

Sommaire

PATHOLOGIE INFECTIEUSE

- 171 **Essai comparatif d'efficacité des deux souches vaccinales T1/44 et T1sr contre la péripneumonie contagieuse bovine.** Yaya A., Golsia R., Hamadou B., Amaro A., Thiaucourt F. (*en français*)
- 181 **Adénomatoze pulmonaire (Jaagsiekte) chez un ovin en Libye : description macroscopique et histopathologique.** Ali O.A., Abdelsalam E.B. (*en anglais*)
- 185 **Séroprévalence de la maladie de Newcastle chez des poulets d'élevage fermier dans la zone de savanes au sud-est du Nigeria.** Orajaka L.J.E., Adene D.F., Anene B.M., Onuoha E.A. (*en anglais*)
- 189 **Etude comparative de protocoles de vaccination contre la maladie de Newcastle dans les élevages modernes de poules pondeuses au Sénégal.** Cardinale E., Tall F., Kane P., Moisan A. (*en français*)
- 195 **Analyse du génome des isolats du virus de la peste porcine africaine au Cameroun.** Ekue N.F., Wilkinson P.J. (*en anglais*)
- 202 **Pouvoir pathogène de deux isolats de virus de la peste porcine africaine chez des porcs domestiques au Cameroun.** Ekue N.F., Wilkinson P.J. (*en anglais*)
- 209 **Comportement du génome du virus de la peste porcine africaine dans l'isolat CAM/82 après son passage chez le porc et dans des cultures de sa moelle osseuse.** Ekue N.F., Wilkinson P.J. (*en anglais*)
- 214 **Note de lecture**

PATHOLOGIE PARASITAIRE

- 215 **Importance des interfaces spatiales et temporelles entre les bovins et les glossines dans la transmission de la trypanosomose animale en Afrique de l'Ouest.** De La Rocque S., Bengaly Z., Michel J.F., Solano P., Sidibé I., Cuisance D. (*en français*)
- 223 **Enquête parasitologique et sérologique (Elisa-indirect) sur les trypanosomoses des bovins dans la zone de Sidéradougou, Burkina Faso.** Desquesnes M., Michel J.F., de La Rocque S., Solano P., Millogo L., Bengaly Z., Sidibé I. (*en français*)
- 233 **Infections à *Trypanosoma evansi* chez des chameaux en Jordanie.** Al-Rawashdeh O.F., Sharif L.A., Al-Qudah K., Al-Ani F.K. (*en anglais*)
- 239 **Effet des médicaments trypanocides sur certains aspects de la biologie reproductive de *Glossina palpalis palpalis* femelle (Diptera : Glossinidae).** Dede P.M. (*en anglais*)
- 245 **Encéphalite ventriculaire à *Aspergillus fumigatus* chez une chèvre.** Abbas B., Mahmoud O.M., Haroun E.M., Elfaki M.G. (*en anglais*)
- 248 **Note de lecture**

RESSOURCES ALIMENTAIRES

- 249 **Phosphates naturels et alimentation du bétail en zone sahélienne. II. Influence des phosphates naturels sur la survie, la production laitière et les paramètres de la reproduction du zébu Gobra.** Fall S.T., Sawadogo G., Diop M., Doucouré A. (*en français*)
- 255 **Contribution des résidus de récolte à l'alimentation des ruminants dans différentes zones agro-écologiques du Burkina Faso.** Savadogo M., Zimmelink G., Van Keulen H., Nianogo A.J. (*en anglais*)
- 263 **Quatre notes en métrologie pastorale** (*en français*)
- 263 **Evaluer la densité des ligneux par la méthode des distances ? Un problème.** Daget Ph., Ickowicz A., Mbaye M.
- 267 **Evaluer la densité des ligneux par la méthode des distances ? Un estimateur.** Daget Ph., Ickowicz A.
- 270 **Evaluer la densité des ligneux par la méthode des dénombrements ? Une difficulté.** Daget Ph.
- 272 **Evaluer la diversité du paysage des pâturages africains.** Poissonet J., Godron M., Daget Ph.
- 278 **Note de lecture**

RESSOURCES ANIMALES

- 279 **Le secteur des productions animales en Afrique subsaharienne, des indépendances à 2020. I. Place de l'Afrique subsaharienne dans les échanges mondiaux et évolution du secteur élevage.** Tacher G., Letenneur L. (*en français*)
- 291 **Estimation des paramètres génétiques de la résistance au parasitisme gastro-intestinal en élevage villageois des petits ruminants au Sénégal.** Clément V., Bouix J., Tillard E., Gueye A., Baker R.L. (*en français*)
- 305 **Commercialisation d'un produit agricole dans un contexte économique « de transition » : la filière de viande porcine de Nam Thanh à Hai Phong (Vietnam).** Le Goulven K., Boutonnet J.P., Codron J.M. (*en français*)
- 313 **La coudriose et l'économie de la production animale dans les fermes commerciales et traditionnelles au Zimbabwe.** Chamboko T., Mukhebi A.W., O'Callaghan C.J., Peter T.F., Kruska R.L., Medley G.F., Mahan S.M., Perry B.D. (*en anglais*)
- 324 **Note de lecture**

INDEX

- 325 **Index 1999 des auteurs, des mots clés et géographique**

Contents

INFECTIOUS DISEASES

- 171 **Comparative efficacy trial of two strains of vaccines T1/44 and T1sr against contagious bovine pleuropneumonia.** Yaya A., Golsia R., Hamadou B., Amaro A., Thiaucourt F. (*in French*)
- 181 **Sheep pulmonary adenomatosis (Jaagsiekte) in Libya: gross and histopathological evidence.** Ali O.A., Abdelsalam E.B. (*in English*)
- 185 **Seroprevalence of Newcastle disease in local chickens from Southeast derived savannah zone of Nigeria.** Orajaka L.J.E., Adene D.F., Anene B.M., Onuoha E.A. (*in English*)
- 189 **Comparative study on vaccination schemes against Newcastle disease in modern layer chickens farms in Senegal.** Cardinale E., Tall F., Kane P., Moisan A. (*in French*)
- 195 **The pathogenicity of two groups of ASF virus isolates from Cameroon in domestic pigs.** Ekue N.F., Wilkinson P.J. (*in English*)
- 202 **Analysis of the genomes of ASF virus isolates from Cameroon.** Ekue N.F., Wilkinson P.J. (*in English*)
- 209 **The effect of passage in pigs and pig bone marrow culture on the genome of the Cameroon isolate (CAM/82) of ASF virus.** Ekue N.F., Wilkinson P.J. (*in English*)
- 214 **Reading note**

PARASITIC DISEASES

- 215 **Evaluation of spatial and temporal contacts between tsetse flies and cattle, a key factor for trypanosomiasis transmission in West Africa.** De La Rocque S., Bengaly Z., Michel J.F., Solano P., Sidibé I., Cuisance D. (*in French*)
- 223 **Parasitological and serological (indirect-ELISA) survey on bovine trypanosomiasis in Sideradougou area, Burkina Faso.** Desquesnes M., Michel J.F., de La Rocque S., Solano P., Millogo L., Bengaly Z., Sidibé I. (*in French*)
- 233 **Trypanosoma evansi infection in camels in Jordan.** Al-Rawashdeh O.F., Sharif L.A., Al-Qudah K., Al-Ani F.K. (*in English*)
- 239 **Effect of trypanocidal drugs on some aspects of the reproductive biology of female *Glossina palpalis palpalis* (Diptera: Glossinidae).** Dede P.M. (*in English*)
- 245 **Ventricular encephalitis due to *Aspergillus fumigatus* infection in a goat.** Abbas B., Mahmoud O.M., Haroun E.M., Elfaki M.G. (*in English*)
- 248 **Reading note**

FEED RESOURCES

- 249 **Rock phosphates and cattle feeding in Sahel. II. Influence on the Gobra zebu survival rate, milk production and reproduction performances.** Fall S.T., Sawadogo G., Diop M., Doucouré A. (*in French*)
- 255 **Contribution of crop residues to ruminant feeding in the different agroecological zones of Burkina Faso.** Savadogo M., Zemmeling G., Van Keulen H., Nianogo A.J. (*in English*)
- 263 **Four notes in grazing metrology** (*in French*)
- 263 **Evaluation of the density of the ligneous by distance-methods? A problem.** Daget Ph., Ickowicz A., Mbaye M.
- 267 **Evaluation of the density of the ligneous by distance-methods? An estimator.** Daget Ph., Ickowicz A.
- 270 **Evaluation of the density of the ligneous by the count-plot analysis? A difficulty.** Daget Ph.
- 272 **Evaluation of the landscape diversity in African rangelands.** Poissonet J., Godron M., Daget Ph.
- 278 **Reading note**

ANIMAL RESOURCES

- 279 **Livestock sector in sub-Saharan Africa, from the Independence's to 2020. I. Sub-Saharan Africa in the world exchanges and livestock sector's trend.** Tacher G., Letenneur L. (*in French*)
- 291 **Genetic parameters estimation of resistance to gastrointestinal parasitism in traditional husbandry system of small ruminants in Senegal.** Clément V., Bouix J., Tillard E., Gueye A., Baker R.L. (*in French*)
- 305 **Marketing and agricultural production in a "transition" economy: pork marketing chain from Nam Thanh to Hai Phong (Vietnam).** Le Goulven K., Boutonnet J.P., Codron J.M. (*in French*)
- 313 **Heartwater and the economics of livestock production on large scale commercial and smallholder farms in Zimbabwe.** Chamboko T., Mukhebi A.W., O'Callaghan C.J., Peter T.F., Kruska R.L., Medley G.F., Mahan S.M., Perry B.D. (*in English*)
- 324 **Reading note**

INDEX

- 325 **Author, key word, geographical 1999 index**

Sumario

PATOLOGIA INFECCIOSA

- 171 Estudio comparativo sobre la eficiencia de dos cepas de vacunación T1/44 y T1sr contra la perineumonía contagiosa bovina. Yaya A., Golsia R., Hamadou B., Amaro A., Thiaucourt F. (*en francés*)
- 181 Adenomatosis pulmonar ovina (Jaagsiekte) en Libia: evidencia general e histopatológica. Ali O.A., Abdelsalam E.B. (*en inglés*)
- 185 Prevalencia serológica de la enfermedad de Newcastle en pollos locales de la zona derivada de la sabana sudeste en Nigeria. Orajaka L.J.E., Adene D.F., Anene B.M., Onuoha E.A. (*en inglés*)
- 189 Estudio comparativo de protocolos de vacunación contra la enfermedad de Newcastle en criaderos modernos de gallinas ponedoras en Senegal. Cardinale E., Tall F., Kane P., Moisan A. (*en francés*)
- 195 La patogenicidad de dos grupos de virus de la peste porcina africana aislados en cerdos domésticos en Camerún. Ekue N.F., Wilkinson P.J. (*en inglés*)
- 202 Análisis de los genomas de aislamientos de virus de la peste porcina africana en Camerún. Ekue N.F., Wilkinson P.J. (*en inglés*)
- 209 Efecto del pasaje en cultivos de médula ósea de cerdo y en cerdos sobre el genoma del virus de la peste porcina africana (CAM/82) aislado en Camerún. Ekue N.F., Wilkinson P.J. (*en inglés*)
- 214 Nota de lectura

PATOLOGIA PARASITARIA

- 215 Importancia de las interfaces espaciales y temporales entre los bovinos y las glossinas en la transmisión de la tripanosomiasis animal en Africa del Oeste. De La Rocque S., Bengaly Z., Michel J.F., Solano P., Sidibé I., Cuisance D. (*en francés*)
- 223 Encuesta parasitológica y serológica (ELISA indirecto) sobre los tripanosomas de bovinos en la zona de Sideradougou, Burkina Faso. Desquesnes M., Michel J.F., de La Rocque S., Solano P., Millogo L., Bengaly Z., Sidibé I. (*en francés*)
- 233 Infección de *Trypanosoma evansi* en Jordania. Al-Rawashdeh O.F., Sharif L.A., Al-Qudah K., Al-Ani F.K. (*en inglés*)
- 239 Efectos de los medicamentos tripanocidos sobre ciertos aspectos de la biología reproductiva de la *Glossina palpalis palpalis* hembra (Diptera: Glossinidae). Dede P.M. (*en inglés*)
- 245 Encefalitis ventricular debida a una infección por *Aspergillus fumigatus* en una cabra. Abbas B., Mahmoud O.M., Haroun E.M., Elfaki M.G. (*en inglés*)
- 248 Nota de lectura

RECURSOS ALIMENTICIOS

- 249 **Fosfatos naturales y alimentación del ganado en zona sahelina. II. Influencia sobre la supervivencia, la producción lechera y los parámetros de la reproducción del cebú Gobra.** Fall S.T., Sawadogo G., Diop M., Doucouré A. (*en francés*)
- 255 **Contribución de los residuos de cosechas en la alimentación de los rumiantes en diferentes zonas agroecológicas de Burkina Faso.** Savadogo M., Zemelink G., Van Keulen H., Nianogo A.J. (*en inglés*)
- 263 **Cuatro notas en metrología pastoril** (*en francés*)
- 263 **¿Evaluar la densidad de los leñosos por el método de las distancias? Un problema.** Daget P., Ickowicz A., Mbaye M.
- 267 **¿Evaluar la densidad de los leñosos por el método de las distancias? Un estimador.** Daget P., Ickowicz A.
- 270 **¿Evaluar la densidad de los leñosos por el método de conteo? Una dificultad.** Daget P.
- 272 **Evaluar la diversidad del paisaje de los pastizales africanos.** Poissonet J., Godron M., Daget P.
- 278 **Nota de lectura**

RECURSOS ANIMALES

- 279 **El sector de las producciones animales en Africa subsahariana, desde las independencias hasta el 2020. I. Lugar de Africa subsahariana en los intercambios mundiales y la evolución del sector de producción.** Tacher G., Letenneur L. (*en francés*)
- 291 **Estimación de los parámetros genéticos de la resistencia al parasitismo gastrointestinal en un medio de crianza aldeano de pequeños rumiantes en Senegal.** Clément V., Bouix J., Tillard E., Gueye A., Baker R.L. (*en francés*)
- 305 **Commercialización de un producto agrícola en un contexto económico "de transición": la filial de carne de cerdo de Nam Thanh a Hai Phong (Vietnam).** Le Goulven K., Boutonnet J.P., Codron J.M. (*en francés*)
- 313 **La coudriosis y la economía de la producción animal a gran escala comercial y en pequeñas fincas en Zimbabwe.** Chamboko T., Mukhebi A.W., O'Callaghan C.J., Peter T.F., Kruska R.L., Medley G.F., Mahan S.M., Perry B.D. (*en inglés*)
- 324 **Nota de lectura**

INDEX

- 325 **Indice 1999 de autores, de temas y geográfico**

Essai comparatif d'efficacité des deux souches vaccinales T1/44 et T1sr contre la péripneumonie contagieuse bovine

A. Yaya ¹ R. Golsia ¹ B. Hamadou ¹

A. Amaro ² F. Thiaucourt ³

Mots-clés

Péripneumonie contagieuse bovine - Vaccin vivant - Efficacité - Cameroun.

Résumé

La péripneumonie est une maladie infectieuse qui touche uniquement les bovidés et connaît actuellement une recrudescence en Afrique. Dans le passé de nombreux pays ont pu contrôler la maladie, voire l'éradiquer, grâce à une prophylaxie médicale basée sur l'utilisation de deux souches vaccinales : T1/44 et sa variante streptomycino-résistante T1sr. Des échecs récents ont pu jeter un doute sur l'identité et l'efficacité de la souche T1sr. Depuis, son identité a été confirmée. Il devenait indispensable de vérifier son efficacité dans des conditions contrôlées. Les deux souches ont été utilisées en primovaccination à la dose minimum recommandée, soit 10^7 mycoplasmes par dose vaccinale. La reproduction expérimentale de la maladie a été réalisée par intubation endobronchique de 40 zébus du Nord-Cameroun qui ont servi à infecter par contact des animaux vaccinés et des animaux témoins. Tous les animaux ont fait l'objet d'un suivi clinique et sérologique. La transmission de la maladie a pleinement réussi et près de 40 p. 100 des animaux témoins ont succombé à la péripneumonie. La mortalité a été inférieure chez les animaux vaccinés mais la différence est à la limite de la signification statistique ($p = 0,054$). Quelle que soit la souche, la protection conférée par la vaccination, calculée sur la réduction de la mortalité, avoisine 37 p. 100 seulement. Il est difficile de comparer ces résultats avec des essais anciens qui étaient pratiquement tous réalisés avec des doses vaccinales beaucoup plus élevées et qui utilisaient une souche d'épreuve isolée en Australie. Les résultats obtenus soulignent le caractère partiel de la protection conférée par la vaccination actuellement pratiquée. Ils appellent d'une part à une meilleure définition des stratégies actuelles de lutte contre la péripneumonie et d'autre part à la mise au point de vaccins plus efficaces.

■ INTRODUCTION

La péripneumonie contagieuse bovine (Ppcb) est une maladie infectieuse qui affecte uniquement les bovidés ; elle est causée par *Mycoplasma mycoides* subsp. *mycoides* biotype SC (MmmSC) (12). Cette maladie connaît actuellement une recrudescence notoire en Afrique qui peut, paradoxalement, être corrélée aux succès enregistrés dans la lutte contre la peste bovine. En effet, l'éradication de la peste dans la majeure partie du continent a entraîné

l'arrêt des campagnes systématiques de vaccination qui associaient les valences peste et Ppcb. Dans l'Est du continent, des pays qui étaient indemnes de Ppcb depuis de nombreuses années ont été de nouveau contaminés, sans doute en raison de mouvements incontrôlés d'animaux et du manque de préparation des services vétérinaires qui n'étaient plus confrontés à ce fléau depuis longtemps.

Des procédés traditionnels de prophylaxie médicale sont employés depuis des temps immémoriaux en Afrique (1). Ils consistent à insérer, sous la peau du chanfrein, de la lymphe péripneumonique ou des fragments de poumon hépatisé. Ces procédés ont été « redécouverts » en 1852 par un médecin belge (18). Cependant ce type de prophylaxie n'était toujours pas accepté à l'unanimité plus de trente ans après sa description. Il fallut attendre le V^e Congrès international vétérinaire à Paris en 1889 pour que cette méthode soit adoptée pour limiter de façon significative le nombre de

1. Lanavet, BP 503 Garoua, Cameroun

2. Lnv, Est. de Benfica 701, 1500 Lisboa, Portugal

3. Cirad-emvt, TA/30 G, Campus de Baillarguet, 34398 Montpellier Cedex 5, France

foyers, avant de pouvoir prendre des mesures de prophylaxie sanitaire d'abattage total (5). Celles-ci ont permis à la plupart des pays d'Europe de redevenir indemnes de Ppcb entre 1888 et 1934 (4).

Dès que l'agent de la péripneumonie fut isolé et caractérisé, de nombreux essais d'atténuation furent réalisés, le plus souvent par passages successifs en bouillon ou en œuf embryonné d'une culture initialement peu pathogène (11). Malgré les millions de doses vaccinales utilisées en Afrique entre les années trente et soixante, la lutte contre la Ppcb connut peu de succès. La souche T1/44, développée vers la fin des années cinquante (15), fut finalement adoptée presque universellement, non pas à cause de ses qualités intrinsèques mais plutôt par lassitude, après de longues recherches d'une souche offrant une très bonne protection et dénuée de pouvoir pathogène résiduel. La souche KH3J, strictement apathogène, fut progressivement abandonnée en raison de son manque d'efficacité. Les efforts ont donc porté principalement sur la standardisation des procédés de production de la souche T1 afin d'obtenir des produits de qualité uniforme. Enfin, la mise au point d'une souche T1 adaptée à la streptomycine (T1sr) a permis de produire un vaccin mixte lyophilisé contre la Ppcb et la peste bovine (10). Au cours des années soixante-dix, en Afrique, des vaccinations annuelles répétées ont assuré un contrôle effectif de la Ppcb ; dans certains pays l'éradication a pu être atteinte par des mesures complémentaires d'abattage total dans les éventuels foyers résiduels. Des politiques similaires ont permis l'éradication de la maladie en Australie, à l'aide d'une autre souche vaccinale, la souche V5 (9).

