé

Contexte : Considérées par l'OMS comme des zoonoses majeures, la brucellose et la tuberculose à *Mycobacterium bovis* sont deux maladies négligées et cosmopolites. En Afrique subsaharienne (ASS), l'impact de ces maladies sur la santé humaine et animale ainsi que sur le plan socio-économique est considérable. Cependant, les aspects épidémiologiques de ces maladies sont assez peu connus et peu maîtrisés. De même, les pertes économiques liées au coût de la santé et à l'incapacité au travail ont été jusque là peu ou pas évaluées au niveau des différents pays. Au Niger, pays d'élevage par excellence, les données sur ces deux maladies sont très rares. La présente étude avait pour objectif principal d'apporter une contribution originale à la connaissance des souches circulantes de *Mycobacterium bovis* et de *Brucella* au Niger ainsi que des mécanismes et facteurs de risque de transmission de ces deux zoonoses majeures dans le contexte d'élevage urbain, périurbain et rural.

Conception de l'étude et de la collecte des données : Pour caractériser les systèmes de production, une enquête préliminaire a d'abord été effectuée au niveau de 35 sites laitiers dans les strates urbaine et périurbaine de Niamey et au niveau de 5 villages de la commune rurale de Filingué. Ensuite, pour déterminer les facteurs de risque de transmission de la brucellose dans les strates urbaine, périurbaine et rurale, une enquête a été réalisée au niveau de 45 sites. Un total de 681 ménages d'éleveurs ont été inclus dans cette étude. Pour évaluer les facteurs de risque de la transmission de la tuberculose bovine, ce sont 1 131 ménages à risque identifiés au niveau des 3 strates et 51 issus de 10 sites de production animale dans la commune rurale de Torodi qui ont été investigués.

Pour évaluer la prévalence réelle de la brucellose animale et caractériser les souches circulantes de *Brucella* spp. au Niger, 5 192 sérums d'animaux et 16 échantillons de liquide d'hygroma ont été analysés. Le test sérologique a été effectué au moyen d'un test ELISA indirect (i.ELISA) et les échantillons d'hygroma ont été mis en culture au laboratoire du Centre d'Etude et de Recherches Vétérinaires et Agrochimiques (CERVA).

En ce qui concerne la détermination de la prévalence réelle de la tuberculose bovine, le test d'intradermo-tuberculation comparative a été effectué sur un échantillon de 393 bovins. De même une enquête rétrospective a été réalisée au niveau de l'abattoir de Niamey et 62 échantillons d'organes portant des lésions suspectes de tuberculose bovine ont été

échantillonnés à l'abattoir puis analysés pour le typage moléculaire des souches de *Mycobacterium bovis*.

Principaux résultats : L'analyse des systèmes d'élevage a permis de mettre en évidence trois types de systèmes de production. Il s'agit des systèmes de production urbain, périurbain et rural. Bien que distincts, ces systèmes entretiennent entre eux des liens et interactions très complexes. Les relations existantes entre les différents modes de production sont susceptibles de favoriser la transmission de la brucellose et de la tuberculose bovine.

Concernant le typage et sous typages des souches, une souche de *Brucella abortus* biovar 3 a été identifiée et *Mycobacterium bovis* a été isolé chez 18 animaux. Les souches de *M. bovis* identifiées au Niger montraient des spoligotypes conformes au type African 1 (Af1) précédemment identifié en Afrique centrale et en Afrique de l'ouest. En plus, un profil de *M. bovis* non précédemment répertorié a été mis en évidence (spoligotype SB1982) ; ce profil était caractérisé par l'absence des "spacers" 3, 4, 9, 16, 22, 30 et 39–43.

La prévalence réelle de la brucellose a varié entre 11,8 et 13,8% au niveau des troupeaux alors que la prévalence réelle individuelle était de 1,3% (intervalle de confiance [IC] 95%, 0,9 - 1,8%). La prévalence individuelle apparente de la tuberculose bovine a été de 3,6% (IC 95%, 1,9–5,9), alors que la prévalence individuelle réelle a été de 0,8% (IC 95%, 0,0–5,0). L'analyse des données issues de l'abattoir a montré que la proportion de carcasses portant des lésions attribuables à la tuberculose bovine était de 0,19% chez les bovins, 0,11% chez les camélins, 0,001% chez les ovins et de 0,0006% chez les caprins. Chez les bovins, les vaches sont beaucoup plus touchées que les autres catégories ($P < 0,001$). La prévalence des lésions tuberculeuses chez les animaux est fortement influencée par la saison ($P < 0,0001$). Elle est étroitement liée à l'origine des animaux ($P < 0,001$) et a un impact négatif sur le poids des carcasses provenant des animaux atteints ($P < 0,0001$).

Concernant les facteurs de risque de transmission de la brucellose, il était apparu que les animaux âgés de 1 à 4 ans sont plus susceptibles que les animaux âgés de moins d'un an (OR de 3,7 ; IC 95% : 1,87 - 7,17). Pour les bovins, la prévalence de la brucellose dépend de la strate. Elle est plus élevée en zone rurale (OR de 2,8 ; IC 95% : 1,37 - 5,60), alors que pour les petits ruminants le risque de transmission de la maladie est plus élevée dans les zones urbaines (OR de 5,4, IC 95% : 1,41 - 20,88). A l'échelle du troupeau, les risques de transmission de la brucellose étaient plus élevés pour ceux qui pratiquaient la transhumance

(OR de 9,1 ; IC 95% : 5,06 - 16,30), ceux qui ont signalé l'apparition d'avortements (OR 4,5; IC à 95% : 2,23 à 8,95), et ceux qui ne pratiquaient pas la quarantaine (OR de 1,8 ; IC 95% : de 1,08 - 2,85). En ce qui concerne les habitudes alimentaires des ménages, la consommation de lait cru constitue un facteur de risque de transmission de la brucellose (OR de 22,0 ; IC 95% : 2,59 - 186,83).

Concernant la tuberculose bovine, les principaux facteurs de risque identifiés sont la consommation de lait non pasteurisé (91%), le manque d'hygiène au sein des ménages (32-74%), la présence d'animaux souffrant de toux chronique (OR de 4,7 : IC 95% : 1,1 - 19,7) et l'absence de la pratique de la quarantaine (OR de 4,2 ; IC 95% : 1,0 - 18,4).

En conclusion, cette étude confirme l'existence de la brucellose et de tuberculose bovine dans tous les systèmes de production animale au Niger. Elle met aussi en exergue la présence de nombreux facteurs de risque de transmission de ces maladies aux animaux et l'homme. Pour un contrôle efficace de ces deux zoonoses majeures et négligées, une approche holistique prenant en compte les relations entre l'homme, l'animal et l'environnement est indispensable. L'implication de toutes les parties prenantes intervenant dans la santé animale et humaine est recommandée dans le cadre d'une approche « *One Health* ».

Summary

Background: Animal brucellosis and bovine tuberculosis (BTB), both cosmopolitan and neglected diseases, are considered by the World Health Organization (WHO) as two major zoonotic diseases. In Sub-Saharan Africa (SSA), the impact of these diseases on both human and animal health as well as on economic and social aspects is considerable. However, little is known on their epidemiological aspects and control strategies. Similarly, economic losses related to health care costs and incapacity has not been properly assessed, at the level of African countries. In Niger, data on these two diseases are very scarce. The aim of this study was to bring an original contribution to the knowledge of *Mycobacterium bovis* and *Brucella* spp. strains circulating in Niger, as well as on mechanisms and risk factors for transmission of these two major zoonoses in the context of urban, periurban and rural areas.

Study design and data collection: To characterize production systems, a preliminary survey including 35 sites in the periurban dairy strata of Niamey and 5 villages in the rural district of Filingue was first conducted. Further, a survey was performed on 45 sites randomly selected in the urban, periurban and rural areas to determine risk factors for transmission of brucellosis. A total of 681 households keeping livestock and nested within the 45 sites were included in this study. To assess risk factors for the transmission of BTB, 1,131 at risk-households within the three strata and 51 from 10 sites randomly selected in the rural district of Torodi were investigated.

To assess the true prevalence of animal brucellosis and characterize the *Brucella* strains circulating in Niger, 5,192 animal sera and 16 samples of hygroma fluid were analyzed. The serological test was performed using the indirect ELISA test and hygroma samples were cultured in the laboratory of the Veterinary and Agrochemical Research Centre (VAR).

The Comparative Intradermal Tuberculin Test was carried out on 393 cattle with the aim to determine BTB true prevalence. Similarly, a retrospective study was conducted at the abattoir of Niamey and 62 organ samples of TB-like lesions were collected and analyzed by *M. bovis* molecular typing

Main results: This study highlighted three types of livestock production systems: urban, periurban and rural. Although distinct, these systems were linked by very complex

interactions. The relationships between these different production systems favour the transmission of brucellosis and BTB.

Regarding molecular typing of strains, *Brucella abortus* biovar 3 was identified and *Mycobacterium bovis* was isolated in 18 animals showing five different spoligotypes, belonging to type ‘African 1’ previously identified in Central and West Africa. In addition, a new *M. bovis* profile, never reported before (SB1982), was characterized. It is marked out by the absence of spacers 3, 4, 9, 16, 22, 30 and 39–43.

The overall true prevalence of brucellosis ranged from 11.8% to 13.8% in herds while the individual-level true prevalence was 1.3% (95% CI: 0.9 - 1.8%). The overall apparent individual-level prevalence of BTB was 3.6% (95% CI: 1.9–5.9), whereas the individual-level true prevalence was estimated at 0.8% (95% CI: 0.0–5.0).

The analysis of data from the Niamey abattoir showed that 0.19% of cattle, 0.11% of camels, 0.001% of sheep and 0.0006% of goat carcasses presented TB-like lesions. In cattle, cows were significantly more affected than other categories of animals ($P < 0.001$). The prevalence of gross lesions compatible with BTB is strongly influenced by the season ($P < 0.0001$), is closely correlated with the origin of the animals ($P < 0.001$) and has a negative impact on the weight of affected animals ($P < 0.0001$).

Regarding risk factors for transmission of brucellosis, it was found that animals aged 1-4 years old were more susceptible than animals less than one year old (Odds ratio [OR] of 3.7; 95% CI: 1.87-7.17). For cattle, the odds of brucellosis seropositivity were higher in rural areas compared to those of urban and periurban areas (OR of 2.8; 95% CI: 1.37-5.60) whereas for small ruminants, the risk of seropositivity was higher in urban areas (OR of 5.4; 95% CI: 1.41-20.88). This difference between rural and urban areas can partly be explained by the type of animal management and secondly by the composition of herds. At herd level, the risk of brucellosis transmission was higher in herds practicing transhumance (OR of 9.1; 95% CI: 5.06-16.30), in herds reporting abortions (OR of 4.5; 95% CI: 2.23-8.95), and in herds where no quarantine was implemented (OR of 1.8; 95% CI: 1.08-2.85). Human consumption of raw milk was found to increase the risk of brucellosis seropositivity (OR of 22.0; 95% CI: 2.59-186.83) compared to the consumption of pasteurized milk. For BTB, the main risk factors identified are: consumption of unpasteurized milk (91%), lack of hygiene in households (32-

74%), presence of coughing animals in the herd (OR = 4.7, 95% CI: 1.12–19.71) and absence of quarantine (OR = 4.2, 95% CI: 0.96–18.40).

In conclusion, this study confirms the existence of brucellosis and BTB in all animal production systems in Niger. It also highlights the presence of many risk factors for transmission of these diseases to animals and humans. For an effective control of these two major and neglected zoonoses, a holistic approach, taking into account the relationship between humans, animals and the environment, is essential. The involvement of all relevant human and animal health stakeholders is recommended in a "One Health" approach.

Préambule

Cette thèse est une compilation de six articles scientifiques publiés, acceptés ou soumis dans des revues scientifiques à comité de lecture. Il s'agit de la *Revue d'Élevage et de Médecine vétérinaire des Pays tropicaux*, des *Annales de Médecine Vétérinaire*, de *PloS ONE* et de *Transboundary and Emerging Diseases*. Le document présenté est structuré en 6 parties classées sous forme de 9 chapitres enchainés comme suit :

Partie 1 : Introduction générale

Cette introduction générale comprend 4 chapitres.

Le **chapitre 1** est dédié à la description du contexte de l'étude. Ce chapitre donne un aperçu sur la zone d'étude et met surtout l'accent sur la problématique des maladies zoonotiques et en particulier celle de la brucellose et de la tuberculose animales et humaines dans le contexte de l'étude. Il met aussi en relief les éléments de motivation ayant guidé le choix de la thématique ainsi que le processus méthodologique mis en œuvre tout au long de l'étude.

Le **chapitre 2** présente une caractérisation des systèmes de productions animales dans la zone de l'étude avec l'accent sur la production laitière qui est la principale spéculation ainsi que les stratégies de valorisation du lait. Cet article permet de mieux comprendre le contexte socio-économique de l'étude. Il met aussi en relief la dynamique et la complexité des relations existantes entre les systèmes de production urbain, périurbain et rural.

Les **chapitres 3 et 4** sont présentés sous forme d'articles de revues bibliographiques respectivement concernant la brucellose et la tuberculose à *Mycobacterium bovis*. Ces articles qui se réfèrent à plus de 300 références bibliographiques donnent un aperçu global sur l'importance zoonotique des deux maladies étudiées dans le contexte de l'Afrique subsaharienne. Ils présentent de manière synthétique les progrès récents dans le domaine de la connaissance de l'épidémiologie de la brucellose et de la tuberculose à *M. bovis* ainsi que les limites dans la collection des données et des moyens de contrôle. Ils proposent aussi des pistes de solutions pour un contrôle efficace de ces deux importantes zoonoses.

Partie 2 : Objectifs

La deuxième partie présente les objectifs de la thèse.

Partie 3 : Partie expérimentale

Cette partie est consacrée à la présentation des articles originaux de recherche publiés ou soumis dans le cadre de la thèse. Elle est composée des 3 chapitres suivants :

Chapitre 5 : Etude de la séroprévalence et des facteurs de risque de transmission de la brucellose à *Brucella abortus* biovar 3 chez les bovins, ovins et caprins dans les élevages urbains, périurbains et ruraux au Niger.

Chapitre 6 : Etude des facteurs de risque associés à la tuberculose bovine et caractérisation moléculaire des souches de *M. bovis* dans la zone urbaine de Niamey.

Chapitre 7 : Etude de la prévalence de la tuberculose bovine dans le système de production rural de Torodi (Niger).

Partie 4 : Discussion générale

La discussion générale est développée à travers le **chapitre 8**. C'est une analyse critique qui intègre les différents résultats obtenus dans le cadre de cette thèse. En comparaison avec les résultats de plusieurs autres études originales réalisées sur la thématique, une analyse est faite des systèmes de productions animales, des facteurs de risque de transmission de la brucellose et de la tuberculose zoonotiques, des caractéristiques des souches circulantes de *M. bovis* et *Brucella abortus* ainsi que de la prévalence réelle des deux maladies.

Partie 5 : Conclusion et recommandations

Une conclusion ainsi que des recommandations sont présentées au **chapitre 9**.

Partie 6 : elle présente l'ensemble des articles et autres documents bibliographiques cités dans la thèse.

Partie 1

Introduction générale

Chapitre 1 : Description du contexte

Description du contexte

Avec un cheptel estimé en 2011 à plus de 36 millions de têtes toutes espèces confondues (bovins, ovins et caprins), le Niger est considéré dans son ensemble comme un pays à vocation pastorale. Le sous-secteur de l'élevage constitue la deuxième source de revenus, représentant 62 % des recettes d'exportation des produits du secteur rural et 21 % de l'ensemble des produits d'exportation (MEL, 2012). Au-delà de son importance macroéconomique, l'élevage occupe 87 % de la population active. Il participe à hauteur de 15 % au budget des ménages et 25 % à la satisfaction des besoins alimentaires de la population nigérienne qui est estimée à 16 274 738 habitants en 2012 (INS, 2012). Les recettes provenant de la vente des animaux représenteraient environ 80 % du revenu global des ménages dans les zones pastorales et agropastorales (MEL, 2012).

Au Niger, l'élevage se pratique sur plus de 620 000 km² de terres pâturables (**Figure 1**) réparties dans les zones pastorales (370 000 km²) et les zones agricoles (250 000 km²). Malgré cet important potentiel en ressources naturelles exploitables, les problèmes d'ordre alimentaire et sanitaire entravent le développement du secteur de l'élevage au Niger (MEL, 2012). En effet, le cheptel nigérien ainsi que les populations qui en dépendent sont régulièrement soumis aux affres de la crise alimentaire récurrente et aux catastrophes naturelles consécutives aux bouleversements climatiques observés ces dernières décennies (HC3N, 2012). De même, les faibles capacités de diagnostic et de surveillance épidémiologique des services vétérinaires ont eu pour conséquence un faible taux de couverture sanitaire du cheptel et d'encadrement des éleveurs (OIE, 2008).

Ces bouleversements climatiques, ainsi que le mauvais suivi sanitaire des troupeaux et l'explosion démographique ont entraîné la paupérisation d'une frange de la population avec pour corollaire une augmentation de la vulnérabilité des ménages et une migration massive des populations rurales vers les centres urbains, principalement vers la capitale Niamey.

cuisine. Cet élevage est généralement pratiqué dans les vieux quartiers de Niamey (Gamkalley, Yantala, Talladjé, Lamordé, Karadjé, Zongo, Banifondou) (Moussa, 2004). L'une des principales caractéristiques de l'élevage urbain est la promiscuité entre l'homme et l'animal et l'absence des mesures d'hygiène. Il n'est pas rare de voir des animaux « de valeur » (mouton engraisé, femelle haute productrice) passer la nuit dans les chambres à côté de leur propriétaires par peur de vol ou des rues entières bloquées par des animaux qui y sont parqués la nuit.

- les gros producteurs qui sont en majorité des fonctionnaires ou des commerçants qui s'adonnent à l'élevage en tant qu'activité secondaire. Ils possèdent généralement des gros ruminants qu'ils élèvent dans des fermes aménagées sous forme d'exploitations modernes comme à Kirkissoy au bord du fleuve Niger, ou sur des terrains privés aménagés et localisés dans les quartiers périphériques de la capitale (Aviation, Koira-Tégui, Koubia, Koira-Kano, Niamey 2000, Bobiel). La production est généralement intensive. Chaque producteur a son propre berger et les animaux sont gardés à l'étable où ils sont nourris à l'auge.

L'élevage périurbain est orienté essentiellement vers la production laitière, la production de la viande étant une activité secondaire. Cet élevage est pratiqué dans un rayon variant de 5 à 30 km selon les axes considérés. Ce type d'élevage est généralement l'œuvre de populations rurales immigrées appartenant à plus de 90% à l'ethnie peule. L'origine de ce peuplement remonterait aux années 1970 et 1980. Cette époque coïncidait avec l'une des grandes sécheresses qu'avait connues le Sahel mais aussi avec le développement de l'industrie laitière et l'accroissement de la demande en lait de la capitale. L'élevage périurbain est pratiqué également par les populations autochtones des villages et hameaux environnant Niamey. Les exploitations périurbaines sont implantées sur des terrains privés non aménagés appartenant le plus souvent à la commune (espaces verts, terrains en voie de lotissement, parcelles privées). Les éleveurs périurbains adoptent majoritairement une stratégie de conduite qui consiste à ne garder au niveau des sites que les animaux en production (femelles en production, mâles géniteurs). Le renouvellement des animaux se fait à partir du troupeau principal, transhumant en zone pastorale. Les vaches suitées sont rapprochées des villes au moment de la mise-bas pour en valoriser le lait. A l'approche de l'hivernage, au tarissement, certaines rejoindront le troupeau principal en transhumance.

En milieu rural, l'élevage est de type pastoral et agropastoral. Il se fait sur des grandes superficies où les animaux divaguent à la recherche de pâturage et d'eau ne recevant en général pas de compléments alimentaires (Lhoste, 1984). Le milieu rural est le pourvoyeur du milieu périurbain en animaux laitiers et suite aux mouvements saisonniers, en animaux de remplacement. Il ravitaille aussi la ville en animaux à viande qui sont transportés soit dans des véhicules qu'ils partagent avec les passagers ou à pied sous la conduite de bergers. A Niamey, les animaux à commercialiser sont parqués dans des marchés à bétail tels que celui de « Tourakou » ou aux coins des rues transformés en points de ventes spontanés, surtout à l'approche des grandes fêtes musulmanes (Moussa, 2004). La **figure 2** présente la zone d'étude avec la localisation géographique des strates étudiées.

Ces différents systèmes d'élevages entretiennent entre eux des interactions parfois très complexes avec pour corollaire des problèmes sanitaires, socioculturels et environnementaux. L'insuffisance relative des mesures d'assainissement en milieu périurbain et urbain, la surcharge animale, les contacts accrus entre les humains et le réservoir animal suspecté ainsi que les habitudes alimentaires des populations sont autant de facteurs de risque susceptibles de favoriser la transmission des maladies zoonotiques de l'animal à l'homme et principalement de la tuberculose et de la brucellose qui constituent des zoonoses importantes en Afrique subsaharienne (UN-HABITAT, 2003 ; Thys *et al.*, 2006, Vias *et al.*, 2006 ; Koffi-Tessio, 2007).

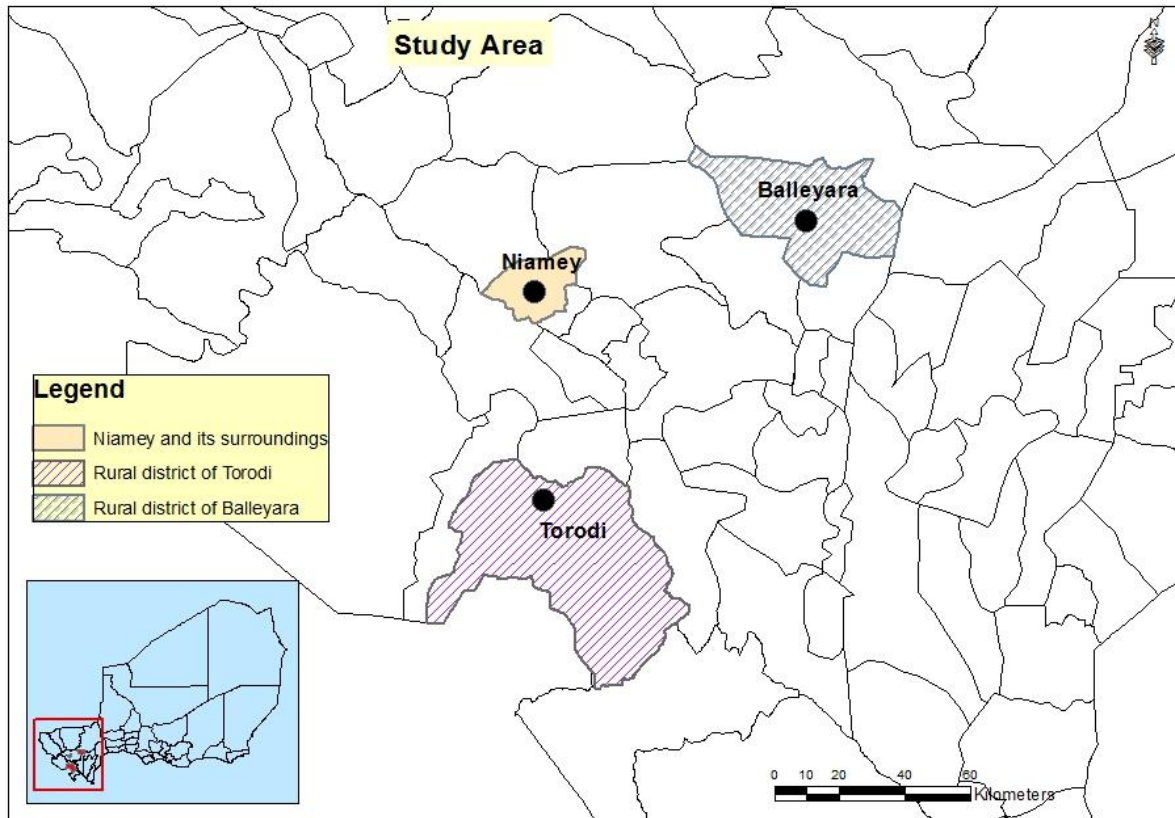


Figure 2 : Présentation de la zone d'étude avec la strate urbaine (Communauté Urbaine de Niamey), la strate périurbaine et la strate rurale (Torodi et Balleyara).

Selon l'OMS (2006), la tuberculose et la brucellose représentent un déficit majeur pour le développement en Afrique subsaharienne. L'impact de ces maladies sur la somme des années de vie potentielle perdues en raison d'une mortalité prématurée et des années de vie productives perdues en raison d'incapacité (DALY) est considérable. En effet, ces deux zoonoses constituent un véritable frein de par la baisse de la productivité animale qu'elles engendrent (notamment une perte de production laitière due à l'infertilité), le coût et la disponibilité du traitement chez l'humain mais aussi par la détérioration des indices de morbidité et de mortalité animales et humaines (Robinson, 2006). Ces maladies entraînent aussi de manière indirecte des pertes dans la productivité agricole, du fait de la diminution de force de traction et de fumure organique (Perry *et al.*, 2002). Elles figurent parmi les principales maladies qui entraînent des pertes économiques estimées chaque année à plusieurs dizaines de millions de dollars US (Ly, 2007).

Malgré les récents progrès scientifiques, notamment les techniques de typage moléculaire, qui ont permis une meilleure compréhension du génome et une caractérisation plus poussée des

bactéries à l'origine de la brucellose et de la tuberculose zoonotiques (Akakpo *et al.*, 1986; Akakpo and Bornarel, 1987; Rigouts *et al.*, 1996 ; Haddad *et al.*, 2004 ; Le Flèche *et al.*, 2006 ; Bankole *et al.*, 2010; Muendo *et al.*, 2012), on ne possède actuellement que très peu de connaissances sur la nature des facteurs de risque de transmission ainsi que ceux déterminant la variation de la prévalence réelle de ces deux maladies en Afrique subsaharienne (Cosivi *et al.*, 1998 ; Bihizi, 2007 ; Marcotty *et al.*, 2009).

Au Niger, la brucellose et la tuberculose animales ont été très peu étudiées, malgré l'importance de l'élevage dans le pays. Les données sur la prévalence chez l'animal sont rares et fragmentaires. Néanmoins, les quelques études réalisées dans le domaine montrent que ces deux maladies sont présentes dans tous les systèmes d'élevages du pays. Akakpo et collaborateurs (1986) et Bloch et Diallo (1991) ont trouvé des taux de prévalence de la brucellose animale variant entre 3,7 % et 28 %. Par contre, pour les élevages urbains et périurbains, il n'existe, à l'heure actuelle, que peu de données sur cette maladie malgré un développement important de ce type d'élevage et l'existence de risques potentiels de transmission de l'animal à l'homme. En ce qui concerne la tuberculose bovine, Bloch et Diallo (1991) pour l'ensemble du pays, et Baaré (1986) au niveau des ranchs, ont montré des taux de prévalence assez faibles et variant de 1,56 à 3,20 %.

Concernant les formes humaines de ces deux maladies, les données sont encore plus rares. Cependant, les informations fournies par le Centre National Antituberculeux de Niamey (CNAT) en matière de tuberculose paraissent très alarmantes. En effet, le nombre de nouveaux cas positifs de tuberculose humaine dans la seule ville de Niamey était de 1065 en 2005 (dont 52 % de forme extra pulmonaire). Ce nombre serait 8 fois plus élevé comparativement à celui enregistré 10 années auparavant (Direction du CNAT, *Com. pers.*). Actuellement, il n'existe à notre connaissance aucune étude visant à déterminer le rôle joué par le *Mycobacterium bovis* dans l'épidémiologie de la tuberculose humaine au Niger. Quant à la brucellose, elle ne fait même pas partie des diagnostics effectués actuellement par les services de santé publique (Adéhossi, *Com. pers.*). Angba et collaborateurs (1987) soulignent que de manière générale, la brucellose humaine est sous-diagnostiquée en Afrique subsaharienne, sans doute en raison de son tableau clinique qui peut être confondu avec celui d'autres maladies fébriles, notamment les fièvres typhiques, paratyphiques et le paludisme.

Pour apporter une contribution originale dans la connaissance des relations de cause à effet au sein de la triade agent/hôte/environnement dans un contexte de systèmes d'élevage périurbain

et urbain avec ses composantes techniques et ses interactions avec les troupeaux pastoraux naisseurs (élevage rural), les hypothèses de travail suivantes ont été formulées :

- **Hypothèse 1** : Les relations (transfert permanent des animaux et des personnes) entre le milieu rural et urbain jouent un rôle important dans la transmission des germes pathogènes et la propagation des maladies.
- **Hypothèse 2** : Il existe une différence significative de taux d'infection entre le milieu rural et les milieux urbain et périurbain.
- **Hypothèse 3** : Le mode de conduite des animaux en milieux urbain et périurbain est un facteur déterminant pour la multiplication des germes et la transmission des maladies de l'animal à l'animal et de l'animal à l'homme.
- **Hypothèse 4** : Les habitudes alimentaires de la population (par exemple, la consommation de lait cru) sont des facteurs favorisant la contamination par des brucelles et *Mycobacterium bovis*.
- **Hypothèse 5** : Les professionnels de l'élevage (producteurs, transformateurs du lait et de la viande) constituent les groupes à risque les plus exposés.
- **Hypothèse 6** : Le faible niveau de connaissance de la population sur la tuberculose et la brucellose contribue de manière significative à la persistance des pratiques à risque.

La vérification de ces hypothèses a nécessité la mise en place d'actions coordonnées entre les chercheurs et les institutions s'occupant de la santé humaine et de la santé animale. Ainsi, en collaboration avec des institutions de recherche belges (IMT, ULg, CERVA), il a d'abord été procédé à la mise en place d'une équipe de recherche multidisciplinaire au Niger comprenant l'Université Abdou Moumouni de Niamey (UAM), l'Hôpital National de Niamey (HNN), le Laboratoire Central d'Elevage (Labocel) ainsi que le Laboratoire National de Référence sur le Sida et la Tuberculose (LNR-VIH/TB). Cette équipe scientifique a aussi intégré en son sein des décideurs publics dont principalement le Ministère de l'Elevage (MEL) et le Ministère de la Santé publique (MSP), ainsi que des responsables d'agences de développement et d'associations d'éleveurs représentées au Niger (ONG Karkara, ONG VSF-Belgium, Fondation Damien, Gajel Sudu-baba). Pour une pérennisation des actions entreprises dans le cadre de ce travail, toutes les parties prenantes ont défini les principes suivants : la

capitalisation des approches, le transfert de connaissances, les échanges d'information et l'appui méthodologique et institutionnel. L'ensemble des protocoles élaborés ont été soumis à l'approbation d'un comité d'éthique au Niger. La présente expérience conduite au Niger s'inscrit dans le cadre de l'approche « *One Health* » et se donne aussi pour but de favoriser l'émergence d'une véritable politique de contrôle de ces maladies dans le pays.

Les objectifs spécifiques de la présente thèse concernent la vérification des hypothèses 1 à 4.

Chapitre 2 : Caractérisation des systèmes d'élevage

Caractérisation des systèmes de production laitière et analyse des stratégies de valorisation du lait en milieu rural et périurbain au Niger : cas de la communauté urbaine de Niamey et de la commune rurale de Filingué

Boukary A.R., Chaïbou M., Marichatou H., Vias G.

Article original publié dans « *Revue d'Élevage et de Médecine vétérinaire des Pays tropicaux* »,
2007, 60 (1-4) : 113-120

Caractérisation des systèmes de production laitière et analyse des stratégies de valorisation du lait en milieu rural et périurbain au Niger : cas de la communauté urbaine de Niamey et de la commune rurale de Filingué

A.R. Boukary¹ M. Chaïbou² H. Marichatou^{2*} G. Vias¹

Mots-clés

Bovin laitier – Production laitière – Produit laitier – Zone rurale – Zone périurbaine – Niger.

Résumé

L'élevage et particulièrement la production du lait occupent une place prépondérante comme facteur de réduction de la pauvreté et de croissance économique. La présente étude a eu pour objectif de caractériser les systèmes de production et les processus de diversification vers le lait en milieu (péri) urbain [communauté urbaine de Niamey (CUN)] et en milieu rural [commune rurale de Filingué (CRF)] au Niger. Dans la CUN, des enquêtes ont été réalisées dans 35 sites laitiers choisis de manière aléatoire parmi les 150 déjà répertoriés sur un rayon de 50 km autour de la capitale. Un choix raisonné de 12 sites a permis d'administrer le questionnaire à 169 chefs de ménage. Dans la CRF, 49 chefs de ménage, répartis dans cinq villages, situés dans un rayon de 75 km autour de Filingué, ont été enquêtés. Les résultats ont montré que dans la CUN les éleveurs possédaient un petit nombre de vaches laitières (en moyenne cinq vaches, soit 28 p. 100 du cheptel bovin) ; la production s'étalait sur toutes les saisons et était de 7 à 10 l/ménage/jour ; le lait frais était plus souvent commercialisé qu'en CRF en raison de la présence d'unités de transformation laitière. En revanche, dans la CRF, les effectifs étaient plus importants (en moyenne 10 vaches laitières, soit 52 p. 100 du cheptel bovin) ; les femelles ne produisaient qu'en saison des pluies et en saison sèche froide (de 0 à 10 l/ménage/jour pour 66 p. 100 des enquêtés, et entre 10 et 20 l pour 20 p. 100 des enquêtés) ; les produits laitiers étaient plus souvent transformés avant d'être vendus (beurre fondu, lait caillé, fromage). Les innovations observées chez les éleveurs enquêtés ont porté sur les transformations et les modifications de la conduite du troupeau. Les contraintes au développement de la production laitière relevaient, en milieu urbain, du problème de production et de conservation du lait frais de bonne qualité jusqu'au transformateur ou au consommateur et, en milieu rural, du problème de débouchés. Il est nécessaire, en milieu urbain, d'organiser l'approvisionnement en intrants alimentaires, la collecte du lait du soir et de procéder à une vulgarisation rapprochée de thèmes techniques et de pratiques innovantes.

■ INTRODUCTION

Dans plusieurs pays du globe et particulièrement en Afrique subsaharienne, les changements de l'environnement physique et climatique ainsi que l'explosion démographique ont entraîné une paupérisation très prononcée de la population avec pour corollaire une augmentation de la vulnérabilité et une migration massive des populations rurales vers les centres urbains. Très vite, la transformation des systèmes de production agricole est apparue comme

1. ONG Karkara, Niamey, Niger.

2. Faculté d'Agronomie, université Abdou Moumouni, Niamey, Niger.

* Auteur pour la correspondance

Département productions animales, faculté d'Agronomie, BP 10960, université Abdou Moumouni, Niamey, Niger.

Tél. : +227 93 91 65 31 / 20 31 52 37 ; fax : +227 20 31 66 12

E-mail : maricha@refer.ne

une réponse à la détérioration du pouvoir d'achat des couches les plus défavorisées (9). Dans cette dynamique d'évolution des systèmes agraires, l'élevage et particulièrement la production du lait occupent une place prépondérante comme facteur de réduction de la pauvreté et de croissance économique. Au Niger, le lait est une composante stratégique pour des raisons historiques (le Niger est traditionnellement un pays d'élevage), nutritionnelles (source de protéines de bonne qualité) et économiques. En effet, le lait est une des rares spéculations qui permet quotidiennement une entrée d'argent, sans endommager le système qui le produit. La vente du lait et ses dérivés permet ainsi de maintenir l'animal en meilleur état et de procurer des revenus à tous les acteurs de la filière (producteurs, collecteurs, transformateurs et revendeurs). Si dans le contexte urbain nigérien quelques travaux assez récents (11) ont permis de mieux comprendre le fonctionnement de la filière lait, il n'en demeure pas moins que les investigations doivent être approfondies afin de mieux caractériser les acteurs et les processus de diversification aussi bien en milieu périurbain qu'en milieu rural, et d'étudier les interactions entre ces différents systèmes de production.

La présente étude a eu pour objectif la caractérisation des systèmes de production et des processus de diversification vers le lait en milieu périurbain [communauté urbaine de Niamey (CUN)] et en milieu rural [commune rurale de Filingué (CRF)] au Niger. Ce travail doit permettre d'identifier les contraintes et de proposer des options de développement.

■ MATERIEL ET METHODES

Zones d'étude

Communauté urbaine de Niamey

La CUN est localisée au bord du fleuve Niger dans la partie ouest du pays, entre 2° 10' et 2° 14' de long. E et 13° 33' et 13° 36' de lat. N ; elle couvre une superficie d'environ 12 500 ha. Sur le plan administratif, Niamey est découpée en cinq communes et intègre les villages situés dans sa périphérie proche. La pluviométrie moyenne est de 545 mm et la saison des pluies dure trois à quatre mois (juin à septembre). Les températures annuelles sont très élevées : la température maximale moyenne se situe à 36,02 °C, la minimale moyenne est de 22,13 °C. Le réseau hydrographique de la CUN est marqué principalement par le fleuve Niger qui traverse la ville sur environ 15 km et auquel s'ajoutent quelques mares permanentes et de nombreuses mares temporaires.

Sur le plan morphopédologique, la CUN est constituée des plateaux cuirassés entaillés par la vallée du fleuve avec des bas-fonds temporairement gorgés d'eau et présentant des sols hydromorphes, des terrains sableux ou latéritiques par endroit et des sols ferrugineux tropicaux couvrant l'essentiel de la zone agricole.

On y rencontre en général une végétation arbustive clairsemée et des herbacées à apparition saisonnière. Dans les bas-fonds, la nature du sol et la proximité de l'eau sont propices au développement d'une végétation naturelle assez dense.

L'agriculture est pratiquée jusqu'à présent de manière traditionnelle et occupe une bonne frange de la population. Les principales cultures conduites en irrigation sont : la riziculture (630 ha), le maraîchage (400 ha) et l'arboriculture (450 ha). L'élevage occupe une place prépondérante dans l'activité de la population. Le cheptel a été estimé en 2004 à environ 25 204 bovins, 72 770 ovins, 44 600 caprins, 330 camélins, 1 700 asins et 3 600 équins, sans compter un nombre important de volailles (7).

Sur le plan démographique, Niamey a connu ces dernières décennies, à l'instar des grandes villes africaines, une croissance et une

urbanisation rapides. Cette ville, qui compte actuellement près d'un million d'habitants, devrait atteindre 2 à 2,5 millions en 2025 (3).

Commune rurale de Filingué

La CRF est située à 175 km de la capitale, toujours dans la zone agropastorale. Le secteur primaire occupe l'essentiel de la population composée d'agriculteurs, d'agropasteurs et de nomades. L'exode y est cependant très développé. La CRF fait partie du département de Filingué situé dans la partie nord-est de la région de Tillbéry, entre les parallèles 13° 40' et les méridiens 2° 45' et 4° 20'. Il s'étend sur une superficie de 26 813 km². Les précipitations, assez variables dans le temps et dans l'espace, débutent véritablement dans la dernière décennie de juin et durent trois à quatre mois. De 1984 à 1999, la pluviométrie moyenne à Filingué a été de 292,6 mm en 26 jours. La température maximale moyenne est de 41 °C en avril-mai et la moyenne minimale, observée en octobre-novembre, est de 38 °C. Filingué est situé en grande partie sur des plateaux constitués de grès argileux, de dunes stabilisées et indurées dans la partie occidentale, et de dunes vives dans la partie orientale. Ce complexe est traversé en son centre par une vallée sèche, le Dallol Bosso.

L'agriculture est la première activité économique du département et est pratiquée par 97 p. 100 de la population estimée à 405 918 habitants en 2000. Les principales cultures sont le mil, le sorgho, le niébé, le gombo et l'oseille. L'élevage est la deuxième activité dans le département. Le cheptel est composé de l'ensemble des espèces traditionnelles élevées au Niger, notamment les bovins, les ovins, les caprins, les camélins, les équins, les asins. L'essentiel des aires de pâturage se situe dans la zone Nord pastorale ; dans la zone agropastorale, elles se limitent aux jachères, aux plateaux impropres à l'agriculture et à quelques rares espaces incultes (7).

Collecte des données

Les données ont été collectées au moyen d'enquêtes informelles et formelles. L'approche systémique a été privilégiée tout au long du processus, en considérant la filière lait comme partie intégrante du système agricole. Ainsi, pour décrire la diversité des systèmes de production qui caractérise l'élevage laitier, trois pôles caractéristiques ont été considérés : le ménage (l'éleveur ou le groupe social selon le niveau d'analyse), le troupeau et le territoire pastoral. Il s'agissait de décrire les interactions possibles existant entre ces pôles, mais aussi d'étudier les pratiques de valorisation du lait, mises en œuvre par les éleveurs. Des enquêtes ont été réalisées dans le but de confirmer et de compléter la compréhension des systèmes d'élevage laitier acquis, suite à une analyse documentaire préalablement établie.

Enquêtes informelles au niveau de la CUN

Cent cinquante sites regroupant 1 562 unités de production laitière, répertoriées par Cantafora (2) sur un rayon de 50 km autour de Niamey, ont servi à constituer la base de sondage. Réalisée en assemblée, l'enquête a porté sur 35 de ces sites choisis par un échantillonnage aléatoire simple. A cet effet, les points clés de l'entretien ont été consignés dans un guide flexible portant sur : les principales activités agricoles et non agricoles (importance relative, occupation du temps, calendrier saisonnier), les pratiques de production actuelles et les raisons de leur adoption (en cas de changement observé), l'influence des facteurs endogènes et exogènes sur les systèmes de production, les obstacles rencontrés par les éleveurs, leur attitude face au risque et les méthodes utilisées pour résoudre les problèmes, et l'effet de chaque facteur sur les objectifs individuels en matière de production, de revenus et d'application de nouvelles techniques (8). Après chaque entretien, les renseignements récoltés ont été notés sur une fiche récapitulative.

Ces données ont été par la suite codifiées et saisies sur le logiciel Excel en vue d'un traitement statistique ultérieur.

Enquêtes informelles au niveau de la commune rurale de Filingué

La démarche suivie a été la même que celle adoptée à la CUN, mais, en plus des producteurs, des entretiens ont eu lieu avec les services techniques de la région et les chefs coutumiers sur des questions se rapportant à l'origine des peuplements, les découpages administratifs et leur évolution dans le temps.

Enquêtes formelles

A la suite du traitement des données de l'enquête informelle, 12 sites laitiers ont été choisis pour le bassin laitier de Niamey. Un entretien structuré, basé sur un questionnaire approfondi, a été administré à 169 chefs de ménage. Les informations recherchées auprès du groupe cible ont pu être réparties en six catégories comme suit : caractérisation des éleveurs, composition et structure du troupeau, conduite de l'élevage, production du lait, stratégies de valorisation et commercialisation du lait, contraintes majeures rencontrées et projets d'amélioration.

Pour la commune rurale de Filingué, la même approche méthodologique a été adoptée et un questionnaire spécifique et adapté au contexte a été élaboré à cet effet. Mais, dans l'ensemble, les informations recherchées reprenaient les catégories précédentes. Au total 49 chefs de ménage, repartis dans cinq villages, situés sur un rayon de 75 km de Filingué, ont été interviewés.

Analyse statistique

Toutes les variables ont été préalablement codifiées et les données ont été d'abord saisies à l'aide du tableur Excel puis transférées sur les tableurs Minitab et Stata pour les besoins de traitements statistiques. Sur le logiciel Minitab, des analyses descriptives et de corrélation ont été effectuées entre les différentes variables afin d'obtenir le choix des variables à introduire dans le traitement statistique. Une catégorisation des sites laitiers a été faite à partir des critères liés à la conduite des troupeaux laitiers et des stratégies des éleveurs. Des tabulations et des comparaisons de moyennes (test de Student) ont été effectuées avec Stata.

■ RESULTATS

Typologie des systèmes de production laitière en milieu périurbain

Au sein de la CUN et de sa périphérie, les caractéristiques des sites laitiers (pratiques d'alimentation, stratégie de commercialisation, soins des animaux, répartition du travail au sein des ménages, degré d'intensification...) ont fait ressortir deux types de classifications : l'une correspondant aux sept grands axes routiers reliant Niamey aux autres sites urbains nationaux et internationaux, et l'autre correspondant aux trois couronnes ou strates établies en fonction de la distance qui sépare le site de la ville, chacune définissant un système d'élevage particulier (figure 1).

Couronne 1 : élevages de type « moderne » intra-urbains (Kirkissoye, coopérative laitière, particuliers...) appartenant à des commerçants, des fonctionnaires, des retraités et possédant souvent de gros moyens. C'étaient les sites d'Aéroport, de Banifandou, Saga, Pays bas...

Couronne 2 : ceinture de sites situés à la périphérie proche de la ville (0 à 9 km). Ces sites avaient pour caractéristique principale leur implantation sur des terrains privés appartenant à la commune (espaces verts, terrains en voie de lotissement, parcelles privées). Les populations s'étaient en général implantées à une date récente.

Les troupeaux étaient divisés en deux groupes et seules les vaches en production étaient gardées sur place, le reste allant en transhumance sous la garde d'un ou de plusieurs membres de la famille. C'étaient les sites de Banifandou II, Talladjé, Kouara-Tégui, Route Filingué, Dar-es-salam...

Couronne 3 : sites situés entre 10 et 30 km de Niamey. C'étaient des villages où les populations étaient installées depuis longtemps. L'agrandissement de plus en plus important de la ville de Niamey était la cause de leur rapprochement et certains étaient en phase de devenir des quartiers de la capitale. C'étaient les sites de Jajiré, Feto-Bokki, Tokabinkané, Gorou Kirey...

Par rapport au nombre d'exploitants laitiers enquêtés, la couronne 3 était la plus peuplée car elle concentrait à elle seule presque la moitié des éleveurs interviewés, soit 46,7 p. 100 d'entre eux. Venait ensuite la couronne 2 qui comptait 32 p. 100 de l'effectif total. Ces deux couronnes montraient des situations globales de ces élevages laitiers traditionnels qui se trouvaient en zones urbaine et périurbaine de la CUN. La couronne 1 (exploitations laitières intra-urbaines) a concerné 21,3 p. 100 des enquêtés.

Les sites visités étaient regroupés autour de sept axes principaux. Chaque axe représentait un réseau routier qui reliait la ville de Niamey à une autre ville et/ou un village (axes de sortie de Niamey).

Caractéristiques des élevages laitiers

Les Peuls représentaient l'ethnie majoritaire parmi les éleveurs laitiers de la CUN et de sa périphérie, suivis des Zarmas et des Kourtés (5 p. 100), tandis que dans la CRF c'étaient les Haoussas et les Peuls qui dominaient. Dans la CUN, seules les deux ethnies majoritaires se retrouvaient dans les trois couronnes (tableau I).

Globalement, les exploitants enquêtés étaient très faiblement instruits : plus de 50 p. 100 en moyenne étaient analphabètes, et respectivement 6,5 et 0 p. 100 avaient fréquenté l'école (tous niveaux confondus) dans la CUN et la CRF. Cependant, la proportion des répondants arabisés était assez importante dans la CUN,

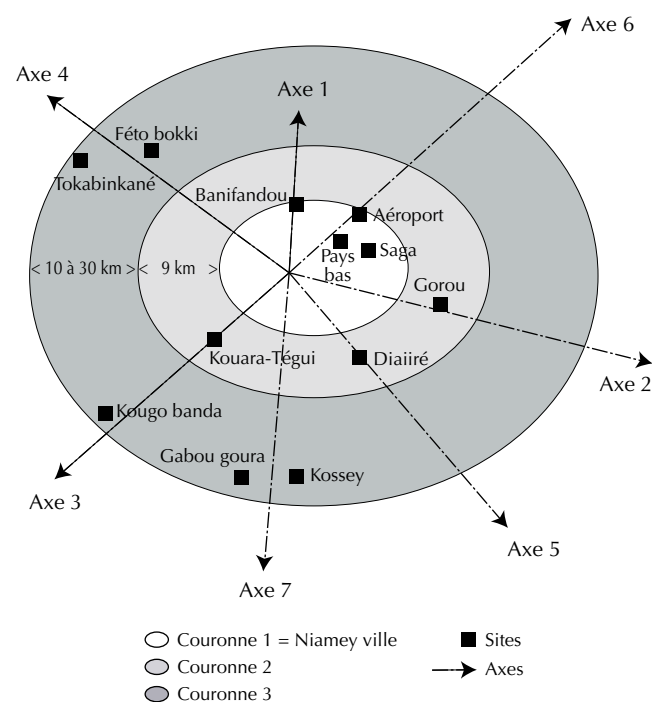


Figure 1 : typologie des systèmes d'élevage.

Revue Élev. Méd. vét. Pays trop., 2007, 60 (1-4) : 113-120

Tableau I
Composition ethnique
et niveau d'instruction des éleveurs

Ethnie	Niamey (%)	Filingué (%)
Haoussa	0,59	47,00
Kourté	5,33	/
Mossi	0,59	/
Peulh	84,02	41,00
Touareg	0	4,00
Zarma	9,47	8
Total	100	100
Niveau d'éducation		
Aucun	50,30	76,00
Alphabétisé	12,43	10,00
Primaire	2,96	0
Secondaire	1,78	0
Supérieur	1,78	0
Arabisé	30,77	14,00
Total	100	100

puisqu'elle était environ de 31 p. 100 contre 14 p. 100 dans la CRF. Cette dernière modalité d'instruction s'est révélée être dominante en matière d'éducation des enfants, surtout chez les Peuls.

Les principales activités pratiquées par la population étaient l'élevage laitier (100 p. 100 des ménages), l'agriculture (88 p. 100) et le maraîchage (11 p. 100). Les éleveurs de la CUN étaient très souvent structurés et possédaient des associations locales (49,3 p. 100), 40 p. 100 n'étaient pas organisés et 10,7 p. 100 étaient dans des groupements d'intérêt économique. Les Peuls, essentiellement, pour des raisons socio-économiques et/ou des mesures de sécurité, s'organisaient en association au sein de leur groupement pour renforcer, d'une part, le lien de fraternité et, d'autre part, limiter les éventuels conflits comme ceux entre agriculteurs et éleveurs.

Caractéristiques du cheptel laitier

Modes d'acquisition du cheptel

Ils étaient identiques aussi bien en milieu rural qu'en milieu périurbain, avec les mêmes profils en termes d'importance relative (figure 2). Le mode d'acquisition du troupeau laitier variait surtout en fonction des ethnies présentes. L'achat des animaux (18 et 24 p. 100 pour la CRF et la CUN) était une pratique rencontrée dans tous les sites visités et était presque le seul mode chez les Haoussas et les Zarmas. Chez les Peuls, la formation du bétail était surtout fondée sur l'héritage familial (50 p. 100 et 39 p. 100, respectivement pour la CRF et la CUN). Par ailleurs, toujours chez cette ethnie, le *habbanayé* était aussi très fréquent (19 et 27 p. 100 pour la CRF et la CUN). Il consistait, pour un propriétaire d'animaux, à confier à un membre de sa famille une génisse ; ce dernier la lui rendait après la mise bas d'une velle qui lui revenait de droit (figure 2).

Composition et taille du troupeau

Les races bovines zébus étaient rencontrées dans les élevages laitiers, notamment les races Azawak (33 p. 100), Djelli (43 p. 100), Bororo (10 p. 100) et Goudali (3 p. 100). Il y avait aussi des races

métisses issues de croisements entre races existantes (11 p. 100). En milieu rural, les troupeaux étaient assez souvent mixtes avec des effectifs spécifiques (tableau II).

Le tableau III montre que les éleveurs possédaient dans la CUN un petit nombre de laitières (en moyenne cinq vaches, soit 28 p. 100 du cheptel bovin), alors qu'en milieu rural, les effectifs étaient plus importants (en moyenne 10 vaches laitières, soit 52 p. 100 du cheptel bovin). Par ailleurs, au niveau de la CUN les éleveurs produisaient en toute saison (7 à 10 l/ménage/jour en moyenne) (tableau IV) et commercialisaient davantage le lait frais du fait de la présence d'unités de transformation laitière, alors

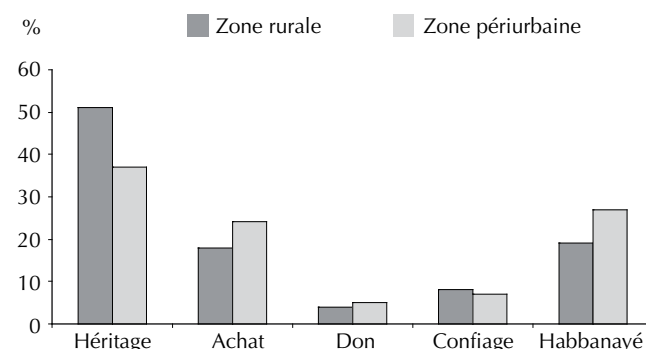


Figure 2 : modes d'acquisition du cheptel.

Tableau II

Taille moyenne du troupeau par espèce

	Moyenne	Ecart-type *
Bovins	19	22
Caprins	21	25
Ovins	17	22
Camélins	0,6	1,25
Anes	2	2
Chevaux	0,32	0,98

* Les écart-types assez importants montrent la grande variabilité des effectifs en milieu rural

Tableau III

Proportion d'éleveurs en fonction des effectifs de femelles laitières

Effectifs	Proportion des ménages	
	CRF (%)	CUN (%)
1 à 5	43	87,80
6 à 10	30	11,90
11 à 20	17	0,30
20 à 40	6	/
> 41	4	/
Total	100	100

CRF : commune rurale de Filingué ; CUN : communauté urbaine de Niamey

Tableau IV

Lait produit par ménage

Quantité de lait/ménage/jour (l)	Fréquence d'éleveurs concernés (%)			CRF
	CUN			
	Saison des pluies	Saison sèche froide	Saison sèche chaude	
0 à 5	31,36	30,18	48,53	29
5,5 à 10	35,50	43,20	40,83	37
10,5 à 20	27,81	20,70	10,18	20
20,5 à 40	5,33	5,92	0	10
> 40	0	0	0	4
Total	100	100	100	100

CUN : communauté urbaine de Niamey ; CRF : commune rurale de Filingué

qu'en milieu rural les femelles ne produisaient qu'en saison des pluies (pour 98 p. 100 des enquêtés) et en saison sèche froide (pour 97 p. 100 des enquêtés) (de 0 à 10 l/ménage/jour pour 66 p. 100 des enquêtés, et entre 10 et 20 l/ménage/jour pour 20 p. 100 d'entre eux), et les produits laitiers étaient plus souvent transformés avant d'être vendus (beurre fondu, lait caillé, fromage).

Pour la couronne 1 de la CUN une moyenne de 10 ± 2 l par producteur a été enregistrée suivant les saisons, alors que pour les couronnes 2 et 3 cette moyenne était proche de 7 ± 2 l ; le volume de la production laitière par exploitant était proportionnel à l'effectif des vaches en lactation présentes dans l'exploitation et des performances des animaux.

Conduite alimentaire

L'analyse du tableau V montre que les sous-produits agro-industriels et les éléments minéraux prenaient une part importante dans l'alimentation du bétail. Les prix des intrants zootechniques ont varié en fonction des saisons. Ainsi, en saison sèche froide, les prix étaient plus bas puisque cette saison suivait la période de récolte. C'était d'ailleurs à ce moment que les exploitants en profitaient pour faire leurs stocks.

Stratégies de valorisation de la production

En milieu urbain

Sur l'ensemble de l'échantillon, il y avait deux traites quotidiennes, mais la traite matinale représentait 60 p. 100 de la production journalière d'une vache. Cette production de lait était vendue à l'état frais par la majorité des éleveurs (88 p. 100). Le reste était destiné à l'autoconsommation et aux dons, surtout chez les intra-urbains chez qui on rencontrait « l'élevage de case » (figure 3).

La plus grande partie des ventes à la laiterie portait sur la traite du matin, tandis que la traite du soir était l'objet de vente par les femmes faisant du porte-à-porte. Le prix du litre de lait frais était de 225, 235 et 250 Fcfa, respectivement en saison froide, saison des pluies et saison chaude pour les couronnes 1 et 2, et de 180 Fcfa en toute saison pour la couronne 3. Les dépenses pour l'alimentation étaient plus élevées dans les deux premières couronnes, ce qui justifiait la différence de prix avec la troisième. Les recettes occasionnées par la vente du lait étaient plus importantes en saison des pluies et en début de saison froide, du fait de l'abondance de la production laitière dans tous les sites visités.

Tableau V

Conduite alimentaire au niveau de la commune rurale de Filingué (CRF) et de la communauté urbaine de Niamey (CUN)

Modes de conduite alimentaire pratiquée	CRF (%)	CUN (%)
Pâturage	84	100
Transhumance	31	/
Alimentation à l'auge	2	/
Type de complémentation utilisée		
Tourteau de coton	47	/
Graine de coton	73	1
Sel	100	62
Son de céréales	96	93
Autre type de complément	16	9
Aliment grossier distribué à l'auge		
Foin de Bourgou	/	11
Paille de brousse	/	23
Natron	/	63
Bloc à lécher	/	5
Résidus de récolte	/	38

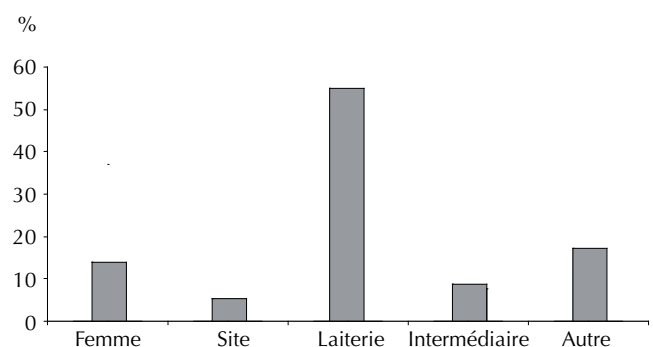


Figure 3 : les différentes modalités de la commercialisation du lait. Femmes : proportion vendue par les femmes dans les marchés ruraux ou urbains ; site : proportion vendue au niveau du site ; laiterie : proportion vendue au niveau des laiteries ; intermédiaire : proportion achetée par les revendeurs.

En milieu rural

La situation était très différente en milieu rural, car les principaux produits laitiers commercialisés étaient le lait caillé (96 p. 100 des enquêtés), le beurre fondu (98 p. 100) et le fromage (10 p. 100). Hormis la transformation en ces produits, le lait frais n'était utilisé que pour l'autoconsommation.

Le lait caillé (ou *nono*) est obtenu par fermentation du lait frais pendant 24 à 48 heures. Le beurre fondu (ou *man chanou* ou *hawgui*) est le produit d'une fermentation poussée (48 à 72 heures), d'un barattage laborieux, suivi d'un rinçage. Enfin, le fromage sec (ou *tchoukou*) s'obtient par fermentation dirigée par emprésurage à la caillette de veau ou au Camifloc.

La vente de ces produits laitiers se faisait surtout en priorité par le porte-à-porte (à domicile chez les clients) chez 82 p. 100 des enquêtés, puis au marché (47 p. 100 de l'échantillon), enfin par d'autres voies chez 4 p. 100 d'entre eux.

Les innovations

Les Peuls, majoritaires dans les deux situations étudiées, sont par tradition des éleveurs et ils maîtrisent par conséquent les pratiques d'élevage. Pour eux, la diversification réside dans l'option laitière au niveau de l'élevage, notamment comment elle peut être un moyen efficace et durable de diversification des revenus et dans quelles conditions. Leur installation à la périphérie des villes leur permet de passer d'une économie pastorale dominée par l'autoconsommation, à une économie de marché tournée vers la vente (6). Les Zarmas et les Haoussas sont plutôt des agriculteurs et l'élevage laitier représente une diversification des sources de revenus.

Dans la CUN, les innovations observées chez les éleveurs enquêtés portaient non seulement sur la conduite du troupeau, mais aussi sur la recherche du meilleur profit. La complémentation de la vache laitière était assez largement répandue et permettait de produire même en saison sèche. Néanmoins, l'insuffisance des quantités distribuées ne permettait pas aux femelles de produire de façon optimale. Par ailleurs, la nécessité de fournir du lait de bonne qualité aux industries laitières a entraîné le développement de la collecte de cette denrée, dont l'efficacité reste à améliorer.

Étant donné l'existence du marché, la possibilité de conserver le lait frais (produit le plus rémunérateur) aussi longtemps que possible a amené les producteurs à le chauffer avant de le destiner à la vente. De même, sous l'impulsion de la FAO, le système lactopéroxydase a également été introduit à Niamey, mais son utilisation n'a pas eu de succès. Des antibiotiques étaient aussi souvent ajoutés dans le lait dans le but de freiner le développement bactérien, avec des conséquences négatives au niveau des industries (fabrication de yaourt impossible) et certainement au niveau de la santé humaine. Le mouillage pouvait aussi être rencontré.

En milieu rural, le marché n'étant pas développé, les initiatives portaient sur la transformation du lait en produits de longue conservation (beurre, fromage...). L'alimentation étant un vrai problème en milieu rural, la production de lait dans ce contexte est pratiquement insuffisante en saison sèche et chaude.

■ DISCUSSION

Contraintes des producteurs laitiers

Le développement de la filière lait autour de Niamey est assez récent et, comme pour les autres grandes villes africaines, il répond à une augmentation de la demande urbaine, elle-même consécutive à l'accroissement de la population et à l'augmentation du niveau de vie (12). La structure du bassin laitier de Niamey reflète l'évolution du contexte qui est caractérisé par une juxtaposition de catégories d'éleveurs dont les objectifs sont le plus souvent différents. Pour la CUN, les contraintes portent de façon globale sur la production et la conservation d'un lait frais de bonne qualité jusqu'au transformateur ou au consommateur.

L'examen de la typologie des élevages a fait ressortir une répartition sous forme de couronnes concentriques de la ville vers sa périphérie. Ainsi, la couronne 1 était composée des élevages appartenant pour la plupart à des éleveurs dits du dimanche (commerçants, fonctionnaires...). Ces élevages étaient implantés dans les vieux quartiers de Niamey (Gankalley, Saga, Kirkissoye, Lamordé...), dans les propriétés des producteurs, généralement sous la garde

d'un berger peul salarié. De façon spécifique, il a surtout été relevé le faible niveau d'organisation des acteurs et le faible encadrement technique.

La couronne 2 était composée de nouveaux venus, en majorité de Peuls dont le début de l'installation remontait aux années 1974 et 1984, périodes correspondant aux dernières grandes sécheresses du Sahel. Ces élevages étaient caractérisés par une grande précarité car installés sur des terrains privés ou communautaires. L'objectif de ces élevages était purement économique et les revenus tirés de la vente du lait représentaient le plus souvent la seule source de survie (11). Étant sur des terres appartenant à d'autres personnes, se posait un problème foncier pour ces éleveurs qui ne pouvaient faire un investissement durable dans des domaines comme l'habitat des animaux. Aussi, l'approvisionnement en intrants zoo-vétérinaires faisait défaut. Enfin, la collecte du lait n'était pas organisée car cette couronne s'étendait jusqu'à neuf kilomètres autour du centre urbain, posant le problème d'accès au marché.

La couronne 3 était composée des villages environnant la capitale où les éleveurs pratiquaient un type d'élevage extensif. À l'origine, ces éleveurs ne vendaient pas de lait à Niamey et préféraient écouler leur production dans les marchés ruraux sous forme de lait caillé (11). Actuellement, avec le développement du réseau routier et des industries laitières qui garantissent l'achat à un prix compétitif, ils se tournent de plus en plus vers la ville.

Dans la couronne 3 qui s'étendait de 10 à 30 km autour de la ville, on retrouvait également le faible niveau d'organisation des producteurs, l'approvisionnement en intrants zoo-vétérinaires déficient et le problème de collecte. À cela s'ajoutait l'abreuvement difficile, surtout en saison sèche.

Pour la CRF, il s'agissait d'un système d'élevage à faible niveau d'utilisation d'intrants et géré selon le mode extensif. La productivité du cheptel était faible et liée aux fortes variations qualitatives et quantitatives des parcours, voire à leur extrême pauvreté, et aux énormes difficultés d'abreuvement en saison sèche. Il y avait ainsi une véritable saisonnalité de la production laitière avec une chute de production en saison sèche.

De façon cruciale, c'est essentiellement le problème de débouchés (par la faiblesse et la non-structuration du marché) qui a été souligné par la presque totalité des producteurs. Étant donné la limitation de la demande en lait frais, ce dernier était surtout transformé (lait caillé, fromage, beurre) pour pouvoir être conservé pour une vente ultérieure, ce qui rapportait moins en terme de revenu (par exemple 1 l de lait frais coûtant 180 à 250 Fcfa permettait de faire une feuille de fromage vendue à 125 Fcfa, d'où un manque à gagner pouvant aller de 55 à 125 Fcfa).

Options de développement

Dans la CUN, l'amélioration des performances des animaux exige d'organiser l'approvisionnement en intrants zoo-vétérinaires et d'assurer une vulgarisation rapprochée de thèmes techniques et de pratiques innovantes (comme les cultures fourragères), donc de former les producteurs ; il y a nécessité de mieux structurer les acteurs afin d'assurer l'encadrement de proximité.

L'organisation de la collecte est fondamentale pour acheminer le lait dans de bonnes conditions vers les industries laitières. Un certain nombre de producteurs (hommes), qui vendaient dans le centre urbain (aux laiteries, particuliers...), livraient eux-mêmes à vélo ou avec d'autres moyens de locomotion et retournaient à l'exploitation après avoir acheté le son dans des moulins ou en faisant du porte-à-porte. Par ailleurs, Vias et coll. (11) ont décrit l'existence de collecteurs qui se sont spécialisés dans la collecte du lait auprès

des producteurs pour le revendre directement aux consommateurs ou aux unités de transformation. Compte tenu du potentiel laitier existant en zone périurbaine de Niamey, la création d'un centre de collecte permettra de le valoriser et surtout de réduire le temps de livraison ; le fait que les exploitations soient concentrées le long des sept axes routiers est un atout dans ce sens.

La collecte et, en aval, la distribution devraient être des activités telles qu'elles ont été décrites par Bonfoh et coll. au Mali (1). La vulgarisation de moyens de conservation du lait devrait permettre non seulement d'accompagner le développement du réseau de collecte proposé pour la livraison d'un lait de qualité, mais aussi de trouver une issue pour la production du soir qui pose problème à l'heure actuelle. En dehors du délai de livraison, les ustensiles des acteurs (bergers, collecteurs et vendeurs) jouent énormément sur la qualité microbiologique du lait (1). Dans le cas de la présente étude, il importe d'enquêter sur le niveau de contamination du lait en vue de l'améliorer.

La sécurisation de l'élevage périurbain demande également d'avoir une politique foncière adaptée (7), notamment pour les producteurs de la couronne 2, et une politique en hydraulique pastorale pour les éleveurs de la couronne 3.

En zone rurale, l'insuffisance de points d'eau d'abreuvement est cruciale, notamment en saison sèche ; cela incite à développer une politique d'hydraulique pastorale adaptée. Par ailleurs, ne pouvant agir sur la demande qui est fonction de la population humaine, la production de lait cru serait drainée vers les centres urbains les plus proches. Ainsi, la collecte serait organisée par la création de centres dans cette zone (comme proposé pour la CUN) pour un

acheminement vers la CUN qui est capable d'absorber la production de ces zones, comme cela se fait avec la production de la station sahélienne expérimentale de Toukounou qui livre une part importante de sa production à une laiterie de Niamey tous les deux ou trois jours. En accord avec la FAO (4), ces centres se justifient notamment lorsque les zones de ramassage sont éloignées de l'usine ou lorsque celles-ci sont constituées de petits fournisseurs dont l'accès à leur exploitation est difficile pour des raisons diverses (entre autre l'état défectueux des routes). D'une part, ces centres facilitent l'approvisionnement en lait des usines et, d'autre part, ils incitent les producteurs à accroître leur production sachant que celle-ci est assurée d'un débouché.

■ CONCLUSION

Les potentialités sont importantes pour le développement de la filière. En milieu périurbain la présence d'usines de transformation constitue un atout pour la valorisation du lait frais. En milieu rural, l'accent doit être mis pour l'instant sur les techniques de transformation artisanales. Dans les deux situations, les principales contraintes sont l'absence de circuits de collecte performants et la faible organisation des acteurs.

Aussi, la réflexion sur les stratégies de développement de l'élevage laitier et en particulier l'élevage périurbain, dont les objectifs ont été clairement affichés par les pouvoirs publics, doit tenir compte de certaines réalités, notamment la disponibilité alimentaire, les conditions techniques de production et le pouvoir d'achat de la population.

BIBLIOGRAPHIE

1. BONFOH B., FANE A., NETOYO L., MBAYE Y., SIMBE C.F., ALFAROUK I.O., NICOLET J., FARAH Z., ZINSSTAG J., 2003. Collecte et distribution du lait produit localement en zone urbaine de Bamako. *Etud. Rech. sahéliennes* (8-9) : 13-18.
2. CANTAFORA A.F.A., 2002. Lo sviluppo della filiera latte nella cintura periurbana di Niamey (Niger). Laurea in Scienze e Tecnologia della Produzione animale, Istituto di Zootecnica, Università Degli Studi, Milano, Italia, 107 p.
3. DIRECTION DE LA STATISTIQUE ET DES COMPTES NATIONAUX, 2003. Recensement général de la population et de l'habitat. Niamey, Niger, direction de la Statistique et des Comptes nationaux.
4. FAO, 1985. Réfrigération du lait à la ferme et organisation des transports. Rome, Italie, FAO, 215 p. (Production et santé animales)
5. METZGER R., CENTRES J.M., THOMAS L., LAMBERT J.C., 1995. L'approvisionnement des villes africaines en lait et produits laitiers, un potentiel pour le développement rural. Rome, Italie, FAO, 102 p. (Production et santé animales)
6. MEYER C., DENIS J.P., 1999. Elevage de la vache laitière en zone tropicale. Montpellier, France, Cirad-emvt, 314 p. (Techniques)

7. MINISTERE DES RESSOURCES ANIMALES, 2001. Etat des lieux, axes d'intervention et programmes prioritaires. Document cadre pour la relance du secteur de l'élevage. Niamey, Niger, ministère des Ressources animales, 107 p.
8. MOUNKAILA M., 2005. Caractérisation préliminaire des élevages laitiers périurbains de la communauté urbaine de Niamey. Mémoire Ingénieur Techniques agricoles, faculté d'Agronomie, université de Niamey, Niger, 64 p.
9. STAAL S., 1995. Peri-urban dairying and public policy in Ethiopia and Kenya. PhD Dissert., University of Florida, Gainesville, FL, USA, 255 p.
10. THEBAUD B., 1988. Elevage et développement au Niger. Quel avenir pour les éleveurs du Sahel ? Genève, Suisse, BIT, 138 p.
11. VIAS FRANCK S.G., BONFOH B., DIARRA A., NAFERI A., FAYE B., 2003. Les élevages laitiers bovins autour de la communauté urbaine de Niamey : caractéristiques, productions, commercialisation et qualité du lait. *Etud. Rech. sahéliennes* (8-9) : 159-165.
12. VIAS FRANCK S.G., MARICHATOU H., KORE H., 2005. Synthèse sur les filières laitières au Niger. Atelier de lancement sur « politiques laitières ». Dakar, Sénégal, Eismv, 45 p.

Reçu le 16.05.2007, accepté le 31.10.2007

Summary

Boukary A.R., Chaïbou M., Marichatou H., Vias G. Characterization of Dairy Production Systems and Analysis of Milk Promotion Strategies in Rural and Urban Areas in Niger: Case of the Urban Community of Niamey and Rural District of Filingue

Livestock breeding and particularly milk production play a major role in poverty alleviation and economic growth. The present study aimed at characterizing the production systems and opening avenues for milk production in a (sub)urban [urban community of Niamey (UCN)] and in a rural environment [rural district of Filingue (RDF)] in Niger. In UCN, surveys were carried out in 35 dairy sites randomly selected among the 150 already indexed within a radius of 50 km from the capital. Out of these, 12 sites were selected allowing the questionnaire to be administered to 169 heads of household. In RDF, 49 heads of household, located in five villages within 75 km of Filingue, were surveyed. Results showed that in UCN, breeders owned few dairy cows (five on average, i.e. 28% of the bovine herd), which produced in all seasons 7 to 10 L/household/day; they marketed fresh milk more often than in RDF because they had access to dairy transformation units. In RDF, they owned more cows (ten on average, i.e. 52% of the bovine herd), which produced only during the rainy season and the cold dry season (between 0 to 10 and 10 to 20 L/household/day according to 66 and 20% of the persons surveyed, respectively); dairy products were transformed more often before sale (melted butter, curdled milk, cheese). The innovations observed in the surveyed breeders were related to changes in herd management. The constraints to dairy production development in the urban area concerned in particular production and preservation of good-quality fresh milk all the way to transforming units or consumers, while in the rural area, it concerned the lack of avenues. In urban areas, it is essential to organize the supply of food inputs, evening collection of milk and to popularize technical topics and innovating practices.

Keywords: Dairy cattle – Milk production – Milk products – Rural area – Suburban area – Niger.

Resumen

Boukary A.R., Chaïbou M., Marichatou H., Vias G. Caracterización de los sistemas de producción lechera y análisis de las estrategias de valorización de la leche en medio rural y periurbano en Níger: caso de la comunidad urbana de Niamey y de la comuna rural de Filingué

La cría y particularmente la producción de leche ocupan un lugar preponderante como factor de reducción de la pobreza y del crecimiento económico. El presente estudio tiene como objetivo el de caracterizar los sistemas de producción y los procesos de diversificación hacia la leche en medio periurbano [comunidad urbana de Niamey (CUN)] y en medio rural (comuna rural de Filingué (CRF)) en Níger. Se realizaron encuestas en la CUN en 35 sitios lecheros escogidos de manera aleatoria entre 150 registrados anteriormente en un radio de 50 km alrededor de la capital. Una escogencia cuidadosa de 12 sitios permitió la administración de un cuestionario a 169 cabezas de hogar. En la CRF, se entrevistaron 49 cabezas de hogar, repartidos en cinco pueblos, situados en un radio de 75 km alrededor de Filingué. Los resultados muestran que en la CUN los criadores poseían un pequeño número de vacas lecheras (cinco vacas en promedio, sea 28% del hato bovino); la producción se extendía durante todas las estaciones y era de 7 a 10 l/hogar/día; a menudo la leche fresca era comercializada únicamente en CRF debido a la presencia de unidades de transformación de leche. En la CRF, por el contrario, los efectivos eran más importantes (un promedio de 10 vacas lecheras, sea 52% del hato bovino); las hembras sólo producían durante la época de lluvias y la seca fría (0 a 10 l/hogar/día para 66% de los entrevistados y entre 10 y 20 l para 20% de los entrevistados): los productos lecheros eran a menudo transformados antes de ser vendidos (mantequilla derretida, leche cortada, queso). Las innovaciones observadas en los criadores interrogados se refirieron a las transformaciones y las modificaciones en la conducta del hato. Los obstáculos al desarrollo de la producción de leche provenían, en medio urbano, al problema de la producción y la conservación de la leche fresca de buena calidad hasta el transformador o consumidor y en medio rural, del problema de la demanda del producto. Es necesario, en medio urbano, organizar el abastecimiento de productos alimenticios, la colecta de la leche en la noche y proceder a una divulgación de cercanía de los temas técnicos y de las prácticas innovadoras.

Palabras clave: Ganado de leche – Producción lechera – Producto lácteo – Zona rural – Zona periurbana – Níger.

Chapitre 3 : Revue de synthèse bibliographique sur brucellose

Importance zoonotique de la brucellose en Afrique subsaharienne.

Boukary A.R., Saegerman C., Adehossi E., Matthys F., Vias G.F., Thys E.