Bien que la souche T1sr ait été recommandée par un groupe d'experts réunis sous l'égide de la Fao en 1990, des doutes quant à son identité et son efficacité réelle sont apparus à la suite de la réintroduction de la Ppcb au Botswana en 1995 et aux échecs des campagnes de vaccination d'urgence (8). Cela conduisit la Fao, en décembre 1995, à recommander l'arrêt de l'utilisation de la souche T1sr au profit de la seule souche T1/44. Depuis cette date, l'identité de la souche vaccinale utilisée au Botswana a été confirmée par des techniques moléculaires (16), mais ces mêmes techniques ont également permis de mettre en évidence des différences notables entre les souches pathogènes qui circulent sur le continent africain. L'utilisation de séquences d'insertion IS 1296 comme sonde dans des techniques de Southern Blot avait d'ailleurs souligné de nettes différences entre les souches d'origine européenne et les souches africaines (2). Des phénomènes d'adaptation phénotypiques face à des anticorps monoclonaux ont également été observés chez un autre mycoplasme affectant les bovins, *M. bovis* (7). De tels phénomènes pourraient éventuellement exister chez les souches de MmmSC alors que le bétail africain est vacciné depuis des décennies avec la même souche vaccinale. Des gènes de protéines ou lipoprotéines membranaires dont l'expression est hypervariable ont été décrits chez de nombreuses espèces de mycoplasmes (3). De tels gènes peuvent également être présents chez MmmSC et favoriser l'émergence de variants clonaux aux propriétés antigéniques modifiées. Ces études de biologie moléculaire remettent en question le dogme de la très grande homogénéité des souches de MmmSC et pourraient expliquer certains échecs de vaccination. Cependant beaucoup d'autres raisons, plus traditionnelles celles-là, peuvent aussi expliquer des échecs sur le terrain (16).

C'est pourquoi il a été décidé de procéder à un essai vaccinal contrôlé afin de vérifier l'efficacité des deux souches vaccinales T1sr et T1/44 dans des conditions similaires aux conditions d'utilisation au Botswana en 1995. Il s'agissait notamment de contrôler l'efficacité d'une primovaccination en utilisant la dose minimum recommandée par les organismes internationaux (13).

■ MATERIEL ET METHODES

L'essai a été réalisé au Laboratoire national vétérinaire (Lanavet) de Garoua, au Cameroun. La protection conférée par la vaccination a été vérifiée selon une méthode développée en Australie. Elle consiste à transmettre la maladie de façon « naturelle » aux animaux témoins et vaccinés, par la mise en contact avec des animaux artificiellement infectés.

Animaux

Des bovins de type zébu, de plus de deux ans, ont été achetés dans la province du Nord (départements de Mayo-Rey et Bénoué), dans des zones où aucun cas de péripneumonie n'avait été déclaré et où aucune vaccination n'avait été pratiquée.

Vaccinations

Les deux lots de vaccin ont été produits au Cirad-emvt à partir de souches d'origine contrôlée. La souche T1/44, lyophilisée en 1970, provenait du laboratoire de Muguga au Kenya ; la souche T1sr, lyophilisée en 1990 pour produire un lot « grand-parental », provenait à l'origine d'une souche lyophilisée en 1972. Deux passages successifs en milieu liquide ont été réalisés avant lyophilisation en prenant bien soin de ne pas réaliser le moindre clonage. Avant utilisation, les produits finaux ont été certifiés par le Panvac (Pan African Veterinary Vaccine Control) à Debre Zeit en Ethiopie. Le titre par flacon a permis de définir la dilution d'emploi pour obtenir 10^7 unités formant colonie par dose vaccinale sous un volume de 1 ml. Quarante-quatre animaux, choisis par tirage aléatoire, ont été vaccinés par voie sous-cutanée en arrière de l'épaule : 22 avec la souche T1sr et 22 autres avec la souche T1/44.

Infection expérimentale

Souches d'épreuve

Le pouvoir pathogène de trois souches isolées au Cameroun en 1987, 1988 et 1996 a été préalablement testé sur cinq animaux par intubation endobronchique. La souche Touroua (1987) a été utilisée pour l'essai vaccinal proprement dit.

Intubation endobronchique d'épreuve

Quarante animaux non vaccinés ont été choisis de façon aléatoire et intubés par voie endobronchique droite à l'aide d'un bronchoscope trois mois après la vaccination. Les animaux étaient en position debout et maintenus dans un couloir de contention. L'inoculum a consisté en 50 ml d'une culture dans la phase exponentielle de croissance, auxquels ont été ajoutés 30 ml d'agar à 1,5 p. 100. Un rinçage du bronchoscope a ensuite été réalisé avec 100 ml de milieu de culture stérile.

Suivi des animaux

Les trois groupes d'animaux, comprenant 44 vaccinés, 40 intubés et 33 témoins non vaccinés, ont été mis en contact après l'intubation et maintenus confinés jusqu'à l'abattage, deux mois après l'apparition des premiers signes cliniques dans le groupe témoin. Des prises de sang ont été réalisées tous les mois sur l'ensemble des animaux et les sérums analysés par la réaction de fixation du complément (Rfc)(13), les tests Elisa de compétition (cElisa) (6) et Elisa indirect. Dans ce dernier cas, les sérums ont été analysés à la dilution 1/300 avec des plaques Elisa sensibilisées avec le même antigène que pour le cElisa. Le conjugué anti-bovin marqué à la peroxydase, Dako P449, a été utilisé au 1/1000, le substrat Abts étant le même que pour le cElisa.

■ RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

Pré-essai des souches d'épreuve

Les mortalités sont apparues tout d'abord dans le groupe intubé avec la souche isolée en 1988, 9 jours seulement après l'intubation, puis dans le groupe contaminé avec la souche isolée en 1987, 13 jours après l'intubation. Aucune mortalité n'est survenue dans le groupe contaminé avec la souche isolée en 1996. Vingt-cinq jours après l'intubation, tous les animaux survivants ont été sacrifiés et les lésions pulmonaires notées. Les souches 1988 et 1987 ont provoqué dans chaque lot la mort de trois des cinq animaux et un séquestre chez un des deux animaux survivants. La souche 1996 n'a pas provoqué de mortalité mais seulement des lésions chroniques chez trois des animaux intubés.

Bien que le nombre d'animaux dans chaque groupe soit faible, les différences entre ces trois souches sont notables, la souche isolée en 1996 ayant un pouvoir pathogène nettement plus faible que les deux autres. C'est donc une des souches les plus pathogènes (Touroua 1987) qui a été choisie pour la suite de l'expérimentation.

Suivi clinique

Animaux intubés

Les premiers symptômes respiratoires, principalement de la toux, ont été notés au bout d'une semaine et les premières mortalités sont apparues dès le 10^e jour après l'intubation. Vingt-sept animaux sont morts, ce qui représente un taux de mortalité de 67 p. 100, le pic de mortalité se situant au 20^e jour après l'inoculation (figure 1). Ces chiffres sont tout à fait comparables à ceux obtenus au cours du pré-essai, ce qui confirme le pouvoir pathogène de la souche utilisée et l'efficacité de la technique d'inoculation.

Animaux témoins

La première mortalité est apparue dans le groupe témoin 50 jours seulement après l'intubation du groupe « infectant ». La majorité des mortalités (n = 10) est survenue entre le 50^e et le 70^e jour, les suivantes sont apparues sporadiquement jusqu'à la fin de l'expérimentation. Au total 13 animaux sont morts dans le groupe témoin, soit un taux de mortalité de 40 p. 100. Ce taux important montre bien le caractère pathogène de la souche utilisée car les animaux ont été infectés par contact et ce mode d'infection est semblable à une infection naturelle. La seule différence tient ici à l'introduction d'un nombre élevé d'animaux « infectants », alors que les transmissions naturelles sont souvent réalisées par contact avec quelques animaux excréteurs.

Animaux vaccinés

Les premières mortalités sont apparues dans ce groupe au même moment que dans le groupe témoin, mais le nombre total de morts a été plus faible. Ici aussi les mortalités ont continué de façon sporadique jusqu'à la fin de l'expérimentation. Cela montre que la vaccination, même si elle induit une certaine protection, n'entraîne pas une augmentation du temps d'incubation chez les animaux encore sensibles.

Suivi des températures

Presque tous les animaux intubés ont présenté une phase fébrile dans les jours qui ont suivi l'opération. Cependant, elle était transitoire et la température est redevenue normale (< 39,5 °C), que l'animal ait survécu ou soit mort ensuite. Le suivi des animaux témoins a permis d'observer une évolution plus « naturelle ». Les animaux sans lésion n'ont pas présenté d'épisode fébrile (figure 2a), alors que sont apparus des pics de fièvre transitoire

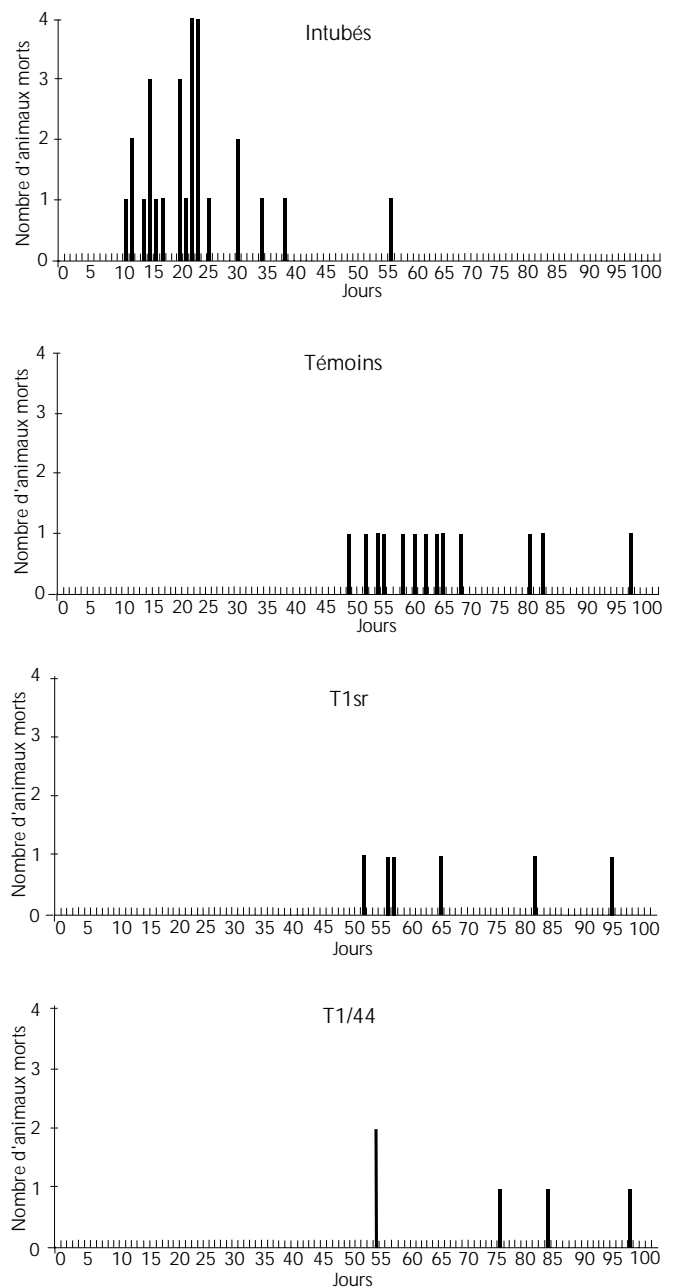


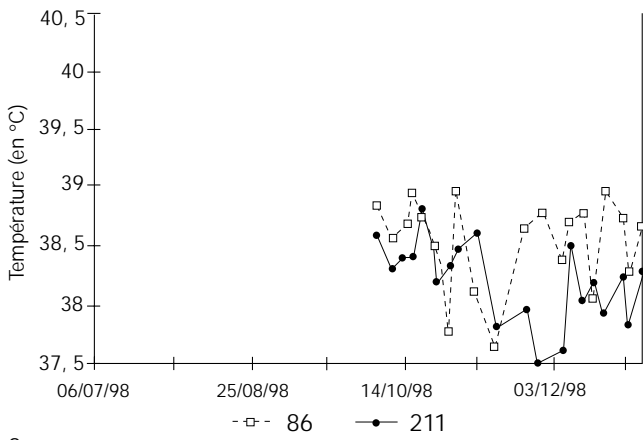
Figure 1 : histogrammes représentant le nombre d'animaux morts dans les différents groupes en fonction du temps.

chez les animaux développant des lésions aiguës (figure 2b) ou chroniques (figure 2c). Ces pics n'ont jamais atteint des valeurs très élevées.

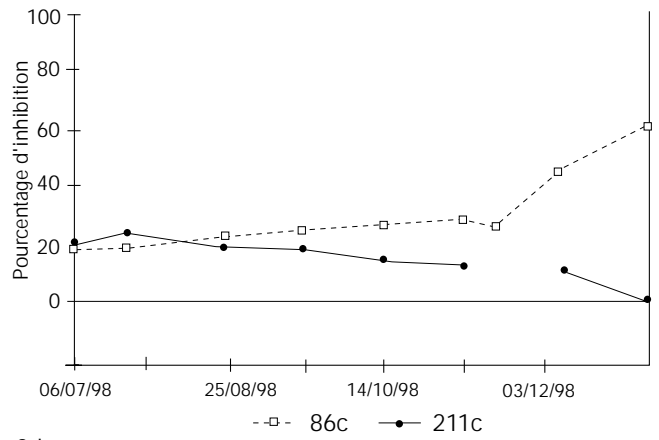
Il semble donc que la fièvre soit caractéristique du développement initial des lésions, car la température redevient normale ensuite quelle que soit l'évolution. L'apparition de ces pics de fièvre a d'ailleurs été concomitante du début de la séroconversion. Ainsi on a pu observer un pic de fièvre plus précoce chez l'animal 67 que chez l'animal 117 (figure 2b) et parallèlement une séroconversion plus précoce chez l'animal 67 (figure 2e). Les mêmes constatations ont pu être faites chez les animaux 152 et 191 (figures 2c et 2f), qui sont morts avant la fin de l'expérimentation avec des lésions aiguës intéressant la totalité du lobe pulmonaire gauche. Inversement, certains animaux qui ne présentaient ni pic de fièvre ni lésion pouvaient présenter des séroconversions.

Vaccine efficacy trial of T1/44 and T1sr against CBPP

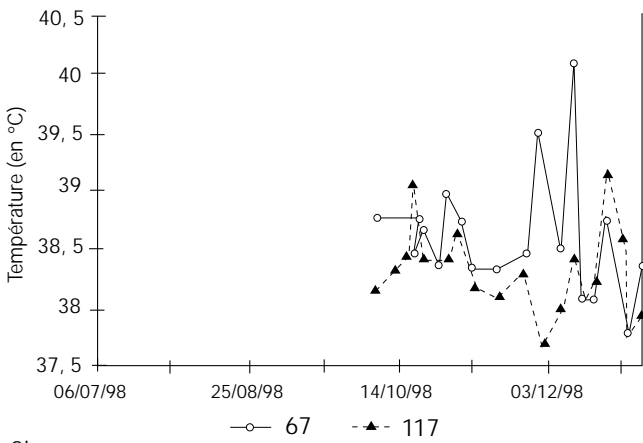
■ PATHOLOGIE INFECTIEUSE



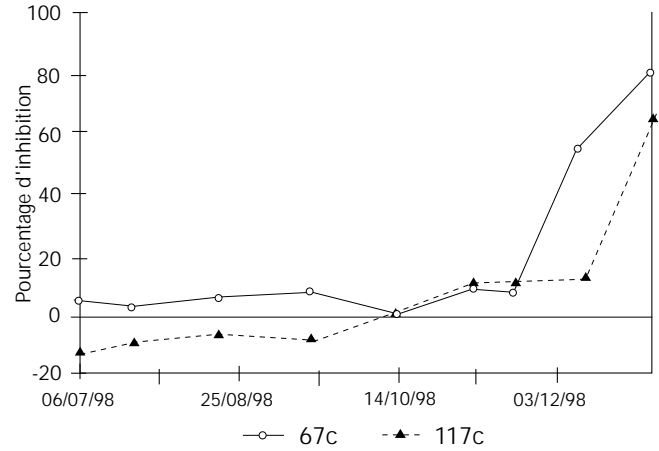
2a



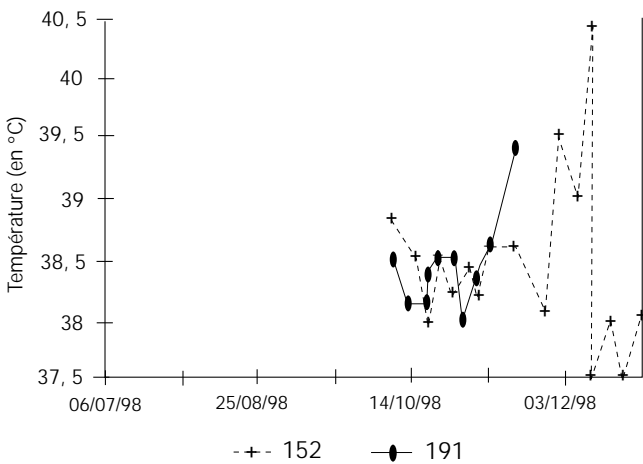
2d



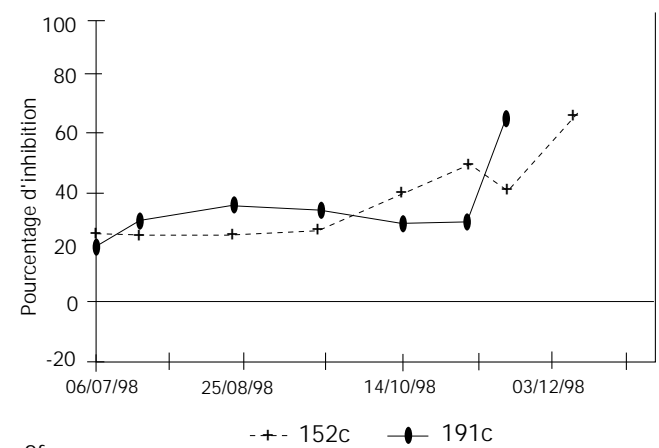
2b



2e



2c



2f

Figure 2 : courbes de température et courbes sérologiques obtenues en cElisa chez différents animaux :
a, d : animaux 86 et 211 n'ayant pas présenté de lésion macroscopique à l'autopsie ;
b, e : animaux 67 et 117 ayant présenté des séquestres à l'autopsie, de 15 et 5 cm de diamètre respectivement ;
c, f : animaux 152 et 191 morts de péripneumonie aiguë.

Lésions macroscopiques

Les lésions aiguës constatées dans les groupes d'animaux témoins ou vaccinés ont présenté les caractéristiques typiques de la Ppcb : accumulation de liquide pleural dans la cavité thoracique (figure 3), épaissement des travées interlobulaires (figure 4), lobules à des stades variés de pneumonie donnant un aspect marbré. Dans certains cas le liquide pleural était remplacé par de la fibrine coagulée donnant un aspect « d'omelette » collée au poumon et à la plèvre costale. Dans tous les cas il existait une pleurésie aiguë. Les lésions étaient surtout unilatérales et touchaient indifféremment les poumons gauche ou droit. Il existait parfois des lésions bilatérales, en général l'un des deux poumon étant alors totalement hépatisé.

Des séquestres de taille variable ont pu être observés, de 1 cm à plus de 30 cm. Les stades de ces séquestres étaient également variables, certains ayant une capsule fine et un contenu solide où la structure pulmonaire pouvait encore être observée (figure 5), d'autres présentant des capsules fibreuses épaisses de 5 mm avec un contenu pâteux entièrement nécrosé (figure 6).



Figure 3 : accumulation de liquide pleural dans la cavité thoracique d'un animal atteint de péripneumonie contagieuse bovine dans sa forme aiguë.

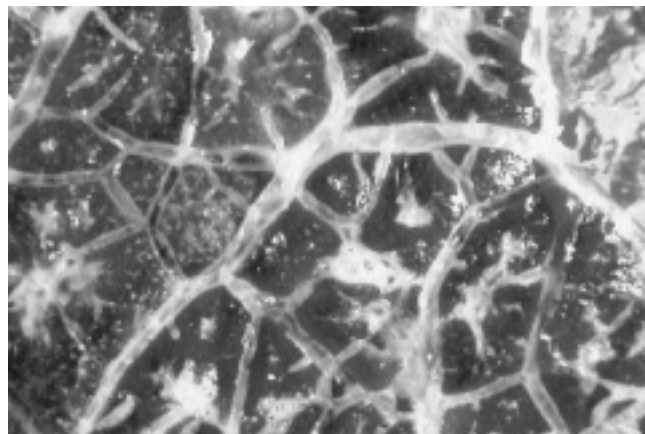


Figure 4 : section d'un poumon de bovin atteint de Ppcb dans sa forme aiguë ; les travées interlobulaires sont distendues et remplies de liquide d'exsudation, elles entourent du parenchyme pulmonaire hépatisé.

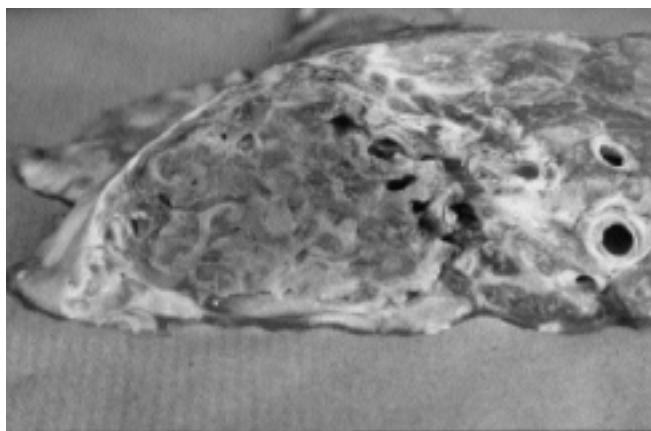


Figure 5 : coupe longitudinale d'un séquestre en voie de formation ; les tissus situés à la périphérie sont en voie de nécrose alors que la structure pulmonaire est encore visible au centre.

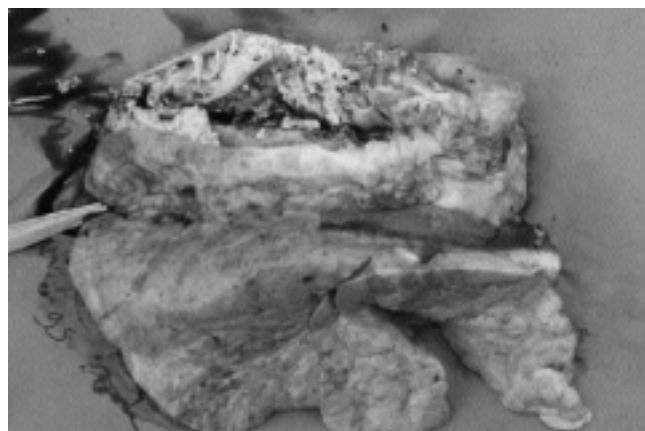
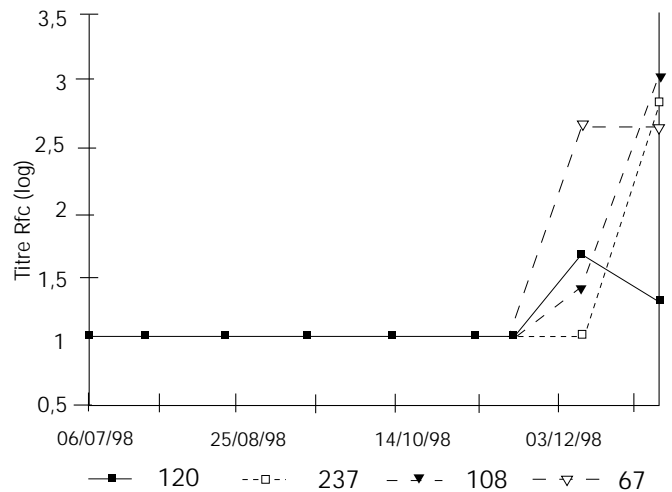
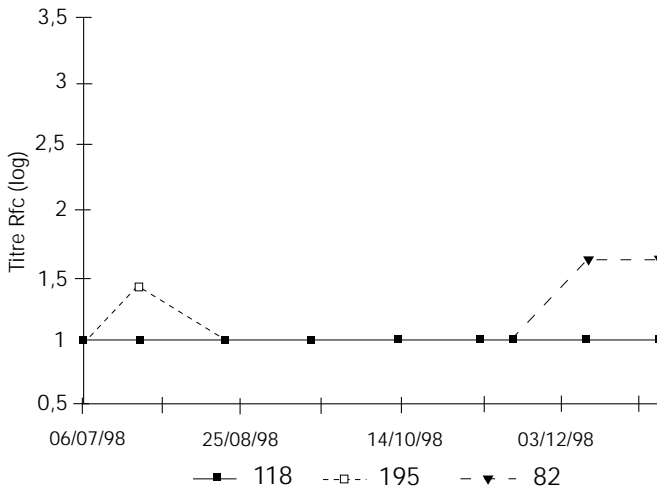


Figure 6 : coupe d'un séquestre dont l'intérieur a subi une nécrose complète ; les parois du séquestre ont une épaisseur d'environ 5 mm.

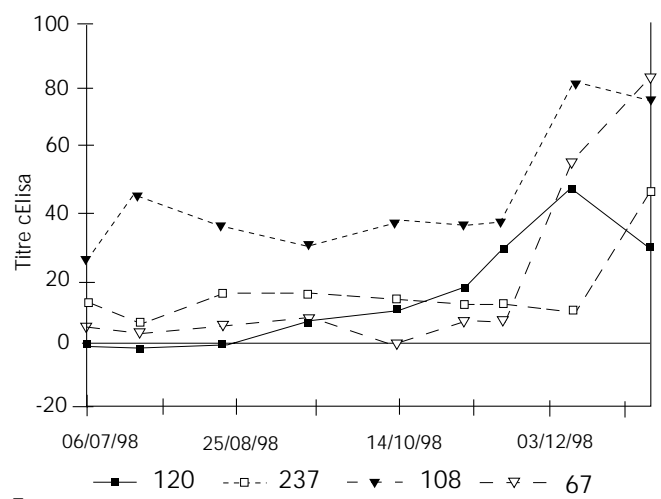
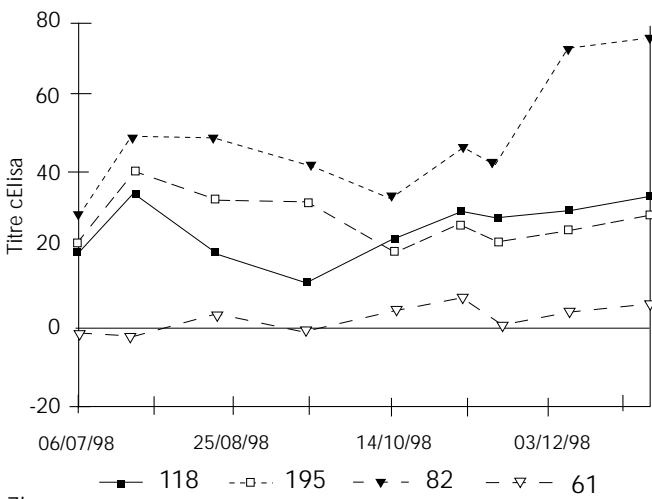
Vaccine efficacy trial of T1/44 and T1sr against CBPP

■ PATHOLOGIE INFECTIEUSE



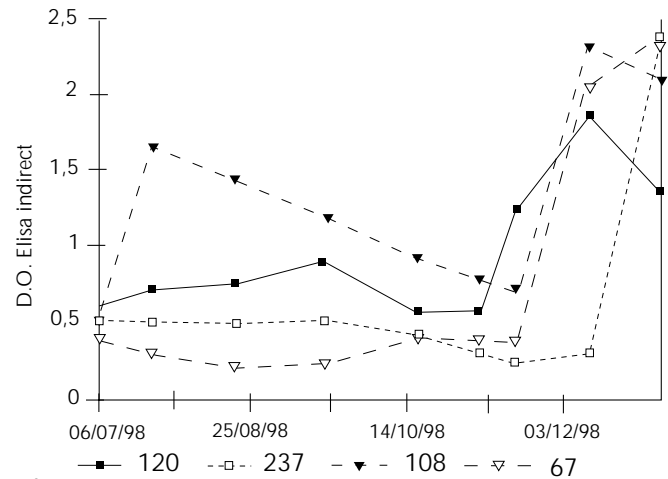
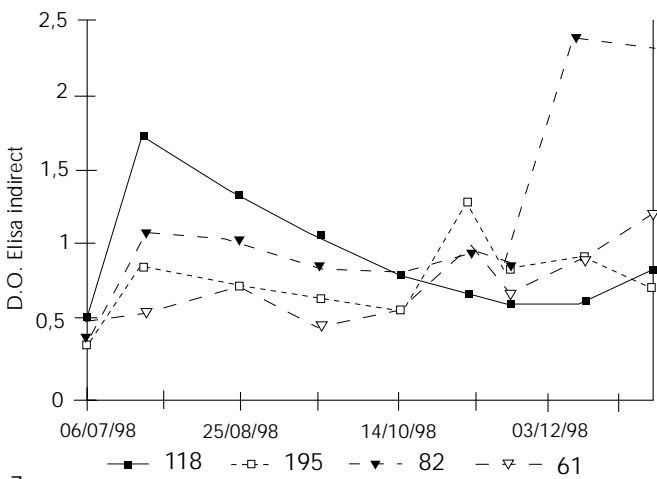
7a

7d



7b

7e



7c

7f

Figure 7 : résultats sérologiques obtenus avec les techniques Rfc (a, d), cElisa (b, e) et Elisa indirect (c, f) : a, b, c : 4 animaux ne présentant pas de lésion, 118 et 195 (vaccinés avec T1/44), 82 et 61 (vaccinés avec T1sr) ; d, e, f : 4 animaux présentant des lésions chroniques, 120 et 237 (vaccinés avec T1sr), 108 (vacciné avec T1/44) et 67 (animal témoin).

et ont présenté, en Rfc et cElisa, une séroconversion durable jusqu'à la date d'épreuve. Ces deux animaux avaient souffert d'un abcès au point d'injection du vaccin qui a pu jouer le rôle d'un immunostimulant. Sur le terrain, ce type de réaction pourrait éventuellement induire l'apparition de faux positifs même si les récoltes de sérums sont effectuées plus de trois mois après la vaccination. Nos résultats confirment, s'il en était encore besoin, qu'il n'est pas possible de réaliser un suivi sérologique pour contrôler les campagnes de vaccination.

Séroconversion après épreuve

■ Animaux sans lésion

Certains animaux n'ont présenté aucune séroconversion, quelle qu'ait été la technique employée (figure 7a, b, c, animal 61). Il peut s'agir d'animaux qui n'ont pas été en contact avec le mycoplasme mais cette probabilité est faible étant donné le nombre d'animaux infectants et la promiscuité qui régnait dans l'enclos. Plus probablement, il s'agit d'animaux qui n'étaient naturellement pas réceptifs à la péripneumonie, ou bien qui ont pu se débarrasser des mycoplasmes au stade initial de la maladie, dès le contact avec l'arbre respiratoire.

D'autres animaux ont présenté une séroconversion, surtout en Elisa indirect, un peu moins en cElisa et pratiquement jamais en Rfc. Chez l'un d'entre eux, MmmSC a pu être isolé à partir d'un ganglion médiastinal (figure 7a, b, c, animal 82). Ces réactions correspondent sans doute à une multiplication du mycoplasme, entraînant une stimulation du système immunitaire sans qu'aucune lésion macroscopique ne se développe.

■ Animaux avec lésions aiguës

Il existait un début de séroconversion chez tous ces animaux, quelle qu'ait été la technique utilisée, mais dans certains cas, la mort a pu survenir avant que les titres en cElisa n'aient atteint le seuil de positivité.

■ Animaux avec lésions chroniques

Tous ces animaux ont développé une séroconversion, la plupart ont eu des titres fortement positifs mais la durée de l'expérimentation n'a pas permis d'évaluer la persistance de ces anticorps avec les trois techniques (figure 7). Quelques animaux présentaient déjà une décroissance de leur titre, cette décroissance étant parallèle selon les trois techniques. Cela montre que l'immunodominance de l'épitope utilisé dans le test de compétition est équivalente à l'immunodominance globale des antigènes utilisés dans le test Elisa indirect.

Immunohistochimie

Des coupes de tissu ont été étudiées avec une technique d'immunohistochimie réalisée à l'aide d'un sérum hyperimmun. Tous les prélèvements récoltés chez les animaux présentant des lésions aiguës ou des séquestres ont donné des résultats positifs, notamment ceux réalisés à partir des ganglions régionaux.

Un animal vacciné avec la souche T1/44 et ne présentant pas de lésion macroscopique a pourtant provoqué un résultat positif à partir d'un ganglion. Cet animal était alors séropositif en Rfc et présentait également un début de séroconversion en cElisa.

Protection vaccinale

Le tableau I donne la distribution du nombre d'animaux observés dans chaque groupe comparé au nombre théorique qui aurait dû être observé s'il n'existait pas de différence entre les trois groupes. Le résultat du test du χ^2 sur ces distributions donne un risque de 5,4 p. 100 pour que ces deux distributions ne soient pas différentes. Cette valeur est très légèrement supérieure au risque de 5 p. 100 communément admis pour conclure qu'il existe une différence significative.

Si l'on ne considère que la mortalité, elle s'est élevée à 39,4 p. 100 (13/33) dans le lot de contrôle alors que chez les vaccinés elle s'élevait à 25 p. 100 (11/44). Cela correspond à une protection d'environ 37,5 p. 100 (théoriquement 17,6 animaux — 44 x 39,4 p. 100 — auraient du mourir, or seulement 11 sont morts ; on peut donc considérer que 6,6 animaux ont été protégés par le vaccin, soit un taux de protection de $6,6/17,6 = 37,5$ p. 100).

Ces résultats montrent que le nombre d'animaux utilisés était à peine suffisant pour pouvoir mettre en évidence, de façon statistiquement valide, une protection d'environ 40 p. 100. Cela illustre bien la difficulté d'étudier la péripneumonie en l'absence de tout modèle de laboratoire.

Il est cependant clair qu'aucune des deux souches vaccinales ne confère une protection satisfaisante dans les conditions décrites, à savoir en primovaccination et à la dose minimum requise. Il est probable que cette faible protection soit corrélée au pouvoir pathogène de la souche car, au cours d'une expérience parallèle faite au Kenya dans les mêmes conditions mais avec une souche d'épreuve moins pathogène, cette même souche vaccinale a permis de réduire fortement le taux de mortalité (17).

Tableau I

Distribution du nombre d'animaux observés dans chaque groupe et du nombre théorique qui aurait dû être observé avec trois groupes semblables

	Animaux morts	Animaux avec lésions	Animaux sans lésions	Total
Groupe témoin	13 (10,3)	14 (11,55)	6 (9,43)	33
Groupe vacciné avec T1/44	5 (6,86)	4 (7,7)	13 (7,43)	22
Groupe vacciné avec T1sr	6 (6,86)	9 (7,7)	7 (7,43)	22
Total	24	27	26	77

Les nombres entre parenthèses représentent les populations théoriques qui permettent de calculer un χ^2

■ CONCLUSION

Cette reproduction expérimentale de la Ppcb est la première depuis de nombreuses années à avoir été réalisée en Afrique. Le nombre d'animaux (plus de 130) ainsi que le mode de transmission par contact ont permis de valider un modèle expérimental déjà éprouvé dans le passé, mais cette fois avec des souches pathogènes locales et isolées récemment. Le tableau clinique obtenu est tout à fait typique de la Ppcb. En particulier, il est intéressant de noter que six animaux témoins sur 33 (20 p. 100) n'ont pas développé de lésion. Cela ne correspond pas à une absence de contact avec l'agent pathogène car quatre sur six ont présenté une séroconversion, mais plus certainement à une résistance naturelle. De même, il est frappant de constater que des animaux autopsiés moins de trois mois après le contact infectant avaient déjà développé des lésions de type séquestre avec un contenu dans un état de nécrose avancée. Le rôle de ces séquestres dans la persistance et la transmission, à long terme, de l'agent pathogène devrait éventuellement être rediscuté. La présence de mycoplasme dans les ganglions régionaux peut laisser présager sa persistance à long terme dans ces organes ou dans d'autres.

Cette étude a permis de valider de façon précise la nouvelle technique cElisa. Un point important était de vérifier la séroconversion post-vaccinale afin de voir s'il était toujours possible d'utiliser le test cElisa pour mettre en évidence des foyers de Ppcb dans des zones où est pratiquée la vaccination, à l'instar de ce qui est fait avec la Rfc. Ce point a pu être confirmé. Il était également important de pouvoir corréler le statut sérologique avec le statut réel des animaux. Certains animaux ont présenté des sérologies positives, sans aucune lésion macroscopique. La concomitance de ces séroconversions avec celles survenant chez des animaux cliniquement atteints montre bien qu'il ne s'agit pas de fausses positivités. De plus l'isolement du mycoplasme, ou la mise en évidence d'antigènes par immunocytochimie, montre bien qu'il y a eu stimulation du système immunitaire.

Il est difficile de comparer les résultats actuels de protection avec les résultats obtenus antérieurement par différents auteurs. En effet, dans un souci d'harmonisation des essais, la souche d'épreuve choisie était alors en général la souche Gladysdale, une souche pathogène isolée en Australie avant les années soixante. Or les techniques modernes de biologie moléculaire ont permis de montrer la variabilité qui existe au sein des souches de MmmSC et ont également mis en lumière les capacités d'adaptabilité des mycoplasmes ; il était donc impératif de tester l'efficacité des vaccins face à des souches récemment isolées. Une autre difficulté de comparaison tient aux doses vaccinales utilisées. La plupart des essais antérieurs étaient réalisés avec des doses variant de 10^8 à $10^{9.5}$ mycoplasmes par dose vaccinale, or ces doses ne sont pas conformes à la pratique réelle du terrain. En effet, la plupart des lots de vaccin Ppcb contrôlés par le Panvac possèdent des titres qui ne sont que marginalement supérieurs à la dose minimale requise (14) et il existe de nombreuses raisons pour que ces titres baissent avant qu'ils soient effectivement injectés.

Nos résultats montrent qu'une primovaccination avec un vaccin titrant 10^7 mycoplasmes par dose n'induit pas une bonne protection, quelle que soit la souche utilisée, T1/44 ou T1sr. Cela explique rétrospectivement l'échec qui a été enregistré au Botswana. Ces résultats confirment qu'une vaccination anti-péripneumonique ne fait que rehausser globalement le taux de résistance d'un troupeau et que des mesures d'urgences doivent aussi comprendre nécessairement un contrôle strict des mouvements d'animaux. Le choix de la souche vaccinale à utiliser se pose encore étant donné que la souche T1/44 n'a pas montré une supériorité flagrante. Ce choix résultera sans doute de considérations

particulières à la zone : sensibilité du cheptel local, acceptabilité d'un certain nombre de réactions post-vaccinales, utilisation d'un vaccin mixte dans les zones de cordon sanitaire...

La mise au point d'un vaccin contre la Ppcb plus efficace et à l'inocuité parfaite devient une priorité absolue dans le contexte d'une résurgence de cette maladie. Cette mise au point ne pourra se faire que de façon raisonnée, une fois que les mécanismes immunitaires aboutissant soit à la maladie, soit à la protection auront été élucidés. Des éléments préliminaires de réponse ont été obtenus au cours de cette expérimentation. Il faudra également identifier d'éventuels gènes liés au pouvoir pathogène des souches qui pourraient être la clé de la mise au point de nouveaux vaccins.

Dans l'attente de ces résultats, il devient urgent de préciser un certain nombre de points pratiques indispensables à la mise sur pied de stratégies cohérentes de lutte. Tout d'abord, il faut connaître la prévalence exacte de la Ppcb et les pertes réelles qu'elle occasionne. Il est nécessaire également de mieux déterminer la protection qui peut être attendue des vaccins disponibles actuellement. Dans ce cadre, il faudra déterminer plus précisément s'il existe un effet dose, si des vaccins ayant un titre plus élevé protègent mieux et si des vaccinations répétées sont indispensables à l'établissement d'une protection complète du cheptel. Enfin il faudra déterminer si les conditions de production ne peuvent pas induire une sélection de variants éventuellement moins immunogènes.

Remerciements

Nos remerciements vont tout d'abord au directeur du Lanavet de Garoua au Cameroun, dont l'aide a été précieuse pour la réalisation de cet essai, financé grâce au ministère français des Affaires étrangères, secrétariat à la Coopération (contrat n° 9700786300). Une partie des missions d'expert a également été financée par l'Union européenne, DG VIII, ce travail participant à un ensemble de recherches sur la péripneumonie (contrat n° 5100.35.94.917 - 5REG17).

REFERENCES

1. BLANCOU J., 1996. Les anciennes méthodes de surveillance et de contrôle de la péripneumonie contagieuse bovine. *Rev. Sci. Tech. Off. Int. Epiz.*, **15** : 1241-1262.
2. CHENG X., NICOLET J., POUMARAT F., REGALLA J., THIAUCOURT F., FREY J., 1995. Insertion element IS 1296 in *Mycoplasma mycoides* subsp. *mycoides* small colony identifies an European clonal line distinct from African and Australian strains. *Microbiol.*, **141**: 3221-3228.
3. CITTI C., ROSENGARTEN R., 1997. Mycoplasma genetic variation and its implication for pathogenesis. *Wiener klinische wochenschrift*, **109**: 562-568.
4. CURASSON G., 1942. Péripneumonie bovine. In : *Traité de pathologie exotique vétérinaire et comparée* (2^e éd.), **2** : 276-353. Paris, France, Vigot Frères.
5. GALTIER M. V., 1897. *Traité des maladies contagieuses et de la police sanitaire des animaux domestiques* (2^e éd.). Lyon, France, Le Beau Jeune Imprimeur.
6. LE GOFF C., THIAUCOURT F., 1998. A competitive ELISA for the specific diagnosis of contagious bovine pleuropneumonia (CBPP). *Vet. Microbiol.*, **60**: 179-191.
7. LEGRAND D., SOLSONA M., ROSENGARTEN R., POUMARAT F., 1996. Adaptive surface antigen variation in *Mycoplasma bovis* to the host immune response. *FEMS Microbiol. Letters*, **144**: 267-275.
8. MASUPU K.V., MAJOK A.A., AMANFU W., MULLINS G.R., 1997. The resurgence of contagious bovine pleuropneumonia (CBPP) in Botswana in 1995: epidemiological considerations and interventions. *Epidemiol. santé anim.*, Proceedings of the 8th meeting of the ISVE, Paris, France, 8-11 juillet 1997, **31-32**: 02-04.