Article de revue bibliographique soumis pour publication dans « *Annales de Médecine Vétérinaire* »,

AMV1637

La brucellose en Afrique subsaharienne

BOUKARY A. R.^{1,2,5,6}, SAERGERMAN C.², ADEHOSSI E.³, VIAS G.F.⁴, YENIKOYE A.⁵, THYS E.⁶

- ¹ Département d'Appui à la Promotion de l'Élevage et gestion des Ressources Naturelles (DEPERNA), ONG Karkara, BP 2045, Niamey, Niger (razacboukary@yahoo.fr)
- ² Unité de Recherche en Épidémiologie et Analyse de Risques appliquées aux sciences vétérinaires (UREAR-ULg), Département des maladies infectieuses et parasitaires, Faculté de médecine vétérinaire, Université de Liège, Boulevard de Colonster 20, B42, B-4000 Liège, Belgique (Claude.Saegerman@ulg.ac.be)
- ³ Faculté des Sciences de la Santé, Université de Niamey, B.P.11327 Niamey, Niger (eadehossi@yahoo.fr)
- ⁴ Bureau régional de Niamey (BREN), Vétérinaires Sans Frontière Belgique, BP 12632, Niamey, Niger (vfgilles@yahoo.fr)
- ⁵ Faculté d'Agronomie, Université de Niamey, BP 10895, Niamey, Niger (alyenik@yahoo.fr)
- ⁶ Département de Sciences biomédicales, Institut de Médecine Tropicale, Nationalestraat 155, B-2000 Anvers, Belgique (ethys@itg.be)

Adresse de correspondance : Département de Sciences biomédicales, Institut de Médecine Tropicale, Nationalestraat 155, B-2000 Anvers, Belgique (ethys@itg.be)

Sommaire

1.	Introduction	32
2.	Historique et répartition de la maladie	32
3.	Principales caractéristiques microbiologiques.....	33
4.	La prévalence de la brucellose animale en Afrique subsaharienne	34
4.1.	Variations de la prévalence de la brucellose bovine en fonction des zones géographiques	35
4.2.	Variations de la prévalence de la brucellose bovine en fonction des systèmes de production..	36
5.	Facteurs de variation de la prévalence de la brucellose animale en Afrique subsaharienne	31
5.1.	Facteurs extrinsèques.....	32
5.1.1.	<i>Facteurs liés à la méthodologie de recherche</i>	32
5.1.2.	<i>Facteurs liés à l'environnement et au mode d'élevage</i>	33
5.2.	Facteurs intrinsèques	34
5.1.1.	<i>La race</i>	34
5.1.2.	<i>L'âge</i>	35
5.1.3.	<i>Le sexe</i>	35
5.1.4.	<i>L'état physiologique</i>	35
6.	Brucellose et santé publique en Afrique subsaharienne	36
6.1.	Facteurs de risque de la transmission de la brucellose de l'animal à l'homme.....	36
6.1.1.	<i>Les risques liés aux échanges entre les milieux urbains et ruraux</i>	36
6.1.2.	<i>Les risques professionnels</i>	37
6.1.3.	<i>Les habitudes alimentaires</i>	37
6.2.	Prévalence de la brucellose humaine en Afrique subsaharienne.....	38
7.	Conclusion.....	38

Résumé

Bien que considérée comme une zoonose majeure (OMS, 2006), la brucellose est une maladie méconnue et négligée en Afrique subsaharienne (ASS). Les différents biotypes circulant actuellement et leur dispersion géographique sont très peu connus dans cette région. L'importance épidémiologique et les conséquences économiques de la brucellose au sein des différents systèmes de production sont aussi largement sous-estimées du fait de la faible capacité diagnostique des laboratoires. Par ailleurs, la faible maîtrise des facteurs de risque de transmission de la maladie et l'absence de mesures adéquates de contrôle contribuent fortement à la dissémination de la brucellose en ASS. Les données de la littérature montrent que la maladie est largement distribuée dans les populations animales en ASS, mais avec une prévalence très variable. La brucellose constitue également une sérieuse menace pour la santé humaine du fait de l'absence de la pasteurisation de lait et du contact étroit entre le réservoir animal et l'homme, incluant les professionnels de l'élevage. Une meilleure connaissance de l'épidémiologie de la brucellose est nécessaire pour la mise en place d'un programme de lutte efficace contre cette maladie en ASS.

Abstract

Although regarded as a major zoonosis (WHO, 2006), brucellosis is often considered as an underestimated and neglected disease in sub-Saharan Africa (SSA). The currently circulating biovars and their geographical dispersion are little known in this region. The epidemiologic importance and the economic impact of brucellosis within various production systems are also widely underestimated due to the low diagnostic capacity of laboratories. In addition, the low known of risk factors for the transmission of the disease and the lack of adequate control measures strongly contribute to the dissemination of brucellosis in SSA. The data from the literature show that the disease is widely distributed in the animal populations in SSA, but with a variable prevalence. Brucellosis is also a serious threat to human health due to the lack of milk pasteurization and the close contact between animals and humans including livestock professionals. Improvement of the knowledge on the epidemiology brucellosis is necessary for the establishment of an effective control program against this disease in SSA.

1. Introduction

La brucellose est une importante zoonose sur le plan mondial. Bien qu'éradiquée ou en voie de l'être dans bon nombre de pays industrialisés, cette maladie constitue encore de nos jours une source de préoccupation croissante dans les pays en voie de développement et particulièrement ceux dont l'alimentation et l'économie dépendent en partie de l'élevage (OMS, 2006 ; OIE, 2007).

En Afrique subsaharienne (ASS), la brucellose est souvent méconnue voire négligée par manque de prise en considération ou simplement par manque de structures de diagnostic adaptées. Cependant, cette maladie peut avoir un impact considérable sur le développement économique et la stabilité des populations dans cette partie du monde (Ly, 2007). En effet, la brucellose a un important impact sur la santé et la productivité des animaux d'élevage réduisant ainsi grandement leur valeur économique et leur rendement au travail (Mangen *et al.*, 2002). Sur le plan humain, les pertes engendrées par la brucellose en termes de coûts économiques liés à la santé et à l'incapacité au travail (DALY¹) sont considérables (Roth *et al.*, 2003).

Les données sur la prévalence réelle de la brucellose sont rares et fragmentaires en ASS. Cependant, les risques de transmission de l'animal à l'homme paraissent particulièrement importants notamment en raison des récents changements climatiques et leurs corolaires sur les pratiques d'élevage, les habitudes alimentaires et les comportements sociaux des populations concernées (Marichatou *et al.*, 2005 ; Thys *et al.*, 2006 ; Boukary *et al.*, 2007). En effet, les migrations de plus en plus accentuées des éleveurs à la recherche de pâturages et d'eau, le développement anarchique de l'élevage autour et dans les centres urbains et l'insuffisance relative des mesures d'assainissement sont autant de facteurs susceptibles de favoriser la transmission de la maladie dans cette partie du monde (Ghirotti *et al.*, 1991 ; Faye *et al.*, 2005 ; Kang'Ethe *et al.*, 2007 ; Swai et Schoonman, 2009 ; Chimana *et al.*, 2010).

Cet article de revue présente et discute l'état des connaissances acquises durant ces dernières années sur la brucellose humaine et animale en ASS en relation avec les zones géographiques et les différents systèmes de production.

2. Historique et répartition de la maladie

La brucellose est une anthroozoonose cosmopolite dont la plus ancienne description chez l'homme remonterait à Hippocrate (460 –377 avant notre ère) (Fernando *et al.*, 2003).

En ASS, la brucellose est connue des responsables sanitaires et de l'élevage et, là où elle est étudiée, elle présente pour ceux-ci un sujet de préoccupation (Young, 1995 ; OMS, 1997 ; OMS/FAO/OIE, 2004). La première observation chez l'homme a été faite par Bourret (1910), à Saint Louis, au Sénégal

¹ DALY : Années de vie ajustées sur l'incapacité: la somme des années de vie potentielle perdues en raison d'une mortalité prématurée et des années de vie productives perdues en raison d'incapacité.

et par la suite la maladie humaine a été identifiée un peu partout sur le continent africain (Merle, 1953). En 1955, la maladie a été mise en évidence chez des bovins au Tchad (Sacquet, 1955). En 1957, un rapport d'activité faisait état de la brucellose chez les bovins au Niger en signalant de nombreux avortements au sein des troupeaux laitiers (Akakpo, 1987). Mais, il a fallu attendre 1970 pour que les premières études sérologiques soient réalisées dans le but d'évaluer la prévalence de la maladie chez les animaux en Afrique de l'ouest (Gidel *et al.*, 1974). Depuis, la maladie a été trouvée avec une incidence variable, tant chez l'homme que chez les animaux, dans toutes les parties du sous-continent où elle a été diagnostiquée (Mangen *et al.*, 2002 ; McDermott et Arimi, 2002; Smits et Cutler, 2004 ; Godfroid *et al.*, 2012). Cependant, très peu est connu à propos de la prévalence réelle de la maladie en ASS (Mangen *et al.*, 2002 ; Saegerman *et al.*, 2004 ; Pappas *et al.*, 2006 ; Sanogo *et al.*, 2008 ; 2012).

L'analyse des revues de synthèse ainsi que d'un bon nombre d'études originales consacrées à la brucellose montrent que la plupart des travaux effectués jusqu'à ce jour en ASS avaient pour but de chercher ou de confirmer l'existence de la maladie dans les territoires nationaux et/ou d'identifier l'agent infectieux en cause (Thimm et Wundt, 1976 ; Domenech *et al.*, 1983 ; Akakpo *et al.*, 1986 ; Tounkara *et al.*, 1994 ; Mangen *et al.*, 2002 ; McDermott et Arimi, 2002; Traoré *et al.*, 2004 ; Ocholi *et al.*, 2004 ; Thys *et al.*, 2005 ; Shey-Njila *et al.*, 2005 ; OIE, 2007 ; Marcotty *et al.*, 2009 ; Dean *et al.*, 2012 ; Godfroid *et al.*, 2012). Cependant, dans bon nombre de cas, la non représentativité des échantillons analysés du point de vue statistique, l'insuffisance de précision quant aux caractéristiques de la zone ou de la strate d'étude, la faible connaissance des liens de cause à effet ainsi que les interactions pouvant exister entre les différents systèmes de productions animales rendent difficile la comparaison des résultats entre les études/enquêtes (Mangen *et al.*, 2002 ; Marcotty *et al.*, 2009 ; Dean *et al.*, 2012). Ceci expliquerait en partie la difficulté de dresser un état de lieu complet concernant la répartition géographique de la brucellose et l'impact socio-économique dans cette partie du monde et la difficulté de réaliser une revue systématique sur le sujet en ASS.

3. Principales caractéristiques microbiologiques

Brucella est un coccobacille à Gram négatif intracellulaire facultatif, de 0,5 à 0,7 µm de diamètre et 0,5 à 1,5µm de longueur. Le genre *Brucella* comprend huit espèces classées selon leur pouvoir pathogène et les hôtes préférentiels dont 6 espèces pouvant être isolées de mammifères terrestres : *B. abortus*, *B. melitensis*, *B. suis*, *B. canis*, *B. ovis* et *B. neotomae*. (Thimm et Wundt, 1976; Halling et Young, 1994). Les trois premières se subdivisent également en biotypes. Deux espèces (*B. cetaceae* et *B. pinnipediae*) ont été identifiées chez des mammifères marins (Cloeckert *et al.*, 2001) Des cas de brucellose humaine ont été attribués à 4 des 6 espèces de *Brucella* rencontrées chez les mammifères terrestres. *B. melitensis* et *B. suis* sont les espèces les plus virulentes suivies de *B. abortus* et *B. canis*.

Brucella ovis et *B. neotomae* ne sont pas rapportées comme pathogènes pour l'homme (Brew *et al.*, 1999 ; Acha et Szyfres, 2005; OMS, 2006 ; Saegerman *et al.*, 2008).

Chez les bovins d'ASS, tous les biotypes de 1 à 6 et une souche intermédiaire nommée 3/6 (Domenech *et al.*, 1983 ; Verger et Grayon, 1984 ; Akakpo, 1987) de *Brucella abortus* ont été isolés avec une prépondérance des biotypes 3 ou 3/6 (Akakpo, 1987). *Brucella abortus* biotype 3 est la souche la plus fréquemment rencontrée en Afrique subsaharienne, elle a été isolée dans plusieurs pays, notamment au Sénégal, en Côte d'Ivoire, au Niger, au Cameroun, au Togo, au Tchad, au Rwanda, au Kenya et en Ouganda (Verger *et al.*, 1979 ; Domenech *et al.*, 1983 ; Akakpo *et al.*, 1986 ; Akakpo, 1987 ; Akakpo et Bornarel, 1987; Le Flèche *et al.*, 2006 ; Bankole *et al.*, 2010 ; Muendo *et al.*, 2012 ; Sanogo *et al.*, 2012). En plus du biotype 3, Pilo-Moron et collaborateurs (1979), Ocholi et collaborateurs (2005) ont isolé respectivement des souches de *B. abortus* appartenant aux biotypes 1 et 4 en Côte d'Ivoire et au biotype 1 au Nigeria. De même, les travaux de Domenech et collaborateurs (1983) en Afrique centrale (Cameroun et Tchad) ont permis d'isoler 95 souches de *Brucella* dont *B. abortus* biotypes 2 et 6. Enfin, au Mali, des travaux effectués par Tounkara et collaborateurs (1994), ont permis d'isoler 4 souches de *B. abortus* sans que le biotype ne soit déterminé.

En ce qui concerne les autres espèces de *Brucella*, les isollements sont assez rares en ASS. Toutefois, les travaux menés par Reichel et collaborateurs (1996) et Kabagambe et collaborateurs (2001) ont permis d'isoler *Brucella melitensis* chez les petits ruminants. *Brucella melitensis* a aussi été isolée récemment dans du lait de vache au Kenya (Muendo *et al.*, 2012). *Brucella suis* a été également identifié chez des petits ruminants par Manley (1968).

Les différents auteurs ont noté que les souches de *Brucella* africaines se différiaient des souches européennes du fait d'une croissance plus lente et d'un profil métabolique oxydatif particulier par rapport au profil classique de l'espèce. Notamment, à quelques exceptions près, ces souches ne répondaient pas à l'épreuve de l'oxydase et leur profil moyen d'oxydation métabolique était modifié au niveau de 4 des substrats conventionnels (L-asparagine, L-arabinose, D-galactose et D-xylose) (Verger et Grayon, 1984 ; Akakpo et Bornarel, 1987 ; Bankole *et al.*, 2010 ; Sanogo *et al.*, 2012).

4. La prévalence de la brucellose animale en Afrique subsaharienne

Les données bibliographiques sur l'infection due à la brucellose en ASS montrent que les recherches sur cette maladie ont surtout concerné l'espèce bovine et dans une moindre mesure les petits ruminants. Les données sur la prévalence animale sont reprises dans le **Tableau I**.

Selon les travaux de Mangen et collaborateurs (2002), basés sur les résultats obtenus au moyen du test de Rose Bengale, la séroprévalence globale de la brucellose bovine en ASS est estimée à 16,2% avec toutefois des variations très importantes allant de 10,2% à 25,7%. Globalement, les différentes investigations menées sur la maladie ont montré que la prévalence de la brucellose animale tant au

niveau individuel qu'au niveau des troupeaux varie selon les systèmes d'élevages, les zones géographiques considérées et les méthodes de diagnostic utilisées (Akakpo *et al.*, 1986 ; Mangen *et al.*, 2002 ; Cadmus *et al.*, 2006; Sanogo *et al.*, 2008 ; Chimana *et al.*, 2010).

4.1. Variations de la prévalence de la brucellose bovine en fonction des zones géographiques

A l'échelle de l'ASS, les différents résultats de recherche (**Tableau 1**) montrent d'importants écarts inter et intra-régionaux de la séroprévalence individuelle de la brucellose animale. La disparité des données et l'insuffisance de précision quant à la description du contexte et des méthodes de diagnostic utilisées dans un certain nombre d'études ne permettent pas une comparaison objective des résultats en fonction des différentes zones agro-écologiques. Cependant, les moyennes calculées sur la base des séroprévalences individuelles (**Figure 1**) permettent de distinguer :

- des pays à très forte prévalence allant de 18,0 à 25,0% comme le Mali, la Côte d'Ivoire, le Niger, le Togo, le Rwanda et la Zambie;
- des pays à forte prévalence, allant de 12,5 à 18,0% comme le Sénégal, le Burkina Faso, le Tchad, le Soudan, la République Démocratique du Congo et le Burundi ;
- des pays à prévalence moyenne allant de 6,5 % à 12,5 % qui sont : le Ghana, le Bénin, le Nigeria, le Cameroun, la Somalie, l'Ouganda, le Kenya et la Tanzanie ;
- et enfin des pays à plus faible prévalence allant de 3 à 6,5 % comme la Guinée, la République Centre Africaine, l'Ethiopie et l'Erythrée.

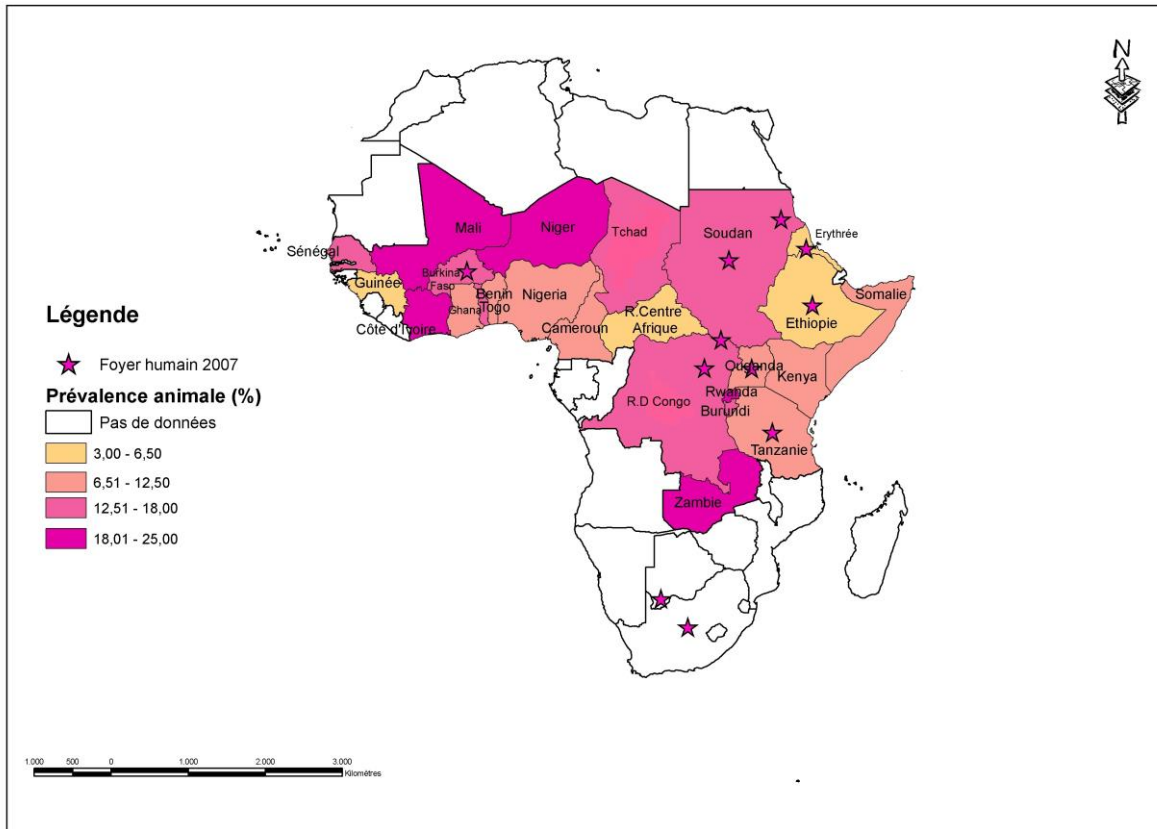


Figure 1 : Carte de la prévalence de la brucellose bovine établie sur la base des données bibliographiques entre 1955 et 2009 et des foyers humains déclarés en 2007 en Afrique subsaharienne

4.2. Variations de la prévalence de la brucellose bovine en fonction des systèmes de production

Les investigations en matière de brucellose concernent davantage les systèmes pastoraux et agro-pastoraux extensifs et dans une moindre mesure les élevages mixtes (systèmes de type ranching et ou périurbains). Quel que soit le système ou la zone écologique considéré, on constate également d'importantes variabilités dans la séroprévalence (**Tableau 1**).

Tableau 1 : Prévalence de la brucellose animale et humaine en Afrique Subsaharienne en fonction des zones géographiques : synthèse des études réalisées entre 1955 et 2010.

Pays	Système d'élevage	Espèce	Taille de l'échantion	Type de test	Prévalence	Auteurs
Afrique de l'Ouest						
Bénin	Mixte	Bovins	920	RB, FC	10,40%	Akakpo <i>et al.</i> , 1984;
	Mixte	Bovins		RB	4,30%	Akakpo, 1987
Burkina Faso	Mixte	Bovins		FC	8,30%	
	Mixte	Bovins	1 270	RB	7,40%	Akakpo, 1987
	Mixte	Bovins		FC	9,7%	
	Urbain	Bovins	67		55,2%	
	Pastoral	Bovins	440		11,3 à 14,3%	
	Périurbain	Bovins	1 107		8,0%	Coulibaly et Yaméogo, 2000
	Pastoral	Bovins	270	RT	21,0%	Gidel <i>et al.</i> , 1974
Côte d'Ivoire		Bovins	183	FC, SAW	10,9%	
		Caprins	121	RT	16,8%	
		Humains	1 357	FC, SAW	0,4%	
	Pastoral	Bovins	499	RT	6,0%	Gidel <i>et al.</i> , 1974
		Caprins	251	RT	4,8%	
		Humains	985	FC, SAW	10,1%	
	Urbain	Bovins	290	RB	13,2%	Traoré <i>et al.</i> , 2004
	Mixte	Bovins	1 214	RB	28,3%	Camus, 1980
		Bovins	700	RT	51,0%	Gidel <i>et al.</i> , 1974
	Pastoral (région de Bouaké)	Bovins	144	FC, SAW	2,6%	
		Ovins	14	RT	4,0%	
		Humains	1 122	FC, SAW	1,0%	
Pastoral (région de Korogho)	Bovins	335	RT	38,8%		
	Bovins	347	FC, SAW	15,6%		
	Caprins	15	RT	1,0%		
	Humains	1 629	FC, SAW	0,4%		
Pastoral	Bovine	660	FC, SAW, RB, iElisa	8,8 %	Sanogo <i>et al.</i> , 2008	
Mixte	Bovins	13 343	SAW, RB	10,1%	Pilo-Moron <i>et al.</i> , 1979	
Périurbain	Bovins	381	RB, Elisa, SAW, FC	3,6 à 4,3%	Thys <i>et al.</i> , 2005	
Ghana	Zone forestière	Bovins	183	RB	6,6%	Kubafor <i>et al.</i> , 2000
	Mixte	Bovins	183	RB	6,6%	
	Mixte	Bovins	323	RB	9,3%	Turkson et Boadu, 1992
	Pastoral	Bovins	323	RB	9,3%	
Guinée	Mixte	Bovins	2 748	RB, FC	6,5%	Diallo, 1994
	Mixte	Bovins	1 861	RB	6,9%	Sylla <i>et al.</i> , 1982

Mali	Mixte	Bovins	867	RB, FC	19,7%	Maiga <i>et al.</i> , 1995	
	Pastoral	Bovins	1 000	Elisa	22,0%	Toukara <i>et al.</i> , 1994	
Niger	Périurbain	Bovins	380	RT	20,8%	Adamou, 2008	
		Ovins	75	RT	6,67%		
		Caprins	80	RT	6,25%		
	Mixte	Bovins	826	RB	18,3%	Akakpo, 1987	
				FC	27,6%		
	Pastoral + PU (Région de Niamey)	Bovins	669	RB, FC, Culture	35,3%	Bloch et Diallo, 1991	
	Pastoral + PU (Région de Zinder)	Bovins	157	RB, FC	12,1%		
	Nigeria	Pastorale Mixte	Bovins	2 794	RB	1,4%	Gidel <i>et al.</i> , 1974
			Bovins	245	RT	21,2%	
		Bovins	42	FC, SAW	1,0%		
Caprins		104	RT	45,1%			
Ovins		81	RT	22,2%			
Humains		1 193		1,4%			
Pastoral		Ovins	250	RB	4,8%	Falade <i>et al.</i> , 1981	
		Caprins	189	RB	9,0%		
Périurbain de Baoutchi		Ovins	28	SAW, RT	14,3%	Ocholi <i>et al.</i> , 2005	
Pastoral		Bovins	200	RB	15,0%	Adeyiyun et Oni, 1990	
			SAW	1,5%			
Pastoral (Ranch)	Bovins	1 989	RB, SAW	2,2 à 4,8%	Agunloye <i>et al.</i> , 1988		
Mixte	Bovins	400	RB	6,3%	Ishola <i>et al.</i> , 1997		
			SAW	5,0%			
Pastoral	Bovins	762	Elisa	6,6%	Ocholi <i>et al.</i> , 1996		
			Saw	3,0%			
			RB	2,1%			
Sénégal	Mixte	Bovins	1 379	RB, SAW	10,3%	Akakpo et Bornarel, 1987	
	Abattoir de Dakar	Bovins	1 134	SAW, FC	8,7 à 17,2%	Chantal et Thomas, 1976	
	Pastoral	Bovins	388	RB	14,4%	Doutre <i>et al.</i> , 1977	
				SAW	13,3%		
				FC	13,3%		
Mixte	Bovins	NS	Culture		Verger <i>et al.</i> , 1979		
Togo	Pastoral	Bovins	388	RB, Culture	14,40%	Doutre <i>et al.</i> 1977	
	Pastoral	Bovins		SAW	14,90%		
	Mixte	Bovins	1 056	RB	13,5%	Akakpo, 1987	
	Mixte	Bovins		FC	16,0%		
	Mixte	Bovins	1 112	NS	35,5 à 51,9%	Domingo, 2000	
Afrique centrale							
Cameroun	Mixte	Bovins	962	RB	6,70%	Akakpo, 1987	
	Mixte	Bovins		FC	10,50%		
	Mixte	Bovins	298	Elisa	8,40%	Bayemi <i>et al.</i> , 2009	
	Abattoir de Dschang	Bovins	840	RB, Elisa, SAW, FC	9,60%	Shey-Njila <i>et al.</i> , 2005	
Rép. du Congo	Pastoral	Bovins	30	NS	16,70%	Ngoy et Kiafouka, 1989	

Rép. Centrafricain e Tchad	Pastoral	Bovins	2.032	RB	3,30%	Nakouné <i>et al.</i> , 2004
	NS	Bovins	287	RT	18,00%	Sacquet, 1955
			500	SAW	12,00%	
	Périurbain	Bovins	634	FC	2,60%	Delafosse <i>et al.</i> , 2002
	Mixte	Bovins	1 933	SAW	7,4	à Perreau, 1956
			978	RT	23,8%	
Afrique de l'est						
Burundi	Mixte	Bovins	957	RB, SAW	0	à Merker et Schlichting, 1984
					13,0%	
				RB	25,40%	
	Pastoral	Bovins	528	SAW	18,30%	
				RT	14,40%	
Erythrée	Pastoral	Bovins	1.609	RB	4,20%	Bekele <i>et al.</i> , 1989
	Pastoral	Bovins	2.427	RB, FC	5,60%	Omer <i>et al.</i> , 2000
Ethiopie	Pastorale	Camelins	1.442	RB	5,60%	Teshome <i>et al.</i> , 2003
				FC	4,20%	
	Mixte	Bovins	1.595	RB	3,10%	Ibrahim <i>et al.</i> , 2010
				FC		
	Pastoral	Ovins	563	RB	3,20%	Ashenafi <i>et al.</i> , 2007
	Pastoral	Caprins	1.005	RB	5,80%	
	Pastoral	Bovins	685	FC	0,43%	Domenech et Lefevre, 1974
Kenya	Pastoral	Bovins	10.361	RB	9,90%	Kagumba et Nandokha, 1978
				RB, SAW	3,60%	
				RB, FC	8,70%	
	Urbain pastoral	+ Bovins	456	RT, Elisa	0 à 10%	Arimi <i>et al.</i> , 2005
	Pastoral	Bovins	1 146	Elisa	10,2%	Kadohira <i>et al.</i> , 1996
	Pastoral	Bovins	10 361	RB	9,9%	Kagumba et Nandokha, 1978
				RB, SAW	3,6%	
				RB, FC	8,7%	
	Urbain	Bovins	393	Elisa	0,7	à Kang'Ethe <i>et al.</i> , 2007
					1,1%	
	Pastoral (Ranch)	Bovins	835	FC	12,1%	Ndarathi et Waghela, 1991
				SAW	9,7%	
				RB	16,9%	
Ouganda	Pastoral	Bovins	497	Elisa	34,0%	Magona <i>et al.</i> , 2009
	Fermes laitières	Bovins	226	Elisa	3,3%	
	Pastoral	Bovins	10 529	RB	15,8%	Faye <i>et al.</i> , 2005
	Pastoral mixtes	+ Bovins	1 739	RB, SAW	9,6%	Newton <i>et al.</i> , 1974
				RB, FC	15,6%	
	Fermes laitières	Bovins	756	RB, FC	3,0%	Oloffs <i>et al.</i> , 1998
Rwanda	Mixte	Bovins	654	RB	27,8%	Akakpo, 1987
				FC	27,7%	
	Mixte	Bovins	1 385	RB	25,7%	Kabagambe <i>et al.</i> , 1988
				SAW	5,2%	
Somalie	Pastoral	Bovins	660	SAW	15,54%	Andreani <i>et al.</i> , 1982
	Pastoral	Bovins	3 086	SAW	9,0%	Hussein <i>et al.</i> , 1978

Soudan	Pastoral	Bovins	113	RB	13,3%	Agab, 1997
	Pastoral	Bovins	5 982	FC, SAW	9,2%	Hellmann <i>et al.</i> , 1984
	Pastoral	Bovins	762	RB, SAW	20,2%	McDermott <i>et al.</i> , 1987
	Pastoral	Camelins	3 413	Elisa, RB, RT	7,3% à 8,1%	Musa et Shigidi, 2001
R.D Congo	Pastoral (<i>ranchs</i>)	Bovins	674	FC	9,3% à 42%	Bula <i>et al.</i> , 1987
Tanzanie	Mixte	Bovins	13 087	SAW	10,8%	Jiwa <i>et al.</i> , 1996
	Mixte	Bovins	23 017	RB, SAW	5,9%	Kagumba et Nandokha, 1978
	Pastoral (<i>ranchs</i>)	Bovins	17 758	SAW	10,6%	Msanga <i>et al.</i> , 1986
	Mixte	Bovins	2 289	SAW	14,0%	Weinhäupl <i>et al.</i> , 2000
Afrique australe						
Zimbabwe	Mixte	Bovins	NS	RB, Elisa	5,6%	Matope <i>et al.</i> , 2010
Malawi	Mixte	Bovins	2 017	RB, SAW	0,3%	Bedard <i>et al.</i> , 1993
Zambie	Mixte	Bovins	291	RB	17,2%	Ahmadu <i>et al.</i> , 1999
				SAW	16,2%	
	Pastoral	Bovins	886	RB, Elisa	23,9%	Muma <i>et al.</i> , 2007a
	Mixte	Bovins	1 245	RB, Elisa	14,1% à 28,1%	Muma <i>et al.</i> , 2006
	Mixte	Ovins, caprins	280	RB, Elisa	0%	
	Pastoral	Bovins	48	RB, Elisa	18,7%	Chimana <i>et al.</i> , 2010
	Périurbain	Bovins	849	RB, Elisa	7,9%	

RB : Test au Rose Bengale ; Elisa : Enzyme Linked Immunosorbent Assay; SAW: Test de Séro-Agglutination de Wright ; FC : Test de Fixation de Complément ; NS : Non spécifié.

— *Les systèmes pastoraux*

Ils regroupent l'élevage pastoral proprement dit où les troupeaux sont détenus par des pasteurs en majorité nomades et vivant exclusivement de l'élevage et l'élevage agropastoral dans lequel les troupeaux sont détenus en majorité par les agropasteurs pratiquant l'agriculture et l'élevage. Les systèmes pastoraux sont caractérisés par des effectifs très importants, mixtes avec de grands mouvements du cheptel. Ces systèmes sont généralement basés sur l'exploitation extensive des ressources naturelles et des résidus de cultures vivrières (Lhoste, 1984 ; RPCA 2010). La prévalence individuelle de la brucellose animale est, dans la majorité des cas, supérieure à 5% (Hussein *et al.*, 1978 ; Hellmann *et al.*, 1984 ; McDermott *et al.*, 1987 ; McDermott et Arimi, 2002 ; Mangen *et al.*, 2002 ; Schelling *et al.*, 2003) avec des valeurs extrêmes de l'ordre de 35 à 51% (Gidel *et al.*, 1974 ; Bloch et Diallo, 1991).

— *Les systèmes de production mixtes*

On distingue :

- Les systèmes d'exploitation du type ranching caractérisés par de grandes concentrations d'animaux sur des grands espaces aménagés où ils peuvent recevoir un complément alimentaire en plus du fourrage naturel. Dans les ranchs, les données concernant la prévalence individuelle de la brucellose animale paraissent similaires à celles rapportées au niveau des systèmes pastoraux avec toutefois des amplitudes de variation moins importantes (**Tableau 1**). Cela pourrait être attribuable au fait que dans les ranchs, le suivi zootechnique et sanitaire des troupeaux est généralement mieux organisé et les contacts avec d'autres troupeaux plus rares (Lhoste, 1984).
- En général, dans les systèmes de production périurbains et urbains les animaux sont gardés dans des concessions. Ils partent au pâturage dans la journée et reçoivent des compléments alimentaires sous forme de résidu de cuisine et/ou, plus rarement, d'aliments concentrés. De manière générale, on constate que dans les élevages urbains et périurbains, la prévalence de la brucellose au niveau individuelle aussi bien qu'au niveau des troupeaux est généralement beaucoup plus faible que dans les systèmes de type extensif (**Tableau 1**). Par contre, les risques potentiels de transmission de la maladie à l'homme paraissent beaucoup plus élevés compte tenu du mode d'élevage, du mode de transformation des produits animaux ainsi que des habitudes alimentaires des citadins auxquels ces produits sont destinés (Bonfoh *et al.*, 2003 ; Boukary *et al.*, 2007 ; Kang'ethe *et al.*, 2007 ; Chimana *et al.*, 2010).

Une analyse des données basées sur les résultats les plus fréquents, tels que ceux du test de Rose Bengale (**Tableau 1**) au moyen d'une régression logistique a montré qu'il n'existe aucune différence significative de la prévalence apparente individuelle de la brucellose animale en fonction des systèmes

d'élevage (**Figure 2**). Notons cependant que le nombre d'études est relativement faible et que dès lors affecte la puissance statistique.

Toutefois en prenant en compte les zones géographiques, l'analyse statistique des mêmes données a montré qu'il existe une différence significative en ce qui concerne la prévalence apparente des régions d'Afrique de l'est et celles de l'ouest (**Figure 2**). Les prévalences individuelles apparentes de la brucellose animale sont significativement moins élevées en Afrique de l'ouest ($P = 0,04$).

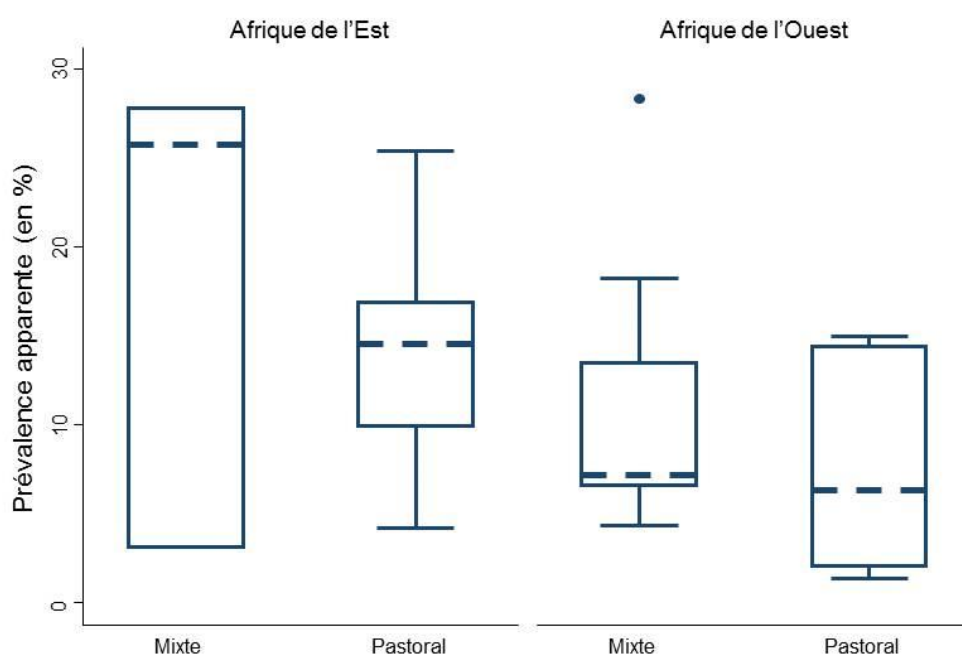


Figure 2 : Variation de la prévalence apparente individuelle de la brucellose animale en fonction des systèmes de production animale et des régions géographiques.

5. Facteurs de variation de la prévalence de la brucellose animale en Afrique subsaharienne

L'examen des données bibliographiques disponibles sur la brucellose en ASS montre bien une grande variabilité de la séroprévalence et la difficulté de comparer les résultats obtenus par les différents chercheurs. Cette variabilité peut être attribuée à des facteurs extrinsèques attribuables à l'environnement, à l'action humaine (mode de conduite des animaux) et à la méthodologie de la

recherche et des facteurs intrinsèques liés à l'animal et aux caractéristiques spécifiques de l'agent pathogène.

5.1. Facteurs extrinsèques

5.1.1. Facteurs liées à la méthodologie de recherche

D'un point de vue méthodologique l'absence de bases de sondage ou leur imperfection (Domenech *et al.*, 1983) ne permet pas toujours de réaliser des échantillonnages suffisamment représentatifs d'un point de vue statistique. De même, l'insuffisance de précision ou le manque de détails sur les limites des zones d'étude, sur les conditions de prélèvement et d'analyse et sur les systèmes d'élevage sont autant de biais pour une bonne interprétation des études réalisées et n'autorise pas la mise sur pied de méta-analyse.

Un autre problème important souligné par plusieurs auteurs (Akakpo, 1987 ; Kadohira *et al.*, 1997 ; Mangen *et al.*, 2002 ; McDermott et Arimi, 2002, Nielsen *et al.*, 2004 ; Saegerman *et al.*, 2004 ; Shey-Njila *et al.*, 2005) est la différence de sensibilité et de spécificité des tests sérologiques utilisés pour le dépistage. C'est l'un des facteurs qui contribue le plus à la variabilité des résultats entre chercheurs. Ainsi en travaillant sur les résultats de 50 publications dans lesquelles la sensibilité et la spécificité de différents tests de diagnostic des *Brucella* ont été rapportés, Gall et Nielsen (2004) ont montré que certains tests conventionnels parmi les plus utilisés, dont le test au Rose Bengale et le test de fixation de complément, ont des indices de performance moins élevés que d'autres tests, tel que l'épreuve d'agglutination sur lame à l'antigène tamponné (*Buffered Plate Agglutination Test : BPAT*). Dans une étude comparative, Muma et collaborateurs (2009), ont montré que la sensibilité du test de Rose Bengale est inférieure à celle du test de la polarisation par fluorescence lorsque le titre en anticorps de l'échantillon étudié est faible. Le test de Rose Bengale est de loin le plus utilisé en ASS en raison notamment de sa simplicité, de sa relative bonne sensibilité et de son faible coût (Mangen *et al.*, 2002 ; Muma *et al.*, 2009). Ce test permet une appréciation rapide du statut sérologique individuel, au niveau des troupeaux à l'échelle locale ou régionale (OIE, 2009). Toutefois, la spécificité de ce test est assez faible en raison notamment des réactions croisées de l'antigène de *Brucella* avec des anticorps liés à d'autres bactéries apparentées gram-négatif telles que *Yersinia enterocolitica* O:9, *Francisella tularensis*, *Vibrio cholerae*, *Escherichia coli* O:157, *Salmonella* spp, et *Sternotrophomonas maltophilia* (Alton *et al.*, 1988; Nielsen, 2002; Saegerman *et al.*, 2004). Ceci conduirait à des réactions sérologiques faussement positives tendant à surestimer la prévalence individuelle de la brucellose dans certaines régions de l'ASS (Bankole *et al.*, 2010 ; Makita *et al.*, 2011 ; Sanogo *et al.*, 2012 ; Boukary *et al.*, 2013). Par ailleurs, Saegerman et collaborateurs (2004) ont montré que la spécificité du test i-Elisa pour la détection de la brucellose varie en fonction de la nature du conjugué

utilisé. Les mêmes auteurs ont rapporté que la spécificité du test i-Elisa dépend également du microbisme de la région d'étude.

Pour une meilleure interprétation et comparaison des résultats, il serait judicieux d'appuyer les programmes de recherche nationaux des pays ASS par la mise au point d'une méthodologie efficace et peu coûteuse (Wright, 1993 ; Gall et Nielsen 2004). En effet, ce qui importe pour le gestionnaire de la santé, c'est la prévalence réelle, or les prévalences obtenues par des tests sérologiques ne donnent qu'une idée de la prévalence apparente de la maladie. Une alternative consiste en l'usage d'une approche bayésienne qui permet d'estimer la prévalence réelle en prenant en compte les résultats de plusieurs tests de diagnostic effectués en parallèle mais aussi un ensemble de facteurs pouvant influencer sur ces résultats (Berkvens *et al.*, 2006 ; Lesaffre *et al.*; 2007 ; Sanogo *et al.*, 2010).

5.1.2. Facteurs liés à l'environnement et au mode d'élevage

Les facteurs environnementaux ayant un impact sur la transmission de la brucellose à l'échelle des troupeaux sont surtout ceux liés au climat et aux modes de vie de la population. Concernant les effets climatiques, il apparaît que les facteurs de risque de transmission de la brucellose en ASS varient en fonction des zones géographiques, donc du gradient pluviométrique (Mangen *et al.*, 2002 ; Ibrahim *et al.*, 2010). Plusieurs auteurs (Akakpo, 1987 ; Bloch et Diallo, 1991 ; Domenech *et al.*, 1982 ; Tounkara *et al.*, 1994) spécifient que la transmission s'accroît des zones arides vers les zones plus humides. Un climat chaud et sec détruit les *Brucella* tandis qu'ils sont conservés plus longtemps sur des pâtures fraîches et en ambiance humide (Akakpo, 1987 ; Saegerman *et al.*, 2010). Les facteurs liés aux modes de vie de la population sont fortement liés aux modes d'exploitation des troupeaux. En effet, il apparaît que dans les systèmes d'exploitation de type périurbain et urbain où les animaux sont le plus souvent gardés et nourris dans des enclos (Marichatou *et al.*, 2005 ; Thys *et al.*, 2005 ; Boukary *et al.*, 2007), la survie des *Brucella* est prolongée de plusieurs mois dans l'eau stagnante, les lisiers et dans les substrats desséchés comme le foin, la poussière, les barrières d'enclos (McDermott et Arimi, 2002 ; AFSSA, 2006 ; OIE, 2007 ; Saegerman *et al.*, 2010). Il est aussi à noter que dans les milieux périurbains, les élevages sont généralement installés sur des terres marginales où l'insuffisance d'infrastructures d'assainissement et d'hygiène ainsi que l'absence des services vétérinaires contribuent fortement à la dissémination de la maladie (Boukary *et al.*, 2007 ; Ly, 2007).

Il a été établi que les risques de transmission de la brucellose sont généralement plus élevés dans les élevages de type extensif avec grands effectifs et dans les troupeaux mixtes comportant des bovins et des petits ruminants (McDermott et Arimi, 2002). Selon plusieurs auteurs, la prévalence de la brucellose est plus élevée dans les troupeaux pastoraux où les animaux doivent parcourir de longues distances à la recherche de pâturages et de points d'eau (Gidel *et al.*, 1974 ; Akakpo *et al.*, 1986 ; Tounkara *et al.*, 1994 ; McDermott, 2002 ; Ocholi *et al.*, 2005 ; Ashenafi *et al.*, 2007 ; Muma *et al.*,

2006 ; Muma *et al.*, 2007b, Ibrahim *et al.*, 2010). Il est maintenant bien établi que la dynamique et la migration fréquente des troupeaux pastoraux augmente les chances d'exposition des animaux à la brucellose (Kadohira *et al.*, 1997; Acha et Szyfers, 2001; Megersa *et al.*, 2011). Ce qui corrobore les résultats d'une étude récente menée par Boukary et collaborateurs (2013), qui ont trouvé que le risque de séropositivité à l'antigène brucellique est 9,1 fois plus élevé dans les élevages pastoraux transhumants par rapports aux élevages sédentaires qui ont des petits effectifs d'animaux.

La fréquence des avortements dans les troupeaux est aussi un facteur de risque important dans la transmission de la brucellose animale en ASS. En effet, la prévalence de la brucellose dans les troupeaux est positivement corrélée avec l'incidence des avortements chez les femelles (McDermott et Arimi, 2002 ; Schelling *et al.*, 2003 ; Ibrahim *et al.*, 2010 ; Boukary *et al.*, 2013). Les femelles infectées par la brucellose peuvent excréter des concentrations élevées de l'agent pathogène dans leur lait, les membranes placentaires et les avortons favorisant ainsi la transmission de la maladie aux animaux sains et à l'homme (Corbel, 1988 ; John *et al.*, 2010 ; Saegerman *et al.*, 2010).

Enfin, dans des nombreux pays africains, il a été montré que la brucellose animale est plus fréquente dans les zones d'interface entre la faune sauvage et les animaux domestiques (Nicoletti, 1980 ; Jiwa *et al.*, 1996 ; Bengis *et al.*, 2002 ; Muma *et al.*, 2010). Le contact entre la faune sauvage potentiellement infectée et les animaux domestiques, notamment au moment de la transhumance et au niveau des points d'eau, pourrait présenter un risque non négligeable de propagation de la maladie (Rottcher, 1978; Ghirotti *et al.*, 1991). Cependant, le rôle de faune sauvage dans l'épidémiologie de la brucellose animale en ASS reste à déterminer, en particulier en ce qui concerne le nombre de cas et le degré de contact entre les animaux sauvages et domestiques (Saegerman *et al.*, 2008).

5.2. Facteurs intrinsèques

Les facteurs liés à l'animal ne sont généralement pas indépendants des facteurs extrinsèques en particulier ceux liés à l'environnement et au mode d'élevage qui les influencent d'une certaine manière. La synthèse des différentes études sur ces facteurs montrent que ceux-ci déterminent surtout la prévalence individuelle au niveau animal. Les facteurs intrinsèques les plus cités sont repris ci-dessous.

5.2.1. La race

Ici aussi les opinions varient fort dans la littérature. Certains auteurs mettent en évidence la plus grande sensibilité des taurins par rapport aux zébus tandis que d'autres soutiennent le contraire (Thimm et Wundt 1976 ; Chantal et Thomas, 1976). Une étude réalisée au niveau de 7 pays, a montré qu'il n'y a pas de différence significative entre les taurins et les zébus (Akakpo, 1987). Cependant, il

ressort que les animaux métis issus de croisement entre les races locales de zébu et de taurins ont une plus grande sensibilité à l'infection brucellique comparativement aux races pures (Akakpo, 1987).

5.2.2. L'âge

Plusieurs études menées en ASS ont montré que la prévalence individuelle de la brucellose est corrélée avec l'âge des animaux. Elle est significativement plus élevée chez les animaux âgés par rapport aux jeunes animaux (Chantal et Thomas 1976, Akakpo *et al.* 1984 ; Musa et Shigidi, 2001 ; Turkson et Boadu, 1992 ; Traoré *et al.*, 2004 ; Faye *et al.*, 2005, Chimana *et al.*, 2010 ; Boukary *et al.*, 2013). Cette prévalence plus élevée chez les animaux âgés correspond logiquement à une probabilité plus grande d'exposition à l'infection et d'un développement de la maladie plus élevé avec l'âge.

5.2.3. Le sexe

Les résultats sur l'effet du sexe sont aussi contradictoires. Akakpo et collaborateurs (1984), Turkson et Boadu, (1992) et Musa et Shigidi, (2001) n'ont pas trouvé de différence significative de prévalence d'infection brucellique en fonction du sexe, contrairement à d'autres auteurs (Chantal et Thomas, 1976 ; Traoré *et al.*, 2004 ; Faye *et al.*, 2005) rapportant une séroprévalence beaucoup plus élevée chez les femelles que chez les mâles. Par ailleurs, Chimana et collaborateurs (2010), ont trouvé une séroprévalence de la brucellose significativement plus élevée chez les mâles que chez les femelles.

5.2.4. L'état physiologique

Les différentes études réalisées à ce sujet n'ont pas établi une relation claire entre l'état physiologique de l'animal et son statut sérologique. Cependant, il apparaît que chez les femelles laitières, la susceptibilité à l'infection brucellique est corrélée au niveau de production et à l'état général de l'animal (Magona *et al.*, 2009 ; Kouamo *et al.*, 2010 ; Adamou, 2010). En effet, Ibrahim et collaborateurs (2010), ont observé une prévalence individuelle de brucellose significativement plus élevée chez les femelles laitières en production comparativement aux femelles non productives. De même, Adamou (2010) a trouvé une prévalence individuelle de brucellose plus élevée chez des femelles laitières en début de lactation. Le même auteur signale que chez ces femelles, la prévalence de brucellose était positivement corrélée avec celle des mammites subcliniques, ce qui justifierait une détérioration plus marquée de leur état général et de leur niveau de production.

6. Brucellose et santé publique en Afrique subsaharienne

6.1. Facteurs de risque de la transmission de la brucellose de l'animal à l'homme

La transmission à l'homme de *Brucella* constitue généralement une impasse épidémiologique. La transmission interhumaine est, en effet, extrêmement rare. Les risques de transmission de l'homme à l'homme existent rarement, dans des conditions particulières comme celle de la transfusion sanguine et celle de la transplantation de moelle osseuse avec contamination par des brucelles (Mesner *et al.*, 2007 ; Saegerman *et al.*, 2010). Les laborantins travaillant sur des échantillons de patients contaminés sont, quant à eux, plus à risque (OMS, 2006 ; Mesner *et al.*, 2007). L'infection humaine nécessite donc, en principe, la présence d'un réservoir animal (Godfroid *et al.*, 2003). En effet, chez un animal infecté, une très grande quantité de bactéries est excrétée avec le fœtus, le placenta et les sécrétions utérines lors des mises-bas ou des avortements (Fernando *et al.*, 2003 ; Saegerman *et al.*, 2004 ; John *et al.*, 2010). Après avortement ou parturition, les *Brucella* continuent à être excrétées dans le lait et autres sécrétions des animaux infectés (Charters, 1980 ; Corbel, 1988). Les *Brucella* peuvent se conserver dans les sources d'eau d'abreuvement souillée par des animaux ayant récemment avortés, dans la poussière, dans le sol et les produits laitiers. La durée de survie des brucelles dans ces matières dépend de la nature du substrat, du nombre de micro-organismes, de la température, du pH, de l'éclairement solaire, de la présence d'autres types de microorganismes (AFSSA, 2006 ; OMS, 2006). Selon Fernando et collaborateurs (2003), l'excrétion de *B. melitensis* dans les écoulements vaginaux des chèvres ayant avorté peut durer plus d'un an. L'urine se contamine lors du passage par la vulve. L'invasion de la mamelle par les *Brucella* assure leur persistance chez les femelles.

Les risques de transmission de la brucellose chez l'homme incluent des facteurs écologiques, environnementaux ou démographiques qui placent les gens en contact accru avec le réservoir animal ou qui favorisent le maintien et la diffusion de l'agent pathogène (OMS, 2006). Ces risques sont potentiellement plus élevés en ASS en raison notamment de la complexité des relations entre les différents systèmes d'exploitation animale, des changements environnementaux et des habitudes alimentaires et professionnelles (Bonfoh *et al.*, 2003 ; Thys *et al.*, 2006 ; Boukary *et al.*, 2007). Trois catégories de risque peuvent être distinguées dans le contexte africain subsaharien.

6.1.1. Les risques liés aux échanges entre les milieux urbains et ruraux

Les changements intervenus dans les contextes climatique et économique mondiaux ces dernières décennies n'ont pas épargné le continent africain. En effet, la dégradation du pouvoir d'achat des populations rurales, les sécheresses à répétition et l'augmentation de la demande des villes en produits animaux ont poussé la population rurale, dont des éleveurs et leurs animaux, à une migration massive vers les centres urbains (Koffi-Tessio, 2007 ; Boukary *et al.*, 2007). Quoique l'Afrique soit le continent le moins urbanisé, il présente le taux de croissance le plus élevé du monde et il a été estimé qu'en 2020, plus de 55 % des Africains vivront en ville (UN-HABITAT, 2003). L'installation

anarchique des nouveaux arrivants et leurs troupeaux dans la périphérie ainsi que dans les artères des grandes villes, l'insuffisance relative des mesures d'assainissement caractérisée par le manque d'infrastructures adéquates créent les conditions favorables pour un contact accru entre l'humain et le réservoir animal potentiellement infecté ainsi que la conservation du germe pathogène (Traoré *et al.*, 2004 ; Kang'Ethe *et al.*, 2007, Makita *et al.*, 2008). De plus, les déplacements constants d'animaux et les fortes densités d'humains dans les milieux rural, périurbain et urbain sont susceptibles d'assurer le maintien et le renouvellement de l'infection brucellique (Boukary *et al.*, 2007 ; Chimana *et al.*, 2010).

6.1.2. Les risques professionnels

La brucellose humaine est souvent considérée comme une maladie professionnelle (Godfroid *et al.*, 2003). Les catégories professionnelles les plus exposées sont: les fermiers et leurs familles, les bergers, les vétérinaires et agents d'abattoirs, les bouchers, les bouviers et les marchands d'animaux sur pied (Blancou *et al.*, 2005 ; Swai et Schoonman, 2009). Les risques découlent pour ces professionnels des contacts directs avec les animaux malades ou avec un environnement fortement contaminé. Swai et Schoonman (2009) ont trouvé en Tanzanie une prévalence de brucellose plus élevée chez les agents d'abattoir que chez les autres catégories de travailleurs. Les mêmes auteurs rapportent que dans le personnel travaillant à l'abattoir, les agents chargés de l'abattage et du dépouillement des animaux sont les plus exposés au risque.

Chez les éleveurs périurbains et urbains sahéliens, certaines pratiques comme les échanges de géniteurs, le mélange des animaux malades et des animaux sains, le parcage des animaux à l'intérieur des concessions ou même dans les cases, la manipulation le plus souvent sans protection des avortons et autres produits excrétés par les animaux lors de parturition sont autant de risques de contamination par les *Brucella* (Godfroid *et al.*, 2003 ; Arimi *et al.*, 2005 ; Adamou, 2008).

6.1.3. Les habitudes alimentaires

Les habitudes alimentaires à risque les plus citées dans la littérature sont la manipulation et la consommation de produits laitiers non pasteurisés ou de produits alimentaires souillés lors de la transformation, du transport ou de la commercialisation (Godfroid *et al.*, 2003 ; Bonfoh *et al.*, 2003 ; Fernando *et al.*, 2003, Traoré *et al.*, 2004 ; Arimi *et al.*, 2005 ; Kang'Ethe *et al.*, 2007 ; Saegerman *et al.*, 2010). Certaines pratiques comme le partage de la nourriture dans les sociétés traditionnelles africaines et nomades sont à la base de l'infection de familles ou de tribus entières par les *Brucella* (Schelling *et al.*, 2003 ; OMS, 2006).

D'autres types de risque qui ne sont pas encore courants en ASS mais pourraient le devenir, sont, entre autres, les risques en fonction de l'âge et du sexe. On a, par exemple, observé que des femmes et des

enfants nomades qui s'occupent de petits ruminants, notamment les chèvres, étaient les plus infectés par *B. melitensis* (Schelling *et al.*, 2004 ; Musa *et al.*, 2008 ; Bonfoh *et al.*, 2012).

6.2. Prévalence de la brucellose humaine en Afrique subsaharienne

L'OMS estime à 500.000 le nombre de nouveaux cas annuels dans le monde (OMS, 2004). En 2007 (OIE, 2007), 11 cas de brucellose humaine ont été déclarés en ASS (**Figure 1**). Bien que la brucellose humaine ait été relativement peu étudiée en Afrique subsaharienne, l'OMS (2006), considère que plus qu'ailleurs, cette maladie représente une cause importante de morbidité, d'incapacité de travail et de réduction d'activité dans cette partie du monde. Cependant, très peu est connu concernant la prévalence humaine de cette maladie en ASS (Pappas *et al.*, 2006). De manière générale, la brucellose humaine est sous-diagnostiquée en ASS, sans doute en raison de son tableau clinique qui peut être confondu à celui d'autres maladies fébriles notamment la fièvre typhique, la fièvre paratyphique et le paludisme (Angba *et al.*, 1987 ; Pappas *et al.*, 2006 ; Godfroid *et al.*, 2012). Tout comme chez les animaux, la maladie a été diagnostiquée chez l'homme dans presque tous les endroits où des enquêtes ont été effectuées. Les travaux de Gidel et collaborateurs (1974), en Côte d'Ivoire, au Niger et au Burkina ont trouvé dans les zones pastorales des taux de séroprévalences variant de 1% à 17% chez les humains. Selon les mêmes auteurs, la maladie affecte surtout les bergers et leurs familles et les réactions allergologiques positives sont plus fréquentes chez l'homme que chez la femme et chez l'adulte que chez l'enfant. Dans la région de Tanga en Tanzanie, Swai et Schoonman (2009) ont trouvé une prévalence globale de 5,52% chez différentes catégories de travailleurs.

Dans les milieux urbains et périurbains d'ASS, Mutanda (1998), a rapporté une prévalence de 13,3% chez des patients présentant des symptômes fébriles à l'hôpital de Kampala en Ouganda. De même, Chantal et collaborateurs (1996), ont trouvé un taux de prévalence de 6,5% chez le personnel de l'abattoir de Djibouti. El-Anasry et collaborateurs (2001) ont rapporté une séroprévalence plus faible (1%) en Erythrée dans les groupes à risque (bouchers, agents de l'abattoir, des laiteries, bouviers). Dans la ville de Niamey, les examens sérologiques portant sur 1.193 personnes ont donné un taux de prévalence de 0,5%, mais il y a déjà trente-cinq ans (Gidel *et al.*, 1974).

7. Conclusion

La littérature disponible sur la brucellose en ASS au cours de ces dernières décennies montre que la maladie y est présente aussi bien chez les animaux que chez l'humain. Cependant, ces données ne permettent pas de déterminer avec précision la distribution de cette maladie, ni en fonction des zones géographiques ni en fonction de type de système d'élevage. Comme l'ont rapporté Mangen et collaborateurs (2002), on constate qu'environ un tiers des données disponibles dans la littérature sont inutilisables notamment en raison d'un manque de précision, d'une faible représentativité des

échantillons testés ou de l'inadéquation entre les résultats et les objectifs des études tels que décrits dans les différents protocoles de recherche. De plus, peu de travaux ont porté sur la détermination de la prévalence réelle de la maladie, sur l'isolement et la caractérisation des souches de *Brucella* circulantes en ASS.

Plusieurs études ont mis en évidence l'existence des facteurs de risque de transmission de la brucellose entre les animaux d'une part et entre l'animal et l'homme d'autre part. Ces risques sont d'ordres environnementaux ou liés aux pratiques d'élevage, aux habitudes alimentaires, aux comportements sociaux des individus, à l'état physiologique des animaux et aux caractéristiques spécifiques de l'agent infectieux. Bien que dans la plus part des cas, il n'a pas été démontré de liens directs entre les différents facteurs de risque et la présence de l'agent infectieux, les différentes études montrent qu'à l'évidence ces facteurs contribuent de manière significative à l'augmentation de la prévalence de la maladie dans les contrées où ils ont été identifiés.

En définitive, on ne dispose que de très peu d'informations précises sur l'importance de la brucellose en ASS. Il est également à noter qu'à l'heure actuelle, il n'existe pas de programme de contrôle officiel et coordonné de la brucellose dans la plupart des pays africains (OIE, 2007). De même, le rôle joué par la maladie dans la limitation de la production animale, son impact économique sur les filières de l'élevage ainsi ses effets sur la morbidité et le manque à gagner (DALY) engendrés au niveau humain n'ont pas encore été évalués en ASS.

Pour un meilleur contrôle de la maladie, des mesures incluant des programmes de vaccination sélective dans les troupeaux ayant un taux prévalence élevée combinés à l'abattage des animaux infectés connus (principe du dépistage/abattage) dans les troupeaux à faible taux d'infection doivent être envisagées (Saegerman *et al.*, 2008). De même, comme souligné par Godfroid et collaborateurs (2012), un contrôle efficace de la brucellose dans le contexte de l'ASS nécessite la mise en œuvre d'une approche intégrée qui tient compte des relations complexes existantes entre les humains, les animaux et l'environnement au sein des différents systèmes de production. La mise en place d'un cadre multisectoriel impliquant les médecins, les vétérinaires et toutes les parties prenantes œuvrant dans la santé publique et animale dans le contexte d'une approche «One Health» est recommandée.

Remerciements

Les auteurs remercient la Direction Générale du Développement belge (DGD) pour le financement de cette étude à travers l'Accord-Cadre DGD-Institut de Médecine Tropicale Anvers. Ils remercient également l'Université de Liège pour l'encadrement prodigué.

Références bibliographiques

- ACHA P., SZYFRES B. Zoonoses et maladies transmissibles à l'homme et aux animaux. 3ème édition, OIE, 2005, 693 p.
- ADAMOU H. H. Etude épidémiologique de la brucellose dans les élevages laitiers urbains et périurbains de Niamey, Niger (Thèse de doctorat en Médecine vétérinaire). Ecole Inter-états des Sciences et de Médecine Vétérinaire, Dakar, 2008, 164 p.
- ADESIYUN A.A., ONI O.O. Sero-prevalence of *Brucella abortus* agglutinins in abattoir workers and animals from three Nigerian cities. *Bull. Anim. Hlth. Prod. Afr.*, 1990, **38**, 203-204.
- AFSSA (Agence Française de Sécurité Sanitaire des Aliments). *Brucella* spp. Fiche technique, 2006, 4pp.
- AGAB H. Clinical signs of animal brucellosis in Eastern Sudan. *Rev. Elev. Méd. vét. Pays trop.*, 1997, **50**, 97-98,
- AHMADU B., SIKAZWE M.S., SAKALA R., PANDEY G.S. Seroprevalence of bovine brucellosis in cattle at Lusaka abattoirs. *Anim. Hlth. Prod. Afr.*, 1999, **41**, 119-121.
- AKAKPO A.J., BORNAREL P. Epidémiologie des brucelloses animales en Afrique tropicale: Enquête clinique, sérologique et bactériologique. *Rev. Sci. Techn. Off. Int. Epiz.*, 1987, **6**, 981–1027.
- AKAKPO A.J. Brucelloses animales en Afrique tropicale. Particularités épidémiologique, clinique et bactériologique. *Rev. Elev. Méd. vét. Pays trop.*, 1987, **40**, 307-320.
- AKAKPO A.J., BORNAREL P., D'ALMEIDA J.F. Epidémiologie de la brucellose bovine en Afrique tropicale 1: Enquête sérologique en République populaire de Bénin. *Rev. Elev. Méd. vét. Pays trop.*, 1984, **37**, 133-137.
- AKAKPO A.J., SALEY M., BORNAREL P., SARRADIN P. Epidémiologie de la brucellose bovine en Afrique tropicale II: Analyse sérologique et identification des deux premières souches de *Brucella abortus* biotype 3 au Niger. *Rev. Elev. Méd. vét. Pays trop.*, 1986, **39**, 175-179.
- ANDREANI E., PROSPERI S., SALIM A.H., ARUSH A.M. Serological and bacteriological investigation on brucellosis in domestic ruminants of Somali Democratic Republic. *Rev. Elev. Méd. vét. Pays trop.*, 1982, **35**, 329-333.
- ANGBA A., TRAORE A., FRITZ P. Situation de la brucellose animale en Côte d'Ivoire. *Revue Elev. Méd. vét. Pays trop.*, 1987, **40**, 325-329.
- AGUNLOYE C.A., ESURUOSO G.O., AGOJI I., OGUNDIPE G.AT., AGBEDE S.A., OYELKOLE O.D. & EZEUGWU R.U. Bovine brucellosis surveillance in 2 N'Damara breeding herds in Nigeria. *Bull. Anim. Hlth. Prod. Afr.*, 1988, **36**, 63-68.
- ARIMI S.M., KOROTI E., KANG'ETHE E.K., OMORE A.O., MCDERMOTT J.J. Risk of infection with *Brucella abortus* and *Escherichia coli* O157:H7 associated with marketing of unpasteurized milk in Kenya. *Acta Tropica*, 2005, **96**, 1-8.
- ASHENAFI F., TESHALE S., EJETA G., FIKRU R., LAIKEMARIAM Y. Distribution of brucellosis among small ruminants in the pastoral region of Afar, eastern Ethiopia. *Rev. sci. tech. Off. int. Epiz.* 2007, **26**, 731-739.
- BANKOLE, A.A., SAEGERMAN, C., BERKVEN, D., FRETIN, D., GEERTS, S., IEVEN, G., WALRAVENS, K. Phenotypic and genotypic characterisation of *Brucella* strains isolated from cattle in the Gambia. *Veterinary Record*, 2010, **166**: 753–756.

- BAYEMI P. H., WEBB E. C., NSONGKA M. V., UNGER H., NJAKOI H. Prevalence of *Brucella abortus* antibodies in serum of Holstein cattle in Cameroon. *Trop Anim Health Prod.*, 2009, **41**, 141–144.
- BEDARD B., MARTIN S., CHINOMBO D. A prevalence study of bovine tuberculosis and brucellosis in Malawi. *Prev. Vet. Med.*, 1993, **16**, 193–205.
- BENGIS R.G., KOCK R.A., FISCHER J. Infectious animal diseases: the wildlife/livestock interface. *Rev Sci Tech.* 2002, **21**:53-65.
- BEKELE T., KASALI O.B., MUKASA-MUGERWA E., SCHOLTENS R.G., YIGZAW T. The prevalence of brucellosis in indigenous cattle in central Ethiopia. *Bull. Anim. Hlth. Prod. Afr.*, 1989, **37**, 97-98
- BLANCOU B., CHOMEL B., BELOTTO A, MELSEN F.X. Emerging or re-merging bacterial zoonoses: factors of emergence, surveillance and control. *Vet. Res.*, 2005 **36**, 507-522.
- BLOCH, N., DIALLO, I. Enquête sérologique et allergologique sur les bovins du Niger. *Rev. Elev. Méd. Vet. Pays Trop.*, 1991, **44**, 117–122.
- BONFOH B., FANE A., STEINMAN P., HETZEL M., TRAORE A.N., TRAORE M., SIMBE C.F., ALFAROUKH I.O., NICOLET J., AKAKPO J.A., ZINSSTAG J. Qualité microbiologique du lait et produits laitiers vendus au Mali et leur implication sur la santé publique. *Etudes et recherches sahéliennes*, 2003, **8**, 19-27.
- BOUKARY A.R., CHAÏBOU M., MARICHATOU H., VIAS G. Caractérisation des systèmes de production laitière et analyse des stratégies de valorisation du lait en milieu rural et périurbain au Niger : cas de la communauté urbaine de Niamey et de la commune rurale de Filingué. *Revue Elev. Méd. vét. Pays trop.*, 2007, **60**, 113-120.
- BOUKARY AR, SAEGERMAN C, RIGOUTS L, MATTHYS F, BERKVENS D, THYS E. Preliminary results of the study on zoonotic brucellosis and tuberculosis in Niamey. In: Globalization of Tropical Animal Diseases and Public Health Concerns; proceedings of 13th AITVM 2010 International Conference, 23-26 August 2010, Bangkok, Thailand. [Bangkok]: [Chulalongkorn University; Utrecht: Association of Institutions for Tropical Veterinary Medicine (AITVM)]; 2010. p. 22-24.
- BOUKARY AR, SAEGERMAN C, ABITHH E., FRETIN D., Alambédji Bada R., De Deken R., Harouna A.H., Yenikoye A., Thys E. Seroprevalence and potential risk factors for *Brucella abortus* biovar 3 infection in traditional cattle, sheep and goats reared in urban, periurban and rural areas of Niger. Submitted.
- BOURRET. La fièvre méditerranéenne en AOF. *Bull. Soc. Path. exot.*, 1910, **3**, 490-499.
- BREW S.D., PERRETT L.L., STACK J.A., MACMILLAN A.P., STAUNTON N.J. Human exposure to *Brucella* recovered from a sea mammal. *Vet. Rec.*, 1999, **144**, 483.
- BULA M., NDUMBI M.W., BANZA M. Dépistage de la brucellose bovine dans le Sud-Est du Zaïre par l'épreuve de fixation du complément. *Rev. Sci. Tech. int. Epiz.* 1987, **6**, 1037-1042.
- CAMUS M. Incidence clinique de la brucellose bovine dans le Nord de la Côte d'Ivoire. *Rev. Elev. Méd. vét. Pays trop.*, 1980, **33**, 263-269.
- CHANTAL J., THOMAS J. F. Etude sérologique sur la brucellose bovine aux abattoirs de Dakar. *Rev. Elev. Méd. vét. Pays trop.*, 1976, **29**, 101-108.
- CHANTAL J., BESSIERE M.H., LE GUENNO B., MAGNAVAL J.F., DORCHIES P. Serologic screening of certain zoonoses in the abattoir personnel in Djibouti. *Bull. Soc. Pathol. Exot.*, 1996, **89**, 353-357.
- CHARTERS A.D. Brucellosis. *Australian Family Physician*, 1980, **9**, 707-712.
- CHIMANA H.M., MUMA J.B., SAMUI K.L., HANGOMBE B.M., MUNYEME M., MATOPE G., PHIRI A.M., GODFROID J., SKJERVE E., TRYLAND M. A comparative study of

- seroprevalence of brucellosis in commercial and small-scale mixed dairy-beef cattle enterprises of Lusaka province and Chibombo district, Zambia. *Trop. Anim. Health Prod.*, 2010, doi : 10.1007/s11250-010-9604-4
- CLOECKAERT A., VERGER J.M., CRAYON M. *et al.*. Classification of *Brucella* spp. Isolated from marine mammals: polymorphism at the *omp2* locus. *Microbes Infect*, 2001, **3**: 729-738.
- COULIBALY N.D., YAMEOGO K.R. Prevalence and control of zoonotic diseases: collaboration between public health and veterinarians in Burkina Faso. *Acta trop.*, 2000, **76**, 53-57.
- DELAFOSSÉ A., GOUTARD F., THEBAUD E. Epidémiologie de la tuberculose et de la brucellose des bovins en zone périurbaine d'Abéché, Tchad. *Revue Elev. Méd. vét. Pays trop.*, 2002, **55**, 5-13.
- DEAN A.S., CRUMP L, GRETER H., SCHELLING E., ZINSSTAG J. Global Burden of Human Brucellosis: A Systematic Review of Disease Frequency. *PLoS Negl*, 2012
- DIALLO M.B. Résultats d'enquête sur la brucellose en Guinée. *Tropicultura*, 1994, **12** : 48-49.
- DOMENECH J., LEFÈVRE P. Enquête sérologique sur la péripneumonie et la brucellose bovine en Éthiopie. *Rev. Elev. Méd. vét. Pays trop.*, 1974, **27**, 397-402.
- DOMENECH J., CORBEL M., THOMAS E., LUCET P. La brucellose bovine en Afrique centrale: VI. Identification et typage des souches isolées au Tchad et au Cameroun. *Rev. Elev. Méd. vét. Pays trop.*, 1983, **36**, 19-25.
- DOMENECH J., COULOMB J., LUCET P. La brucellose bovine en Afrique centrale. IV. Evaluation de son incidence économique et calcul du coût-bénéfice des opérations d'assainissement. *Rev. Elev. Méd. vét. Pays trop.*, 1982, **35**, 113-124.
- DOMENECH J., LUCET P., GRILLET C. La brucellose bovine en Afrique centrale. I. Méthodes d'enquêtes utilisables en milieu tropical. *Revue Elev. Méd. vét. Pays trop.*, 1980, **33**, 271-276.
- DOMENECH J., LUCET P., VALLAT B., STEWART C., BONNET J., HENTIC A. La brucellose bovine en Afrique centrale. III. Résultats statistiques des enquêtes menées au Tchad et au Cameroun. *Revue Elev. Méd. vét. Pays trop.*, 1982, **35**, 15-22.
- DOMINGO A.M. Current status of some zoonoses in Togo. *Acta Trop.*, 2000, **76**, 65-69.
- DOUTRE M. P., FENSTERBANK R., SAGNA F. Étude de la brucellose bovine dans un village de Basse-Casamance (Sénégal) 1. - Diagnostic sérologique et bactériologique *Revue Elev. Méd. vét. Pays trop.*, 1977, **30**, 345-351.
- EL-ANASRY E.H., MOHAMMED B.A., HAMAD A.R., KAROM A.G. Brucellosis among animals human contacts in eastern Sudan. *Saudi Med. J.*, 2001, **22**, 577-579.
- FALADE S., NXUFOH J.K., NMEZI L.Y. Brucellosis in investigation in selected herds in Oyo state, Nigeria. *Bull. Anim. Hlth. Prod. Afr.*, 1981, **29**, 197-201.
- FAYE B., CASTEL V., LESNOFF M., RUTABINDA D., DHALWA J. Tuberculosis and brucellosis prevalence survey on dairy cattle in Mbarara milk basin (Uganda). *Prev. vet. Med.*, 2005, **67**, 267-281.
- FERNANDO C.L., ELIAS F.R., ELENA M.V. Brucellose ovine et caprine. In: Lefèvre P. Blancou J. et Chermette R. (Eds). Principales maladies infectieuses et parasitaires du bétail. Editions Médicales Internationales, Paris, 2003, 891-904.
- GALL D., NIELSEN K. Serological diagnosis of bovine brucellosis: a review of test performance and cost comparison. *Revue sci. tech. Off. int. Epizoot.*, 2004, **23**, 989-1002.
- GAVAZZI G., PRIGENT D., BAUDET J., BANOITA S., DAOUD W. Aspects épidémiologiques de 42 cas de brucellose humaine en République de Djibouti. *Revue Médecine tropicale*, 1997, **57**, 365-368.