9. NEWTON L.G., 1992. Contagious bovine pleuropneumonia in Australia: some historic highlights from entry to eradication. *Aust. Vet. J.*, **69**: 306-317.
10. PROVOST A., 1969. Principes de production d'un vaccin mixte associé antibovipestique-antipéripleumonique inoculé en un seul temps. *Bull. epizoot. Dis. Afr.*, **17** : 7-10.
11. PROVOST A., 1974. Prophylaxie et vaccination dans la péripleumonie bovine. Evolution des techniques et applications pratiques actuelles. *Rev. Elev. Med. Vet. Pays Trop.*, **27** : 145-161.
12. PROVOST A., PERREAU P., BREARD A., LE GOFF C., MARTEL J., COTTEW G.S., 1987. Péripleumonie contagieuse bovine. *Rev. Sci. Techn. Off. int. Epiz.*, **6** : 565-624.
13. REGALLA J., LEFEVRE P.C., 1996. Contagious bovine pleuropneumonia. In: Manual of Standards for diagnostic tests and vaccines, chap. 2.1.6. Paris, France, OIE, 723 p.
14. SECK B.M., 1999. PANVAC progress report. In: Final report of the 9th annual OUA/IBAR/PARC East Africa Co-ordination meeting, Machakos, Kenya, 26-28 April 1999.
15. SHERIFF D., PIERCY S.E., 1952. Experiments with avianised strain of the organism of contagious bovine pleuropneumonia. *Vet. Rec.*, **64**: 615-621.
16. THIAUCOURT F., LORENZON S., DAVID A., TULASNE J.J., DOMENECH J., 1998. Vaccination against contagious bovine pleuropneumonia and the use of molecular epidemiology tools. *Ann. N. Y. Acad. Sci.*, **849**: 146-151.
17. THIAUCOURT F., YAYA A., WESONGA H., HUEBSCHLE O.J.B., TULASNE J.J., PROVOST A., 1999. Contagious bovine pleuropneumonia: a reassessment of the efficacy of vaccines used in Africa. *Ann. N. Y. Acad. Sci.*, accepté pour publication.
18. WILLEMS L., 1852. Mémoire sur la pleuro-pneumonie épizootique du gros bétail. *Rec. méd. vét. prat.*, **9** : 401-434.

Reçu le 24.8.99, accepté le 12.1.00

Summary

Yaya A., Golsia R., Hamadou B., Amaro A., Thiaucourt F. Comparative efficacy trial of two strains of vaccines T1/44 and T1sr against contagious bovine pleuropneumonia

Contagious bovine pleuropneumonia is an infectious disease affecting cattle. It has acquired recently a growing importance in Africa. In the past, many countries had controlled the disease or even eradicated it thanks to the use of two strains of live vaccines, T1/44 and a streptomycino-resistant variant T1sr. Recent vaccinal failures with the T1sr strains had cast doubts on the identity and the efficacy of this vaccinal strain. Since then its identity has been confirmed. It was therefore necessary to verify the efficacy in controlled conditions. The two strains were used at the minimum required dose, 10^7 mycoplasmas by vaccinal dose. The experimental reproduction of the disease was obtained by endobronchial intubation of 40 animals that served as "donor" to infect vaccinated as well as control animals by contact. Transmission occurred readily and the mortality rate reached 40% among the control animals. Vaccinated animals died at a lower rate ($p = 0,054$) but the protection was only equal to 37% when considering the reduction of mortality. It is quite difficult to compare this result with older ones as many former trials were using vaccine doses with a higher content of mycoplasmas and were using a challenging strain isolated in Australia. The results obtained in this experiment pinpoint the partial protection that is afforded by a primovaccination at the minimum recommended dose. It calls for further research on more efficient vaccines and also for a better definition of the CBPP control strategies that should be urgently implemented.

Key words: Contagious bovine pleuropneumonia - Live vaccines - Efficiency - Cameroon.

Resumen

Yaya A., Golsia R., Hamadou B., Amaro A., Thiaucourt F. Estudio comparativo sobre la eficiencia de dos cepas de vacunación T1/44 y T1sr contra la perineumonía contagiosa bovina

La perineumonía es una enfermedad infecciosa que toca únicamente a los bóvidos y que presenta actualmente una recrudescencia en Africa. En el pasado, muchos países han podido controlar la enfermedad e incluso erradicarla, gracias a una profilaxis médica, basada en la utilización de dos cepas de vacunación: T1/44 y su variante resistente a la streptomycina T1sr. Fracasos recientes han puesto en duda la eficiencia y la identidad de la cepa T1sr. La identidad de la cepa ya ha sido confirmada. Era indispensable verificar la eficiencia bajo condiciones controladas. Las dos cepas fueron utilizadas en primovacunación, a las dosis mínimas recomendadas, o sea 10^7 micoplasmas por dosis de vacuna. La reproducción experimental de la enfermedad se realizó por intubación endobronquial de 40 cebúes del norte de Camerún, los cuales sirvieron para infectar por contacto a animales vacunados y a animales testigo. Todos los animales fueron seguidos clínica y serológicamente. La transmisión de la enfermedad fue un éxito y cerca de 40% de los animales testigo sucumbieron a la perineumonía. La mortalidad fue inferior en los animales vacunados, pero la diferencia se encuentra en el límite estadístico significativo ($p = 0,054$). Cualquiera que sea la cepa, la protección conferida por la vacuna, calculada sobre la reducción de la mortalidad, se únicamente avecina de 37%. La comparación de estos resultados con estudios anteriores se dificulta, debido a que prácticamente todos estos fueron realizados con dosis de vacunación mucho más elevadas y con una cepa de prueba aislada en Australia. Los resultados obtenidos subrayan el carácter parcial de la protección conferida por la vacunación practicada actualmente. Por un lado llaman a una mejor definición de las estrategias actuales de lucha contra la perineumonía y por otro al establecimiento de vacunas más eficientes.

Palabras clave: Peripneumonía contagiosa bovina - Vacuna viva - Eficacia - Camerún.

Sheep pulmonary adenomatosis (Jaagsiekte) in Libya: gross and histopathological evidence

O.A. Ali¹ E.B. Abdelsalam²

Key words

Sheep - Pulmonary adenomatosis - Lung - Carcinoma - Libyan Arab Jamahiriya.

Summary

Gross and histopathological features indicative of sheep pulmonary adenomatosis (SPA) were detected in the right lung of an old female Beriberi sheep suffering from persistent respiratory distress. These were mainly dominated by multifocal papillomatous proliferation of the alveolar epithelium associated with abundant alveolar macrophage infiltrates. Four similar cases were further spotted in a ten-year histopathological survey of the disease in Tripoli area.

■ INTRODUCTION

Sheep pulmonary adenomatosis (SPA), currently known as sheep pulmonary carcinomatosis (Jaagsiekte), is a chronically progressing pulmonary disease of adult sheep. It was initially recognized in South Africa and has now a worldwide geographic distribution with a serious impact on sheep population in affected areas (1, 4, 16, 21). The disease is characterized by broncho-alveolar carcinoma with occasional metastasis to the regional lymph nodes (8, 14). The precise aetiology of SPA has long been a controversial issue (3, 10, 17) but further morphological, biochemical and immunological advances incriminate a type D related retrovirus (11, 22, 23). This virus (Jaagsiekte sheep retrovirus, JSRV) was consistently detected in the neoplastic pulmonary epithelium of naturally and experimentally infected sheep (12, 13). The aim of this communication is to report and provide a concise pathological account of SPA in Libya. The study was conducted on a recent clinical case and retrospective material from ovine lung tissues previously submitted to the Department of Veterinary Pathology (Al-Fateh University) for routine diagnosis.

■ MATERIALS AND METHODS

The material of this investigation was composed of two parts. The first part consisted of a female fat-tailed Beriberi sheep (native Libyan breed). It was originally purchased from a local market for

teaching purposes and kept in the animal facility of the Veterinary College, Tripoli. The animal was about four years of age, in poor health and suffering from persistent respiratory distress accompanied by intermittent cough and nasal discharges. The ewe was slaughtered due to advanced emaciation and lack of responsiveness to different therapeutic agents. Post-mortem examination was immediately carried out and representative lung tissues were fixed in 10% formol-saline for routine histopathological processing and staining with hematoxylin and eosin (H&E).

The second part of the material included ready-made paraffin-wax sections of ovine lung tissues previously submitted to the Pathology Department for routine diagnosis during the past ten years (1987-1996). Numerous slides (1,114) were examined for various types of pulmonary lesions and those showing typical microscopic changes of SPA were further considered in the present study. The attached diagnostic reports were also reviewed including those based on gross examination supported by other bacteriological and parasitological findings.

■ RESULTS

Gross pathology

Post-mortem examination of the animal revealed moderate amounts of spumous fluid within the trachea and major bronchi. The costal surface of the diaphragmatic lobe of the right lung contained a single, approximately measuring 4 x 6 cm, slightly elevated nodular mass. It was white-grey and loosely demarcated from the adjacent apparently normal pulmonary parenchyma. The mass was of a moderately firm consistency and its cut surface was extremely pale and did not express an appreciable amount of fluid

Department of Veterinary Pathology, Al-Fateh University, Tripoli, Libya
Present Addresses:

1. Central Veterinary Research Laboratories, Khartoum, Sudan
2. Department of Pathology, Faculty of Veterinary Science, University of Khartoum, PO. Box 32, Khartoum North 13314, Sudan

upon press. Further palpation of the other lung lobes failed to demonstrate comparable lesions. No other remarkable changes were recognized in the rest of the respiratory system. The regional lymph nodes were not grossly enlarged but they were not examined microscopically.

Histopathology

The retrospective survey on sheep pulmonary lesions indicated that fibrinous pneumonia was the most common finding involving more than 60% of the total cases diagnosed at the Pathology Department during the designated period (1987-1996).

Pasteurella haemolytica and *P. multocida* were frequently isolated from those pneumonic lesions as shown in the departmental records. Other pulmonary lesions were diagnosed as suppurative bronchopneumonia, lung abscesses, verminous pneumonia, pulmonary tuberculosis, chronic interstitial pneumonia and chronic bronchitis. However, only four cases showed typical microscopic changes indicative of SPA. The involved animals were listed as adults with an average age of three years and a half. Other informations regarding their origin or breed were completely lacking.

The microscopic features of the fresh and old cases of SPA were basically similar and hence will be discussed together. The changes involved large portions of the examined parenchyma and were mostly confined to the alveoli with a frequent involvement of the adjacent bronchioles. The affected alveoli were lined with cuboidal to low columnar cells. These were arranged in variably protruding papillomatous structures that extended into the lumen of the alveoli (figure 1). Some of these projections tended to occlude partially or completely the lumen of many alveoli. Some of the bronchioles were also affected but their overall response was dominated by focal hypertrophy, and infrequently, hyperplasia of the lining epithelium.

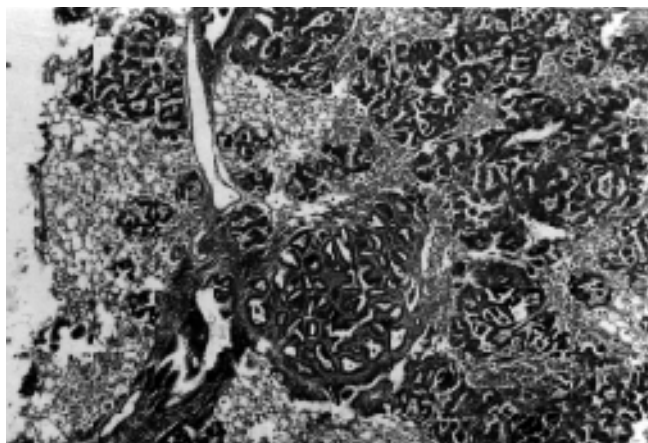


Figure 1: Lung of an aged ewe affected with SPA, with multifocal papillomatous proliferation of the alveolar epithelium (H&E X 40).

In addition, a large number of apparently unaffected alveoli were distended with numerous, closely packed large foamy macrophages (figure 2). In some cases, mononuclear cellular infiltration was occasionally accompanied by focal fibrosis or myxomatous changes that replaced considerable portion of the pre-existing lung parenchyma. Other changes of minor frequency and significance were those presented by peribronchiolar lymphocytic and phagocytic aggregates.

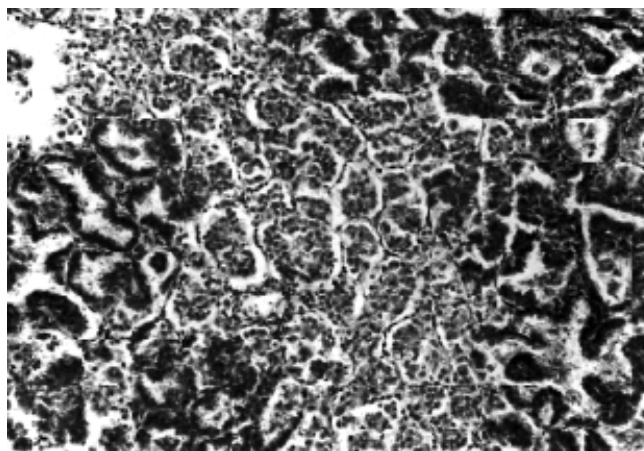


Figure 2: Lung of the same ewe, with large number of foamy macrophages present inside the apparently unaffected alveoli (H&E X 100).

DISCUSSION

The information reported here from the present clinical case combined with the retrospective data provided sufficient evidence for the presence of sheep pulmonary adenomatosis (SPA) in Libya. The most salient histopathological alterations in all affected lungs were almost similar to those previously described (4, 8, 16, 18, 20). These were mainly dominated by the distinctive multifocal papillomatous proliferation of neoplastic alveolar epithelium associated with the presence of large number of alveolar macrophages in the least affected parts of the lung tissue. However, the neoplastic proliferation of the alveolar epithelium was occasionally accompanied by some focal chronic interstitial reactions represented by focal fibrosis, mononuclear cellular infiltration, myxomatous infiltration and prebronchiolar lymphocytic aggregates. These changes were also observed with ovine lymphocytic interstitial pneumonia (maedi) which is caused by a closely related lentivirus (8, 9, 15). Nevertheless, the spontaneous occurrence of SPA and maedi in the same flock or in the same affected animal has repeatedly been reported in many other countries (5, 7, 15, 19).

SPA has been previously recognized in a number of Mediterranean countries other than Libya. For example, the disease was occasionally reported in Spain (6), Cyprus (20) and in the neighboring Tunisia (2). In the present investigation, only five cases were identified as SPA throughout the designated period of study (1987-1996). The first one was the currently described clinical case and the other four were detected out of 1,114 microscopic sections of ovine lungs showing various types of pulmonary lesions during the 10-year retrospective survey. It is apparent from these few cases that the overall incidence of SPA is fairly low in Libya as compared with some other countries (1, 2, 6, 16). However, this does not probably reflect the real epidemiological status of the disease in the whole country as the study was only confined to Tripoli area. It is quite possible that some genuine cases of SPA in the remote parts of the country might have not been properly diagnosed by local veterinarians, due to the considerable lack of adequate laboratory facilities in these areas. In addition, a number of pulmonary lesions included in the present retrospective data were grossly diagnosed as fibrinous or verminous pneumonia without further histopathological confirmation, and this would eventually reduce the chances of detecting the disease (SPA) when co-existing with any of the above-

mentioned pathological conditions. Further studies are therefore required in order to outline the extent and regional distribution of the disease throughout the country for establishing future control measures.

Acknowledgements

We are grateful to Ms Turky Adoma for technical assistance and full cooperation throughout the tedious probing task on the departmental records.

REFERENCES

1. BASSETT H.F., SHEEHAN P., 1989. Outbreak of sheep pulmonary adenomatosis in Irish Republic. *Vet. Rec.*, **124**: 46-47.
2. BOUTOURIA M., SOUSSI H., 1987. Pulmonary adenomatosis of sheep in Tunisia. *Maghreb Vet.*, **3**: 29-32.
3. COWDRY E.V., 1925. Studies on the aetiology of Jaagsiekte. *J. Expt. Med.*, **42**: 323-345.
4. CUTLIP R.C., YOUNG S., 1982. Sheep pulmonary adenomatosis (Jaagsiekte) in the United States. *Am. J. Vet. Res.*, **43**: 2108-2113.
5. DIGUARDO G., CONDOLEO R., AUTORINO L., 1992. Multicentric lymphosarcoma associated with pulmonary adenomatosis (Jaagsiekte), pulmonary lymphoid hyperplasia and lymphoid interstitial pneumonia in a ewe. *Vet. Path.*, **29**: 262-264.
6. DUALDE-PRERES C., 1963. Studies on ovine pulmonary adenomatosis in Spain. Proc. 17th World Vet. Cong. Hannover, Germany, 14-21 August 1963. **1**: 347-355.
7. GONZALEZ L., JUSTE R.A., CUERVO L.A., IDIGORAS L., SAEZ DE OCARIZ C., 1993. Pathological and epidemiological aspects of the coexistence of maedi-visna and sheep pulmonary adenomatosis. *Res. Vet. Sc.*, **54**: 140-146.
8. JUBB K.V.F., KENEDDY P.C., PALMER N., 1985. Pathology of Domestic Animals, 3rd ed., New York, NY, USA, Academic Press, Vol. 2.
9. LAIRMORE M.D., ROSADIO R.H., MARTINI J.C. DE, 1986. Ovine lentivirus lymphoid interstitial pneumonia. *Am. J. Path.*, **125**: 173-181.
10. MACKY J.M.K., 1969. Tissue culture studies on sheep pulmonary adenomatosis (Jaagsiekte). *J. Comp. Path.*, **79**: 141-146.
11. PALMARINI M., COUSENS C., DALZIEL R.G., BAI J., STEDMAN K., MARTINI J.C. DE, SHARP J.M., 1996. The exogenous form of jaagsiekte retrovirus is specifically associated with a contagious lung cancer of sheep. *J. Virol.*, **70**: 1618-1623.
12. PALMARINI M., DEWAR P., HERAS J.M. DE LAS, INGLIS N.F., DALZIEL R.G., SHARP J.M., 1995. Epithelial tumour cells in the lungs of sheep with pulmonary adenomatosis are major sites of replication for jaagsiekte retrovirus. *J. Gen. Virol.*, **76**: 2731-2737.
13. PALMARINI M., HOLLAND J.M., COUSENS C., DALZIEL R.G., SHARP J.M., 1996. Jaagsiekte retrovirus establishes a disseminated infection of the lymphoid tissues of sheep affected by pulmonary adenomatosis. *J. Gen. Virol.*, **77**: 2991-2998.
14. PERK K., 1982. Slow virus infection in ovine lung. *Adv. Vet. Sci. Comp. Med.*, **26**: 267-288.
15. ROSADIO R.H., SHARP J.M., LAIRMORE M.D., DAHLBERG J.E., MARTINI J.C. DE, 1988. Lesions and retroviruses associated with naturally occurring ovine pulmonary carcinoma (sheep pulmonary adenomatosis). *Vet. Path.*, **25**: 58-66.
16. SHIRLAW J.F., 1959. Studies on Jaagsiekte in Kenya. *Bull. Epiz., Dis. Afr.*, **7**: 287-302.
17. SMITH W., MACKAY J.M.K., 1969. Morphological observations on a virus associated with sheep pulmonary adenomatosis (Jaagsiekte). *J. Comp. Path.*, **79**: 421-424.
18. STEVENSON R.G., REHUMTULLA A.J., THOMSON R.G., 1980. Pulmonary adenomatosis (Jaagsiekte) in sheep in Canada. *Can. Vet. J.*, **21**: 267-286.
19. SYNDER S.P., MARTINI J.C. DE, AMEGHINO E., CALETTI E., 1983. Coexistence of pulmonary adenomatosis and progressive pneumonia in sheep in the central Sierra of Peru. *Am. J. Vet. Res.*, **44**: 1334-1338.
20. TOUMAZOS P., 1989. First report of sheep pulmonary adenomatosis in Cyprus. *Br. Vet. J.*, **145**: 289-290.
21. WANDRA J.G., 1971. Sheep pulmonary adenomatosis. *Adv. Vet. Sc. Comp. Med.*, **15**: 251-283.
22. YORK D.F., VIGNE R., VERWOERD D.W., QUERAT G., 1991. Isolation, identification and partial DNA cloning of genomic RNA of jaagsiekte retrovirus, the aetiological agent of sheep pulmonary adenomatosis. *J. Virol.*, **65**: 5061-5067.
23. YORK D.F., VIGNE R., VERWOERD D.W., QUERAT G., 1992. Nucleotide sequence of the jaagsiekte retrovirus, an exogenous and endogenous type D retrovirus of sheep and goats. *J. Virol.*, **66**: 4930-4939.