- GIDEL R., ALBERT J., LE MAO G., RETIF M. La brucellose en Afrique occidentale et son incidence sur la santé publique. Résultats de dix enquêtes épidémiologiques effectuées en Côte d'Ivoire, Haute-Volta et Niger, de 1970 à 1973. *Rev. Elev. Méd. vét. Pays trop.*, 1974, **2**, 403-418.
- GHIROTTI, M., G. SEMPRONI, D. DE MENEGHI, F. N. MUNGABA, D. NANNINI, G. CALZETTA, AND G. PAGANICO.. *Sero-prevalences of selected cattle diseases in the Kafue flats of Zambia. Veterinary Research Communication*, 1991, **15**: 25–36
- GODFROID J., AL-MARIRI A., WALRAVENS K., LETESSON J.J. Brucellose bovine. In: Lefèvre P., Blancou J. et Chermette R. (Eds). Principales maladies infectieuses et parasitaires du bétail. Editions Médicales Internationales, Paris, 2003, 869-889.
- GODFROID J., CLOECKAERT A., LIAUTARD JP., KOHLER S., FRETIN D., WALRAVENS K., GARIN-BASTUJ B., LETESSON JJ. From the discovery of the Malta fever's agent to the discovery of a marine mammal reservoir, brucellosis has continuously been a re-emerging zoonosis. *Vet. Res.*, 2005, **36**, 313–326.
- GODFROID J., AL DAHOUK S., PAPPASE G., ROTHF F., MATOPEG G., MUMAH J., MARCOTTY T., PFEIFFER D., SKJERVEK E. A “One Health” surveillance and control of brucellosis in developing countries: Moving away from improvisation. *Comp Immunol Microbiol Infect Dis*, 2012, <http://dx.doi.org/10.1016/j.cimid.2012.09.001>
- HALLING S. M., YOUNG E. J. Brucella. In : Hui Y. H., Gorham J. R., Murrell K. D., Cliver D. O. (Eds). Foodborne Disease Handbook – Disease caused by bacteria. Marcel Dekker, INC, New York, 1994, 63-69.
- HELLMANN E., STAAK C., BAUMANN M. Bovine brucellosis among two different cattle population in Bahr el Ghazal Province of Southern Sudan. *Topenmed. Parasit.*, 1984, **35**, 123-126.
- HUSSEIN A.S., SINGHI S.S., HAJI H. A survey of brucellosis in the Southern parts of Somalia Democratic Republic. *Bull. Anim. Hlth. Prod. Afr.*, 1978, **26**, 150-153.
- IBRAHIM N., BELIHU K., LOBAGO F., BEKENA M. Sero-prevalence of bovine brucellosis and risk factors in Jimma zone of Oromia Region, South-western Ethiopia. *Trop. Anim. Health Prod.* 2010, **42**, 35-40.
- ISHOLA O., AYANWALE F., OGUNDIPE G., ADEYEMI I. Seroprevalence of bovine brucellosis in trade cattle slaughtered in Ibadan. *Epidémiol. Santé anim.*, 1997. **31-32**, 02.A.24.
- JIWA S.F.H, KAZWALA R. R., TUNGARAZA R., KIMERA S.I., KALAYE W.J. Bovine brucellosis serum agglutination test prevalence and breed disposition according to prevalent management systems in the Lake Victoria zone of Tanzania. *Prev. Vet. Med.*, 1996, **26**, 341-346.
- JOHN K., FITZPATRICK J., FRENCH N., KAZWALA R., KAMBARAGE D., MFINANGA S.G., MACMILLAN. A., CLEAVELAND S. Quantifying Risk Factors for Human Brucellosis in Rural Northern Tanzania. *PLoS ONE*, 2010, 5(4): e9968. doi:10.1371/journal.pone.0009968
- KABAGAMBE E.K., ELZER P.H., GERAGHAN J.P., SCHOLL D.T. Risk factors for *Brucella* seropositivity in goat herds in eastern and western Uganda. *Prev. Vet. Med.*, 2001, **52**, 91-108.
- KADOHIRA M., MCDERMOTT J.J., SHOUKRI M.M., THORBURN M.A. Assessing infections at multiple levels of aggregation. *Prev. Vet. Med.*, 1996, **29**, 161-177.
- KADOHIRA M., MCDERMOTT J.J., SHOUKRI M.M., KYULE M.N. Variations in the prevalence of antibody to *brucella* infection in cattle by farm, area and district in Kenya. *Epidemiol. Infect.*, 1997, **118**, 35-41.
- KAGUMBA M., NANDOKHA E. A survey of the prevalence of bovine brucellosis in East Africa. *Bull. Anim. Hlth. Prod. Afr.*, 1978, **26**, 224-229.
- KANG'ETHE E.K., EKUTTAN C.E., KIMANI V.N., KIRAGU M.W. Investigations into the prevalence of bovine brucellosis and the risk factors that predispose humans to infection among

- urban dairy and non-dairy farming households in Dagoretti division, Nairobi, Kenya. *East African Medical Journal*, 2007, **84**, 96-99.
- KOFFI-TESSIO E.M. Elevage périurbain et pauvreté au Togo. In : Ahmadou Aly Mbaye, David Roland-Holst, Joachim Otte (Eds), Agriculture, élevage et pauvreté en Afrique de l'Ouest. CREA-FAO, Rome, 2007, 51-70.
- KONTE M. Des incidences d'une zoonose majeure infectieuse en zone d'enzootie : la brucellose bovine en moyenne Casamance (Thèse de doctorat en Médecine vétérinaire). Ecole Inter-états des Sciences et de Médecine Vétérinaire : Dakar, 1981, 124 p.
- KONTE M., MANKOR A., AKAKPO J. Systèmes d'épidémiologie de la brucellose, de la chlamydie et de la fièvre Q chez les bovins pour le Sénégal. In : AEEMA (Ed.), Proceedings of the 8th congress of international society of veterinary epidemiology and economics. Paris 8-11 July 1997, 1997.
- KOUAMO J., HABIMANA S., ALAMBEDI BADA R., SAWADOGO G.J., OUEDRAOGO G.A. Séroprévalences de la brucellose, de la BVD et de l'IBR et impact sur la reproduction des femelles zébus Gobra et croisements inséminées en milieu traditionnel dans la région de Thiès au Sénégal *Revue Méd. Vét.*, 2010, 161, 7, 314-321
- KUBAFOR D.K., AWUMBILA B., AKANMORI B.D. Seroprevalence of brucellosis in cattle and humans in the Akwapim-South district of Ghana : public health implications. *Acta trop.*, 2000, **76**, 45-48.
- LEFEVRE M., SIROLS J., MAURICE X., MONTEL J.C. Contribution à l'étude de la brucellose humaine et animale au Tchad. Isolement de 10 souches humaines sur 12 cas cliniques. Etude d'un foyer de brucellose caprine. *Méd. trop.*, 1970, **30**, 477-488.
- LEFEVRE P. Atlas des maladies infectieuses des ruminants. Maisons-Alfort, France, Cirad-Iemvt, 1991, 95 p.
- LE FLECHE P, JACQUES I, GRAYON M, DAHOUK SA, BOUCHON P, DENOEUDE F, NÖCKLER K, NEUBAUER H, GUILLOTEAU LA, VERGNAUD G. Evaluation and selection of tandem repeat loci for a Brucella MLVA typing assay. *BMC Microbiol.* 2006, **6**: 9.
- LESAFFRE E., SPEYBROECK N., BERKVENS D. Bayes and diagnostic testing. *Veterinary Parasitology*, 2007, **148**, 58-61.
- LHOSTE P. Le diagnostic sur le système d'élevage. *Les Cahiers de la Recherche-Développement*, 1984, no 3-4.
- LY C. Santé animale et pauvreté en Afrique. In : Ahmadou Aly Mbaye, David Roland-Holst, Joachim Otte (Eds), Agriculture, élevage et pauvreté en Afrique de l'Ouest. CREA-FAO, Rome, 2007, 71-85.
- MacMILLAN A. Conventional serological test. Animal brucellosis. In: Nielsen K., Duncan J.R (Eds). CRC Press, Boca Raton, 1990, 153-197.
- MAGONA J.W., WALUBENGO J., GALIWANGO T., ETOORI A. Seroprevalence and potential risk of bovine brucellosis in zoograzing and pastoral dairy systems in Uganda. *Trop. Anim. Health Prod.*, 2009, **41**, 1765-1771.
- MAHALU E.A. Further brucellosis survey in Tanzania. *Bull. Epizoot. Dis. Afr.*, 1967, **15**, 373-378.
- MAIGA S. TRAORE M.D., NIANG M., TOURE I. Enquête sero-épidémiologique sur la brucellose bovine dans la ceinture laitière de Bamako, Mali. In : Zessin, K. H. (Ed.), Livestock Production and Diseases in the tropics – Livestock production and human welfare – Proceedings of the 8th International Conference of Institutions of Tropical Veterinary Medicine held from the 25 to 29 September, 1995: Berlin, 1995, 289-292.

- MAKITA K., FÈVRE E.M., WAISWA C., KABOYO W., BRONSVOORT B.M.D.C., EISLER M.C., WELBURN S.C. Human Brucellosis in Urban and Peri-Urban Areas of Kampala, Uganda. *Animal Biodiversity and Emerging Diseases*, 2008, **1149**: 309-311.
- MAKITA K., FÈVRE M.E., WAISWA C., EISLER M., THRUSFIELD M., WELBURN S. Herd prevalence of bovine brucellosis and analysis of risk factors in cattle in urban and peri-urban areas of the Kampala economic zone, Uganda. *BMC Veterinary Research*, 2011, **7**: 60.
- MANGEN M.J., OTTE J., PFEIFFER D., CHILONDA P. Bovine brucellosis in Sub-saharan Africa: Estimation of ser-prevalence and impact on meat and milk offtake potential. FAO : Rome, 2002, 58 p.
- MANLEY F.H. *Brucella suis* (bio-type1) isolated from a goat in Rhodesia. *Rhod. J. Agric. Res.*, 1968, **6**, 55.
- MARCOTTY T., MATTHYS F. , GODFROID J., RIGOUTS L., AMENI G., GEY VAN PITTIUS N., KAZWALA R., MUMA J., VAN HELDEN P., WALRAVENS K., DE KLERK L. M., GEOGHEGAN C., MBOTHA D., OTTE M., AMENU K., ABU SAMRA N., BOTHA C., EKRON M., JENKINS A., JORI F., KRIEK N., MCCRINDLE C., MICHEL A., MORAR D., ROGER F., THYS E., VAN DEN BOSSCHE P. Zoonotic tuberculosis and brucellosis in Africa: neglected zoonoses or minor public-health issues? The outcomes of a multi-disciplinary workshop. *Annals of Tropical Medicine & Parasitology*, 2009, **103**, 401–411.
- MARICHATOU H., KORE H., MOTCHO H.K., VIAS G. 2005. Synthèse bibliographique sur les filières laitières au Niger. p.40 [en ligne] (sans date) Adresse URL:http://www.repol.info/IMG/pdf/Synthese_biblio_du_Niger.pdf, consulté 25/12/2008.
- MATOPE G., BHEBHE E., MUMA J.B., SKJERVE E., DJØNNE B. Characterization of some *Brucella* species from Zimbabwe by biochemical profiling and AMOS-PCR. *BMC Research Notes*, 2009, **2**:261 doi:10.1186/1756-0500-2-261
- MATOPE G., BHEBHE E., MUMA J.B., LUND A., SKJERVE E. Herd-level factors for *Brucella* seropositivity in cattle reared in smallholder dairy farms of Zimbabwe. *Preventive Veterinary Medicine*, 2010, **94**, 213-221.
- McDERMOTT J.J., DENG K.A., JAYATILEKA T.N., EL JACK M.A. A cross-sectional disease study in Kongor rural Council, southern Sudan. I. Prevalence estimates and age, sex and breed association for brucellosis and contagious bovine pleuropneumonia. *Prev. Vet. Med.*, 1987, **5**, 111-123.
- McDERMOTT J.J., ARIMI S.M. Brucellosis in sub-Saharan Africa: epidemiology, control and impact. *Vet. Microbiol.*, 2002, **90**, 111–134.
- MERKER M., SCHLICHTING.H. Note sur la brucellose au Burundi. *Rev. Elev. Méd. vét. Pays trop.*, 1984, **37**, 138-144.
- MERLE F. Apparition de la fièvre de Malte au Niger. *Bull. Soc. Path. Exot.* 1953, **46**, 211-214.
- MESNER O., RIESENBERG K., BILIAR N., BORSTEIN E., BOUHNİK L., PELED N., YAGUPSKY P. The Many Faces of Human-to-Human Transmission of Brucellosis: Congenital Infection and Outbreak of Nosocomial Disease Related to an Unrecognized Clinical Case. *CID*, 2007, **45**: e135
- MIKOLON A.B., GARDNER I.A., HIETALA S.K., HERNANDEZ DE ANDA J., PESTANA E.C., HENNAGER S.G., EDMONDSON A.J. Evaluation of North American antibody detection tests for diagnosis of brucellosis in goats. *J. clin. Microbiol.*, 1998, **36**, 1716-1722.
- MUENDO E.N., MBATHA P.M., MACHARIA J., ABDOEL T.H., JANSZEN P.V., PASTOOR R., SMITS H.L. Infection of cattle in Kenya with *Brucella abortus* biovar 3 and *Brucella melitensis* biovar 1 genotypes. *Trop Anim Health Prod.* 2012,**44**,17-20.
- MUTANDA L.N. Selected laboratory tests in febrile patients in Kampala, Uganda. *East Afr. Med. J.* 1998, **75**, 68-72.

- MSANGA J.F., MUKANGI D.J.A., TUNGARAZA R. Bovine brucellosis in the Lake zone of Tanzania – The present situation. *Bull. Anim. Hlth. Prod. Afr.*, 1986, **34**, 230-234.
- MUMA J.B., SAMUI K.L., SIAMUDAALA V.M., OLAYA J., MATOPE G., OMER M.K., MUNYEME M., MUBITA C., SKJERVE E. Prevalence of antibodies to *Brucella* spp. And sheep reared in livestock-wildlife interface areas of Zambia. *Trop. Anim Health Prod.* 2006, **38**, 195-206.
- MUMA J., GODFROID J., SAMUI K., SKJERVE E. The role of *Brucella* infection in abortions among traditional cattle reared in proximity to wildlife on the Kafue flats of Zambia. *Rev. sci. tech. Off. int. Epiz.*, 2007a, **26**, 721-730.
- MUMA J., SAMUI K., OLOYA J., MUNYEME M., SKJERVE E. Risk factors for brucellosis in indigenous cattle reared in livestock-wildlife interface areas of Zambia. *Preventive Veterinary Medicine*, 2007b, **80**, 306-317.
- MUMA J.B, LUND A., NIELSEN K., MATOPE G., MUNYEME M., MWACALIMBA K., SKJERVE E. Effectiveness of Rose Bengal test and fluorescence polarization assay in the diagnosis of *Brucella* spp. infections in free range cattle reared in endemic areas in Zambia. *Trop Anim Health Prod*, 2009, **41**, 723-729.
- MUMA JB, LUND A, SIAMUDAALA VM, MUNANG'ANDU HM, MUNYEME M, MATOPE G, NIELSEN K, DJØNNE B, GODFROID J, TRYLAND M, SKJERVE E. Serosurvey of *Brucella* spp. infection in the Kafue lechwe (*Kobus leche kafuensis*) of the Kafue flats in Zambia. *J Wildl Dis.* 2010, **46**: 1063-9.
- MUSA M.T., SHIGIDI M.T.A. Brucellosis in Camels in Intensive Animal Breeding Areas of Sudan. Implications in Abortion and Early-Life Infections. *Revue Élev. Méd. vét. Pays trop.*, 2001, **54**, 11-15.
- MUSA M.T., EISA M.Z.M., EL SANOUSI E.M., WAHAB M.B.A., PERRETT L. Brucellosis in camels (*Camelus dromedarius*) in Darfur, Western Sudan. *Journal of Comparative Pathology*, 2008, **138**: 151–155.
- NDARATHI C.M., WAGHELA S. Brucellosis in Masai livestock in Kajiado district in Kenya. *Indian Journal of Animal Sciences*, 1991, **62**, 156-157.
- NEWTON F.J, JONES E., CONNOR R.J., DAVIDSON B.J., MCGOVERN P.T. A survey of bovine brucellosis in four districts of Uganda. *Br vet. J.*, 1974, **130**, 249-254.
- NICOLETTI, P. The epidemiology of bovine brucellosis. *Advances of Veterinary Science and Comparative Medicine*, 1980, **24**: 69–98.
- NIELSEN K. Diagnosis of brucellosis by serology. *Vet. Microbiol.*, 2002, **90**, 447-459.
- NAKOUNÉ E., DEBAERE O., KOUMANDA-KOTOGNE B., SELEKON B., SAMORY F., TALARMIN A. Serological surveillance of brucellosis and Q fever in cattle in the Central African Republic. *Acta Tropica*, 2004, **92**, 147-151.
- NGOY J.J., KIAFUKA D. Etat sanitaire du bétail dans un ranch bovin en République Populaire de Congo (Ranch de Louila). *Bull. Anim. Hlth. Prod. Afr.*, 1989, **37**, 333-336.
- OCHOLI R.A., EZEOKOLI C.D., AKEREJOLA O.O., SAROR D.I. Use of enzyme-linked immunosorbent assay for screening cattle for brucella antibodies in Nigeria. *Vet. Q.*, 1996, **18**, 22-25.
- OCHOLI R.A., KWAGAB J.K.P, I. AJOGIC, J.O.O. Baled. Phenotypic characterization of *Brucella* strains isolated from livestock in Nigeria. *Vet. Microbiol.*, 2004, **103**: 47–53
- OCHOLI R.A., KWAGA J.K.P., AJOGI I., BALE J.O.O. Abortion due to *Brucella abortus* in sheep in Nigeria. *Rev. sci. tech. Off. int. Epiz.*, 2005, **24**, 973-979.
- OIE. Santé animale mondiale en 2007. Organisation mondiale de la santé animale (OIE), Paris, 2007. France, 619p.

- OKOH A.E.J. Abortion in sheep near Kano, Nigeria. *Trop. anim. Hlth Prod.*, 1980, **12**, 11-14.
- OLOFFS A., BAUMANN M.P.O., AFEMA J., NAKAVUMA J. Experiences with a strategy to investigate bovine brucellosis in rural area in Southwest Uganda. *Rev. Elev. Méd. vét. Pays trop.*, 1998, **51**, 101-105.
- OMS. The Development of New/Improved Brucellosis Vaccines: Report of WHO Meeting. WHO/EMC/ZDI/98.14, Geneva, Switzerland 11-12 December 1997, 1997, 48p.
- OMS/FAO/OIE. Report of the WHO/FAO/OIE joint consultation on emerging zoonotic diseases. 3–5 May 2004 – Geneva, Switzerland, 2004, 65p.
- OMS. WHO guidance (2004). 2nd edition of WHO's 1970 publication Health aspects of biological and chemical weapons, OMS, Genève, 2004, 340p.
- OMS. Brucellosis in humans and animals; World Health Organisation. WHO/CDS/EPR/2006, 2006, 86p.
- PAPPAS G., PHOTINI PAPADIMITRIOU, NIKOLAOS AKRITIDIS, LEONIDAS CHRISTOU, EPAMEINONDAS V TSIANOS. The new global map of human brucellosis. *Lancet Infect Dis* 2006; **6**: 91–99
- PILO-MORON E., PIERRE F., KOUAME J. Brucellose bovine en Côte d’Ivoire. *Epidémiologie. Revue Elev. Méd. vét. Pays trop.*, 1979, **32**, 325-333.
- REICHEL M., NEL J.R., EMSLIE R., BISHOP G.C. *Brucella melitensis* biotope 1 outbreak in goats in northern KwaZulu-Natal. *Onderstepoort J.Vet; Res.*, 1996, **63**, 183-185.
- ROTH F., ZINSSTAG J., ORKHON D., CHIMED-OCHIR G., HUTTON G., COSIVI O., CARRIN G., OTTE J. Human health benefits from livestock vaccination for brucellosis: case study. *Bull World Health Organ.* 2003, **81**: 867-76.
- ROTTCHER, D. Final report, veterinary wildlife research officer, 1975–1978. Zambia Wildlife and National Parks & German Agency for Technical Co-operation (GTZ), Lusaka, Zambia. 1978, 87 pp.
- RPCA, L'élevage au Sahel et en Afrique de l'Ouest. 26^{ème} réunion annuelle du Réseau de Prévention des Crises Alimentaires (RPCA), Accra (Ghana), 2010, 14-16
- SAEGERMAN C., DE WAELE L., GILSON D., GODFROID J., THIANG P., MICHEL P., LIMBOURG B., VO T.K.O., LIMET J., LETESSON J.J., BERKVEN. Evaluation of three serum i-ELISAs using monoclonal antibodies and protein G as peroxidase conjugate for the diagnosis of bovine brucellosis. *Vet. Microbiol.*, 2004, **100**: 91-105 .
- SAEGERMAN C., BERKVEN D., GODFROID J., WALRAVENS K., Chapter 77: Bovine brucellosis. *In: Infectious and Parasitic Disease of Livestock. Lavoisier and Commonwealth Agricultural Bureau – International* (ed.), 2010, France, 971-1001.
- SANOGO M., CISSE B., OUATTARA M., WALRAVENS K., PRAET N., BERKVEN D., THYS E. Etude de la prévalence de la brucellose bovine dans le centre de la Côte d’Ivoire. *Rev. Elev. Méd. vét. Pays trop.*, 2008, **61**, 147-151.
- SANOGO M., ABATIH E., THYS E., FRETIN D., BERKVEN D., SAEGERMAN C. Risk factors associated with brucellosis seropositivity among cattle in the central savannah-forest area of Ivory Coast. *Prev Vet Med.* 2012, **107**, 51-6.
- SACQUET E. La brucellose bovine au Tchad. *Rev. Elev. Méd. vét. Pays trop.*, 1965, **8**, 5-7.
- SCHELLING E., DIGUIMBAYE C., DAOUD S., NICOLET J., BOERLIN P., TANNER M., ZINSSTAG J. Brucellosis and Q- fever of nomadic pastoralist and their livestock in Tchad. *Prev Vet Med.*, 2003, **61**, 279-293.

- E. SCHELLING, C. DIGUIMBAYE, S. DAOUD, J. NICOLET, J. ZINSSTAG. Séroprévalences des maladies zoonotiques chez les pasteurs nomades et leurs animaux dans le Chari-Baguirmi du Tchad. *Med Trop* 2004; **64** : 474-477
- SHEY-NJILA O., DAOUDA E., NYA P.A., ZOLI K., WALRAVENS K., GODFROID J., GEERTS S. Serological Survey of Bovine Brucellosis in Cameroon. *Revue Elev. Méd. vét. Pays trop.*, 2005, **58**, 139-143.
- SMITS H. L.; CUTLER S.J. Contributions of biotechnology to the control and prevention of brucellosis in Africa. *African Journal of Biotechnology*, 2004, **3**: 631-636, December 2004
- SYLLA D., TRAP D., TOMA B. La brucellose bovine en Guinée. *Rev. Elev. Méd. vet. Pays trop.*, 1982, **35**, 319-327.
- SWAI E.S., SCHOONMAN L. Human Brucellosis: Seroprevalence and Risk Factors Related to High Risk Occupational Groups in Tanga Municipality, Tanzania. *Zoonoses Public Health*, 2009, **56**, 183–187.
- THIMM B., WUNDT W. The epidemiological situation on brucellosis in Africa. In : Dev. Biol. Standard (Ed.), Communication au Symposium de Rabat sur la brucellose, 2-3-4 juin 1975, 1976, 31.
- THYS E., SCHIERE H., VAN HUYLENBROECK G., MFOUKOU-NTSAKALA A., OUEADRAOGO M., GEERTS S. Three approaches for the integrated assessment of urban household livestock production systems: Cases from Sub-Saharan Africa. *Outlook on Agriculture*, 2006, **35**, 7–18.
- THYS E., YAHAYA M., WALRAVENS K., BAUDOUX C., BAGAYOKO I., BERKVENNS D., GEERTS S. Etude de la prévalence de la brucellose bovine en zone forestière de la Côte d'Ivoire *Revue Elev. Méd. vét. Pays trop.*, 2005, **58**, 205-209.
- TOUNKARA K., MAIGA S., TRAORE A., SECK B.M., AKAKPO J. Epidémiologie de la brucellose bovine au Mali : enquête sérologique et isolement des premières souches de *Brucella abortus*. *Rev. Sci. Tech. int. Epiz.* 1994, **13**, 777-786.
- TRAORE A., HAMIDOU H. T., BALE B., DAVID W. R., NONGASIDA Y., MOUMOUNI S. Prévalence globale des pathologies majeures liées à la production laitière bovine en système d'élevage intraurbain à Hamdallaye (Ouagadougou). *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.*, 2004, **8**, 3–8.
- TURKSON P., BOADU D. Epidemiologie of bovine brucellosis in the Coastal Savanna zone of Ghana. *Acta Tropica*, 1992, **52**, 39-43.
- UA/BIRA. Annuaire Panafricain de la santé animale, 2006. Union Africaine, Nairobi, 2006, 84 p.
- UN-HABITAT. The Challenge of Slums: Global Report on Human Settlements 2003. United nations human settlements programme (UN-HABITAT), London, 2003, 310 p.
- VERGER J.M., GRAYON M., DOUTRE M.P., SAGNA F. *Brucella abortus* d'origine bovine au Sénégal : identification et typage. *Rev. Elev. Méd. vét. Pays trop.*, 1979, **32**, 25-32.
- VERGER J.M., GRAYON M. Characteristics of 273 strains of *Brucella abortus* of African origin. *Dev Biol Stand.* 1984;56:63-71.
- WAGHELA S. La brucellose animale. *Bull. Santé Prod. anim. Afr.*, 1976, **24**, 59-66.
- WRIGHT P.F., NILSSON E., VAN ROOJI E.M.A., LELENTA M., JEGGO M.H. Standardisation and validation of enzyme-linked immunosorbent assay techniques for the detection of antibody in infectious disease diagnosis. *Rev. sci. tech. Off. int. Epiz.*, 1993, **12**, 435-450.
- YOUNG E.J. An overview of human brucellosis. *Clin. Infect. Dis.* 1995, **21**, 283–289.

Chapitre 4 : Revue de synthèse bibliographique sur tuberculose à *M. bovis*

La tuberculose à *Mycobacterium bovis* en Afrique subsaharienne

**Boukary A.R., Thys E., Mamadou S., Rigouts L., Matthys F., Vias Franck S.G.,
Gamatie D., Yenikoye A., Saegerman C.**

Article de revue bibliographique publié dans « *Annales de Médecine Vétérinaire* », 2011, **155** : 23-37

La tuberculose à *Mycobacterium bovis* en Afrique subsaharienne

BOUKARY A.R.^{1,2,9,10}, THYS E.², MAMADOU S.³, RIGOUTS L.^{4,5}, MATTHYS F.⁶, VIAS FRANCK S.G.⁷, GAMATIE D.⁸, YENIKOYE A.⁹, SAEGERMAN C.¹⁰

- 1 Département d'Appui à la Promotion de l'Élevage et Gestion des Ressources naturelles (DEPERNA), ONG Karkara, BP 2045, Niamey, Niger ;
- 2 Département de Santé animale, Institut de Médecine tropicale, Nationalestraat 155, 2000 Anvers, Belgique ;
- 3 Laboratoire national de Référence sur le Sida et la Tuberculose (LNR-VIH/TB), Faculté de Médecine, Université de Niamey, BP 10895, Niamey, Niger ;
- 4 Département de Microbiologie, Institut de Médecine tropicale, Nationalestraat 155, 2000 Anvers, Belgique ;
- 5 Département de Pharmacie et Science biomédicale et vétérinaire, Université d'Anvers, Universiteitsplein 1, 2610 Wilrijk, Belgique ;
- 6 Département de Santé publique, Institut de Médecine tropicale, Nationalestraat 155, 2000 Anvers, Belgique ;
- 7 Bureau régional de Niamey (BREN), Vétérinaires Sans Frontière Belgium, BP 12632, Niamey, Niger ;
- 8 Division de diagnostic et Enquêtes épidémiologiques, Laboratoire central de l'Élevage, BP 485, Niamey, Niger ;
- 9 Faculté d'Agronomie, Université de Niamey, BP 10895, Niamey, Niger ;
- 10 Unité de Recherche en Epidémiologie et Analyse de Risques appliquées aux Sciences vétérinaires (UREAR), Département des Maladies infectieuses et parasitaires, Faculté de Médecine vétérinaire, Université de Liège, Boulevard de Colonster 20, bât. B42, 4000 Liège, Belgique.

Correspondance : Prof. Claude Saegerman

Tél. : 32(0)4/366.45.79 ; Fax : 32(0)4/366.42.61 ; E-mail : Claude.Saegerman@ulg.ac.be

RÉSUMÉ : Bien que considérée comme une zoonose majeure (Organisation mondiale de la Santé, 2006 ; Organisation mondiale de la Santé animale, 2007), la tuberculose à *Mycobacterium bovis* est une maladie négligée, aussi bien chez l'homme que chez l'animal, en Afrique subsaharienne (ASS) où elle n'a été que très peu étudiée. La nature des souches circulantes de *M. bovis*, leur distribution géographique sont très peu connues dans cette région. L'importance épidémiologique et les conséquences économiques de la tuberculose au sein des différents systèmes de production sont aussi largement mésestimées du fait de la faible capacité de diagnostic des abattoirs et des laboratoires. Par ailleurs, la présence de nombreux facteurs de risque de transmission de la maladie et l'absence de mesures adéquates de contrôle contribuent fortement à la dissémination de la tuberculose à *M. bovis* en ASS. Les données de la littérature montrent que la maladie est largement distribuée dans les populations animales en ASS, mais avec un taux de prévalence très variable. La tuberculose bovine constitue également une sérieuse menace pour la santé humaine du fait de l'insuffisance des mesures d'hygiène comme la pasteurisation du lait, du contact étroit entre l'homme et le réservoir animal (principalement dans les élevages de types urbain et périurbain) et de l'extension de la pandémie de VIH/SIDA. L'amélioration des connaissances sur l'épidémiologie de la tuberculose à *M. bovis* est nécessaire pour la mise en place d'un programme de lutte efficace contre cette maladie en ASS. Une meilleure coordination des efforts entre les institutions de recherche et les acteurs de terrain ainsi qu'un transfert de compétence et des technologies sont recommandés.

1. INTRODUCTION

La tuberculose à *Mycobacterium bovis* est une des sept zoonoses endémiques négligées à travers le monde, en particulier dans les pays en voie de développement (Organisation

mondiale de la Santé, 2006). En Afrique, elle figure parmi les principales maladies qui entraînent des pertes économiques estimées chaque année à plusieurs dizaines de millions de dollars US (Ly, 2007). En Afrique subsaharienne (ASS), la tuberculose

(TB) affecte le développement humain en menaçant tous les moyens d'existence qui permettent de résister à la pauvreté et d'en sortir (Cosivi *et al.*, 1998). En milieu rural, la TB animale engendre un taux de morbidité accru et peut induire des mortalités

qui diminuent le capital financier de l'exploitation et augmentent les coûts de production. Cette maladie entraîne aussi, de manière indirecte, des pertes dans la productivité agricole, du fait de la diminution de la force de travail des animaux de trait et de la fumure organique.

Avec l'accentuation de la pauvreté rurale, les populations se déplacent vers les centres urbains où l'élevage prend de l'ampleur sous forme d'activité de survie pratiquée dans les villes et en périphérie avec pour corollaire des problèmes sanitaires, socio-culturels et environnementaux. En effet, les interactions parfois très complexes entre les différents systèmes d'élevages (Thys *et al.*, 2006), les habitudes alimentaires (Sidibé *et al.*, 2003 ; Boukary *et al.*, 2007), l'insuffisance relative des mesures d'assainissement, la surcharge animale et les contacts accrus entre l'homme et le réservoir animal sont autant de facteurs de risque susceptibles de favoriser l'incidence de la TB zoonotique en milieu urbain et périurbain.

La TB à *M. bovis* a été jusque-là très peu étudiée dans le contexte subsaharien et particulièrement en milieux urbain et périurbain et les données sur la prévalence de cette zoonose sont rares et éparpillées, qu'il s'agisse des formes animales ou humaine. Cet article présente un état des lieux actualisé des connaissances sur la TB à *M. bovis* en ASS en relation avec les zones géographiques d'intérêt et les différents systèmes de production.

2. HISTORIQUE ET RÉPARTITION DE LA MALADIE

La tuberculose est une maladie très ancienne et très répandue au niveau mondial (Cosivi *et al.*, 1998 ; Acha et Szyfres, 2005). Elle affecte le bétail de manière chronique et insidieuse. Récemment, des lésions tuberculeuses typiques ont été mises en évidence sur les restes d'un bison vieux de 17.000 ans (Rotschild *et al.*, 2001). Sur les momies égyptiennes datant de plus de 5.400 ans, des déformations de la colonne vertébrale indiquant le mal de Pott ont été observées. Après

séquençage des fragments d'ADN, celui-ci s'est avéré être spécifique du complexe *Mycobacterium tuberculosis* sans qu'il ait été prouvé qu'il s'agisse de *M. tuberculosis* ou de *M. bovis* (Crubézy *et al.*, 1998).

Le complexe *M. tuberculosis* est essentiellement de type clonal avec peu d'échanges de gènes. Il semblerait qu'à l'origine, les infections tuberculeuses étaient principalement dues à un bacille dénommé *Mycobacterium prototuberculosis* ancêtre probable des bacilles tuberculeux actuels (Gutierrez *et al.*, 2005). Malgré l'identification de *M. bovis* dans des échantillons humains datant d'époques préhistoriques (Guiguen, 2007), il semblerait que *M. tuberculosis* soit plus ancien que *M. bovis*. En effet, des preuves moléculaires basées sur la présence de délétion de fragments d'ADN chez *M. bovis* comparativement à *M. tuberculosis* ainsi que l'étude de profils d'empreintes génétiques confirment l'origine humaine de la maladie (Gutierrez *et al.*, 2005 ; Wirth *et al.*, 2008).

Une enquête menée en 2000 parmi 84 pays membres de l'Organisation mondiale de la Santé animale (Office International des Epizooties, OIE) indique que seuls 32 % de ces pays n'avaient jamais rapporté de cas de TB bovine (TBb) ou que celle-ci avait été éradiquée (Levingstone, 2000). Par ailleurs, dans les pays industrialisés, les programmes de contrôle et d'éradication de la TBb, ainsi que la pasteurisation du lait, ont réduit considérablement l'incidence de la maladie causée par *M. bovis* chez le bétail et chez l'homme (Vekemans *et al.*, 1999). Presque tous les pays de l'Europe de l'Ouest rapportent des taux de prévalence de TBb inférieures à 0,1 % (Acha et Szyfres, 2005). En Afrique par contre, 85 % des troupeaux et 82 % de la population humaine vivent dans des zones où la TB à *M. bovis* est rapportée (Cosivi *et al.*, 1998). Dans ces pays, les mesures de contrôle ne sont pas appliquées ou le sont sporadiquement. La pasteurisation y est également rarement pratiquée (Boukary *et al.*, 2007 ; Kang'Ethe *et al.*, 2007). De plus, la TBb justifie rarement les

mesures d'urgence requises par d'autres maladies (Cosivi *et al.*, 1998). En ASS, la TBb représente également une des principales menaces pour la faune sauvage où elle se répand rapidement en affectant une grande variété d'espèces animales (Michel *et al.*, 2006 ; 2009) créant ainsi un réservoir permanent d'infection et une sérieuse menace pour les programmes de contrôle et d'élimination de cette maladie.

3. PRINCIPALES CARACTÉRISTIQUES MICROBIOLOGIQUES

M. bovis est le principal agent causal de la TBb. Il peut également infecter d'autres animaux domestiques et sauvages (Gidel *et al.*, 1969 ; Thoen, 1994 ; Cosivi *et al.*, 1995 ; Michel *et al.*, 2006 ; 2009). Contrairement à *M. tuberculosis* dont l'implication dans les cas de TBb chez l'homme est rare (Vekemans *et al.*, 1999 ; Sulieman et Hamid, 2002 ; Elias *et al.*, 2008), *M. bovis* est fréquemment identifié comme agent causal de la TB chez l'homme (Cosivi *et al.*, 1998). Cependant son implication dans la TB humaine est largement sous-estimée surtout en ASS où les structures de recherche et de diagnostic demeurent très limitées (Organisation mondiale de la Santé, 2006 ; Marcotty *et al.*, 2009).

M. bovis appartient au genre *Mycobacterium* qui lui-même fait partie du groupe des Actinomycètes, contenant des acides mycoliques et dénommé « *genera mycolata* » (Pfyffer, 2007). Actuellement, le genre *Mycobacterium* comporte 158 espèces et sous-espèces reconnues (Deutsche Sammlung von Mikroorganismen und Zellkulturen, 2004), dont le complexe *M. tuberculosis*, *M. leprae* et de nombreuses bactéries dites atypiques (Good et Shinnick, 1998). Le complexe *M. tuberculosis* comprend les espèces *M. tuberculosis*, *M. bovis*, *M. africanum*, *M. microti*, *M. canettii*, *M. caprae* et *M. pinipedii* (Gutierrez *et al.*, 2005). La propriété bien connue du genre est la capacité de sa paroi cellulaire à résister à la décoloration par l'acide dilué et par l'alcool après application de colorants spécifiques

telle la fuchsine de Ziehl, d'où le terme de bacille alcool-acido-résistant, une caractéristique liée à la forte teneur en lipides dans la paroi cellulaire (Good et Shinnick, 1998).

L'utilisation de techniques de diagnostic telles que la culture *in vitro* et le typage moléculaire a permis une meilleure caractérisation des souches de *M. bovis* ainsi qu'une meilleure compréhension de la dynamique de transmission de la TB, de sa dispersion géographique, des facteurs de risque liés à sa transmission, de sa réactivation ou de la réinfection au sein d'une communauté dite à risque (Cosivi *et al.*, 1998 ; Humblet *et al.*, 2009).

Ainsi sur base d'un typage moléculaire de *M. bovis* isolé en Tanzanie, Daborn et collaborateurs (1997) ont mis en évidence l'existence d'un groupe de souches autochtones de *M. bovis* présentant des propriétés culturelles différentes de celles classiquement rencontrées en Europe. Plus tard, Njanpop-Lafourcade et collaborateurs (2001) ont effectué un spoligotypage sur des souches de *M. bovis* du Cameroun. Le spoligotypage ou (en anglais, *Spacer Oligotyping*) est une technologie d'hybridation inverse sur des sondes fixées sur membrane de la région génomique concernée préalablement amplifiée. Cette technique leur a permis de mettre en évidence l'absence du « Spacer 30 ». Ces auteurs suggèrent une origine commune européenne à tous les isolats qu'ils ont étudiés, lié à l'importation en 1913 de vaches charolaises dans la province de l'Adamaoua au nord du Cameroun. Depuis, cette souche, appelée « type » ou « famille génétique » Cameroun, a été observée dans plusieurs pays d'Afrique de l'ouest principalement au Tchad (Diguimbaye, 2004 ; Schelling *et al.*, 2005), au Nigeria (Cadmus *et al.*, 2006), au Burkina (Godreuil *et al.*, 2007), au Ghana (Addo *et al.*, 2007) et au Mali (Müller *et al.*, 2008). Cette dissémination de la souche en Afrique de l'ouest serait liée à la transhumance transfrontalière (Cadmus *et al.*, 2006 ; Müller *et al.*, 2008).

Au Burundi, Rigouts et collaborateurs (1996) ont isolé *M. bovis* dans 38 %

de cas chez des bovins montrant des signes cliniques de la maladie. En Tanzanie, 13 différents spoligotypes de *M. bovis* ont été identifiés par Kazwala et collaborateurs (2006). *M. bovis* a également été isolé à de nombreuses reprises chez des bovins, notamment en Ethiopie (Ameni *et al.*, 2007 ; Elias *et al.*, 2008), au Sénégal (Doutre, 1976), en Ouganda (Oloya, 2007 ; Asiimwe *et al.*, 2009) et chez des animaux sauvages dans le parc national Kruger en Afrique du sud (Michel *et al.*, 2009).

Les progrès scientifiques récents, notamment les techniques de typage moléculaire, ont permis une meilleure compréhension du génome et une caractérisation plus poussée des bactéries appartenant au complexe *Mycobacterium tuberculosis* (Rigouts *et al.*, 1996 ; Haddad *et al.*, 2004 ; Allix *et al.*, 2006). L'implication de *M. bovis* reste toutefois globalement mal connue en ASS chez l'animal ainsi que chez l'homme (Cosivi *et al.*, 1998 ; Bihizi, 2007 ; Marcotty *et al.*, 2009). Cette situation serait la résultante de plusieurs facteurs parmi lesquels on peut citer :

- le faible intérêt politique des Etats pour le contrôle et l'éradication de la TB zoonotique en raison notamment de l'insuffisance d'informations épidémiologiques sur la maladie. En effet, le caractère insidieux de cette maladie cache son ampleur réelle et justifie souvent le peu d'intérêt qui lui est accordé ;
- le manque d'organisation et le sous-équipement des structures de santé publique et vétérinaire ;
- l'insuffisance des laboratoires de diagnostic et des équipements adaptés ainsi que du personnel qualifié.

Ainsi, l'amélioration des connaissances sur l'épidémiologie de la TB à *M. bovis* en ASS suppose une meilleure coordination aux niveaux régional et international entre les Etats concernés et les institutions de recherche. Un transfert de compétence et de technologies des laboratoires du nord vers ceux du sud sous une forme de jumelage est souhaitable.

En définitive, l'insuffisance de ressources publiques allouées au secteur de la recherche, le faible accès des populations rurales aux soins de santé adéquats et la faible coordination des efforts dans la lutte contre la TBb sont les principaux facteurs qui entravent la mise en place de stratégies de contrôle dans les pays en voie de développement (Cosivi *et al.*, 1995 ; Zinsstag et Weiss, 2001). Ceci explique aussi, en grande partie, les taux de prévalence élevés de la TBb observés en ASS (Marcotty *et al.*, 2009).

4. LE TAUX DE PRÉVALENCE DE LA TUBERCULOSE BOVINE EN AFRIQUE SUBSAHARIENNE

4.1. Estimation globale du taux de prévalence de la tuberculose bovine en ASS

Les informations concernant le taux de prévalence de la TBb en ASS sont relativement peu nombreuses (Benkirane, 1997). La difficulté à déterminer le taux de prévalence réelle (TPR) de TBb en Afrique est non seulement imputable à l'insuffisance des moyens matériels et humains fournis par les états mais aussi au fait que les outils techniques actuellement utilisés ne sont, dans la plupart des cas, pas adaptés au contexte spécifique des régions africaines (Marcotty *et al.*, 2009).

Une compilation de 47 études publiées portant sur la détermination du taux de prévalence apparente individuelle (TPAI) de la TBb en ASS (tableau 1) montre que le test d'intradermotuberculination (Organisation mondiale de la Santé animale, 2004 ; Ameni *et al.*, 2008) est de loin le plus utilisé (70 % des cas) suivi de l'examen visuel sur les carcasses au niveau des abattoirs (28 %) et, enfin, de la réaction de polymérisation en chaîne PCR (2 %). Ces tests de diagnostic ayant différents niveaux de sensibilité et de spécificité, les résultats obtenus par les différents auteurs sont rendus difficilement comparables.

En effet, la performance du test cutané à la tuberculine dépend du statut épidémiologique de l'animal (infecté/

TABLEAU 1. Taux de prévalence apparent (TPA) de la tuberculose à *Mycobacterium bovis* chez les bovins en Afrique subsaharienne en fonction des zones géographiques et du système d'élevage.

Région	Pays	Nombre d'animaux testés	Type de test	TPAT (%)	TPAI (%)	Auteurs/Références
Système de production pastoral (extensif, transhumant)						
Afrique australe	Madagascar	1 465 000	IDS	-	21	Blancou <i>et al.</i> , 1971
	Zambie	2 226	IDC	-	7,4	Cook <i>et al.</i> , 1996
Afrique centrale	RD Congo	1 000	IDC	-	7,6	Mposhy <i>et al.</i> , 1983
	Tchad	NS	IDC	-	19,9	Schelling <i>et al.</i> , 2000
	Tchad	919	IDC	-	10,3	Ngandolo <i>et al.</i> , 2009
Afrique de l'est	Ethiopie	506	IDC	-	24,3	Regassa <i>et al.</i> , 2008
	Ethiopie	535	IDC	-	8,6	Regassa <i>et al.</i> , 2008
	Ouganda	NS	IDS	74,10	6,0	Faye <i>et al.</i> , 2005
	Tanzanie	10 549	IDC	11,80	0,9	Cleavaland <i>et al.</i> , 2007
Afrique de l'ouest	Burkina	7 536	IDC	-	6,6 à 12,4	Gidel <i>et al.</i> , 1969
	Côte d'Ivoire	NS	IDC	-	0,6 à 3,5	Gidel <i>et al.</i> , 1969
	Gambie	465	IDC	-	0	Unger <i>et al.</i> , 2003
	Niger	781	IDS	-	2,1	Bloch et Diallo, 1991
	Niger	2 920	IDS	-	1,6 à 3,2	Baaré, 1986
	Nigeria	NS	IDS, IDC	-	0 à 15	Cadmus, 2007
Système de production urbain et périurbain						
Afrique australe	Afrique du Sud	9 675	IDC	-	0,06	Bakunzi <i>et al.</i> , 1995
Afrique centrale	Tchad	848	IDS, IDC	12,40	0,8	Delafosse <i>et al.</i> , 2002
Afrique de l'est	Erythrée	1 813	IDC	-	14,5	Omer <i>et al.</i> , 2001
	Ethiopie	524	IDC	15	11,0	Ameni et Erkihun, 2007
	Ethiopie	500	IDC	TP	48,0	Ameni <i>et al.</i> , 2007
	Ethiopie	145	IDS, IDC	-	10,0	Kang'Ethé <i>et al.</i> , 2007
	Ethiopie	413	IDC	48,70	11,6	Regassa <i>et al.</i> , 2010
	Ethiopie	780	IDS	-	4,1	Laval et Ameni, 2004;
	Ethiopie	29	IDC	TP	9,8	Ameni <i>et al.</i> , 2006
	Ethiopie	62	IDC	TP	6,0	
	Tanzanie	2 549	IDS	10 et 21	0,9 et 0,6	Weinhäupl <i>et al.</i> , 2000
	Afrique de l'ouest	Ghana	NS	ICD	-	2,8 à 38,0
Ghana		NS	IDC	-	13,8	Bonsu <i>et al.</i> , 2000
Ghana		NS	PCR	-	39	Addo, 2007a
Mali		1 087	IDC	94,44	18,6	Sidibé <i>et al.</i> , 2003
Tanzanie		728	IDC	-	2,5	Durnez <i>et al.</i> , 2009
Burkina		325	IDS	-	27,7	Traoré <i>et al.</i> , 2004
Nigeria		171	IDC	TP	10,5	Cadmus <i>et al.</i> , 2004
Nigeria		53	IDC	-	11,3	Cadmus, 2007
Abattoirs						
Afrique centrale	Cameroun	385 784	EVP	-	1,0	Awah-Ndukum, 2005
	Cameroun	466 816	EVP	-	0,2 à 4,3	Awah-Ndukum <i>et al.</i> , 2010
	RD Congo	1 500	EVP	-	5	Mposhy <i>et al.</i> , 1983
	Tchad	10 000	EVP	-	7,3	Diguimbaye, 2006
Afrique de l'est	Ethiopie	751	EVP	-	4,5	Teklu <i>et al.</i> , 2007
	Ethiopie	1 350	EVP	-	1,5	Assaged <i>et al.</i> , 2004
Afrique de l'ouest	Mali	NS	EVP	-	1 à 5	Dao, 2005
	Mali	3 330	EVP	-	1,8	Müller <i>et al.</i> , 2008
	Nigeria	NS	EVP	-	8,8	Cadmus, 2007
	Nigeria	NS	EVP	-	0,5	Du-sai <i>et al.</i> , 1994
	Nigeria	302 700	EVP	-	4,1	Aliyu <i>et al.</i> , 2009
	Nigeria	1 698 000	EVP	-	2,8	Igbokwe, 2001
	Togo	108 061	EVP	-	1,2 à 1,5	Kulo, 2007

Légende du tableau 1: TPAT : taux de prévalence apparent au niveau des troupeaux ; TPAI : taux de prévalence apparent individuel ; EVP : examen visuel *post mortem* des carcasses au niveau des abattoirs ; IDS : intradermo-tuberculination simple ; IDC : intradermo-tuberculination comparative ; NS : non spécifié ; TP : étude menée au niveau d'un seul troupeau.

non infecté, malade/non malade), de son état physiologique, de la génétique, des facteurs environnementaux mais aussi de la nature de la tuberculine et ses conditions de stockage (Acha et Szyfres, 2003 ; Marcotty *et al.*, 2009 ; Humblet *et al.*, 2010). La performance du test d'intradermo-tuberculation peut aussi être altérée chez des sujets en phase pré-allergique d'une infection tuberculeuse latente ou se trouvant dans un état d'anergie tuberculinique caractérisé par la disparition de la faculté de l'organisme à se défendre (Organisation mondiale de la Santé animale, 2004 ; Berkel *et al.*, 2005). En outre, les valeurs officielles de sensibilité et de spécificité pour le test d'intradermo-tuberculation (Organisation mondiale de la Santé animale, 2004), déterminées sur des races européennes (*Bos taurus*) ne sont généralement pas adaptées pour les races bovines africaines (*Bos indicus*) d'où la nécessité de la mise au point des valeurs locales spécifiques à chaque pays et à

chaque région (Ameni *et al.*, 2008). L'estimation du taux de prévalence de la TBb sur base de l'examen visuel des carcasses au niveau des abattoirs sous-estime de manière significative le TPAI de la maladie. Selon Assaged et collaborateurs (2004), l'inspection des viandes à l'abattoir ne permet de détecter que 55 % des cas de TBb chez des animaux infectés et présentant des lésions visibles.

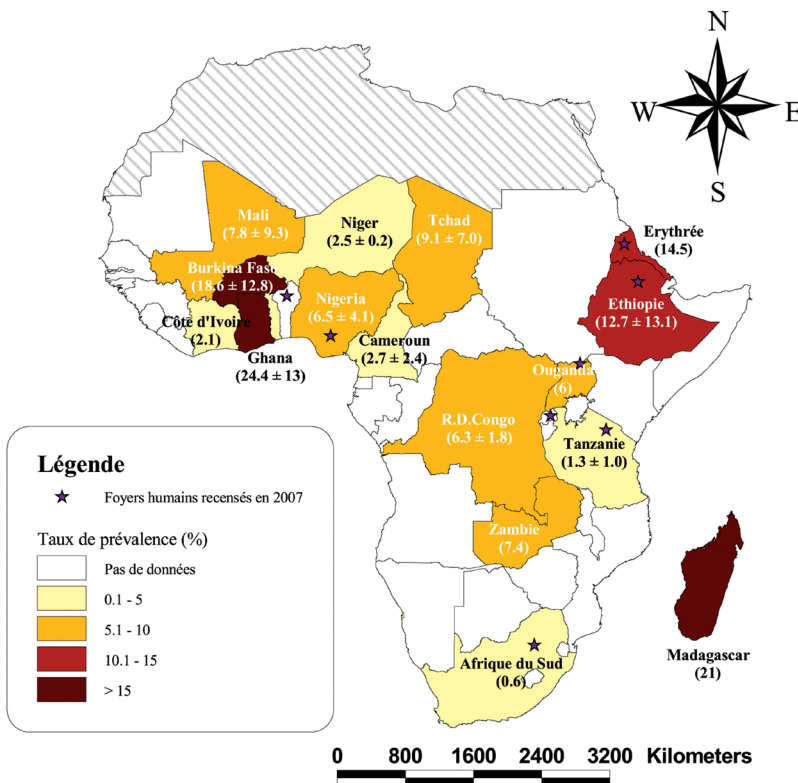
En plus des défaillances liées aux techniques de diagnostic, il faut également noter la grande diversité au niveau des protocoles d'études utilisés par les différents chercheurs. Le tableau 1 présente les valeurs de TPAI selon les régions, les pays, les systèmes d'élevage considérés et les techniques de diagnostic utilisées. La figure 1 présente les valeurs moyennes de TPAI par pays calculées sur la base des données issues de la littérature. Comme le montre les données présentées dans le tableau 1, le nombre d'animaux utilisé est très variable (de 29 à 1 698 000 têtes). On constate

aussi, dans certains cas, un manque de précision concernant des facteurs importants tels que : la race des animaux étudiés, les caractéristiques de la zone d'étude, la description de la méthodologie et la nature des réactifs utilisés. L'interprétation des données sur la prévalence de la TBb en ASS requiert dès lors une certaine prudence.

Néanmoins, l'examen du tableau 1 et de la figure 1 permet d'affirmer que la TB à *M. bovis* est largement distribuée dans les populations animales en Afrique, mais avec un TPAI très variable. La prévalence de la TBb varie sensiblement d'une zone géographique à l'autre (selon le pays et la région) et à l'intérieur d'une même zone géographique (selon les systèmes d'élevage pratiqués).

D'un point de vue géographique, le TPAI moyen (calculé sur la base des données issues des différentes études publiées et présentées dans le tableau 1) de la TBb varie et est de 9,5 % ($\pm 10,6$ %) en Afrique Australe (n = 3 observations), de 7,9 % ($\pm 5,6$ %) en Afrique Centrale (n = 8 observations), de 10,8 % ($\pm 12,0$ %) en Afrique de l'Est (n = 15 observations) et enfin de 8,7 % ($\pm 10,0$ %) en Afrique de l'Ouest (n = 22 observations).

FIGURE 1 : Taux de prévalence apparente de la tuberculose bovine établie sur base des données bibliographiques entre 1969 et 2010 et des foyers humains de tuberculose à *Mycobacterium bovis* déclarés en 2007 en Afrique subsaharienne (Organisation mondiale de la Santé animale, 2008). Les chiffres entre parenthèses représentent le taux moyen de prévalence apparente de la tuberculose bovine et l'écart-type.



4.2. Variation du taux de prévalence de la tuberculose bovine selon les systèmes d'élevage

De manière générale, les auteurs s'accordent à dire que dans les élevages sédentaires ou intensifs, les taux de prévalence de la TBb au niveau des animaux et au sein des troupeaux sont beaucoup plus élevés que dans les élevages extensifs. Ainsi, dans les élevages intensifs de type urbain et périurbain, généralement orientés vers la production laitière, le TPAI de la TBb est en moyenne de 13,9 % ($\pm 13,1$ %) (tableau 1). Ce TPAI est globalement plus élevé que celui observé dans les zones pastorales où il est en moyenne de 8,8 % ($\pm 7,3$ %). Selon plusieurs auteurs (Cosivi *et al.*, 1995 ; Benkirane, 1997 ; Sidibé *et al.*, 2003 ; Mfinanga *et al.*, 2003 ; Cleaveland *et al.*, 2007), cette différence de TPAI serait liée aux conditions de confinement qui

rendent plus aisée la transmission de l'infection par intensification des contacts dans les élevages urbains et périurbains. En effet, les mangeoires pour les suppléments alimentaires ou les concentrés sont des endroits favorables aux contacts directs (Ayele *et al.*, 2004). De même, les TPAI sont plus élevés dans les troupeaux où les animaux sont parqués la nuit dans un endroit clos (Morris *et al.*, 1994 ; O'Reilly et Daborn, 1995).

En dehors des élevages, les travaux menés au niveau des abattoirs des grandes villes africaines ont aussi permis de calculer des TPAI de la TBb mais aussi de caractériser les différentes souches de *M. bovis* circulantes. La détermination du TPAI dans les abattoirs est basée exclusivement sur l'examen visuel *post mortem* (EVP) des carcasses lors des inspections de routine, examen visuel dont les limites de sensibilité ont été signalées plus haut (Assaged *et al.*, 2004). Par ailleurs, il est difficile de déterminer la traçabilité des animaux abattus au niveau des abattoirs à cause de leurs origines diverses (Diguimbaye *et al.*, 2006). Les TPAI lésionnels à ce niveau sont donc généralement assez faibles. Le TPAI moyen sur la base de 14 études réalisées en ASS (tableau 1) est de 3,8 % ($\pm 2,6$ %).

5. FACTEURS DE RISQUE DE LA TRANSMISSION DE LA TUBERCULOSE À *M. BOVIS* CHEZ LES BOVINS EN AFRIQUE SUBSAHARIENNE

On dispose actuellement de très peu de connaissance sur la nature des facteurs déterminant la variation de la prévalence de TBb en ASS (Cleaveland *et al.*, 2007). Néanmoins, des résultats rapportés par différents auteurs permettent de suggérer des facteurs tels que l'environnement, le mode d'élevage ainsi que des facteurs liés à l'animal même et aux caractéristiques spécifiques de l'agent pathogène.

5.1. Facteurs liés à l'environnement

Certains facteurs affectent la survie de *M. bovis* dans l'environnement tels que l'exposition aux rayons solaires, le pH du sol, la température, l'humidité et la microflore naturelle du

sol (Morris *et al.*, 1994 ; Krebs, 1997). Les terrains inondables favorisent le développement des mycobactéries (Ashford *et al.*, 2001) et l'humidité assure la survie de *M. bovis* (Wray, 1975). La contamination entre les animaux est possible à travers le pâturage surtout lorsque celui-ci est irrigué avec de l'eau contaminée par *M. bovis*. Ainsi, au sein d'une même entité géographique, le taux de prévalence de TBb peut varier sensiblement d'une zone à une autre, comme, par exemple, en Tanzanie où des variations sensibles du taux de prévalence individuelle de bovins tuberculés ont été observées entre la zone des hauts plateaux au sud du pays et les alentours du Lac Victoria (Jiwa *et al.*, 1997 ; Kazwala *et al.*, 2001a). Dans les régions lacustres de l'Ouganda, de forts taux de prévalence ont été trouvés chez des buffles (Cleaveland *et al.*, 2007).

Dans le système d'élevage de type extensif, le risque de transmission entre animaux est maximal dans les endroits à forte concentration d'animaux tels que les points d'eau, les bains détiqueurs (*dipping tanks*), les centres de vaccination et d'insémination artificielle, les enclos de gardiennage, les marchés, ainsi que pendant les transports ou quand les animaux se concentrent pour se protéger contre une température élevée (Benkirane, 1997 ; Cosivi *et al.*, 1998 ; Ayele *et al.*, 2004). D'autres facteurs incluant l'introduction des nouveaux animaux, ainsi que la taille et la composition des troupeaux ont également été rapportés par certains auteurs (Cook *et al.*, 1996 ; Omer *et al.*, 2001).

Les contacts entre les animaux sauvages et domestiques peuvent aussi être source de transmission de *M. bovis*. En effet, la TB à *M. bovis* a été rapportée chez plusieurs espèces d'animaux sauvages à travers le monde. Il semblerait qu'à l'origine, la maladie a été transmise des animaux domestiques à la faune sauvage à des époques et des conditions spécifiques dans différentes régions du monde (Zieger *et al.*, 1998 ; Hofmeyr *et al.*, 2006). Par exemple, la maladie est endémique chez le blaireau européen (*Meles meles*) en Grande Bretagne, chez l'opossum à queue

en brosse (*Tricosurus vulpecula*) en Nouvelle Zélande, chez le koudou (*Tragelaphus strepsiceros*) et le céphalophe de Grimm (*Sylvicapra grimmia*) en Afrique du Sud et aussi chez le phacochère (*Phacochoerus aethiopicus*) et le buffle (*Syncerus caffer*) dans le parc national de Ruwenzori en Ouganda (Woodford, 1982 ; Zieger *et al.*, 1998 ; Pope *et al.*, 2007). Le rôle de la faune sauvage dans le maintien ou la réapparition de la TBb chez les animaux domestiques a été bien documenté (Michel *et al.*, 2006 ; Pope *et al.*, 2007 ; Michel *et al.*, 2009) mais sa contribution dans la transmission de la maladie en ASS n'est pas claire (Cleaveland *et al.*, 2007).

La contamination des animaux domestiques par la faune sauvage peut se faire par contact direct. Cette voie est rare, car elle ne peut avoir lieu que si l'animal infecté est cliniquement atteint et se trouve dans la phase terminale de la maladie (Norton *et al.*, 2005). La deuxième voie de transmission est indirecte. Dans ce cas, les bovins sont infectés via l'environnement par les déjections contaminées des animaux sauvages. Cette situation est fréquemment observée dans certaines régions d'Afrique où animaux domestiques et animaux sauvages partagent les mêmes pâturages et points d'eau (Munyeme *et al.*, 2008).

Afin de limiter ce risque de contamination par la faune sauvage, il est important de mettre en œuvre des mesures de contrôle rigoureuses. L'abattage des animaux sauvages infectés a été envisagé dans certains pays industrialisés. Cependant, une stratégie de lutte contre la TBb qui comprendrait l'abattage devrait tenir compte des conséquences épidémiologiques potentiellement négatives qui sont susceptibles d'accroître le risque de transmission de la maladie (Pope *et al.*, 2007). En effet, un essai d'abattage des blaireaux suspects de TBb en Grande Bretagne a conduit à la désorganisation de la structure sociale de ces animaux entraînant ainsi une augmentation de l'incidence de la maladie (More *et al.*, 2007). La mise en place des méthodes de gestion des troupeaux qui

limiteraient au maximum les contacts entre le bétail et la faune sauvage potentiellement infectée pourrait aussi être envisagée comme une alternative dans la lutte contre la propagation de la maladie (Hofmeyr *et al.*, 2006).

5.2. Facteurs liés à l'animal

La localisation des lésions dues à la TBb dans les tissus et les organes des animaux est fonction du type de contamination (Cosivi *et al.*, 1995). Cependant, le mode de transmission le plus fréquent chez les bovins est sans doute l'aérosol car dans environ 90 % des cas de lésions tuberculeuses observées chez les bovins, elles sont situées au niveau du tractus respiratoire et de la tête (O'Reilly et Daborn, 1995 ; Morris *et al.*, 1994). La transmission de *M. bovis* par inhalation est facilitée par le contact prolongé d'animaux sains avec ceux infectés (Ayele *et al.*, 2004). Elle peut aussi se faire par ingestion à travers le lait, la salive et les déjections provenant d'animaux infectés (Ayele *et al.*, 2004). La contamination par la voie congénitale et sexuelle a également été rapportée mais dans de très rares cas (Menziés et Neill, 2000).

Les facteurs de risque liés à l'animal sont divers et varient en importance selon les espèces et les conditions environnementales. Les facteurs les plus déterminants sont répertoriés ci-après.

5.2.1. La race

Le taux de prévalence de la TBb est généralement plus élevé chez des sujets de race exotique que chez des animaux de races locales (Gidel *et al.*, 1969 ; Heidrich, 1974 ; Larrat *et al.*, 1981). Dans les élevages périurbains de Bamako, Sidibé et collaborateurs (2003) ont trouvé des TPAI plus élevés dans des fermes intensives où prédominent des races importées ainsi que des sujets croisés. À Madagascar, Blancou et collaborateurs (1971) ont observé des variations sensibles du TPAI de la TBb en comparant des zébus malgaches purs avec des races importées et croisées.

5.2.2. L'âge

Au sein du troupeau, le taux de

prévalence de la TBb augmente avec l'âge des animaux, surtout dans les régions où l'infection est endémique (Blancou *et al.*, 1971 ; Sidibé *et al.*, 2003 ; Cleaveland *et al.*, 2007 ; Humblet *et al.*, 2009). Ceci provient du fait que, dans des situations endémiques, les animaux les plus âgés ont eu plus de chance d'être exposés et de développer la maladie. De même, la TBb étant une maladie à processus très lent, les animaux infectés jeunes développeront la maladie à un âge beaucoup plus avancé (Thorel, 2003). Par ailleurs, sous l'effet du stress ou de l'âge, des infections latentes sont réactivées d'où un taux de prévalence plus élevés chez les animaux plus âgés (Pollock et Neill, 2002).

5.2.3. L'état général des animaux

Les facteurs entraînant une diminution de l'état général comme les carences alimentaires ou le stress occasionné par des conditions d'élevages intensives augmentent la sensibilité au bacille tuberculeux (Ameni *et al.*, 2006). Chez le bétail, le développement de la TB maladie dépend de l'habilité de *M. bovis* à survivre et à se multiplier dans les macrophages de l'hôte (Thoen et Bloom, 1995). En effet, la structure du tissu, la richesse de la vascularisation et du système macrophagique local interviennent dans la morphologie des lésions (Thoen et Bloom, 1995). L'existence de lésions préexistantes peut aussi favoriser l'implantation du bacille tuberculeux (Thorel, 2003).

6. TUBERCULOSE À MYCOBACTERIUM BOVIS ET SANTÉ PUBLIQUE EN AFRIQUE SUBSAHARIENNE

Il est admis que la TB chez l'homme en ASS, est généralement causée par *M. tuberculosis* (Cosivi *et al.*, 1998 ; Diguimbaye, 2004 ; Bihizi, 2007). Toutefois, certains auteurs signalent une proportion inconnue mais moins fréquente de cas dus à *M. bovis*. L'isolement de *M. bovis* chez l'homme est décrit dans toute une série de travaux effectués en Afrique (Mposhy *et al.*, 1983 ; Idigbe *et al.*, 1986 ; Hoffner *et al.*, 1993 ; Diguimbaye, 2004 ; Kazwala

et al., 2001b ; Kazwala *et al.*, 2006 ; Cadmus, 2007 ; Cleaveland *et al.*, 2007 ; Addo *et al.*, 2007b). Il apparaît également que la maladie est sous-déclarée chez l'homme par manque de capacités diagnostiques de la plupart de laboratoires des pays africains qui n'arrivent pas à différencier *M. bovis* de *M. tuberculosis* (Kleeberg, 1984 ; Cosivi *et al.*, 1995). Dans son rapport de 2008, l'Organisation mondiale de la Santé animale mentionne que des cas de TB humaine dus à *M. bovis* ont été rapportés dans 8 pays africains sur 52 (Bénin, Erythrée, Ethiopie, Rwanda, Afrique du Sud, Tanzanie, Tunisie et Ouganda). Toutefois, le rôle attribué à *M. bovis* dans les cas de TB humaine en Afrique reste mal défini (Cosivi *et al.*, 1998).

6.1. Facteur de risques favorisant la transmission de la tuberculose des bovins à l'homme

Selon l'Organisation mondiale de la Santé (1994), l'évolution de la TB chez l'homme d'origine animale et particulièrement celle causée par *M. bovis* devient de plus en plus inquiétante dans les pays en développement. Bien que l'importance relative des différentes sources d'infection ainsi que les voies de contamination soient peu connues en ce qui concerne l'ASS (Cleaveland *et al.*, 2007), il existe certains facteurs de risque de transmission de la maladie de l'animal à l'homme .

6.1.1. L'interaction de l'homme avec l'animal

L'une des caractéristiques de l'élevage en ASS, quel que soit le système d'exploitation considéré, est la grande promiscuité entre l'homme et l'animal (Cosivi *et al.*, 1998). En milieu pastoral, l'homme et l'animal partagent le même microenvironnement et les mêmes points d'eau surtout pendant les sécheresses, ce qui constitue un risque potentiel élevé de transmission de *M. bovis* (Cosivi *et al.*, 1998 ; Mfinanga *et al.*, 2003 ; Ameni *et al.*, 2006). En milieu périurbain et urbain, le rapprochement est souvent tel que l'homme et le réservoir animal vivent

confinés dans des endroits insalubres et mal aérés (Sidibé *et al.*, 2003 ; Boukary *et al.*, 2007 ; Regassa *et al.*, 2008). En analysant des données recueillies parmi des patients de la région d'Arusha en Tanzanie et qui présentaient des cas d'adénopathie cervicale, Mfinanga et collaborateurs (2004) observent, par exemple, que la faible ventilation des habitations des éleveurs ayant des animaux tuberculeux est corrélée à l'infection à *M. bovis* chez l'homme. La proportion des cas de TB humaine due à *M. bovis* dépend aussi du taux de prévalence de l'infection au sein des troupeaux (Diguimbaye, 2004). Kazwala (1996) a démontré également qu'il existait une corrélation positive entre la prévalence de la TBb au sein de la population bovine et le nombre de cas de TB extra-pulmonaire chez l'homme en Tanzanie.

6.1.2. Les habitudes alimentaires

Les recherches ont montré que la transmission de *M. bovis* de l'animal à l'homme est étroitement liée aux habitudes et aux conditions d'hygiène alimentaires de la population au sein des ménages et de la société d'une manière plus générale (Sidibé *et al.*, 2003 ; Ameni *et al.*, 2006 ; Cleaveland *et al.*, 2007 ; Kang'Ethé *et al.*, 2007). *M. bovis* se transmet surtout par ingestion du lait infecté non pasteurisé ou, accessoirement, par consommation de viande contaminée insuffisamment cuite causant des tuberculoses extra-pulmonaires surtout chez les enfants (Kleeberg, 1984 ; Dankner et Davis, 2000).

6.1.3. Les facteurs socio-économiques

Ces facteurs incluent les défaillances d'ordre politique, notamment la négligence dans le contrôle par de nombreux gouvernements, la faiblesse des programmes de contrôle, la pauvreté et le taux de croissance rapide de la population (Cosivi *et al.*, 1998 ; Organisation mondiale de la Santé, 2006).

Les cultures et les coutumes jouent également un rôle important dans la persistance et la propagation de la TB à *M. bovis*, surtout en ASS où les croyances religieuses et culturelles

sont des obstacles à l'application des programmes de contrôle (Chillio *et al.*, 2002 ; Mfinanga *et al.*, 2003 ; Ayele *et al.*, 2004). La TB est stigmatisée dans beaucoup de cultures africaines ce qui pousse en général les patients à cacher leur maladie de peur de la discrimination dont ils pourraient faire l'objet (Edginton *et al.*, 2002). D'autres pratiques bien connues et ancrées dans les traditions africaines, telle que le non isolement des personnes malades dans le cas de TB active ou multi-résistante, peuvent être considérées comme à risque (Jaffré *et al.*, 2003). En outre, il faut ajouter d'autres facteurs comme la méconnaissance de la maladie, la faible accessibilité des centres de santé et l'attitude souvent négative du personnel soignant (Ayele *et al.*, 2004 ; Imorou *et al.*, 2004).

6.1.4. La pandémie de SIDA

Selon l'Organisation mondiale de la Santé (2004), le virus d'immunodéficience humaine (VIH) responsable du syndrome d'immunodéficience acquise (SIDA) et la TB sont étroitement liés. En 2003, un total de 8,8 millions de nouveaux cas de TB ont été enregistrés dans le monde, parmi lesquels 3,9 millions de frottis positifs dont 674 000 patients souffrant d'une co-infection TB/VIH (Organisation mondiale de la Santé, 2006). Il a été démontré que les personnes ayant un système immunitaire affaibli par le VIH sont plus susceptibles de développer une TB active (Organisation mondiale de la Santé, 2004). En Afrique, la TB est souvent la première manifestation de l'infection par le VIH dont elle est la principale cause de décès (Grant *et al.*, 1997 ; Rana *et al.*, 2000). Au niveau des centres hospitaliers africains, 40 à 65 % de patients séropositifs et présentant des symptômes respiratoires sont atteints de la TB (Grant *et al.*, 1997 ; Ansari *et al.*, 2002).

Se référant à la morbidité et la mortalité dues à l'épidémie de VIH/Sida dans la région de Kagera en Tanzanie, Jiwa et collaborateurs (1997) ont souligné le rôle important que pourrait jouer la TB d'origine animale. De même, Kazwala et collaborateurs (1997) ont noté que *M. bovis* représente un danger pour la

santé humaine dans des pays comme la Tanzanie, où le nombre de personnes infectées par le VIH, et donc très susceptibles à la TB, est élevé. Ledru et collaborateurs (1999) indiquent que chez la plupart des personnes séropositives, la TB est plutôt due à une infection récente (postérieure à celle par le VIH) qu'à une réactivation d'une infection latente (Houben *et al.*, 2010). Ce qui suppose un risque accru de développer la maladie chez ces personnes en contact avec *M. bovis* (O'Reilly et Daborn, 1995).

6.2. Taux de prévalence de la tuberculose à *M. bovis* chez l'homme en Afrique subsaharienne

La proportion des cas de tuberculose due à *M. bovis* n'est actuellement pas connue avec précision dans les pays en voie de développement (Cosivi *et al.*, 1998). De manière globale, l'Organisation mondiale de la Santé estime que c'est en Asie du Sud-Est que les cas de TB humaine sont les plus nombreux avec 55 % de l'incidence mondiale en 2006 contre 31 % en Afrique. Toutefois, le taux estimé d'incidence par habitant est presque deux fois plus élevé en Afrique subsaharienne qu'en Asie du Sud-est, avec près de 400 cas pour 100.000 habitants (Organisation mondiale de la Santé, 2008).

Selon Cosivi et collaborateurs (1998), environ 85 % de bovins et 82 % des humains en Afrique vivent dans des régions où la TBb est partiellement ou pas du tout contrôlée. Ashford et collaborateurs (2001) estiment que dans 10 à 15 % des cas, la TB chez l'homme est causée par *M. bovis* dans les régions où la consommation du lait cru est courante. Mposhy et collaborateurs (1983) ont rapporté que 24,12 % de cas de TB intestinale observés chez des patients consommant du lait cru provenant des vaches malades dans le Nord-Kivu en République démocratique de Congo, pouvaient être attribués à *M. bovis*. Des études de prévalence de la TB à *M. bovis* sur toute une population sont particulièrement rares, mais des cas d'infection à *M. bovis* ont été rapportés sur des patients sélectionnés à risque. C'est ainsi qu'en étudiant 42 isolats

humains de TB en Ethiopie, Regassa et collaborateurs (2008) ont trouvé 16 % de cas dus à *M. bovis*. De même, *M. bovis* a été identifié dans 16 % d'échantillons prélevés sur des patients atteints de TB dans les zones rurales de Tanzanie (Kazwala *et al.*, 2001b). Au Nigéria, Idigbe et collaborateurs (1986) ont trouvé *M. bovis* chez 4 % des patients ayant des symptômes de TB pulmonaire tandis que Cadmus (2007) a signalé des cas de *M. bovis* chez 3,1 à 11,1 % des patients souffrant respectivement de TB pulmonaire et extra-pulmonaire, toujours au Nigeria., Dans un centre hospitalier d'Accra au Ghana, Addo et collaborateurs (2007) ont isolé *M. bovis* chez 3 % des patients atteints de TB pulmonaire. Enfin, dans une étude faite à Madagascar, *M. bovis* a été observé chez 1,25 % de patients avec frottis positif et chez 1,3 % présentant une forme de TB extra-pulmonaire (Rasolofozazanamparany *et al.*, 1999).

La proportion de cas de TB humaine due à *M. bovis* en ASS est considérée comme faible en raison notamment des difficultés techniques à mettre en culture et à isoler le pathogène, rencontrées dans la plupart des pays en voie de développement (Amanfu, 2006 ; Marcotty *et al.*, 2009). Le taux de prévalence réelle de la TB à *M. bovis* et son impact sur la santé humaine pourrait donc être particulièrement sous-estimés en ASS si l'on tient compte de l'importance des facteurs de risque (cohabitation homme-animal et consommation des produits laitiers non pasteurisés) et les forts taux de prévalence du VIH/SIDA dans cette région du monde.

Le contrôle de cette maladie particulièrement au sein des groupes à risque (éleveurs, enfants, porteurs du VIH...) passe nécessairement par une meilleure connaissance et une prise en compte de l'épidémiologie de la maladie au niveau animal et par la mise en place d'actions coordonnées des chercheurs et des institutions s'occupant de santé publique et de santé animale (Zinsstag et Weiss, 2001 ; Zinsstag *et al.*, 2005).

7. CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Si les différents auteurs sont unanimes à souligner le caractère hautement préoccupant de la TB à *M. bovis* en ASS, il n'en demeure pas moins vrai que cette maladie reste globalement un problème mal connu. En effet, les données disponibles sont insuffisantes et pas assez fiables pour corroborer l'ampleur épidémiologique et l'importance de la maladie dans cette partie du monde. De même, l'importance relative des différentes sources d'infection, les voies de contamination ainsi que les facteurs de risque de transmission de la maladie de l'animal à l'homme sont largement sous-étudiés en ASS.

Toutefois, les indicateurs épidémiologiques ressortant de la présente synthèse bibliographique démontrent l'existence de la TB zoonotique dans toutes les zones agro-écologiques et dans tous les types de système de production en ASS. Il a été aussi mis en évidence des facteurs prédisposant aux différents types de contamination (animal-homme, homme-homme et homme-animal), comme la cohabitation entre animaux domestiques et faune sauvage, la promiscuité homme-animal, les habitudes alimentaires, la pandémie de VIH/SIDA, même si la contribution relative de chacun des facteurs à la ré-émergence de la maladie n'a été que très peu étudiée.

Comparativement au milieu rural, les risques de transmission de la TB zoonotique semblent plus importants dans les milieux urbains et périurbains en raison notamment de la plus forte intensité des facteurs prédisposant énumérés ci-dessus mais aussi de la complexité des systèmes d'élevage en place dans les villes. Ceci pourrait expliquer pourquoi les taux de prévalence de la TBb trouvés par les différents auteurs au niveau des élevages urbains et périurbains sont en moyenne beaucoup plus élevés que dans les élevages de type extensif ou pastoral même si cette tendance mérite d'être confirmée par des études plus approfondies.