Reçu le 28.9.98, accepté le 23.11.99

Résumé

Ali O.A., Abdelsalam E.B. Adénomotose pulmonaire chez un ovin en Libye : description macroscopique et histopathologique

Les caractéristiques générales et histopathologiques d'adénomotose pulmonaire ovine ont été mises en évidence dans le poumon droit d'une brebis âgée de race Beriberi, qui souffrait de détresse respiratoire persistante. Ces caractéristiques étaient principalement la prolifération papillomateuse multifocale de l'épithélium alvéolaire, avec d'abondantes infiltrations alvéolaires des macrophages. Quatre cas semblables ont été identifiés à partir du matériel obtenu pendant dix années d'études histopathologiques sur la maladie dans la région de Tripoli.

Mots-clés : Ovin - Adénomotose pulmonaire - Carcinome - Poumon - Jamahiriya arabe libyenne.

Resumen

Ali O.A., Abdelsalam E.B. Adenomatosis pulmonar ovina (Jaagsiekte) en Libia: evidencia general e histopatológica

Características generales e histopatológicas indicativas de adenomatosis pulmonar ovina, fueron detectadas en el pulmón derecho de una vieja oveja hembra Beriberi, presentado dificultad respiratoria persistente. Estas fueron principalmente dominadas por proliferación papilomatosa multifocal del epitelio alveolar, asociada con abundantes infiltrados de macrófagos alveolares. Cuatro casos similares fueron detectados en durante diez años de estudio histopatológico de la enfermedad en el área de Trípoli.

Palabras clave : Ovino - Adenomatosis pulmonar - Carcinoma - Pulmones - Jamahiriya arabe libia.

Seroprevalence of Newcastle disease in local chickens from Southeast derived savannah zone of Nigeria

L.J.E. Orajaka¹ D.F. Adene² B.M. Anene¹
E.A. Onuoha¹

Key words

Chickens - Newcastle disease -
Immunodiagnosis - Morbidity -
Season - Nigeria.

Summary

A serologic surveillance study was conducted in the Southeastern zone of Nigeria to document some operative epidemiologic factors which determine Newcastle disease (ND) epizootic in village chickens of the area. A high seroprevalence, indicator of ND virus activity of 63%, was recorded in the birds. Infection was widespread as no single village chicken population was free of ND. A seasonal pattern of ND virus activity is depicted by a higher prevalence and intensity of ND virus activity (HI titres) in the dry season (harmattan) than wet season. Egg-yolk hemagglutination inhibition test is proposed as a useful methodology for smaller scale survey or for commercial poultry with no constraints in egg supply. The implications of the results for a vaccinal control of ND in the area are discussed.

■ INTRODUCTION

Newcastle disease is a viral and often fatal disease that affects a wide range of avian hosts, irrespective of age. It has been a cause of great set back in poultry production throughout the world. Indeed in Africa and Asia, it is a major constraint to the development of the village poultry sub-sector (2, 11).

The main control method for ND is by vaccination using the conventional vaccines. Generally, routine vaccination is undertaken in the intensive and commercial poultry. For rural scavenger chickens in which vaccination is rarely done, the stocks remain highly susceptible with periodic decimation of flocks by the disease and the attendant economic losses (1, 3). In view of the enormous economic importance of ND, indications are that local poultry farmers would welcome ND vaccinations capable of protecting the local chickens (3). For vaccination to be an effective method for controlling ND, there is the need to study the epidemiology of the disease in different ecological zones.

The objective of this study was therefore to investigate the operative epidemiological factors that specifically determine ND epizootic in village poultry in Southeastern Nigeria.

■ MATERIALS AND METHODS

The study area

The study covered five Local Government Areas (LGAs) in two states, Anambra and Enugu respectively located within the tropical, humid and derived savannah zone of Southeastern Nigeria. Southeastern Nigeria is situated between 4°21' and 7°5' N and 6° and 10° E. The temperature varies usually from 27°C to 35°C. The hottest months are February to April while the coldest period is between December and January during the harmattan. Rainfall is seasonal, being wet during April to October and dry from late October to early April (4, 7).

Sampling

Blood samples for serum, and egg for egg yolk extraction were collected from village adult chickens of varying ages and sexes. Chicks blood was collected on filter paper while non-embryonated local chicken eggs used were bought randomly from households. The study covered part of rainy season (May-July, 1998) and part of dry season (harmattan, December, 1998).

Serum collection

Test materials were composed of chicken sera harvested from clotted venous blood and later centrifuged at 3000 revolutions per minute (RPM) and chloroform extract from egg yolks.

1. Faculty of Veterinary Medicine, University of Nigeria, Nsukka, Nigeria
E-mail: misunn@aol.com

2. Faculty of Veterinary Medicine, University of Ibadan, Nigeria

Antigen

Newcastle disease vaccine virus *lasota* strain obtained from National Veterinary Research Institute (NVRI), Vom, was used as antigen after reconstitution of 200 dose vial in 8 ml of distilled water.

Indicator

0.5% washed chicken red blood cells (RBC) suspension was prepared essentially as described by Wosu (1984).

Hemagglutination (HA) test

The HA test was done by the microtest method using two-fold serial dilutions of 50 µl of reconstituted vaccinal virus (antigen), and 50 µl of the 0.5% chicken RBC was added to each well. Equivalent volume of chicken RBC suspension, added to wells containing PBS alone, served as control. The plate was gently tapped to mix the contents and after 45 min of incubation at room temperature, the end point of the HA was read. The titre was taken as the reciprocal of the highest dilution giving a 100% agglutination of the 0.5% chicken RBC. This amount of virus also represents one hemagglutination (HA) unit.

Hemagglutination inhibition (HI) test

The HI test was performed using beta-technique (constant virus and varying serum) against 4 HA units of virus computed from the results of the HA titration. Doubling dilutions (50 µl) of the different chicken sera or egg yolk extract were reacted with 50 µl of 4 HA units of the antigen suspension per well. The mixture was tapped gently to mix and allowed to stand for 30 min at room temperature for antigen-antibody reactions to take place. Antigen control wells were also included. 50 µl of 0.5% washed chicken RBC was added to all the wells and tapped to mix, incubated and

read after 45 min. The titres were taken as the reciprocal of serum or egg yolk dilutions giving 100% inhibition of the chicken RBC.

Statistical analysis

The data collected were statistically analyzed using completely randomized ANOVA to determine significant differences. The least significant difference (LSD) procedure was used to detect means causing any significant "F" values (10, 12).

RESULTS

A total of 763 samples comprising 317 hens, 119 cocks, 175 growers, 38 chicks blood on filter paper and 114 local chicken eggs were tested. Newcastle disease seroprevalences in the different locations and categories of samples tested is shown in table I. Of the 649 birds (hens, cocks, growers and chicks) and 114 eggs tested, seroprevalences of 63% and 91.2% respectively were recorded. Among the birds, the prevalences were 73.3% in the cocks, 65.3% in the hens, 60% in the growers and 34.2% in the chicks which were significantly different ($p < 0.01$). Significant differences also existed between the LGAs ($p < 0.01$) with ND seroprevalences ranging from 52.4 to 79.9%. No individual village or batch of chickens was ND free; seroprevalence in village batches ranged from 42.2 to 93.2%. Peak prevalence occurred in Akpo (93.2%) in Anambra State, and Obollo-Afor (78.2%) in Enugu State.

Table II shows the seasonal (harmattan and wet season) distribution of ND seroprevalence. There was a significant seasonal effect ($p < 0.01$) between the wet season (58%) and harmattan (90%).

The analysis of HI titres is presented in table IIIa and IIIb. The titres ranged from 1 log₂ to 11 log₂. The percentage distribution of the titres showed that greater percentage of titres above 6 log₂ were recorded in harmattan (35%) than wet season (14.2%).

Table I

Total sero-prevalence of ND in local chickens in the Eastern zone, Nigeria

State	Local Govt Area	Villages	Serum samples (No. tested)				Egg Yolk No. tested	Total No. tested	
			Hens	Cocks	Growers	CBFP*		Village	LGA
Anambra	Aguata	Akpo	33 (97)	14 (93)	24 (100)	4 (25)	13 (92)	88 (93)	139 (79.9) ^f
		Nkpologwu	19 (68)	4 (75)	20 (45)	5 (40)	3 (67)	51 (57)	
	Dunukofia	Nagbana	20 (30)	5 (0)	10 (80)	5 (20)	5 (80)	45 (42)	98 (52) ^e
		Mbuke	21 (71)	4 (100)	19 (42)	5 (40)	4 (75)	53 (60)	
Enugu	Nsukka	Amofie	18 (56)	2 (50)	20 (65)	5 (40)	5 (100)	50 (62)	138 (65.9) ^{ef}
		Amora	25 (76)	13 (85)	28 (54)	6 (33)	16 (18)	88 (68)	
	Igbo-eze	Ovoko	35 (60)	18 (67)	21 (38)	5 (40)	16 (94)	95 (61)	200 (57.5) ^{ef}
		Ibagwa	47 (43)	18 (67)	22 (50)	3 (33)	15 (87)	105 (54)	
	Udenu	Obollo-afor	99 (72)	41 (73)	11 (82)	-	37 (100)	188 (78)	188 (78.2) ^f
Total			317 (65) ^b	119 (72) ^{ab}	175 (60) ^b	38 (34) ^c	114 (91) ^a	763 (68)	763 (68)

* CBFP : Chichen blood on filter paper

Numbers in parenthesis indicate proportion of seropositives; a, b, c: proportion of seropositives (row totals) with different superscript are highly significant ($p < 0.01$); e, f: proportion of seropositives (column total) with different superscript are significant ($p < 0.05$)

Table II

Analysis of seroprevalence of ND in local chickens in the Southeastern zone, Nigeria, according to season

Local Govt Area	Number of samples tested*				Total
	Hens	Cocks	Growers	Egg Yolk	No tested
Harmattan					
Aguata	16 (100)	4 (100)	7 (100)	10 (100)	37 (97)
Nsukka	15 (100)	8 (100)	3 (100)	11 (82)	37 (95)
Igbo-eze South	33 (91)	24 (88)	13 (92)	21 (91)	91 (90)
Udenu	45 (80)	21 (81)	9 (100)	20 (100)	95 (86)
Total	109 (89)	57 (88)	32 (97)	62 (92)	260 (90) ^a
Wet season					
Aguata	36 (81)	14 (86)	37 (70)	6 (83)	93 (77)
Nsukka	28 (50)	7 (52)	45 (56)	10 (90)	90 (58)
Igbo-eze South	49 (23)	12 (25)	30 (23)	10 (90)	101 (33)
Udenu	54 (65)	20 (65)	2 (0)	17 (100)	93 (70)
Total	167 (53)	53 (62)	114 (51)	43 (93)	377 (58) ^b

* Samples from Dunukofia LGA (98) and chicks (38) excluded from analysis because collection was done only for wet season; a, b: highly significantly different ($p < 0.01$)

Table IIIa

Distribution of ND antibody titres (\log_2) of samples tested

Titre \log_2	Hens	Cocks	Growers	Egg Yolk	Blood on filter paper	Total
1	110	33	70	10	25	248
2	16	6	15	8	12	57
3	15	17	10	12	1	55
4	35	14	23	10	-	82
5	28	12	18	20	-	78
6	34	11	19	22	-	86
7	28	10	7	12	-	57
8	27	8	10	13	-	58
9	12	4	-	4	-	20
10	10	4	2	2	-	18
11	2	-	1	1	-	4
Total	317	119	175	114	38	763

Total seropositive = 515 (67.5%)

Table IIIb

Distribution of ND antibody titres (\log_2) of samples tested in local chickens, according to season

	Ranges of \log_2 titres				Total sampled
	1-3	4-6	7-9	10-11	
Harmattan					
Hen	6	50	34	7	109 (89)
Cock	17	17	12	4	57 (88)
Grower	3	19	6	3	32 (97)
Egg Yolk	9	23	23	2	62 (92)
Total	35 (15)	109 (46)	75 (32)	16 (7)	260 (90)
Wet season					
Hen	25	47	33	5	208 (53)
Cock	6	20	10	-	62 (58)
Grower	22	41	11	-	143 (52)
Egg Yolk	11	29	6	1	52 (90)
Total	64 (24)	137 (51)	60 (23)	6 (2)	465 (57)

Numbers in parenthesis indicate percentage positive
13 seropositive chicks blood on filter paper not taken into account in table III

DISCUSSION

Newcastle disease seroprevalence (ND virus activity) in village chickens has been determined in a larger geopolitical scale than hitherto. The results indicate that in all the LGAs covered by the survey, ND prevalence was 63% and 91% in the chicken and egg yolk samples respectively. However, some LGAs like Aguata in Anambra State and Udenu in Enugu State recorded significantly higher ND seroprevalence rates. The successful development and adaptation of the methodology for egg-yolk HI serology (EYS) in this study is noteworthy. The comparison of the EYS with serum HI titres showed considerable similarity. It could thus serve as a substitute for sera in HI serology especially for smaller scale survey or for commercial poultry with no constraint in egg supply. The ND seroprevalence of 63% recorded in local fowls in this study is lower than 73% reported in Zaria Northern zone (5) and much higher than seroprevalences of 38% and below recorded

around Ibadan, Southwestern zone, (6, 8, 9). These regional differences in ND seroprevalence connote ecological variations in ND virus activity and may perhaps be a reflection of the impact of environment on the viability of ND virus, spread and epizootiology of ND.

The observation that no individual village or batch of chickens was ND free indicates that ND is widespread in the area studied. Similarly, the occurrence of high ND antibody titres (7-11 \log_2) in some samples implies high ND virus activities in such foci. This would seem to suggest that the application of foci targeted ND control strategy in such circumstances might be a useful supplementary control method.

Data also portrayed a seasonal pattern of ND outbreaks with higher prevalence and greater proportion of high ND antibody titres in the harmattan period than the wet season. This revelation suggests a more intense ND virus activity at this time of the year

and provides impetus for a pre-harmattan target for annual and cost effective ND vaccination. This proposal could benefit from additional investigation in the future. This is especially noteworthy because conventional ND vaccination strategies with repeat flock boosters are hardly achievable in normal scavenger poultry.

In conclusion, this present study has confirmed the endemicity of ND in the area studied. It also reveals some epizootiologic basis for the formulation of ND control strategy in the future.

Acknowledgements

This project was funded by the World Bank assisted National Agricultural Research project under the RGS 029. We also gratefully acknowledge the cooperation of Mr. Augustine Ngene, laboratory technologist, Department of Veterinary Medicine, University of Nigeria, Nsukka.

REFERENCES

- ADENE D.F., 1997. Diseases of Poultry in Nigeria: An overview of the problems and solution. *Trop. Vet.*, **15**: 103-110.
- CHABEUF N., 1990. Disease prevention in smallholder village poultry production in Africa. In: Proc. Small Rural Poultry Prod., CTA/DLG, Thessaloniki, Greece, 1990, **1**: 129-137.
- CUMMING R.B., 1991. Village chicken production: Problems and potential. In: Proc. Newcastle disease in village chickens, ACIAR, Kuala Lumpur, Malaysia, 6-10 October 1991, p. 21-24.
- EZEDINMA F.O.C., 1976. Weather and annual crop production in rainforest zone of Southern Nigeria. In: Anazodo G.N., Odigboh E.U., eds, Appropriate approaches for accelerated food production in the rainforest zones of Nigeria. Proc. Symp., Dept. of Agr. Engineering, University of Nigeria, Nsukka, Nigeria, 10-11 September 1976, p. 59-69.
- EZEKOLI C.D., UMO J.O., ADESIYUN A.A., ABDU P., 1984. Prevalence of Newcastle disease virus antibodies in local and exotic chicken under different management system in Nigeria. *Bull. Anim. Health. Prod. Afr.*, **32**: 253-257.
- HILLS D.H., DAVIS O.S. WILDE J.K.H., 1997. A retrospective study of Newcastle disease in Ibadan. In: Proc. Nigeria Society for animal production, 23-27 March 1997, ABU, Zaria, Nigeria.
- OKAFOR F.C., 1990. Distribution of freshwater gastropods in the lower river Niger and cross river basins of Southeastern Nigeria. *Beitr. Trop. Landwirtsch. Vet. Med.*, **28**: 207-216.
- OYEWOLA K.A., OGUNDIPE G.A.T., DUROJAIYE O.A., 1996. Seroprevalence of Gumboro and Newcastle disease in local chickens in Ibadan, Nigeria. *Bull. Anim. Health. Prod. Afr.*, **34**: 57-59.
- SAIDU L., NWAGU B.I., OTCHERE E.O., 1994. Diseases of Nigerian Indigenous chicken. *Bull. Anim. Health. Prod. Afr.*, **42**: 17-28.
- SNEDECOR G.W., COCHRAN G., 1967. Statistical Methods. Iowa State University Press, Ames, Iowa, U.S.A. p. 258-334.
- SPRADBROW P., 1997. Policy framework for smallholder rural poultry development. In: Proc. Int. Workshop on Sustainable Poultry Production in Africa, Addis Ababa, Ethiopia, 1995, p. 30-39.
- STEEL R.G., TORRIE, H.H., 1980. Principles and procedures of Statistics, 2nd ed. New York, NY, USA, Mc Graw Hill Inc., 87 p.
- WOSU L.O., 1984. Standardization of erythrocytes concentrations of hemagglutination tests and for removal of natural serum hemagglutinins. *Nig. Vet. Journ.*, **13**: 39-42.

Reçu le 20.1.99, accepté le 21.3.00

Résumé

Orajaka L.J.E., Adene D.F., Anene B.M., Onuoha E.A. Sero-prevalence de la maladie de Newcastle chez des poulets d'élevage fermier dans la zone de savanes au sud-est du Nigeria

Une étude de surveillance sérologique a été conduite dans la zone sud-est du Nigeria pour obtenir des informations sur certains facteurs épidémiologiques responsables des épizooties de la maladie de Newcastle (Newcastle Disease, ND) chez les poulets d'élevages fermiers de la région. Un taux élevé de séroprévalence — une indication de la présence du virus —, 63%, a été observé chez les volailles. L'infection était largement répandue car aucune des populations de volailles n'était indemne de la maladie de Newcastle. Une activité saisonnière du virus se manifeste par une prévalence plus élevée et une activité virale plus intense (titres d'hémagglutination) durant la saison sèche et froide (harmattan) que durant la saison des pluies. La technique d'inhibition de l'hémagglutination à partir du jaune d'œuf est proposée comme une technique utile pour une petite enquête ou pour des élevages commerciaux de volailles sans contraintes d'approvisionnement en œufs. Les conséquences de ces résultats sur le contrôle de la maladie de Newcastle par la vaccination dans la région sont discutées.

Mots-clés : Poulet - Maladie de Newcastle - Immuno-diagnostic - Morbidité - Saison - Nigeria.

Resumen

Orajaka L.J.E., Adene D.F., Anene B.M., Onuoha E.A. Prevalencia serológica de la enfermedad de Newcastle en pollos locales de la zona derivada de la sabana sudeste en Nigeria

Se llevó a cabo un estudio de observación serológica en la zona sudeste de Nigeria, con el fin de documentar algunos factores epidemiológicos operativos, determinantes de la enfermedad de Newcastle (ND), epizootica en los pollos de los pueblos de la zona. Se detectó una alta seroprevalencia en las aves, indicador de un 63% de actividad del virus de ND. La infección se encontró ampliamente distribuida, debido a que ninguna población avícola de los pueblos de la zona estuvo libre de ND. Se observa un patrón estacional de la actividad del virus de ND, representado por una mayor intensidad y una mayor prevalencia de la actividad del virus de ND (títulos HI) en la estación seca (harmattan) que en la estación húmeda. Se propone el test de inhibición de la hemagglutinación de la yema de huevo como un método útil en estudios de menor escala o para aves comerciales sin restricciones en el suplemento de huevos. Se discuten las implicaciones de los resultados de un control mediante vacunación de ND en el área.

Palabras claves: Pollo - Enfermedad de Newcastle - Inmuno-diagnostico - Morbosidad - Estaciones del año - Nigeria.

Etude comparative de protocoles de vaccination contre la maladie de Newcastle dans les élevages modernes de poules pondeuses au Sénégal

E. Cardinale¹ F. Tall² P. Kane² A. Moisan¹
en collaboration avec le Cotavi³

Mots-clés

Poule pondeuse - Maladie de Newcastle - Vaccination - Elevage intensif - Sénégal.

Résumé

Plusieurs protocoles de vaccination contre la maladie de Newcastle sont utilisés au Sénégal sur les poulettes futures pondeuses en élevage moderne. Cependant, chaque année, cette virose se manifeste par des mortalités ou des chutes de ponte qui grèvent le budget des exploitants de la filière. Afin de déterminer l'efficacité de la prophylaxie médicale mise en œuvre, on a procédé à une comparaison des différents schémas de vaccination dans les conditions réelles de production. Il s'avère que les programmes vaccinaux comportant essentiellement des vaccins vivants fournissent une moins bonne protection que ceux qui ont recours aux vaccins inactivés huileux injectables, sans doute à cause du manque de technicité dans l'administration des vaccins vivants. Une primo vaccination associant un vaccin vivant administré individuellement par trempage du bec et une injection de vaccin inactivé huileux procure une bonne protection pendant les dix premières semaines de la vie. Une nouvelle injection à cette période permet d'assurer une couverture pendant toute la durée de l'élevage de la poulette et améliore l'effet de la vaccination par injection à l'entrée en ponte. Dès lors, aucun rappel n'est nécessaire jusqu'à la réforme des pondeuses.