L'utilisation de techniques de diagnostic plus poussées comme la culture *in vitro* et le typage moléculaire ont permis ces dernières années une certaine avancée dans la caractérisation des souches de *M. bovis* qui circulent dans certains pays africains comme le Cameroun, le Tchad, le Nigeria, le Mali, la Tanzanie et l'Ethiopie. Là aussi, les informations disponibles sont encore fragmentaires et ne permettent pas jusqu'à présent une bonne compréhension de l'épidémiologie et de la dynamique de la dispersion géographique des types et sous-types de *M. bovis* dans les différents biotopes compte tenu du caractère extensif de l'élevage africain en général.

Finalement, on peut conclure qu'en plus du manque d'investissements des gouvernements africains dans la lutte contre la TB zoonotique, on ne dispose pas d'informations scientifiques crédibles permettant de mettre en place un dispositif efficace d'éradication de cette zoonose en ASS.

Pour mieux contrôler la TBb en Afrique subsaharienne, il serait conseillé de :

- mettre en place une surveillance rigoureuse de la maladie au niveau des animaux domestiques et de la faune sauvage et limiter au maximum les contacts entre celle-ci et les animaux domestiques ;
- chercher des méthodes de diagnostic plus simples et plus fiables, compatibles avec le contexte des pays en développement. Pour ceci, une collaboration accrue, basée sur un transfert de compétences et des techniques entre les laboratoires du nord et ceux du sud, devrait être encouragée ;
- mettre en place un cadre de collaboration dynamique et fonctionnel entre les différents acteurs (chercheurs, agents de la santé et politiques) s'occupant de la santé publique et de la santé animale pour mener des actions coordonnées et plus efficaces dans la lutte contre la TB due à *M. bovis* chez l'animal et chez l'homme.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ACHA P., SZYFRES B. Zoonoses et maladies transmissibles à l'homme et aux animaux. 3^{ème} édition. OIE, 2005, 693 p.
- ADDO K.K. a). Bovine tuberculosis situation in Ghana. In: Proceedings of the 1st meeting « African Bovine TB Network : Effective management of bovine tuberculosis in Africa : Towards adapted control policy ». Bamako, Mali, 26 -29 juin 2007, 2007, 7.
- ADDO K.K., OWUSU-DARKO K., YEBOAH-MANU D., CAULLEY P., MINAMIKA M., BONSU F., LEINHARDT C., AKPEDONU P., OFORI-ADJEI D. b) .Mycobacterial species causing pulmonary tuberculosis at Korle Bu teaching hospital, Accra, Ghana. *Ghana Medical Journal*, 2007, **41**, 52-57.
- ALHAJI I. Bovine tuberculosis in four northern states of Nigeria (PhD Thesis). Ahmadu Bello University of Zaria : Nigeria, 1976, 236 p.
- ALIYU M.M., ADAMU J.Y., BILYAMINU Y.A. Current Prevalence of Tuberculous Lesions among Slaughtered Cattle in Northeastern States of Nigeria. *Revue Elev. Méd. vét. Pays trop.*, 2009, **62**, 13-16.
- ALLIX C., WALRAVENS K., SAEGERMAN C., GODFROID J., SUPPLY P., FAUVILLE-DUFAUX M. Evaluation of the Epidemiological Relevance of Variable-Number Tandem-Repeat Genotyping of *Mycobacterium bovis* and Comparison of the Method with IS6110 Restriction Fragment Length Polymorphism Analysis and Spoligotyping. *Journal of Clinical Microbiology*, 2006, **44**(6), 1951-1962.
- AMANFU W. The situation of tuberculosis and tuberculosis control in animals of economic interest. *Tuberculosis*, 2006, **86**, 330-335.
- AMENI G., ASEFFA A., ENGERS H., YOUNG D., HEWINSON G., VORDERMEIER M. Cattle Husbandry in Ethiopia Is a Predominant Factor Affecting the Pathology of Bovine Tuberculosis and Gamma Interferon Responses to Mycobacterial Antigens. *Clin. Vaccine Immunol.*, 2006, **13**, 1030-1036.
- AMENI G., ERKIHUN A. Bovine tuberculosis on small-scale dairy farms in Adama Town, central Ethiopia, and farmer awareness of the disease. *Rev. sci. tech. Off. int. Epiz.*, 2007, **26**, 711-719.
- AMENI G., ASEFFA A., SIRAK A., ENGERS H., YOUNG D. B., HEWINSON G. R., VORDERMEIER M. H., GORDON S. V. Effect of skin testing and segregation on the incidence of bovine tuberculosis, and molecular typing of *Mycobacterium bovis* in Ethiopia. *Vet Rec.*, 2007, **161**, 782-786.
- ANSARI N.A., KOMBE A.H., KENYON T.A. Pathology and causes of death in a group of 128 predominantly HIV-positive patients in Botswana, 1997-1998. *Int J Tuberc Lung Dis.*, 2002, **6**, 55-63.
- ASSAGED B., WOLDESENBET Z., YIMER E., LEMMA E. Evaluation of abattoir inspection for the diagnosis of *M. bovis* infection in cattle in Addis Ababa abattoir. *Trop. anim. Health Prod.*, 2004, **36**, 537-546.
- ASCOFARE D. N. Prévalence de la tuberculose bovine dans certains élevages laitiers du district de Bamako (Mémoire de fin d'étude). Institut Polytechnique Rural de Katibougou : Mali, 2000, 25 p.
- ASHFORD D.A., WHITNELY E., RAGHUNATHAN P., COSIVI O. Epidemiology of selected mycobacteria that infect humans and other animals. *Rev. Sci. Tech. Off. Int. Epizoot.*, 2001, **20**, 325-337.
- ASIIMWE B. B., ASIIMWE J., KALLENIOUS G., ASHABA F. K., GHEBREMICHAELS., JOLOBA M., KOIVULA T. Molecular characterisation of *Mycobacterium bovis* isolates from cattle carcasses at a city slaughterhouse in Uganda. *Veterinary Record*, 2009, **164**, 655-658.
- AYELE W.Y., NEILL S.D., ZINSTAG J., WEISS M. G., PAVLIK I. Bovine tuberculosis: an old disease but a new threat to Africa. *Int. J. Tuberc. Lung. Dis.*, 2004, **8**, 924-937.
- AWAH-NDUKUM J. Prevalence of bovine tuberculosis at the SODEPA Douala abattoir, Cameroon (1995 -2003). *Cameroon Journal of Experimental Biology*, 2005, **1**, 116-120.
- AWAH NDUKUM J., CALEB KUDI A. G., ANE-ANYANGWE I. N., FON-TEBUG S., TCHOUMBOUE J. Prevalence of Bovine Tuberculosis in Abattoirs of the Littoral and Western Highland Regions of Cameroon: A Cause for Public Health Concern. *Veterinary Medicine International*, 2010, Article ID 495015, 8 pages, doi:10.4061/2010/495015.
- BAARE M. Résultats d'une campagne de tuberculination du cheptel dans les Ranchs au Niger (Rapport d'activité). Ministère de l'Agriculture et de l'Elevage, Niamey, Niger, 1986, 15p.
- BAKUNZI F.R., ZYAMBO G.C., MORRIS S. Bovine tuberculosis survey in the Molopo district of the North West Province. *J. S. Afr. Vet. Assoc.*, 1995, **66**, 28-29.
- BENGIS RG., KRIEK NPJ., KEET D.F., RAATH J.P., DEVOS V., HUCHZERMEYER H. An outbreak of bovine tuberculosis in a free-living African buffalo (*Syncerus caffer-Sparrman*) population in the Kruger National Park: a preliminary report. *Onderstepoort J Vet Res.*, 1996, **63**, 15-18.
- BENKIRANE A. Etat actuel de la tuberculose bovine en Afrique et au Moyen-Orient. In : Animal tuberculosis in Africa and the Middle East. Rabat, Maroc, Actes Editions, 1997, 228p.
- BIHIZI J.M. Importance de *Mycobacterium bovis* en Afrique (Thèse M.Sc). Institut de Médecine Tropicale Prince Léopold, Antwerpen : Belgique, 2007, 40 p.
- BLANCOU J., RORHIBACH C., PERDRIX A., CHOGEA A., ROSNER G. 1971. La tuberculose bovine à Madagascar. *Revue Elev. Méd. vét. Pays trop.* **24**, 505-517
- BLOCH N., DIALLO I. Enquête sérologique et allergologique sur les bovins au Niger. *Revue Elev. Méd. vét. Pays trop.*, 1991, **44**, 117-122.
- BOUKARY A.R., CHAÏBOU M., MARICHATOU H., VIAS G. Caractérisation des systèmes de

- production laitière et analyse des stratégies de valorisation du lait en milieu rural et périurbain au Niger : cas de la communauté urbaine de Niamey et de la commune rurale de Filingué. *Revue Elev. Méd. vét. Pays trop.*, 2007, **60**, 113-120.
- BLOOD D.C., RADOSTIS O.M., HENDERSON J.A. Diseases caused by *Mycobacterium* spp. In: Veterinary medicine. A textbook of the diseases of cattle, sheep, pigs, goats and horses, 6th Edt. London, UK, WB Saunders, 1983, 1310 p.
- BONSU O.A., LAING E., AKANMORI B.D. Prevalence of tuberculosis in cattle in the Dangme-West district of Ghana, public health implications. *Acta Trop.* 2000, **76**, 9-14
- CADMUS S.I.B., ATSANDA N.N., ONI S.O., AKANG E.E.U. Bovine tuberculosis in one cattle herd in Ibadan in Nigeria. *Vet. Med. - Czech*, 2004, **49**, 406-412
- CADMUS S., PALMER S., MELLISSA O., JAMES D., KAREN G., SSMITH N., KEITH J., GLYN H.R., STEPHEN V.G. Molecular Analysis of Human and Bovine Tubercle Bacilli from a Local Setting in Nigeria. *Journal of Clinical Microbiology*, 2006, **44**, 29-34.
- CADMUS S. Bovine tuberculosis in Nigeria. In: Proceedings of the 1st meeting « African Bovine TB Network : Effective management of bovine tuberculosis in Africa : Towards adapted control policy ». Bamako, Mali, 26-29 juin 2007, 2007, 5-6.
- CATLEY A.P. A report on the prevalence and zoonotic implications of bovine tuberculosis in Tanzania. Centre for Tropical Veterinary Medicine, University of Edinburgh, 1992, 19p.
- CHILLIO A., ELHADJI D., A. MOUMOUNI, SOULEY A. Autour de la contagion, de la transmission, et de la prévention : notions populaires hausa et songhay-zarmaï 2002 Etudes et Travaux n° 7 LASDEL. Laboratoire d'études et recherches sur les dynamiques sociales et le développement local. Niamey, Niger, 2002, 46p.
- CLEAVELAND S., MLENGEYA T., KAZWALA R.R., MICHEL A., KAARE M.T., JONES S.L. Tuberculosis in Tanzanian wildlife. *J Wildl Dis.* 2005, **41**, 446-453.
- CLEAVELAND S., SHAW D.J., MFINANGA S.G., SHIRIMA G., KAZWALA R.R., EBLATE E., SHARP M. *Mycobacterium bovis* in rural Tanzania : Risk factors for infection in human and cattle populations. *Tuberculosis*, 2007, **87**, 30-43.
- COOK A.J., TUCHILI L.M., BUVE A., FOSTER S.D., GODFREY-FAUSETT P., PANDEY G.S., MCADAM K.P. Human and bovine tuberculosis in the Monze District of Zambia- a cross-sectional study. *Br Vet J.*, 1996, **152**, 37-46.
- CORBETT E.L., MARSTON B., CHURCHYARD G.J., DE COCK K.M. Tuberculosis in sub-Saharan Africa: opportunities, challenges, and change in the era of antiretroviral treatment. *Lancet* , 2006, **367**, 926-937.
- COSIVI O., MESLIN F.X., DABORN C.J., GRANGE J.M. Epidemiology of *Mycobacterium bovis* infection in animals and humans, with particular reference to Africa. *Rev. Sci. Tech.*, 1995, **14**, 733-746.
- COSIVI O., GRANGE J.M., DABORN C.J., RAVIGLIONE M.C., FUJIKURA T., COUSINS D., ROBINSON R.A., HUCHZERMAYER H.F., MESLIN F.X. Zoonotic tuberculosis due to *Mycobacterium bovis* in developing countries. *Emerg. Infect. Dis.*, 1998, **4**, 59-70.
- CRUBÉZY, É., B. LUDES, J.-D. POVEDA, J. CLAYTON, CROUAUROY B., MONTAGNON D. Identification of *Mycobacterium* DNA in an Egyptian Pott's disease of 5400 years old. *CR. Acad. Sci. Paris.*, 1998, **321**, 941-951.
- DABORN C. J. Bovine tuberculosis in the tropics - a call to arms. In: Tacher G, Leteneur L (Ed.), Proceedings of the VIIth International Conference of the Institute of Tropical Veterinary Medicine. Yamoussoukro, Côte d'Ivoire: Institute of Tropical Veterinary Medicine, 1992, 359-368.
- DABORN C.J., GRANGE J.M., KAZWALA R.R. The bovine tuberculosis cycle—an African perspective. *J Appl Bacteriol.*, 1996, **81**, 527-532.
- DABORN C.J., KAZWALA R.R., KAMBARAGE D.M. Bovine tuberculosis research programme in Tanzania: interim results. In : J. Berrada, N. Bouchriti, and M. Bouslikhane (ed.), Animal tuberculosis in Africa and Middle East. Actes Editions, Rabat, Morocco, 1997, 151-198.
- DANKNER W.M., DAVIS C.E. *Mycobacterium bovis* as a significant cause of tuberculosis in children residing along the United States-Mexico border in the Baja California region. *Pediatrics*, 2000, **105**, 79.
- DAO M. 2005. Contribution à l'étude de la tuberculose bovine au Mali: Enquête aux abattoirs de Bamako et de Mopti ; isolement de 10 souches de *Mycobacterium bovis* (Thèse de doctorat de Médecine vétérinaire, diplôme d'état). EIS-MV de Dakar : Sénégal, 84p.
- DELAFOSSÉ A., GOUTARD F., THEBAUD E. Epidémiologie de la tuberculose et de la brucellose des bovins en zone périurbaine d'Abéché, Tchad. *Revue Elev. Méd. vét. Pays trop.*, 2002, **55**, 5-13.
- DEUTSCHE SAMMLUNG VON MIKROORGANISMEN UND ZELLKULTUREN GMBH (2010). [en ligne] (sans date) Adresse URL : http://www.dsmz.de/microorganisms/bacterial_nomenclature_info.hp?genus=MYCOBACTERIUM, consulté le 16/08/2010.
- DIGUIMBAYE C. La tuberculose humaine et animale au Tchad: Contribution à la mise en évidence et caractérisation des agents causaux et leur implication en santé publique (PhD Thesis T). Philosophisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät der Universität Basel : Basel, 2004, 190 p.
- DIGUIMBAYE C., HILTY M., NGANDOLO R., HASSANE H. M., GABY E. P., BAGGI F., TANNER M., SCHELLING E., ZINSSTAG J. Molecular Characterization and Drug Resistance Testing of *Mycobacterium tuberculosis* Isolates from Chad. *J. Clin. Microbiol.* 2006, **44**, 1575-1577.
- DOUTRE M.P. Note concernant les récents cas de tuberculose bovine (*Mycobacterium bovis*) observés à l'abattoir de Dakar. *Rev. Elev.*

- Méd. Vét. Pays trop.*, 1976, **29**: 309-311.
- DURNEZ L., SADIKI H., KATAKWEBA A., MACHANG'U R.R., KAZWALA R.R., LIERS H., PORTAELS F. The prevalence of *Mycobacterium bovis* infection and atypical mycobacteriose in cattle in and around Morogoro, Tanzania. *Trop Anim Health Prod.* 2009, **41**, 1653-1659.
- DU-SAI D.H.M., ABDULLAHI D.A. Current status of bovine tuberculosis at Sokoto abattoir. *Trop. Vet.* 1994, **12**, 134-137.
- EDGINTON ME., SEKATANE CS., GOLDSTEIN SJ. Patients' beliefs: do they affect tuberculosis control? A study in a rural district of South Africa. *Int J Tuberc Lung Dis*, 2002, **6**: 1075-1082.
- ELIAS K., HUSSEIN D., ASSEGED B., WONDWOSSEN T., GEBEVEHU M. Status of bovine tuberculosis in Addis-Ababa dairy farms. *Rev. sci. tech.*, 2008, **27**, 915-923.
- FAYE B., CASTEL V., LESNOFF M., RUTABINDA D., DHALWA J. Tuberculosis and brucellosis prevalence survey on dairy cattle in Mbarara milk basin (Uganda). *Prev. vet. Med.*, 2005, **67**, 267-281.
- GIDEL R., ALBERT J.P., RETIF M. Enquête sur la tuberculose bovine au moyen de tests tuberculiques dans diverses régions d'Afrique occidentale (Haute Volta et Côte d'Ivoire) Résultats et considérations générales. *Revue Elev. Méd. vét. Pays trop.*, 1969, **22**, 337-355.
- GODREUIL S., TORREA G., TERRU D., CHEVENET F., DIAGBOUGA S., SUPPLY P., VAN DE PERRE P., CARRIERE C., BANULS A.L. First Molecular Epidemiology Study of *Mycobacterium tuberculosis* in Burkina Faso. *J. Clin. Microbiol.*, 2007, **45**, 921-927.
- GOOD, R. C., SHINNICK T. M. *Mycobacterium*. In: Collier A.B.L., Sussman M. (eds), Topley's and Wilson's microbiology and microbial infections, systematic bacteriology, 9th ed. Edward Arnold: London, 1998, 5496-576.
- GRANT A.D., DJOMAND G., DE COCK K.M. Natural history and spectrum of disease in adults with HIV/AIDS in Africa. *AIDS*, 1997, **11**, 43-54.
- GUIGUEN A. *Mycobacterium bovis* découvert sur des squelettes de l'Âge du fer. *Biofutur*, 2007, **278**, 13-13.
- GUTIERREZ M.C., BRISSE S., BROSCHE R., FABRE M., OMAIS B., MARMIESSE M., SUPPLY P., VINCENT V. Ancient origin and gene mosaicism of the progenitor of *Mycobacterium tuberculosis*. *PLoS Pathogens*, 2005, **1**:e5. doi:10.1371/journal.ppat.0010005.
- HADDAD N., MASSELOT M., DURAND B. Molecular differentiation of *Mycobacterium bovis* isolates. Review of main techniques and applications. *Research in Veterinary Science*, 2004, **76**, 1-18.
- HEIDRICH H.J. Tuberculose. In : Encyclopédie vétérinaire. Diagnostic et traitement. Paris, France, Vigot et Frères, 1974, 2 914 p.
- HOFFNER, S.E., SVENSON S.B., NORBERG R., DIAS F., GHEBREMICHAEL S., KALLENIUS G. Biochemical heterogeneity of *Mycobacterium tuberculosis* complex isolates in Guinea-Bissau. *J.Clin.Microbiol.*, 1993, **31**, 2215-2217.
- HOUBEN R.M., GLYNN J.R., MALLARD K., SICHALI L., MALEMA S., FINE P.E., FRENCH N., CRAMPIN A.C. Human immunodeficiency virus increases the risk of tuberculosis due to recent re-infection in individuals with latent infection. *Int. J. Tuberc. Lung Dis.*, 2010, **14**, 909-15
- HUMBLET M. F., BOSCHIROLI M. L., SAEGERMAN C. Classification of worldwide bovine tuberculosis risk factors in cattle: a stratified approach. *Vet. Res.*, 2009, **40**, 50 doi: 10.1051/vetres/2009033
- HUMBLET M.-F., WALRAVENS K., SALANDRE O., BOSCHIROLI M.-L., GILBERT M., BERKVENS D., FAUVILLE-DUFAUX M., GODFROID J., DUFÉY J., RASKIN A., VANHOLME L., SAEGERMAN C. Monitoring of the intra-dermal tuberculosis skin test performed by Belgian field practitioners. *Research in Veterinary Science*, 2011, in press.
- IDIGBE E.O., ANYIWO C.E., ONWUJEKWE D.I. Human pulmonary infections with bovine and atypical mycobacteria in Lagos, Nigeria. *J Trop Med Hyg*, 1986, **89**, 143-148.
- IGBOKWE I.O., MADAKI I.Y., DANBURAM S., AMEH J.A., ALIYU M.M., NWOSU C.O. Prevalence of Pulmonary Tuberculous Lesions in Cattle Slaughtered in Abattoirs in Northeastern Nigeria. *Revue Elev. Méd. vét. Pays trop.*, 2001, **54**, 191-195.
- IMOROU A., JP. OLIVIER DE SARDAN. 2004 La tuberculose à Gaya : approche socioanthropologique. Etudes et Travaux n° 25. LASDEL, Niamey, Niger p.20.
- JAFFRE Y., MOUMOUNI A., OLIVIER DE SARDAN J.P., SOULEY A. Représentations populaires hausa et songhay zarma de quelques maladies (entités nosologiques populaires). Etudes et Travaux n°17. LASDEL, Niamey : Niger, 2003, 111 p.
- JIWA S.F.H., KAZWALA R.R., ABOUD A.A.O., KALAYE W.J. Bovine tuberculosis in the Lake Victoria Zone of Tanzania and its possible consequences to human health in HIV/AIDS era. *Vet Res Commun.*, 1997, **21**, 533-539.
- KANG'ETHE E.K., EKUTTAN C.E., KIMANI V.N., KIRAGU M.W. Investigations into the prevalence of bovine brucellosis and the risk factors that predispose humans to infection among urban dairy and non-dairy farming households in Dagoretti division, Nairobi, Kenya. *East African Medical Journal.*, 2007, **84**, 96-99.
- KAZWALA R.R., KAMBARAGE D.M., DABORN N., NYANGE J., SHARP J.M. Prevalence of bovine tuberculosis in indigenous cattle of the southern highlands of Tanzania: country report. In: Animal tuberculosis in Africa and the Middle East (ed.), Actes Editions, Rabat, Maroc, 1997, 228 p.
- KAZWALA, R.R. Molecular epidemiology of bovine tuberculosis in Tanzania, (PhD thesis), University of Edinburgh, 1996.
- KAZWALA R.R., KAMBARAGE D.M., DABORN C.J., NYANGE J., JIWA S.F.H., SHARP J.M. a) Risk factors associated with the occurrence of bovine tuberculosis

- in cattle in the Southern Highlands of Tanzania. *Vet Res Commun.*, 2001, **25**, 609–614.
- KAZWALA R.R., DABORN C.J., SHARP J.M., KAMBARAGE D.M., JIWA S.F.H., MBEMBATI N.A. b) Isolation of *Mycobacterium bovis* from human cases of cervical adenitis in Tanzania: a cause for concern? *Int J Tuberc Lung Dis.*, 2001, **5**, 87–91.
- KAZWALA R.R., KUSILUKA L.J.M., SINCLAIR K., SHARP J.M., DABORN C.J. The molecular epidemiology of *Mycobacterium bovis* infections in Tanzania. *Veterinary Microbiology*, 2006, **112**, 201–210.
- KEET D.F., KRIEK N.P.J., PENRITH M.L., MICHEL A., HUCHZERMAYER H. Tuberculosis in buffaloes (*Syncerus caffer*) in the Kruger National Park: spread of the disease to other species. *Onderstepoort J Vet.*, 1996, **63**, 239–244.
- KLEEBERG, H.H. Human tuberculosis of bovine origin in relation to public health. *Rev. sci. tech. Off. int. Epiz.*, 1984, **3**: 11–32.
- KREBS J.R. Bovine tuberculosis in cattle and badgers: a report by the independent scientific review group. London: Ministry of Agriculture, Fisheries and Food. 1997.
- KOUYATE B. Tuberculose bovine au Mali. In: Animal tuberculosis in Africa and the Middle East (ed.), Rabat, Maroc, Actes Editions, 1997, 228 p.
- KUDIA.C., KALLA D.J.U., ALKALI Y., LADAN S.M., KUDI M.C., MAI H. Abattoir survey of small ruminant diseases in Bauchi, Nigeria. *Revue Elev. Méd. vét. Pays trop.* 1997, **50**, 281–284.
- KULO M. 2007. Situation de la tuberculose bovine au Togo. In: Proceedings of the 1st meeting « African Bovine TB Network : Effective management of bovine tuberculosis in Africa : Towards adapted control policy ». Bamako, Mali, 26 -29 juin 2007, 2007, 18–19.
- LARRAT R., PAGOT J., VANDENBUSSCHE J. Manuel vétérinaire des agents techniques de l'élevage tropical (Manuels et précis d'élevage n° 5). Iemvt, Maisons-Alfort: France, 1981, 520 p.
- LAVAL G., AMENI G. Prevalence of bovine tuberculosis in zebu cattle under traditional animal husbandry in Boji district of western Ethiopia. *Rev. méd. Vét.*, 2004, **155**, 494–499.
- LEVINGSTONE P.G. Progrès récents dans le diagnostic, la prophylaxie et l'éradication de la tuberculose bovine (*Mycobacterium bovis*) chez les animaux domestiques et sauvages. In : Comit international de la 68^{ème} Session Générale de l'Office international des Epizooties, Paris, 22–26 mai 2000, Document 68 SG/10, 20 p.
- LY C. Santé animale et pauvreté en Afrique. In : Ahmadou Aly Mbaye, David Roland-Holst, Joachim Otte (Eds.). Agriculture, élevage et pauvreté en Afrique de l'Ouest. CREA-FAO : Rome, 2007, 71–85.
- MARCOTTY T., MATTHYS F., GODFROID J., RIGOUTS L., AMENI G., GEY VAN PITTIUS N., KAZWALA R., MUMA J., VAN HELDEN P., WALRAVENS K., DE KLERK L. M., GEOGHEGAN C., MBOTHA D., OTTE M., AMENU K., ABU SAMRA N., BOTHA C., EKRON M., JENKINS A., JORI F., KRIEK N., MCCRINDLE C., MICHEL A., MORAR D., ROGER F., THYS E., VAN DEN BOSSCHE P. Zoonotic tuberculosis and brucellosis in Africa: neglected zoonoses or minor public-health issues? The outcomes of a multi-disciplinary workshop. *Annals of Tropical Medicine & Parasitology*, 2009, **103**, 401–411.
- MAWAK J.D., GOMWALK N.E., BELLO C.S.S., KANDAKAI-OLUKEMI Y.T. Human pulmonary infections with bovine and environment (atypical) mycobacteria in Jos, Nigeria. *Ghana Medical Journal*, 2006, **40**, 132–136.
- MENZIES F., NEILL S. Cattle-to-cattle transmission of bovine tuberculosis. *Vet J.*, 2000, **160**, 92–106.
- MFINANGAS G., MØRKVE O., KAZWALA R. R., CLEVELAND S., SHARP J. M., SHIRIMA G., NILSEN R. Tribal differences in perception of tuberculosis: a possible role in tuberculosis control in Arusha, Tanzania. *Int. J Tuberc Lung Dis.*, 2003, **7**, 933–941.
- MFINANGA S.G., MØRKVE O., KAZWALA R.R., CLEVELAND S., KUNDA J., SHARP M.J. Mycobacterial adenitis: role of *Mycobacterium bovis*, non-tuberculosis Mycobacteria, HIV infection and risk factors in Arusha, Tanzania. *E Afr Med J.*, 2004 **81**, 171–178.
- MICHEL A.L., BENGIS R.G., KEET D.F., HOFMEYER M., DE KLERK L.M., CROSS P.C., JOLLES A.E., COOPER D., WHYTE I.J., BUSS P., GODFROID J. Wildlife tuberculosis in South African conservation areas: Implications and challenges. *Veterinary Microbiol.*, 2006, **112**, 91–100.
- MICHEL A.L., COETZEE M.L., KEET D.F., MARE L., WARREN R., COOPER D., BENGIS R.G., KREMER K., VAN HELDEN P. Molecular epidemiology of *Mycobacterium bovis* isolates from free ranging wildlife in South African game reserves. *Veterinary Microbiol.* 2008, **1**, 9 doi:10.1016/j.vetmic.2008.07.023
- MPOSHY M., BINEMO-MADI C., MUDAKIKWA B. Incidence de la tuberculose bovine sur la santé des populations du Nord-Kivu (Zaire). *Rev. Elev. Méd. Vét. Pays trop.* 1983, **36**, 15–18.
- MORRIS R.S., PFEIFFER D.U., JACKSON R. The epidemiology of *Mycobacterium bovis* infections. *Vet Microbiol.*, 1994, **40**, 153–77.
- MORRIS P.J., THOEN C.O., LEGENDRE A.M. Pulmonary tuberculosis in an African lion (*Panthera leo*). *J Zoo Wildl Med.*, 1996, **27**, 392–396.
- MUNYEME M., MUMA J.B., SJKERVE E., NAMBOTA A.M., PHIRI I.G.K., SAMUI K.L. Risk factors associated with bovine tuberculosis in traditional cattle of the livestock/wildlife interface areas in the Kafue basin of Zambia. *Prev. Vet. Med.*, 2008, **85**, 317–328.
- NGANDOLO B.N., DIGUIMBAYE-DJAIBÉ C., MÜLLER B., DIDI L., HILTY M.I., SCHELLING S.E., MOBEAL B., TOGUEBAYE B.S., AKAKPO A.J., ZINSSTAG J. Diagnostics *ante et post mortem* de la tuberculose bovine au sud du Tchad : cas des bovins destinés à l'abattage. *Revue Elev. Méd. vét.*

- Pays trop.*, 2009, 62, 5-12.
- NJANPOP-LAFOURCADE B. M., INWALD J., OSTYN A., DURANDB., HUGHES S., THOREL M., HEWINSON G., HADDAD N. Molecular Typing of *Mycobacterium bovis* Isolates from Cameroon. *Journal of Clinical Microbiology*, 2001, **39**, 222–227.
- OIE. Manual of diagnostic tests and vaccines for terrestrial animals. Office International des Epizooties, Paris: France, 2004.
- OIE. Santé animale mondiale en 2007. Organisation mondiale de la santé animale (OIE), Paris : France, 2007.
- OKAIYETOS.O., ALLAML., AKAM E., SABO G. Investigation of the prevalence of bovine tuberculosis in dairy farm in Kaduna state Nigeria. *Res. J. of Dairy Sc.*, 2008, **2**, 27-29.
- OLOYA J., KAZWALA R., LUND A., OPUDA-ASIBO J., DEMELASH B., SKJERVE E., JOHANSEN TB., DJØNNE B. Characterisation of mycobacteria isolated from slaughter cattle in pastoral regions of Uganda. *BMC Microbiology*, 2007, **7**, 95.
- OMER M., SKJERVE E., WOLDEHIWET Z., HOLSTAD G. A cross-sectional study of bovine tuberculosis in dairy farms in Asmara, Eritrea. *Trop Anim Health Prod.*, 2001, **33**, 295–303.
- O'REILLY L.M., DABORN C.J. The epidemiology of *Mycobacterium bovis* infections in animals and man - a review. *Tuber Lung Dis.*, 1995, **76**, 1–46.
- OMS (WHO). Zoonotic tuberculosis (*Mycobacterium bovis*): Memorandum from a WHO meeting (with the participation of FAO). *Bulletin of the World Health Organization*, 1994, **72**, 851-857.
- OMS (WHO). World Health Organization Office for the African Region, Harare, Zimbabwe October 2004TB/HIV Control Strategy For The African Region, 2004, 22 p.
- OMS (WHO). The control of neglected zoonotic diseases: a route to poverty alleviation. In: Report of a joint WHO/DFID-AHP Meeting, with the participation of FAO and OIE, Geneva, 2005, 12 p.
- OMS (WHO), 2006. The Global Plan to Stop TB, 2006–2015. Actions for life: towards a world free of tuberculosis. *Int. J. Tuberc Lung Dis.*, **10**, 240–241.
- OMS (WHO). Global tuberculosis control: surveillance, planning, financing. WHO Report WHO/HTM/TB/2008. 2008, 393p.
- PFYFFER G.E. Mycobacterium: General characteristics, isolation and staining procedures. In: Ellen Jo Baron, James H. Jorgensen, Marie Landry, Micheal A. Pfaller. Manual of Clinical Microbiology 9^{ème} edition. Patrick R Murray: Washington DC, 2007, 543-572 .
- POLLOCK J. & NEILL S. *Mycobacterium bovis* infection and tuberculosis in cattle. *Vet. J.*, 2002, **163**, 115–27.
- RANA F.S., HAWKEN M.P., MWACHARI C. Autopsy study of HIV-1- positive and HIV-1-negative adult medical patients in Nairobi, Kenya. *J Acquir Immune Defic Syndr.*, 2000, **24**, 23–29.
- RASOLOFO-RAZANAMPARANYV., MENARD D., RASOLONAVALONA T. Prevalence of *Mycobacterium bovis* in human pulmonary and extra-pulmonary tuberculosis in Madagascar. *Int J Tuberc Lung Dis.*, 1999, **3**, 632–634.
- RASOLOFO-RAZANAMPARANY V., QUIRIN R., RAPAOLIARIJAONA A., RAKOTOARITAHINA H., VOLOLONIRINA E.J., RASOLONAVALONA T., FERDINANDS., SOLAC., RASTOGI N., RAMAROKOTO H., CHANTEAU S. Usefulness of restriction fragment length polymorphism and spoligotyping for epidemiological studies of *Mycobacterium bovis* in Madagascar : description of new genotypes. *Vet Microbiol.*, 2006, **114**, 115-122.
- REGASSA A., MEDHIN G., AMENI G. Bovine tuberculosis is more prevalent in cattle owned by farmers with active tuberculosis in central Ethiopia. *Vet J.*, 2008, **178**, 119-25.
- REGASSA A., TASSEW A., AMENU K., MEGERSA B., ABUNNA F., MEKIBIB B., MACROTTY T., AMENI G. A cross-sectional study on bovine tuberculosis in Hawassa town and its surroundings, Southern Ethiopia. *Trop Anim Health Prod.*, 2010, **42**, 915–920.
- RIGOUTS L., MAREGEYAB., TRAORE H., COLLART J.P., FISSETTE K., PORTAELS F. Use of DNA restriction fragment typing in the differentiation of *Mycobacterium bovis* complex isolates from animals and humans in Burundi. *Tubercle Lung Dis.*, 1996, **77**, 264–268.
- RIGOUTS L., TRYLAND M. Prevalence of bovine tuberculosis and animal level risk factors for indigenous cattle under different grazing strategies in the livestock/wildlife interface areas of Zambia. *Trop Anim Health Prod.*, 2009, **41**, 345–352.
- ROTSCHILD B.M., MARTIN L.D., LEV G., BERCOVIER H., BAR-GAL G.K., GREENBLATT C., DONOGHUE H., SPIGELMAN, M., BRITAIN D. *Mycobacterium tuberculosis* complex DNA from an extinct bison dated 17,000 years before the present. *Clin. Infect. Dis.*, 2001, **33**, 305–311.
- SCHELLING E., DIGUIMBAYE C., DAUD S., DAUGLA D.M., BIDJEH K., TANNER M., ZINSTAG J. La tuberculose causée par *Mycobacterium bovis* : résultats préliminaires obtenus chez les pasteurs nomades Foulbés et Arabes dans le Chari-Baguirmi au Tchad. *Sermpervira*, 2000, **8**, 44-55.
- SCHELLING E., DIGUIMBAYE C., HILTY M., BAGGI F., NGANDOLO R., ZINSTAG J. Epidémiologie moléculaire des premiers isolements de mycobactéries chez l'animal du Tchad. *Epidémiol. et santé anim.* 2005, **48**, 81-91.
- SHIRIMA G.M., KAZWALA R.R., KAMBARAGE D.M. Prevalence of bovine tuberculosis in cattle in different farming systems in the eastern zone of Tanzania. *Prev Vet Med.*, 2003, **57**, 167–72.
- SIDIBÉ S.S., DICKO N.A., FANÉ A., DOUMBIA R.M., SIDIBÉ C.K., KANTÉ S., MANGANÉ O., KONATÉ B., KONÉ A.Z., MAÏGA M.S., FOFANA M. Tuberculose bovine au Mali: résultats d'une enquête épidémiologique dans les élevages laitiers de la zone périurbaine du district de Bamako. *Revue Elev. Méd. vét. Pays trop.*, 2003, **56**, 115-120.
- SULIEMAN, M.S., HAMID M.E. Identification of acid fast bacte-

- ria from caseous lesions in cattle in Sudan. *J. Vet. Med.*, 2002, **49**, 415-418.
- SCHWABE, C. W. *Veterinary Medicine and Human Health*, 3rd Edn. Baltimore, MD: Williams & Wilkins, 1984, 680p.
- TAPILI B. Enquête sur la tuberculose bovine dans les élevages laitiers de la zone urbaine périurbaine du district de Bamako (Mémoire de fin d'études). Institut Polytechnique Rural/Institut de Formation et de Recherche Appliquée de Bamako : Mali, 2004, 29 p.
- TEKLU A., ASSEGED B., YIMER E., GEBEYEHU M., WOLDESENBET Z. Tuberculous lesions not detected by routine abattoir inspection: the experience of the Hossana municipal abattoir, southern Ethiopia. *Rev. sci. tech. Off. int. Epiz.*, 2004, **23**, 957-964.
- THOEN, C.O. Tuberculosis in Wild and Domestic Mammals. In: Tuberculosis: Pathogenesis, protection and control. Barry R. Bloom (Ed.), American Society for Microbiology, Washington DC, 1994, 157-162.
- THOEN, C.O., BLOOM B.R. Pathogenesis of *Mycobacterium bovis*. In: "Mycobacterium bovis infection in animals and humans" Thoen, C. O. & Steele, J.H. (Eds). AMES, Iowa, 1995, 3-14.
- THOREL M.F. Tuberculose. In: Principales maladies infectieuses et parasitaires du bétail. Lefèvre P. Blancou J. et Chermette R., (éditeurs). Editions Médicales Internationales, Paris 2003, 927-949.
- THYS E., SCHIERE H., VAN HUYLENBROECK G., MFOUKOU-NTSAKALA A., OUEADRAOGO M., GEERTS S. Three approaches for the integrated assessment of urban household livestock production systems: Cases from Sub-Saharan Africa. *Outlook on Agriculture*, 2006, **35**, 7-18.
- TRAOREA., HAMIDOUH T., BALE B., DAVID W. R., NONGASIDA Y., MOUMOUNI S. Prévalence globale des pathologies majeures liées à la production laitière bovine en système d'élevage intraurbain à Hamdallaye (Ouagadougou). *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.*, 2004, **8**, 3-8.
- UA/BIRA. Annuaire Panafricain de la santé animale. Union Africaine, Nairobi : Kenya, 2006, 84 p.
- UNGER F., MÜNSTERMANN S., GOUMOU A., APIA C.N., KONTE M. Risk associated with *Mycobacterium bovis* infections detected in selected study herds and slaughter cattle in 4 countries of West Africa. Animal Health Working Paper 1. ITC (International Trypanotolerance Centre), Banjul : The Gambia, 2003, 25 p.
- VEKEMANS M., CARTOUX M., DIAGBOUGA S. Potential source of human exposure to *Mycobacterium bovis* in Burkina Faso, in the context of the HIV epidemic. *Clin Microbiol Infect.* 1999, **5**, 617-621.
- WEINHAUPL I., SCHOPF K.C., KHASCHABI D., KAPAGA A.M., MSAMI H.M. Investigations on the prevalence of bovine tuberculosis and brucellosis in dairy cattle in Dar es Salaam region and in zebu cattle in Lugoba area, Tanzania. *Trop Anim Health Prod.* 2000, **32**, 147-54.
- WOODFORD M.H. Tuberculosis in wildlife in the Ruwenzori National Park Uganda. *Trop Anim Health Prod.*, 1982, **14**, 81-88.
- WRAY C. 1975. Survival and spread of pathogenic bacteria of veterinary importance within the environment. *Vet Bull* **45**: 543-350.
- ZIEGER U., PANDEY G.S, KRIEK NPJ., CAULDWELL A.E. Tuberculosis in kafue lechwe (*Kobus lechwe kafuensis*) and in a bushbuck (*Tragelaphus scriptus*) on a game ranch in Central Province, Zambia. *J South Afric Vet Assoc.*, 1998, **69**, 98-101.
- ZINSSTAG J., WEISS M. G. Livestock diseases and human health. *Science*, 2001, **294**, 477.
- ZINSSTAG J., SCHELLING E., WYSS K., MAHAMAT M.B. Potential of cooperation between human and animal health to strengthen health systems. *Lancet*, 2005, **366**, 2142-2145.

Partie 2

Objectifs

Objectifs

La tuberculose et la brucellose représentent un défi majeur pour le développement du secteur de l'élevage en Afrique subsaharienne et au Niger en particulier. Les pratiques d'élevage caractérisées par des interactions parfois très complexes entre les différents systèmes de production, les activités professionnelles ainsi que les habitudes alimentaires des ménages sont autant de facteurs de risque susceptibles de favoriser la transmission de ces deux maladies, en particulier de l'animal à l'homme. Malgré la présence de facteurs de risque potentiels, la brucellose et la tuberculose bovine ont été jusqu'à ce jour très peu étudiées dans le contexte nigérien et les données sur la prévalence de ces deux maladies sont particulièrement rares.

Le présent travail s'est donné comme objectif général d'apporter une contribution originale à la connaissance des souches circulantes de *Mycobacterium bovis* et de *Brucella* spp. au Niger ainsi que des mécanismes et facteurs de risque de transmission de ces deux zoonoses dans un contexte d'élevage urbain, périurbain et rural afin d'en améliorer la prévention et le contrôle.

Les objectifs spécifiques assignés à cette thèse sont :

1. Etudier la prévalence réelle de la brucellose et de la tuberculose animales au sein des strates urbaines, périurbaines et rurales. Cet objectif est à mettre en relation avec l'hypothèse 2.
2. Etudier les voies et les modes de transmission de la brucellose et de la tuberculose sur la base des résultats des enquêtes épidémiologiques et de l'épidémiologie moléculaire (caractérisation et sous-typage des souches bactériennes virulentes). Cet objectif est à mettre en relation avec les hypothèses 1, 3 et 4.
3. Déterminer les indicateurs ou facteurs de risque susceptibles de favoriser la transmission de la brucellose et de la tuberculose à l'animal et à l'homme dans les conditions particulières des systèmes d'élevage urbains, périurbains et ruraux. Cet objectif est à mettre en relation avec l'hypothèse 4.

Pour atteindre les objectifs cités ci-dessus, l'organisation du travail a été basée sur une approche holistique qui a nécessité la mise en place d'actions locales coordonnées entre les chercheurs et les institutions s'occupant de la santé humaine et de la santé animale.

En outre, à côté des objectifs scientifiques susmentionnés, le présent travail s'est assigné un autre objectif général, non moins important, consistant à renforcer les capacités des institutions nationales et sous régionales dans la lutte contre les maladies zoonotiques, dont la brucellose et tuberculose à *Mycobacterium bovis*. Les objectifs spécifiques additionnels sont les suivants :

1. Au niveau structurel, permettre la mise en place d'un cadre de concertation permanent et une synergie d'action entre les différentes institutions internationales et nationales avec la création d'un réseau d'échange d'informations et de transfert de compétences dans le cadre d'une approche « *One Health* ».
2. Le renforcement des capacités de formation locales à travers l'encadrement de plusieurs thèses et mémoires de fin d'études en relation avec la thématique de l'étude. A cet effet, une dizaine de mémoires comprenant 2 thèses de médecine humaine, 2 thèses de médecine vétérinaire, 2 thèses de Master de spécialisation en santé animale tropicale et 4 mémoires de fin de cycle de techniciens d'élevage ont été encadrés. A cela s'ajoute l'encadrement de plusieurs stages de perfectionnement pour des agents d'élevage et des étudiants en fin de formation.
3. Assurer la promotion de jeunes chercheurs à travers la participation à des travaux de recherche et à des séminaires et symposiums internationaux. A cet effet, ce travail a permis à l'équipe pluridisciplinaire de participer activement à plusieurs séminaires internationaux où les résultats des travaux de recherche ont été présentés. On peut citer les symposiums internationaux tenus à Bamako en 2007¹, à Bangkok en 2010², à Anvers en 2010³, à Liège en 2011⁴, à Johannesburg en 2011⁵ et à Addis-Abeba en 2012⁶.

¹ Boukary A.R. (2007). Etude de l'impact des pratiques d'élevage sur la transmission de la tuberculose à *M. bovis* et de la brucellose en milieu urbain et périurbain à Niamey (Niger). In: African Bovine TB Network: "Effective management of bovine tuberculosis in Africa: Towards adapted control policy", 26-29 June 2007, Bamako, Mali.

² Boukary, A.R., Saegerman C., Rigouts L., Matthys F., Berkvens D., Thys E. (2010). Preliminary results of the study on zoonotic brucellosis and tuberculosis in Niamey (Niger). In: Globalization of Tropical Animal Diseases and Public Health Concerns; proceedings of the 13th AITVM 2010 International Conference, 23-26 August 2010, Bangkok, Thailand. pp. 22-24.

³ Boukary A.R., Badé M. A., Adéhossi E., Vias Franck S.G. (2010). The fight against zoonotic diseases, a challenge for public and veterinary health: Niger experience. International symposium on "Intersectoral collaboration between the medical and veterinary professions in low-resource societies"; "Where medics and vets join forces" held on November 5th, 2010, at ITM, Antwerp, Belgium.

⁴ Boukary A.R. (2011). Contribution of Belgian veterinary institutions to the promotion of livestock in the tropics: Experiences from Niger. Be-troplive Symposium "VET 2011 - Veterinary Medicine in the tropics", held on November 15th, 2011, at University of Liege, Belgium.

⁵ Boukary A.R., Adéhossi E., Badé M.A., Ousseini F., Berkvens D. Saegerman C., Thys E. (2011). Quand Médecins et Vétérinaires unissent leur force: cas d'une stratégie intégrée de lutte contre la brucellose au Niger. In : International DVT - ITM Joint Colloquium on Zoonoses and Neglected Infectious Diseases of Africa. 1-4 November 2011, Johannesburg, South Africa. pp 16-17 abstract book.

⁶ Boukary A. R., Adéhossi E., Badé M. A., Abatih E., Saegerman C, Thys E. (2012). From evidence of brucellosis in peri-urban dairy farms of Niamey to the management of patients by hospital services: an example of collaboration between vets and medics in Niger in the fight against zoonotic diseases. International Riprosat symposium One Health One World In The Context Of Developing Countries: Challenges And Opportunities, held on 1-3 October 2012 in Addis Ababa, Ethiopia.

Partie 3

Travail expérimental

Chapitre 5

Seroprevalence and potential risk factors for *Brucella abortus* biovar 3 infection in traditional cattle, sheep and goats reared in urban, periurban and rural areas of Niger

Etude de la séroprévalence et des facteurs de risque de transmission de la brucellose à *Brucella abortus* biovar 3 chez les bovins, ovins et caprins dans les élevages urbains, périurbains ruraux au Niger

Boukary A.R., Saegerman C., Abatih E., Fretin D., Alambédji Bada R., De Deken R., Harouna A.H., Yenikoye A., Thys E.

Article original soumis pour publication dans « *PloS ONE* », enregistré sous le N° PONE-S-13-20404

Seroprevalence and potential risk factors for *Brucella abortus* biovar 3 infection in traditional cattle, sheep and goats reared in urban, periurban and rural areas of Niger

A.R. Boukary.^{1,2,3,7}, C. Saegerman², E. Abatih³, D. Fretin⁴, R. Alambédji Bada⁵, R. De Deken³, A.H. Harouna⁶, A. Yenikoye⁷, E. Thys^{3*}

¹ Department of Animal Health and Livestock promotion, ONG Karkara, Niamey, Niger BP 2045, Niamey, Niger

² Research Unit in Epidemiology and Risk Analysis applied to the Veterinary Sciences (UREAR-ULg), Department of Infectious and Parasitic Diseases, Faculty of Veterinary Medicine, University of Liege, Boulevard de Colonster, 20, B42, B-4000 Liege, Belgium.

³ Unit of Biostatistics and Epidemiology, Department of Biomedical Sciences, Institute of Tropical Medicine (ITM), Nationalestraat 155, B-2000, Antwerp, Belgium

⁴ Department of Bacteriology and Immunology, Veterinary and Agro-chemical Research Centre (VAR), Uccle, Groeselenberg 99, 1180 Brussels, Belgium

⁵ Service of Microbiology-Immunology-Infectious Pathology, Interstate School of Veterinary Sciences and Medicine, BP 5077 Dakar, Senegal

⁶ Ministry of Livestock, Direction of Animal Health, Maradi, Niger

⁷ Faculty of Agronomy, University of Niamey, BP 10895, Niamey, Niger

Abstract

Introduction: In the urban/periurban areas of Niamey city, Niger, complex interactions between animal production systems, practices and habits within households induce a potential risk of brucellosis transmission between animals and from animals to humans. Currently little is known about the disease transmission in the context of the study.

Results: The study included 5,192 animals belonging to 681 herds. Serum and hygroma fluid samples were collected. A household survey was conducted in order to identify the risk factors for transmission of brucellosis. The true adjusted herd prevalence of brucellosis ranged between 11.8% and 13.8% and the true adjusted individual animal prevalence was 1.3% (95% CI: 0.9 - 1.8%) based on diagnosis using indirect ELISA test for *Brucella* antibodies. Animals aged 1-4 years were more susceptible than animals less than one year old (Odds ratio [OR] of 3.7; 95% CI: 1.87-7.17). For cattle the odds of brucellosis sero-positivity were higher in rural areas compared to the other strata (OR of 2.8; 95% CI: 1.37-5.60) whereas for small ruminants the risk of sero-positivity appeared to be higher in urban areas (OR of 5.4; 95% CI: 1.41-20.88). At herd level, the risk of transmission of brucellosis was increased by transhumance (OR of 9.1; 95% CI: 5.06-16.30), the occurrence of abortions (OR of 4.5; 95% CI: 2.23-8.95), and by mixing newly arrived animals with other animals (OR of 1.8; 95% CI: 1.08-2.85). Consumption of raw milk by humans was found to increase the risk of brucellosis seropositivity (OR of 22.0; 95% CI: 2.59-186.83) compared to the consumption of pasteurized milk. One strain was isolated from the hygromas and identified as *Brucella abortus* biovar 3.

Conclusion: For effective control of brucellosis, an integrated approach should be promoted. A multi-sectorial approach involving all stakeholders working in public and animal health is recommended in a One health perspective.

1. Introduction

Worldwide, brucellosis remains an important disease in humans, domestic and wild animals [1]. It is an infectious disease caused by bacteria of the genus *Brucella* which comprises eight species ranked according to their pathogenicity and host preferences. Six of the eight species can be isolated from terrestrial mammals: *B. abortus*, *B. melitensis*, *B. suis*, *B. canis*, *B. ovis* et *B. neotomae* [2]. The disease is endemic in sub-Saharan Africa (SSA), with significant effects on economic and social conditions of people in this region [3]. Indeed, brucellosis has an important impact on health and productivity of livestock greatly reducing their economic value [4]. The epidemiology of brucellosis in SSA is complex and the individual prevalence varies across geographic regions and livestock systems [5]. The incidence of the disease is influenced by management factors, herd size, population density, type of animal breed and biological features such as herd immunity [6,7,8,9,10,11]. In West Africa, the rates of infection vary greatly from one country to another, within a country and production systems [12,13,14,15,16]. It is generally accepted that the prevalence of brucellosis is much higher in the pastoral grazing systems than the urban and periurban systems where herd sizes are smaller [5,10,17,18,19].

In Niger, brucellosis was first reported in 1953 in humans [20], but it was not until 1970 that the first preliminary serological studies were conducted to assess the prevalence of the disease in animals [21]. Since then, very little research has been conducted in order to assess the magnitude of, and risk factors for the disease transmission within different production systems. However, investigations at small scale by Akakpo et al. [12], Akakpo and Bornarel [22], Bloch and Diallo [13] in pastoral livestock systems of the country have confirmed the presence of brucellosis in cattle with higher apparent individual prevalence rates ranging between 1.4% and 30.9%.

The increased demand for animal products following the growth of the urban population and the depletion of food resources in pastoral areas due to climate change is forcing livestock keepers and their animals to move to the peripheral cities [23]. This has led in the decades to the development of a dynamic and complex livestock production system in the urban and suburban regions of Niamey city [24]. Breeders are in most cases installed on unhealthy and unmanaged land without adequate infrastructure to conduct their activities [25] Marichatou et al., 2005). Dietary habits of Niger population such as consumption of unpasteurized dairy products, close contact with infected herds and with contaminated environmental sources could be major risk factors that might promote the spread of *Brucella* infections [24,25,37,41]. The contribution of these and other factors to the epidemiology of brucellosis in livestock production systems in Niger is not yet known.

The aim of this project was therefore to determine at a larger scale the prevalence of brucellosis infection, using Enzyme-linked Immunosorbent assay (iELISA) in cattle, goats and sheep in the urban,

periurban and rural areas of Niger and to identify risk factors for infection both in human and livestock populations. In addition, we used some hygroma fluid to identify a field circulating strain of *Brucella*.

2. Materials and methods

2.1. Ethics statement

This study involves a questionnaire based survey of farmers as well as blood sampling from their animals. The study protocol was assessed and approved by the Niger National Advisory Committee on Ethics with reference number 010/2009/CCNE and by the Ministry of Agriculture and Livestock of the Republic of Niger with reference number 00109 on 28 January 2010. Participants provided their verbal informed consent for animal blood sampling as well for the related survey questions, according to the Niger procedures at the time of the study. Collection of blood samples was carried out by professional veterinarians adhering to the regulations and guidelines on animal husbandry. In each village, a meeting was held with the community members to explain the purpose of the study. Farmers were not forced to participate in the survey and animal blood sampling. Name, region and village of the farmers were registered. Paper questionnaires were encoded recorded in Excel and names were replaced by a code for analysis. Paper questionnaires are stored in Niger. The Niger National Advisory Committee on Ethics and the Ministry of Agriculture and Livestock approved the procedure.

2.2. The study area

The study zone was composed of three strata in accordance with the classification established by Boukary et al. [24]: the urban (Ur), the periurban (Pu) of Niamey and the rural areas (Ru) (**Fig 1**).

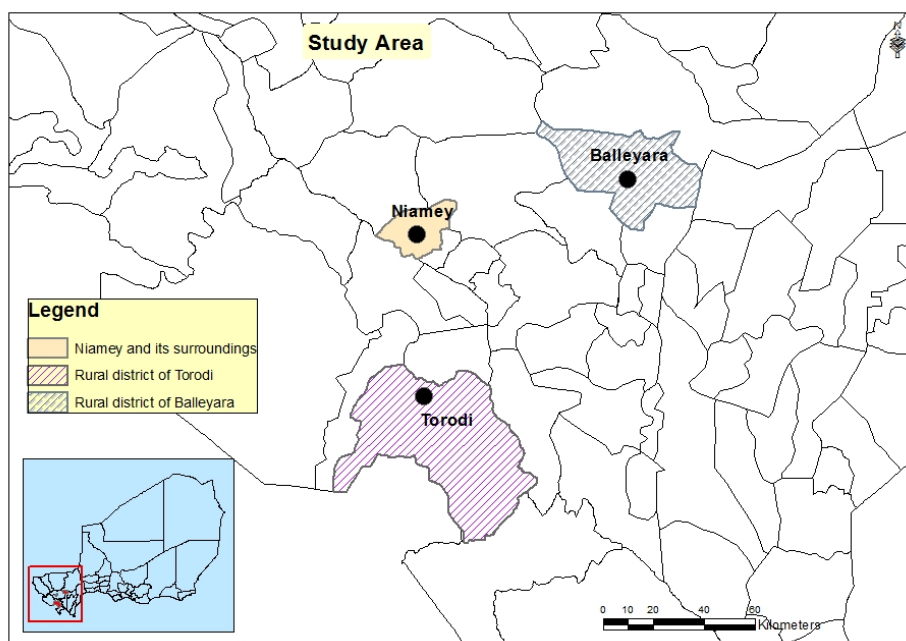


Figure 1: Location of the study areas in Niger.

The urban area was formed by the Urban Community of Niamey (UCN) located along the Niger River in the western part of the country, between 2° 10' and 2° 14' longitude E and 13° 33' and 13° 36' latitude N and covered an area of about 12,500 ha. Administratively, Niamey is divided into five districts and includes the villages in its close periphery. Demographically, Niamey like other large African cities has grown rapidly in recent decades with a very high population density. This city, which currently has nearly one million inhabitants, is expected to reach 2.5 million by 2025.

The periurban area covers a ray ranging from 5 to 25 km around the capital. It is populated by two groups of people:

- A population composed mainly of Fulani herders derived from a recent migration. The installation of this population around the capital was promoted by the development of the dairy industry and the increase in demand for milk [24]. They occupy makeshift homes generally subjected to inadequate measures of sanitation and hygiene. Their animal breeding strategy consists in keeping only lactating females and genitor males in the sites. The renewal of the animals is done from the main transhumant herd located mostly in rural areas of Balleyara and Torodi [24].
- The long-established resident population in villages neighbouring the capital.

For the rural area, two localities were considered in the study. These are the rural community of Balleyara located about 110 km northeast of the capital and the rural community of Torodi located 80 km southwest of Niamey at the border with Burkina Faso and Benin. From a climatic point of view these regions were relatively distinct:

- In Balleyara, rainfall is on average 300 mm/year. It is a mainly pastoral region where more than 90% of the working population keeps livestock. The livestock is composed of cattle, sheep, goats, camels, horses and donkeys.
- In Torodi, the climate is of the Sudanian type with an average annual rainfall of 750 mm. The southern part of Torodi is a forest area which houses the Niger part of the natural park of W common to Niger, Burkina Faso and Benin Republic. The northern part of the Department of Torodi is essentially a zone of agriculture and animal husbandry. In addition to the same animal species encountered in the area of Balleyara, people in Torodi also practice poultry and pig farming.

Torodi and Balleyara are the main rural poles which supply the city of Niamey with cattle, small ruminants and other animal products. These areas also house the main herds of breeders settled on the outskirts of Niamey. Studying the interactions between rural, urban and periurban areas through various exchange relationships between people and their herds seem very interesting in understanding

the mechanisms of transmission of zoonotic diseases such as brucellosis and justifies the inclusion of this rural strata in the present study.

2.3. Study design and data collection

The study took place between December 2007 and October 2008 within the three strata previously defined and was conducted in two phases. First, a cross-sectional household survey was carried out and secondly, blood sampling and hygroma fluid collection were performed on animals belonging to herds led by the households surveyed. These samples were used for laboratory analysis.

The cross-sectional household survey

Firstly, 45 sites were randomly selected from a roster of 375 sites identified within the three strata. In each study stratum, the approximate number of herds was listed with the assistance of local veterinary officers and farmers' leaders. Secondly, a total of 681 households keeping livestock were proportionately extracted within the 45 sites in order to control area-level confounders for herds (Table 1). In the study, herd means all animals reared within the household surveyed (i.e., ecosystem) and it was regarded as the primary sampling unit according to the study area. So, there were as many herds as households surveyed.

The questionnaire used in the face-to-face interview with the head of the selected households included questions related to risk factors for transmission of brucellosis both in animal and human. At the animal level, information was collected on species (goats, sheep, cattle), age (in years), and gender (male or female). At the herd level, the factors included: herd size (number of animals in the household), occurrence of abortion (yes/no). Whereas relative to the household, the factors were: practices related to livestock (acquisition modes of the animals by the household, method of rearing animals, handling of newly arrival animals, fate of dead animals or aborted foetuses), the social status of the household (native of the locality or migrant), feeding habits (type of dairy products usually consumed within the household). The variables are described in Table 2. The full questionnaire is available upon request from the corresponding author.

Blood sample collection and testing

Five thousand one hundred and ninety-two (5,192) serum samples and sixteen (16) hygroma fluid samples were collected from animals (Table 1). The blood sample collection was made during the face-to-face interviews with the head of the household.

The collected samples were stored in a deep freezer (-20°C) at the National Reference Laboratory for AIDS and Tuberculosis (NRL-HIV/TB) of Niamey (Niger), until they could be analysed at the National Reference Centre for Brucellosis, Veterinary and Agrochemical Research Centre (CODA-CERVA) in Belgium. All assays performed at CODA-CERVA are accredited (ISO 17025).

Serological testing

The iELISA technique was performed at CODA-CERVA as described by Limet et al. [26]. For procedural reasons, our samples were sent to Belgium 2 years after collection. Serological tests were conducted between September 2009 and February 2010.

Bacteriological testing

Directly and after 15 minutes' centrifugation at 3000 rpm, hygroma fluid samples were cultured according to the technique described by Alton et al. [27] and Bankole et al. [28]. A 15 locus VNTR typing was carried out according to Le Flèche et al. [29]. The 15 loci have been classified into two panels, panel 1 (eight minisatellite loci) and panel 2 (seven microsatellite loci). Panel 1 is composed of bruce06, bruce08, bruce11, bruce12, bruce42, bruce43, bruce45, bruce55, which are useful for species identification. Panel 2, which shows a higher discriminatory power, is composed of bruce04, bruce07, bruce09, bruce16, bruce18, bruce21 and bruce30 markers. The profile obtained from the MVLA was compared to other strain profiles using MVLA Public Databases (MLVAbank 2012).

2.4. Statistical analysis

Determination of the true prevalence of brucellosis

The estimation of the true prevalence (TP) of brucellosis at both the individual animal and herd levels was done using the formula proposed by Rogan and Gladen [30]:

$$\text{— TP} = (\text{AP} + \text{Sp} - 1) / (\text{Se} + \text{Sp} - 1)$$

where AP is the apparent prevalence; Se is the sensitivity and Sp is the specificity.

Because no prior data were available for Niger, the specificity (Sp) and sensitivity (Se) of the iELISA were the values of the study carried out on traditional livestock farming systems in Ivory Coast by Thys et al. [14].

The values of Se and Sp for the iELISA and their 95% confidence intervals based on this study were as follows:

$$\text{— Se: } 0.9639 \text{ (95\% CI: } 0.9272 - 0.9984)$$

— p: 0.9861 (95% CI: 0.9600 – 0.9989)

A herd was considered positive if at least one animal tested positive for *Brucella* antibodies by the iELISA test within the herd.

Risk factor analysis

The risk factor analysis was performed at the animal and herd/household levels. It should be noted that the data on the herd are combined and processed together with data on the household. In what follows, the ‘herd level’ denotes the analysis of factors collected at the household and herd-level. In addition, the individual animal level analysis was done separately for cattle and small ruminants. Initially, a univariate analysis was performed using a univariate random effects logistic regression model at the individual animal level as well as at the herd level. The individual animal level model used as response, the brucellosis status of the animals and each animal level risk factor or indicator variable in turn as explanatory variables whereas the herd level model used as response, the herd level brucellosis status and corresponding herd level risk/indicator factors as covariates.

For the individual animal level analysis, herd was used as random effect to account for potential clustering of animals within herds whereas site location was used as a random effect for the herd level analysis to account for the effects of clustering of herds within sampling sites. At the individual animal level and at the herd level, the variable representing the three strata was forced into the model to account for variations in prevalence across strata.

Variables with a p-value < 0.20 in the univariate analysis were further evaluated in a multivariable random effects logistic regression analysis. A manual forward stepwise selection approach was applied to choose the final model. In the first step of this approach, univariate models were built for each covariate. The best univariate model was selected based on the AIC values (the smaller the better). The remaining variables were then added each in turn to the best univariate model to form two-variable models. The best two-variable model was selected as that with the smallest AIC among the two-variable models. This procedure was repeated until the addition of one more variable failed to improve the model fit; in other words once the AIC started to increase or remained constant. The model with the smallest AIC was considered to be the most appropriate model for the data.

The effects of confounding were investigated by observing the change in the estimated odds ratios of the variables that remain in the model once a non-significant variable is removed. When the removal of a non-significant variable led to a change of more than 25% of any parameter estimate, that variable was considered a confounder and was not removed from the model.

Multicollinearity was assessed among the independent variables using the Cramer’s phi prime statistic which expressed the strength of the association between two categorical covariates. Values

>0.7 were indicative of co-linearity and in this case only the variable most significantly associated with the response was kept in the model [31].

All two-way interaction terms of the variables remaining in the final model were assessed for significance based on the likelihood ratio test comparing the model with the desired interaction term and the corresponding model with no interaction terms.

The intra-class correlation coefficient (ICC), which is a measure of the degree of clustering of animals belonging to the same herd or of herds belonging to the same site, was computed. In random effects logistic regression models, the individual level variance σ^2 on the logit scale is usually assumed to be fixed to $\pi^2/3$ [32]. The variability attributed to differences between herds was given by:

$$ICC_{Herd} = \frac{\sigma_{INT:Herd}^2}{(\sigma_{INT:Herd}^2 + \pi^2/3)}$$

whereas that between sites was computed as:

$$ICC_{Site} = \frac{\sigma_{INT:Site}^2}{(\sigma_{INT:Site}^2 + \pi^2/3)}$$

If the ICC is low or zero in either case, it implies that the animals within herds or the herds within sites are independent (there is no clustering) of each other and therefore random effects should not be included in the analysis. On the contrary an ICC close to 1 implies that there is high between herd or between site heterogeneity implying the clustering of individual animals within herds or clustering of herds within sites respectively [33].

The models were built using the `xmlogit` function in STATA, version 12.1, software (SataCorp LP, College station, Texas). Model selection was done using Laplacian approximation whereas parameter estimates from the final model were obtained using Adaptive Gaussian Quadrature [34]. The robustness of the final model was assessed by increasing the number of Quadrature (integration) points and monitoring changes in parameter estimates [35].

3. Results

3.1. Herd structure

The study included a total of 5,195 animals composed of 3,170 cattle, 1,186 sheep and 839 goats. These animals belonged to 681 herds which in turn were nested within 45 sites (9 in the urban region, 13 in the peri-urban region and 23 in the rural area). Regardless of region of origin it was found that the herds were mixed and included the three species (cattle, sheep and goats). However, in the urban and peri-urban areas, cattle were the most numerous. They were respectively 72% and 78% of the herds which showed that these farms were mainly oriented to dairy production. In rural pastoral areas, herds were more balanced with 38% of cattle, 33% sheep and 29% goats (**Table 1**).

Table 1: Total number of herds surveyed and animals tested in the urban (Ur), peri-urban (Pu) and rural areas (Ru) of Niger

Variable	Ur	Pu	Ru	Total
<i>Data on herds surveyed</i>				
- Number of sites indentified	19	131	225	375
- Number of sites selected	9	13	23	45
- Number of herds (households interviewed)	239	215	227	681
<i>Data on animals tested</i>				
- Cattle	973	1,473	724	3,170
- Sheep	216	320	650	1,186
- Goats	106	150	583	839
Total number of animals tested	1,295	1,943	1957	5,195

3.2. *Brucella* seroprevalence results and potential risk/indicator factors associated with animal and herd level sero-prevalence of brucellosis based on univariate random effects logistic regression analysis

Of the 5,195 sera examined, 2.6% tested positive for iELISA (137/5195, 95% CI: 2.2 - 3.1%). The estimated overall individual animal-level true prevalence in the study population was 1.3% (95% CI: 0.9 - 1.8%) (**Table 2**). The prevalence of brucellosis was highly variable among the animal species considered. It was significantly higher in cattle compared to small ruminants ($P < 0.001$).

Brucellosis prevalence was observed to vary according to strata. In cattle, it was significantly higher in rural areas ($P < 0.05$) with a true prevalence (TP) of 4.5% (95% CI: 2.9 - 6.5%) against 2.4% and 2.8% in urban and peri-urban areas respectively. For small ruminants, the prevalence of brucellosis also varied significantly ($P < 0.05$) according to the strata. In sheep, the overall true prevalence of brucellosis was 3.4% (95% CI: 0.9 - 7.3%) in urban areas where it is higher than in periurban and rural areas (**Table 2**).

The results of the univariate analysis which was based on random effects models correcting for animal level clustering indicated that at the individual animal level, age was significantly associated with brucellosis seropositivity for cattle ($P < 0.05$) (**Table 3**). In general, it was observed that the prevalence of brucellosis was significantly higher in older animals compared to young animals ($P < 0.5$). Animals aged between 1 and 4 years appeared more at risk than young animals and animals older than 4 years.

The effects of gender could not be evaluated using the random effect logistic regression model, because there were no positive cases among males. However, a univariate analysis was performed using Firth's logistic regression analysis. Firth's logistic regression analysis was used in place of the traditional exact logistic regression analysis to overcome the computational limitations and convergence issues caused by the sparseness (separation) of the data. The method uses penalized maximum likelihood (PML), which is carried out iteratively until model convergence to estimate the associated odds ratios, standard errors, and 95% confidence intervals [36]. The results indicated that gender was not significantly associated with brucellosis seropositivity among small ruminants but since the p-value was < 0.20 it was considered as a potential risk factor to be included in the multivariable analysis (**Table 3**).

At the herd level, the estimation of the true prevalence of brucellosis across the three strata indicated that 91 out of 681 herds investigated (13.7%) were found to be maintaining infected animals

(Table 2). The true herd prevalence (THP) of brucellosis ranged between 11.8% and 13.8% according to the area in consideration. The univariate random effects logistic regression analysis with a random effect for site and a fixed effect for strata, revealed that the herd level risk factors herd composition, transhumance, milk consumption, abortion in the herd, handling of newly arrived animals, herd size and origin of herds, all appeared to be highly significantly associated with the herd level brucellosis sero-positivity ($P < 0.05$) (**Table 4**). On the other hand, the herd level risk factors; acquisition of animals and handling of dead animals were not significant at the 5% level but since their p-values were ≤ 0.20 , they were considered as candidate risk factors to be included in the multivariate random effects model.

Table 2: Apparent prevalence (AP) and estimated true prevalence (TP) of brucellosis at the individual animal and herd levels

Species	Gender	N	Positive	Urban				Periurban				Rural							
				Apparent Prevalence (%)		True estimated Prevalence* (%)		Apparent Prevalence (%)		True estimated Prevalence* (%)		Apparent Prevalence (%)		True estimated Prevalence* (%)					
				AP	95% CI	TP	95% CI	AP	95% CI	TP	95% CI	AP	95% CI	TP	95% CI				
Cattle	Female	908	26	2.9	2.1 - 4.6	1.6	0.7 - 3.4	1337	32	2.4	1.6 - 3.4	1.1	0.2 - 2.1	649	36	5.5	3.9 - 7.6	4.4	2.6 - 6.5
	Male	65	1	1.5	0.04 - 8.3	0.2	0 - 7.3	136	3	2.2	0.5 - 6.3	0.9	0 - 5.2	75	5	6.7	2.2 - 14.9	5.6	0.9 - 14.2
	Total	973	27	2.8	2.0 - 4.3	1.5	0.6 - 3.1	1473	35	2.4	1.7 - 3.3	1.0	0.3 - 2.0	724	41	5.7	4.1 - 7.6	4.5	2.9 - 6.5
Sheep	Female	206	10	4.9	2.4 - 8.7	3.6	1.1 - 7.7	274	3	1.1	0.2 - 3.2	-	0 - 1.9	575	17	3.0	1.7 - 4.7	1.6	0.3 - 3.5
	Male	10	0	-	-	-	-	46	0	-	-	-	-	75	0	-	-	-	-
	Total	216	10	4.6	2.2 - 8.3	3.4	0.9 - 7.3	320	3	0.9	0.2 - 2.7	-	0 - 1.4	650	17	2.6	1.5 - 4.8	1.3	0.1 - 3.6
Goats	Female	95	1	1.1	0.03 - 5.7	-	0 - 4.5	133	0	-	-	-	-	535	3	0.6	0.1 - 1.6	-0.0	0 - 0.2
	Male	11	0	-	-	-	-	17	0	-	-	-	-	48	0	-	-	-	-
	Total	106	1	0.9	0.02 - 5.1	-	0 - 3.9	150	0	-	-	-	-	583	3	0.5	0.1 - 1.5	-	0 - 0.1
Herd	Total	227	33	14.5%	10.2 - 19.8	13.8	9.3 - 19.4	215	27	12.6	8.4 - 17.7	11.8	7.4 - 17.4	239	33	13.8	9.7 - 18.8	13.1	8.7 - 18.4

Legend: * According to the formula proposed by Rogan and Gladen [30].

Table 3: Potential risk/indicator factors associated with individual animal-level brucellosis seropositivity among 5195 animals nested within 681 herds. The model accounted for the survey design effects by incorporating a random effect for herd and by forcing the variable representing strata as a fixed effect in the model.

Variable	Number tested (Positive)	% Positive (95% CI)	Odds ratio/95% CI
<i>Cattle</i>			
Strata*			
<i>Periurban</i>	1473 (35)	2.4(1.7-3.3)	1 (Ref.)
<i>Urban</i>	973 (27)	2.8(1.8-4.0)	1.3 (0.54-2.67)
<i>Rural</i>	724 (41)	5.7(4.1-7.6)	2.8 (1.37- 5.60)
Age (years)***			
≤ 1	912 (16)	1.8 (1.0-2.8)	1 (Ref.)
>1 and <4	1307 (61)	4.7(3.6-6.0)	3.7 (1.87-7.17)
≥ 4	951 (26)	2.7(1.8-4.0)	1.7 (0.83-3.68)
Gender			
Bull	276 (9)	3.3 (1.5-6.1)	1 (Ref.)
Cow	2894 (94)	3.2 (2.6,4.0)	1.1 (1.53-2.36)
<i>Small ruminants (sheep and goats)</i>			
Strata*			
<i>Peri-urban</i>	470 (3)	0.6 (0.1-1.9)	1 (Ref.)
<i>Urban</i>	322 (11)	3.4 (1.7-6.0)	5.4 (1.41- 20.88)
<i>Rural</i>	1233 (20)	1.6 (1.0-2.5)	2.4 (0.68- 8.56)
Age (years)			
≤ 1	318 (4)	1.3 (0.3-3.2)	1 (Ref.)
>1 and <4	723 (12)	1.7 (0.9-2.9)	1.3 (0.55-3.14)
≥ 4	984 (18)	1.8 (1.1-2.9)	2.1 (0.79-5.69)
Gender+			
Male	207 (0)	0.0 (0-1.8)	1 (Ref.)
Female	1818 (34)	1.9 (1.3-2.6)	8.0 (0.94-131.35) ^{exact}

***: <0.001 ; **: <0.01 ;*: <0.05 ; + >0.05 and <0.20 . Exact: estimates based on Firth's logistic regression model; Ref: reference group.

Table 4: Potential risk factors associated with herd level seroprevalence of brucellosis based on a univariate random effects model with strata forced in as a fixed effect and site as a random effect

Variable code	Level	Odds ratio	95% C.I
Herd Composition***	Animal species that occur within the herd belonging to the herd surveyed		
	<i>1: Cattle</i>	1	Ref.
	<i>2: Cattle + Sheep or Goat</i>	4.8	(1.20-19.46)
	<i>3: Sheep or Goat</i>	3.3	(0.92-12.00)
	<i>4: Cattle+Sheep+Goat</i>	8.9	(2.58-30.90)
Herd size ***	Number of animals owned by the herd	1.0	(1.01-1.02)
Abortion ***	Presence of females who aborted among the animals belonging to the herd surveyed		
	<i>1: No</i>	1	Ref.
	<i>2: Yes</i>	4.5	(2.23-8.95)
Acquiring animals +	Acquisition modes of the animals by the herd		
	<i>1: Heritage</i>	1	Ref.
	<i>2: Fostering</i>	1.2	(0.34- 4.69)
	<i>3: Purchase</i>	1.7	(0.80- 3.72)
	<i>4: Mix</i>	2.7	(1.32- 5.65)
Transhumance***	Method of rearing animals of sedentary type (<i>not migratory : No</i>) or nomadic (<i>transhumant : Yes</i>)		
	<i>1: No</i>	1	Ref.
	<i>2: Yes</i>	9.1	(5.06-16.30)
Handling*	Handling of newly arrival animals (<i>mixed with other animals or quarantined</i>)		
	<i>1: Quarantined</i>	1	Ref.
	<i>2: Mixed</i>	1.8	(1.08- 2.85)
Dead animals +	Fate of dead animals or aborted fetuses		
	<i>1: Buried</i>	1	Ref.

	2: <i>Discarded in the environment</i>	1.4	(0.74- 2.69)
Native***	Origin of the herd surveyed : native of the locality (<i>Yes</i>) or migrant (<i>No</i>)		
	1: <i>Yes</i>	1	Ref.
	2: <i>No</i>	4.3	(2.15- 8.64)
Milk consumption **	Type of dairy product usually consumed within the household		
	1: <i>Pasteurized milk</i>	1	Ref.
	2: <i>Powdered milk</i>	4.4	(0.33- 57.83)
	3: <i>Unpasteurized milk</i>	22.0	(2.59- 186.83)

Sero-prevalence: Having or not at least one animal testing positive by Elisa-test within the herd (1 or 0). Strata: Stratum in which the investigations took place (*Urban, Periurban, Rural*). Site: Means the village, hamlet or the district selected for the study within the different strata. Herd: Herd surveyed within the different sites. ***:<0.001; **:<0.01; *:<0.05; +>0.05 and <0.20; Ref.: reference group.

3.3. Multiple random effects logistic regression model

The results of the multivariable random effects logistic regression analysis at the individual animal-level indicated that for cattle, the variables representing strata and age were important risk factors whereas for small ruminants, only the variable representing strata was found to be important (**Table 5**). On the other hand, out of the 9 potential risk factors initially considered in the multiple random effects logistic regression model (transhumance, milk consumption, abortion in the herd and herd size) were included in the final herd level model (**Table 6**). None of the two-way interaction terms were statistically significant ($p>0.05$). No evidence of confounding was present and the estimated Cramer's phi prime statistic values were all less than 0.7 indicating no important correlations between the independent variables. Increasing the number of quadrature points had no influence on the estimated fixed effects and the variance component parameters indicating that the models were robust.

The variance components of the final model for cattle indicated that the ICC for herd was $ICC_{HERD} = 0.27$ and for small ruminants $ICC_{HERD} = 0.07$. The substantial ICC for cattle implies that there is considerable between-herd heterogeneity and thus clustering of animals within herd whereas for small ruminants the low ICC implies that the animals within herd are independent (there is no clustering). The ICC for the herd-level data was 0.34 suggesting that there is considerable clustering of

herds within sites. The considerable cattle-level clustering and herd-level clustering demonstrates the potential for herd-level and site-level interventions to influence brucellosis seropositivity.

From the final model for cattle (**Table 5**), it can be seen that the odds of brucellosis sero-positivity were significantly higher in rural areas as compared to periurban areas with an OR of 2.8. In addition, for cattle between 1 and 4 years old the odds of brucellosis seropositivity were 2.7 times higher compared to those that are 1 year old. For small ruminants, the odds of brucellosis seropositivity were significantly higher in urban areas as compared to periurban areas with an OR of 5.5.

At herd level, the final multivariable model (**Table 6**) yielded that the odds of brucellosis seropositivity were higher for households which consumed unpasteurized milk (OR of 33.4) compared to those which consumed pasteurized milk. For households that reported the presence of abortions in the herd, the odds of seropositivity were 4.1 times higher as compared to households which did not report the occurrence of abortions. Also for herds that reported the practice of transhumance, the odds of sero-positivity were 6.2 times higher compared to those that did not practice transhumance.

Table 5: Final model of individual animal-level risk factors associated with brucellosis seropositivity among cattle and small ruminants. The animals were nested within herds. The model accounted for the survey design effects by incorporating random effects for herd and by forcing the variable representing strata as a fixed effect in the model

Variable code	Level	Odds ratio	95% C.I
Cattle			
Strata	<i>Periurban</i>	1	Ref.
	<i>Urban</i>	1.4	(0.73- 2.62)
	<i>Rural</i>	2.8	(1.48-5.17)
Age (years)			
	≤ 1	1	Ref.
	>1 and <4	2.7	(1.43-5.28)
	≥ 4	1.2	(0.59-2.60)
Random effects		SE	95% CI
Herd level variance	1.20	0.45	(0.57-2.50)
Small ruminants			
Strata	<i>Periurban</i>	1	Ref.
	<i>Urban</i>	5.5	(1.48- 20.38)
	<i>Rural</i>	2.4	(0.70- 8.50)
Random effects		SE	95% CI
Herd level variance	0.26	0.42	(0.01- 6.13)

Legend: Ref.: reference group.

Table 6: Final model of herd-level risk factors associated with brucellosis sero-positivity among 681 herds which nested within 45 sites. The sites were nested within 3 strata (Rural, Urban and Periurban). The model accounted for the survey design effects by incorporating random effects for site and by forcing the variable representing strata as a fixed effect in the model.

Variable code	Level	Odds ratio	95% C.I
Strata	Stratum in which the investigations took place		
	<i>Periurban</i>	1	Ref.
	<i>Urban</i>	2.1	(0.62- 6.97)
	<i>Rural</i>	3.6	(0.82- 15.96)
Herd size	Number of animals in the herd	1.0	(1.01-1.02)
Abortion	Presence of females who aborted among the animals belonging to the herd surveyed		
	<i>No</i>	1	Ref.
	<i>Yes</i>	4.1	(1.83- 9.07)
Transhumance	Method of rearing animals of sedentary type (<i>not migratory : No</i>) or nomadic (<i>transhumant : Yes</i>)		
	<i>No</i>	1	Ref.
	<i>Yes</i>	6.2	(3.23-11.93)
Milk consumption	Type of dairy product usually consumed within the household		
	<i>Pasteurized milk</i>	1	Ref.
	<i>Powdered milk</i>	6.0	(0.36- 98.09)
	<i>Unpasteurized milk</i>	33.4	(3.36- 332.62)
Random effects		SE	95% CI
Site level variance	1.73	0.72	(0.77- 3.89)

Legend: Ref.: reference group.

3.4. Strain typing and identification

Of the 16 hygroma samples collected and cultured, only one was positive after 3 days of incubation and showed round (1–2 mm diameter), convex colonies with entire edges and smooth shiny surfaces. Colonies required CO₂ for growth, produced H₂S and grew in the presence of basic fuchsin, thionin and safranin. The determination of biotype was based on the results of four tests: hydrogen sulphide production, agglutination by monospecific anti-A and anti-M sera, growth in the presence of dyes, and carbon dioxide requirement. The profile of this isolate was classified as *B. abortus* biovar 3, according to the Corbel and Brinley-Morgan [48] classification. The number of tandem repeats for each locus is shown in **Table 7**. Considering only the first panel, this profile appeared to be related to *B. abortus* biovar 3 reference strain Tulya and dromedary strain BCCN 93_26 from Uganda (Le Flèche_2006). This type is also close to *B. abortus* biovar 3 strain BCCN 93_26 from Sudan (Le Flèche_2006), *B. abortus* biovar 3 strain 11-KEBa2, 14-KEBa2 and 15-KEBa2 from Kenya (Muendo_2011) and *B. abortus* biovar 3 reference strain Tulya (Ferreira_2012). The relationship between these strains and our isolate is shown in **Fig 2**.

Table 7: The Multiple Loci Variable Number Tandem Repeats analysis (MLVA) profiles showing number of variable tandem repeats (VTR) for a *B. abortus* biovar 3 isolate from Niger (Queried Strain) and its closest MLVA neighbour profile: *B. abortus* biovar 3 reference strain Tulya from Uganda, *B. abortus* biovar 3 strain BCCN 93_26 from Sudan, *B. abortus* biovar 3 strain 11-KEBa2 from Kenya, *B. abortus* biovar 3 strain 14-KEBa2 from Kenya, *B. abortus* biovar 3 strain 15-KEBa2 from Kenya and *B. abortus* biovar 3 reference strain Tulya (Ferreira, 2012) .

	Strain	REF Tulya	BCCN 93- 26	11-KEBa2	14-KEBa2	15-KEBa2	REF Tulya	Queried Strain	
	Host	human	dromedary	cattle	cattle	cattle	cattle	cattle	
	Publication	Le Flèche 2006	Le Flèche 2006	Muendo 2011	Muendo 2011	Muendo 2011	Ferreira 2012	This study	
	Country	Uganda	Sudan	Kenya	Kenya	Kenya	-	Niger	
VTR	bruce06	3	3	3	3	3	3	3	
	bruce08	5	5	5	5	5	5	5	
	Panel 1	bruce11	4	4	4	4	4	4	3
		bruce12	11	11	11	11	11	11	11
		bruce42	2	2	2	2	2	2	2
		bruce43	2	2	2	2	2	2	2
		bruce45	3	3	3	3	3	3	3
		bruce55	3	3	3	3	3	3	3
VTR		bruce18	8	6	7	7	7	8	8
	bruce19	40	40	40	40	40	42	21	
	Panel 2	bruce21	8	8	8	8	8	8	8
		bruce04	6	6	6	6	6	6	6
		bruce07	5	8	5	5	5	5	2
		bruce09	3	3	3	3	3	3	3
		bruce16	11	7	12	12	12	11	12
		bruce30	5	7	5	5	5	5	7

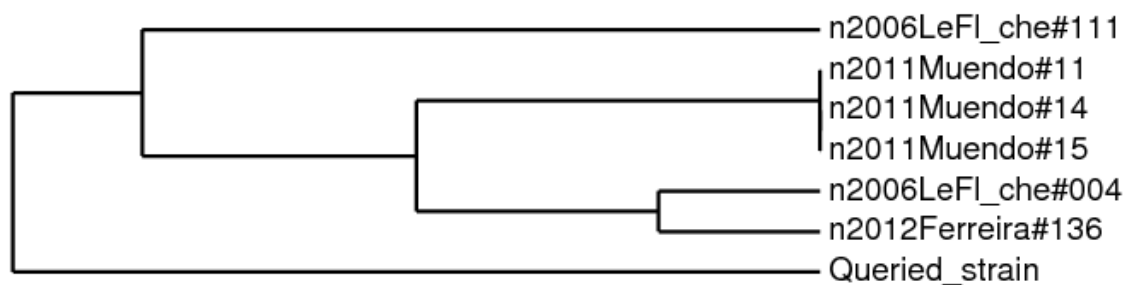


Figure 2: Clustering analysis of a field strain of *Brucella abortus* 3 from Niger (Queried_Strain) with field and reference strains in the *Brucella* multiple loci variable number tandem repeats analysis (MLVA) database (MVLABANK, 2012) using panels 1 and 2. The data are given in columns from left to right: year of isolation and ‘alias’.

4. Discussion

The current study investigated the seroprevalence of brucellosis and factors influencing variations in the seropositivity at individual animal and herd levels in the urban (Ur), periurban (Pu) and rural (Ru) areas of Niger. The results indicated that the disease exists in Niger and herd level seroprevalence varied by abortion status of the herd, herd size and method of rearing animals.

Overall, regarding the prevalence of brucellosis, it should be noted that due to lack of unbiased data and standardized method to estimate the seroprevalence in Niger and across the West African sub-region, comparing our findings with those from other studies should be made with caution. Among the 5,195 animals studied, the overall apparent prevalence (AP) of brucellosis was 2.6% (95% CI: 2.2 - 3.1%). After adjustment based on studies conducted under similar conditions [14], we found an overall individual animal-level true prevalence of 1.3%. The apparent prevalence rate was low compared with that obtained in other studies conducted in Niger, at a small scale. Indeed, using the Rose Bengal Test (RBT), Akakpo et al. [12] found an AP rate of brucellosis of 27.7% in the Kirkissoye ranch around Niamey, while Bloch and Diallo [13] reported an AP rate ranging from 3.7%, and 9.5%. Similarly, using RBT, Boukary et al. [37] reported an AP rate of brucellosis comprised between 2.4 and 5% in smallholder dairy cattle herds in the urban and periurban areas of Niamey. The difference in prevalence observed between our results and those obtained in other studies may be partly explained by the methodology used in developing the study protocol. In fact, in some studies, the lack of sampling frames or their imperfection does not allow to achieve representative sampling [38]. Another important issue is the difference in sensitivity and specificity of serological tests used for screening. This factor contributes to the variability of results among researchers [5,6,39,40]. The reported high prevalence in the other studies might be due to false-positive serum reactions [10]. The

RBT used for screening individual animals at national-local-level is cheap, rapid and highly sensitive [1]. However, its specificity is low because the smooth lipopolysaccharides of the *Brucella* antigen can cross-react with antibodies from closely related Gram-negative bacteria such as *Yersinia enterocolitica* O:9, *Escherichia coli* O:157, *Salmonella spp.*, and *Sternotrophomonas maltophilia* as well as antibodies produced by *B. abortus* S19 vaccine [27,39,40].

Our results showed that the risk of transmission of brucellosis in animals at the individual and herd level vary significantly depending on the strata. This is in agreement with the results found by several authors who also found within the same country wide variations in the prevalence of brucellosis related to the production systems [5,7,15,16,18]. In cattle, we found that that the risk of brucellosis seropositivity was higher in rural areas compared to periurban and urban areas. The reason for the higher prevalence in the rural areas was probably due to the fact that in this area, free animal movement is common [24,37]. It is now well documented that the dynamics and frequent migration of pastoral herds might increase the chance of coming into contact with other potentially infected herds and exposure to geographically limited or seasonally abundant diseases [7,11,12,16,41]. Considering the contagious nature of *Brucella* species, sharing grazing land and drinking water facilitate transmission of the disease [8,9,10]. Another factor that may explain the high sensitivity of cattle to *Brucella* spp. in rural areas is linked to the composition of herds in these areas. We also found that the herds are more balanced and have almost as many animals for the three species studied in the rural areas, while in the urban and periurban areas bovines are more abundant than small ruminants. Although the factor "herd composition" is not retained in our final model, our results based on a univariate random effects model showed that the risk of contamination increases sharply in mixed herds. We find that the odds of brucellosis seropositivity was 8.9 times higher in herds containing cattle, sheep and goat compared to herds composed only of cattle. This is in agreement with Holt et al. [31] and Megersa et al. [11] who found that cattle kept in a household with sheep and goats had higher risk of testing positive for *Brucella* spp. compared to those with only cattle.

Considering the strata, our results showed that the odds of testing positive to brucellosis in cattle were significantly higher in the rural areas. This difference in susceptibility to brucellosis in cattle in the rural area compared to the periurban area could be explained by the difference in management. Indeed, the population of periphery of Niamey is composed of more than 80% Fulani, resulting from a recent migration due to climate change and its consequences such as drought and degradation of living standards of rural populations [24]. By settling in the outskirts of Niamey, these populations of rural origin have developed a new strategy for dairy production which involves keeping only animals in production (dairy cows in early stage of gestation or in lactation) the rest of the herd being kept in rural areas [24]. The low prevalence of brucellosis in cattle in periurban could be linked to this breeding strategy because only apparently healthy animals are selected for milk production [41]. This

is in agreement with our results because we found that the seroprevalence of brucellosis increases with the incidence of abortions. Indeed, we found that the odds of seropositivity were 4.1 times higher in the herds where the presence of abortions was reported as compared to those which did not report the occurrence of abortions. These results are consistent with those reported by several authors who also found that the prevalence of brucellosis within herds is positively correlated with the incidence of abortions in females [6,42,43].

Contrary to what we observed in cattle, the risk of infection with brucellosis in small ruminants was much higher in urban compared to rural and periurban areas. Indeed, we found that in small ruminants the odds of brucellosis seropositivity were 5.4 times higher in urban compared to periurban areas. The high sensitivity of small ruminants in urban areas would also be related to a difference in management. In urban areas, small ruminants play a very important economic role. For many households, keeping sheep and goats is a way of saving money [25]. Males are kept separately within the households where they are fed with forage complemented with kitchen waste. Their market value is much higher than that of females and they are usually sold on the market when there is a need for cash or are slaughtered during religious ceremonies [23]. This explains the low number of males in the samples used in our study and also their low susceptibility to brucellosis infection. Unlike rural areas where herds are usually mixed, urban flocks are in most cases separated from cattle. Females of the different small ruminant flocks are typically collected by a shepherd who brings them to the pasture [24,25]. These specific conditions of raising small ruminants in urban areas promote aggregation of animals within neighborhoods, pastures and water points, favoring the transmission of the disease ([11,41,44]).

Transhumance is a typical livestock system in Niger. This practice is much more pronounced in pastoral areas where large herds have to run long distances searching for pasture and water points [12,21,24,25]. We observed that the risk of contracting the disease increases significantly in herds with high mobility. Indeed, our results showed that for herds included in transhumance, the odds of seropositivity were 9.1 times higher compared to those that did not practice transhumance. Similarly, our results showed that herd size was linked to *Brucella* seropositivity ($P < 0.001$) and that the risk of contamination was much higher in large herds compared to those with a limited number of animals. These results corroborated those of several other authors who found that the prevalence of brucellosis was higher in herds with large numbers of animals and with high mobility ([6,10,38,44]). We also found that the OR of having animals tested positive for brucellosis is 4.3 times higher in herds owned by migrants compared to those possessed by the sedentary populations. In Niger, the history of migration is closely linked to that of transhumance. Under pressure from repeated drought and

deterioration of their livelihoods, pastoralists tend increasingly to become sedentary [25]. These people usually are installed on marginal lands where sanitation and hygiene infrastructures are generally lacking [24]. The absence of veterinary services brings these migrants to assist themselves pregnant or aborted females [24]. This will expose them to a higher risk of dissemination and transmission of the disease.

In this study, the prevalence of brucellosis in cattle was highly correlated with the age of the animals. Indeed, for cattle between 1 and 4 years old, odds of brucellosis seropositivity were 3.7 times higher compared to those that are 1 year old or younger. The high sensitivity of animals between 1 and 4 years old could be explained by the fact that due to their physiological status, these animals are more mobile and therefore more exposed to infection by *Brucella* within the transhumant herds. Animals less than one year old are generally kept in the household together with lactating females. According to many researchers [12,18,45,46,47] the risk of infection of brucellosis increases with the age of animals.

At the household level, our results showed that mixing of newly arrived animals into the herd is highly correlated with brucellosis seropositivity. Females infected with *Brucella spp.* excrete high concentrations of the organism in their milk, placental membranes and aborted fetuses [49]. Therefore, there is a high risk of transmission of the pathogen between animals and from animals to humans through direct contact with contaminated material such as foetal membranes, aborted fetuses and other animal products. According to an investigation conducted in the periurban and rural areas of Niger by Boukary et al. [41], it seems that due to the lack of veterinary services, farmers assist in delivering cows without gloves or masks, which puts them at high risk of infection with *Brucella*.

Consumption of raw milk and unpasteurized dairy products is another major factor in the transmission of brucellosis. Indeed, our results showed that the odds of brucellosis seropositivity were very high within pastoralist households who consumed raw milk compared to those who consumed pasteurized milk. This is in accordance with the findings of several other authors who reported that handling and consumption of unpasteurized dairy products or contaminated food promote transmission of the disease [17,50].

Another objective of this study was to identify strains of *Brucella spp* circulating in Niger. Out of the 16 hygrogram samples collected and analyzed, one sample was found positive after culture and *Brucella abortus* biovar 3 was isolated. We were not able to isolate *Brucella* from the remaining 15

samples analyzed, although they were collected from animals tested positive for iELISA. This can be explained by the fact these samples would probably not contain enough germs to allow their isolation. Another reason is that the shelf life and transport conditions of samples may have a negative effect on the survival of *Brucella*. Indeed our hygroma samples were collected between December 2007 and October 2008. They were kept during 2 years at -20° C prior to shipment to Belgium, where they were analyzed. Possible electric power outages during storage, thawing of samples during transport and handling may have affected the quality of the hygroma liquid. The difficulty of isolating *Brucella* from hygroma fluids under similar conditions to ours has already been mentioned by Bankole et al. [28].

Our *Brucella* isolate shows the same characteristics as those already isolated in Niger by Akakpo et al. [12]. In fact, strains of *Brucella abortus* isolated in Africa are known to grow slowly, to be sometimes negative on the oxidase test and to have a specific oxidative pattern [51]. This finding is similar to the results obtained by several authors in West and Central Africa who reported the presence of *B. abortus* biovar 3 or intermediate 3/6 [12,22,28,38,44]. So, *Brucella abortus* biovar 3 is very common in Africa. Considering the panels of MLVA profile, our isolate profile appeared to be related to *B. abortus* biovar 3 strains isolated in Uganda and Sudan [29] and those isolated in Kenya [52]. The profile also appeared to share some similarities with *B. abortus* biovar 3 reference strain Tulya isolated by Ferreira et al. [53].

In conclusion, the present study confirms the existence of brucellosis in cattle, sheep and goats from the three studied strata. It highlights the presence of *Brucella abortus* biovar 3 and stresses the risk factors for spread of the disease both within animals and between animals and humans. These risk factors are related to the complexity of interactions that exist within and between the different production systems and the different practices observed in urban, periurban and rural areas. At present, there is no officially coordinate program control of brucellosis in Niger. The role played by the disease in limiting livestock production and its economic impact on the livestock industry in Niger is not yet been evaluated. Measures including selective vaccination programme in herds with high prevalence combined with the slaughtering of known infected animals (*test and slaughter*) in herds with low infection rates can be considered [50]. For effective control of this disease in the context of sub-Saharan Africa, an integrated approach should be promoted that takes into account the relationship between humans, animals and environment. A multisectorial framework involving physicians, veterinarians, and all the stakeholders working in public and animal health in the context of a “One Health” approach is recommended

Acknowledgements

The authors thank the staff of VAR-Belgium for their contribution in the laboratory tests.

They thank also the NGO Karkara, the association of farmers Gajel Sudu-Baba, the Central Laboratory of livestock in Niamey, municipal services of Torodi, Balleyara and Niamey and VSF-Belgium for their contribution to the experiments in the field.

References

- [1] OIE (2009) Bovine brucellosis. Manual of Diagnostic Tests and Vaccines for Terrestrial Animals, Paris, France, pp. 1–35. Available http://www.oie.int/fileadmin/home/eng/health_standards/tahm/2.04.03_bovine_brucell.pdf. Accessed 11 January 2013.
- [2] Halling SM, Young EJ (1994) Brucella. In : Hui Y. H., Gorham J. R., Murrell K. D., Cliver D. O. (Eds). Foodborne Disease Handbook – Disease caused by bacteria. New York: Marcel Dekker, INC. pp 63-69.
- [3] FAO (2009) FAOSTAT, Food and Agricultural Organization Statistic Division. <http://faostat.fao.org/site/573/DesktopDefault.aspx?PageID=573#ancor>. Accessed 31 August 2011.
- [4] Ly C (2007) Santé animale et pauvreté en Afrique. In : Ahmadou Aly Mbaye, David Roland-Holst, Joachim Otte (Eds), Agriculture, élevage et pauvreté en Afrique de l’Ouest. Rome : CREA-FAO. pp 71-85.
- [5] Mangen MJ, Otte J, Pfeiffer D, Chilonda P (2002) Bovine brucellosis in Sub-saharan Africa: Estimation of ser-prevalence and impact on meat and milk offtake potential. Rome: FAO.58 p.
- [6] McDermott JJ, Arimi SM (2002) Brucellosis in sub-Saharan Africa: epidemiology, control and impact. Vet Microbiol 90: 111–134.
- [7] Acha P, Szyfres B (2005) Zoonoses et maladies transmissibles à l’homme et aux animaux. 3ème édition. Paris: OIE. 693 p.
- [8] Muma JB, Godfroid, J, Samui KL, Skjerve E (2007) The role of *Brucella* infection in abortions among traditional cattle reared in proximity to wildlife on the Kafue flats of Zambia. Rev. sci tech Off Int Epiz 26: 721-730.
- [9] Mekonnen H, Kalayou S, Kyule M (2010) Serological survey of bovine brucellosis in Barka and Arado breeds (*Bos indicus*) of Western Tigray, Ethiopia. Prev Vet Med 94: 28–35.
- [10] Makita K, Fèvre ME, Waiswa C, Eisler M, Thrusfield M, Welburn S (2011) Herd prevalence of bovine brucellosis and analysis of risk factors in cattle in urban and peri-urban areas of the Kampala economic zone, Uganda. BMC Veterinary Research 7: 60.
- [11] Megersa B, Biffa D, Abunna F, Regassa A, Godfroid J, Skjerve E (2011) Seroprevalence of brucellosis and its contribution to abortion in cattle, camel, and goat kept under pastoral management in Borana, Ethiopia. Trop Anim Health Prod 43: 651–656.

- [12] Akakpo AJ, Saley M, Bornarel P, Sarradin P (1986) Epidémiologie de la brucellose bovine en Afrique tropicale II: Analyse sérologique et identification des deux premières souches de *Brucella abortus* biotype 3 au Niger. *Rev Elev Méd vét Pays trop* 39 :175-179.
- [13] Bloch N, Diallo I (1991) Enquête sérologique et allergologique sur les bovins du Niger. *Rev. Elev Med Vet Pays Trop* 44: 117–122.
- [14] Thys E, Yahaya MA, Walravens K, Baudaux C, Bagayoko I, et al. (2005) Etude de la prévalence de la brucellose bovine en zone forestière de la Côte d’Ivoire. *Rev. Elev Med Vet Pays Trop* 58: 205-209.
- [15] Cadmus SIB, Ijabone IF, Oputa HE, Adesoken HK, Stack JA (2006) Serological survey of brucellosis in livestock animals and workers in Ibadan Nigeria, *African Journal of Biomedical Research* 9: 163-168.
- [16] Sanogo M, Cissé B, Ouattara M, Walravens K, Praet N, et al. (2008) Prévalence réelle de la brucellose bovine dans le centre de la Côte d’Ivoire. *Rev. Elev Med Vet Pays Trop* 61: 147–151.
- [17] Kang’Ethe EK, Ekuttan CE, Kimani VN, Kiragu MW (2007) Investigations into the prevalence of bovine brucellosis and the risk factors that predispose humans to infection among urban dairy and non-dairy farming households in Dagoretti division, Nairobi, Kenya. *East African Medical Journal* 84: 96-99.
- [18] Chimana HM, Muma JB, Samui KL, Hangombe BM, Munyeme M et al. (2010) A comparative study of seroprevalence of brucellosis in commercial and small-scale mixed dairy-beef cattle enterprises of Lusaka province and Chibombo district, Zambia. *Trop Anim Health Prod* 42: 1541-1545.
- [19] Matope G, Bhebhe E, Muma JB, Lund A, Skjerve E (2010) Herd-level factors for *Brucella* seropositivity in cattle reared in smallholder dairy farms of Zimbabwe. *Prev Vet Med* 94: 213-221.
- [20] Merle F (1953) Apparition de la fièvre de Malte au Niger. *Bull. Soc. Path. Exot.*46: 211-214.
- [21] Gidel R, Albert JP, Mao GL, Retif M (1974) La brucellose en Afrique occidentale et son incidence sur la santé publique. Résultats de dix enquêtes épidémiologiques effectuées en Côte-d’Ivoire, Haute-Volta et Niger de 1970 à 1973. *Rev. Elev Med Vet Pays Trop* 27: 403-418.
- [22] Akakpo AJ, Bornarel P (1987) Epidémiologie des brucelloses animales en Afrique tropicale: Enquêtes clinique, sérologique et bactériologique. *Rev sci. tech Off. Int Epi.* 6: 981–1027.
- [23] Thys E, Schiere H, Van Huylbroeck G, Mfoukou-Ntsakala A, Ouedraogo M et al.. (2006) Three approaches for the integrated assessment of urban household livestock production systems: Cases from Sub-Saharan Africa. *Outlook on Agriculture*,35: 7-18.
- [24] Boukary, AR, Chaïbou M, Marichatou H, Vias G (2007) Caractérisation des systèmes de

production laitière et analyse des stratégies de valorisation du lait en milieu rural et périurbain au Niger : cas de la communauté urbaine de Niamey et de la commune rurale de Filingué. Rev. Elev Med Vet Pays Trop 60: 113-120.

[25] Marichatou H., Kore H., Motcho H.K., Vias G. 2005. Synthèse bibliographique sur les filières laitières au Niger. p.40. Available:http://www.repol.info/IMG/pdf/Synthese_biblio_du_Niger.pdf. Accessed 11 January 2013.

[26] Limet JN, Kerkhofs P, Wijffels R, Dekeyser P (1988) Le diagnostic sérologique de la brucellose bovine par ELISA. Ann Méd Vét 132: 565-575

[27] Alton GG, Jones LM, Angus RD, Verger GM (1988) Techniques for the Brucellosis Laboratory. INRA. pp 29-61, 82-85

[28] Bankole AA, Saegerman C, Berkvens D, Fretin D, Geerts S, et al. (2010) Phenotypic and genotypic characterisation of *Brucella* strains isolated from cattle in the Gambia. Veterinary Record 166: 753–756.

[29] Le Flèche P, Jacques I, Grayon M, Dahouk SA, Bouchon P, et al. (2006) Evaluation and selection of tandem repeat loci for a *Brucella* MLVA typing assay. BMC Microbiol 6: 9.

[30] Rogan W, Gladen B (1978) Estimating prevalence from the results of a screening test. Am J Epidemiol 107: 71–76.

[31] Holt HR, Eltholth MM, Hegazy MY, El-Tras WF, Tayel AA, et al. (2011) *Brucella* spp. infection in large ruminants in an endemic area of Egypt: cross-sectional study investigating seroprevalence, risk factors and livestock owner's knowledge, attitudes and practices (KAPs). BMC Public Health 11: 341. doi:10.1186/1471-2458-11-341.

[32] Snijders TAB, Bosker RJ. (1999) Multilevel analysis: an introduction to basic and advanced multilevel modeling. London : SAGE publications. 266 p.

[33] Solorio-Rivera JL, Segura-Correa JC, Sánchez-Gil LG. (2007) Seroprevalence of and risk factors for brucellosis of goats in herds of Michoacan, Mexico. Prev Vet Med. 82: 282-290.

[34] Twisk JWR (2003) Applied Longitudinal Data Analysis for Epidemiology: A practical guide. Cambridge: Cambridge University Press. 320 p.

[35] Frankena K, Somers JG, Schouten WG, van Stek JV, Metz JH, et al. (2009) The effect of digital lesions and floor type on locomotion score in Dutch dairy cows. Prev Vet Med 88: 150–157.

[36] Heinze G, Schemper M (2002) A solution to the problem of separation in logistic regression. Stat Med. 30:21(16), 2409-19.

[37] Boukary AR, Thys E, Abatih E, Gamatie D, Ango I, et al. (2011) Bovine Tuberculosis Prevalence

Survey on Cattle in the Rural Livestock System of Torodi (Niger). Plos One 6(9), e24629.

[38] Domenech J, Corbel M, Thomas E, Lucet P (1983) La brucellose bovine en Afrique centrale: VI. Identification et typage des souches isolées au Tchad et au Cameroun. Rev Elev Méd vét Pays trop 36: 19-25.

[39] Nielsen K (2002) Diagnosis of brucellosis by serology. Vet Microbiol 90: 447–459.

[40] Saegerman C, De Waele L, Gilson D, Godfroid J, Thiange P, et al. (2004) Field evaluation of three serum ELISA using monoclonal antibodies or protein G as peroxidase conjugate for the diagnosis of bovine brucellosis. Vet Microbiol 100: 91-105.

[41] Boukary AR, Saegerman C, Rigouts L, Matthys F, Berkvens D, Thys E (2010) Preliminary results of the study on zoonotic brucellosis and tuberculosis in Niamey. In: Globalization of Tropical Animal Diseases and Public Health Concerns; proceedings of 13th AITVM 2010 International Conference, 23-26 August 2010, Bangkok, Thailand. [Bangkok]: [Chulalongkorn University; Utrecht: Association of Institutions for Tropical Veterinary Medicine (AITVM)]; 2010. pp. 22-24.

[42] Schelling E, Diguimbaye C, Daoud S, Nicolet J, Boerlin P, et al (2003) Brucellosis and Q-fever seroprevalences of nomadic pastoralists and their livestock in Chad. Prev Vet Med 61: 279–293.

[43] Ibrahim N, Belihu K, Lobago F, Bekena M (2010) Sero-prevalence of bovine brucellosis and risk factors in Jimma zone of Oromia Region, South-western Ethiopia. Trop Anim. Health Prod 42, 35-40.

[44] Sanogo M, Abatih E, Thys E, Fretin D, Berkvens D, Saegerman C (2012) Risk factors associated with brucellosis seropositivity among cattle in the central savannah-forest area of Ivory Coast. Prev Vet Med. 107: 51-56.

[45] Turkson P, Boadu D (1992) Epidemiology of bovine brucellosis in the Coastal Savanna zone of Ghana. Acta Tropica, 52: 39-43.

[46] Musa MT, Shigidi MTA (2001) Brucellosis in Camels in Intensive Animal Breeding Areas of Sudan. Implications in Abortion and Early-Life Infections. Revue Elev Méd vét Pays trop 54: 11-15.

[47] Faye B, Castel V, Lesnoff M, Rutabinda D, Dhalwa J (2005) Tuberculosis and brucellosis prevalence survey on dairy cattle in Mbarara milk basin (Uganda). Prev Vet Med 67: 267–281.

[48] Corbel MJ, Brinley-Morgan WJ (1984) Genus *Brucella*, Meyer and Shaw 1920. 173AL. In: Krieg N. R., Holt J. G., editors. Bergey's Manual of Systematic Bacteriology. Vol. 1. Williams & Wilkins. pp 377-388.

[49] Corbel M (1988) Brucellosis. In: Laing J. editor Fertility and Infertility in Veterinary Practice. 4th edition. ELBS, Bailliere Tindall: pp.190-221.

[50] Saegerman C, Berkvens D, Godfroid J, Walravens K (2010) Chapter 77: Bovine brucellosis. *In: Infectious and Parasitic Disease of Livestock*. Lavoisier et *Commonwealth Agricultural Bureau – International* (ed.), France, 971-1001.

[51] Verger JM, Grayon M, Doutre MP, Sagna F (1979) *Brucella abortus* d'origine bovine au Sénégal : identification et typage. *Rev Elev Méd vét Pays trop* 32, 25-32.

[52] Muendo EN, Mbatha PM, Macharia J, Abdoel TH, Janszen PVet al. (2012) Infection of cattle in Kenya with *Brucella abortus* biovar 3 and *Brucella melitensis* biovar 1 genotypes. *Trop Anim Health Prod*. 44, 17-20.

[53] Ferreira AC, Chambel L, Tenreiro T, Cardoso R, Flor L, et al. (2012) MLVA16 typing of Portuguese human and animal *Brucella melitensis* and *Brucella abortus* isolates. *PLoS One*.7(8):e42514. doi: 10.1371/journal.pone.0042514.

Chapitre 6

Etude des facteurs de risque associés à la tuberculose bovine et caractérisation moléculaire des souches de *M. bovis* dans la zone urbaine de Niamey

ORIGINAL ARTICLE

Risk Factors Associated with Bovine Tuberculosis and Molecular Characterization of *Mycobacterium bovis* Strains in Urban Settings in Niger

A. R. Boukary^{1,2,3,7}, E. Thys², L. Rigouts^{2,4}, F. Matthys^{5*}, D. Berkvens², I. Mahamadou⁶, A. Yenikoye⁷ and C. Saegerman³

¹ Department of Livestock Promotion and Management of Natural Resources, NGO Karkara, Niamey, Niger

² Department of Biomedical Sciences, Institute of Tropical Medicine, Antwerp, Belgium

³ Department of Infectious and Parasitic Diseases, Faculty of Veterinary Medicine, University of Liege, Liege, Belgium

⁴ Department of Veterinary, Pharmaceutical and Biomedical Sciences, University of Antwerp, Wilrijk, Belgium

⁵ Department of Public Health, Institute of Tropical Medicine, Antwerp, Belgium

⁶ Ministry of Livestock, Direction of Animal Health, Niamey, Niger

⁷ Faculty of Agronomy, University of Niamey, Niamey, Niger

Keywords:

Mycobacterium bovis; bovine tuberculosis; risk factors; livestock; urban settings

Correspondence:

Prof. C. Saegerman, Department of Infectious and Parasitic Diseases, Epidemiology and Risk Analysis Applied to Veterinary Sciences (UREAR), Faculty of Veterinary Medicine, University of Liege, Boulevard de Colonster, 20, B42, B-4000, Liege, Belgium.

Tel.: +32 4 366 45 79;

Fax: +32 4 366 42 61;

E-mail: claude.saegerman@ulg.ac.be

*This paper is dedicated to the memory of Francine Matthys who was the former medical director of MSF Belgium and a prominent public health researcher in the control of human tuberculosis in developing countries.

Received for publication December 11, 2010

doi:10.1111/j.1865-1682.2011.01302.x

Summary

A retrospective and a longitudinal survey were carried out at the abattoir of Niamey. Results showed a highly significant difference in suspected tuberculosis (TB) gross lesions among different animal species ($P < 0.0001$). The proportion of carcasses with TB-like lesions was 0.19% among cattle, 0.11% among camels, 0.001% among sheep and 0.0006% among goats. In cattle, cows are significantly more affected than the other categories ($P < 0.001$). Also in cattle, TB-like lesions are mostly localized in the lungs (92.77%) followed by the lymph nodes (50.87%) and the liver (32.40%). The prevalence of gross lesions compatible with bovine TB (BTB) is strongly influenced by the season ($P < 0.0001$), is closely correlated with the origin of the animals ($P < 0.001$) and has a negative impact on the weight of affected animals ($P < 0.0001$). Sixty-two samples of suspected TB gross lesions were subject to microbiological analysis and molecular typing of strains. *Mycobacterium bovis* was identified in 18 animals showing five different spoligotypes, belonging to type 'African 1' previously identified in Central and West Africa. In addition, a profile (SB1982) not previously reported distinguished by the absence of spacers 3, 4, 9, 16, 22, 30 and 39–43 has been characterized in this study. To assess risk factors for BTB transmission, a questionnaire on animal husbandry practices, food habits, and clinical signs of TB in animals and humans was submitted to the heads of 1131 randomly selected households. The main risk factors identified are consumption of unpasteurized milk (91%) and lack of hygiene within households (32–74%). Clinical signs that could be attributed to TB were also reported both in humans and in animals of the households.

Introduction

Tuberculosis (TB) caused by *Mycobacterium bovis* is often neglected as zoonotic disease in developing countries (Acha and Szyfres, 2005). In sub-Saharan Africa (SSA),

bovine tuberculosis (BTB) is a serious threat not only for the economy but also for public health and animal health (Cosivi et al., 1998; Michel et al., 2006; Cleaveland et al., 2007; Humblet et al., 2009). BTB is widely distributed in SSA, where 85% of the herds and 82% of the human

population live in areas where the disease has been reported (Cosivi et al., 1998). In most African countries, BTB control measures are not applied (OIE, 2007). Additionally, there are very complex interactions between the rural pastoral livestock systems and the semi-intensive system practised in and around urban settings (Thys et al., 2006; Boukary et al., 2007). These interactions and inadequate sanitation measures are important risk factors favouring endemicity of zoonotic TB (Mfinanga et al., 2003; Sidibé et al., 2003; Cleaveland et al., 2007). The nutritional habits of the population consuming unpasteurized milk also endorse infection with *M. bovis* (Kang'Ethe et al., 2007). However, TB caused by *M. bovis* has hardly been studied in the sub-Saharan context where epidemiologic aspects of the disease remain largely unknown (Cosivi et al., 1998). Whether in animals or humans, the pathogen itself, *M. bovis*, is rarely studied (Thoen and Bloom, 1995). The Interafrican Bureau for Animal Resources (AU/IBAR., 2006) indicates that in 2006 only 9 of 53 African countries reported cases with a total of 176 outbreaks of BTB. Mostly cattle are affected, representing 98.9% of reported animal cases.

Use of *in vitro* culture and subsequent molecular typing enabled progress in the characterization of *M. bovis* strains in some African countries (Rigouts et al., 1996; Portaels et al., 2001; Haddad et al., 2004). Molecular typing of *M. bovis* isolates from Tanzania (Daborn et al., 1997) has shown two lineages of *M. bovis*: an aboriginal lineage with atypical properties and a lineage imported from Europe displaying the classical spoligotyping profile. Subsequent work in Central and West Africa performed by Njanpop-Lafourcade et al. (2001), Diguimbaye et al. (2006), Schelling et al. (2005), Cadmus et al. (2006) and Müller et al. (2008, 2009) revealed a predominant characteristic *M. bovis* spoligotype in Central Africa and West Africa, called African 1 (Af1) type.

Data on the importance of BTB in Niger are particularly scarce and not updated. Investigations of Alambedji (1984) and Bloch and Diallo (1991) by single intradermal skin test gave low prevalence rates varying from 1.56% to 3.20% among cattle.

The present work aims to determine the prevalence of BTB-suspected gross lesions at the abattoir of Niamey, to contribute to the knowledge of current circulating *M. bovis* strains in Niger, and to identify risk factors for transmission of BTB from animal to human.

Materials and Methods

Survey site and animal husbandry systems

The survey was carried out at the abattoir of Niamey located in the industrial area of the city on the banks of the Niger River. The 'Abattoir de Niamey' is a semi-

autonomous company that was founded in 1967. It is an old structure, and the entire infrastructure is ageing. At the moment of the study, the staff comprised 60 technicians including 10 permanent staff inspectors working under the supervision of a sworn veterinarian. These staff were assisted by more than 300 temporary workers and butchers. Slaughter and carcass inspection were done at night between 10 PM and 5 AM.

The Niamey abattoir is in charge of animal slaughtering and refrigeration and has a capacity of 10 000 tons per year. It is supplied by animals from the city livestock market (called Tourakou) and from rural markets, mainly those located in the areas of Torodi, Tera, Ayorou, Balleyara, Kollo and Boubon in the surrounding of Niamey (Fig. 1). In rural areas (Ru), animals are managed under a traditional husbandry system (extensive/transhumant) depending entirely on natural pastures and farm by-products without extra feed supplements or adequate health services. Cattle and small ruminants are usually driven to pasture together. Camels are generally led in separate herds, and their feeding is mainly based on tree fodder. In the urban (Ur) and periurban (Pu) areas of Niamey city, the livestock system is directed towards dairy production and animals are fed more with supplements, including agro-industrial by-products and kitchen waste.

Characterization of suspected BTB infection at the abattoir of Niamey

Determination of the prevalence of TB-like lesions by retrospective data collection

Data on 432 764 cattle, 696 663 sheep, 145 898 goats and 18 754 camels slaughtered at the abattoir of Niamey from

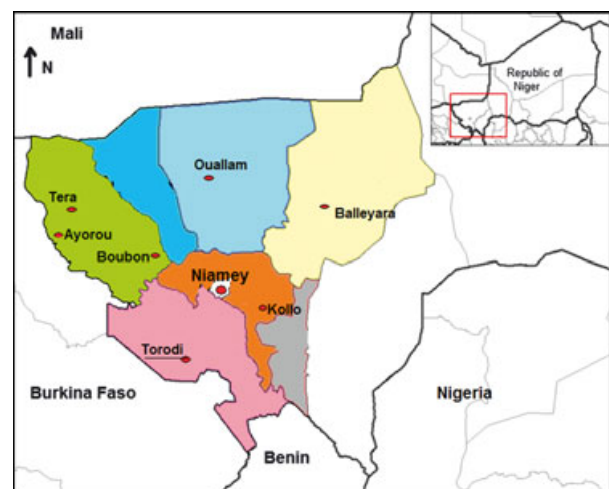


Fig. 1. View of the study zone and location of livestock markets (including that of Torodi) that supply Niamey abattoir.

January 2003 to December 2008 were collected from the official records and analysed (Table 1). Carcasses underwent a standard meat inspection including the examination of the following lymph nodes: parotid, retropharyngeal, mediastinal, tracheobronchial, mesenteric, submaxillary, iliac, precrucial, prescapular, supra-mammary, inguinal, apical, ischiatic and portal nodes. Organs/tissues including lungs, liver, kidneys, mammary glands, intestines, heart, abdominal and thoracic cavities, cerebral membranes and bones (ribs and vertebrae) were also thoroughly examined. Organs showing gross visible lesions compatible with BTB were confiscated. According to the regulation at the abattoir of Niamey, suspected cases of active or stabilized TB that are confirmed by the veterinary inspector are subject to total or partial condemnation and destruction.

Characterization of suspected TB gross lesions by a longitudinal survey

An additional 1-year longitudinal survey was implemented independently during standard meat inspection at the abattoir from July 2007 to June 2008. For all the cases of condemnation owing to suspected TB data related to the animals (age, breed, sex, geographical origin and clinical history), the production and marketing system (including the various stakeholders), the affected organs and the description of the observed lesions were collected and analysed.

Bacteriology and molecular characterization of mycobacteria

A total of 147 samples were collected from 140 carcasses of animals (130 cattle, three sheep and seven camels) with suspected BTB lesions. The frequent power cuts and difficulties in maintaining the cold chain during the survey period did not allow a good preservation of the specimens. At the end, only 62 samples from 60 animals were available for analysis; these samples covered the entire period studied and were subjected to laboratory-based

analyses. They were packed in 1.2-mL Eppendorf® tubes containing semi-solid transport medium (Portaels et al., 2001) and sent at room temperature to the Mycobacteriology Unit of the Institute of Tropical Medicine, Antwerp, Belgium. Acid-fast bacilli (AFB) were detected by microscopy using the Ziehl–Neelsen (ZN) technique applying the American Thoracic Society (ATS) scale to quantify the bacterial load (American Thoracic Society, 2000). *In vitro* culture on Löwenstein–Jensen and Stonebrink media was carried out after decontamination using the inverted Petroff's method (Durnez et al., 2008). Spoligotyping was carried out to identify *M. bovis* in all isolates (Kamerbeek et al., 1997). In addition, PCR targeting the 16S rRNA gene to detect *Mycobacterium tuberculosis* complex (Durnez et al., 2008) was used for 30 specimens of animals that yielded contaminated or negative (sub-) cultures, but yet positive smears in order to maximize recovery of probable *M. bovis*. Subsequently, PCR-positive samples were subjected directly to spoligotyping.

All spoligotypes were identified using the database on <http://www.Mbovis.org> (Smith and Upton, 2011). Presence or absence of the RDAl region was determined for all identified *M. bovis* cases as described (Müller et al., 2009).

Determination of risk factors for BTB transmission

From July 2007 to March 2008, a cross-sectional household survey was conducted in the Pu zone from July to September 2007, in the Ru zone from October to December 2007 as well as in the Ur zone of Niamey city from January to March 2008. In total, 1131 households (399 in Ur, 400 in Pu and 332 in Ru) were randomly selected from an up-to-date census database. 62% of household heads surveyed are Fulani ethnic, 20% are Zarma and 11% are Tuareg. The Fulani are traditionally nomadic herders, and their presence in Ur and Pu areas is quite recent and because of climate changes observed in recent decades.

The questionnaire used in the face-to-face interview of the household heads included questions related to animal husbandry practices, food habits and the presence of clinical signs of TB both in animals and in humans.

Statistical analysis

Descriptive statistics and comparisons were carried out using Intercooled Stata 9.2 for Windows (StataCorp LP, College Station, TX, USA). Generalized linear models (Poisson regression and logistic regression) were employed to examine the effects of different risk factors: Poisson regressions yielded incidence rate ratios (IRR), and logistic regressions resulted in odds ratios. Welch's test was used

Table 1. Different animal species slaughtered at the abattoir of Niamey and cases of condemnation because of bovine tuberculosis (BTB) in 2003–2008 (retrospective survey)

Species	Number of animals slaughtered	Carcasses confiscated for TB lesions		
		Number	Proportion (%)	95% CI
Cattle	432 764	819	0.19	0.18–0.20
Sheep	696 663	7	0.001	0.0004–0.002
Goats	145 898	1	0.0006	0.00002–0.004
Camels	18 754	20	0.11	0.067–0.165
Ruminants (total)	1 294 079	847	0.065	0.061–0.070

to appreciate the weight difference between the carcasses carrying TB-like lesions and healthy carcasses.

Results

Determination of the prevalence of suspected TB gross lesions by retrospective data collection

Based on data recorded over the 6 years, it appears that the demand for meat consumption had remained fairly constant. The average number of animals slaughtered per month at the Niamey abattoir during this period was 6011 (± 315) cattle, 9676 (± 970) sheep and 2026 (± 361) goats. The survey conducted between July 2007 and June 2008 showed that the daily workload for meat inspectors does not seem to be a factor affecting their performance. However, they complain of poor equipment and poor working conditions.

At the Niamey abattoir, seizures of carcasses for suspicion of TB-like lesions were rare. Indeed, out of 1 294 079 animals slaughtered during the 6-year period, condemnations based on suspected TB gross visible lesions included 847 carcasses (Table 1). During the entire period, the maximum daily record of suspected carcasses in cattle was 4. The average apparent prevalence of TB-like lesions was 0.19% (95% CI, 0.18–0.20) for cattle and 0.11% (95% CI, 0.07–0.17) for camels. Regarding small ruminants, only seven cases were reported in sheep and one in goats.

Based on the observation of TB-like lesions, there is a highly significant difference in susceptibility to infection among different species ($P < 0.001$). Camels and cattle are species at significantly high risk compared to goats and sheep. There is no significant difference in susceptibility to infection between sheep and goats.

Condemnations because of suspected TB lesions mostly concerned cattle with 819 cases on a total of 847 for all included species. Of these 819 cases, only 747 cases (91.2%) could be described, whereas for the remaining, detailed descriptions were lacking in the registers. Data collected were related to the affected organs, types of lesions observed and the weight of carcasses.

In cattle, the majority of the TB-like lesions were detected in the lungs (92.77%). Lung lesions were in most cases accompanied by reactions in the lymph nodes (50.87%) and lesions in the liver (32.40%). Other affected organs were the heart (0.80%), the kidneys (0.54%) and the spleen (0.27%). About one-tenth (9.77%) of the cases were suspected of generalized miliary TB.

The apparent prevalence of TB-like lesions in cattle at the abattoir in Niamey is strongly influenced by the season ($P < 0.0001$). The IRR of suspected BTB shows two peaks (Fig. 2). The first slight peak is observed during the hot dry season in April ($P < 0.05$), and two strong peaks

are observed during the first half of the rainy season in July ($P < 0.001$) and in August ($P < 0.01$).

Characterization of suspected TB gross lesions by a longitudinal survey

A total of 71 373 cattle, 124 759 sheep, 19 731 goats and 2604 camels were slaughtered at the abattoir of Niamey during the 1-year survey. The 71 373 cattle included 4086 oxen, 14 630 bulls, 31 190 cows and 21 467 calves (animals younger than 4 years are considered as calves at the abattoir of Niamey). A total of 130 cattle, three sheep and seven camels presented gross visible lesions compatible with BTB.

Experts of the abattoir consider that 50% of animals slaughtered are from the Tourakou market in Niamey, 30% come from the Torodi area and 20% from other rural markets.

Data collected by this independent tracking confirms the picture observed in cattle during the 6-year period. Out of the 130 BTB-suspected cases in cattle, organs and tissues most affected were lungs, lymph nodes, liver and to a lesser extent kidneys and heart (Table 2).

The presence of macroscopic lesions is closely correlated with the origin of the animals ($P < 0.001$). Over half (56.2%) of the cases were from the rural zone of Torodi, 22.3% from the urban community of Niamey and 20.5% from the other rural areas. Compared to urban markets, the risk of having animals suspected of TB is statistically higher in Torodi (OR = 4.2; 95% CI, 2.7–6.5) and in other rural markets (OR = 2.4; 95% CI, 1.4–4.1).

In cattle, there was a significant difference in sensitivity to infection between the different categories (bulls, oxen, cows and calves) ($df = 3$; $\chi^2 = 84$ $P < 0.001$). Cows are significantly more sensitive to infection than the other categories (OR = 9.4; 95% CI, 4.4–20.2).

A significant negative relationship was found between the presence of TB-like lesions on the carcasses and the weight of affected animals. Overall, we found that the carcasses of cattle suspected for BTB are significantly lighter than those of healthy animals (Welch's test; $P < 0.0001$). The difference in weight between healthy carcass and those with gross visible lesions is on average 14 kg (95% CI, 8–20).

Molecular characterization of mycobacteria

Acid-fast bacilli were detected by smear microscopy in 31 (50.0%) of the 62 post-mortem samples. Overall, we observed a high contamination rate (25.8%) for culture, most probably due to suboptimal storage conditions. Thirteen samples were positive for culture, among which seven were clearly identified as *M. bovis* type Af1 by the

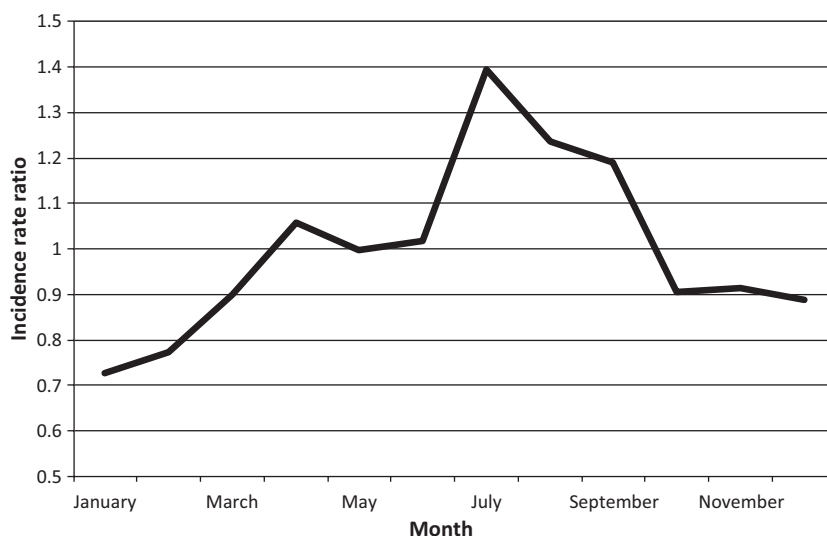


Fig. 2. Monthly incidence rate ratio for bovine carcasses in the abattoir of Niamey, 2003–2008.

Table 2. Characterization of bovine tuberculosis macroscopic lesions observed in cattle slaughtered at the abattoir of Niamey from July 2007 to June 2008

Location	Zone	Breed			Organ/tissue affected					Sex	
		Azawak	Mbororo	Djeli	Lung	Nodes	Liver	Kidney	Heart	Female	Male
Balleyara	Ru	1	1		2	–	–	–	–	1	1
Kollo	Ru	–	2	7	6	1	–	–	–	6	3
Say	Ru	–	4	4	8	5	–	–	–	3	5
Tera	Ru	1	4	4	9	4	1	–	–	4	5
Torodi	Ru	–	11	62	73	40	7	1	1	34	39
Tourakou*	Ur	3	14	12	29	16	4	–	–	16	13
Total		5	36	89	127	66	12	1	1	64	66

*Livestock market of the urban community of Niamey.

non-appearance of spacer 30 and the Afl-specific deletion (Table 3). Five isolates were identified as non-tuberculous mycobacteria (NTM); the latter were not further identified to the species level. The remaining culture (BK 090046) yielded a weak spoligotype result and failed in subculture; most probably it was *M. bovis* as spacers 39–43 were clearly missing, and the Afl specific deletion. However, the spoligotyping reactions were too weak to determine the exact *M. bovis* spoligotype (SB type). In addition, in 11 animals that yielded negative or contaminated culture results but a MTB-complex-positive PCR, *M. bovis* type Afl was clearly identified by spoligotyping and the RD Afl PCR directly in the specimen. For six more specimens, we noted a weak spoligotype reaction even though the MTB-complex-specific PCR turned positive; again, most probably the latter are *M. bovis* as spacers 39–43 were clearly missing for all of them; five showed the Afl-specific deletion, whereas one failed in this assay, probably due to the low DNA content. Spoli-

gotypes were too weak to determine the exact SB type in the seven specimens.

So, *M. bovis* type Afl was clearly identified in 18 animals (16 bovines, one camel and one sheep), and five different spoligotypes were observed (Table 3). SB0944 profile was the most abundant being identified in one sheep (Bali-Bali race) and 12 bovines (11 belonging to the Djeli and one to the Mbororo breed). SB0300 was found in two Djeli cows, SB1440 in one Djeli cow, SB1433 in one camel. Furthermore, a new strain not yet reported to the *M. bovis* database prior to this study was found in a Djeli cow. Hence, it has now been reported to the database and designated as SB1982.

Determination of risk factors for BTB transmission

Table 4 shows that, in most cases, mating was not controlled, especially in urban areas. Eighty-five to 94% of the households consumed fresh milk or products derived

Table 3. Samples yielding positive culture and/or PCR-based results for the detection/identification of mycobacteria

ITM specimen number	Animal										Type of lesion	Microscopy (ATS scale)	Culture	MTBc-specific PCR	Identification by spoligotyping	RDAf1
	Species	Breed	Sex	Age	Origin	Organ										
BK091163	Sheep	Bali-bali	F	5	Torodi	Lung					Caseous tubercles	1+	Pos	NT	<i>Mycobacterium bovis</i> SB0944	Deletion
BK090032	Bovine	Djeli	M	7	Torodi	Lung					Caseous tubercles	4+	Pos	NT	<i>M. bovis</i> SB0944	Deletion
BK090037	Bovine	Djeli	M	6	Torodi	Lung					Grey nodules	2+	Pos	NT	<i>M. bovis</i> SB0944	Deletion
BK091153	Bovine	Djeli	F	6	Torodi	Prescapular node					Caseous-calcified tubercles	1+	Pos	NT	<i>M. bovis</i> SB0944	Deletion
BK091154	Bovine	Djeli	F	15	Torodi	Lung					Caseous tubercles	1+	Pos	NT	<i>M. bovis</i> SB0944	Deletion
BK091155	Bovine	Djeli	F	7	Torodi	Liver					Caseous-calcified tubercles	2+	Pos	NT	<i>M. bovis</i> SB0944	Deletion
BK090048	Bovine	Mbororo	M	6	Balleyara	Liver					Caseous tubercles	1+	Pos	NT	<i>M. bovis</i> SB0944	Deletion
BK093747	Bovine	Djeli	F	5	Tera	Lung					Caseous tubercles	1+	Cont	Pos	<i>M. bovis</i> SB0944	Deletion
BK097348	Bovine	Djeli	F	4	Tourakou	Lung					Miliary tubercles	4+	Cont	Pos	<i>M. bovis</i> SB0944	Deletion
BK097352	Bovine	Djeli	F	11	Torodi	Lung					Caseous tubercles	4+	Neg	Pos	<i>M. bovis</i> SB0944	Deletion
BK090030	Bovine	Djeli	F	15	N'dounga	Lung					Lesions	2+	Neg	Pos	<i>M. bovis</i> SB0944	Deletion
BK090035	Bovine	Djeli	F	4	Torodi	Lymph node					Lesions	4+	Neg	Pos	<i>M. bovis</i> SB0944	Deletion
BK091156	Bovine	Djeli	F	6	Torodi	Lung					Caseous tubercles	4+	Neg	Pos	<i>M. bovis</i> SB0944	Deletion
BK097355	Bovine	Djeli	F	8	Torodi	Lung					Caseous tubercles	4+	Neg	Pos	<i>M. bovis</i> SB0300	Deletion
BK097356	Bovine	Djeli	F	7	Tourakou	Prescapular node					Caseous tubercles	4+	Neg	Pos	<i>M. bovis</i> SB0300	Deletion
BK097346	Camel	Dromedary	M	-	Tourakou	Lung					Grey nodules	1+	Cont	Pos	<i>M. bovis</i> SB1433	Deletion
BK091158	Bovine	Djeli	F	9	Tourakou	Lung					Miliary tubercles	2+	Neg	Pos	<i>M. bovis</i> SB1440	Deletion
BK097342	Bovine	Djeli	F	10	Tourakou	Lung					Caseous -calcified tubercles	4+	Cont	Pos	<i>M. bovis</i> SB1982	Deletion
BK090046	Bovine	Mbororo	F	10	Tourakou	Lung					Caseous tubercles	1+	Pos	Pos	<i>M. bovis?</i>	Deletion
BK090034	Bovine	Djeli	F	4	Torodi	Diaphragm					Lesions	1+	Neg	Pos	<i>M. bovis?</i>	Deletion
BK090036	Bovine	Djeli	F	4	Torodi	Lung					Caseous tubercles	1+	Neg	Pos	<i>M. bovis?</i>	Deletion
BK097339	Bovine	Djeli	F	7	Torodi	Lung					Miliary tubercles	4+	Cont	Pos	<i>M. bovis?</i>	Deletion
BK097350	Bovine	Djeli	F	6	Tourakou	Liver					Caseous tubercles	1+	Cont	Pos	<i>M. bovis?</i>	Deletion
BK097357	Bovine	Mbororo	F	8	Tourakou	Lung					Grey nodules	1+	Neg	Pos	<i>M. bovis?</i>	PCR negative
BK097341	Bovine	Crossbred	F	8	Tourakou	Prescapular node					Caseous -calcified tubercles	1+	Cont	Pos	<i>M. bovis?</i>	PCR negative
BK097344	Bovine	Crossbred	F	7	Tourakou	Lung					Caseous tubercles	1+	Cont	Neg	NTM	NT
BK090044	Bovine	Djeli	F	7	Tourakou	Liver					Caseous tubercles	1+	Pos	Neg	NTM	NT
BK090053	Bovine	Djeli	M	8	Torodi	Lung					Grey nodules	4+	Pos	NT	NTM	NT
BK091158	Bovine	Djeli	F	9	Tourakou	Lung					Miliary tubercles	2+	Pos	Neg	NTM	NT
BK090042	Bovine	Mbororo	M	6	Tera	Lung					Caseous tubercles	2+	Pos	Neg	NTM	NT
BK091152	Bovine	Mbororo	F	5	Tourakou	Prescapular node					Caseous -calcified tubercles	1+	Pos	Neg	NTM	NT

F, female; M, male; Pos, culture positive without culture number; Neg, remained negative in culture; Cont, contaminated culture; NT, not tested; NTM (non-tuberculous mycobacteria), mycobacterial species different from *Mycobacterium tuberculosis* complex; microscopy scaling according to American Thoracic Society (ATS), 2000; RDAf1, PCR to detect region of difference specific for *M. bovis* Af1 type; spoligotyping and RDAf1 results were obtained from isolates in case of successful culture and from the decontaminated biopsies in case culture failed but 16S-based PCR was positive for *M. tuberculosis* complex.

Table 4. Exploratory variables in the three strata (%)

Factor	Ur	Pu	Ru
Uncontrolled mating on animals	92.1	75.3	65.7
Consumption of unpasteurized milk	85.5	93.7	90.9
Households using disinfectants	1.4	0.5	0.7
Presence of animals with severe states of weight loss despite a good diet	48.6	58.8	51.8
Herds with animals died of persistent cough	18.0	27.0	25.0
People suffering from persistent cough	22.8	30.5	43.1

from unpasteurized milk. In Pu and Ru zones, poor hygiene was scored in 74% of the households and in 32% in Ur zones. On average, only 1% of households employed disinfectants for cleaning kitchen tools used to prepare food from animal products.

Large proportions of livestock keepers observed severe weight loss in their animals (48.6% in Ur, 58.8% in Pu and 51.8% in Ru) despite provision of additional feed. And 18%, 27% and 25% of household's heads interviewed respectively in Ur, Pu and Ru zones reported animal death casualties caused by chronic cough.

Regarding the disease in humans, 43.1% of the interviewed household's heads in Ru stated to have observed in their vicinity clinical signs that could be related to TB. Some stated that they suffer from persistent cough or knew people with similar symptoms. Chronic cough in humans was also reported to have been observed by respondents in Ur (22.8%) and in Pu (30.5%). In the rural zone of Torodi, a significant relationship (OR = 5; 95% CI, 3.0–26.5) was found between the presence of people with severe chronic cough in households and the presence of animals suffering from chronic cough within the same household.

Discussion

Determination of the prevalence of suspected TB gross lesions by retrospective data collection

In SSA, research on animal TB mainly focused on cattle. Data on other domestic species are particularly scarce (Cosivi et al., 1998; Diguimbaye et al., 2006; Razanamparany et al., 2006) and should be further investigated in the future.

Our results showed the presence of TB-like lesions in all animal species slaughtered at the Niamey abattoir, but the risk of suspected BTB infection is significantly higher in cattle and camels compared with goats and sheep that are less susceptible to *M. bovis*. Nevertheless, the apparent prevalence of TB-like lesions (0.19%) observed in cattle slaughtered at the abattoir of Niamey is among the lowest recorded on the African continent. It varies in West African abattoirs from 1% to 8.8% (Njanpop-Lafourcade

et al., 2001; Dao, 2005; Cadmus et al., 2006; Diguimbaye et al., 2006; Müller et al., 2008). Our finding is also lower than the 7.9% to 19.8% prevalence record in Eastern Africa (Cleaveland et al., 2007; Regassa et al., 2008; Biffa et al., 2011).

The low prevalence observed in small ruminants compared to cattle and camels can be explained partly by the difference in sensitivity of a physiopathological point of view between these species. Indeed, sheep and goats are inherently more resistant to contracting the disease, that is, they require a much higher infective dose than cattle before infection can become established (Allen, 1988; WHO [World Health Organization], 2011). According to some authors, BTB infection in sheep and goats is a sign of infection in other in-contact species (Allen, 1988; Ayele et al., 2004). The disease does not spread easily between small ruminants (Allen, 1988). When exposure to infection is high, there is no doubt that small ruminants can become infected and display lesion morphology and distribution in the body similar to cattle (Fischer et al., 2009). In Niger, cattle and small ruminants normally graze together, and this practice could constitute a higher risk for transmission of bovine TB among these animals.

The probability of lesions to be detected at slaughter is difficult to assess (Müller et al., 2008). The very low figures at Niamey could be due to underestimation, which in turn can be attributed i.a. to the lack of rigour in the veterinary inspection. According to Asseged et al. (2004), meat inspection at the abattoir can detect only 55% of infected animals with confirmed visible lesions. The low number of carcasses condemned for BTB reasons may also be linked to the high incidence of illegal slaughtering. Indeed, at the abattoir in Niamey, any animal found with BTB lesions is subjected to total or partial condemnation. This urges butchers to clandestine slaughtering. As a result, there may be TB-infected meat on the market and an increased risk of transmission to people (Asiimwe et al., 2009).

Analysis of data recorded from the abattoir during the 6-year period shows a strong seasonal variability of condemnation because of BTB ($P < 0.001$). The frequency of gross lesions is higher in the beginning of the rainy season (July–August). This may be explained by the massive destocking of animals by farmers. Indeed, this period concurs with the return of animals from transhumance. Sick animals and those with poor general condition are usually sold or culled.

Lung lesions are the major cause of condemnation because of BTB in SSA (Njanpop-Lafourcade et al., 2001; Dao, 2005; Cadmus et al., 2006; Diguimbaye et al., 2006; Müller et al., 2008; Asiimwe et al., 2009). Our results show that 92.77% of the 747 detected gross lesions are in the lungs with 28.65% of animals presenting lung lesions

only, whereas the remaining presented multiple lesions involving the lungs and other organs. This suggests that in this setting the lungs are the entry port of *M. bovis* infection. This is in agreement with the findings of Müller et al. (2008) showing that the presence of pulmonary lesions was closely associated with *M. bovis* infection. Lymph node reactions (50.87%) are also characteristic for BTB. They are the tissues that are investigated primarily by meat inspectors. Lesions in the liver are frequent too (32.40%). This organ contains usually caseous nodules that can reflect chronic infection (Thorel, 2003).

Characterization of suspected TB gross lesions by longitudinal survey

It should be noted that so far, no serious investigation has been conducted on this topic in Niger, and control of TB is limited to meat inspections in abattoirs. Cows are significantly more at risk to BTB infection than bulls, oxen and calves.

The high prevalence of TB-like lesions observed in cows may be explained by the fact that they remain longer in the herds for milk production while the other categories are slaughtered or sold earlier. It has been shown that the prevalence of bovine TB increases with age of animals especially in regions where infection is endemic (Blancou et al., 1971; Sidibé et al., 2003; Cleaveland et al., 2007; Humblet et al., 2009). Indeed, in endemic situations, older animals are more likely to be exposed and to develop the disease. Moreover, under the effect of stress or age, latent infections are reactivated resulting in a higher prevalence in older animals (Pollock and Neill, 2002).

In this survey, the presence of TB-like lesions in cattle is closely related to the origin of the animals ($P < 0.001$). Rural areas that supply Niamey in cattle are the most affected. Compared to urban markets, the risk of having animals with gross visible lesions is statistically higher in Torodi and other rural markets. Indeed, 70.77% of animals with gross lesions were from Ru with 56.15% of them originating from the Torodi area, which is located in the far west of Niger at the border with Mali, Burkina Faso and Benin. Our results corroborate those found by Alamedji (1984) who reported that 46% of cattle suspected of BTB in the Niamey abattoir are from Torodi.

Owing to its geographical position, Torodi constitutes a crossroad for trade and transit of cattle. The complex interactions between transhumant livestock system, the semi-intensive system practised by farmers and the presence of an important livestock market in this area promote contact between animals from different regions with a significant risk of spread of BTB. In addition, it should be noted that Torodi is located at the edge of the natural

park that is shared by Niger, Benin and Burkina Faso. The proximity of this natural reserve leads necessarily to close contact between domestic animals and wildlife, which can be a source of transmission of *M. bovis* (Zieger et al., 1998). The role of wildlife in transmission or recurrence of BTB in domestic animals has been well documented (Michel et al., 2006, 2008). In South Africa, for example, BTB is now a serious problem in the Kruger National Park where the disease was first diagnosed in buffalo in 1996 (Bengis et al. 1996). Even in countries where BTB is eradicated, wildlife remains a risk of transmission to domestic animals through the parks. Woodford (1982) found *M. bovis* in warthogs (*Phacochoerus aethiopicus*) and buffaloes (*Syncerus caffer*, Sparrman, 1779) in the Ruwenzori National Park in Uganda. Keet et al. (1996) also reported bovine TB in other wildlife at the same park.

Bovine TB can be a serious threat for the economy in SSA (Cosivi et al., 1998). Indeed, BTB causes a decrease in financial capital and an increase in production costs for the farmers. The disease also causes indirect losses in agricultural productivity, owing to the loss of animal traction and manure. We observed significant differences in body weight ($P < 0.0001$) between healthy carcasses and those with gross visible lesions; a decrease of 14 kg in average weight in cattle presenting TB-like lesions was seen. Similarly, Blancou and Cheneau (1974) found weight losses ranging from 3.1 to 9.7 kg in Malagasy zebu carcasses with gross visible lesions. The loss of weight caused by suspected BTB varies depending on the disease status and the farming system and is higher as the lesions caused by the pathogen are more severe (Blancou and Cheneau, 1974). In contrast, Biffa et al. (2011) found no significant correlation between body condition and infection with bovine TB in cattle in Ethiopia and suggested that body condition may not be considered a reliable predictor of TB under Ethiopian conditions.

Molecular characterization of mycobacteria

As far as we know, this is the first study conducted on molecular characterization of *M. bovis* isolates from slaughter animals in Niger. However, the low number of samples analysed (62/147) because of frequent power cuts hampers the study. Freeze–thaw cycles and frequent transfers of samples from one location to another owing to load shedding of electricity were the basis for the loss of a number of samples. Müller et al. (2008) were confronted to the same situation in a similar study conducted at the abattoir of Bamako in Mali.

Several mycobacterium were isolated from 50% ($n = 62$ samples) of the 60 carcasses with characteristic TB-like lesions. This is relatively higher than the 35.0%

($n = 60$) and the 31.2% ($n = 105$) respectively from cattle carcasses in Mali and in Ethiopia (Müller et al., 2008; Biffa et al., 2011), but still lower than expected. As suggested by some authors (Cleaveland et al., 2007; Müller et al., 2008; Biffa et al., 2011), we agree in our case that the relatively low isolation frequency could be due to reduced sensitivity of culture arising from prolonged storage of specimens. The low recovery of bacteria could also be explained by the high amount of completely calcified lesions without viable tubercle bacilli (Müller et al., 2008).

We clearly identified *M. bovis* in 18 animals ($n = 60$), and NTM were found in seven animals. It is well established that in SSA, TB-like lesions may be caused by an array of pathogens amongst which NTM could play a crucial role (Müller et al., 2009). This suggestion is strengthened by the findings of a previous study in some African countries where NTM such as *Mycobacterium fortuitum*, *Mycobacterium kansasii*, *Mycobacterium aquae* and *Mycobacterium smegmatis* were cited as causative agents of TB-like lesions in domestic animals (Diguimbaye et al., 2006; Müller et al., 2008; Sahraoui et al., 2009; Biffa et al., 2010; Mamo et al., 2011).

Among the spoligotypes identified in Niger, SB0944 is present in 13 (72%) of the positive samples, which confirms the predominance of this strain in Central and West African regions. Indeed, this strain represents a significant proportion of spoligotypes identified in Nigeria (46.1%), in Cameroon (62.7%), in Chad (40%) and in Mali (9%) (Njanpop-Lafourcade et al., 2001; Cadmus et al., 2006; Diguimbaye et al., 2006; Müller et al., 2008). Based on the similarity of the SB0944 pattern with the BCG-like profile commonly seen in strains from France, an influence of the French colonial history on the West African *M. bovis* population has been suggested (Njanpop-Lafourcade et al., 2001). Our discovery of this strain in Niger confirms its regional coverage.

Up to now, the SB1433 and SB1440 strains have been shown in Nigeria and the SB0300 strain in Mali. The presence of these three strains in Niger suggests that this country should play a central role through its particular geographical position. Indeed, Niger is a country of important transboundary transhumance and a major exporter of cattle to other countries (MRA, 2001). A feature common to all these strains identified in Cameroon, Chad, Nigeria, Mali and now in Niger is the lack of the spacer 30 typical for the Afl *M. bovis* type (Müller et al., 2009). This suggests a close relationship between strains from Niger and those other countries. In addition to the absence of spacer 30, SB0300 also lacks spacer 6, a characteristic not seen in the strains from Central African countries (Njanpop-Lafourcade et al., 2001; Diguimbaye et al., 2006). Müller et al. (2008) suggest that spoligotype

pattern SB0300 may have evolved from strains with spoligotype pattern SB0944 either by drift or a selective sweep. Similarly, the new strain (SB1982) might have been imported from neighbouring countries, where it remained undetected owing to non-systematic isolation and/or typing of *M. bovis*, or it might be the result of ongoing evolution of cattle and/or other animal species (e.g., wildlife animals), reflecting the long-term presence of *M. bovis* in the country. Indeed, this strain lacks spacer 6 and 22 in addition.

The fact that the strain SB1433 was only found in camel can be explained by the separate husbandry of camels in Niger, making direct contact with other species rare. However, this hypothesis has to be verified as the animal in which this strain was isolated is certainly not representative of the entire camel husbandry system. We also know that this animal came from the livestock market of Tourakou, but we had no information on its exact origin. Some authors (Wernery et al., 2007; Mamo et al., 2011) reported that BTB occurs more frequently in camels when they are kept close to other camels or in close contact with cattle. Cases of contamination of camels by wildlife (gazelles) have also been reported in the Arabian Peninsula (Ostrowski et al., 1998). Further investigations with a larger number of animals are therefore needed to better understand the epidemiology of TB in camels in Niger.

Determination of risk factors for BTB transmission

One of the characteristics of animal husbandry in SSA, whatever the livestock system considered, is the close proximity between humans and animals (Cosivi et al., 1998). In pastoral areas, humans and animals share the same microenvironment and water sources especially during the hot and dry seasons, which is a high potential risk of transmission of *M. bovis* (Cosivi et al., 1998; Mfinanga et al., 2003; Ameni et al., 2006). In urban and suburban areas, the closeness is such that humans and animal reservoirs live confined in unsanitary and poorly ventilated places (Sidibé et al., 2003; Boukary et al., 2007; Regassa et al., 2008). Our results show the existence of BTB in Niger in all animal husbandry systems, because *M. bovis* has been identified in animals from urban, periurban and rural areas. During the survey in those three areas, some livestock keepers declared to have observed clinical signs characteristic for BTB in their animals.