■ INTRODUCTION

Depuis quelques années, avec l'explosion de la démographie urbaine et la demande accrue en protéines animales, certaines grandes villes africaines ont vu se développer une aviculture industrielle à leur périphérie. Au Sénégal notamment, ce secteur connaît un véritable essor depuis 1990 avec la multiplication des élevages de poules pondeuses qui ont vu progresser leur production de 45 p. 100 en huit ans (211 millions d'œufs en 1997). Malgré l'importance de ce développement, de nombreux facteurs limitants pèsent encore sur cette filière. La maladie de Newcastle en demeure un des fléaux majeurs ; en 1995, elle a entraîné la mort de 60 000 volailles en élevage moderne.

Aujourd'hui, elle est de mieux en mieux maîtrisée par l'application de protocoles de vaccination adaptés à la situation épidémiologique ; cependant, il existe toujours des foyers cliniques et beaucoup d'exploitations présentent des chutes de ponte liées à des passages de paramyxovirus sauvages. Actuellement, il importe donc d'identifier, parmi les plans de prophylaxie médicale utilisés, ceux qui

protègent non seulement contre les manifestations cliniques mais aussi contre les chutes de ponte afin de préserver la production des poules pondeuses jusqu'à leur réforme.

Objectif

Trois protocoles sont couramment utilisés pour protéger les poules pondeuses durant leur vie économique (tableau I). Il s'agissait ici de vérifier quel protocole répondait le mieux aux réalités du terrain en assurant une protection maximale.

La qualité de cette protection est estimée par le titrage des anticorps sériques (inhibition de l'hémagglutination) ; bien que l'épreuve virulente soit le seul moyen de mesurer la protection globale des animaux, la recherche des anticorps permet de mettre en évidence indirectement une infection ou une prise vaccinale (11, 13).

■ MATERIEL ET METHODES

Prélèvements

Le choix des élevages enquêtés a été imposé par la présence de lots d'âge requis pour la réalisation des prélèvements. Les prélèvements ont été effectués sur les poules pondeuses de 90 bandes : 17 bandes ont bénéficié du premier protocole, 38 du deuxième et 34 du troisième. Les prises de sang ont été effectuées (20 par âge

1. Cirad-emvt/Isra-Lnerv, BP 2057, Dakar-Hann, Sénégal

2. Isra-Lnerv, BP 2057, Dakar-Hann, Sénégal

3. Collectif des techniciens avicoles

Tableau I

Protocoles de vaccination utilisés contre la maladie de Newcastle

	1 ^{re} administration	2 ^e administration	3 ^e administration	4 ^e administration
Protocole 1	Jour 1 - VV * par trempage du bec - VIH ** injectable (1/2 dose)	Jour 56 - VIH injectable (1 dose) - VV	Jour 126 VIH injectable (1 dose)	
Protocole 2	Jour 1 - VV par trempage du bec - VIH injectable (1/2 dose)	Jour 45 VV en eau de boisson	Jour 75 VV en eau de boisson	Jour 126 VIH injectable (1 dose)
Protocole 3	Jour 1 VV par trempage du bec	Jour 45 VV en eau de boisson	Jour 75 VV en eau de boisson	Jour 126 VIH injectable (1 dose)

* VV : vaccin vivant ; ** VIH : vaccin inactivé huileux

donné) au niveau de la veine alaire (venoject) à 80, 140, 280 jours et en fin de ponte — à 73 semaines — par des vétérinaires privés évoluant dans le domaine de l'aviculture.

L'unité statistique considérée était la bande puisque l'intérêt d'un tel protocole était de savoir si celle-ci est protégée ou non face à la maladie.

Analyses de laboratoire

En raison de la lourdeur de la technique à mettre en œuvre pour détecter les anticorps neutralisants, seuls les anticorps inhibant l'hémagglutination ont été détectés selon la méthode indiquée par Picault (13).

Interprétation et analyse des données

La qualité de la protection du cheptel est estimée en fonction de la moyenne géométrique des titres individuels. Le traitement statistique des données a été fait sous S-Plus (16).

Les analyses n'ont pas été effectuées sur les données brutes puisque la première exploration a montré une hétérogénéité de la variance. Les données ont été transformées à l'aide de la méthode de Box et Cox (5) afin de poursuivre l'investigation.

La première approche a consisté à évaluer la protection conférée par chaque protocole par une comparaison des titres moyens avec les seuils de protection à âge donné : titres Iha 4 (en \log_2) à 80 jours, titres Iha 9 aux autres âges (test de Student).

Au cours d'une deuxième approche, les moyennes des titres des protocoles ont été comparées afin d'identifier le protocole assurant la meilleure protection (analyse de variance).

■ RESULTATS

Protection respective des protocoles

Un des objectifs de l'étude était de s'assurer de la protection vaccinale des animaux aux différents âges considérés. Pour cela, une comparaison avec les valeurs seuil a été effectuée (tableau II).

Les résultats montrent qu'à 80 jours, les trois protocoles sont significativement différents de la valeur seuil (4 unités Iha en \log_2). Pour les autres âges, les conclusions sont différentes en fonction des protocoles. Ainsi à la 73^e semaine (510 jours), le protocole 1

est significatif par rapport à la valeur seuil alors que les deux autres vaccinations ne le sont pas. A 280 jours, le protocole 3 est statistiquement significatif par rapport à la valeur seuil (9 unités Iha en \log_2) car la moyenne du titre est nettement inférieure à la valeur seuil de protection vaccinale. Ces informations sont confirmées par un graphique (figure 1).

Le protocole 1 semble être le seul à assurer une protection à tous les âges de la vie économique de la poule pondeuse.

Protection comparée des protocoles

L'analyse de variance globale sur les trois protocoles indique une différence significative ($p < 0,0001$). A âge donné, les résultats sont recensés dans le tableau III.

A 80 jours, il n'existe pas de différence significative entre les trois protocoles. En revanche, les protocoles 1 et 2 sont statistiquement différents de 3 à 140 jours. Enfin, à la 73^e semaine, le protocole 1 est statistiquement différent des deux autres. D'après les valeurs des moyennes et des tests, le traitement 1 semble donc plus efficace que les autres protocoles à tous les âges donnés.

■ DISCUSSION

La méthode choisie pour évaluer les anticorps post-vaccinaux est celle de l'inhibition de l'hémagglutination (Iha) (8). Celle-ci comporte des inconvénients car un titre faible en anticorps Iha ne signifie pas forcément une absence de protection. En effet, dans certains cas, des sujets dépourvus de ces anticorps résistent à l'épreuve virulente (13) ; cependant ces cas restent rares. En revanche, lorsqu'un animal présente un titre élevé, la protection contre la maladie de Newcastle est garantie. En outre, cette méthode fait appel à un test à la fois rapide, léger et qui permet d'obtenir des résultats quantitatifs individuels (1). Pour ces raisons et tenant compte des conditions locales de travail, cette méthode a été préférée.

La primo vaccination à 1 jour associant un vaccin vivant et un vaccin inactivé huileux (protocoles 1 et 2) reste une méthode réservée aux oiseaux de valeur et aux reproducteurs, mais elle s'impose dans les pays où la maladie de Newcastle revêt un caractère d'extrême gravité (13) comme c'est le cas au Sénégal (7). Son efficacité est indéniable et conditionne la protection de la poule pondeuse durant toute sa vie (15). Les programmes de vaccination qui comprennent un vaccin inactivé huileux à 1 jour donnent en effet

Tableau II
Protection respective des protocoles à âge donné

Age (en jours)	Valeur seuil (unités lha) en \log_2	Probabilité du test statistique		
		Protocole 1	Protocole 2	Protocole 3
80	4	$p < 0,0001$	$p < 0,0001$	$p < 0,0002$
140		$p < 0,0001$	$p < 0,0001$	$p \geq 0,7937$
280	9	$p < 0,0257$	$p \geq 0,8368$	$p < 0,0052$
510		$p < 0,0016$	$p \geq 0,3227$	$p \geq 0,3844$

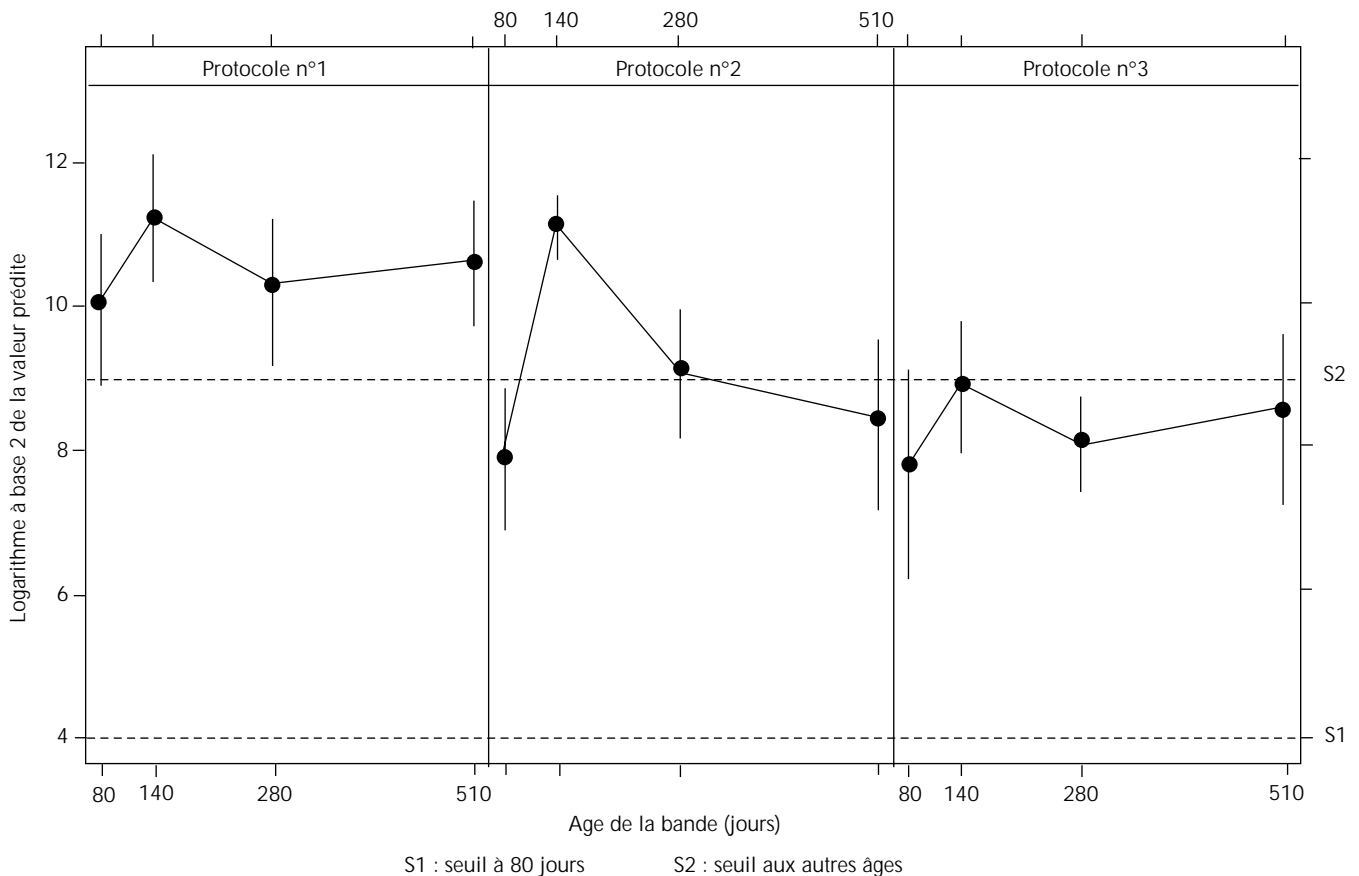


Figure 1 : représentation graphique des moyennes et des intervalles de confiance des titres des trois protocoles à âge donné.

une couverture satisfaisante (2) contrairement à ceux qui n'emploient que des vaccins vivants. Cette association est intéressante parce que l'administration du vaccin vivant permet une installation précoce de l'immunité (3 jours) mais de durée assez courte (moins de 6 semaines) ; l'injection de vaccin inactivé huileux induit une immunité plus tardive (15 jours) mais beaucoup plus longue (8 mois) et assure une protection élevée (9, 11).

La vaccination par trempage du bec à 1 jour a été adoptée en raison de la protection qu'elle induit (13) ; celle-ci s'installe plus rapidement et de façon plus intense que dans le cas d'une vaccination en eau de boisson, sans doute par sa proximité avec la glande de Harder. De plus, le vaccin n'est pas évacué dans le tube digestif (voie moins immunogène) (13). Les autres essais réalisés sur la vaccination contre la maladie de Newcastle en milieu tropical confirment l'efficacité de cette méthode individuelle (12).

Les différences entre les résultats des protocoles mettent en évidence plusieurs problèmes.

Tout d'abord, il semble qu'il y ait des difficultés liées à l'administration des vaccins dans l'eau de boisson ; plusieurs hypothèses peuvent intervenir dans l'explication des échecs observés lors de ce type de vaccination :

- la mauvaise conservation du vaccin, lorsqu'il est entreposé à température ambiante ou, s'il est réfrigéré, lors des fréquentes coupures d'électricité qui ne permettent pas le maintien de la température de 2 à 8 °C (10) ;
- la mauvaise concentration vaccinale (6) notamment lors d'un abreuvement trop long (souvent supérieur à une heure), surtout pendant la période chaude ;
- l'utilisation d'eau de mauvaise qualité comme l'eau de puits dont la potabilité organique et minérale n'a pas été vérifiée (10) ;
- la présence de désinfectants dans l'eau utilisée, en particulier l'eau de Javel ajoutée à l'eau du réseau public afin d'en assurer la potabilité bactériologique ;

Tableau III

Comparaison des moyennes des titres des protocoles à âge donné

Age (en jours)	Protocoles	Intervalle de confiance *		Signification
		Bornes inférieures	Bornes supérieures	
80	1 vs ** 2	- 0,14	10,4	n.s.
	1 vs 3	- 0,74	11,6	n.s.
	2 vs 3	- 4,93	5,59	n.s.
140	1 vs 2	- 4,34	5,44	n.s.
	1 vs 3	1,36	12,1	s.
	2 vs 3	2,38	9,96	s.
280	1 vs 2	- 2,16	8,56	n.s.
	1 vs 3	0,65	10,4	s.
	2 vs 3	- 1,43	6,07	n.s.
512	1 vs 2	0,2	11,3	s.
	1 vs 3	0,04	11,1	s.
	2 vs 3	- 5,69	5,37	n.s.

* la différence est significative lorsque l'intervalle de confiance ne contient pas la valeur 0

** versus

- les abreuvoirs mal nettoyés qui contiennent des souillures organiques pouvant receler elles-mêmes des organismes capables d'inactiver le vaccin ;

- l'utilisation d'abreuvoirs métalliques, riches en ions métalliques inactivant le vaccin (10) ;

- l'utilisation de vaccins conditionnés différemment pour correspondre à la taille des élevages (souvent inférieure à 1 000 sujets) ;

- l'insuffisance du nombre d'abreuvoirs par rapport à l'effectif total.

Il est donc souhaitable d'initier les éleveurs aux bonnes pratiques de vaccination (11) et d'adopter des vaccins inactivés injectables contre la maladie de Newcastle (4) qui confèrent une protection de meilleure qualité aux animaux (3). Cependant, l'injection intramusculaire nécessite d'avoir un bon matériel (seringues en parfait état de marche, aiguilles adaptées...) et doit être effectuée avec précaution (vérification régulière du volume de vaccin administré, injection faite véritablement dans le muscle et non déversée sur la peau) (11).

L'utilisation de vaccins inactivés huileux injectables à 18 semaines, c'est-à-dire à l'entrée en ponte, permet d'assurer une immunité de longue durée (1), théoriquement pendant un an, soit toute la durée de production d'œufs. Ce type de vaccination est généralement préféré à des rappels avec des vaccins vivants administrés en cours de ponte, qui peuvent provoquer des stress chez les sujets et occasionner ainsi des chutes de ponte.

Dans les conditions sénégalaises, une seule injection à 18 semaines combinée avec des administrations de vaccins vivants pendant la période « poulette » s'avère insuffisante, sans doute pour les raisons citées précédemment à propos des vaccins vivants.

Les programmes de vaccination associant deux injections à 1 jour et 18 semaines sont couramment proposés, même en Europe, sur les poulettes futures reproductrices mais aussi sur les poulettes futures pondeuses (11). Cependant, il semble que la primo vaccination ne permette pas d'assurer une protection suffisante jusqu'à 18 semaines. Il apparaît donc nécessaire de revacciner à 8-10 semaines (14) pour obtenir un effet rappel de la vaccination à l'entrée en ponte.

Les schémas de vaccination proposés, notamment celui comportant une triple injection de vaccins inactivés huileux, semblent permettre d'assurer une protection de bonne qualité contre la maladie elle-même et contre les effets induits, comme la chute de ponte. Mais ils ne peuvent servir qu'à titre indicatif pour d'autres pays confrontés au même problème. En effet, pour obtenir la protection recherchée, il importe d'abord de connaître avec précision la situation épidémiologique locale (1).

CONCLUSION

Les protocoles de vaccination contre la maladie de Newcastle les plus couramment employés sur des poulettes au Sénégal ont été comparés. Il apparaît que le plus efficace est celui réalisé en trois injections de vaccin inactivé huileux. Les vaccinations fondées principalement sur l'utilisation de vaccins vivants aboutissent souvent à des échecs à cause d'une mauvaise administration. Les vaccins injectables, plus faciles à manipuler, semblent un excellent palliatif à cette insuffisance de technicité. En outre, leur immunogénicité plus longue permet de protéger plus efficacement les pondeuses. Cette triple injection peut paraître lourde et coûteuse, mais elle demeure une des seules barrières solides face aux dégâts provoqués chaque année par la maladie de Newcastle.

BIBLIOGRAPHIE

- ALEXANDER D.J., 1997. Newcastle disease and other avian *Paramyxoviridae* infections. In: Diseases of Poultry, 10th ed. Ames, IA, USA, Mosby-Wolfe, p. 541-570.
- ARBELOT B., DAYON J.F., MEROUANI N., KABORET Y., 1997. Etude des programmes vaccinaux réalisés en aviculture au Sénégal. In : 2^{es} journées de la recherche avicole, 8-11 avril 1997, Tours, France, 6 p.
- BELL J.G., MOUAHID M., 1987. Vaccination against Moroccan strains of Newcastle disease virus. *Trop. Anim. Health Prod.*, **19**: 192-196.
- BENNEJEAN G., GUITTET M., PICAULT J.P., BOUQUET J.F., DEVAUX B., GAUDRY D., MOREAU Y., 1978. *Avian Pathol.*, **7**: 15-27.

5. BOX G.E.P., COX D.R., 1964. An analysis of transformations. *J. R. Stat. Soc.*, **26**: 211-252.
6. BRIERE A., 1993. Méthode d'évaluation de la qualité de la vaccination en élevage avicole. Tours, France, Solvay-santé animale, 5 p.
7. CARDINALE E., 1999. Le réseau sénégalais d'épidémiosurveillance aviaire. *Aeema. Epidémiol. Santé anim.* (accepté pour publication), 10 p.
8. CNEVA, 1997. Maladie de Newcastle. Cours de pathologie aviaire. Ploufragan, France, Cneva, 11 p.
9. FOLITSE R., HALVORSON D.A., SIVANANDAN V., 1998. Efficacy of combined killed-in-oil emulsion and live Newcastle disease vaccines in chickens. *Avian Dis.*, **42**: 173-178.
10. FOURNIER D., 1995. Modalités pratiques d'administration des vaccins. Lyon, France, Merial-Dofmf/Mpav, 15 p.
11. FOURNIER D., LEGROS F.X., VANMARCKE J., 1995. Vaccinations en aviculture, concepts et bonnes pratiques. Lyon, France, Rhône-Mérieux, 123 p.
12. GAFFAR ELAMIN M.A., KHALAFALLA A.I., AHMED S.M., 1993. Observations on the use of Komarov strain of Newcastle disease vaccine in the Sudan. *Trop. Anim. Health Prod.*, **25**: 151-154.
13. PICAULT J.P., LE COQ H., GUITTET M., BENEJEAN G., 1993. Situation actuelle en matière de vaccination contre la maladie de Newcastle. *Sci. Tech. Avicol.*, **4** : 37-50.
14. POLLARD B., 1982. Immune response to the simultaneous vaccination of day-old chickens with live and inactivated oil-based Newcastle disease vaccines. *Onderstepoort J. Vet. Res.*, **49**: 123-125.
15. RHONE-MERIEUX, 1984. La maladie de Newcastle et sa prophylaxie. Lyon, France, Rhône-Mérieux, 56 p.
16. S-Plus, Version 3.3 for Windows, 1995. Guide to statistical and mathematical analysis. Seattle, WA, USA, StatSci. Div., MathSoft Inc., 670 p.

Reçu le 28.1.00, accepté le 17.4.00

Summary

Cardinale E., Tall F., Kane P., Moisan A. Comparative study on vaccination schemes against Newcastle disease in modern layer chickens farms in Senegal

Different vaccination programs against Newcastle disease used on pullets (modern poultry) exist in Senegal. However, each year, that disease brings high mortality and egg-drops, meaning economic losses for poultry farmers. In order to determinate the protection efficacy of the medical prophylactics, a comparative study on the vaccination schemes was led on the production field. It appears that the vaccination program including live vaccines produces a lower protection, especially due to the lack of technicality in the handling, than those using killed-in-oil vaccines do. The first vaccination associating live vaccine by beak dipping and killed oil-emulsion vaccine gives a good protection for the first ten weeks. A new injection, at this time, provides protection till the end of the pullets period and seems to be an excellent booster for the injected vaccine at the beginning of the lay. Then, no more vaccine is needed to the laying hens reform.

Key words: Layer chickens - Newcastle disease - Vaccination - Intensive husbandry - Senegal.

Resumen

Cardinale E., Tall F., Kane P., Moisan A. Estudio comparativo de protocolos de vacunación contra la enfermedad de Newcastle en criaderos modernos de gallinas ponedoras en Senegal

En Senegal, se utilizan varios protocolos de vacunación contra la enfermedad de Newcastle en las pollas, futuras ponedoras en criaderos modernos. Sin embargo, esta virosis se manifiesta cada año, ya sea por mortalidades, sea por caídas en la postura, que dañan el presupuesto de las explotaciones de la filial. Por esto, con el fin de determinar la eficiencia de la protección de la profilaxis médica utilizada, se procedió a una comparación de los diferentes esquemas de vacunación bajo condiciones reales de producción. Resulta que los programas de vacunación que comportan esencialmente vacunas vivas, dan una protección menor que aquellos que recurren a vacunas inactivadas aceitosas inyectables, sin duda a causa de una falta técnica en la administración de las vacunas vivas. Una vacunación primaria, asociando una vacuna viva, administrada individualmente mediante humidificación del pico y una inyección de vacuna inactivada aceitosa, procura una buena protección durante las primeras diez semanas de vida; una nueva inyección en este periodo asegura una cobertura durante toda la crianza de la polla y favorece el efecto de la vacunación mediante inyección al inicio de la postura. A partir de ese momento no es necesario ningún refuerzo hasta el retiro de las ponedoras.

Palabras clave: Gallina ponedora - Enfermedad de Newcastle - Vacunación - Crianza intensiva - Senegal.

Analysis of the genomes of African swine fever virus isolates from Cameroon

N.F. Ekue^{1*} P.J. Wilkinson²

Key words

Swine - African swine fever virus - Genomes - Analysis - Cameroon.

Summary

Restriction enzyme site mapping of genomes of African swine fever virus isolates obtained from different areas and at different times in Cameroon showed that the isolates obtained in 1982 and 1985 were indistinguishable. The genome of the 1987 virus isolate (CAM/87) differed from those of the other two isolates only when analyzed with the enzyme Asp718; the variable fragment that was about 100 bp larger in the CAM/87 virus genome occurred within the central region of the genome (89-91 kbp). But the DNA of the 1986 virus isolate (CAM/86) consistently differed from all the other isolates from the analysis with four restriction enzymes in two fragments occurring within the last 10 kbp from the right terminus and another occurring within the central region of the genome (89-91 kbp region). The fragment length variation at the right terminus between the CAM/86 ASF virus genome and the others was 400 bp, being larger in the CAM/86 ASF virus genome; the variation in the variable fragment in the central region was 100 bp and was still larger in the CAM/86 virus genome. Although, small differences were observed between genomes of these ASF virus isolates from Cameroon, they could be considered to belong to the same group based on the very similar restriction enzyme site maps of their genomes.

INTRODUCTION

African swine fever (ASF) is an acute, highly contagious and often fatal disease of domestic pigs (12, 13). It is caused by a large cytoplasmically located, icosahedral virus that contains a complex, linear double stranded DNA genome (1, 4). Although morphologically similar to and originally classified with the *Iridoviridae*, more detailed analysis has revealed that ASF virus genome and replication resembles that of the *Poxviridae* in many respects (1, 2, 11), and is presently placed in a separate family in which it is the only known member.

Distinct immunological types of ASF virus isolates have not been demonstrated using conventional laboratory methods such as neutralization assays because of the lack of neutralizing antibody in

immune sera and the virulence of most ASF isolates for domestic pigs. Even though both radioimmunoassay (RIA) and enzyme-linked immunosorbent assay (ELISA) (5, 25) are known to detect anti-ASF virus specific antibody, none of these assays have yet been used to distinguish between virus isolates. Panels of monoclonal antibodies which recognize a number of ASF structural proteins have been used to study the antigenic variation of virus isolates (10, 18, 19) but they are not sufficiently sensitive to pick up minor antigenic differences between strains.

Restriction enzyme fragment analysis and restriction enzyme site mapping have been used to study the variability of the ASF virus genome and have been useful for epidemiological investigations. The genomes of ASF isolates from domestic pigs in Europe have been shown to be closely related to each other by restriction enzyme analysis (24, 26) and European isolates are closely related to isolates from outbreaks in domestic pigs in the Caribbean and to the isolate that caused the 1982 epizootic in Cameroon (24). By using eight restriction enzymes, Wesley and Tuthill (24) were able to classify nine ASF field isolates into four major groups. Group 1 consisted of the East African isolates HindeI and Uganda4, Group

1. IRAD Nkolbisson, BP 2067, Yaounde, Cameroon, Tel/fax: +237 22 33 62; E-mail: iradpnva@iccnnet.cm

2. Institute of Animal Health, Pirbright Laboratory, Pirbright, Surrey GU24 0NF, United Kingdom

* Corresponding Author

2 had the Tengani isolate from Malawi, Group 3 contained the Spencer isolate from South Africa and Group 4 consisted of the Lisbon/60 Madrid/75, Dominican Republic/78, Haiti/78 and the Cameroon/82 isolates also formed a subgroup 4. In contrast, African isolates of ASF virus collected from various hosts and from different geographical locations are genetically distinct from each other (7, 23, 26) and are also different from the Caribbean, the Cameroon/82 and European virus isolates (26).

It is postulated that the present enzootic state of ASF in domestic pigs in Cameroon is either due to re-infection of herds with different viruses from external sources or to the continuous circulation and persistence of the virus which was introduced in 1982 being maintained in a cycle of infection between pig herds. The aim of this study was to characterize virus isolates obtained from different regions and at different times in order to determine their relationship by restriction enzyme analysis.

■ MATERIALS AND METHODS

Virus isolates

Five isolates of ASF virus obtained from different regions and at different times were used in the study (table I).

Isolation of virus DNA

DNA was extracted from ASF virus isolated from the red cell fraction of infected pig blood essentially as described by Wesley and Tuthill (26), except that virus was banded on 25%-50% rather than 25%-60% sucrose gradients. In addition, virus preparations were treated with DNase (50 µg/ml) followed by 1% Tween 80 in order to remove contaminating DNA before loading onto sucrose gradients. Following lysis of virus with SDS and pronase, DNA was separated by phenol extraction.

Enzyme reactions

Restriction endonucleases were obtained from Boehringer, Mannheim and were used according to manufacturer's recommendations. End-labeling of ³²PdATP, using Klenow fragment of DNA polymerase, was performed using standard procedures (15).

Agarose gel electrophoresis and Southern blotting

DNA fragments were electrophoresed on 0.6% agarose (Sigma type II) gel in 40 mM Tris-acetate buffer (pH 8.0). The gels were dried and the bands were visualized by autoradiography. DNA was transferred from wet agarose gels onto Hybond-N filters (Amersham) by the method of Southern (21) and was covalently attached to the filters by heating in an oven at 80°C for 2 hours.

Preparation of radioactively labeled DNA probes and hybridization

Plasmid clones of the Vero cell-adapted Spanish isolate of ASF virus DNA (14) were used as probes for hybridization. DNA was radioactively labeled (9) and denatured probes were hybridized overnight at 68°C in 6 x SSC, 5 x Denhardt's solution, 100 µg/ml denatured salmon sperm DNA and 0.5% SDS. After washing in 0.1 x SSC and 0.5% SDS at 68°C, filters were exposed to X-ray films for an appropriate time. Prior to rehybridization, radioactive probes were removed from filters by washing at 45°C first with 0.4 M NaOH for 30 min and then with 0.2 M Tris, 0.1 x SSC and 0.1% SDS for 30 min.

■ RESULTS

Restriction enzyme analysis

Four restriction enzymes namely BamHI, EcoRI, Asp718 and XbaI were used to digest DNA obtained from each virus isolate and the products were analyzed by agarose gel electrophoresis (figure 1). Genomes of isolates obtained in 1982 and 1985 were indistinguishable with the four restriction enzymes used. The fragment below the Asp718-C fragment in CAM/82 and CAM/85 virus genomes was the product of partial digestion and disappeared on complete enzyme digestion. The fragment size of the digested products of CAM/82 ASF virus DNA with each enzyme was also determined by agarose gel electrophoresis with lambda DNA fragments of known sizes as markers (table II). The total size of the CAM/82 ASF genome was found to be 172.9, 171.0, 172.4 and 170.5 kbp with BamHI, Asp718, XbaI and EcoRI respectively, giving a mean size of 171.4 kbp (table II). The 1986 and 1987 isolates differed from the others at the Asp718-N restriction fragment, which was 100 bp longer in these isolates than in the 1982 and 1985 isolates. In addition, the CAM/86 ASFV genome was 400 bp longer than the genomes of the other isolates within the BamHI-0, Asp718-H and EcoRI-N fragments (figure 1).

Restriction enzyme site mapping of ASFV genomes

Since similarity in size on its own is not a sufficient criterion to make conclusions on fragment homology, restriction enzyme sites mapping was carried out by cross-hybridization of cloned ASF virus DNA with Southern blots of BamHI and Asp718 restriction digests of virus DNA from the Cameroon isolates. The sequential order of the restriction fragments was deduced by cross-hybridization with both plasmid clones of the Vero cell-adapted isolate of ASF virus DNA (Ley *et al.*, 1984) and bacteriophage lambda DNA clones containing ASF virus DNA inserts from the Malawi isolate (Lil 20/1) (6). The results of the hybridizations from which the Asp718 and BamHI maps of the genomes were deduced are summarized in tables III and IV.

Table I

Description of ASF virus isolates from Cameroon used in restriction enzyme analysis

Isolate	Collection area	Date	Year isolated	Passage History	
				Pig	Leucocyte culture
CAM/82	Guzang, N.W. Province	Sept. 1982	1982	2	-
CAM/85	Mankon, N.W. Province	July 1985	1985	1	-
CAM/86	Limbe, S.W. Province	Dec. 1986	1986	1	-
CAM/87	Bafoussam, West Province	July 1987	1987	1	-

Table II
 Sizes of ASF virus (CAM/82) DNA
 restriction fragment in kbp

DNA	Restriction Enzymes			
	Fragments	BamHI	Asp718	EcoRI
A	20.0	39.8	21.7 (2)*	30.2
B	19.1	23.2	16.4	13.9
C	17.6	16.8	13.0 (2)	11.0
D	13.35 (2)	15.0	11.5	10.7
E	10.8	14.3	9.5	10.3
F	-	13.3	8.7	9.4
G	9.4	9.4	8.4	8.9
H	8.5	9.0	8.0	7.2
I	7.9	8.5	6.6	6.9
J	7.2	5.7	4.4	6.5
K	6.8	3.7	4.1	5.7 (2)
L	6.4	2.8	3.8	5.3
M	6.1	2.4	3.3	4.8 (2)
N	4.6	2.3	3.2	4.4
O	4.3	2.0	3.1	3.4
P	4.1	1.3 (2)	2.8	3.1
Q	3.5	-	2.0	3.0
R	2.5	-	1.4	2.9
S	2.0	-	1.1	2.0
T	1.8	-	0.9	1.9
U	1.2 (2)	-	0.9	1.7
V	0.8	-	0.7	1.5
W	0.5	-	0.6	1.4
X	-	-	0.6	1.2
Y	-	-	-	0.7
Z	-	-	-	0.5
No. of fragments	24	17	26	28
Total size	172.9	170.8	171.4	170.5

* (2) indicates the existence of two fragments in the corresponding band

Table III

Mapping of Asp718 fragments from the genomes
 of ASF virus isolates from Cameroon

Probe*	Restriction enzyme fragment hybridising to probe		
	CAM/82	CAM/86	CAM/87
RK	A, H	A, H	A, H
SB	A, B, P	A, B, P	A, B, P
RC	A, B, D	A, B, D	A, B, D
RB	D, I, N, P'	D, I, N, P'	D, I, N, P'
RG	G, M, O	G, M, O	G, M, O
RC'	F, G	F, G	F, G
SD	F, J, L	F, J, L	F, J, L
RD	C, J, L	C, J, L	C, J, L
SE	C, E	C, E	C, E
RD'	H, K	H, K	H, K
LMw9	D, I, P	D, I, P	D, I, P
LMw10	D, G, I, P	D, G, I, P	D, G, I, P
LMw22	E, K	E, K	E, K

Because of the identical electrophoretic mobility of the restriction enzyme fragments of ASF virus DNA from CAM/82 and CAM/85, only the CAM/82 genome was mapped

* The radioactive DNA probe used; bacteriophage lambda (LMw9, LMw10, LMw22) clones of the Malawi (Lil 20/1) isolate are described elsewhere (6); rest of the probes are plasmid clones of the BA71-V ASF virus isolate (14)

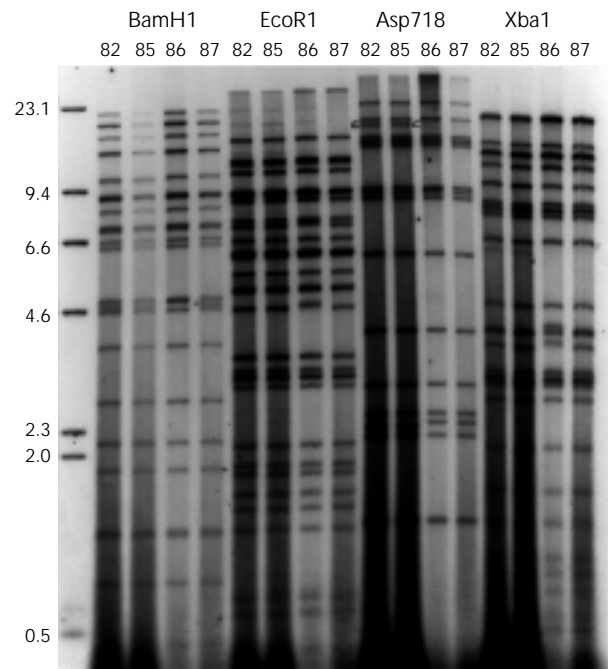


Figure 1: Restriction enzyme analysis of ASF virus DNA from the CAM/82, CAM/85, CAM/86 and CAM/87 isolates using the enzymes BamH1, EcoRI, Asp718 and Xba1.

Table IV

Mapping of BamHI fragments from the genomes
 of ASF virus isolates from Cameroon

Probe*	Restriction enzyme fragment hybridising to probe	
	CAM/82	CAM/86
RK	B, O	B, O
HC	B	B
RJ	B, C	B, C
RA/SC	C, Q, I	C, Q, I
SI'	I, G	I, G
SB	G, A	G, A
SF/KB	A, W	A, W
RC	W, K, T, S	W, K, T, S
SA/KD	K, T, S, U, V, L	K, T, S, U, V, L
RB	V, L, E	V, L, E
RG	E, D	E, D
RC'	D, U'	D, U'
LMw9	E, L, S, T, U, V	E, L, S, T, U, V
SD	D, U', H	D, U', H
RD	H, D'	H, D'
RC'	D, U'	D, U'
SI	D'	D'
RP	D'	D'
LMw16	D', H'	D', H'
RH	H'	H'
SE	H', M, P	H', M, P
SH	P, N, R	P, N, R
HJ	R, J	R, J
RD	J, O	J, O

The restriction enzyme site map of the CAM/82 DNA is the same as CAM/85 and CAM/87

* The radioactive DNA probe used; LMw9 and LMw16 are bacteriophage lambda clones of the Malawi (Lil 20/1) ASFV isolate; rest of the probes are plasmid clones of the BA71 ASF isolate; RK is a clone which contains sequences from the terminal inverted repeat and therefore hybridizes to both terminal fragments

By comparison of the Asp718 and BamHI restriction enzyme site maps of the four genomes it was observed that fragment order for the five isolates was the same (figure 2). The Asp718-N fragment mapped to the central region of the genome (89-91 kbp). The size difference in this variable fragment between the genomes of CAM/86, CAM/87 and the other isolates was about 100 bp, with the fragment being larger in the former two isolates. The BamHI-0 and Asp718-H fragments mapped to the right terminus of the genome (12 kb from the right end) (figure 2). The variation in length in this region between the CAM/86 ASF virus DNA and the other isolates was found to be 400 bp.

In order to identify more precisely the regions in which differences were observed between the four isolates by restriction enzyme analysis, the virus genomes were further digested with HindIII and NcoI which produce more fragments. The digested products were blotted on to a filter after electrophoresis on 0.6% agarose gel and hybridized with ASF virus DNA clones containing inserts from the central and the right end of the genome. The restriction enzyme, NcoI, produced four fragments within the last 12 kb of the right terminus of the genome while HindIII produced five fragments within the same region (figure 3). A comparison of the right terminus of the genomes after hybridizing NcoI and HindIII Southern blots to the appropriate ASF virus DNA clones revealed that there were two variable regions lying within 167.5 kb and 169.5-172 kb from the right terminus of the genome. The variation in length of the first variable region designated as VR1 was 100 bp between the CAM/86 ASF virus DNA and the others. The variation in the second variable fragment, designated VR2, was 300 bp, being larger in the CAM/86 ASF genome.

Southern blots prepared from virus DNA fragments of the CAM/82, CAM/86 and CAM/87 ASFV isolates after digesting with the restriction enzymes Asp718, NcoI and HindIII were used to hybridize with the plasmid DNA clone, RB, which hybridizes

with DNA fragments which map to the central region of the genome. By this method a fragment difference was observed between the genomes of CAM/86 and CAM/82 within the 89-91 kbp region and was about 100 bp in size. This third variable region was designated VR3 (figure 4) and was the same size in the CAM/86 and CAM/87 virus.

DISCUSSION

Restriction enzyme analysis of genomes of ASF virus isolates obtained from different areas and at different times in Cameroon carried out with the restriction enzyme BamHI, EcoRI, Asp718 and XbaI, showed that the genomes of isolates obtained in 1982 and 1985 were indistinguishable (figure 1). The genome of the CAM/87 virus differed from those of the other two isolates when analyzed with Asp718 at the Asp718-N fragment (figure 2). But the DNA of the 1986 isolate (CAM/86) consistently differed from all others at the right terminal fragment (figure 1) when analyzed with the four restriction enzymes used in the study. Another difference in fragment mobility was observed in the CAM/86 virus DNA with the enzyme Asp718 at the Asp718-N fragment position. By comparing the Asp718 and BamHI restriction enzyme site maps of the CAM/82 and CAM/86 virus isolates, the fragment order in both isolates was observed to be the same (figure 3). Restriction enzyme site mapping of the genomes of the CAM/85 and CAM/87 virus isolates was not carried out because the restriction enzyme fragment patterns were indistinguishable from that of the CAM/82 isolate (figure 1).