Poor farming practices, consumption of unpasteurized milk and poor food hygiene conditions are important risk factors for the transmission of *M. bovis* from animals to humans (Kazwala et al., 2001; Sidibé et al., 2003; Ameni et al., 2006; Cleaveland et al., 2007; Kang'Ethe et al., 2007; Humblet et al., 2009). *M. bovis* is usually transmitted

by ingestion of unpasteurized milk and causes extrapulmonary TB especially in children (Kleeberg, 1984; Dankner and Davis, 2000). The proportion of TB caused by *M. bovis* is currently not known with precision in developing countries (Cosivi et al., 1998); however, it would be, according to some authors (Collins and Grange, 1983; Dankner and Davis, 2000), comparable to that existing in 1945 in Great Britain, where 30% of cases of TB among children under 5 years were attributed to *M. bovis*. Our study revealed that the potential risk of contamination of humans with TB is high, as respectively 22.8, 30.5 and 43.1% of the respondents in Ur, Pu and the Ru said they knew people with symptoms that can be related to TB. Risk factors for transmission of *M. bovis* to humans was higher in the rural zone of Torodi where a significant interaction ($P = 0.01$) was found between the records of people suffering of severe chronic cough and the presence of animals suffering also from chronic cough within the same household. These results corroborate those found by Adamou (2005), which estimated the prevalence of human TB pulmonary smear-positive cases to 144 per 100 000 inhabitants in the rural area of Gaya, Niger. This prevalence is higher than the national average of Niger, which is 77 TB pulmonary smear-positive cases per 100 000 inhabitants in 2007 (WHO, 2011). More investigations in the rural area should be performed to confirm its probable role as an epidemiological outbreak of BTB in Niger.

It should be noted that in Niger, as in other countries of SSA, cultures and customs play an important role in the persistence and spread of TB (Mfinanga et al., 2003; Ayele et al., 2004). In many African cultures, TB is stigmatized, which generally pushes patients to hide their illness for fear of the discrimination they can suffer (Edginton et al., 2002).

Conclusion

Our results corroborate the work of several authors who have shown the existence of BTB in SSA. Indeed, we isolated five different *M. bovis* strains with one new strain designated as SB1982 from samples coming from the abattoir of Niamey. The existence of strains common to several countries in West and Central Africa suggests that transboundary movements of livestock is a major risk factor for transmission of BTB between animals in this geographical area. It also highlighted factors that expose humans to infection with *M. bovis*: eating habits, husbandry practices, and lack of hygiene and sanitation.

For a better control and eventual eradication of BTB in Niger and SSA, a better understanding of the epidemiology and dynamics of circulating *M. bovis* strains is imperative. Our recommendations are to:

- 1 Evaluate the actual prevalence and economic impact of BTB in different geographical areas and different farming systems, especially in areas of high suspicion, like the region of Torodi.
- 2 Further investigate husbandry practices in relation to the forest environment for a better understanding of the interaction between domestic animals and wildlife and the potential role of wildlife in the maintenance and transmission of BTB.
- 3 Implement measures to control risk factors related to the transmission of the disease from animal to human in different husbandry systems, especially in urban and suburban livestock systems.
- 4 Implement coordinated actions stimulating a synergy among researchers and institutions in human medicine and animal sciences (Zinsstag et al., 2005).

References

- Acha, P., and B. Szyfres, 2005: *Zoonoses et maladies transmissibles à l'homme et aux animaux*, 3rd edn. OIE, Paris, France.
- Adamou, M., 2005: *Problématique du sous dépistage des cas de tuberculose pulmonaire frottis positifs dans le district sanitaire de Gaya/Niger : analyse causale et perspectives d'amélioration*. Master thesis in Public Health, Institute of Tropical Medicine, Antwerp, Belgium.
- Alamedji, A. I., 1984: *Contribution à l'étude de la tuberculose bovine au Niger*. PhD thesis, EISMV, Dakar, Senegal.
- Allen, G. M., 1988: Tuberculosis in sheep – a very rare disease. *Surveillance* 15, 8–9.
- Ameni, G., A. Aseffa, H. Engers, D. Young, G. Hewinson, and M. Vordermeier, 2006: Cattle husbandry in Ethiopia is a predominant factor affecting the pathology of bovine tuberculosis and gamma interferon responses to mycobacterial antigens. *Clin. Vaccine Immunol.* 13, 1030–1036.
- American Thoracic Society, 2000: *Diagnostic Standards and Classification of Tuberculosis in Adults and Children*. Official statement of the American Thoracic Society and the Centers for Disease Control and Prevention. *Am. J. Respir. Crit. Care Med.* 161, 1376–1395.
- Asiimwe, B. B., J. Asiimwe, G. Kallenius, F. K. Ashaba, S. Ghebremichael, M. Joloba, and T. Koivula, 2009: Molecular characterisation of *Mycobacterium bovis* isolates from cattle carcasses at a city abattoir in Uganda. *Vet. Rec.* 164, 655–658.
- Asseged, B., Z. Woldeesenbet, E. Yimer, and E. Lemma, 2004: Evaluation of abattoir inspection for the diagnosis of *M. bovis* infection in cattle in Addis Ababa abattoir. *Trop. Anim. Health Prod.* 36, 537–546.
- AU/IBAR., 2006: *Pan African Animal Health Yearbook*. African Union, Interafrican bureau for animal resources, Nairobi, Kenya.
- Ayele, W. Y., S. D. Neill, J. Zinsstag, M. G. Weiss, and I. Pavlik, 2004: Bovine tuberculosis: an old disease but a new threat to Africa. *Int. J. Tuberc. Lung. Dis.* 8, 924–937.

- Bengis, R. G., N. P. Kriek, D. F. Keet, J. P. Raath, V. de Vos, and H. F. Huchzermeyer, 1996: An outbreak of bovine tuberculosis in a free-living African buffalo (*Syncerus caffer Sparrman*) population in the Kruger National Park: a preliminary report. *Onderstepoort J. Vet. Res.* 63, 15–18.
- Biffa, D., A. Bogale, and E. Skjerve, 2010: Diagnostic efficiency of abattoir meat inspection service in Ethiopia to detect carcasses infected with *Mycobacterium bovis*: implications for public health. *BMC Public Health* 10, 462.
- Biffa, D., F. Inangolet, A. Bogale, J. Oloya, B. Djonne, and E. Skjerve, 2011: Risk factors associated with prevalence of tuberculosis-like lesions and associated mycobacteria in cattle slaughtered at public and export abattoirs in Ethiopia. *Trop. Anim. Health Prod.* 43, 529–538.
- Blancou, J. M., and Y. Cheneau, 1974: Influence de la tuberculose sur le gain de poids de zébus à l'engrais. *Revue Elev. Méd. vét. Pays trop.* 45, 75–80.
- Blancou, J., C. Rorhbach, A. Perdrix, A. Chogel, and G. Rosner, 1971: La tuberculose bovine à Madagascar. *Revue Elev. Méd. vét. Pays trop.* 24, 505–517.
- Bloch, N., and I. Diallo, 1991: Enquête sérologique et allergologique sur les bovins au Niger. *Revue Elev. Méd. vét. Pays trop.* 44, 117–122.
- Boukary, A. R., M. Chaïbou, H. Marichatou, and G. Vias, 2007: Caractérisation des systèmes de production laitière et analyse des stratégies de valorisation du lait en milieu rural et périurbain au Niger : cas de la communauté urbaine de Niamey et de la commune rurale de Filingué. *Revue Elev. Méd. vét. Pays trop.* 60, 113–120.
- Cadmus, S., S. Palmer, O. Melissa, D. James, G. Karen, S. Noel, J. Keith, H. R. Glyn, and V. Stephen, 2006: Molecular analysis of human and bovine tubercle bacilli from a local setting in Nigeria. *J. Clin. Microbiol.* 44, 29–34.
- Cleveland, S., D. J. Shaw, S. G. Mfinanga, G. Shirima, R. R. Kazwala, E. Eblate, and M. Sharp, 2007: *Mycobacterium bovis* in rural Tanzania: risk factors for infection in human and cattle populations. *Tuberculosis* 87, 30–43.
- Collins, C. H., and J. M. Grange, 1983: The bovine tubercle bacilli: a review. *J. App. Bacteriol.* 55, 13–29.
- Cosivi, O., J. M. Grange, C. J. Daborn, M. C. Raviglione, T. Fujikura, D. Cousins, R. A. Robinson, H. F. Huchzermeyer, and F. X. Meslin, 1998: Zoonotic tuberculosis due to *Mycobacterium bovis* in developing countries. *Emerg. Infect. Dis.* 4, 59–70.
- Daborn, C. J., R. R. Kazwala, and D. M. Kambarage, 1997: Bovine tuberculosis research programme in Tanzania: interim results. In: Berrada, J., N. Bouchriti, and M. Bouslikhane (eds), *Animal Tuberculosis in Africa and Middle East*, pp. 151–198. Actes Editions, Rabat, Morocco.
- Dankner, W. M., and C. E. Davis, 2000: *Mycobacterium bovis* as a significant cause of tuberculosis in children residing along the United States-Mexico border in the Baja California region. *Pediatrics* 105, 79.
- Dao, M., 2005: *Contribution à l'étude de la tuberculose bovine au Mali: Enquête aux abattoirs de Bamako et de Mopti; isolement de 10 souches de Mycobacterium bovis*. PhD thesis, EISMV, Dakar, Senegal.
- Diguimbaye, C., M. Hilty, R. Ngandolo, H. M. Hassane, E. P. Gaby, F. Baggi, M. Tanner, E. Schelling, and J. Zinsstag, 2006: Molecular characterization and drug resistance testing of *Mycobacterium tuberculosis* isolates from Chad. *J. Clin. Microbiol.* 44, 1575–1577.
- Durnez, L., M. Eddyani, G. F. Mgode, A. Katakweba, C. R. Katholi, R. R. Kazwala, F. Portaels, and H. Leirs, 2008: First detection of mycobacteria in African rodents and insectivores, using stratified pool screening. *Appl. Environm. Microbiol.* 74, 768–773.
- Edginton, M. E., C. S. Sekatane, and S. J. Goldstein, 2002: Patients' beliefs: do they affect tuberculosis control? A study in a rural district of South Africa. *Int. J. Tuberc. Lung Dis.* 6, 1075–1082.
- Fischer, R. J., T. L. Johnson, S. J. Raffel, and T. G. Schwan, 2009: *Mycobacterium bovis* and *M. tuberculosis* in goats, Nigeria. *Emerg. Infect. Dis.* 15, 2066–2067.
- Haddad, N., M. Masselot, and B. Durand, 2004: Molecular differentiation of *Mycobacterium bovis* isolates. Review of main techniques and applications. *Res. Vet. Sci.* 76, 1–18.
- Humblet, M. F., M. L. Boschiroli, and C. Saegerman, 2009: Classification of worldwide bovine tuberculosis risk factors in cattle: a stratified approach. *Vet. Res.* 40, 50.
- Kamerbeek, J., L. Schouls, A. Kolk, M. Van Agterveld, D. Van Soolingen, S. Kuijper, A. Bunschoten, H. Molhuizen, R. Shaw, M. Goyal, and J. Van Embden, 1997: Simultaneous detection and strain differentiation of *Mycobacterium tuberculosis* for diagnosis and epidemiology. *J. Clin. Microbiol.* 35, 907–914.
- Kang'Ethe, E. K., C. E. Ekuttan, V. N. Kimani, and M. W. Kiragu, 2007: Investigations into the prevalence of bovine brucellosis and the risk factors that predispose humans to infection among urban dairy and non-dairy farming households in Dagoretti division, Nairobi, Kenya. *East Afr. Med. J.* 84, 96–99.
- Kazwala, R. R., D. M. Kambarage, C. J. Daborn, J. Nyange, S. F. H. Jiwa, and J. M. Sharp, 2001: Risk factors associated with the occurrence of bovine tuberculosis in cattle in the Southern Highlands of Tanzania. *Vet. Res. Commun.* 25, 609–614.
- Keet, D. F., N. P. J. Kriek, M. L. Penrith, A. Michel, and H. Huchzermeyer, 1996: Tuberculosis in buffaloes (*Syncerus caffer*) in the Kruger National Park: spread of the disease to other species. *Onderstepoort J. Vet. Res.* 63, 239–244.
- Kleeberg, H. H., 1984: Human tuberculosis of bovine origin in relation to public health. *Rev. sci. tech. Off. int. Epiz.* 3, 11–32.
- Mamo, G., G. Bayleyegn, T. S. Tessema, M. Legesse, G. Medhin, G. Bjune, F. Abebe, and G. Ameni, 2011: Pathology of camel tuberculosis and molecular characterization of its causative agents in pastoral regions of Ethiopia. *PLoS One* 6, 1–8.

- Mfinanga, S. G., O. Mørkve, R. R. Kazwala, S. Cleaveland, J. M. Sharp, G. Shirima, and R. Nilsen, 2003: Tribal differences in perception of tuberculosis: a possible role in tuberculosis control in Arusha, Tanzania. *Int. J. Tuberc. Lung Dis.* 7, 933–941.
- Michel, A. L., R. G. Bengis, D. F. Keet, M. Hofmeyr, L. M. de Klerk, P. C. Cross, A. E. Jolles, D. Cooper, I. J. Whyte, P. Buss, and J. Godfroid, 2006: Wildlife tuberculosis in South African conservation areas: implications and challenges. *Vet. Microbiol.* 112, 91–100.
- Michel, A. L., M. L. Coetzee, D. F. Keet, L. Mare, R. Warren, D. Cooper, R. G. Bengis, K. Kremer, and P. van Helden, 2008: Molecular epidemiology of *Mycobacterium bovis* isolates from free ranging wildlife in South African game reserves. *Vet. Microbiol.* 1, 9.
- MRA (Ministère de Ressources Animales/Ministry of Animal Resources), 2001: *Document cadre pour la relance du secteur de l'élevage au Niger*. MRA, Niamey, Niger.
- Müller, B., B. Steiner, B. Bonfoh, A. Fané, N. Smith, and J. Zinsstag, 2008: Molecular characterisation of *Mycobacterium bovis* isolated from cattle slaughtered at the Bamako abattoir in Mali. *BMC Vet. Res.* 4, 1–6.
- Müller, B., M. Hilty, S. Berg, M. C. Garcia-Pelayo, J. Dale, M. L. Boschioli, S. Cadmus, B. N. Richard Ngandolo, S. Godreuil, C. Diguimbaye-Djaibe, R. Kazwala, B. Bonfoh, M. B. Njanpop-Lafourcade, N. Sahraoui, D. Guetarni, A. Aseffa, M. H. Mekonnen, V. R. Razanamparany, H. Ramarokoto, B. Djonne, J. Oloya, A. Machado, C. Mucavele, E. Skjerve, F. Portaels, L. Rigouts, A. Michel, A. Müller, G. Källenius, P. D. van Helden, R. G. Hewinson, J. Zinsstag, S. V. Gordon, and N. H. Smith, 2009: African 1, an epidemiologically important clonal complex of *Mycobacterium bovis* dominant in Mali, Nigeria, Cameroon, and Chad. *J. Bacteriol.* 191, 1951–1960.
- Njanpop-Lafourcade, B. M., J. Inwald, A. Ostry, B. Durand, S. Hughes, M. Thorel, G. Hewinson, and N. Haddad, 2001: Molecular typing of *Mycobacterium bovis* isolates from Cameroon. *J. Clin. Microbiol.* 39, 222–227.
- OIE, 2007: *Santé animale mondiale en 2007*. Organisation mondiale de la santé animale (OIE), Paris, France.
- Ostrowski, S., E. Bedin, D. N. Lenain, and A. H. Abuzinada, 1998: Ten years of Arabian oryx conservation breeding in Saudi Arabia— achievements and regional perspectives. *Oryx* 32, 209.
- Pollock, J., and S. Neill, 2002: *Mycobacterium bovis* infection and tuberculosis in cattle. *Vet. J.* 163, 115–127.
- Portaels, F., R. C. Johnson, and W. M. Meyers, 2001: Buruli ulcer. Diagnosis of *Mycobacterium ulcerans*. *A Manual for Health Care Providers, ???–???*. World Health Organization, Geneva, Switzerland.
- Razanamparany, R. V., R. Quirin, A. Rapaoliarijaona, H. Rakotoaritahina, E. J. Vololonirina, T. Rasolonavalona, S. Ferdinand, C. Sola, N. Rastogi, H. Ramarokoto, and S. Chanteau, 2006: Usefulness of restriction fragment length polymorphism and spoligotyping for epidemiological studies of *Mycobacterium bovis* in Madagascar: description of new genotypes. *Vet. Microbiol.* 114, 115–122.
- Regassa, A., G. Medhin, and G. Ameni, 2008: Bovine tuberculosis is more prevalent in cattle owned by farmers with active tuberculosis in central Ethiopia. *Vet. J.* 178, 119–125.
- Rigouts, L., B. Maregeya, H. Traore, J. P. Collart, K. Issette, and F. Portaels, 1996: Use of DNA restriction fragment typing in the differentiation of *Mycobacterium bovis* complex isolates from animals and humans in Burundi. *Tuber. Lung Dis.* 77, 264–268.
- Sahraoui, N., B. Müller, D. Guetarni, F. Boulahbal, D. Yala, R. Ouzrout, S. Berg, N. H. Smith, and J. Zinsstag, 2009: Molecular characterization of *Mycobacterium bovis* strains isolated from cattle slaughtered at two abattoirs in Algeria. *BMC Vet. Res.* 5, 4.
- Schelling, E., C. Diguimbaye, M. Hilty, F. Baggi, R. Ngandolo, and J. Zinsstag, 2005: Epidémiologie moléculaire des premiers isolements de mycobactéries chez l'animal du Tchad. *Epidémiol. et santé anim.* 48, 81–91.
- Sidibé, S. S., N. A. Dicko, A. Fané, R. M. Doumbia, C. K. Sidibé, S. Kanté, O. Mangané, B. Konaté, A. Z. Koné, M. S. Maïga, and M. Fofana, 2003: Tuberculose bovine au Mali : résultats d'une enquête épidémiologique dans les élevages laitiers de la zone périurbaine du district de Bamako. *Revue Élev. Méd. vét. Pays trop.* 56, 115–120.
- Smith, N. H., and P. Upton, 2011: Naming spoligotype patterns for the RD9-deleted lineage of the *Mycobacterium tuberculosis* complex; <http://www.Mbovis.org>. *Infect. Genet. Evol.* doi: 10.1016/j.meegid.2011.08.002.
- Thoen, C. O., and B. R. Bloom, 1995: Pathogenesis of *Mycobacterium bovis*. In: Thoen, C. O., and J. H. Steele (eds), *Mycobacterium bovis Infection in Animals and Humans*, pp. 3–14. Iowa State University Press, Ames.
- Thorel, M. F., 2003: Tuberculose. In: Lefèvre, P., J. Blancou, and R. Chermette (eds), *Principales maladies infectieuses et parasitaires du bétail*, pp. 927–949. Editions Médicales Internationales, Paris, France.
- Thys, E., H. Schiere, G. Van Huylenbroeck, A. Mfoukou-Ntsakala, M. Ouedraogo, and S. Geerts, 2006: Three approaches for the integrated assessment of urban household livestock production systems: cases from Sub-Saharan Africa. *Outlook Agr.* 35, 7–18.
- Wernery, U., J. Kinne, K. L. Jahans, H. M. Vordermeier, J. Esfandiari, R. Greenwald, B. Johnson, A. Ul-Haq, and K. P. Lyashchenko, 2007: Tuberculosis outbreak in a dromedary racing herd and rapid serological detection of infected camels. *Vet. Microbiol.* 122, 108–115.
- WHO (World Health Organization), 2011: Stratégie de Coopération, un aperçu. Available at: http://www.who.int/countryfocus/cooperation_strategy/ccsbrief_ner_fr.pdf (accessed on February 21, 2011).

Woodford, M. H., 1982: Tuberculosis in wildlife in the Ruwenzori National Park Uganda. *Trop. Anim. Health Prod.* 14, 81–88.

Zieger, U., G.S. Pandey, N.P.J. Kriek, and A.E. Cauldwell, 1998: Tuberculosis in kafue lechwe (*Kobus leche kafuensis*) and in a bushbuck (*Tragelaphus scriptus*) on a game ranch

in Central Province, Zambia. *J. South Afric. Vet. Assoc.* 69, 98–101.

Zinsstag, J., E. Schelling, K. Wyss, and M. B. Mahamat, 2005: Potential of cooperation between human and animal health to strengthen health systems. *Lancet* 366, 2142–2145.

Chapitre 7

Bovine tuberculosis prevalence survey on cattle in the rural livestock system of Torodi (Niger)

Etude de la prévalence de la tuberculose bovine dans les systèmes de production ruraux de Torodi (Niger)

Abdou Razac Boukary, Eric Thys, Emmanuel Abatih, Djibo Gamatie, Issoufou Ango, AlhassaneYenikoye, Claude Saegerman

Article original publié dans « *PloS ONE* », 6(9): e24629. doi:10.1371/journal.pone.0024629

Bovine Tuberculosis Prevalence Survey on Cattle in the Rural Livestock System of Torodi (Niger)

Abdou Razac Boukary^{1,2,3,4}, Eric Thys², Emmanuel Abatih², Djibo Gamatié⁵, Issoufou Ango⁶, Alhassane Yenikoye³, Claude Saegerman^{4*}

1 Department of Animal Health and Livestock Promotion, ONG Karkara, Niamey, Niger, **2** Department of Animal Health, Institute of Tropical Medicine, Antwerp, Belgium, **3** Faculty of Agronomy, University of Niamey, Niamey, Niger, **4** Department of Infectious and Parasitic Diseases, Research Unit of Epidemiology and Risk Analysis Applied to Veterinary Sciences (UREAR), Faculty of Veterinary Medicine, Université de Liège, Liège, Belgium, **5** Ministry of Agriculture and Livestock, Central Veterinary Laboratory, Niamey, Niger, **6** Ministry of Agriculture and Livestock, Direction of Animal Production, Niamey, Niger

Abstract

Background: Bovine tuberculosis (BTB) is a widespread zoonosis in developing countries but has received little attention in sub-Saharan Africa, especially in Niger. Recent investigations confirmed the high incidence of the disease in cattle slaughtered in an abattoir in Niamey. The fact that most of the animals in which *M. bovis* has been identified were from the rural area of Torodi implied the existence of a probable source of BTB in this region. This study aimed to determine the prevalence of BTB infection in cattle and to identify risk factors for infection in human and cattle populations in Torodi.

Methods and Principal Findings: A survey was carried out at the level of households keeping livestock (n=51). The questionnaire was related to the potential risk factors and the presence of clinical signs of TB both in animals and humans. Comparative Intradermal Tuberculin Test was conducted to determine the TB status in cattle (n=393). The overall apparent individual animal prevalence of tuberculin reactors was 3.6% (CI: 95%, 1.9–5.9), whereas the individual true prevalence was estimated at 0.8% (CI: 95%, 0.0–5.0). Using a multivariate logistic regression analysis and a classification tree analysis, the only household level risk factor that significantly influenced the presence of BTB in cattle was the presence of animals coughing in the herd (OR=4.7, 95% CI: 1.12–19.71, p-value=0.034). The lack of the practice of quarantine was borderline significant (OR=4.2, 95% CI: 0.96–18.40, p-value=0.056).

Conclusion/Significance: The study confirmed that BTB is endemic in cattle in Torodi and the risk of the transmission of the disease to humans is potentially high. For the control of the disease in livestock, slaughtering of infected animals and the compensation of the owners is needed. Collaboration between the veterinary and the medical sectors, in the diagnosis, monitoring, prevention and control of BTB is strongly encouraged.

Citation: Boukary AR, Thys E, Abatih E, Gamatié D, Ango I, et al. (2011) Bovine Tuberculosis Prevalence Survey on Cattle in the Rural Livestock System of Torodi (Niger). PLoS ONE 6(9): e24629. doi:10.1371/journal.pone.0024629

Editor: Igor Mokrousov, St. Petersburg Pasteur Institute, Russian Federation

Received: February 4, 2011; **Accepted:** August 16, 2011; **Published:** September 22, 2011

Copyright: © 2011 Boukary et al. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

Funding: The authors wish to thank the Belgian Directorate General for Development Cooperation (DGDC) for funding this study. The funders had no role in study design, data collection and analysis, decision to publish, or preparation of the manuscript.

Competing Interests: The authors have declared that no competing interests exist.

* E-mail: Claude.Saegerman@ulg.ac.be

Introduction

Tuberculosis due to *Mycobacterium bovis* is one of the seven most neglected endemic zoonoses in the world, particularly in developing countries [1]. In sub-Saharan Africa, bovine tuberculosis (BTB) causes significant economic losses. Indeed, the disease induces high animal morbidity and mortality that eventually reduces the financial capital and increases production costs [2,3]. In addition, BTB represents a major threat to wildlife because it spreads rapidly, affecting a wide variety of animal species and likely to create a permanent reservoir of infection [4]. However, the relative importance of different sources of infection and routes of transmission in Africa are still largely unknown [5].

In Niger, opportunities exist for zoonotic transmission of *M. bovis*, including widespread consumption of unboiled milk, inadequate sanitation measures and extremely close human–livestock contact in rural as well as in urban communities [6]. However, little is known about the factors influencing the prevalence of bovine tuberculosis,

or the principal risk factors for infection both in cattle and in humans. It should be noted that there is no formal program to control BTB in cattle in Niger [7]. Investigations carried out mainly on ranches and farms in Niger by single intradermal tuberculin test (SITT) showed that the disease occurred at relatively low prevalence levels ranging from 1.6 to 3.2% [8,9]. In a follow-up study of 10 years (1974–1983), Alambédji [8] reported that on a total of 323, 339 cattle slaughtered at the abattoir of Niamey (capital of Niger), 2,538 were carrying TB-like lesions. Of these cattle with suspected BTB lesions, 43% came from the rural area of Torodi [8]. According to the author, this is linked to the intensive commercial livestock transactions between the capital city and its surrounding rural areas with Torodi district being the most important provider.

A recent study based on retrospective data analysis and a longitudinal survey in an abattoir in Niamey confirmed this trend. Boukary et al. [7] found that the rural zone of Torodi provided 56.2% of the observed BTB suspected gross lesions in the carcasses at the abattoir of Niamey. According to these authors, the

prevalence of BTB-like lesions in cattle would be four times higher in Torodi than in other regions. The same authors isolated *M. bovis* from 18 animals and identified 4 different spoligotypes. Eleven of those 18 animals were from Torodi. Most *M. bovis* strains found in Niger such as SB1440, SB0944, SB0300 and SB1433 belong to type Af1 previously identified in Central and West Africa including Cameroon, Chad, Nigeria and Mali [10–14]. In addition, a profile (SB1982) not previously reported has been characterized in one Djeli cow from Torodi area [7]. So, the suspicion is high that cattle in the rural zone of Torodi may probably be an important source of BTB infection in Niger.

The current study builds on the aforementioned preliminary analysis and attempts to present, for the first time, more detailed results from an investigative study of risk factors for cattle and human *M. bovis* infection. The main objective of this project was to determine the prevalence of BTB infection in cattle in the rural area of Torodi.

Materials and Methods

Description of the study area and production system

The rural district of Torodi (**Figure 1**) is located in the Say department (Tillabery Region) in the far south-west of Niger at latitude 13°7'9 N and longitude 1°47'58 E. It covers 6978 km², which corresponds to 62% of the total area of Say department. Torodi includes 105 administrative villages with an estimated population of 114,518 inhabitants [15]. Animals are managed under traditional husbandry system (extensive/transhumant). Livestock is mainly composed of cattle, sheep, goats and camel. They depend entirely on natural pastures and farm by-products without extra feed supplements and adequate health services. Cattle and small ruminants are usually driven to pasture together. Camels are generally led in separate herds and their feeding is mainly based on tree fodder. Livestock production is mainly oriented towards the production of slaughter animals. Milk is commonly used for home consumption. However, the excess milk is sold on rural markets.

Finally, because of its proximity to the W natural park stretched over Niger, Burkina Faso and Benin, Torodi is also an interface zone between domestic animals and wildlife (**Figure 1**). The W park is home to over 250 animal species. Of these, contact risk seems particularly high with herbivores such as elephant, buffalo, red hartebeest (*Alcelaphus buselaphus*), roan (*Hippotragus niger*) and bushbuck (*Tragelaphus scriptus*), but also with carnivores such as lion, cheetah, hyena, and leopard.

Study design and data collection

The experiment took place between November 2007 and December 2009 in the rural zone of Torodi and was conducted in two phases. First, a cross-sectional household survey was carried out and the second step was the execution of the animal tuberculin test using comparative intra-dermal tuberculin testing (CITT).

The two stage cross-sectional household survey. It was carried out from November to December 2007. Firstly, ten villages were randomly sampled from the 105 rural villages of Torodi district. Secondly, 100 households keeping ruminants were proportionately and randomly extracted from up-to-date census databases of livestock keepers in the 10 villages (**Table 1**).

The questionnaire used in the face-to-face interview with the head of the selected households included questions related to the social life of households, animal husbandry practices, food habits and the presence of clinical signs of TB both in animals and humans. After evaluation and screening of the results, 92 questionnaires were validated. The other 8 questionnaires

included biases and were rejected for non-compliance with the selection criterion of keeping ruminants. Geographical coordinates were registered at the central point of each village by hand held global positioning system (GPS) instrument. For a better understanding of the relative importance and inter-relations between the various risk factors explaining the BTB status in cattle, data from both human and cattle surveys were compared. Out of the 92 households from the survey of 2007, only 51 were retrieved during the second investigation on BTB prevalence (see below). Only these 51 households were therefore included in the analysis on risk factors.

Determination of the apparent prevalence of BTB by comparative intra-dermal tuberculin testing (CITT). Between September and December 2009, all cattle older than 4 years (393 heads) belonging to the 51 remaining households from the previous survey were tested with CITT. The choice of this class of animals was justified by the need to include all animals actually present in the herds at the moment of the previous investigation. In the study, cattle of each village are considered as one single epidemiological unit i.e. a group of animals for which the risk of transmission of a pathogen within the group is significantly higher than that between one animal in the group and an animal in another group.

The CITT was chosen because, compared to simple intra-dermal tuberculin testing (SITT) this technique has the advantage of differentiating between infections by *M. bovis* and those by other mycobacteria (including the avian group) [16,17]. In addition, difficulties to conduct subsequent field investigations in case of preliminary use of SITT (recognized as a little more sensitive) were also taken into account. CITT was conducted as described in the OIE manual [17]. The operation is performed on the right side of the animal in the middle neck region. Two circular areas of about 2 cm² diameter, about 12–15 cm apart, on the cervical area of the skin, were clipped with a curve scissors and disinfected with 70% ethanol. The initial skin thickness was measured with a calliper (Hauptner®). Respectively, 0.1 ml (20 000 IU/ml) of bovine tuberculin PPD (Bovituber PPD, Synbiotics Europe, Lyon, France) at one site and 0.1 ml (25 000 IU/ml) of avian tuberculin PPD produced in Lelystad (Netherlands) at the other site were injected into the dermis. Skin thickness was measured again at both injection sites after 72 hr. The reaction at each site was derived by measuring the difference of the skin thickness before and 72 hr after the injection.

The results were interpreted according to the recommendations of the World Organisation for Animal Health [17] using the cut-off point for positivity of the CITT test, calculated as the difference between skin thicknesses after bovine tuberculin (B) and avian tuberculin (A) injections (B – A). The test was considered positive if the difference was greater than 4 mm. The reaction was declared doubtful if the increase in skin thickness was between 2 and 4 mm.

Determination of the true prevalence of BTB. Because no data were available for Niger, specificity (Sp) and sensitivity (Se) for the CITT were estimated using the values of the study carried out in Ethiopia by Ameni et al. in 2008 [16]. The values of Se and Sp and their 95% confidence intervals at a cut-off of >4 mm based on this study were as follows: Se: 0.594 (95% CI: 0.489–0.693) and Sp: 0.969 (95% CI: 0.893–0.996).

The true prevalence (TP) was estimated by using the values of Sp and Se applied in the formula proposed by Rogan and Gladen [18]: $TP = (AP + Sp - 1) / (Se + Sp - 1)$, where AP is the apparent prevalence; Se is the sensitivity and Sp is the specificity.

Statistical analysis

Descriptive analysis. Descriptive statistics were used to compare the proportion of BTB infected households for different

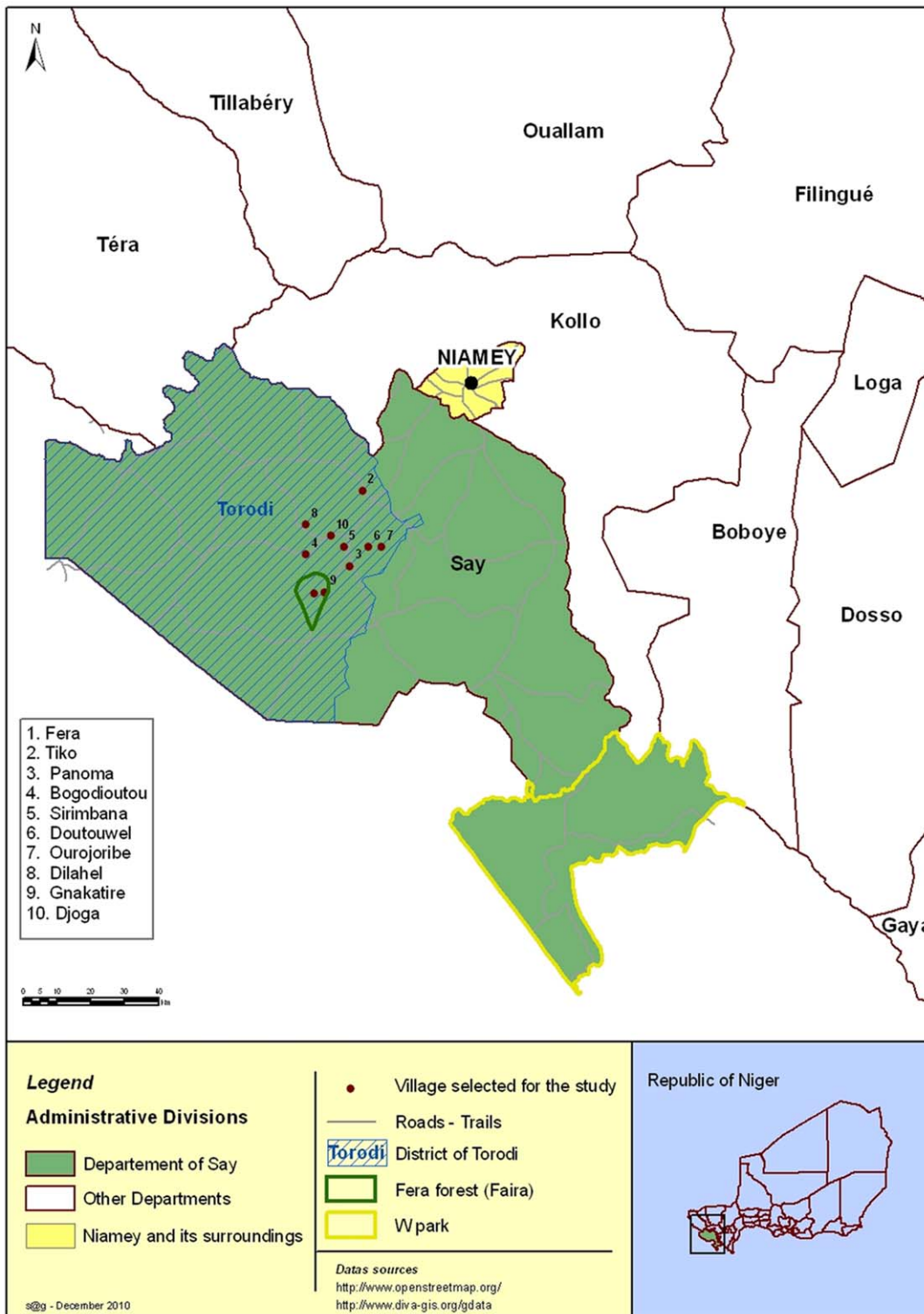


Figure 1. Location of the study zone (Torodi) in Niger.
 doi:10.1371/journal.pone.0024629.g001

levels of the risk factors considered. All the risk factors considered for this study are listed in **Table 2**. Variables with more than 25% missing observations were not considered for analysis and only those deemed as relevant risk factors were examined. Categorical variables with more than two levels were coded as dummy

variables. Logistic regression was employed to examine the effects of sex and age on BTB infection in cattle.

Examination of risk factors for BTB transmission. The risk factors for BTB were determined based on a two stage modelling approach. Initially, a univariate analysis was performed

Table 1. Within herd apparent prevalence in local cattle (n=393) in the rural zone of Torodi, Niger.

Herd (site)	Number of households interviewed per site	Number of household tested with CITT*	Number of animals tested	Number of positive animals	Number of households with positive animals	Apparent within herd prevalence (AP)	
						Average	95% CI:
Bogodioutou	6	3	8	0	0	-	-
Dilahel	11	3	53	0	0	-	-
Djoga	10	6	90	1	1	1.1	0.03–6.0
Doutouwel	10	4	21	0	0	-	-
Fera	6	2	6	0	0	-	-
Gnakatire	15	5	60	3	2	5.0	1.0–13.9
Ourojoribe	13	9	48	2	2	4.2	0.5–14.3
Panoma	9	5	23	2	2	8.7	1.1–28.0
Sirimhana	11	9	42	2	2	4.8	0.6–16.2
Tiko	9	5	42	4	4	9.5	2.7–22.6

Apparent prevalence (AP) and estimation of the true prevalence (TP) of bovine tuberculosis among local cattle (n=393) in the rural zone of Torodi, Niger. TP was calculated using the value of Sensitivity and Specificity for the cut-off of >4 mm according to Ameni et al. (2008).

*Number of households in which animals were tested by comparative intra-dermal tuberculin testing (CITT).

doi:10.1371/journal.pone.0024629.t001

to study the association between each household factor and the presence or absence of bovine tuberculosis in the household's herd. Presence is defined as a positive CITT result for at least one animal from the household's herd. This was conducted by fitting a logistic regression model between each predictor variable individually on the outcome variable. Following the univariate analysis, only factors with a p-value <0.25 were selected as potential factors to be included in the multivariable logistic regression model. The most appropriate model was selected using backward stepwise selection. The effects of confounding were investigated by observing the change in the estimated odds ratios of the variables that remain in the model once a non-significant variable was removed. When the removal of a variable led to a change of more than 25%, that variable was considered a confounder and was not removed from the model. All pairwise interactions between the variables in the final model were examined for significance. Goodness of fit was assessed using the Hosmer-Lemeshow goodness-of-fit test. All statistical analyses were performed using STATA, version 11, software (Stata Corp LP, College station, Texas) [19].

Using the same set of significant variables from the univariate analysis, we conducted a classification and regression tree (CART) analysis [20] in an attempt to better understand the relative importance and inter-relations among different risk factors in explaining BTB status in cattle. CART is a non-parametric method used for identifying predictor variables by using binary recursive partitioning. In this method subsets of households are formed by examining each possible cut point of each variable to identify the cut point that resulted in maximum discrimination between subgroups of households with respect to the probability of BTB infection.

Results

Apparent and true prevalence of BTB

The comparative intradermal tuberculin test (CITT) focused on 393 cattle (*Bos indicus*) of which 99% were of the Djeli breed, 2 (0.5%) were of the Azawak breed and 2 (0.5%) were crossbred. There were 36 bulls (9.2%) serving 357 cows (90.8%). The age distribution shows that 53.9% of the animals were between 4 and 7

years old, 29.0% between 8 and 10 years old and 17.0% were older than 10 years (Table 3). Of all animals tested, 23 (6.9%) presented doubtful results with CITT values between 2 and 4 mm. The results presented in Table 1 show that the apparent (AP) and true (TP) prevalence of BTB was 5.6% (95% CI: 0.7–18.7) and 4.4% (CI: 95%, 0–27.6) in bulls respectively. In cows, the AP was 3.4% (CI: 95%, 1.7–5.8), while the estimated TP was 0.5% (CI: 95%, 0.0–4.8). There was no statistically significant difference between cows and bulls (Fisher's exact test; $P>0.05$).

The overall apparent individual animal prevalence of tuberculin reactors was 3.6% (CI: 95%, 1.9–5.9), whereas the individual true prevalence was estimated at 0.8% (CI: 95%, 0.0–5.0). The villages of Tiko and Panoma were the most affected with intra-herd apparent prevalence of 9.5% and of 8.7% respectively. No positive animals were detected in herds tested in the villages of Bogodioutou, Dilahel, Doutouwel and Fera. In addition, none of the assessed potential risk factors of BTB transmission in cattle such as age and sex were statistically significant.

Risk factors for BTB transmission in humans and cattle

The results presented in Table 2 show that households investigated in this study belonged mostly to the Fulani ethnic group (76.5%) while 19.6% were Zarma and 3.9% were from the Gurma ethnic group. The heads of interviewed households were mainly illiterates, since 87.8% of them had no grade level and none of them had exceeded the level of basic primary school. Husbandry occupies an important place in the household economy in Torodi area. The average number of cattle owned per household was 18 (± 17) heads. About 60.9% of household heads surveyed considered that agriculture was the biggest business in terms of time occupation and contribution to household survival. Indeed, agricultural tasks are considered more difficult by the household members since they take up more time and manpower.

As concerns eating habits of the population, it should be noted that consumption of unpasteurized dairy products is a widespread practice. More than 68% of the households heads interviewed said that their families consumed exclusively unpasteurized milk, while 21.6% consumed powdered milk and 9.8% consumed pasteurized

Table 2. Univariate analysis of raw data indicating potential risk factors associated with bovine tuberculosis (BTB) in cattle and humans in the rural area of Torodi, Niger.

Category	Variable Code	Level	Proportion	Odds ratio	95% CI	P-value	
Location	Site	Name of the village (also designates the epidemiological unit = herd) where surveys were conducted: 1 Bogodioutou; Dilahel 2, 3 ..., 10 Tiko.					
Social characteristics of the household	Age	Age of head of household (interviewee)		1.0	0.9–1.0	0.429	
	Ethnic group	Ethnic group of head of household:					
		1 : <i>Fulani</i>		76.5	Ref	-	-
		2 : <i>Zarma</i>		19.6	0.6	0.1–3.4	0.602
		3 : <i>Gurma</i>		3.9	ND		
	Education	Educational level of head of household					
		1: <i>Any level</i>		87.8	Ref	-	-
		2: <i>Literate (can read and write only)</i>		6.1	0.9	0.7–12.1	0.955
		3: <i>Primary school level</i>		6.1	0.5	0.1–2.0	0.337
		4: <i>Educated (level of high school, university)</i>		0	0.9	0.3–3.1	0.920
	Household size	Number of people living in the household			1.0	0.9–1.1	0.633
	Marital status	Number of wives of the household head.					
		1: <i>monogamous (only 1 wife)</i>		66.7	Ref	-	-
		2 : <i>polygamous (2 or more than 2 wives)</i>		33.2	1.6	0.4–6.2	0.481
Practices related to livestock	Husbandry	Importance of livestock in the socio-economic aspects of the household (occupation of working time and economic contribution)					
		1: <i>High</i>		45.7	Ref	-	-
		2: <i>Moderate</i>		45.6	1.3	0.3–5.0	0.726
		3: <i>Low</i>		8.7	1.0	0.9–12.7	0.959
	Crops	Importance of crops in the socio-economy aspects of the household (occupation of working time and economic contribution)					
		1: <i>High</i>		60.9	Ref	-	-
		2: <i>Low</i>		39.1	1.4	0.4–5.6	0.623
	Herd size	Number of cattle owned by the household			1	0.9–1.0	0.588
	Handling*	Handling of newly arrival animals (mixed with others animals or quarantined)					
		1: <i>Mixed</i>		74.5	Ref	-	-
		2: <i>Quarantine</i>		25.5	3.8	1.0–14.9	0.055
	Milk consumption	Type of dairy product usually consumed within the household.					
		1: <i>Unpasteurized milk</i>		68.6	Ref	-	-
		2: <i>Pasteurized milk</i>		9.8	0.7	0.7–7.3	0.783
		3: <i>Milk powder</i>		21.6	1.0	0.2–5.0	0.918
	Hygiene	How (with what) are utensils used for milking and milk processing cleaned					
<i>Plain water</i>			51.0	Ref	-	-	
<i>Hot water</i>			13.7	1.1	0.2–6.9	0.931	
<i>Detergent</i>			7.8	ND	-	-	
	<i>Other products</i>		27.5	1.1	0.3–4.6	0.911	
Reporting of clinical signs of TB in animals and humans by interviewees	Weight loss	Presence of animals showing a state of severe weight loss despite a good diet and deworming	69.4	1.7	0.4–7.2	0.494	
Animals cough*	Presence of animals suffering from chronic cough in the herd	43.1	4.3	1.1–4.8	0.034		
Dead cough*	Whether or not animals died of chronic cough in the herd	52.9	2,5	0.7–9.5	0,18		

Table 2. Cont.

Category	Variable Code	Level	Proportion	Odds ratio	95% CI	P-value
	Entourage cough*	Presence of people suffering from chronic cough in the close environment of the household	54.9	2.3	0.6–8.6	0.235
	Household cough*	Presence of people suffering from chronic cough in the household	19.6	4.1	1.0–17.8	0.057
CITT	CITT**	Having or not at least one animal testing positive by CITT within the household (1 having at least one animal tested positive by CITT within the household; 0: not having animals tested positive by CITT within the household)				

*These values had P -value<0.25 and were identified as potential risk factors for inclusion in the multivariable analysis; Ref: indicate that the level is taken as the reference to which others are compared; ND: not determined;

**Target variable for multivariate analysis and CART analysis.

doi:10.1371/journal.pone.0024629.t002

milk. Good hygienic practices were also lacking. Indeed, 51% of the surveyed households used only natural water (water from wells or creek water) to clean the equipment used for milking or processing of milk. The use of natural products such as leaves or tree bark was practiced by 27.5% of the households.

In terms of animal management, the practice of quarantine is well known to farmers though overall not commonly practiced. Eighty eight percent of respondents said they knew this technique but only 25.5% practiced quarantine. The duration of quarantine varies depending on the villages and livestock keeper. For those who practice in the region of Torodi, this period is 3 to 5 weeks (20 to 40 days) during which new animals are kept away from the rest of the herd. This period may allow farmers to observe the general body conditions of the animals and to detect possible clinical signs of diseases including symptoms associated with BTB. The presence of chronic cough (frequent cough sometimes accompanied by haemoptysis and nasal discharge for at least 3 months) appeared to be the main clinical symptom of TB both in animals and humans in the study area. Indeed, 43.1% of the interviewed household heads reported cases of chronic cough in animals and 53%

acknowledged having had at least one case of death in animals showing this symptom within the last 5 years. Regarding human health, 55% and 19.6% of the respondents reported that they know people suffering from chronic cough in their immediate surroundings or in their own households respectively. Following the univariate analysis, 5 variables with p -values<0.25 (**Table 2**) were subjected to the multivariable analysis: the practice of quarantine (variable “Quarantine”), the presence of animals suffering from chronic cough in herds (variable “Animals cough”), the presence of dead animals due to chronic cough in herds (variable “Dead cough”), the presence of people with chronic cough in the entourage of the household (variable “Entourage cough”) and the presence of people suffering from chronic cough in the household (variable “Household cough”) (**Table 2**). The final multivariable model indicated that the only household level risk factor that significantly influenced the presence of bovine tuberculosis was the presence of animals coughing in the herd (P -value<0.05) (**Table 4**). The handling of newly arrived animals (quarantine) was identified as a confounder and was forced into the final model. However, there was no significant interaction between

Table 3. Apparent prevalence in local cattle (n = 393) in the rural zone of Torodi, Niger.

Age group	Sex	Number of animals tested	Number of positive animals	Apparent prevalence (AP) %		True prevalence (TP) %	
				AP	95% CI:	TP	95% CI:
4–7 years	Male	36	2	5.6%	0.7–18.7	4.4%	0–27.6
	Female	176	8	4.5%	2.0–8.8	2.6%	0–10.0
8–10 years	Male	0	0	-	-	-	-
	Female	114	1	0.9%	0.0–4.8	0.0%	0–3.0
>10 years	Male	0	0	-	-	-	-
	Female	67	3	4.5%	0.9–12.5	2.4%	0–16.8
	Total Male	36	2	5.6%	0.7–18.7	4.4%	0–27.6
	Total Female	357	12	3.4%	1.7–5.8	0.5%	0–4.8
Total	N	393	14	3.6%	1.9–5.9	0.8%	0–5.0

Apparent prevalence (AP) and estimation of the true prevalence (TP) of bovine tuberculosis among local cattle (n = 393) in the rural zone of Torodi, Niger. TP was calculated using the value of Sensitivity and Specificity for the cut-off of >4 mm according to [8].

doi:10.1371/journal.pone.0024629.t003

Table 4. Results of the final multivariable logistic regression model using backward stepwise selection with significant household level risk factors for bovine tuberculosis in the Torodi zone of Niger.

Risk factor	Level	Odds ratio	95% CI	P-value
Animal cough	0	Ref	-	-
	1	4.7	1.1–19.7	0.034
Handling of newly arrivals (quarantine)	0*	Ref	-	-
	1**	4.2	1.0–18.4	0.056

Ref: indicate that the level is taken as the reference to which others are compared;

*: quarantine was practiced;

** : mixed newly arrivals animals.

doi:10.1371/journal.pone.0024629.t004

the two main effects. The Hosmer–Lemeshow test showed that the model fit the data well ($\chi^2 = 0.00$, $df = 1$, $p\text{-value} = 0.95$). It can be concluded from the results that households with the presence of cattle coughing had higher odds of BTB infection as compared to those where such animals were absent (OR 4.7, 95% CI: 1.12–19.71, $p\text{-value} = 0.034$). Similarly the odds of having BTB for those households where newly arriving animals were mixed with the other animals in the herd were 4 times higher than those where quarantine was practiced (OR 4.2, 95% CI: 0.96–18.40, $p\text{-value} = 0.056$).

The CART model retained the following variables as major determinants of the target variable “CITT” (presence of TB) in decreasing order of influence: animals cough, number of animals, age, handling, crops, household size, weight loss, entourage cough, hygiene and milk consumption (Table 5).

Figure 2 shows the optimal classification tree as produced by CART. The 51 households in which animals were tested by CITT were initially divided into two intermediate nodes based on the number of animals. The classification tree ends in four terminal nodes: a terminal group of households mixing the new animals with the others (group “mixed”) ($n = 7$), a subgroup of heads of households who practice quarantine ($n = 26$), a subgroup of households where the animals never suffered from chronic cough ($n = 8$) and a subgroup of households with animals suffering from

Table 5. Ranking of BTB risk factors by overall discriminatory power using CART.

Variable	Discriminatory power
Animals cough	100
Number of animals	99.2
Age	76.4
Handling (quarantine)	46.3
Crops	37.0
Household size	34.6
Weight loss	24.5
Entourage cough	16.9
Hygiene	0.9
Milk consumption	0.03

doi:10.1371/journal.pone.0024629.t005

chronic cough ($n = 10$). The latter group was observed in 70.0% of households having animals reacting positively to CITT.

Discussion

Comparative intra-dermal tuberculin testing

Studies on the determination of the TP of BTB in West Africa are relatively rare. Also, regarding the AP of BTB, the results obtained by different authors using the intradermal tuberculin skin test are hardly comparable. Indeed, the performance of the tuberculin skin test can be affected by environmental factors, the prevalence of TB, host factors such as status of immunity, genetics, etc., and the nature of the tuberculin test used [21]. In addition, the cut-off point ideal for one group of cattle in a specific geographic area may be less ideal for another group in another environment [16]. Due to the paucity of local values for sensitivity (Se) and specificity (Sp) of the comparative intradermal tuberculin skin test (CITT), we estimated the TP of BTB using the results obtained by Ameni et al. [16] on cattle (*Bos indicus*) in the central region of Ethiopia. The values of Se and Sp found in Ethiopian local cattle breeds seemed more appropriate in the context of Niger compared to official values of the OIE [17] which were determined on European cattle (*Bos taurus*).

The low global TP of infection of cattle with *M. bovis* (0.8%) is in accordance with the results of Boukary et al. [7] who reported low rates of gross lesions suspected tuberculosis in cattle carcasses at the Niamey abattoir, where the average gross visible lesions was 0.19% (95% CI: 0.15–0.23) with a dominance of lesions in animals from Torodi. The low prevalence of BTB at the Niamey abattoir can be explained in part by the fact that the classical meat inspection is not able to detect all tuberculosis infected animals with confirmed lesions [22]. The TP of BTB in the rural area of Torodi is similar to that reported by Delafosse et al. [23] in the region of Abeche in Chad which was estimated to be 0.8%. The overall AP from our study (3.6%) is slightly higher than that reported by Alamedgi [8] and Bloch and Diallo [9] who found AP values between 1.6 and 3.2% using the single intradermal tuberculin test (SITT) on cattle reared in extensive systems in Niger. The prevalence of BTB is generally quite low in rural Africa where production systems are extensive. Cleaveland et al. [5] found an AP of 0.9% by CITT in cattle in the rural areas of Tanzania while Tschopp et al. [24] found an AP of 3% using the same test in rural areas in Ethiopia. On the contrary, our results regarding the AP of BTB in Torodi are lower than those reported by several authors in the urban and suburban African farms. For example, Cadmus et al. [25] found an AP of 10.5% by CITT in cattle in the city of Ibadan in Nigeria. Similarly Regassa et al. [26] found an individual AP of 11.6% in cattle through a study based on CITT conducted in Hawassa town and surroundings in Ethiopia. Sidibé et al. [27] and Traoré et al. [28] found an individual AP of 18.6% and 27.7% respectively by CITT and SITT in cattle raised on intra-urban and suburban systems in Bamako and Ouagadougou. Although the region of Torodi can be considered a potential source of BTB in Niger [7,8], the individual prevalence of this disease remains low. This can be explained by the extensive nature of livestock keeping in the region. Indeed, the combination of adverse environmental conditions and extensive livestock practices could explain the low spread of BTB infection [3]. It should also be noted that our experiments were conducted during an extremely dry year and we noted in our study area, a strong seasonal movement of livestock to the natural reserve of W which is wetter and where animals are provided with feed.

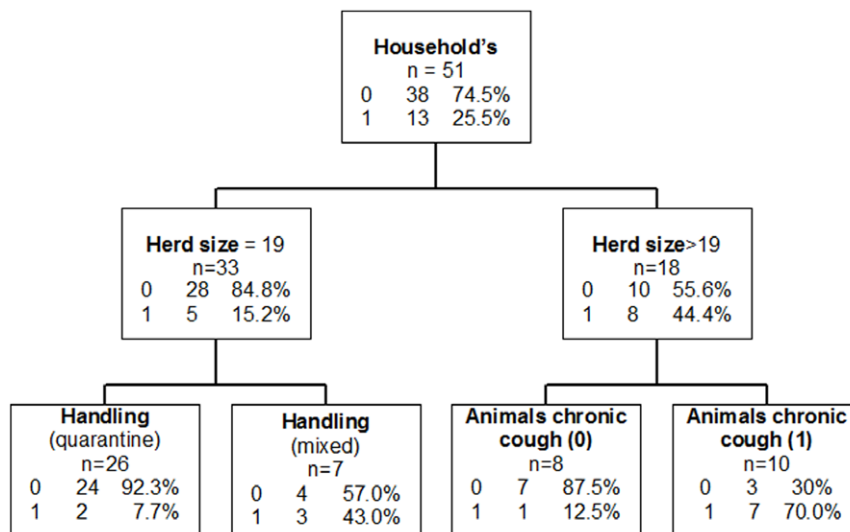


Figure 2. Classification tree produced using CART with target variable "CITT" (1 having at least one animal tested positive by CITT within the household; 0: not having animals tested positive by CITT within the household). Classification tree representing the important factors influencing CITT positivity. Target variable is "CITT" (1 having at least one animal tested positive by CITT within the household; 0: not having animals tested positive by CITT within the household). The following variables were selected by the tree as important factors: herd size with a cut off of 19 cattle in the herd; Handling (quarantine: keeping newly arrived animals out of the herd – mixed: new animals mixed with the other animals); Animals chronic cough (0=absence of animals with chronic cough in the herd and 1=presence of animals with chronic cough). doi:10.1371/journal.pone.0024629.g002

Risk factors for BTB transmission in human and cattle

Risk factors in cattle. Research conducted in the pastoral areas of Africa have shown that environmental factors such as sharing water points, grazing or high promiscuity are potential risk factors for transmission of BTB among animals [3,29–31]. Our results showed that the presence of chronic cough in animals is closely linked to CITT reaction (OR = 4.7, 95% CI: 1.12–19.71, p-value = 0.034). The analysis performed with CART software has also shown that chronic cough in animals is the most important determinant of BTB infection in the context of Torodi. The predominance of suspect BTB gross lesions in the respiratory tract of cattle in previous studies conducted at the Niamey abattoir [7] has suggested that the respiratory route is the principal mode of transmission. Our results corroborate those of several authors who reported that aerosols are the main route of cattle-to-cattle transmission [32–34]. Similarly, several other authors [35,36] found a significant association between respiratory pathology and reactivity to CITT. We found that the practice of quarantine reduced the presence of animals reacting positively to CITT within herds (OR 4.2, 95% CI: 0.96–18.40, p-value = 0.056). A possible reason for this is that as quarantine is not practiced, the risk of introducing infected animals into an infection free herd becomes higher [36]. It is obvious that the practice of quarantine would allow farmers to detect early clinical signs of BTB on new animals and would allow them to take appropriate health measures to protect the rest of the herd. In addition, the use of intra-dermal tuberculin testing upon arrival of new animals may drastically increase the chance to detect infected animals before their introduction into the herd. In accordance with findings from other studies [35,37], our results show that, as herd size increased, there was a corresponding increase in the prevalence of BTB. Households with more than 19 heads of cattle were more likely to have animals infected with BTB. Hence, with increase in herd size, the risk of introducing an infected animal into a clean herd also becomes higher [5,38]. The effect of age of cattle on the prevalence of BTB has also been reported. According to some

authors, cattle older than 10 years are at higher risk of infection [5,23]. It was also suggested that the duration of exposure increases with age with older cattle more likely to have been exposed than younger ones [2,30,39]. However, in our case, age was not statistically significant. This might have been due to the low number of older animals in our study (n = 67; 17%) probably caused by the fact that older animals showing clinical signs of BTB are removed from the herd and sold in the market of Torodi for slaughter. This proposal is supported by recent observations from other authors [7].

Risk factors in humans. According to Diguimbaye [40] and Humblet et al. [30], the proportion of human cases of tuberculosis due to *M. bovis* also depends on the importance of infection in animals within herds. Our results show a significant association between the presence of animals with chronic cough and the presence of cattle in the households reacting to CITT. This suggests that the disease can be transmitted to humans through the inhalation of cough sprays from infected cattle [36]. This assertion is further sustained by Ayele et al. [41] who noted that pulmonary TB due to *Mycobacterium bovis* is more common in rural dwellers as a result of inhalation of dust particles or bacteria-containing aerosols shed by infected animals. The fact that consumption of unpasteurized dairy products is a very common practice among farmers (68.6%) could not be statistically related to positive animal response to CITT. It should be noted however that the analysis using the CART software shows that hygiene in households and consumption of raw milk are among the determinants of *M. bovis* infection although with low discriminatory power in our case. It is well established that cattle infected with *M. bovis* can excrete the bacillus in their milk [2]. According to Cosivi et al. [3], cases of human TB of animal origin pose a serious public health problem, especially in areas where raw milk or its products are commonly consumed. Indeed, several researchers have shown that transmission of *M. bovis* from animals to humans is closely related to food habits and hygienic conditions of the population within households and the society in general [5,27,29].

Conclusion

This study represents one of the first investigations on BTB prevalence and analysis of factors that promote the spread of the disease in the rural context of Torodi. The study was based on a sample design which is a major limitation in interpreting the results. Therefore, further investigations are needed to assess the extent of the disease. Nevertheless, the results achieved enable us to conclude that the risk of BTB transmission from animals to humans and humans to animals appear potentially high in view of animal husbandry and the eating habits of the population such as consumption of unpasteurized milk.

The main transmission route of the pathogen from animals to humans and vice-versa seems to be aerosol. Indeed, in cattle, chronic cough appears to be the main factor correlated with CIIT following a multivariate analysis and based on the main discriminatory power in CART analysis. This is in accordance with the fact that most of suspected BTB lesions in animals were localized in the lungs [7]. The study underscores the need to test for BTB in all animals presenting chronic cough, also upon arrival of new animals and to identify local standards for determining the TP of BTB for livestock in Niger, particularly by determining a local cut-off value for CIIT. The eradication of tuberculosis from

livestock is expensive since it requires intensive surveillance of livestock, slaughtering of infected livestock, and the compensation of those who own each slaughtered, infected animal. The use and the appropriateness of the 'test-and-slaughter' strategy, which has already proved to be efficient in many industrialized countries, should be introduced in some endemic areas such as Torodi.

It is also important to investigate the epidemiological impact of BTB in humans through the determination of the TP and the detection of *M. bovis* in humans. In this context, coordinated actions involving researchers and institutions dealing with human and animal health are highly needed. Finally, as Torodi is an important crossway for cattle trade and transhumance and located at the edge of the W Natural Park, it is therefore important to implement additional studies to highlight the impact of the wildlife-domestic animal interface and transhumance on the transmission of the disease.

Author Contributions

Conceived and designed the experiments: ARB ET CS. Performed the experiments: ARB. Analyzed the data: ARB ET EA CS. Contributed reagents/materials/analysis tools: ARB ET EA CS. Wrote the paper: ARB ET EA DG LA AY CS.

References

- WHO (2006) The Global Plan to Stop TB, 2006–2015. Actions for life: towards a world free of tuberculosis. *Int J Tuberc Lung Dis* 10: 240–241.
- Boschiroli ML, Thorel MF (2010) Tuberculosis (In Pierre-Charles Lefèvre, Jean Blancou, René Chermette, Gerrit Vilenberg eds). *Infectious and Parasitic Diseases of livestock*. Vol 2. Paris: Editions Médicales Internationales. pp 1075–1096.
- Cosivi O, Grange JM, Daborn CJ, Raviglione MC, Fujikura T, et al. (1998) Zoonotic tuberculosis due to *Mycobacterium bovis* in developing countries. *Emerg Infect Dis* 4: 59–70.
- Michel AL, Coetzee ML, Keet DF, Mare L, Warren R, et al. (2008) Molecular epidemiology of *Mycobacterium bovis* isolates from free ranging wildlife in South African game reserves. *Veterinary Microbiol* 1: 9. DOI:10.1016/j.vetmic.2008.07.023.
- Cleaveland S, Shaw DJ, Mfinanga SG, Shirima G, Kazwala RR, et al. (2007) *Mycobacterium bovis* in rural Tanzania: Risk factors for infection in human and cattle populations. *Tuberculosis* 87: 30–43.
- Boukary AR, Chaibou M, Marichatou H, Vias G (2007) Caractérisation des systèmes de production laitière et analyse des stratégies de valorisation du lait en milieu rural et périurbain au Niger: cas de la communauté urbaine de Niamey et de la commune rurale de Filingué. *Revue Elev Méd vét Pays trop* 60: 113–120.
- Boukary AR, Thys E, Rigouts L, Matthys F, Berkvens D, et al. (2011) Animal tuberculosis in urban settings in Niger and identification of a new spoligotyping profile of *Mycobacterium bovis*. *Transboundary and Emerging Diseases* (article submitted).
- Alambédji AI (1984) Contribution à l'étude de la tuberculose bovine au Niger. Thèse de doctorat de Médecine (Diplôme d'état). EISMV de Dakar, Sénégal. pp 48–115.
- Bloch N, Diallo I (1991) Enquête sérologique et allergologique sur les bovins au Niger. *Revue Elev Méd vét Pays trop* 44: 117–122.
- Cadmus S, Palmer S, Melissa O, James D, Karen G, et al. (2006) Molecular Analysis of Human and Bovine Tubercle Bacilli from a Local Setting in Nigeria. *Journal of Clinical Microbiology* 44: 29–34.
- Diguimbaye C, Hilty M, Ngandolo R, Hassane HM, Gaby EP, et al. (2006) Molecular Characterization and Drug Resistance Testing of *Mycobacterium tuberculosis* Isolates from Chad. *J Clin Microbiol* 44: 1575–1577.
- Müller B, Steiner B, Bonfoh B, Fané A, Smith N, et al. (2008) Molecular characterisation of *Mycobacterium bovis* isolated from cattle slaughtered at the Bamako abattoir in Mali. *BMC Veterinary Research* 4: 1–6.
- Njanpop-Lafourcade BM, Inwald J, Ostyn A, Durand B, Hughes S, et al. (2001) Molecular Typing of *Mycobacterium bovis* Isolates from Cameroon. *Journal of Clinical Microbiology* 39: 222–227.
- Schelling E, Diguimbaye C, Hilty M, Baggi F, Ngandolo R, et al. (2005) Epidémiologie moléculaire des premiers isollements de mycobactéries chez l'animal du Tchad. *Epidémiol et santé anim* 48: 81–91.
- RGP/H (Recensement Général de la Population et de l'Habitat) (2001) Rapport provisoire de l'exécution du 3^{ème} RGP/H du 20 mai au 10 juin 2001. Cabinet du Premier Ministre République du Niger.
- Ameni G, Hewinson G, Aseffa A, Young D, Vordermeier M (2008) Appraisal of Interpretation Criteria for the Comparative Intradermal Tuberculin Test for Diagnosis of Tuberculosis in Cattle in Central Ethiopia. *Clinical and Vaccine Immunology* 15: 1272–1276.
- OIE (2004) Manual of diagnostic tests and vaccines for terrestrial animals. Paris: Office Internationale des Epizooties (OIE).
- Rogan W, Gladen B (1978) Estimating prevalence from the results of a screening test. *Am J Epidemiol* 107: 71–76.
- Stata Corp (2009) Stata Statistical Software: STATA, version 11, software. College Station Texas: SataCorp LP.
- Steinberg D, Colla PL (1995) CART: Tree-Structured Non parametric Data Analysis. San Diego: Salford Systems.
- De la Rua-Domenech R, Goodchild AT, Vordermeier HM, Hewinson RG, Christiansen KH, et al. (2006) Ante mortem diagnosis of tuberculosis in cattle: a review of the tuberculin tests, γ -interferon assay and other ancillary diagnostic techniques. *Research in Veterinary Science* 81: 190–210.
- Assaged B, Woldeesenbet Z, Yimer E, Lemma E (2004) Evaluation of abattoir inspection for the diagnosis of *M. bovis* infection in cattle in Addis Ababa abattoir. *Trop Anim Health Prod* 36: 537–546.
- Delafosse A, Goutard F, Thebaud E (2002) Epidémiologie de la tuberculose et de la brucellose des bovins en zone périurbaine d'Abéché, Tchad. *Revue Elev Méd vét Pays trop* 55: 5–13.
- Tschopp R, Schelling E, Hattendorf J, Aseffa A, Zinsstag J (2009) Risk factors of bovine tuberculosis in cattle in rural livestock production systems of Ethiopia. *Prev Vet Med* 89: 205–211.
- Cadmus SIB, Atsanda NNA, Oni SO, Akang EEU (2004) Bovine tuberculosis in one cattle herd in Ibadan in Nigeria. *Vet Med Czech* 49: 406–412.
- Regassa A, Tassew A, Amenu K, Megersa B, Abunna F, et al. (2010) A cross-sectional study on bovine tuberculosis in Hawassa town and its surroundings, Southern Ethiopia. *Trop Anim Health Prod* 42: 915–920.
- Sidibé SS, Dicko NA, Fané A, Doumbia RM, Sidibé CK, et al. (2003) Tuberculose bovine au Mali : résultats d'une enquête épidémiologique dans les élevages laitiers de la zone périurbaine du district de Bamako. *Revue Elev Méd vét Pays trop* 56: 115–120.
- Traoré A, Hamidou HT, Balé B, David WR, Nongasida Y, et al. (2004) Prévalence globale des pathologies majeures liées à la production laitière bovine en système d'élevage intraurbain à Hamdallaye (Ouagadougou). *Biotechnol Agron Soc Environ* 8: 3–8.
- Ameni G, Aseffa A, Engers H, Young D, Hewinson G, et al. (2006) Cattle Husbandry in Ethiopia Is a Predominant Factor Affecting the Pathology of Bovine Tuberculosis and Gamma Interferon Responses to Mycobacterial Antigens. *Clinical and Vaccine Immunology* 13: 1030–1036.
- Humblet MF, Boschiroli ML, Saegerman C (2009) Classification of worldwide bovine tuberculosis risk factors in cattle: a stratified approach. *Vet Res* 40: 50.
- Regassa A, Medihin G, Ameni G (2008) Bovine tuberculosis is more prevalent in cattle owned by farmers with active tuberculosis in central Ethiopia. *The Vet J* 178: 119–125.
- Cosivi O, Meslin FX, Daborn CJ, Grange JM (1995) Epidemiology of *Mycobacterium bovis* infection in animals and humans, with particular reference to Africa. *Rev Sci Tech* 14: 733–746.
- Menzies FD, Neill SD (2000) Cattle-to-cattle transmission of bovine tuberculosis. *Vet J* 160: 92–106.
- O'Reilly LM, Daborn CJ (1995) The epidemiology of *Mycobacterium bovis* infections in animals and man: a review. *Tuber Lung Dis* 76: 1–46.

35. Ameni G, Erkihun A (2007) Bovine tuberculosis on small-scale dairy farms in Adama Town, central Ethiopia, and farmer awareness of the disease. *Rev. sci. tech. Off int Epiz* 26: 711–719.
36. Ibrahim S, Agada CA, Umoh JU, Ajogi I, Farouk UM, et al. (2010) Prevalence of bovine tuberculosis in Jigawa State, northwestern Nigeria. *Trop Anim Health Prod* 42: 1333–1335.
37. Assaged B, Lubke-Becker A, Lemma E, Tadele K, Britton S (2000) Bovine tuberculosis: a cross-sectional and epidemiological study in and around Addis Ababa. *Bull anim Hlth Prod Afr* 48: 71–80.
38. Cadmus SIB, Agada CA, Onoja II, Salisu I (2010) Risk factors associated with bovine tuberculosis in some selected herds in Nigeria. *Trop Anim Health Prod* 42: 547–549.
39. Kazwala RR, Kamarage DM, Daborn CJ, Nyange J, Jiwa SFH, et al. (2001) Risk factors associated with the occurrence of bovine tuberculosis in cattle in the Southern Highlands of Tanzania. *Vet Res Commun* 25: 609–614.
40. Diguimbaye C (2004) La tuberculose humaine et animale au Tchad: Contribution à la mise en évidence et caractérisation des agents causaux et leur implication en santé publique. Thèse de doctorat, Philosophisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät der Universität Basel. 190 p.
41. Ayele WY, Neill SD, Zinsstag J, Weiss MG, Pavlik I (2004) Bovine tuberculosis: an old disease but a new threat to Africa. *Int J Tuberc Lung Dis* 8: 924–937.

Partie 4

Discussion générale

Discussion générale

L'objectif général de cette thèse était d'apporter une contribution originale à la connaissance des souches circulantes de *Mycobacterium bovis* et de *Brucella* spp. au Niger ainsi qu'à celle des mécanismes et facteurs de risque de transmission de la tuberculose et de la brucellose dans un contexte d'élevage urbain, périurbain et rural afin d'améliorer localement la prévention et le contrôle de ces deux zoonoses.

L'étude d'une telle thématique a d'abord nécessité un important travail bibliographique qui a permis d'établir un état des lieux des connaissances actuellement acquises sur la brucellose et la tuberculose zoonotiques, en Afrique subsaharienne (ASS) de manière générale et au Niger en particulier. Cette synthèse bibliographique traduite sous forme de deux articles de revue présentés dans cette thèse a montré que malgré leur impact considérable sur la santé humaine et animale ainsi que sur l'économie des pays africains, ces deux zoonoses majeures ont été jusqu'à ce jour très peu étudiées dans cette partie du monde. Malgré les progrès récents de la biologie moléculaire, les caractéristiques des agents pathogènes circulants en ASS ainsi que les facteurs de risque de transmission de ces deux maladies de l'animal à l'homme sont également très peu connus et très peu maîtrisés. De même, il apparaît que dans la plupart des pays d'ASS, les mesures de contrôle de ces deux maladies sont inexistantes ou inefficaces.

Il nous a aussi paru nécessaire de procéder à une caractérisation des systèmes d'élevage urbain, périurbain et rural afin de mieux comprendre les déterminants ainsi que les différentes interactions existantes entre les différents systèmes des productions animales et leurs impacts sur la transmission de la brucellose et la tuberculose à *Mycobacterium bovis*.

Enfin, il est aussi important de rappeler que pour assurer la bonne réussite de ce travail, la pérennisation des acquis et une prise en compte des recommandations qui ont été émises, il a été mis en place un cadre de collaboration multisectoriel regroupant des chercheurs en médecine humaine et vétérinaire ainsi que des décideurs politiques et des responsables de la société civile.

Dans la suite du chapitre, une analyse globale et intégrée des différents résultats obtenus dans le cadre de la présente thèse est présentée.

1. Les différents systèmes d'élevage, leurs interrelations et contribution aux facteurs de risque de transmission des maladies zoonotiques

L'élevage de bétail est une pratique très ancienne en Afrique subsaharienne et particulièrement dans les pays sahéliens où cette activité représente une part importante des revenus tirés par les différents gouvernements (FAO, 2010). Au Niger, l'élevage demeure une activité traditionnelle englobant plusieurs espèces d'animaux (bovins, ovins, caprins, camélins, asins, équins et volailles). Outre sa contribution à l'alimentation des ménages, l'élevage est aussi source de divers autres produits dont entre autres, le fumier, la traction et le transport. Il représente une forme d'investissement et d'épargne, et s'avère également important sur le plan socioculturel chez certaines ethnies où il détermine la position sociale des individus (FAO, 2010 ; INS, 2011).

Les principaux systèmes d'élevage (Lhoste, 1984 ; Bernus et Boutrais, 1994 ; RPCA 2010) rencontrés au Niger sont :

- L'élevage pastoral : dans ce système, l'animal constitue l'unique ou la principale source de revenus. Le bétail comprend des bovins, des moutons, des chèvres et des dromadaires dans les régions les plus arides. Les pâturages correspondent généralement à des zones impropres aux cultures situées dans la partie nord du pays. Après les récoltes, les animaux descendent dans la partie sud du pays où ils broutent également les résidus de moisson. La mobilité est la principale caractéristique de ce type d'élevage.
- Elevage agropastoral : il est l'œuvre des agro-pasteurs qui sont majoritairement sédentaires, mais la pratique de la transhumance est aussi courante dans ce type d'élevage. Les animaux divaguent librement ou sous la garde d'un berger.
- Elevage urbain : il concerne principalement la production laitière ainsi que l'embouche d'animaux domestiques provenant de zones rurales. Il est l'œuvre de citadins et se pratique surtout dans les anciens quartiers où il contribue au revenu monétaire des ménages.

Ces différents systèmes d'élevage sont traditionnellement interdépendants. Ainsi, les paysans peuvent confier aux pasteurs la garde de leurs troupeaux, au moins de façon saisonnière. Les éleveurs urbains dépendent des paysans, des agro-pasteurs ou des pasteurs pour l'achat d'animaux domestiques. Les pasteurs possédant de petits troupeaux peuvent devenir des agro-pasteurs, de même que ces derniers deviennent pasteurs à part entière si leurs troupeaux s'agrandissent (Bayer et Ciofolo, 2004 ; CTA, 2012).

Néanmoins, les résultats de nos enquêtes montrent qu'avec les bouleversements climatiques et environnementaux, l'explosion démographique ainsi qu'avec les mouvements migratoires massifs des populations rurales vers les centres urbains, cet équilibre traditionnellement observé entre les

différents systèmes de production se trouve modifié. Sous l'influence de ces facteurs, les pâturages et les points d'eau se raréfient et on assiste à une mutation sans précédent des différents systèmes de production (Bernus et Boutrais, 1994). Ces changements ont pour conséquence, entre autres, l'entrée dans le cercle des producteurs d'une nouvelle catégorie d'acteurs : les éleveurs périurbains. On assiste alors à la juxtaposition de deux catégories d'éleveurs (urbains et périurbains) aux intérêts parfois divergents. Au Niger, l'élevage périurbain est caractérisé par l'installation progressive d'une population à majorité peule, jadis pastorale, autour de la capitale Niamey. L'origine de ce peuplement est assez récente, remontant aux années 1970 et 1980 (Marichatou *et al.*, 2005). Ces élevages sont dans leur majorité implantés sur des terrains privés non aménagés appartenant à la commune ou à des privés.

En ce qui concerne le rôle joué par ces changements sur les facteurs de risque de transmission des maladies zoonotiques, principalement la brucellose et la tuberculose, on notera les points suivants en fonction du système considéré :

- dans les systèmes pastoral et agro-pastoral où ils sont confrontés à une situation de crise, les éleveurs ont réagi par la mobilité, en cherchant surtout une issue vers le sud. Cependant l'augmentation de la mobilité des animaux constitue un facteur de risque de transmission de maladie notamment par la rencontre entre les troupeaux sains et ceux infectés, principalement au niveau des pâturages et des points d'eau (Acha et Szyfers, 2001 ; Muma *et al.*, 2007; Mekonnen *et al.*, 2010). En temps de fortes crises, les réserves naturelles et les parcs animaliers qui constituent normalement des aires protégées, sont transformés en zones de repli des animaux domestiques (Bayer et Ciofolo, 2004). Au Niger, lors de la crise agropastorale consécutive à la sécheresse de 2009, des réserves naturelles comme celle de Gadabégi (au centre du pays) et le parc naturel de W (à l'est du pays) étaient devenus, en raison de leur relative abondance en fourrages herbacés et en arbustes, les derniers refuges à accueillir des centaines de troupeaux regroupant des milliers d'animaux domestiques (MEL, 2010). Dans ce genre de situation, la cohabitation entre les animaux domestiques et la faune sauvage devient inévitable, elle est susceptible d'accroître le risque de transmission des maladies infectieuses entre les deux catégories d'animaux (Bengis *et al.*, 1996 ; Zieger *et al.*, 1998 ; Michel *et al.*, 2006).
- Dans les élevages de type périurbain, la stratégie des éleveurs (d'origine nomade) est de garder une partie de leur troupeau en zone pastorale (milieu rural) et de conserver un noyau laitier en production en zone périurbaine. Ce mode de gestion peut constituer une source permanente de transmission de pathogènes entre le milieu rural et le milieu périurbain à travers des animaux potentiellement infectés (Vias *et al.*, 2006 ; Adamou., 2010). Outre le transfert d'animaux, il faut ajouter celui des personnes et des biens qui a lieu entre les membres de la famille restés en zone

pastorale et ceux résidant dans les banlieues de la ville (Marichatou *et al.*, 2005). Du fait de leur installation dans des endroits non aménagés, le manque d'hygiène et d'infrastructures adaptées constituent aussi des facteurs de risque non négligeables de transmission de la brucellose et de la tuberculose à *M. bovis* aux humains.

- En milieu urbain, la question de l'élevage est étroitement liée aux problèmes environnementaux et plus particulièrement ceux relatifs à la gestion de l'espace, à la collecte et au recyclage des déchets (Deelstra et Girardet, 2000). Dans les élevages urbains, la production d'urine, d'excréments et de cadavres d'animaux, et indirectement des effluents produits par les industries animales telles que les abattoirs et les laiteries, constituent des sources de pollution et de transmission des maladies d'origine animale à l'homme (UN-HABITAT, 2003 ; Thys *et al.*, 2006; Koffi-Tessio, 2007). De même, les mauvaises conditions de logement entraînant une promiscuité importante entre l'animal et l'homme, ainsi que la présence d'animaux errant dans les rues augmentent le risque de transmission des maladies zoonotiques (Waters-Bayer, 1995 ; Drescher *et al.*, 2001).

Cette partie de l'étude, consacrée à l'analyse des systèmes de production et des résultats de l'enquête préliminaire sur les comportements à risque dans les milieux urbain, périurbain et rural a servi de base de réflexion pour l'élaboration des hypothèses de travail ainsi que des protocoles de recherche dont les résultats sont discutés ci-dessous.

2. Caractérisation et typage moléculaire des souches circulantes de *Brucella* spp. et *Mycobacterium bovis* au Niger

2.1. Caractérisation et mise en évidence de *Brucella abortus* biovar 3

Pour caractériser les souches circulantes de *Brucella* spp. au Niger, 16 échantillons d'hygroma ont été prélevés sur des animaux testés séropositifs à l'i.ELISA. Après analyses et mise en culture, un des échantillons s'est avéré positif et *Brucella abortus* biovar 3 a été isolé. Sur les 15 autres échantillons, nous n'avons pas été en mesure d'isoler des souches de *Brucella* spp.. Ceci est probablement dû au fait que ces échantillons ne contenaient pas une quantité suffisante de germes pouvant permettre l'ensemencement et la croissance appréciable des colonies de *Brucella* spp. lors de la culture. Toutefois, d'autres raisons peuvent expliquer ce fort taux d'échec observé. En effet, il se pourrait que la durée de conservation et les conditions de transport des échantillons aient eu un effet négatif sur la survie des *Brucella* spp. Il est à noter que, les échantillons d'hygromas ont été collectés entre décembre 2007 et octobre 2008. Ils ont été conservés pendant 2 ans à -20° C avant l'expédition vers la Belgique où ils ont été analysés. Les pannes de courant électrique pendant le stockage, la décongélation des échantillons durant le transport et la manutention peuvent avoir une influence sur la

qualité du liquide hygroma analysé. Dans des conditions de conservation d'échantillons similaires aux nôtres, la difficulté d'isoler *Brucella* spp. à partir de liquide hygroma a déjà été mentionnée par Bankole et collaborateurs (2010), probablement pour les mêmes raisons.

La souche de *Brucella abortus* isolée dans la présente étude présente les mêmes caractéristiques que celle déjà isolée au Niger par Akakpo et collaborateurs (1986). Cette souche est aussi conforme aux caractéristiques des souches de *Brucella abortus* classiquement isolées en Afrique. En effet, différents auteurs ont noté que les souches africaines de *Brucella abortus* se différencient des souches européennes du fait d'une croissance plus lente et d'un profil métabolique oxydatif particulier par rapport au profil classique de l'espèce. Notamment, à quelques exceptions près, ces souches ne répondaient pas à l'épreuve de l'oxydase et leur profil moyen d'oxydation métabolique est modifié au niveau de 4 des substrats conventionnels (L-asparagine, L-arabinose, D-galactose et D-xylose) (Verger et Grayon, 1984 ; Akakpo et Bornarel, 1987 ; Bankole *et al.*, 2010 ; Sanogo *et al.*, 2012). *Brucella abortus* biovar 3 est une souche fréquemment rencontrée en ASS. Nos résultats corroborent ceux obtenus par plusieurs autres auteurs ayant travaillé principalement en Afrique centrale et en Afrique occidentale qui ont rapporté la présence de la souche *B. abortus* biovar 3 ou une souche intermédiaire 3/6 (Domenech *et al.*, 1983; Akakpo *et al.*, 1986; Akakpo et Bornarel, 1987; Bankole *et al.*, 2010; Sanogo *et al.*, 2012). Considérant le profil MLVA, notre isolat est apparenté aux souches de *B. abortus* biovar 3 isolées en Ouganda et au Soudan (Le Flèche *et al.*, 2006) et celles isolées au Kenya (Muendo *et al.*, 2012). Le profil de la souche de *B. abortus* que nous avons isolée au Niger partage également certaines similitudes biologiques avec la souche *B. abortus* biovar 3 (référence *tulya*) isolée par Ferreira et collaborateurs (2012).

2.2. Caractérisation et typage moléculaires des souches de *Mycobacterium bovis* chez des animaux d'élevage

Cette étude a concerné un total de 147 échantillons d'organes prélevés sur 140 carcasses d'animaux (130 bovins, 3 moutons et 7 dromadaires) qui présentaient des lésions suspectes de tuberculose bovine (TBb). En raison de difficultés de conservation, seulement 62 échantillons provenant de 60 animaux ont pu être analysés. Des échantillons analysés, *M. bovis* appartenant au type Af1 a été clairement identifié chez 18 animaux (16 bovins, un dromadaire et un mouton). Cinq spoligotypes différents ont été observés dont le SB0944 chez un mouton de race Bali-Bali et 12 bovins (dont 11 appartenant à la race Djeli et l'autre à la race Mbororo). Le profile SB0300 a été trouvé chez deux vaches de race Djeli, le profil SB1440 chez une vache de race Djeli et la souche SB1433 chez un dromadaire. De plus, une nouvelle souche non encore répertoriée dans la base de données de *M. bovis* (*M. bovis* database) a été retrouvée chez une vache Djeli. Cette nouvelle souche a été enregistrée sous le nom de SB1982 dans la

base de données *M. bovis* (www.mbovis.org). En plus, nous avons identifié dans 7 des échantillons analysés des mycobactéries non tuberculeuses (MNT). Ces MNT ont été trouvées chez 2 bovins de race croisée (Mbororo et Djeli), 3 bovins de race pure Djeli et 2 bovins de race pure Mbororo provenant d'origines diverses.

A notre connaissance, cette étude est la toute première menée sur la caractérisation moléculaire des isolats de *M. bovis* en provenance du Niger. Cependant, il y a lieu de signaler que le taux de réussite de la culture était assez faible (60 carcasses positives sur les 140 présentant des lésions, soit 43 %). Bien que faible, ce taux est toutefois relativement plus élevé que celui trouvé par Müller et collaborateurs (2008), et Biffa et collaborateurs (2011) qui ont travaillé sur des carcasses de bovins au Mali et en Ethiopie et qui ont eu respectivement des taux de positivité de 35,0 % (n = 60) et de 31,2 % (n = 105). Selon plusieurs auteurs (Cleaveland *et al.*, 2007; Müller *et al.*, 2008; Biffa. *et al.*, 2011), le faible taux de réussite d'isolement de *Mycobacterium* résulterait d'une réduction de la sensibilité des cultures dues aux mauvaises conditions de stockage des échantillons. En effet, au Niger, les échantillons ont dû être déplacés régulièrement au gré des coupures du courant électrique. Comme rapporté par Müller et collaborateurs (2008), qui ont travaillé dans des conditions similaires aux nôtres à l'abattoir de Bamako au Mali, ce cycle de congélation-décongélation dû aux coupures intempestives du courant électrique pourrait avoir eu un effet négatif sur la survie des mycobactéries. De même, il n'est pas exclu que ce faible taux de réussite soit expliqué par le nombre élevé de lésions calcifiées dans lesquelles la proportion de bacilles viables est très faible (Müller *et al.* 2008).

Il est bien établi qu'en Afrique subsaharienne, les lésions typiques à celles observées dans le cas de la TBb peuvent aussi être provoquées par une série de pathogènes, parmi lesquels les MNT peuvent jouer un rôle de premier plan (Müller *et al.*, 2009). Cela explique pourquoi nous avons trouvé un nombre important de MNT au niveau des échantillons positifs à la culture. Ce résultat corrobore les conclusions de plusieurs autres recherches qui ont montré que des MNT comme *M. fortuitum*, *M. kansasii*, *M. aquae* et *M. smegmatis* peuvent aussi causer chez les animaux domestiques des lésions comme celles observées lors d'infections tuberculeuses (Diguimbaye *et al.*, 2006; Müller *et al.*, 2008; Sahraoui *et al.*, 2009; Biffa *et al.*, 2010; Mamo *et al.*, 2011).

Parmi les spoligotypes identifiés au Niger, SB0944 est présent dans 13 des échantillons positifs (72 %), ce qui montre la prédominance de cette souche et confirme sa couverture régionale. En effet, parmi les spoligotypes identifiés en Afrique occidentale et en Afrique centrale, cette souche représente une proportion plus importante qu'au Nigeria (46,1 %), au Cameroun (62,7 %), au Tchad (40 %) et au Mali (9 %) (Njanpop-Lafourcade *et al.*, 2001; Cadmus *et al.*, 2006; Diguimbaye *et al.*, 2006; Müller *et al.*, 2008). Sur la base de la similitude du profil de la souche SB0944 avec le profil type-BCG communément observé chez des souches de *Mycobacterium bovis* isolées en France, il a été suggéré une origine française de cette souche. Selon Njanpop-Lafourcade et collaborateurs (2001), les origines

de cette souche en Afrique centrale remonteraient à l'époque coloniale où des bovins infectés auraient été importés de France.

Les profils SB1433 et SB1440 que nous avons trouvés au Niger ont été aussi identifiés au Nigéria (Cadmus *et al.*, 2006) et la souche SB0300 a été aussi identifiée au Mali (Müller *et al.*, 2008). La présence de ces trois souches du Niger suggère que par sa position géographique centrale (entre l'Afrique centrale et l'Afrique de l'ouest), ce pays devrait jouer un rôle prépondérant dans la distribution de ces souches dans la sous-région. En effet, le Niger est un pays d'élevage par excellence et la transhumance transfrontalière ainsi que l'exportation de bétail vers les pays voisins sont des activités très fréquentes (MEL, 2012). Une caractéristique commune à toutes les souches identifiées au Cameroun, au Tchad, au Nigeria, au Mali et au Niger est l'absence du « spacer 30 » typique au profil *M. bovis* Af1 (Müller *et al.*, 2009). Ceci suggère une relation étroite entre les souches du Niger et celles trouvées dans les autres pays de la sous-région. En plus de l'absence du « spacer 30 », la souche SB0300 (observée seulement au Mali et au Niger) montre également une absence de « spacer 6 », ce qui la différencie des souches d'Afrique centrale (Njanpop-Lafourcade *et al.*, 2001; Diguimbaye *et al.*, 2006). La nouvelle souche (SB1982) trouvée au Niger pourrait aussi avoir été importée des pays voisins où elle n'a pas été identifiée par faute d'isolement et de typage systématique de *M. bovis*. Cette souche pourrait aussi provenir d'une évolution locale reflétant ainsi une présence très ancienne de *M. bovis* dans les élevages au Niger. Elle pourrait également provenir d'une possible contamination des bovins par des animaux sauvages dans la zone de Torodi, frontalière au Parc de W d'où était originaire l'animal infecté. En plus de l'absence du « spacer 30 », la souche SB1982 est aussi dépourvue du « spacer 6 » et du « spacer 22 ».

Le profil SB1433 a seulement été trouvé chez un dromadaire. Ceci pourrait s'expliquer par le fait que l'élevage du dromadaire est une spécificité de la zone pastorale où cette espèce est généralement élevée seule. En effet, les troupeaux mixtes comprenant des dromadaires sont plutôt rares (Bayer et Ciofolo, 2004). Cependant, cette hypothèse doit être vérifiée car l'animal chez lequel cette souche a été identifiée n'est certainement pas représentatif du système d'élevage camelin au Niger. Nous savons aussi que cet animal venait du marché de bétail de Niamey (Tourakou), mais nous n'avons aucune information sur son origine exacte. Certains auteurs (Wernery *et al.*, 2007; Mamo. *et al.*, 2011) ont rapporté que la tuberculose bovine affecte fréquemment les dromadaires lorsque ceux-ci sont élevés avec des bovins. Des cas de contamination des dromadaires par de la faune sauvage (gazelles) ont également été rapportés dans la péninsule arabique (Ostrowski *et al.*, 1998). Des investigations complémentaires portant sur un grand nombre d'animaux sont nécessaires pour mieux comprendre l'épidémiologie de la tuberculose bovine chez les dromadaires au Niger.

3. Prévalence de la brucellose bovine, ovine et caprine et de la tuberculose bovine au Niger

3.1. Prévalence de la brucellose animale dans les systèmes d'élevage urbain, périurbain et rural

La présente étude sur la séroprévalence de la brucellose animale montre qu'au Niger, la maladie existe dans tous les systèmes de production et aussi bien chez les bovins que chez les petits ruminants. Parmi les 5 195 sérums analysés au moyen du test i.ELISA, 2,6 % ont été testés positifs (137/5195, IC 95 % : 2,2 - 3,1). Après prise en compte des valeurs de sensibilité et de spécificité déterminées sur base des résultats d'une étude antérieure, menée dans des conditions similaires en Côte d'Ivoire (Thys *et al.*, 2005), nous avons estimé la prévalence réelle individuelle globale à 1,3 % (IC 95 % : 0,9 - 1,8). La prévalence de la brucellose était très variable selon les espèces animales considérées. Elle était significativement plus élevée chez les bovins par rapport aux petits ruminants ($P < 0,001$). La prévalence de la brucellose est aussi variable selon les strates. Chez les bovins, elle était significativement plus élevée dans la zone rurale ($P < 0,05$) avec une prévalence réelle de 4,5 % (IC 95 % : 2,9 - 6,5) contre 2,4 % et 2,8 % respectivement dans les zones urbaine et périurbaine. Pour les petits ruminants, la prévalence de la brucellose a aussi varié significativement ($P < 0,05$) selon les strates. Chez les ovins, la prévalence réelle globale individuelle de la brucellose était de 3,4 % (IC 95 % : 0,9 - 7,3) dans la zone urbaine où elle était plus élevée que dans les zones périurbaine et rurale.

De manière générale, le taux de prévalence trouvé dans la présente étude est faible comparé à ceux obtenus dans d'autres études menées à une plus petite échelle au Niger. En effet, en utilisant le test au rose Bengale (RBT), Akakpo et collaborateurs (1986) ont trouvé un taux de prévalence individuelle apparente de la brucellose bovine de 27,7 % dans le ranch de Kirkissoye dans les environs de Niamey, tandis que Bloch et Diallo (1991) ont rapporté un taux de prévalence individuelle apparente allant de 3,7 % à 9,5 %.

Les différences de prévalence observées entre nos résultats et ceux obtenus dans d'autres études peuvent s'expliquer en partie par la méthodologie utilisée dans l'élaboration du protocole d'étude (Domenech *et al.*, 1983). Une autre question importante est la différence de sensibilité et de spécificité des tests sérologiques utilisés pour le dépistage. Ce facteur contribue à la variabilité des résultats entre les chercheurs (Mangen *et al.*, 2002; Arimi et McDermott, 2002 ; Nielsen, 2002 ; Saegerman *et al.*, 2004). La prévalence élevée dans les autres études pourrait être attribuée à des réactions faussement positives (Makita *et al.*, 2011). Ainsi en travaillant sur les résultats de 50 publications dans lesquelles la sensibilité et la spécificité de différents tests de diagnostic de la brucellose ont été rapportées, Gall et Nielsen (2004) ont montré que certains tests conventionnels parmi les plus utilisés, incluant le test au Rose Bengale et le test de fixation de complément, ont des indices de performance moins élevés que d'autres tests tels que le test de la polarisation par fluorescence, l'épreuve d'agglutination sur lame à l'antigène tamponné et le test i.ELISA. Dans une étude comparative, Muma et collaborateurs (2009)

ont montré que la sensibilité du test de Rose Bengale est inférieure à celle du test de la polarisation par fluorescence lorsque le titre en anticorps de l'échantillon étudié est faible. Le test de Rose Bengale est de loin le plus utilisé en ASS en raison notamment de sa simplicité, de sa sensibilité élevée et de son faible coût (Mangen *et al.*, 2002 ; Muma *et al.*, 2009). Ce test permet une appréciation rapide de la sérologie au niveau individuel et au niveau des troupeaux à l'échelle locale ou régionale (OIE, 2009). Toutefois, la spécificité de ce test est assez faible en raison notamment des réactions croisées de l'antigène *Brucella* avec des anticorps induits suite au contact avec des bactéries apparentées, gram-négatif telles que *Yersinia enterocolitica* O:9, *Francisella tularensis*, *Vibrio cholerae*, *Escherichia coli* O:157, *Salmonella* spp, et *Sternotrophomonas maltophilia* (Alton *et al.*, 1988; Nielsen, 2002; Saegerman *et al.*, 2004). Ceci conduirait à des réactions faussement positives et à surestimer la prévalence individuelle de la brucellose dans certaines régions de l'ASS (Bankole *et al.*, 2010 ; Makita *et al.*, 2011 ; Sanogo *et al.*, 2012). Par ailleurs, Saegerman et collaborateurs (2004) ont montré que la spécificité du test i.ELISA pour la détection de la brucellose varie en fonction de la nature du conjugué utilisé. Les mêmes auteurs ont rapporté que la spécificité du test i.ELISA dépend aussi du microbisme de la région d'étude.

Ainsi, dans la zone d'étude, lorsqu'on utilise seulement le RBT¹, le taux de séroprévalence rejoint celui estimé par Akakpo et collaborateurs (1986) et Bloch et Diallo (1991). En effet, la prévalence apparente est de 21,3 % en milieu rural, 5,1 % en milieu périurbain et 3,25 % en milieu urbain.

3.2. Prévalence de la tuberculose animale dans les systèmes d'élevage au Niger

3.2.1. Détermination de la prévalence de la tuberculose bovine à l'abattoir de Niamey : étude de cas de saisies pour cause de suspicion de lésions tuberculeuses

En Afrique subsaharienne, les recherches sur la tuberculose animale au niveau des abattoirs se sont, jusqu'à ce jour, principalement axées sur l'espèce bovine. Les données sur les autres espèces domestiques sont assez rares (Cosivi *et al.*, 1998; Diguimbaye *et al.*, 2006 ; Razanamparany *et al.*, 2006) et méritent plus d'attention à l'avenir. Pour mener une investigation sur les cas de suspicion d'infection par la tuberculose bovine à l'abattoir de Niamey, nous avons analysé les données récoltées au niveau de cet établissement à travers une enquête rétrospective sur 6 années (de janvier 2003 à décembre 2008) et effectué une enquête longitudinale prospective sur une année (de juillet 2007 à juin 2008). Les résultats ont montré que des 1 294 079 animaux abattus au cours des 6 ans, 847 carcasses ont été saisies pour causes des lésions suspectes de tuberculose bovine (LSTB). Ces résultats ont

¹ Boukary A.R., Saegerman C., Rigouts L., Matthys F., Berkvens D., Thys E. Preliminary results of the study on zoonotic brucellosis and tuberculosis in Niamey. Proceedings of the 13th Association of Institutions for Tropical Veterinary Medicine (AITVM) Conference, 23-26 August 2010, Bangkok, Thailand, 22-24.

confirmé la présence des LSTB chez toutes les espèces d'animaux abattus, mais le risque d'infection à la TBb est significativement plus élevé chez les bovins et les dromadaires que chez les chèvres ou les moutons ($P < 0,001$), moins sensibles à *M. bovis*. En effet, il semble que les moutons et les chèvres résistent mieux à la maladie, c'est à dire qu'ils nécessitent une dose infectieuse beaucoup plus élevée que les bovins avant de développer des symptômes et des lésions de la maladie (Allen, 1988; OMS, 2011). La maladie ne se transmet pas facilement entre les petits ruminants eux-mêmes (Allen, 1988). Selon certains auteurs, l'infection tuberculeuse chez les ovins et les caprins est un signe d'infection au sein d'autres espèces en contact avec eux (Allen, 1988; Ayele *et al.*, 2004). En cas de forte exposition à l'agent infectieux, il peut y avoir contamination des petits ruminants qui sont aussi susceptibles de développer des lésions semblables à celles observées chez les gros ruminants (Fischer *et al.*, 2009). Au Niger, les bovins et les petits ruminants sont généralement élevés ensemble, surtout dans le milieu rural, ce qui accroît sans doute le risque de transmission de la tuberculose bovine aux petits ruminants.

La prévalence apparente globale des saisies pour LSTB était de 0,19 % (IC 95 % : 0,18 - 0,20) pour les bovins et 0,11 % (IC 95 % : 0,07 - 0,17) pour les dromadaires. Ce taux de saisie pour cause des LSTB obtenu à l'abattoir de Niamey est parmi les plus faibles enregistrés sur le continent africain. En effet, le taux de prévalence des LSTB au niveau des abattoirs varie entre 1 % à 8,8 % en Afrique de l'ouest (Njanpop-Lafourcade *et al.*, 2001 ; Dao, 2005 ; Cadmus *et al.*, 2006; Diguimbaye *et al.*, 2006 ; Müller *et al.*, 2008). Le taux de prévalence que nous avons obtenu chez les bovins est aussi inférieur à ceux rapportés dans des études conduites dans les abattoirs en Afrique de l'est qui donnent un taux de prévalence compris entre 7,9 % à 19,8 % (Cleaveland *et al.*, 2007 ; Regassa *et al.*, 2008 ; Biffa *et al.*, 2011).

Le faible taux de saisie pour cause de lésions tuberculeuses à l'abattoir de Niamey pourrait s'expliquer par une probable sous-estimation du nombre réel des cas présentés ou un manque de rigueur des agents chargés de l'inspection des carcasses au niveau de cet abattoir. En effet, le nombre réel de lésions tuberculeuses est difficile à estimer (Muller *et al.*, 2008). Selon Asseged et collaborateurs (2004), l'inspection des viandes au niveau des abattoirs ne peut détecter que seulement 55 % des animaux infectés et présentant des lésions visibles. Le faible nombre de carcasses condamnées pour raison de TBb peut également être lié à la forte incidence de l'abattage illégal. En effet, à l'abattoir de Niamey, tout animal présentant des lésions typiques de tuberculose bovine est soumis à la saisie totale et rarement à la saisie partielle. Cette mesure de saisie totale mènerait à de nombreux cas d'abattages clandestins comme ceux rapportés par les services d'inspection vétérinaire. Cette pratique induit un risque accru de transmission de l'infection à l'homme essentiellement par manipulation des carcasses par un plus grand nombre d'individus (Asiimwe *et al.*, 2009).

L'analyse des données enregistrées à l'abattoir de Niamey au cours de la période de 6 ans montre une forte variabilité saisonnière des cas de saisie pour suspicion de la TBb ($P < 0,001$). La fréquence de

saisies est plus élevée au début de la saison des pluies (juillet-août), ce qui peut s'expliquer par le déstockage massif des animaux réalisé par les agriculteurs à cette époque de l'année. En effet, cette période coïncide avec le retour des animaux de transhumance. Les animaux malades et/ou ceux présentant un mauvais état général sont en général vendus ou abattus. Les lésions pulmonaires sont la principale cause de saisie en raison de TBb en Afrique subsaharienne (Njanpop-Lafourcade *et al.*, 2001; Dao, 2005; Cadmus *et al.*, 2006; Diguimbaye *et al.*, 2006; Müller *et al.*, 2008; Asimwe *et al.*, 2009). Nos résultats montrent que 92,77 % des 747 cas de lésions attribuables à la TBb ont été détectés au niveau des poumons. Parmi ces cas, 28,65 % des animaux présentaient des lésions seulement au niveau des poumons, alors que les autres présentaient également des lésions dans d'autres organes. Ceci tend à prouver que les poumons constituent la première porte d'entrée de l'infection à *M. bovis* corroborant ainsi les résultats des études présentées par Müller et collaborateurs (2008). Les autres types de lésions fréquemment rencontrées au niveau de l'abattoir de Niamey sont : les réactions ganglionnaires (50,87 %) et les lésions au niveau du foie (32,4 %). Ces tissus sont généralement parmi les plus concernés par l'examen de routine effectué par les inspecteurs vétérinaires. Ces organes peuvent contenir des nodules caséux reflétant généralement une infection tuberculeuse chronique (Thorel, 2003).

3.2.2. Détermination de la prévalence apparente et réelle de la tuberculose bovine par le test d'intradermotuberculation comparative dans la zone rurale de Torodi

Les études portant sur la prévalence réelle de la tuberculose bovine en Afrique de l'ouest sont relativement rares. En outre, les résultats obtenus par différents auteurs dans l'étude de la prévalence apparente de la TBb, à l'aide de tests d'intradermotuberculation simple ou comparative sont difficilement comparables. En effet, le résultat du test cutané à la tuberculine peut être affecté par des facteurs environnementaux, par l'état d'endémicité du troupeau, par des facteurs liés à l'animal tels que l'immunité, la génétique et, enfin, par la nature de la tuberculine utilisée (Berkel *et al.*, 2005). En outre, le seuil (cut-off) idéal pour un groupe de bovins donné dans une zone géographique particulière peut ne pas convenir pour un autre groupe d'animaux dans un autre environnement (Ameni *et al.*, 2008). En raison de l'absence des valeurs de sensibilité (Se) et de spécificité (Sp) du test d'intradermotuberculation comparative au Niger, nous avons estimé la prévalence réelle de la TBb en utilisant les résultats obtenus par Ameni et collaborateurs (2008), sur des bovins (*Bos indicus*) dans la région centrale de l'Ethiopie. Les valeurs de Se et Sp trouvées chez les bovins éthiopiens de races locales semblent plus adaptées dans le contexte nigérien par rapport aux valeurs officielles de l'OIE (2004), qui ont été déterminées sur des bovins de races européennes (*Bos taurus*).

La prévalence apparente de la TBb au niveau des troupeaux était de 60,0 % pour les bovins originaires de Torodi, ce qui semble assez élevé mais logique dans le sens où la région sélectionnée était

considérée à risque (suite aux investigations historiques réalisées à l'abattoir de Niamey). Ceci pourrait provenir également de la petite taille de l'échantillon étudié (393 bovins répartis dans 10 troupeaux). Elle est plus élevée que celle rapportée dans les zones rurales de la Tanzanie (11,8 %), d'Éthiopie (48,7 %), de la Zambie (49,8 %) et du Nigeria (45,5 %) (Cleaveland *et al.*, 2007; Regassa *et al.*, 2010; Munyeme *et al.*, 2008; Cadmus *et al.*, 2010; Ibrahim *et al.*, 2010). Cependant, nos résultats relatifs à la prévalence apparente de TBb à l'échelle des troupeaux sont inférieurs à ceux rapportés chez les bovins laitiers des exploitations agricoles. En effet, Faye et collaborateurs (2005) ont trouvé une prévalence de 74,1 % au niveau des troupeaux chez les bovins du bassin laitier de Mbarara (Ouganda). De même, Sidibé et collaborateurs (2003) ont trouvé une prévalence des troupeaux de 94,4 % chez des vaches laitières en milieu périurbain à Bamako (Mali).

La prévalence globale réelle de l'infection des bovins par *M. bovis* (0,8 %) est assez faible. Elle est en concordance avec les résultats de notre enquête au niveau de l'abattoir de Niamey où nous avons trouvé que le taux de saisie pour suspicion de la TBb est assez faible (0,19 %). Le taux de prévalence réel de la TBb dans la zone rurale de Torodi est similaire à celui rapporté par Delafosse et collaborateurs (2002) dans la région d'Abéché au Tchad (0,8 %). Nous avons trouvé un taux de prévalence apparente globale de 3,6 %, ce qui est légèrement plus élevé que celui rapporté au Niger par Alamedgi (1984) et par Bloch et Diallo (1991) qui ont trouvé des taux de prévalence compris entre 1,6 et 3,2 % en utilisant le test d'intradermotuberculation simple sur des bovins élevés dans des systèmes extensifs. En général, la prévalence de la TBb est assez faible dans les zones rurales de l'Afrique subsaharienne où les systèmes de production sont majoritairement extensifs. Ainsi, Cleaveland et collaborateurs (2007), ont trouvé une prévalence apparente de 0,9 % chez les bovins dans les zones rurales de la Tanzanie alors que Tschopp et collaborateurs (2009) ont trouvé une prévalence apparente de 3% dans les zones rurales de l'Éthiopie. *A contrario*, nos résultats concernant la prévalence apparente de la TBb sont inférieurs à ceux rapportés par plusieurs auteurs qui ont travaillé dans des systèmes d'exploitation de type urbain ou périurbain en ASS. Cadmus et collaborateurs (2004) ont ainsi trouvé une prévalence apparente individuelle de 10,5 % par le test d'intradermotuberculation comparative chez les bovins de la ville d'Ibadan au Nigeria. De même, Regassa et collaborateurs (2010) ont trouvé une prévalence apparente individuelle de 11,6 % chez les bovins dans la ville de Hawassa et environs en Éthiopie. Sidibé et collaborateurs (2003) et Traoré et collaborateurs (2004) ont eux aussi trouvé respectivement une prévalence apparente individuelle de 18,6 % et 27,7 % avec un test d'intradermotuberculation comparative et un test d'intradermotuberculation simple chez des bovins élevés dans les systèmes intra-urbain et périurbain de Bamako (Mali) et d'Ouagadougou (Burkina Faso).

Bien que la région de Torodi soit considérée comme une zone endémique de TBb au Niger (Alamedji, 1984), la prévalence réelle individuelle de cette maladie est assez faible. Cela peut

s'expliquer par le caractère extensif de l'élevage dans cette région. En effet, la combinaison de conditions défavorables de l'environnement et des pratiques d'élevage extensif pourrait expliquer la faible prévalence de l'infection à TBb (Cosivi *et al.*, 1995). Il est également important de noter que nos expériences ont été réalisées au cours d'une année extrêmement sèche où un mouvement saisonnier de bétail de forte intensité avait été observé allant des zones plus arides en direction de la réserve naturelle de W plus humide et plus pourvue en fourrages.

4. Analyse des facteurs de risque de transmission de la brucellose et de la tuberculose à *M. bovis* dans les systèmes de productions animales au Niger

4.1. Facteurs de risque de transmission de la brucellose dans les systèmes de production urbains, périurbains et ruraux au Niger

Nous avons trouvé que le risque de transmission de la brucellose chez les animaux à l'échelle individuelle et au niveau du troupeau variait considérablement en fonction des strates des systèmes d'élevage. Ces résultats sont en accord avec ceux trouvés par plusieurs auteurs qui ont également montré l'existence de variations importantes de la prévalence de la brucellose animale en fonction des zones géographiques et des systèmes de production mis en jeu (Acha et Szyfers, 2001 ; Mangen *et al.*, 2002 ; Cadmus *et al.*, 2006 ; Sanogo *et al.*, 2008 ; Chimana *et al.*, 2010). Chez les bovins, la probabilité de tester un animal positif au test iELISA était plus élevée dans la zone rurale comparativement aux zones périurbaine et urbaine. Cette forte prévalence de la brucellose chez les bovins en milieu rural peut s'expliquer en partie par la pratique de la transhumance caractérisée par le parcours de longues distances du cheptel à la recherche de pâturage et d'eau. En effet, il est maintenant bien établi que la dynamique de la migration régulière des troupeaux pastoraux augmente la probabilité que des troupeaux indemnes soient en contact avec d'autres troupeaux potentiellement infectés d'où une possible propagation de la maladie à un nombre plus important d'animaux et à des limites géographiques plus grandes (Akakpo *et al.*, 1986 ; Acha et Szyfers, 2001 ; Kadohira *et al.*, 1997 ; Sanogo *et al.*, 2008 ; Megersa *et al.*, 2011). Nos travaux confirment les résultats rapportés par les précédents auteurs car nous avons observé que le risque de contracter la brucellose était 9,1 fois plus élevé dans les troupeaux transhumants que dans ceux qui ne pratiquent pas à cette technique. Compte-tenu du caractère hautement infectieux de *Brucella*, le partage des pâturages et des points d'eau constitue un facteur de risque important pour la transmission de la brucellose (Muma *et al.*, 2007 ; Mekonnen *et al.*, 2010 ; Makita *et al.*, 2011).

La structure des troupeaux est un autre facteur pouvant expliquer la plus grande sensibilité à la brucellose des bovins de la zone rurale. En effet, nous avons constaté que les troupeaux de cette zone sont plus équilibrés et contiennent presque autant d'ovins, de bovins et de caprins alors que dans les

zones urbaine et périurbaine, les bovins sont plus nombreux que les petits ruminants. Les résultats préliminaires sur base d'une analyse univariée ont montré que le risque de transmission de la brucellose augmentait considérablement dans les troupeaux mixtes comparativement aux troupeaux composés d'une seule espèce. Les chances d'être testé séropositif à l'antigène brucellique était 8,9 fois plus élevé dans les troupeaux mixtes comprenant à la fois des bovins, des ovins et des caprins par rapport aux troupeaux ne comprenant qu'une seule espèce. Ceci corrobore les résultats obtenus par Holt et collaborateurs (2011) et Megersa et collaborateurs (2011) qui ont rapporté que les bovins gardés dans un troupeau mixte comportant des moutons et des chèvres courraient un risque plus élevé d'être contaminés par les brucelles que les bovins élevés seuls. Cependant, cette variable n'a pas été retenue comme variable explicative dans notre modèle statistique final (analyse multivariée).

De même, nos résultats ont montré que la taille du troupeau était positivement corrélée à l'infection brucellique au sein des troupeaux ($P < 0,001$), le risque de contamination étant beaucoup plus élevé dans les troupeaux de grande taille par rapport à ceux plus réduits. Ces résultats corroborent ceux de plusieurs auteurs qui ont également constaté que la prévalence de la brucellose était plus élevée dans les troupeaux comportant un grand nombre d'animaux (Domenech *et al.*, 1982 ; McDermott, 2002 ; Makita *et al.*, 2011 ; Sanogo *et al.*, 2012).

D'autres considérations peuvent aussi expliquer la différence de prévalence observée entre le milieu rural et le milieu périurbain. La faible susceptibilité des bovins à la brucellose dans la strate périurbaine comparativement au milieu rural pourrait s'expliquer par la différence de gestion. En effet, les éleveurs périurbains d'origine peule ne gardent auprès d'eux que les animaux en phase de production (femelles laitières en fin de gestation ou en début de lactation et mâles géniteurs sélectionnés), le reste du troupeau étant gardé en milieu rural (Boukary *et al.*, 2007). Une sélection d'animaux plus sains a pu se faire par les éleveurs pour alimenter les troupeaux de la zone périurbaine. Cette stratégie d'élevage pourrait être à la base de la faible prévalence de la brucellose observée chez les bovins en milieu périurbain. Nos résultats confirment d'ailleurs cette observation car nous avons trouvé que l'odds ratio d'avoir un animal séropositif à la brucellose est 4.1 fois plus élevé dans les troupeaux ayant des femelles qui ont avorté que dans les troupeaux où cela n'est pas le cas. Le fait de sélectionner des femelles en lactation limiterait ainsi le risque d'infestation de brucellose.

Contrairement à ce qui a été observé chez les bovins, nos résultats ont montré que le risque de séropositivité en brucellose chez les petits ruminants est beaucoup élevé en milieu urbain qu'en milieu périurbain ou rural. Cette forte sensibilité des petits ruminants en milieu urbain serait aussi liée à une différence de gestion. En milieu urbain, les petits ruminants jouent un rôle économique très important. Pour beaucoup de ménages, l'élevage du mouton et de la chèvre constitue une forme d'épargne (Marichatou *et al.*, 2005). Les mâles sont élevés à l'intérieur des concessions où ils reçoivent une alimentation sous forme de fourrage complétement avec des résidus de cuisine. Ils ont une valeur

marchande beaucoup plus importante que les femelles et sont généralement vendus sur le marché en cas de besoin de liquidités ou sont abattus lors de cérémonies religieuses (Thys *et al.*, 2006). Ceci explique aussi la faible proportion des mâles dans notre échantillon d'animaux étudié dans le milieu urbain et aussi leur faible susceptibilité à l'infection brucellique. Contrairement à ce qui est observé dans les zones rurales où les troupeaux sont généralement mixtes, au niveau des élevages intra-urbains, les femelles de petits ruminants sont dans la plupart des cas séparées des mâles et conduites aux pâturages par un berger qui rassemble sous sa garde tous les animaux du quartier (Marichatou *et al.*, 2005 ; Boukary *et al.*, 2007). Dans les conditions spécifiques de l'élevage à Niamey, l'agrégation des animaux dans des lieux de collecte avant le départ au pâturage ainsi que la production d'urine, d'excréments et autres sécrétions entraînent la pollution des espaces urbains et augmente le risque de transmission de la brucellose lorsque celle-ci est présente (Waters-Bayer, 1995 ; Drescher *et al.*, 2001 ; Koffi-Tessio, 2007 ; Megersa *et al.*, 2011)

Nous avons également constaté que l'odds ratio d'avoir des animaux testés positifs pour la brucellose est 4,3 fois plus élevé dans les troupeaux appartenant à des migrants par rapport à ceux appartenant aux populations sédentaires. Au Niger, l'histoire des migrations est étroitement liée à celle de la transhumance. Les populations migrantes sont généralement installées sur des terres marginales où les infrastructures d'assainissement et d'hygiène font généralement défaut (Boukary *et al.*, 2007). L'absence de vétérinaires conduit ces populations à assister eux-mêmes sans aucune précaution les femelles animales lors des mises bas ou en cas d'avortement (Marichatou *et al.*, 2005). Cette pratique expose les éleveurs à un risque élevé de contamination et contribue aussi à la dissémination de la maladie (Corbel, 1988).

Nous avons aussi constaté que la prévalence de la brucellose chez les bovins est fortement corrélée à l'âge des animaux. En effet, pour les bovins entre 1 et 4 ans, la probabilité de séropositivité envers la brucellose était 3,7 fois plus élevée que pour les animaux âgés de 1 an ou moins. La grande sensibilité des animaux entre 1 et 4 ans pourrait s'expliquer par le fait qu'en raison de leur état physiologique, ces animaux sont plus aptes à la mobilité et donc plus exposés au risque d'être infectés par *Brucella*. Dans tous les systèmes d'élevage au Niger, les jeunes animaux âgés de moins d'un an ne sont généralement pas conduits au pâturage. Ils sont généralement gardés au niveau de la concession où dans des campements, ce qui peut expliquer leur faible susceptibilité à l'infection. Selon de nombreux auteurs (Akakpo *et al.*, 1986 ; Turkson et Boadu, 1992 ; Musa et Shigidi, 2001 ; Faye *et al.*, 2005 ; Chimana *et al.*, 2010), le risque d'infection brucellique augmente avec l'âge des animaux, ce qui confirme nos résultats.

Les risques d'être infecté augmentent également avec la fréquence des avortements. Nous avons trouvé que le nombre d'individus positifs au test i.ELISA était significativement supérieur dans les troupeaux où des avortements avaient été constatés. En effet, les femelles infectées par *Brucella*

peuvent excréter des concentrations très élevées de pathogènes dans leur lait, dans les membranes placentaires et les avortons (Corbel, 1988). Par conséquent, le risque de transmission de la brucellose par contact direct avec des matières contaminées existe bel et bien.

Les habitudes alimentaires, notamment la consommation du lait cru qui est une pratique courante au Niger, exposent la population à un risque élevé de contamination par les brucelles. En effet, nos résultats ont montré que le risque d'être infecté par des brucelles est élevé au niveau des ménages pastoraux qui consomment du lait cru par rapport aux ménages consommant du lait pasteurisé. Ceci confirme les résultats obtenus par plusieurs auteurs qui ont rapporté que la manipulation et la consommation de produits laitiers non pasteurisés ou de la nourriture contaminée peuvent favoriser la transmission de la brucellose (Arimi *et al.*, 2005 ; Kang'Ethe *et al.*, 2007 ; Saegerman *et al.*, 2010).

4.2. Facteurs de risque de transmission de tuberculose à *M. bovis* dans les systèmes de production urbains, périurbains et ruraux au Niger

Les enquêtes menées au niveau de l'abattoir de Niamey ont montré que chez les bovins, les vaches constituent un groupe plus à risque de contracter la TBb que les mâles et les jeunes animaux ($P < 0,001$). Nous avons trouvé que le risque est 9,4 fois plus important chez les femelles. La forte proportion de carcasses de vaches présentant des lésions tuberculeuses à l'abattoir de Niamey peut s'expliquer par le fait que cette catégorie d'animaux reste généralement plus longtemps dans les troupeaux pour des raisons économiques et sociales (production du lait, accroissement du troupeau par la production de veaux, ...) tandis que les autres catégories d'animaux sont précocement abattues ou vendues. En effet, il a été montré que comparativement aux jeunes, les animaux âgés sont plus susceptibles d'héberger longtemps le pathogène et de développer la maladie (Kazwala *et al.*, 2001 ; Humblet *et al.*, 2009 ; Boschioli et Thorel, 2010). Cette forte prévalence chez les animaux âgés est surtout accentuée dans les régions où la TBb est endémique (Blancou *et al.*, 1971 ; Sidibe *et al.*, 2003 ; Cleaveland *et al.*, 2007 ; Humblet *et al.*, 2009). En outre, il a été démontré que sous l'effet du stress ou de l'âge, des infections latentes sont réactivées entraînant ainsi une incidence plus élevée de la maladie chez les animaux âgés (Pollock et Neill, 2002).

Le risque d'infection augmente également avec la taille du troupeau. Nos résultats ont montré que ce risque devient significativement important lorsque le nombre d'animaux possédés par le ménage dépasse 19 têtes. L'augmentation du risque de transmission de la TBb en fonction de la taille du troupeau a été rapportée par plusieurs auteurs (Assaged *et al.*, 2000 ; Ameni et Erkihun, 2007). Pour les troupeaux dont la croissance est obtenue à travers l'introduction des nouveaux animaux (achat, donation), le risque d'introduction d'un animal infecté dans un troupeau indemne devient également plus élevé (Cleaveland *et al.*, 2007 ; Cadmus *et al.*, 2010).

Nous avons constaté que la pratique de la quarantaine permet de réduire le risque de la transmission de la TBb. En effet nous avons trouvé que le risque d'obtenir une tuberculination comparative positive est 4,2 fois plus important pour des animaux appartenant aux ménages qui ne pratiquent pas la quarantaine. Bien que la technique de la quarantaine soit connue de 88 % des éleveurs interviewés, seuls 25,5 % de ceux-ci la pratiquent. Nos résultats sont corroborés par ceux rapportés par Ibrahim et collaborateurs (2010).

Un autre facteur qui influence la transmission de la tuberculose bovine est le regroupement des animaux au niveau des pâturages et points d'eau. Cette transmission se fait en général par la voie respiratoire. Nos résultats ont montré que la présence au sein des troupeaux des animaux souffrant de toux chronique augmente le risque d'avoir des animaux réagissant (OR 4,7, IC 95 % : 1,1 - 19,7). Cette constatation a été confirmée par les résultats obtenus au niveau de l'abattoir de Niamey qui ont montré que 92,8 % de lésions tuberculeuses observées chez bovins sont localisées au niveau des poumons, la voie respiratoire étant la principale voie de contamination de la TBb. Nos résultats corroborent ceux de plusieurs auteurs qui ont aussi rapporté la voie respiratoire comme mode de transmission principal de bovin à bovin (O'Reilly et Daborn 1995; Menzies et Neill 2000, Cleaveland *et al.*, 2007.). De même, plusieurs autres auteurs (Ameni et Erkihun, 2007 ; Ibrahim *et al.*, 2010) ont trouvé une corrélation significative entre une pathologie respiratoire et une réactivité au test d'intradermotuberculination.

Nous avons aussi trouvé que la présence de l'infection chez les bovins est étroitement liée à l'origine des animaux ($P < 0,001$). L'étude menée au niveau de l'abattoir montre que les zones rurales sont les plus touchées et que la zone de Torodi est la plus infectée. En effet, 70,77 % des animaux présentant des lésions attribuables à la TBb provenaient des zones rurales et 56,15 % de ceux-ci étaient originaires de la zone de Torodi. Alambedji avait déjà observé en 1984 que 46 % des bovins abattus à Niamey provenaient de Torodi. Cette prédominance de Torodi comme zone d'endémicité de la TBb au Niger n'est certainement pas un fait du hasard. En effet, il convient de noter que Torodi est situé à la lisière du parc naturel de W qui est commun au Niger, au Bénin et au Burkina Faso. La proximité de cette réserve naturelle conduit nécessairement à un contact étroit entre les animaux domestiques et les animaux sauvages. Ce rapprochement pourrait constituer une source de transmission de *M. bovis* (Zieger *et al.*, 1998). Le rôle de la faune sauvage dans la transmission ou la réintroduction de TBb chez les animaux domestiques a été déjà signalé dans d'autres endroits du continent africain (Bengis *et al.*, 1996 ; Keet *et al.*, 1996 ; Michel *et al.*, 2008).

En ce qui concerne le risque de la transmission de la tuberculose à *M. bovis* de l'animal à l'homme, nos résultats ont montré qu'au sein des ménages, il y a une relation significative entre la présence de bovins souffrant de toux chronique et la présence des bovins ayant réagi positivement au test d'intradermotuberculination. Ceci suggère qu'il peut y avoir une possibilité de transmission de la

maladie à l'homme par inhalation du pathogène à partir de la toux d'un animal infecté (Diguimbaye 2004 ; Humblet *et al.*, 2009 ; Ibrahim *et al.*, 2010). Cette supposition est confortée par les résultats trouvés par Ayele et collaborateurs (2004) qui ont noté que la tuberculose pulmonaire due à *Mycobacterium bovis* est plus fréquente chez les populations des zones rurales contaminées suite à l'inhalation de particules de poussière ou les bactéries contenues dans la toux des animaux infectés.

Enfin, plusieurs auteurs ont montré que la transmission de *M. bovis* de l'animal à l'homme est étroitement liée aux habitudes alimentaires et aux conditions d'hygiène dans les ménages et dans la société en général (Sidibé *et al.*, 2003 ; Ameni *et al.*, 2006 ; Cleaveland *et al.*, 2007). Nous avons trouvé que 68,6 % de l'échantillon de ménages inclus dans notre étude consommaient des produits laitiers non pasteurisés. Cette pratique est donc courante dans les différentes strates étudiées où elle représente un facteur de risque important de la transmission de l'infection. Il est en effet bien établi que les bovins infectés par *M. bovis* peuvent excréter le bacille dans leur lait (Boschiroli et Thorel, 2010). Selon Cosivi et collaborateurs (1998), les cas de tuberculose humaine d'origine animale constituent un grave problème de santé publique en ASS, en particulier dans les zones où le lait cru ou les produits laitiers non pasteurisés sont couramment consommés.

L'ensemble des facteurs de risque de transmission de la brucellose et de la tuberculose à *M. bovis* dans les systèmes de productions animales au Niger est résumé dans le tableau suivant.

Tableau 1. Facteurs de risque de transmission de la brucellose et de la tuberculose à *M. bovis* en fonction des systèmes des productions animales au Niger

Facteur de risque	Système de production (Ru, Pu et/ou Ur)	Brucellose	Tuberculose à <i>M. bovis</i>
Strate (Localisation)	Ru/ Pu/ Ur	X	X
Taille du troupeau	Ru	X	X
Composition des troupeaux (<i>mixtes avec plusieurs espèces animales ou mono-espèce</i>)	Ru/ Pu/ Ur	X	
L'âge des animaux (<i>bovins</i>)	Ru/ Pu/ Ur	X	X
Le sexe des animaux (<i>bovins</i>)	Ru/ Pu/ Ur		X
L'espèce animale <i>Gros ruminants (bovins)</i> <i>Petits ruminants (ovins, caprins)</i>	Ru Ur	X X	
Présence de femelles ayant avorté dans les troupeaux	Ru/ Pu/ Ur	X	
Présence des animaux souffrant de toux chronique	Ru		X
Présence d'animaux présentant un état de maigreur avancé malgré une alimentation correcte	Ru		X
Animaux morts suite à une toux chronique	Ru		X
Présence d'humains souffrant de toux chronique au sein du ménage	Ru		X
Non pratique de la quarantaine	Ru/ Pu/ Ur	X	X
Pratique de la transhumance	Ru/ Pu/ Ur	X	
Consommation de lait cru et produits laitiers non pasteurisés	Ru/ Pu/ Ur	X	X
Insuffisance des mesures d'hygiène	Ru/ Pu/ Ur	X	X
Origine du ménage (<i>autochtone ou migrant</i>)	Ru/ Pu/ Ur	X	

Légende : Ru : strate rurale ; Pu : strate périurbaine ; Ur : strate urbaine.

Partie 5

Conclusions et recommandations

Conclusion et recommandations

La synthèse des données disponibles dans la littérature montre le caractère endémique et hautement préoccupant de la brucellose et de la tuberculose à *Mycobacterium bovis* en Afrique subsaharienne (ASS). En effet, l'impact de ces deux maladies sur la santé animale et humaine ainsi que sur l'économie des pays africains est considérable. Cependant, malgré les efforts réalisés ces dernières décennies dans la recherche scientifique, notamment à travers la caractérisation des agents pathogènes au niveau de certains pays africains, les aspects épidémiologiques de ces maladies ont encore été très peu investigués à ce jour. De même, les conséquences économiques et sanitaires de ces deux zoonoses ont été peu ou pas évaluées en ASS. Ainsi, les connaissances acquises dans ces domaines sont le plus souvent fragmentaires, localisées et difficilement comparables. Cette difficulté de générer des données fiables et généralisables à une échelle régionale peut être en partie attribuée à l'insuffisance des moyens alloués au secteur de la recherche mais aussi au manque de coordination entre les chercheurs des pays du sud.

Malgré l'importance sociale et économique du secteur de l'élevage ainsi que l'existence supposée de nombreux facteurs de risque de transmission des maladies zoonotiques, les données sur la brucellose et la tuberculose bovine au Niger sont très rares voire, pour certaines, inexistantes. De même, il n'existe officiellement aucun programme de lutte adapté contre ces deux maladies hormis le contrôle de routine effectué au niveau des abattoirs dans le cadre de la lutte contre la tuberculose bovine. Ce constat justifiait amplement la nécessité de la présente étude dont l'objectif général était d'apporter une contribution originale à la connaissance des souches circulantes de *Mycobacterium bovis* et de *Brucella* spp. au Niger ainsi que des mécanismes et facteurs de risque de transmission de ces deux zoonoses dans un contexte d'élevage urbain, périurbain et rural.

Cette étude a permis de mieux comprendre les déterminants ainsi que les différentes interactions existant entre les différents systèmes des productions animales et leurs impacts sur la transmission de la brucellose et la tuberculose à *Mycobacterium bovis*.

Les examens sérologiques et les tuberculinations comparatives effectués au niveau des animaux ont permis de mettre en évidence l'existence de ces maladies chez toutes les espèces animales et au sein de toutes les strates étudiées et d'en estimer les prévalences réelles. Les

enquêtes épidémiologiques conduites au niveau de l'abattoir de Niamey et au niveau des ménages ont permis de mettre en exergue l'existence de nombreux facteurs de risque de transmission de ces deux zoonoses entre les animaux et de l'animal à l'homme. Enfin, la présente étude a permis de caractériser et de typer les souches circulantes de *Mycobacterium bovis* et de *Brucella* spp. au Niger. C'est ainsi que *Brucella abortus* biovar 3 ainsi que 5 souches de *Mycobacterium bovis*, dont une non encore répertoriée, ont été identifiées.

Cependant, il est à noter que ce travail qui n'est qu'une modeste contribution à la connaissance sur l'épidémiologie de la brucellose et de la tuberculose bovine en ASS n'aurait certainement pas pu aboutir aux résultats escomptés sans la mise en œuvre d'une méthodologie de travail basée sur une collaboration volontaire de plusieurs acteurs impliqués dans la gestion de la santé humaine et vétérinaire et une coordination rigoureuse des activités au niveau du terrain. A la lumière des résultats obtenus, nos recommandations s'adressent prioritairement aux décideurs politiques au niveau national et local, aux chercheurs et à leurs institutions, aux partenaires techniques et financiers, aux ONG et associations de développement ainsi qu'à toutes les personnes ou institutions impliquées dans la gestion de la santé humaine et animale.

Ces recommandations visent à améliorer davantage les connaissances et les moyens de contrôle concernant la tuberculose et la brucellose. Il s'agit de :

- Stimuler la prise de conscience à tous les niveaux (Etats, institutions internationales et nationales, chercheurs, populations et autres parties prenantes) sur l'urgence et la nécessité de la prise en compte des maladies zoonotiques dans les programmes de recherches et d'en allouer les moyens ;
- Évaluer la prévalence réelle et l'impact économique et social de la brucellose et de la tuberculose bovine dans les différentes zones géographiques et les différents systèmes d'élevage, en particulier dans les zones de forte suspicion de leur présence ;
- Orienter les recherches vers la connaissance et une meilleure maîtrise des facteurs de risque au sein des différents systèmes de production animale et au niveau des zones d'interface entre la faune sauvage et les animaux domestiques, les facteurs de risque identifiés permettant de proposer des options de prévention ou de gestion visant à réduire la prévalence des zoonoses majeures ;

- Développer un réseau d'épidémiologie efficace et coordonné des maladies zoonotiques dont les principaux acteurs seront les services vétérinaires et services de la santé publique, les agents de l'élevage et hospitaliers, les médecins et vétérinaires, les éleveurs et les représentants de la population, les laboratoires et l'Autorité compétente, ainsi que toutes autres parties prenantes ;
- Mettre en place des mécanismes de prévention (information, campagne de communication et de sensibilisation) et de contrôle efficaces incluant des programmes de vaccination dans les zones fortement infectées et des mesures de dépistage et d'abattage sanitaire des animaux testés positifs (*test and slaughter*) ;
- Former et équiper les agents de la santé publique (médecins, infirmiers, laborantins, pharmaciens) au diagnostic et à la prise en charge des patients atteints de brucellose et/ou de tuberculose à *M. bovis* ;
- Favoriser la mise en place d'un cadre de concertation, d'échange d'informations et de transfert de compétences entre chercheurs et institutions en médecine humaine et en sciences animales dans le cadre d'une approche « *One Health* ».

Partie 6

Références bibliographiques

Références bibliographiques**A**

- ACHA P., SZYFRES B. Zoonoses et maladies transmissibles à l'homme et aux animaux. 3^{ème} édition. OIE, 2005, 693 p.
- ADAMOU M. Problématique du sous dépistage des cas de tuberculose pulmonaire frottis positifs dans le district sanitaire de Gaya/Niger : analyse causale et perspectives d'amélioration. 2005, Master thesis in Public Health. Institute of Tropical Medicine, Antwerp, Belgium.
- ADAMOU H. H. Etude épidémiologique de la brucellose dans les élevages laitiers urbains et périurbains de Niamey, Niger (Thèse de doctorat en Médecine vétérinaire). Ecole Inter-états des Sciences et de Médecine Vétérinaire, Dakar, 2008, 164 p.
- ADDO K.K. a). Bovine tuberculosis situation in Ghana. In: Proceedings of the 1st meeting « African Bovine TB Network : Effective management of bovine tuberculosis in Africa : Towards adapted control policy ». Bamako, Mali, 26 -29 juin 2007, 2007, 7.
- ADDO K.K., OWUSU-DARKO K., YEBOAH-MANU D., CAULLEY P., MINAMIKA M., BONSU F., LEINHARDT C., AKPEDONU P., OFORI-ADJEI D. b) .Mycobacterial species causing pulmonary tuberculosis at Korle Bu teaching hospital, Accra, Ghana. *Ghana Medical Journal*, 2007, **41**, 52-57.
- ADESIYUN A.A., ONI O.O. Sero-prevalence of *Brucella abortus* agglutinins in abattoir workers and animals from three Nigerian cities. *Bull. Anim. Hlth. Prod. Afr.*, 1990, **38**, 203-204.
- AFSSA (Agence Française de Sécurité Sanitaire des Aliments). *Brucella* spp. Fiche technique, 2006, 4pp.
- ALAMBEDJI, A.I. Contribution à l'étude de la tuberculose bovine au Niger. Thèse de doctorat de Médecine (Diplôme d'état). 1984, EISMV de Dakar, Sénégal. pp. 48-115.
- ALLEN G.M. Tuberculosis in sheep - a very rare disease. *Surveillance*, 1988, **15**, 8-9.
- AGAB H. Clinical signs of animal brucellosis in Eastern Sudan. *Rev. Elev. Méd. vét. Pays trop.*, 1997, **50**, 97-98,
- AGUNLOYE C.A., ESURUOSO G.O., AGOJI I., OGUNDIPE G.AT., AGBEDE S.A., OYELKOLE O.D. & EZEUGWU R.U. Bovine brucellosis surveillance in 2 N'Damara breeding herds in Nigeria. *Bull. Anim. Hlth. Prod. Afr.*, 1988, **36**, 63-68.

- AHMADU B., SIKAZWE M.S., SAKALA R., PANDEY G.S. Seroprevalence of bovine brucellosis in cattle at Lusaka abattoirs. *Anim. Hlth. Prod. Afr.*, 1999, **41**, 119-121.
- AKAKPO A.J., BORNAREL P. Epidémiologie des brucelloses animales en Afrique tropicale: Enquête clinique, sérologique et bactériologique. *Rev. Sci. Techn. Off. Int. Epiz.*, 1987, **6**, 981–1027.
- AKAKPO A.J. Brucelloses animales en Afrique tropicale. Particularités épidémiologique, clinique et bactériologique. *Rev. Elev. Méd. vét. Pays trop.*, 1987, **40**, 307-320.
- AKAKPO A.J., BORNAREL P., D'ALMEIDA J.F. Epidémiologie de la brucellose bovine en Afrique tropicale 1: Enquête sérologique en République populaire de Bénin. *Rev. Elev. Méd. vét. Pays trop.*, 1984, **37**, 133-137.
- AKAKPO A.J., SALEY M., BORNAREL P., SARRADIN P. Epidémiologie de la brucellose bovine en Afrique tropicale II: Analyse sérologique et identification des deux premières souches de *Brucella abortus* biotype 3 au Niger. *Rev. Elev. Méd. vét. Pays trop.*, 1986, **39**, 175-179.
- ALHAJI I. Bovine tuberculosis in four northern states of Nigeria (PhD Thesis). Ahmadu Bello University of Zaria : Nigeria, 1976, 236 p.
- ALIYU M.M., ADAMU J.Y., BILYAMINU Y.A. Current Prevalence of Tuberculous Lesions among Slaughtered Cattle in Northeastern States of Nigeria. *Revue Elev. Méd. vét. Pays trop.*, 2009, **62**, 13-16.
- ALLIX C., WALRAVENS K., SAEGERMAN C., GODFROID J., SUPPLY P., FAUVILLE-DUFAUX M. Evaluation of the Epidemiological Relevance of Variable-Number Tandem-Repeat Genotyping of *Mycobacterium bovis* and Comparison of the Method with IS6110 Restriction Fragment Length Polymorphism Analysis and Spoligotyping. *Journal of Clinical Microbiology*, 2006, **44(6)**, 1951-1962.
- AMANFU W. The situation of tuberculosis and tuberculosis control in animals of economic interest. *Tuberculosis*, 2006, **86**, 330-335.
- AMENI G., ASEFFA A., ENGERS H., YOUNG D., HEWINSON G., VORDERMEIER M. Cattle Husbandry in Ethiopia Is a Predominant Factor Affecting the Pathology of Bovine Tuberculosis and Gamma Interferon Responses to Mycobacterial Antigens. *Clin. Vaccine Immunol.*, 2006, **13**, 1030-1036.
- AMENI G, ASEFFA A., ENGERS H., YOUNG D., HEWINSON G., VORDERMEIER M. Cattle Husbandry in Ethiopia Is a Predominant Factor Affecting the Pathology of Bovine Tuberculosis

- and Gamma Interferon Responses to Mycobacterial Antigens. *Clinical and Vaccine Immunology*, 2006, **13**, 1030-1036.
- AMENI G., ERKIHUN A. Bovine tuberculosis on small-scale dairy farms in Adama Town, central Ethiopia, and farmer awareness of the disease. *Rev. sci. tech. Off. int. Epiz.*, 2007, **26**, 711-719.
- AMENI G., ASEFFA A., SIRAK A., ENGERS H., YOUNG D. B., HEWINSON G. R., VORDERMEIER M. H., GORDON S. V. Effect of skin testing and segregation on the incidence of bovine tuberculosis, and molecular typing of *Mycobacterium bovis* in Ethiopia. *Vet Rec.*, 2007, **161**, 782-786.
- AMENI G., HEWINSON G., ASEFFA A., YOUNG D., VORDERMEIER M. Appraisal of Interpretation Criteria for the Comparative Intradermal Tuberculin Test for Diagnosis of Tuberculosis in Cattle in Central Ethiopia. *Clin. Vaccine Immunol.*, 2008, **16**: 1272–1276.
- AMERICAN THORACIC SOCIETY. Diagnostic standards and classification of tuberculosis in adults and children. 1999, Official statement of the American Thoracic Society and the Centers for Disease Control and Prevention.
- ANDREANI E., PROSPERI S., SALIM A.H., ARUSH A.M. Serological and bacteriological investigation on brucellosis in domestic ruminants of Somali Democratic Republic. *Rev. Elev. Méd. vét. Pays trop.*, 1982, **35**, 329-333.
- ANGBA A., TRAORE A., FRITZ P. Situation de la brucellose animale en Côte d'Ivoire. *Revue Elev. Méd. vét. Pays trop.*, 1987, **40**, 325-329.
- ANSARI N.A., KOMBE A.H., KENYON T.A. Pathology and causes of death in a group of 128 predominantly HIV-positive patients in Botswana, 1997–1998. *Int J Tuberc Lung Dis.*, 2002, **6**, 55-63.
- ARIMI S.M., KOROTI E., KANG'ETHE E.K., OMORE A.O., MCDERMOTT J.J. Risk of infection with *Brucella abortus* and *Escherichia coli* O157:H7 associated with marketing of unpasteurized milk in Kenya. *Acta Tropica*, 2005, **96**, 1-8.
- ASCOFARE D. N. Prévalence de la tuberculose bovine dans certains élevages laitiers du district de Bamako (Mémoire de fin d'étude). Institut Polytechnique Rural de Katibougou : Mali, 2000, 25 p.
- ASHENAFI F., TESHALE S., EJETA G., FIKRU R., LAIKEMARIAM Y. Distribution of brucellosis among small ruminants in the pastoral region of Afar, eastern Ethiopia. *Rev. sci. tech. Off. int. Epiz.* 2007, **26**, 731-739.

- ASHFORD D.A., WHITNELLY E., RAGHUNATHAN P., COSIVI O. Epidemiology of selected mycobacteria that infect humans and other animals. *Rev. Sci. Tech. Off. Int. Epizoot.*, 2001, **20**, 325-337.
- ASIIMWE B. B., ASIIMWE J., KALLENIOUS G., ASHABA F. K., GHEBREMICHAEL S., JOLOBA M., KOIVULA T. Molecular characterisation of Mycobacterium bovis isolates from cattle carcasses at a city slaughterhouse in Uganda. *Veterinary Record*, 2009, **164**, 655-658.
- ASSAGED B., LUBKE-BECKER A., LEMMA E., TADELE K., BRITTON S. Bovine tuberculosis: a cross-sectional and epidemiological study in and around Addis Ababa. *Bull. anim. Hlth Prod. Afr.*, 2000, **48**, 71-80.
- ASSAGED B., WOLDESENBET Z., YIMER E., LEMMA E. Evaluation of abattoir inspection for the diagnosis of M. bovis infection in cattle in Addis Ababa abattoir. *Trop. anim. Health Prod.*, 2004, **36**, 537-546.
- AWAH-NDUKUM J. Prevalence of bovine tuberculosis at the SODEPA Douala abattoir, Cameroon (1995 –2003). *Cameroon Journal of Experimental Biology*, 2005, **1**, 116-120.
- AU/IBAR. 2006: Pan African Animal Health Yearbook. African Union, Interafrican bureau for animal resources, Nairobi, Kenya.
- AYELE W.Y., NEILL S.D., ZINSSTAG J., WEISS M. G., PAVLIK I. Bovine tuberculosis: an old disease but a new threat to Africa. *Int. J. Tuberc. Lung. Dis.*, 2004, **8**, 924-937.

B

- BAARE M. Résultats d'une campagne de tuberculination du cheptel dans les Ranchs au Niger (Rapport d'activité). Ministère de l'Agriculture et de l'Élevage, Niamey, Niger, 1986, 15p.
- BAKUNZI F.R., ZYAMBO G.C., MORRIS S. Bovine tuberculosis survey in the Molopo district of the North West Province. *J. S. Afr. Vet. Assoc.*, 1995, **66**, 28-29.
- BANKOLE, A.A., SAEGERMAN, C., BERKVEN, D., FRETIN, D., GEERTS, S., IEVEN, G., WALRAVENS, K. Phenotypic and genotypic characterisation of Brucella strains isolated from cattle in the Gambia. *Veterinary Record*, 2010, **166**: 753–756.
- BAYEMI P. H., WEBB E. C., NSONGKA M. V., UNGER H., NJAKOI H. Prevalence of *Brucella abortus* antibodies in serum of Holstein cattle in Cameroon. *Trop Anim Health Prod.*, 2009, **41**, 141–144.

- BAYER W., CIOFOLO I. Gestion complémentaire de la faune sauvage et du bétail en Afrique de l'ouest : utopie ou perspective de développement ? Eschborn, 2004, 80 pp. <ftp://ftp.fao.org/docrep/nonfao/lead/x6211f/x6211f00.pdf>
- BEDARD B., MARTIN S., CHINOMBO D. A prevalence study of bovine tuberculosis and brucellosis in Malawi. *Prev. Vet. Med.*, 1993, 16, 193–205.
- BEKELE T., KASALI O.B., MUKASA-MUGERWA E., SCHOLTENS R.G., YIGZAW T. The prevalence of brucellosis in indigenous cattle in central Ethiopia. *Bull. Anim. Hlth. Prod. Afr.*, 1989, 37, 97-98
- BENGIS R.G., KOCK R.A., FISCHER J. *Infectious animal diseases: the wildlife/livestock interface. Rev Sci Tech.* 2002, 21, 53-65.
- BENKIRANE A. Etat actuel de la tuberculose bovine en Afrique et au Moyen-Orient. In : Animal tuberculosis in Africa and the Middle East. Rabat, Maroc, Actes Editions, 1997, 228p.
- BERKEL GM, COBELENS FG, DE VRIES G, DRAAYER-JANSEN IW, BORGDORFF MW. Tuberculin skin test: estimation of positive and negative predictive values from routine data. *Int J Tuberc Lung Dis.*, 2005, 9, 310-316.
- BERNUS E., BOUTRAIS J. Crises et enjeux du pastoralisme africain. *C.R. Acad. Agrlc. Fr.*, 1994, 80: 105-119.
- BIFFA D., BOGALE A., SKJERVE E. Diagnostic efficiency of abattoir meat inspection service in Ethiopia to detect carcasses infected with *Mycobacterium bovis*: Implications for public health. *BMC Public Health.* 2010, 10, 462. DOI 10.1007/s11250-010-9729-5.
- BIFFA D., INANGOLET F., BOGALE A., OLOYA J., DJØNNE B., SKJERVE E. Risk factors associated with prevalence of tuberculosis-like lesions and associated mycobacteria in cattle slaughtered at public and export abattoirs in Ethiopia. *Trop Anim Health Prod*, 2011, 43, 529–538.
- BIHIZI J.M. Importance de *Mycobacterium bovis* en Afrique (Thèse M.Sc). Institut de Médecine Tropicale Prince Léopold, Antwerpen : Belgique, 2007, 40 p.
- BLANCOU J., RORHIBACH C., PERDRIX A., CHOGEA A., ROSNER G. La tuberculose bovine à Madagascar. *Revue Elev. Méd. vét. Pays trop.*, 1971, 24, 505-517.
- BLANCOU J.M., CHENEAU Y. Influence de la tuberculose sur le gain de poids de zébus à l'engrais. *Revue Elev. Méd. vét. Pays trop.* 1974, 45, 75-80.
- BLANCOU B., CHOMEL B., BELOTTO A, MELSEN F.X. Emerging or re-emerging bacterial zoonoses: factors of emergence, surveillance and control. *Vet. Res.*, 2000, 36, 507-522.

- BLOCH, N., DIALLO, I. Enquête sérologique et allergologique sur les bovins du Niger. *Rev. Elev. Med. Vet. Pays Trop.*, 1991, **44**, 117–122.
- BLOOD D.C., RADOSTIS O.M., HENDERSON J.A. Diseases caused by *Mycobacterium spp.* In: Veterinary medicine. A textbook of the diseases of cattle, sheep, pigs, goats and horses, 6th Edt. London, UK, WB Saunders, 1983, 1310 p.
- BONFOH B., FANE A., STEINMAN P., HETZEL M., TRAORE A.N., TRAORE M., SIMBE C.F., ALFAROUKH I.O., NICOLET J., AKAKPO J.A., ZINSSTAG J. Qualité microbiologique du lait et produits laitiers vendus au Mali et leur implication sur la santé publique. *Etudes et recherches sahéliennes*, 2003, **8**, 19-27.
- BONFOH B., FANE A., NETOYO L., MBAYE Y., SIMBE C.F., ALFAROUK I.O., NICOLET J., FARAH Z., ZINSSTAG J., Collecte et distribution du lait produit localement en zone urbaine de Bamako. *Etud. Rech. Sahéliennes*, 2003, (8-9), 13-18.
- BONSU O.A., LAING E., AKANMORI B.D. Prevalence of tuberculosis in cattle in the Dangme-West district of Ghana, public health implications. *Acta Trop.* 2000, **76**, 9-14
- BOSCHIROLI M.L., THOREL M.F. Tuberculosis (In Pierre-Charles Lefèvre, Jean Blancou, René Chermette, Gerrit Vilenberg eds). *Infectious and Parasitic Diseases of livestock*. Vol 2. Editions Médicales Internationales, Paris (1985 pp), 2010, 1075-1096.
- BOUKARY A.R. Etude de l'impact des pratiques d'élevage sur la transmission de la tuberculose à *M. bovis* et de la brucellose en milieu urbain et périurbain à Niamey (Niger). In: African Bovine TB Network: "Effective management of bovine tuberculosis in Africa: Towards adapted control policy", 26-29 June 2007, Bamako, Mali.
- BOUKARY A.R., CHAÏBOU M., MARICHATOU H., VIAS G. Caractérisation des systèmes de production laitière et analyse des stratégies de valorisation du lait en milieu rural et périurbain au Niger : cas de la communauté urbaine de Niamey et de la commune rurale de Filingué. *Revue Elev. Méd. vét. Pays trop.*, 2007, **60**, 113-120.
- BOUKARY AR, SAEGERMAN C, RIGOUTS L, MATTHYS F, BERKVEN D, THYS E. Preliminary results of the study on zoonotic brucellosis and tuberculosis in Niamey. In: Globalization of Tropical Animal Diseases and Public Health Concerns; proceedings of 13th AITVM 2010 International Conference, 23-26 August 2010, Bangkok, Thailand. [Bangkok]: [Chulalongkorn University; Utrecht: Association of Institutions for Tropical Veterinary Medicine (AITVM)]; 2010. p. 22-24.
- BOUKARY A.R., BADÉ M.A., ADÉHOSSI E., VIAS FRANCK S.G. The fight against zoonotic diseases, a challenge for public and veterinary health: Niger experience. International symposium

- on "Intersectoral collaboration between the medical and veterinary professions in low-resource societies"; "Where medics and vets join forces" held on November 5th, 2010, at ITM, Antwerp, Belgium.
- BOUKARY A.R., ADEHOSSI E., BADE M.A., OUSSEINI F., BERKVEN D. SAEGERMAN C., THYS E. Quand Médecins et Vétérinaires unissent leur force: cas d'une stratégie intégrée de lutte contre la brucellose au Niger. In: International DVTD - ITM Joint Colloquium on Zoonoses and Neglected Infectious Diseases of Africa. 1-4 November 2011, Johannesburg, South Africa. pp 16-17 abstract book.
- BOUKARY A.R. Contribution of Belgian veterinary institutions to the promotion of livestock in the tropics: Experiences from Niger. Be-troplive Symposium "VET 2011 - Veterinary Medicine in the tropics", held on November 15th, 2010, at University of Liege, Belgium.
- BOUKARY A.R., THYS E., ABATIH E., GAMATIE D., ANGO I., YENIKOYE A., SAEGERMAN C. Bovine Tuberculosis Prevalence Survey on Cattle in the Rural Livestock System of Torodi (Niger). *Plos One*, 2011, **6**(9), e24629.
- BOUKARY A. R., ADÉHOSSI E., BADÉ M. A., ABATIH E., SAEGERMAN C, THYS E. From evidence of brucellosis in peri-urban dairy farms of Niamey to the management of patients by hospital services: an example of collaboration between vets and medics in Niger in the fight against zoonotic diseases. International Riprosat symposium One Health One World In The Context Of Developing Countries: Challenges And Opportunities, held on 1-3 October 2012 in Addis Ababa, Ethiopia.
- BOUKARY A.R., SAEGERMAN C., ABATIH E., FRETIN D., ALAMBÉDJI BADA R., DE DEKEN R., HAROUNA A.H., YENIKOYE A., THYS E. Seroprevalence and potential risk factors of *Brucella abortus* biovar 3 infection in traditional cattle, sheep and goats reared in urban, periurban and rural areas of Niger. *Plos One*, 2013, (article soumis)
- BOURRET. La fièvre méditerranéenne en AOF. *Bull. Soc. Path. exot.*, 1910, **3**, 490-499.
- BREW S.D., PERRETT L.L., STACK J.A., MACMILLAN A.P., STAUNTON N.J. Human exposure to *Brucella* recovered from a sea mammal. *Vet. Rec.*, 1999, **144**, 483.
- BULA M., NDUMBI M.W., BANZA M. Dépistage de la brucellose bovine dans le Sud-Est du Zaïre par l'épreuve de fixation du complément. *Rev. Sci. Tech. int. Epiz.* 1987, **6**, 1037-1042.

C

- CAMUS M. Incidence clinique de la brucellose bovine dans le Nord de la Côte d'Ivoire. *Rev. Elev. Méd. vét. Pays trop.*, 1980, **33**, 263-269.
- CADMUS S.I.B., ATSANDA N.N., ONI S.O., AKANG E.E.U. Bovine tuberculosis in one cattle herd in Ibadan in Nigeria. *Vet. Med. – Czech*, 2004, **49**, 406-412
- CADMUS S.I.B., IJABONE I.F., OPUTA H.E., ADESOKEN H.K., STACK J.A. Serological survey of brucellosis in livestock animals and workers in Ibadan Nigeria, *African Journal of Biomedical Research*, 2006, **9**, 163-168.
- CADMUS S., PALMER S., MELISSA O., JAMES D., KAREN G., SSMITH N., KEITH J., GLYN H.R., STEPHEN V.G. Molecular Analysis of Human and Bovine Tubercle Bacilli from a Local Setting in Nigeria. *Journal of Clinical Microbiology*, 2006, **44**, 29-34.
- CADMUS S. Bovine tuberculosis in Nigeria. In: Proceedings of the 1st meeting « African Bovine TB Network : Effective management of bovine tuberculosis in Africa : Towards adapted control policy ». Bamako, Mali, 26-29 juin 2007, 2007, 5-6.
- CADMUS S.I.B., AGADA C.A., ONOJA I.I., SALISU I. Risk factors associated with bovine tuberculosis in some selected herds in Nigeria. *Trop. Anim. Health Prod.*, 2010, **42**, 547-549.
- CANTAFORA A.F.A. Lo sviluppo della filiera latte nella cintura periurbana di Niamey (Niger). Laurea in Scienze e Technologie della Produzione animale, Istituto di Zootecnica, Università Degli Studi, Milano, Italia, 2002, 107 p.
- CATLEY A.P. A report on the prevalence and zoonotic implications of bovine tuberculosis in Tanzania. Centre for Tropical Veterinary Medicine, University of Edinburgh, 1992, 19p.
- CHANTAL J., THOMAS J. F. Etude sérologique sur la brucellose bovine aux abattoirs de Dakar. *Rev. Elev. Méd. vét. Pays trop.*, 1976, **29**, 101-108.
- CHANTAL J., BESSIERE M.H., LE GUENNO B., MAGNAVAL J.F., DORCHIES P. Serologic screening of certain zoonoses in the abattoir personnel in Djibouti. *Bull. Soc. Pathol. Exot.*, 1996, **89**, 353-357.
- CHARTERS A.D. Brucellosis. *Australian Family Physician*, 1980, **9**, 707-712.
- CHILLIO A., ELHADJI D., A. MOUMOUNI, SOULEY A. Autour de la contagion, de la transmission, et de la prévention : notions populaires hausa et songhay-zarmamai 2002 Etudes et

- Travaux n° 7 LASDEL. Laboratoire d'études et recherches sur les dynamiques sociales et le développement local. Niamey, Niger, 2002, 46p.
- CHIMANA H.M., MUMA J.B., SAMUI K.L., HANGOMBE B.M., MUNYEME M., MATOPE G., PHIRI A.M., GODFROID J., SKJERVE E., TRYLAND M. A comparative study of seroprevalence of brucellosis in commercial and small-scale mixed dairy-beef cattle enterprises of Lusaka province and Chibombo district, Zambia. *Trop. Anim. Health Prod.*, 2010, **42**, 1541-1545.
- CLEAVELAND S., MLENGEYA T., KAZWALA R.R., MICHEL A., KAARE M.T., JONES S.L. Tuberculosis in Tanzanian wildlife. *J Wildl Dis.* 2005, **41**, 446-453.
- CLEAVELAND S., SHAW D.J., MFINANGA S.G., SHIRIMA G., KAZWALA R.R., EBLATE E., SHARP M. *Mycobacterium bovis* in rural Tanzania : Risk factors for infection in human and cattle populations. *Tuberculosis*, 2007, **87**, 30-43.
- CLOECKAERT A., VERGER J.M., CRAYON M. *et al.*. Classification of *Brucella* spp. Isolated from marine mammals: polymorphism at the *omp2* locus. *Microbes Infect*, 2001, **3**: 729-738.
- CORBEL M: Brucellosis. 1988. In Fertility and Infertility in Veterinary Practice. 4 edition. Edited by: Laing J. Bailliere Tindall: ELBS; **1988**, 190-221.
- COOK A.J., TUCHILI L.M., BUVE A., FOSTER S.D., GODFREY-FAUSETT P., PANDEY G.S., MCADAM K.P. Human and bovine tuberculosis in the Monze District of Zambia- a cross-sectional study. *Br Vet J.*, 1996, **152**, 37-46.
- CORBETT E.L., MARSTON B., CHURCHYARD G.J., DE COCK K.M. Tuberculosis in sub-Saharan Africa: opportunities, challenges, and change in the era of antiretroviral treatment. *Lancet* , 2006, **367**, 926-937.
- COSIVI O., MESLIN F.X., DABORN C.J., GRANGE J.M. Epidemiology of *Mycobacterium bovis* infection in animals and humans, with particular reference to Africa. *Rev.Sci.Tech.*, 1995, **14**, 733-746.
- COSIVI, O., GRANGE J.M., DABORN C.J., RAVIGLIONE M.C., FUJIKURA T., COUSINS D., ROBINSON R.A., HUCHZERMEYER H.F., MESLIN F.X. Zoonotic tuberculosis due to *Mycobacterium bovis* in developing countries. *Emerg. Infect. Dis.*, 1998, **4**, 59-70.
- CRUBÉZY, É., B. LUDES, J.-D. POVEDA, J. CLAYTON, CROUAU-ROY B., MONTAGNON D. Identification of *Mycobacterium* DNA in an Egyptian Pott's disease of 5400 years old. *CR. Acad. Sci. Paris.*, 1998, **321**, 941-951.

- COLLINS C.H., GRANGE J.M. The bovine tubercle bacilli: a review. *J. App. Bacteriol.* 1983, **55**, 13-29.
- COULIBALY N.D., YAMEOGO K.R. Prevalence and control of zoonotic diseases: collaboration between public health and veterinarians in Burkina Faso. *Acta trop.*, 2000, **76**, 53-57.
- CTA (Centre Technique de Coopération Agricole et Rurale). Protéger et promouvoir le pastoralisme en Afrique. Note politique N° 6 : juin 2012, 4 pp.

D

- DABORN C.J. Bovine tuberculosis in the tropics - a call to arms. In: Tacher G, Leteneur L (Ed.), Proceedings of the VIIth International Conference of the Institute of Tropical Veterinary Medicine. Yamoussoukro, Côte d'Ivoire: Institute of Tropical Veterinary Medicine, 1992, 359-368.
- DABORN C.J., GRANGE J.M., KAZWALA R.R. The bovine tuberculosis cycle—an African perspective. *J Appl Bacteriol.*, 1996, **81**, 527-532.
- DABORN C.J., KAZWALA R.R., KAMBARAGE D.M. Bovine tuberculosis research programme in Tanzania: interim results. In: J. Berrada, N. Bouchriti, and M. Bouslikhane (ed.), Animal tuberculosis in Africa and Middle East. Actes Editions, Rabat, Morocco, 1997, 151–198.
- DANKNER W.M., DAVIS C.E. *Mycobacterium bovis* as a significant cause of tuberculosis in children residing along the United States-Mexico border in the Baja California region. *Pediatrics*, 2000, **105**, 79.
- DAO M. 2005. Contribution à l'étude de la tuberculose bovine au Mali: Enquête aux abattoirs de Bamako et de Mopti ; isolement de 10 souches de *Mycobacterium bovis* (Thèse de doctorat de Médecine vétérinaire, diplôme d'état). EISMV de Dakar: Sénégal, 84p.
- DEAN A.S., CRUMP L., GRETER H., SCHELLING E., ZINSSTAG J. Global Burden of Human Brucellosis: A Systematic Review of Disease Frequency. *PLoS Negl*, 2012
- DELAFOSSE A., GOUTARD F., THEBAUD E. Epidémiologie de la tuberculose et de la brucellose des bovins en zone périurbaine d'Abéché, Tchad. *Revue Elev. Méd. vét. Pays trop.*, 2002, **55**, 5-13.

- DEUTSCHE SAMMLUNG VON MIKROORGANISMEN UND ZELLKULTUREN GMBH (2010).
[en ligne] (sans date) Adresse URL :
http://www.dsmz.de/microorganisms/bacterial_nomenclature_info.php?genus=MYCOBACTERIUM, consulté le 16/08/2010.
- DIALLO M.B. Résultats d'enquête sur la brucellose en Guinée. *Tropicultura*, 1994, **12** : 48-49.
- DIGUIMBAYE C. La tuberculose humaine et animale au Tchad: Contribution à la mise en évidence et caractérisation des agents causaux et leur implication en santé publique (PhD Thesis). Philosophisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät der Universität Basel : Basel, 2004, 190 p.
- DIGUIMBAYE C., HILTY M., NGANDOLO R., HASSANE H. M., GABY E. P., BAGGI F., TANNER M., SCHELLING E., ZINSSTAG J. Molecular Characterization and Drug Resistance Testing of *Mycobacterium tuberculosis* Isolates from Chad. *J. Clin. Microbiol.* 2006, **44**, 1575–1577.
- DOMENECH J., LEFEVRE P. Enquête sérologique sur la péripneumonie et la brucellose bovine en Éthiopie. *Rev. Elev. Méd. vét. Pays trop.*, 1974, **27**, 397-402.
- DOMENECH J., LUCET P., GRILLET C. La brucellose bovine en Afrique centrale. I. Méthodes d'enquêtes utilisables en milieu tropical. *Revue Elev. Méd. vét. Pays trop.*, 1980, **33**, 271-276.
- DOMENECH J., COULOMB J., LUCET P. La brucellose bovine en Afrique centrale. IV. Evaluation de son incidence économique et calcul du coût-bénéfice des opérations d'assainissement. *Rev. Elev. Méd. vét. Pays trop.*, 1982, **35**, 113-124.
- DOMENECH J., CORBEL M., THOMAS E., LUCET P. La brucellose bovine en Afrique centrale: VI. Identification et typage des souches isolées au Tchad et au Cameroun. *Rev. Elev. Méd. vét. Pays trop.*, 1983, **36**, 19-25.
- DOMINGO A.M. Current status of some zoonoses in Togo. *Acta Trop.*, 2000, **76**, 65-69.
- DOUTRE M. P., FENSTERBANK R., SAGNA F. Étude de la brucellose bovine dans un village de Basse-Casamance (Sénégal) 1. - Diagnostic sérologique et bactériologique *Revue Elev. Méd. vét. Pays trop.*, 1977, **30**, 345-351.
- DSCN (DIRECTION DE LA STATISTIQUE ET DES COMPTES NATIONAUX). Recensement général de la population et de l'habitat. 2003, Niamey, Niger, direction de la Statistique et des Comptes nationaux.
- DOUTRE M.P. Note concernant les récents cas de tuberculose bovine (*Mycobacterium bovis*) observés à l'abattoir de Dakar. *Rev. Elev. Méd. Vét. Pays trop.*, 1976, **29**: 309-311.

DURNEZ L., M. EDDYANI, G.F. MGOE, A. KATAKWEBA, C.R. KATHOLI, R.R. KAZWALA, F. PORTAELS, AND H. LEIRS. First Detection of Mycobacteria in African Rodents and Insectivores, Using Stratified Pool Screening. *Appl. Environm. Microbiol.* 2008, **74**, 768-773.

DURNEZ L., SADIKI H., KATAKWEBA A., MACHANG'U R.R., KAZWALA R.R., LIERS H., PORTAELS F. The prevalence of *Mycobacterium bovis* infection and atypical mycobacteriose in cattle in and around Morogoro, Tanzania. *Trop Anim Health Prod.* 2009, **41**, 1653-1659.

DU-SAI D.H.M., ABDULLAHI D.A. Current status of bovine tuberculosis at Sokoto abattoir. *Trop. Vet.* 1994, **12**, 134-137.

E

EDGINTON ME., SEKATANE CS., GOLDSTEIN SJ. Patients' beliefs: do they affect tuberculosis control? A study in a rural district of South Africa. *Int J Tuberc Lung Dis*, 2002, **6**: 1075-1082.

ELIAS K., HUSSEIN D., ASSEGED B., WONDWOSSEN T., GEBEVEHU M. Status of bovine tuberculosis in Addis-Ababa dairy farms. *Rev. sci. tech.*, 2008, **27**, 915-923.

EL-ANASRY E.H., MOHAMMED B.A., HAMAD A.R., KAROM A.G. Brucellosis among animals human contacts in eastern Sudan. *Saudi Med. J.*, 2001, **22**, 577-579.

F

FALADE S., NXUFOH J.K., NMEZI L.Y. Brucellosis in investigation in selected herds in Oyo state, Nigeria. *Bull. Anim. Hlth. Prod. Afr.*, 1981, **29**, 197-201.

FAYE B., CASTEL V., LESNOFF M., RUTABINDA D., DHALWA J. Tuberculosis and brucellosis prevalence survey on dairy cattle in Mbarara milk basin (Uganda). *Prev. vet. Med.*, 2005, **67**, 267-281.

FERNANDO C.L., ELIAS F.R., ELENA M.V. Brucellose ovine et caprine. In: Lefèvre P. Blancou J. et Chermette R. (Eds). Principales maladies infectieuses et parasitaires du bétail. Editions Médicales Internationales, Paris, 2003, 891-904.

FAO, 1985. Réfrigération du lait à la ferme et organisation des transports. Rome, Italie, FAO, 215 p.

FAO. FAOSTAT, Food and Agricultural Organization Statistic Division. 2009, <http://faostat.fao.org/site/573/DesktopDefault.aspx?PageID=573#ancor> (accessed 31/08/2011).

FAO. Revue du secteur de l'élevage au Niger. Réalisé par: FAO/SFW, Février 2010, 115pp.

FISCHER R.J., T.L. JOHNSON, S.J. RAFFEL, SCHWAN T.G. *Mycobacterium bovis* and *M. tuberculosis* in Goats, Nigeria. *Emerging Infectious Diseases*. 2009, 15, 2066–2067.

FRANKENA K., SOMERS J.G., SCHOUTEN W.G., VAN STEK J.V., METZ J.H., STASSEN E.N., GRAAT E.A. The effect of digital lesions and floor type on locomotion score in Dutch dairy cows. *Prev Vet Med*, 2009, **88**, 150–157.

G

GALL D., NIELSEN K. Serological diagnosis of bovine brucellosis: a review of test performance and cost comparison. *Revue sci. tech. Off. int. Epizoot.*, 2004, **23**, 989-1002.

GAVAZZI G., PRIGENT D., BAUDET J., BANOITA S., DAOUD W. Aspects épidémiologiques de 42 cas de brucellose humaine en République de Djibouti. *Revue Médecine tropicale*, 1997, **57**, 365-368.

GIDEL R., ALBERT J.P., RETIF M. Enquête sur la tuberculose bovine au moyen de tests tuberculiques dans diverses régions d'Afrique occidentale (Haute Volta et Côte d'Ivoire) Résultats et considérations générales. *Revue Elev. Méd. vét. Pays trop.*, 1969, **22**, 337-355.

GIDEL R., ALBERT J., LE MAO G., RETIF M. La brucellose en Afrique occidentale et son incidence sur la santé publique. Résultats de dix enquêtes épidémiologiques effectuées en Côte d'Ivoire, Haute-Volta et Niger, de 1970 à 1973. *Rev. Elev. Méd. vét. Pays trop.*, 1974, **2**, 403-418.

GHIROTTI, M.G., SEMPRONI D., DE MENEGHI, F. N. MUNGABA, D. NANNINI, G. CALZETTA, AND G. PAGANICO. *Sero-prevalences of selected cattle diseases in the Kafue flats of Zambia. Veterinary Research Communication*, 1991, 15: 25–36

GODFROID J., AL-MARIRI A., WALRAVENS K., LETESSON J.J. Brucellose bovine. In: Lefèvre P., Blancou J. et Chermette R. (Eds). Principales maladies infectieuses et parasitaires du bétail. Editions Médicales Internationales, Paris, 2003, 869-889.

GODFROID J., CLOECKAERT A., LIAUTARD JP., KOHLER S., FRETIN D., WALRAVENS K., GARIN-BASTUJ B., LETESSON JJ. From the discovery of the Malta fever's agent to the

- discovery of a marine mammal reservoir, brucellosis has continuously been a re-emerging zoonosis. *Vet. Res.*, 2005, **36**, 313–326.
- GODFROID J., AL DAHOUK S., PAPPASE G., ROTHF F., MATOPEG G., MUMAH J., MARCOTTY T., PFEIFFER D., SKJERVEK E. A “One Health” surveillance and control of brucellosis in developing countries: Moving away from improvisation. *Comp Immunol Microbiol Infect Dis*, 2012, <http://dx.doi.org/10.1016/j.cimid.2012.09.001>
- GODREUIL S., TORREA G., TERRU D., CHEVENET F., DIAGBOUGA S., SUPPLY P., VAN DE PERRE P., CARRIERE C., BANULS A.L. First Molecular Epidemiology Study of *Mycobacterium tuberculosis* in Burkina Faso. *J. Clin. Microbiol*, 2007, **45**, 921–927.
- GOOD, R. C., SHINNICK T. M. *Mycobacterium*. In: Collier A.B.L., Sussman M. (eds), Topley’s and Wilson’s microbiology and microbial infections, systematic bacteriology, 9th ed. Edward Arnold: London, 1998, 5496-576.
- GRAEFE S., SCHLECHT E., BUERKERT A. Opportunities and challenges of urban and peri-urban agriculture in Niamey, Niger. *Outlook on AGRICULTURE*, 2008, 37: 47–56
- GRANT A.D., DJOMAND G., DE COCK K.M. Natural history and spectrum of disease in adults with HIV/AIDS in Africa. *AIDS*, 1997, **11**, 43–54.
- GUIGUEN A. *Mycobacterium bovis* découvert sur des squelettes de l'Âge du fer. *Biofutur*, 2007, **278**,13-13.
- GUTIERREZ M.C., BRISSE S., BROSCHE R., FABRE M., OMAIS B., MARMIESSE M., SUPPLY P., VINCENT V. Ancient origin and gene mosaicism of the progenitor of *Mycobacterium tuberculosis*. *PLoS Pathogens*, 2005, **1**:e5. doi:10.1371/journal.ppat.0010005.

H

- HADDAD N., MASSELOT M., DURAND B. Molecular differentiation of *Mycobacterium bovis* isolates. Review of main techniques and applications. *Research in Veterinary Science*, 2004, **76**, 1–18.
- HALLING S. M., YOUNG E. J. *Brucella*. In : Hui Y. H., Gorham J. R., Murrell K. D., Cliver D. O. (Eds). Foodborne Disease Handbook – Disease caused by bacteria. Marcel Dekker, INC, New York, 1994, 63-69.

- HC3N (Haut Commissariat à l'Initiative 3N). Document cadre stratégique pour la mise en œuvre de la Stratégie pour la Sécurité Alimentaire et Nutritionnelle et le Développement Agricole Durables. Présidence de la République du Niger, Avril 2012, 69 pp.
- HEIDRICH H.J. Tuberculose. In : Encyclopédie vétérinaire. Diagnostic et traitement. Paris, France, Vigot et Frères, 1974, 2 914 p.
- HELLMANN E., STAAK C., BAUMANN M. Bovine brucellosis among two different cattle population in Bahr el Ghazal Province of Southern Sudan. *Tropenmed. Parasit.*, 1984, **35**, 123-126.
- HOLT H.R., ELTHOLTH M.M., HEGAZY M.Y., EL-TRAS W.F., TAYEL A.A., GUITIAN J. *Brucella spp.* infection in large ruminants in an endemic area of Egypt: cross-sectional study investigating seroprevalence, risk factors and livestock owner's knowledge, attitudes and practices (KAPs). *BMC Public Health*, 2011, **11**, 341.
- HUSSEIN A.S., SINGHI S.S., HAJI H. A survey of brucellosis in the Southern parts of Somalia Democratic Republic. *Bull. Anim. Hlth. Prod. Afr.*, 1978, **26**, 150-153.
- HOFFNER, S.E., SVENSON S.B., NORBERG R., DIAS F., GHEBREMICHAEL S., KALLENIOUS G. Biochemical heterogeneity of *Mycobacterium tuberculosis* complex isolates in Guinea-Bissau. *J. Clin. Microbiol.*, 1993, **31**, 2215-2217.
- HOFMEYR M.S., BUSS P., DE KLERK-LORIST L.M., BENGIS R.G. Bovine tuberculosis in buffalo and current projects in the Kruger National Park. In: Proceedings of the North American Veterinary Conference. Orlando, Florida, January 7-11, 2006, 1771-1773.
- HOUBEN R.M., GLYNN J.R., MALLARD K., SICHALI L., MALEMA S., FINE P.E., FRENCH N., CRAMPIN A.C. Human immunodeficiency virus increases the risk of tuberculosis due to recent re-infection in individuals with latent infection. *Int. J. Tuberc. Lung. Dis.*, 2010, **14**, 909-15
- HUMBLET M. F., BOSCHIROLI M. L., SAEGERMAN C. Classification of worldwide bovine tuberculosis risk factors in cattle: a stratified approach. *Vet. Res.*, 2009, **40**, 50 doi: 10.1051/vetres/2009033
- HUMBLET M.-F., WALRAVENS K., SALANDRE O., BOSCHIROLI M.-L., GILBERT M., BERKVENS D., FAUVILLE-DUFAUX M., GODFROID J., DUFEY J., RASKIN A., VANHOLME L., SAEGERMAN C. Monitoring of the intra-dermal tuberculosis skin test performed by Belgian field practitioners. *Research in Veterinary Science*, 2011, **91**, 199-207. doi: 10.1016/j.rvsc.2010.12.004.

I

- IBRAHIM N., BELIHU K., LOBAGO F., BEKENA M. Sero-prevalence of bovine brucellosis and risk factors in Jimma zone of Oromia Region, South-western Ethiopia. *Trop. Anim. Health Prod.* 2010, **42**, 35-40.
- IBRAHIM S., AGADA C.A., UMOH J.U., AJOGI I., & FAROUK U.M., CADMUS S.I.B. Prevalence of bovine tuberculosis in Jigawa State, northwestern Nigeria. *Trop Anim Health Prod.* 2010, **42**, 1333–1335.
- IDIGBE E.O., ANYIWO C.E., ONWUJEKWE D.I. Human pulmonary infections with bovine and atypical mycobacteria in Lagos, Nigeria. *J Trop Med Hyg*, 1986, **89**, 143–148.
- IGBOKWE I.O., MADAKI I.Y., DANBURAM S., AMEH J.A., ALIYU M.M., NWOSU C.O. Prevalence of Pulmonary Tuberculous Lesions in Cattle Slaughtered in Abattoirs in Northeastern Nigeria. *Revue Élev. Méd. vét. Pays trop.*, 2001, **54**, 191-195.
- IMOROU A., JP. OLIVIER DE SARDAN. 2004 La tuberculose à Gaya : approche socioanthropologique. Etudes et Travaux n° 25. LASDEL, Niamey, Niger p.20.
- INS (Institut National de la Statistique). Enquête sur la sécurité alimentaire des ménages au Niger. Résumé exécutif, Février 2011, 11 pp.
- ISHOLA O., AYANWALE F., OGUNDIPE G., ADEYEMI I. Seroprevalence of bovine brucellosis in trade cattle slaughtered in Ibadan. *Epidémiol. Santé anim.*, 1997. **31-32**, 02.A.24.

J

- JAFFRE Y., MOUMOUNI A., OLIVIER DE SARDAN J.P., SOULEY A. Représentations populaires hausa et songhay zarma de quelques maladies (entités nosologiques populaires). Etudes et Travaux n°17. LASDEL, Niamey: Niger, 2003, 111 p.
- JIWA S.F.H, KAZWALA R. R., TUNGARAZA R., KIMERA S.I., KALAYE W.J. Bovine brucellosis serum agglutination test prevalence and breed disposition according to prevalent management systems in the Lake Victoria zone of Tanzania. *Prev. Vet. Med.*, 1996, **26**, 341-346.
- JIWA S.F.H., KAZWALA R.R., ABOUD A.A.O., KALAYE W.J. Bovine tuberculosis in the Lake Victoria Zone of Tanzania and its possible consequences to human health in HIV/AIDS era. *Vet Res Commun.*, 1997, **21**, 533–539.

JICHUAN W, HAIYI X, JAMES H. F. Multilevel Models: Applications using SAS®. Higher Education Press and Walter de Gruyter GmbH & Co. KG., 2012, Berlin/Boston

JOHN K., FITZPATRICK J., FRENCH N., KAZWALA R., KAMBARAGE D., MFINANGA S.G., MACMILLAN. A., CLEVELAND S. Quantifying Risk Factors for Human Brucellosis in Rural Northern Tanzania. *PLoS ONE*, 2010, 5(4): e9968. doi:10.1371/journal.pone.0009968

K

KABAGAMBE E.K., ELZER P.H., GERAGHAN J.P., SCHOLL D.T. Risk factors for *Brucella* seropositivity in goat herds in eastern and western Uganda. *Prev. Vet. Med.*, 2001, **52**, 91-108.

KADOHIRA M., MCDERMOTT J.J., SHOUKRI M.M., THORBURN M.A. Assessing infections at multiple levels of aggregation. *Prev. Vet. Med.*, 1996, **29**, 161-177.

KADOHIRA M., MCDERMOTT J.J., SHOUKRI M.M., KYULE M.N. Variations in the prevalence of antibody to *brucella* infection in cattle by farm, area and district in Kenya. *Epidemiol. Infect.*, 1997, **118**, 35-41.

KAGUMBA M., NANDOKHA E. A survey of the prevalence of bovine brucellosis in East Africa. *Bull. Anim. Hlth. Prod. Afr.*, 1978, **26**, 224-229.

KAMERBEEK J., SCHOOLS L., KOLK A., VAN AGTERVELD M., VAN SOOLINGEN D., KUIJPER S., BUNSCHOTEN A., MOLHUIZEN H., SHAW R., GOYAL M., VAN EMBDEN J., Simultaneous detection and strain differentiation of *Mycobacterium tuberculosis* for diagnosis and epidemiology. *J Clin Microbiol.* 1997, **35**, 907-914.

KANG'ETHE E.K., EKUTTAN C.E., KIMANI V.N., KIRAGU M.W. Investigations into the prevalence of bovine brucellosis and the risk factors that predispose humans to infection among urban dairy and non-dairy farming households in Dagoretti division, Nairobi, Kenya. *E Afr Med J*, 2007, **84**, 96-99.

KAZWALA, R.R. Molecular epidemiology of bovine tuberculosis in Tanzania, (PhD thesis), University of Edinburgh, 1996.

KAZWALA R.R., KAMBARAGE D.M., DABORN N., NYANGE J., SHARP J.M. Prevalence of bovine tuberculosis in indigenous cattle of the southern highlands of Tanzania: country report. In: Animal tuberculosis in Africa and the Middle East (ed.), Actes Editions, Rabat, Maroc, 1997, 228 p.

- KAZWALA R.R., KAMBARAGE D.M., DABORN C.J., NYANGE J., JIWA S.F.H., SHARP J.M. a) Risk factors associated with the occurrence of bovine tuberculosis in cattle in the Southern Highlands of Tanzania. *Vet Res Commun.*, 2001, **25**, 609–614.
- KAZWALA R.R., DABORN C.J., SHARP JM, KAMBARAGE DM, JIWA SFH, MBEMBATI NA. b) Isolation of *Mycobacterium bovis* from human cases of cervical adenitis in Tanzania: a cause for concern? *Int J Tuberc Lung Dis.*, 2001, **5**, 87–91.
- KAZWALA R.R., KUSILUKA L.J.M., SINCLAIR K., SHARP J.M., DABORN C.J. The molecular epidemiology of *Mycobacterium bovis* infections in Tanzania. *Vet Microbiol*, 2006, **112**, 201-210.
- KLEEBERG H.H. Human tuberculosis of bovine origin in relation to public health. *Rev. sci. tech. Off. int. Epiz.*, 1984, **3**: 11-32.
- KOFFI-TESSIO E.M. Elevage périurbain et pauvreté au Togo. In : Ahmadou Aly Mbaye, David Roland-Holst, Joachim Otte (Eds), Agriculture, élevage et pauvreté en Afrique de l’Ouest. CREA-FAO, Rome, 2007, 51-70.
- KONTE M. Des incidences d’une zoonose majeure infectieuse en zone d’enzootie : la brucellose bovine en moyenne Casamance (Thèse de doctorat en Médecine vétérinaire). Ecole Inter-états des Sciences et de Médecine Vétérinaire : Dakar, 1981, 124 p.
- KONTE M., MANKOR A., AKAKPO J.** Systèmes d’épidémiosurveillance de la brucellose, de la chlamydie et de la fièvre Q chez les bovins pour le Sénégal. In: AEEMA (Ed.), Proceedings of the 8th congress of international society of veterinary epidemiology and economics. Paris 8-11 July 1997, 1997.
- KOUAMO J., HABIMANA S., ALAMBEDI BADA R., SAWADOGO G.J., OUEDRAOGO G.A. Séroprévalences de la brucellose, de la BVD et de l’IBR et impact sur la reproduction des femelles zébus Gobra et croisements inséminées en milieu traditionnel dans la région de Thiès au Sénégal *Revue Méd. Vét.*, 2010, 161, 7, 314-321
- KUBAFOR D.K., AWUMBILA B., AKANMORI B.D. Seroprevalence of brucellosis in cattle and humans in the Akwapim-South district of Ghana: public health implications. *Acta trop.*, 2000, **76**, 45-48.
- KREBS J.R. Bovine tuberculosis in cattle and badgers: a report by the independent scientific review group. London: Ministry of Agriculture, Fisheries and Food. 1997.
- KOUYATE B. Tuberculose bovine au Mali. In: Animal tuberculosis in Africa and the Middle East (ed.), Rabat, Maroc, Actes Editions, 1997, 228 p.

KUDI A.C., KALLA D.J.U., ALKALI Y., LADAN S.M., KUDI M.C., MAI H. Abattoir survey of small ruminant diseases in Bauchi, Nigeria. *Revue Élev. Méd. vét. Pays trop.* 1997, **50**, 281-284.

KULO M. 2007. Situation de la tuberculose bovine au Togo. In: Proceedings of the 1st meeting « African Bovine TB Network : Effective management of bovine tuberculosis in Africa : Towards adapted control policy ». Bamako, Mali, 26 -29 juin 2007, 2007, 18-19.

KUDI A.C., KALLA D.J.U., ALKALI Y., LADAN S.M., KUDI M.C., MAI H. Abattoir survey of small ruminant diseases in Bauchi, Nigeria. *Revue Élev. Méd. vét. Pays trop.* 1997, **50**, 281-284.

L

LEFEVRE M., SIROLS J., MAURICE X., MONTEL J.C. Contribution à l'étude de la brucellose humaine et animale au Tchad. Isolement de 10 souches humaines sur 12 cas cliniques. Etude d'un foyer de brucellose caprine. *Méd. trop.*, 1970, **30**, 477-488.

LEFEVRE P. Atlas des maladies infectieuses des ruminants. Maisons-Alfort, France, Cirad-Iemvt, 1991, 95 p.

LARRAT R., PAGOT J., VANDENBUSSCHE J. Manuel vétérinaire des agents techniques de l'élevage tropical (Manuels et précis d'élevage n° 5). Iemvt, Maisons-Alfort: France, 1981, 520 p.

LAVAL G., AMENI G. Prevalence of bovine tuberculosis in zebu cattle under traditional animal husbandry in Boji district of western Ethiopia. *Rev. méd. Vét.*, 2004, **155**, 494-499.

LE FLÈCHE P, JACQUES I, GRAYON M, DAHOUK SA, BOUCHON P, DENOEUDE F, NÖCKLER K, NEUBAUER H, GUILLOTEAU LA, VERGNAUD G. Evaluation and selection of tandem repeat loci for a Brucella MLVA typing assay. *BMC Microbiol.* 2006, **6**: 9.

LESAFFRE E., SPEYBROECK N., BERKVENNS D. Bayes and diagnostic testing. *Vet Parasitol*, 2007, **148**, 58–61.

LEVINGSTONE P.G. Progrès récents dans le diagnostic, la prophylaxie et l'éradication de la tuberculose bovine (*Mycobacterium bovis*) chez les animaux domestiques et sauvages. In : Comit international de la 68^{ème} Session Générale de l'Office international des Epizooties, Paris, 22-26 mai 2000, Document 68 SG/10, 20 p.

LHOSTE P. Le diagnostic sur le système d'élevage. *Les Cahiers de la Recherche-Développement*, 1984, no 3-4.

LY C. Santé animale et pauvreté en Afrique. In : Ahmadou Aly Mbaye, David Roland-Holst, Joachim Otte (Eds), Agriculture, élevage et pauvreté en Afrique de l'Ouest. CREA-FAO, Rome, 2007, 71-85.

M

MAcMILLAN A. Conventional serological test. Animal brucellosis. In: Nielsen K., Duncan J.R (Eds). CRC Press, Boca Raton, 1990, 153-197.

MAGONA J.W., WALUBENGO J., GALIWANGO T., ETOORI A. Seroprevalence and potential risk of bovine brucellosis in zerograzing and pastoral dairy systems in Uganda. *Trop. Anim. Health Prod.*, 2009, **41**, 1765-1771.

MAHALU E.A. Further brucellosis survey in Tanzania. *Bull. Epizoot. Dis. Afr.*, 1967, **15**, 373-378.

MAIGA S. TRAORE M.D., NIANG M., TOURE I. Enquête sero-épidémiologique sur la brucellose bovine dans la ceinture laitière de Bamako, Mali. In : Zessin, K. H. (Ed.), Livestock Production and Diseases in the tropics – Livestock production and human welfare – Proceedings of the 8th International Conference of Institutions of Tropical Veterinary Medicine held from the 25 to 29 September, 1995: Berlin, 1995, 289-292.

MAKITA K., FÈVRE E.M., WAISWA C., KABOYO W., BRONSVOORT B.M.D.C., EISLER M.C., WELBURN S.C. Human Brucellosis in Urban and Peri-Urban Areas of Kampala, Uganda. *Animal Biodiversity and Emerging Diseases*, 2008, **1149**: 309-311.

MAKITA K., FÈVRE M.E., WAISWA C., EISLER M., THRUSFIELD M., WELBURN S. Herd prevalence of bovine brucellosis and analysis of risk factors in cattle in urban and peri-urban areas of the Kampala economic zone, Uganda. *BMC Veterinary Research*, 2011, **7**: 60.

MAMO G., G. BAYLEYEGN, T.S. TESSEMA, M. LEGESSE, G. MEDHIN, G. BJUNE, F. ABEBE, AND G. AMENI. Pathology of Camel Tuberculosis and Molecular Characterization of its Causative Agents in Pastoral Regions of Ethiopia. *Plos One*, 2011. **6**, 1-8.

MANGEN M.J., OTTE J., PFEIFFER D., CHILONDA P. Bovine brucellosis in Sub-saharan Africa: Estimation of ser-prevalence and impact on meat and milk offtake potential. FAO : Rome, 2002, 58 p.

MANLEY F.H. *Brucella suis* (bio-type1) isolated from a goat in Rhodesia. *Rhod. J. Agric. Res.*, 1968, **6**, 55.

- MARCOTTY T., MATTHYS F. , GODFROID J., RIGOUTS L., AMENI G., GEY VAN PITTIUS N., KAZWALA R., MUMA J., VAN HELDEN P., WALRAVENS K., DE KLERK L. M., GEOGHEGAN C., MBOTHA D., OTTE M., AMENU K., ABU SAMRA N., BOTHA C., EKRON M., JENKINS A., JORI F., KRIEK N., MCCRINDLE C., MICHEL A., MORAR D., ROGER F., THYS E., VAN DEN BOSSCHE P. Zoonotic tuberculosis and brucellosis in Africa: neglected zoonoses or minor public-health issues? The outcomes of a multi-disciplinary workshop. *Annals of Tropical Medicine & Parasitology*, 2009, **103**, 401–411.
- MATOPE G., BHEBHE E., MUMA J.B., LUND A., SKJERVE. E. Herd-level factors for *Brucella* seropositivity in cattle reared in smallholder dairy farms of Zimbabwe. *Prev. Vet. Med.* 2010, **94**, 213-221.
- MAWAK J.D., GOMWALK N.E., BELLO C.S.S., KANDAKAI-OLUKEMI Y.T. Human pulmonary infections with bovine and environment (atypical) mycobacteria in Jos, Nigeria. *Ghana Medical Journal*, 2006, **40**, 132-136.
- MARICHATOU H., KORE H., MOTCHO H.K., VIAS G. 2005. Synthèse bibliographique sur les filières laitières au Niger. p.40 [en ligne] (sans date) Adresse URL:http://www.repol.info/IMG/pdf/Synthese_biblio_du_Niger.pdf, consulté 25/12/2008.
- MATOPE G., BHEBHE E., MUMA J.B., SKJERVE E., DJØNNE B. Characterization of some *Brucella* species from Zimbabwe by biochemical profiling and AMOS-PCR. *BMC Research Notes*, 2009, **2**:261 doi:10.1186/1756-0500-2-261
- MATOPE G., BHEBHE E., MUMA J.B., LUND A., SKJERVE E. Herd-level factors for *Brucella* seropositivity in cattle reared in smallholder dairy farms of Zimbabwe. *Preventive Veterinary Medicine*, 2010, **94**, 213-221.
- McDERMOTT J.J., DENG K.A., JAYATILEKA T.N., EL JACK M.A. A cross-sectional disease study in Kongor rural Coumncil, southern Sudan. I. Prevalence estimates and age, sex and breed association for brucellosis and contagious bovine pleuropneumonia. *Prev. Vet. Med.*, 1987, **5**, 111-123.
- MCDERMOTT J.J., ARIMI S.M. Brucellosis in sub-Saharan Africa: epidemiology, control and impact. *Vet. Microbiol.* 2002, **90**, 111–134.
- MEGERSA B., BIFFA D., ABUNNA F., REGASSA A., GODFROID J., SKJERVE E. Seroprevalence of brucellosis and its contribution to abortion in cattle, camel, and goat kept under pastoral management in Borana, Ethiopia. *Trop Anim Health Prod.*, 2011, **43**, 651–656
- MEL (Ministère de l'Élevage). Rapport d'évaluation de la campagne pastorale 2010. 52 pp.

- MEL (Ministère de l'Élevage du Niger), 2012. Stratégie de développement durable de l'élevage (2012-2035). Février 2012, 61pp.
- MEKONNEN, H., KALAYOU, S., KYULE, M. Serological survey of bovine brucellosis in Barka and Arado breeds (*Bos indicus*) of Western Tigray, Ethiopia. *Preventive Veterinary Medicine*, 2010, **94**, 28–35.
- MENZIES F., NEILL S. Cattle-to-cattle transmission of bovine tuberculosis. *Vet J.*, 2000, **160**, 92–106.
- MERKER M., SCHLICHTING.H. Note sur la brucellose au Burundi. *Rev. Elev. Méd. vét. Pays trop.*, 1984, **37**, 138-144.
- MERLE F. Apparition de la fièvre de Malte au Niger. *Bull. Soc. Path. Exot.* 1953, **46**, 211-214.
- MERLE F. Apparition de la fièvre de Malte au Niger. *Bull. Soc. Path. Exot.* 1953, **46**, 211-214.
- MESNER O., RIESENBERG K., BILIAR N., BORSTEIN E., BOUHNİK L., PELED N., YAGUPSKY P. The Many Faces of Human-to-Human Transmission of Brucellosis: Congenital Infection and Outbreak of Nosocomial Disease Related to an Unrecognized Clinical Case. *CID*, 2007, **45**: e135
- METZGER R., CENTRES J.M., THOMAS L., LAMBERT J.C. L'approvisionnement des villes africaines en lait et produits laitiers, un potentiel pour le développement rural. Rome, Italie, FAO, 199, 102 p. (Production et santé animales)
- MEYER C., DENIS J.P. Elevage de la vache laitière en zone tropicale. Montpellier, France, Cirad-emvt, 1999, 314 p.
- MFINANGA S. G., MØRKVE O., KAZWALA R. R., CLEAVELAND S., SHARP J. M., SHIRIMA G., NILSEN R. Tribal differences in perception of tuberculosis: a possible role in tuberculosis control in Arusha, Tanzania. *Int. J Tuberc Lung Dis.*, 2003, **7**, 933–941.
- MFINANGA S.G., MORKVE O., KAZWALA R.R., CLEAVELAND S., KUNDA J., SHARP M.J. Mycobacterial adenitis: role of *Mycobacterium bovis*, non-tuberculosis Mycobacteria, HIV infection and risk factors in Arusha, Tanzania. *E Afr Med J.*, 2004, **81**, 171–178.
- MICHEL A.L., BENGIS R.G., KEET D.F., HOFMEYR M., DE KLERK L.M., CROSS P.C., JOLLES A.E. , COOPER D., WHYTE I.J., BUSS P., GODFROID J. Wildlife tuberculosis in South African conservation areas: Implications and challenges. *Veterinary Microbiol.*, 2006, **112**, 91–100.

- MICHEL A.L., COETZEE M.L. , KEET D.F., MARE L., WARREN R., COOPER D., BENGIS R.G., KREMER K., VAN HELDEN P. Molecular epidemiology of *Mycobacterium bovis* isolates from free ranging wildlife in South African game reserves. *Veterinary Microbiol.* 2008, **1**, 9
doi:10.1016/j.vetmic.2008.07.023
- MIKOLON A.B., GARDNER I.A., HIETALA S.K., HERNANDEZ DE ANDA J., PESTANA E.C., HENNAGER S.G., EDMONDSON A.J. Evaluation of North American antibody detection tests for diagnosis of brucellosis in goats. *J. clin. Microbiol.*, 1998, **36**, 1716-1722.
- MINISTERE DES RESSOURCES ANIMALES, 2001. Etat des lieux, axes d'intervention et programmes prioritaires. Document cadre pour la relance du secteur de l'élevage. Niamey, Niger, ministère des Ressources animales, 107 p.
- MPOSHY M., BINEMO-MADI C., MUDAKIKWA B. Incidence de la tuberculose bovine sur la santé des populations du Nord-Kivu (Zaire). *Rev. Elev. Méd. Vét. Pays trop.* 1983, **36**, 15-18.
- MORE S. J., CLEGG T. A., MCGRATH G., COLLINS J. D., CORNER L. A. L., GORMLE E. Does reactive badger culling lead to an increase in tuberculosis in cattle? *Veterinary Record*, 2007, **161**, 208-209.
- MORRIS R.S., PFEIFFER D.U., JACKSON R. The epidemiology of *Mycobacterium bovis* infections. *Vet Microbiol.*, 1994, **40**, 153–77.
- MORRIS P.J., THOEN C.O., LEGENDRE A.M. Pulmonary tuberculosis in an African lion (*Panthera leo*). *J Zoo Wildl Med.*, 1996, **27**, 392–396.
- MOUNKAILA M. Caractérisation préliminaire des élevages laitiers périurbains de la communauté urbaine de Niamey. Mémoire Ingénieur Techniques agricoles, faculté d'Agronomie, université de Niamey, Niger, 2005, 64 p.
- MOUSSA A. M. Aspects socio-économiques et problématique des élevages laitiers de la périphérie de la Communauté Urbaine de Niamey. Mémoire de fin de cycle d'Ingénieur pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur des Techniques Agricoles (ITA). *Option : Productions Animales*, 2004, 68pp.
- MUENDO E.N., MBATHA P.M., MACHARIA J., ABDOEL T.H., JANSZEN P.V., PASTOOR R., SMITS H.L. Infection of cattle in Kenya with *Brucella abortus* biovar 3 and *Brucella melitensis* biovar 1 genotypes. *Trop Anim Health Prod.* 2012, **44**,17-20.
- MUMA, J.B., GODFROID, J., SAMUI, K.L., SKJERVE, E. The role of *Brucella* infection in abortions among traditional cattle reared in proximity to wildlife on the Kafue flats of Zambia. *Rev. sci. tech. Off. Int. Epiz.* 2007, **26**, 721-730.

- MUENDO E.N., MBATHA P.M., MACHARIA J., ABDOEL T.H., JANSZEN P.V., PASTOOR R., SMITS H.L. Infection of cattle in Kenya with *Brucella abortus* biovar 3 and *Brucella melitensis* biovar 1 genotypes. *Trop Anim Health Prod.* 2012, **44**, 17-20.
- MSANGA J.F., MUKANGI D.J.A., TUNGARAZA R. Bovine brucellosis in the Lake zone of Tanzania – The present situation. *Bull. Anim. Hlth. Prod. Afr.*, 1986, **34**, 230-234.
- MUTANDA L.N. Selected laboratory tests in febrile patients in Kampala, Uganda. *East Afr. Med. J.* 1998, **75**, 68-72.
- MUMA J.B., SAMUI K.L., SIAMUDAALA V.M., OLAYA J., MATOPE G., OMER M.K., MUNYEME M., MUBITA C., SKJERVE E. Prevalence of antibodies to *Brucella* spp. And sheep reared in livestock-wildlife interface areas of Zambia. *Trop. Anim Health Prod.* 2006, **38**, 195-206.
- MUMA J., GODFROID J., SAMUI K., SKJERVE E. The role of *Brucella* infection in abortions among traditional cattle reared in proximity to wildlife on the Kafue flats of Zambia. *Rev. sci. tech. Off. int. Epiz.*, 2007a, **26**, 721-730.
- MUMA J., SAMUI K., OLOYA J., MUNYEME M., SKJERVE E. Risk factors for brucellosis in indigenous cattle reared in livestock-wildlife interface areas of Zambia. *Preventive Veterinary Medicine*, 2007b, **80**, 306-317.
- MUMA J.B, LUND A., NIELSEN K., MATOPE G., MUNYEME M., MWACALIMBA K., SKJERVE E. Effectiveness of Rose Bengal test and fluorescence polarization assay in the diagnosis of *Brucella* spp. infections in free range cattle reared in endemic areas in Zambia. *Trop Anim Health Prod*, 2009, **41**, 723-729.
- MUMA JB, LUND A, SIAMUDAALA VM, MUNANG'ANDU HM, MUNYEME M, MATOPE G, NIELSEN K, DJØNNE B, GODFROID J, TRYLAND M, SKJERVE E. *Serosurvey of Brucella spp. infection in the Kafue lechwe (Kobus leche kafuensis) of the Kafue flats in Zambia. J Wildl Dis.* 2010, **46**: 1063-9.
- MUSA M.T., SHIGIDI M.T.A. Brucellosis in Camels in Intensive Animal Breeding Areas of Sudan. Implications in Abortion and Early-Life Infections. *Revue Élev. Méd. vét. Pays trop.*, 2001, **54**, 11-15.
- MUSA M.T., EISA M.Z.M., EL SANOUSI E.M., WAHAB M.B.A., PERRETT L. Brucellosis in camels (*Camelus dromedarius*) in Darfur, Western Sudan. *Journal of Comparative Pathology*, 2008, **138**: 151–155.

- MUNYEME M., MUMA J.B., SJKERVE E., NAMBOTA A.M., PHIRI I.G.K., SAMUI K.L. Risk factors associated with bovine tuberculosis in traditional cattle of the livestock/wildlife interface areas in the Kafue basin of Zambia, *Prev. Vet. Med.*, 2008, 85, 317–328.
- MRA (Ministère de Ressources Animales/Ministry of Animal Resources), 2001 : Document cadre pour la relance du secteur de l'élevage au Niger. Niamey.
- MÜLLER B., B. STEINER, B. BONFOH, A. FANÉ, N. SMITH, ZINSSTAG J. Molecular characterisation of *Mycobacterium bovis* isolated from cattle slaughtered at the Bamako abattoir in Mali. *BMC Veterinary Research*. 2008, 4, 1-6.
- MÜLLER B., HILTY M., BERG S., GARCIA-PELAYO M.C., DALE J., BOSCHIROLI M.L., S. CADMUS, B.N. RICHARD NGANDOLO, S. GODREUIL, C. DIGUIMBAYE-DJAIBE, R. KAZWALA, B. BONFOH, M.B. NJANPOP-LAFOURCADE, N. SAHRAOUI, D. GUETARNI, A. ASEFFA, M.H. MEKONNEN, V.R. RAZANAMPARANY, H. RAMAROKOTO, B. DJØNNE, J. OLOYA, A. MACHADO, C. MUCAVELE, E. SKJERVE, F. PORTAELS, L. RIGOUTS, A. MICHEL, A. MÜLLER, G. KÄLLENIUS, VAN HELDEN P.D., HEWINSON R.G., ZINSSTAG J., GORDON S.V., SMITH N.H... African 1, an Epidemiologically Important Clonal Complex of *Mycobacterium bovis* Dominant in Mali, Nigeria, Cameroon, and Chad. *J Bacteriol*. 2009, 191, 1951-1960.

N

- NDARATHI C.M., WAGHELA S. Brucellosis in Masai livestock in Kajiado district in Kenya. *Indian Journal of Animal Sciences*, 1991, 62, 156-157.
- NEWTON F.J, JONES E., CONNOR R.J., DAVIDSON B.J., MCGOVERN P.T. A survey of bovine brucellosis in four districts of Uganda. *Br vet. J.*, 1974, 130, 249-254.
- MICOLETTI, P. The epidemiology of bovine brucellosis. *Advances of Veterinary Science and Comparative Medicine*, 1980, 24: 69–98.
- NIELSEN K. Diagnosis of brucellosis by serology. *Vet. Microbiol.*, 2002, 90, 447-459.
- NAKOUNÉ E., DEBAERE O., KOUMANDA-KOTOGNE B., SELEKON B., SAMORY F., TALARMIN A. Serological surveillance of brucellosis and Q fever in cattle in the Central African Republic. *Act Trop*, 2004, 92, 147-151.

NGOY J.J., KIAFUKA D. Etat sanitaire du bétail dans un ranch bovin en République Populaire de Congo (Ranch de Louila). *Bull. Anim. Hlth. Prod. Afr.*, 1989, **37**, 333-336.

NGANDOLO B.N., DIGUIMBAYE-DJAIBE C., MÜLLER B., DIDI L., HILTY M.I., SCHELLING S.E, MOBEAL B., TOGUEBAYE B.S., AKAKPO A.J., ZINSSTAG J. Diagnostics *ante et post mortem* de la tuberculose bovine au sud du Tchad : cas des bovins destinés à l'abattage. *Revue Élev. Méd. vét. Pays trop.*, 2009, **62**, 5-12.

NJANPOP-LAFOURCADE B. M., INWALD J., OSTYN A., DURAND B., HUGHES S., THOREL M., HEWINSON G., HADDAD N. Molecular Typing of *Mycobacterium bovis* Isolates from Cameroon. *J Clin Microbiol*, 2001, **39**, 222–227.

O

OCHOLI R.A., EZEOKOLI C.D., AKEREJOLA O.O., SAROR D.I. Use of enzyme-linked immunosorbent assay for screening cattle for brucella antibodies in Nigeria. *Vet. Q.*, 1996, **18**, 22-25.

OCHOLI R.A., KWAGAB J.K.P, I. AJOGIC, J.O.O. Baled. Phenotypic characterization of Brucella strains isolated from livestock in Nigeria. *Veterinary Microbiology*, 2004, **103**: 47–53

OCHOLI R.A., KWAGA J.K.P., AJOGI I., BALE J.O.O. Abortion due to *Brucella abortus* in sheep in Nigeria. *Rev. sci. tech. Off. int. Epiz.*, 2005, **24**, 973-979.

OIE. Manual of diagnostic tests and vaccines for terrestrial animals. Office International des Epizooties, Paris: France, 2004.

OIE. Santé animale mondiale en 2007. Organisation mondiale de la santé animale (OIE), Paris, 2007. France, 619p.

OIE, Evaluation des Services Vétérinaires de la République du Niger à l'aide de l'outil PVS de l'OIE (Juillet 2008).

OIE, 2009. Bovine brucellosis. Manual of Diagnostic Tests and Vaccines for Terrestrial Animals, Paris, France, pp. 1–35. [http://www.oie.int/eng/normes/MANUAL/2008/pdf/2.04.03 BOVINE BRUCCELL.pdf](http://www.oie.int/eng/normes/MANUAL/2008/pdf/2.04.03_BOVINE_BRUCCELL.pdf) (updated: 27.10.2010).

OKAIYETO S.O., ALLAM L., AKAM E., SABO G. Investigation of the prevalence of bovine tuberculosis in dairy farm in Kaduna state Nigeria. *Res. J. of Dairy Sc.*, 2008, **2**, 27-29.

- OKOH A.E.J. Abortion in sheep near Kano, Nigeria. *Trop. anim. Hlth Prod.*, 1980, **12**, 11-14.
- OLOFFS A., BAUMANN M.P.O., AFEMA J., NAKAVUMA J. Experiences with a strategy to investigate bovine brucellosis in rural area in Southwest Uganda. *Rev. Elev. Méd. vet. Pays trop.*, 1998, **51**, 101-105.
- OLOYA J., KAZWALA R., LUND A., OPUDA-ASIBO J., DEMELASH B., SKJERVE E., JOHANSEN TB., DJØNNE B. Characterisation of mycobacteria isolated from slaughter cattle in pastoral regions of Uganda. *BMC Microbiol*, 2007, **7**, 95.
- OMER M., SKJERVE E., WOLDEHIWET Z., HOLSTAD G. A crosssectional study of bovine tuberculosis in dairy farms in Asmara, Eritrea. *Trop Anim Health Prod.*, 2001, **33**, 295–303.
- OMS (WHO). Zoonotic tuberculosis (*Mycobacterium bovis*): Memorandum from a WHO meeting (with te participation of FAO). *B World Health Organ*, 1994, **72**, 851-857.
- OMS. The Development of New/Improved Brucellosis Vaccines: Report of WHO Meeting. WHO/EMC/ZDI/98.14, Geneva, Switzerland 11-12 December 1997, 1997, 48p.
- OMS (WHO). World Health Organization Office for the African Region, Harare, Zimbabwe October 2004 TB/HIV Control Strategy For The African Region, 2004, 22 p.
- OMS. WHO guidance (2004). 2nd edition of WHO's 1970 publication Health aspects of biological and chemical weapons, OMS, Genève, 2004, 340p.
- OMS/FAO/OIE. Report of the WHO/FAO/OIE joint consultation on emerging zoonotic diseases. 3–5 May 2004 – Geneva, Switzerland, 2004, 65 p.
- OMS (WHO). The control of neglected zoonotic diseases: a route to poverty alleviation. In: Report of a joint WHO/DFID-AHP Meeting, with the participation of FAO and OIE, Geneva, 2005, 12 p.
- OMS (WHO), The Global Plan to Stop TB, 2006–2015. Actions for life: towards a world free of tuberculosis. *Int. J. Tuberc Lung Dis.* 2006, **10**, 240–241.
- OMS. Brucellosis in humans and animals; World Health Organization. WHO/CDS/EPR/2006, 2006, 86p.
- OMS (WHO). Global tuberculosis control: surveillance, planning, financing. WHO Report WHO/HTM/TB/2008. 2008, 393p.
- O'REILLY L.M., DABORN C.J. The epidemiology of *Mycobacterium bovis* infections in animals and man - a review. *Tuber Lung Dis.*, 1995, **76**, 1–46.

OSTROWSKI S., BEDIN E, LENAIN D.N., ABUZINADA A.H. Ten years of Arabian Oryx conservation breeding in Saudi Arabia— achievements and regional perspectives. *Oryx*, 1998, **32**, 209.

P

PAPPAS G., PHOTINI PAPADIMITRIOU, NIKOLAOS AKRITIDIS, LEONIDAS CHRISTOU, EPAMEINONDAS V TSIANOS. The new global map of human brucellosis. *Lancet Infect Dis* 2006; **6**: 91–99

PFYFFER G.E. Mycobacterium: General characteristics, isolation and staining procedures. In: Ellen Jo Baron, James H. Jorgensen, Marie Landry, Micheal A. Pfaller. *Manual of Clinical Microbiology* 9th edition. Patrick R Murray: Washington DC, 2007, 543-572 .

POLLOCK J. & NEILL S. *Mycobacterium bovis* infection and tuberculosis in cattle. *Vet. J.*, 2002, **163**, 115–27.

PILO-MORON E., PIERRE F., KOUAME J. Brucellose bovine en Côte d'ivoire. *Epidémiologie. Revue Elev. Méd. vét. Pays trop.*, 1979, **32**, 325-333.

POPE L.C., BUTLIN R.K., WILSON G.J., WOODROFFE R., ERVEN K., CONYERS C.M., FRANKLIN T., DELAHAY R.J., CHEESEMAN C.L., BURKE T. Genetic evidence that culling increases badger movement: implications for the spread of bovine tuberculosis. *Molecular Ecology*, 2007, **16**, 4919–4929.

POLLOCK J., AND S.NEILL, *Mycobacterium bovis* infection and tuberculosis in cattle. *Vet J.* 2002, **163** :115–127.

PORTAELS F, R.C. JOHNSON, AND W.M. MEYERS. Buruli Ulcer. Diagnosis of *Mycobacterium ulcerans*. A Manual for Health Care Providers. World Health Organization, Geneva, 2001.

R

RANA F.S., HAWKEN M.P., MWACHARI C. Autopsy study of HIV-1- positive and HIV-1-negative adult medical patients in Nairobi, Kenya. *J Acquir Immune Defic Syndr.*, 2000, **24**, 23–29.

- RASOLOFO-RAZANAMPARANY V., MENARD D., RASOLONAVALONA T. Prevalence of *Mycobacterium bovis* in human pulmonary and extra-pulmonary tuberculosis in Madagascar. *Int J Tuberc Lung Dis.*, 1999, **3**, 632–634.
- RASOLOFO-RAZANAMPARANY V., QUIRIN R., RAPAOLIARIJAONA A., RAKOTOARITAHINA H., VOLOLONIRINA E.J., RASOLONAVALONA T., FERDINAND S., SOLA C., RASTOGI N., RAMAROKOTO H., CHANTEAU S. Usefulness of restriction fragment length polymorphism and spoligotyping for epidemiological studies of *Mycobacterium bovis* in Madagascar : description of new genotypes. *Vet Microbiol*, 2006, **114**, 115-122.
- REICHEL M., NEL J.R., EMSLIE R., BISHOP G.C. *Brucella melitensis* biotope 1 outbreak in goats in northern KwaZulu-Natal. *Onderstepoort J.Vet; Res.*, 1996, **63**, 183-185.
- ROTH F., ZINSSTAG J., ORKHON D., CHIMED-OCHIR G., HUTTON G., COSIVI O., CARRIN G., OTTE J. Human health benefits from livestock vaccination for brucellosis: case study. *Bull World Health Organ.* 2003, **81**: 867-76.
- ROTTCHER, D. Final report, veterinary wildlife research officer, 1975–1978. Zambia Wildlife and National Parks & German Agency for Technical Co-operation (GTZ), Lusaka, Zambia. 1978, 87 pp.
- REGASSA A., MEDHIN G., AMENI G. Bovine tuberculosis is more prevalent in cattle owned by farmers with active tuberculosis in central Ethiopia. *Vet J.*, 2008, **178**, 119-25.
- REGASSA A., TASSEW A., AMENU K., MEGERSA B., ABUNNA F., MEKIBIB B., MACROTTY T., AMENI G. A cross-sectional study on bovine tuberculosis in Hawassa town and its surroundings, Southern Ethiopia. *Trop Anim Health Prod.*, 2010, **42**, 915–920.
- RGP/H (Recensement Général de la Population et de l'Habitat). 2001. Rapport provisoire de l'exécution du 3^{ème} RGP/H du 20 mai au 10 juin 2001. Cabinet du Premier Ministre. République du Niger.
- RIGOUTS L., MAREGEYA B., TRAORE H., COLLART J.P., FISSETTE K., PORTAELS F. Use of DNA restriction fragment typing in the differentiation of *Mycobacterium bovis* complex isolates from animals and humans in Burundi. *Tubercle Lung Dis.*, 1996, **77**, 264–268.
- RIGOUTS L., TRYLAND M. Prevalence of bovine tuberculosis and animal level risk factors for indigenous cattle under different grazing strategies in the livestock/wildlife interface areas of Zambia. *Trop Anim Health Prod.*, 2009, **41**, 345–352.
- RPCA. L'élevage au Sahel et en Afrique de l'Ouest. 26^{ème} réunion annuelle du Réseau de Prévention des Crises Alimentaires (RPCA), Accra (Ghana), 2010, 14-16

ROGAN W., GLADEN B. Estimating prevalence from the results of a screening test. *Am. J. Epidemiol.* 1978, 107, 71–76.

ROTSCHILD B.M., MARTIN L.D., LEV G., BERCOVIER H., BAR-GAL G.K., GREENBLATT C., DONOGHUE H., SPIGELMAN, M., BRITAIN D. *Mycobacterium tuberculosis* complex DNA from an extinct bison dated 17,000 years before the present. *Clin. Infect. Dis.*, 2001, **33**, 305–311.

S

SAEGERMAN C., DA WAELE L., GILSON D., GODFROID J., THIANG P., MICHEL P., LIMBOURG B., VO T.K.O., LIMET J., LETESSON J.J., BERKVEN. Evaluation of three serum i-ELISAs using monoclonal antibodies and protein G as peroxidase conjugate for the diagnosis of bovine brucellosis. *Vet. Microbiol.*, 2004, **100**: 91-105 .

SAEGERMAN C., BERKVEN D., GODFROID J., WALRAVENS K., Chapter 77: Bovine brucellosis. *In: Infectious and Parasitic Disease of Livestock.* Lavoisier et *Commonwealth Agricultural Bureau – International* (ed.), 2010, France, 971-1001.

SAHRAOUI N., B. MÜLLER, D. GUETARNI, F. BOULAHBAL, D. YALA, R. OUZROUT, S. BERG, N.H. SMITH, AND J. ZINSSTAG. Molecular characterization of *Mycobacterium bovis* strains isolated from cattle slaughtered at two abattoirs in Algeria. *BMC Veterinary Research.* 2009, 5:4 doi:10.1186/1746-6148-5-4

SANOGO M., CISSE B., OUATTARA M., WALRAVENS K., PRAET N., BERKVEN D., THYS E. Etude de la prévalence de la brucellose bovine dans le centre de la Côte d'Ivoire. *Rev. Elev. Méd. vét. Pays trop.*, 2008, **61**, 147-151.

SANOGO M, ABATIH E, THYS E, FRETIN D, BERKVEN D, SAEGERMAN C. Risk factors associated with brucellosis seropositivity among cattle in the central savannah-forest area of Ivory Coast. *Prev Vet Med.* 2012, **107**, 51-6.

SACQUET E. La brucellose bovine au Tchad. *Rev. Elev. Méd. vét. Pays trop.*, 1965, **8**, 5-7.

SHELLING E., DIGUIMBAYE C., DAOUD S., DAUGLA D.M., BIDJEH K., TANNER M., ZINSSTAG J. La tuberculose causée par *Mycobacterium bovis* : résultats préliminaires obtenus chez les pasteurs nomades Foulbés et Arabes dans le Chari-Baguirmi au Tchad. *Sempervira*, 2000, **8**, 44-55.

- SCHELLING E., DIGUIMBAYE C., DAOUD S., NICOLET J., BOERLIN P., TANNER M., ZINSSTAG J. Brucellosis and Q- fever of nomadic pastoralist and their livestock in Tchad. *Prev Vet Med*, 2003, **61**, 279-293.
- SCHELLING E., DIGUIMBAYE C., HILTY M., BAGGI F., NGANDOLO R., ZINSSTAG J. Epidémiologie moléculaire des premiers isolements de mycobactéries chez l'animal du Tchad. *Epidémiol. et santé anim.* 2005, **48**, 81-91.
- SCHWABE, C. W. Veterinary Medicine and Human Health, 3rd Edn. Baltimore, MD: Williams & Wilkins, 1984, 680p.
- SHEY-NJILA O., DAOUDA E., NYA P.A., ZOLI K., WALRAVENS K., GODFROID J., GEERTS S. Serological Survey of Bovine Brucellosis in Cameroon. *Revue Élev. Méd. vét. Pays trop.*, 2005. **58**, 139-143.
- SHIRIMA G.M., KAZWALA R.R., KAMBARAGE D.M. Prevalence of bovine tuberculosis in cattle in different farming systems in the eastern zone of Tanzania. *Prev Vet Med.*, 2003, **57**, 167-72.
- SIDIBÉ S.S., DICKO N.A., FANÉ A., DOUMBIA R.M., SIDIBÉ C.K., KANTÉ S., MANGANÉ O., KONATÉ B., KONÉ A.Z., MAÏGA M.S., FOFANA M. Tuberculose bovine au Mali : résultats d'une enquête épidémiologique dans les élevages laitiers de la zone périurbaine du district de Bamako. *Revue Élev. Méd. vét. Pays trop.*, 2003, 56, 115-120.
- SMITH N.H., UPTON P.: Naming spoligotype patterns for the RD9-deleted lineage of the Mycobacterium tuberculosis complex; www.Mbovis.org. Infection, Genetics and Evolution. 2011.
- SNIJDERS T.A.B, BOSKER R.J. Multilevel analysis: an introduction to basic and advanced multilevel modeling. SAGE publications Ltd:6 Bonhill Street, 1999, London EC2A, 4PU
- STAAL S. Peri-urban dairying and public policy in Ethiopia and Kenya. PhD Dissert., University of Florida, Gainesville, FL, USA, 1995, 255 p.
- STATA CORP. (2009), Stata Statistical Software: STATA, version 11, software (SataCorp LP, College station, Texas).
- STEINBERG D., COLLA, P.L. CART: Tree-Structured Non parametric Data Analysis, Salford Systems. 1995, San Diego.
- SULIEMAN, M.S., HAMID M.E. Identification of acid fast bacteria from caseous lesions in cattle in Sudan. *J. Vet. Med.*, 2002, **49**, 415-418.
- SYLLA D., TRAP D., TOMA B. La brucellose bovine en Guinée. *Rev. Elev. Méd. vet. Pays trop.*, 1982, **35**, 319-327.

SWAI E.S., SCHOONMAN L. Human Brucellosis: Seroprevalence and Risk Factors Related to High Risk Occupational Groups in Tanga Municipality, Tanzania. *Zoonoses and Public Health*, 2009, **56**, 183–187.

T

TAPILI B. Enquête sur la tuberculose bovine dans les élevages laitiers de la zone urbaine périurbaine du district de Bamako (Mémoire de fin d'études). Institut Polytechnique Rural/Institut de Formation et de Recherche Appliquée de Bamako : Mali, 2004, 29 p.

TEKLU A., ASSEGED B., YIMER E., GEBEYEHU M., WOLDESENBET Z. Tuberculous lesions not detected by routine abattoir inspection: the experience of the Hossana municipal abattoir, southern Ethiopia. *Rev. sci. tech. Off. int. Epiz.*, 2004, **23**, 957-964.

THEBAUD B. Elevage et développement au Niger. Quel avenir pour les éleveurs du Sahel ? Genève, Suisse, BIT, 1988, 138p.

THIMM B., WUNDT W. The epidemiological situation on brucellosis in Africa. In : Dev. Biol. Standard (Ed.), Communication au Symposium de Rabat sur la brucellose, 2-3-4 juin 1975, 1976, 31.

THOEN, C.O. Tuberculosis in Wild and Domestic Mammals. In: Tuberculosis: Pathogenesis, protection and control. Barry R. Bloom (Ed.), American Society for Microbiology, Washington DC, 1994, 157-162.

THOEN, C.O., BLOOM B.R. Pathogenesis of *Mycobacterium bovis*. In: "Mycobacterium bovis infection in animals and humans" Thoen, C. O. & Steele, J.H. (Eds). AMES, Iowa, 1995, 3-14.

THOREL M.F. Tuberculose. In: Principales maladies infectieuses et parasitaires du bétail. Lefèvre P. Blancou J. et Chermette R., (editors). Editions Médicales Internationales, Paris 2003, 927-949.

THYS E., SCHIERE H., VAN HUYLENBROECK G., MFOUKOU-NTSAKALA A., OUEADRAOGO M., GEERTS S. Three approaches for the integrated assessment of urban household livestock production systems: Cases from Sub-Saharan Africa. *Outlook on Agriculture*, 2006, **35**, 7–18.

THYS E., OUEADRAOGO M., SPEYBROECK N., GEERTS S. Socio-economic determinants of urban household livestock keeping in semi-arid Western Africa. *J Arid Environ*, 2005, **63**, 475–496

- THYS E., YAHAYA M., WALRAVENS K., BAUDOUX C., BAGAYOKO I., BERKVENS D., GEERTS S. Etude de la prévalence de la brucellose bovine en zone forestière de la Côte d'Ivoire
Revue Élev. Méd. vét. Pays trop., 2005, **58**, 205-209.
- TRAORE A., HAMIDOU H. T., BALE B., DAVID W. R., NONGASIDA Y., MOUMOUNI S. Prévalence globale des pathologies majeures liées à la production laitière bovine en système d'élevage intraurbain à Hamdallaye (Ouagadougou). *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.*, 2004, **8**, 3–8.
- TOUNKARA K., MAIGA S., TRAORE A., SECK B.M., AKAKPO J. Epidémiologie de la brucellose bovine au Mali : enquête sérologique et isolement des premières souches de *Brucella abortus*. *Rev. Sci. Tech. int. Epiz.* 1994, 13, 777-786.
- TURKSON P., BOADU D. Epidemiologie of bovine brucellosis in the Coastal Savanna zone of Ghana. *Acta Tropica*, 1992, **52**, 39-43.
- TSCHOPP R., SCHELLING E., HATTENDORF J., ASEFFA A., ZINSSTAG J. Risk factors of bovine tuberculosis in cattle in rural livestock production systems of Ethiopia. *Preventive Veterinary Medicine*, 2009, **89**, 205–211.
- TWISCK JWR. Applied Longitudinal Data Analysis for Epidemiology: A practical guide. Cambridge University Press, 2003.

U

- UA/BIRA. Annuaire Panafricain de la santé animale. Union Africaine, Nairobi : Kenya, 2006, 84 p.
- UNGER F., MÜNSTERMANN S., GOUMOU A., APIA C.N., KONTE M. Risk associated with *Mycobacterium bovis* infections detected in selected study herds and slaughter cattle in 4 countries of West Africa. Animal Health Working Paper 1. ITC (International Trypanotolerance Centre), Banjul : The Gambia, 2003, 25 p.
- UN-HABITAT. The Challenge of Slums: Global Report on Human Settlements 2003. United Nations human settlements programme (UN-HABITAT), London, 2003, 310 p.

V

- VIAS FRANCK S.G., BONFOH B., DIARRA A., NAFERI A., FAYE B., 2003. Les élevages laitiers bovins autour de la communauté urbaine de Niamey : caractéristiques, productions, commercialisation et qualité du lait. *Etud. Rech. sahéliennes* (8-9) : 159-165.
- VERGER J.M., GRAYON M., DOUTRE M.P., SAGNA F. *Brucella abortus* d'origine bovine au Sénégal : identification et typage. *Rev. Elev. Méd. vét. Pays trop.*, 1979, **32**, 25-32.
- VERGER J.M., GRAYON M. Characteristics of 273 strains of *Brucella abortus* of African origin. *Dev Biol Stand.* 1984;**56**, 63-71
- VEKEMANS M., CARTOUX M., DIAGBOUGA S. Potential source of human exposure to *Mycobacterium bovis* in Burkina Faso, in the context of the HIV epidemic. *Clin Microbiol Infect.* 1999, **5**, 617–621.

W

- WAGHELA S. La brucellose animale. *Bull. Santé Prod. anim. Afr.*, 1976, **24**, 59-66.
- WEINHAUPL I., SCHOPF K.C., KHASCHABI D., KAPAGA A.M., MSAMI H.M. Investigations on the prevalence of bovine tuberculosis and brucellosis in dairy cattle in Dar es Salaam region and in zebu cattle in Lugoba area, Tanzania. *Trop Anim Health Prod.* 2000, **32**, 147–54.
- WOODFORD M.H. Tuberculosis in wildlife in the Ruwenzori National Park Uganda. *Trop Anim Health Prod.*, 1982, **14**, 81–88.
- WERNERY U., KINNE J., JAHANS K.L., VORDERMEIER H.M., ESFANDIARI J., GREENWALD R., JOHNSON B., UL-HAQ A., LYASHCHENKO K.P.: Tuberculosis outbreak in a dromedary racing herd and rapid serological detection of infected camels. *Veterinary Microbiology*, 2007, 122, 108–115.
- WHO (World Health Organization). Zoonoses and communicable diseases common to man and animals. 3rd edn. Edition, Volume I, 2001, Washington, D.C. U.S.A.
- WHO. 2006. The Global Plan to Stop TB, 2006–2015. Actions for life: towards a world free of tuberculosis. *Int. J. Tuberc Lung Dis.* 10, 240–241.
- WHO (World Health Organization), Stratégie de Coopération, un aperçu. 2011 http://www.who.int/countryfocus/cooperation_strategy/ccsbrief_ner_fr.pdf.

WRAY C. 1975. Survival and spread of pathogenic bacteria of veterinary importance within the environment. *Vet Bull* **45**: 543–350.

WRIGHT P.F., NILSSON E., VAN ROOJI E.M.A., LELENTA M., JEGGO M.H. Standardisation and validation of enzyme-linked immunosorbent assay techniques for the detection of antibody in infectious disease diagnosis. *Rev. sci. tech. Off. int. Epiz.*, 1993, **12**, 435-450.

Y

YOUNG E.J. An overview of human brucellosis. *Clin. Infect. Dis.* 1995, **21**, 283–289.

Z

ZIEGER U., PANDEY G.S, KRIEK NPJ., CAULDWELL A.E. Tuberculosis in kafue lechwe (*Kobus leche kafuensis*) and in a bushbuck (*Tragelaphus scriptus*) on a game ranch in Central Province, Zambia. *J South Afric Vet Assoc.*, 1998, **69**, 98–101.

ZINSSTAG J., WEISS M. G. Livestock diseases and human health. *Science*, 2001, **294**, 477.

ZINSSTAG J., SCHELLING E., WYSS K., MAHAMAT M.B. Potential of cooperation between human and animal health to strengthen health systems. *Lancet*, 2005, **366**, 2142–2145.

Presses de la Faculté de Médecine vétérinaire de l'Université de Liège

4000 Liège (Belgique)

D/2013/0480/4

ISBN 978-2-87543-029-8

ISBN 978-2-87543-029-8



9 782875 430298