The variable fragment Asp718-N in the CAM/86 ASFV DNA mapped to the central region of the genome while the variable fragments, Asp718-H and BamHI-0 in the same genome mapped to the right terminus (figure 2). Similar results showing the pre-

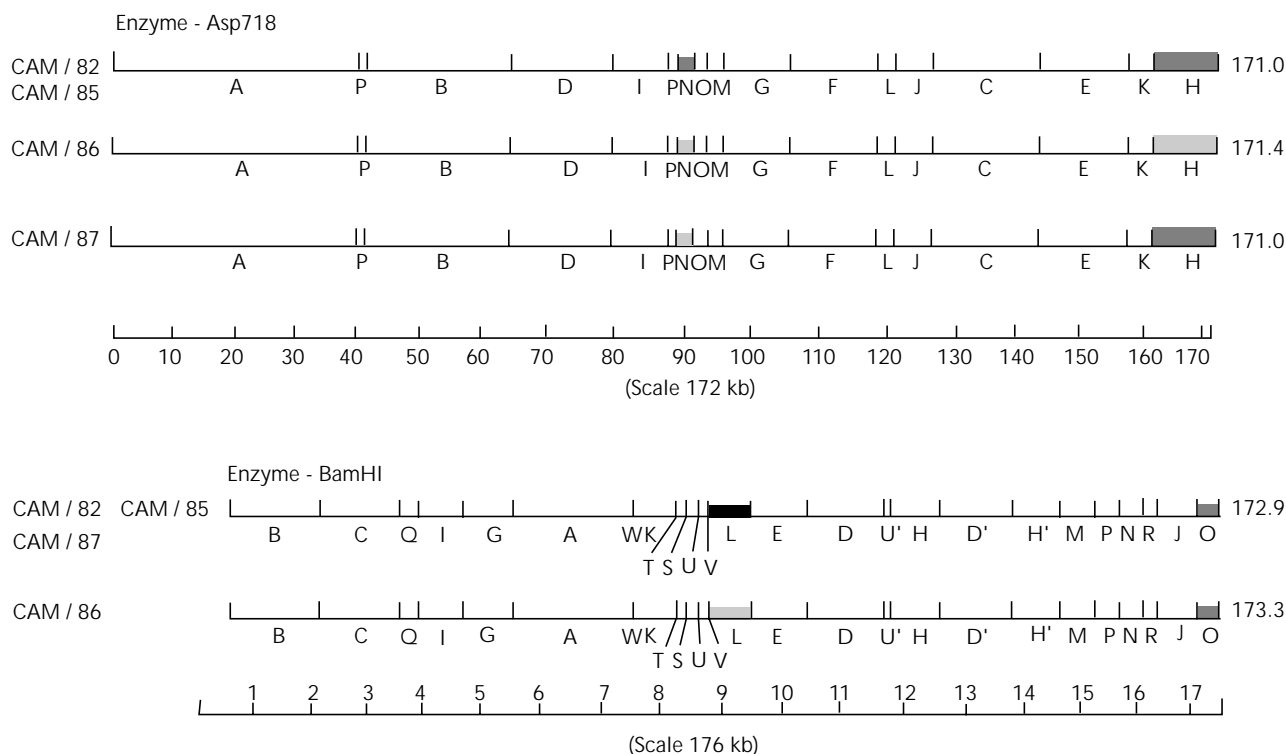


Figure 2: Comparison of the BamHI and Asp718 restriction enzyme site maps of the genomes of isolates from four different areas in Cameroon. Similarities between genomes are indicated. Dashed lines indicate fragments that are exactly conserved in length between isolates. Black and dotted areas indicate the variable regions in the different genomes.

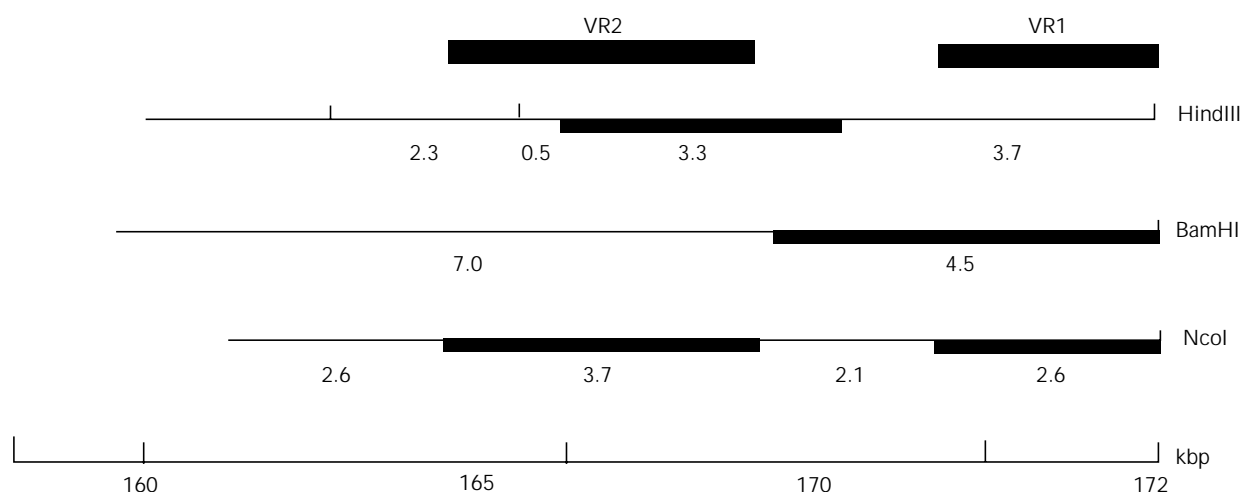


Figure 3: Restriction enzyme site maps of DNA fragments from the right terminus of the CAM/86 ASFV genome showing the variable regions, VR1 and VR2. Thick lines indicate variable regions as observed with the corresponding restriction enzyme.

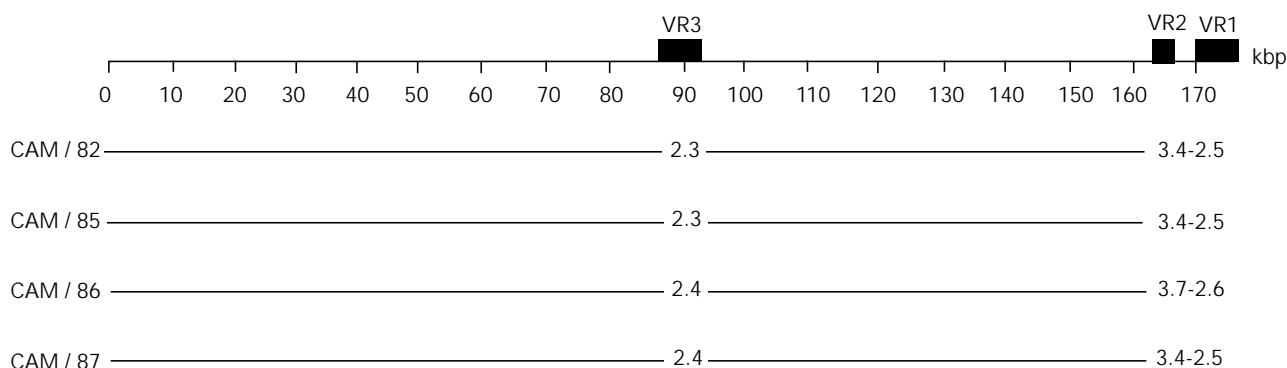


Figure 4: Variable regions in the genomes of ASFV isolates from Cameroon.

sence of a central and right terminal variable regions were obtained by Wilkinson *et al.* (unpublished results) on the restriction enzyme analysis and site mapping of DNA from some European ASF virus isolates. A variable central region of the ASFV genome was also observed by Sumption *et al.* (22) in virus isolates from pigs in Eastern Zambia and Malawi. The central variable region, VR3 (figure 4), in the present study corresponded to the VR4 region in the genome of the Malawi (Lil 20/1) and Zambian ASFV isolates (22). This variation in the central region was not observed by Blasco *et al.* (3) who reported a conserved 125 kbp central region of the genome from SalI restriction enzyme site mapping. Wilkinson *et al.* (unpublished results) used BamHI to map the genomes and Asp718 was used in addition to BamHI in this study. Both enzymes cut the virus genome more frequently in the central region than SalI that was used by Blasco *et al.* (3). Hence it was possible to identify small length variations in the middle of the genome.

Other restriction enzymes such as HindIII and NcoI which produce more than 30 fragments were used in mapping the variable regions observed in the Cameroon ASFV genome. A comparison of the right terminus of the genomes of CAM/82 and CAM/86 ASFV isolates showed the presence of two variable regions located

164-169.5-172 kbp from the end (figure 3), making a total of three variable regions in the Cameroon ASF virus DNA. The two variable regions, VR2 and VR1, corresponded to the VR7 and VR1 regions which are the last two variable regions to the right end in the genome of the Malawi (Lil 20/1) and the Zambian ASFV isolates (22). These observations differ from those of Blasco *et al.* (3) who described only one variable region in the right terminus of the ASFV genome that spans from 13-16 kb from the terminus.

The variation between genomes of various ASF isolates has generally resulted from differences in the length of restriction enzyme fragments in the variable regions located within 40 kb from the left terminus, 25 kb from the right terminus in the terminal inverted repetitions close to the ends (3, 7, 8, 22, 24) and in one fragment in the middle of the genome (18, 22). Terminal inverted repeat sequences consisting of multiple sets of tandem repeats of total length 2.4 kb have been characterized in the genome of ASF virus (20). Small variations in the length of fragments located within 2.4 kb from both termini probably resulted from variation in the number of tandem repeats within the terminal inverted repeats as has been observed in the poxvirus genomes (16). Such tandemly repeated sequences were also analyzed for two other variable

regions, one located 25 kb from the right terminus and the other in the middle of the genome (Dixon *et al.*, unpublished results). It is possible that variation in length of the terminal regions of the genome of ASFV isolates from Cameroon could also be explained by variation in the number of repeats present within the terminal inverted repetitions.

The ASFV isolates obtained in 1982, 1985 and 1987 came from areas within a radius of 200 km in the North West and West Provinces and the genomes of these isolates were indistinguishable by restriction enzyme analysis and mapping. The CAM/86 ASFV isolate whose genome showed small variations from others in the centre and the right terminal regions came from the coastal town of Limbe in the Southwest Province situated about 265 km from the West Province. Although small differences were observed between the genomes of these ASFV isolates from Cameroon, they could still be said to belong to the same group based on the very similar restriction enzyme site maps of their genomes. Therefore, we could possibly conclude that the enzootic state of ASF in the domestic pig population in Cameroon could be due to the continuous circulation of the virus of the 1982 epizootic that is being maintained in a cycle of infection between the herds or to the possible reintroduction into Cameroon of virus isolates which are very closely related to those present within the country.

Acknowledgements

The authors would like to thank Dr. Linda Dixon for providing the lambda DNA clones of the Lil 20/1 ASF virus isolate used in the study, Mr. G. Hutchings and Miss R. Lade for excellent technical assistance and Mr. I. Huges for his help in the isolation compound. We would also like to thank Dr. E. Vinuela for the plasmid clones of the BA71-V ASF virus isolate used in this study. Finally, our thanks go to the Institute of Agricultural Research for Development (IRAD), Cameroon and the Overseas Development Administration (ODA), U.K., for providing the funds.

REFERENCES

1. ALMENDRAL J.M., BLASCO R., LEY V., BELOSO A., TALAVERA A., VINUELA E., 1984. Restriction site map of African swine fever virus DNA. *Virology*, **133**: 258-270.
2. BAROUDY B.M., VENKATESAN S., MOSS B., 1982. Incomplete base-paired flip-flop terminal loops link the two DNA strands of the vaccinia virus genome into one uninterrupted polynucleotide chain. *Cell*, **28**: 315-324.
3. BLASCO R., AGUERO M., ALMENDRAL J.M., VINUELA E., 1989. Variable and constant regions in African swine fever virus DNA. *Virology*, **168**: 330-338.
4. CARRASCOSA J.L., CARAZO J.M., CARRASCOSA A.L., GARCIA N., SANTISTEBAN A., VINUELA E., 1984. General morphology and capsid fine structure of African swine fever virus particles. *Virology*, **132**: 160-172.
5. CROWTHER J.R., WARDLEY R.C., WILKINSON P.J., 1979. Solid-phase radioimmunoassay techniques for the detection of ASF antigen and antibody. *J. Hyg.*, **83**: 353-361.
6. DIXON L.K., 1988. Molecular cloning and restriction enzyme mapping of an African swine fever virus isolate from Malawi. *J. Gen. Virol.*, **69**: 1683-1694.
7. DIXON L.K., WILKINSON P.J., 1988. Genetic diversity of African swine fever isolates from Malawi. *J. Gen. Virol.*, **69**: 2981-2993.

8. DIXON L.K., WILKINSON P.J., SUMPTION K.J., EKUE N.F., 1990. Diversity of the African swine fever virus genome. In: G. Darai ed., **13**: Molecular Biology of Iridoviruses. Kluwer Academic publishers, p. 272-295.
9. FEINBERG A.P., VOGELSTEIN B., 1983. A technique for radio-labelling DNA restriction endonuclease fragments to high specific activity. *Ann. Biochem.*, **132**: 6-13.
10. GARCIA-BARRENO B., SANZ A., NOGAL M.L., VINUELA E., ENJUANES L., 1986. Monoclonal antibodies of African swine fever virus: Antigenic differences among field virus isolates and virus passaged in tissue culture. *J. Virol.*, **58**: 385-392.
11. GERSHLIN P., BERNS K.I., 1974. Characterisation and localisation of naturally occurring cross-links in vaccinia virus DNA. *J. Mol. Biol.*, **88**: 785-796.
12. HESS W.R., 1971. ASFV. Virology Monographs. In: Von Herausgegeben ed., **1**: Handbook of virus research. New-York, NY, USA, Springer Verlag, p. 1-33.
13. HESS W.R., 1981. African swine fever: A reassessment. *Adv. Vet. Sci.*, **25**: 39-69.
14. LEY V., ALMENDRAL J.M., CARBONERO P., BELOSO A., VINUELA E., TALAVERA A., 1984. Molecular cloning of African swine fever virus DNA. *Virology*, **133**: 249-257.
15. MANIATIS T., FRITSCH E.F., SAMBROOK J., 1982. Molecular cloning: A laboratory Manual. New York, NY, USA, Cold Spring Harbor Laboratory, 342 p.
16. MOSS B., WINTERS E., COOPER J.A., 1981. Detection of a 9000-base-pair segment of the vaccinia virus genome that encodes nonessential polypeptides. *J. Virol.*, **40**: 387-395.
17. ORTIN J., ENJUANES L., VINUELA E., 1979. Cross-links in African swine fever virus DNA. *J. Virol.*, **31**: 579-583.
18. PAN I.C., WHYARD T.C., HESS W.R., YUASA N., SHIMIZU M., 1988. Epitopic diversity of African swine fever virus. *Virus Res.*, **9**: 93-106.
19. SANTURDE G., GONZALVO RUIZ F., CARNERO M.E., TABARES E., 1988. Genetic stability of African swine fever virus grown in monkey kidney cells. *Arch. Virol.*, **98**: 117-122.
20. SOGO J.M., ALMENDRAL J.M., TALAVERA A., VINUELA E., 1984. Terminal and internal inverted repetitions in African swine fever virus DNA. *Virology*, **133**: 271-275.
21. SOUTHERN E.M., 1975. Detection of specific sequences among DNA fragments separated by gel electrophoresis. *J. Mol. Biol.*, **98**: 503-518.
22. SUMPTION K.J., HUTCHINGS G.H., WILKINSON P.J., DIXON L.K., 1990. Variable regions on the genome of Malawi isolates of African swine fever virus. *J. Gen. Virol.*, **71**: 2331-2340.
23. THOMPSON G.R., 1985. The epidemiology of African swine fever: The role of free-living hosts in Africa. *Onderstepoort J. Vet. Res.*, **52**: 201-209.
24. VINUELA E., 1985. African swine fever. *Curr. Top. Microbiol. Immunol.*, **116**: 151-170.
25. WARDLEY R.C., ABU EIZEIN E.M.E., CROWTHER J.R., WILKINSON P.J., 1979. A solid-phase enzyme-linked immunosorbent assay for the detection of African swine fever antigen and antibody. *J. Hyg.*, **83**: 363-369.
26. WESLEY R.D., TUTHILL A.E., 1984. Genome relatedness among African swine fever field isolates by restriction endonuclease analysis. *Prev. Vet. Med.*, **2**: 53-62.

Reçu le 20.1.00, accepté le 6.4.00

Résumé

N.F. Ekue, P.J. Wilkinson Analyse du génome des isolats du virus de la peste porcine africaine au Cameroun

L'analyse de la carte de restriction enzymatique du génome du virus de la Ppa, provenant de différentes zones du Cameroun à différentes périodes, a été effectuée. Tout d'abord, elle a montré que les isolats obtenus en 1982 et 1985 n'étaient pas distinguables. Ensuite, le génome de l'isolat du virus de 1987 (CAM/87) différait des deux précédents uniquement lors de son analyse à l'aide de l'enzyme Asp718 ; le fragment variable, plus large d'environ 100 bp, se trouvait dans la région centrale (89-91 kbp) du génome. Enfin, l'Adn de l'isolat du virus de 1986 (CAM/86) différait de celui des trois autres lors de l'analyse avec quatre enzymes restrictives. La différence se trouvait dans deux fragments, l'un situé dans les derniers 10 kbp de l'extrémité droite du génome et l'autre dans sa région centrale (89-91 kbp). La variation de la longueur du fragment à l'extrémité droite était de 400 bp, celle du fragment de la région centrale de 100 bp ; les deux fragments étaient plus larges dans le génome du virus CAM/86. Bien que de légères différences aient été observées entre les génomes de ces différents isolats, ils peuvent être considérés comme appartenant à un même groupe car ils présentent une grande similitude dans la configuration de la carte de restriction enzymatique.

Mots-clés : Porcin - Virus de la peste porcine africaine - Génome - Analyse - Cameroun.

Resumen

N.F. Ekue, P.J. Wilkinson Análisis de los genomas de aislamientos de virus de la peste porcina africana en Camerún

Un mapa de los sitios de restricción enzimática de los genomas de aislamientos virales de la PPA, obtenido en diferentes áreas y momentos en Camerún, mostró que no fue posible distinguir los aislamientos obtenidos en 1982 de aquellos obtenidos en 1985. El genoma del aislamiento viral obtenido en 1987 (CAM/87), difirió de aquellos otros dos aislamientos únicamente cuando se analizó con la enzima Asp718; el fragmento variable, el cual fue aproximadamente 100 kbp mayor en el genoma del virus CAM/87, se presentó dentro la de la región central del genoma (89-91 bp). Sin embargo, el ADN aislado en el virus de 1986 (CAM/86) difirió consistentemente de todos los otros aislados del análisis con cuatro enzimas de restricción en dos fragmentos, que se dieron dentro de los últimos 10 kbp de la zona terminal derecha y otro dentro de la región central del genoma (región 89-91 kbp). La variación en la longitud del fragmento en la zona terminal derecha entre el genoma del virus CAM/86 ASF y los otros, fue de 400 bp, siendo mayor en el genoma del virus CAM/86 ASF; mientras que la variación en el fragmento variable de la región central fue de 100 bp y fue aún más grande en el genoma del virus CAM/86. A pesar de que se observaron pequeñas diferencias entre los genomas de los aislamientos de virus AFS de Camerún, éstos pueden considerarse como pertenecientes al mismo grupo, basado en la similitud de los mapas de los sitios de restricción enzimática de los genomas.

Palabras claves: Cerdo - Virus de la peste porcina africana - Genomas - Análisis - Camerún.

The pathogenicity of two groups of African swine fever virus isolates from Cameroon in domestic pigs

N.F. Ekue¹ P.J. Wilkinson²

Key words

Swine - Domestic animal - African swine fever virus - Pathogenicity - Cameroon.

Summary

A study carried out to determine the pathological relationships between two genetic groups of ASF virus isolates from Cameroon represented by the CAM/88 and CAM/86, demonstrated that both groups showed very similar clinical signs, gross lesions and virus titres in infected pigs. The clinical signs included a pyrexia first observed 3-6 days post inoculation, loss of appetite, listlessness, posterior incoordination, shivering and diarrhea. Other symptoms included dyspnea and lameness. The most frequently encountered lesions in all the pigs consisted of congestion of the lungs and hemorrhages in the kidneys and visceral lymph nodes. A pairwise comparison of the means of virus titres in similar organs of pigs infected with the two virus isolates showed no difference in virus titres ($p > 0.01$). The variation in the mean virus titres in organs was not affected by the virus isolates used ($p > 0.01$), implying no significant interaction between organs and the virus isolates. Finally, the overall mean virus titres in organs from pigs infected with the two virus isolates did not differ significantly ($p > 0.01$) but the virus titres varied significantly from one organ to the other ($p < 0.01$).

■ INTRODUCTION

In a previous study on the restriction enzyme analysis of genomes of ASFV isolates from Cameroon (8) it was shown that there are probably two genetically very closely related virus groups persisting within the pig population in the country; one group consists of the CAM/82, CAM/85 CAM/87 and CAM/88 ASFV isolates while the other includes the CAM/86 isolate only. The main differences between the two groups were variations in the size of one fragment occurring in the central region of the genome and two fragments in the right terminal region of the genome (8).

One of these isolates, CAM/82, has been previously used to infect pigs and the disease it produced was compared with that produced by other ASFV isolates from Malta, Dominican Republic and Brazil (9). It produced moderate lesions in infected pigs with ill-defined clinical signs. The mortality rate was low (33%) and there was clinical recovery of 7 of the infected pigs.

This study was carried out to record the responses of pigs infected with the CAM/88 and CAM/86 ASF virus isolates selected to represent the two groups circulating within the pig population in the country. The aim was to determine any pathological relationships between them to complement previous results from the genomic and antigenic studies.

■ MATERIALS AND METHODS

Crossbred Large White x Landrace pigs of 20-30 kg live weight were used in the study and they were divided into two groups of ten pigs each which were kept in two separate rooms in a large animal isolation compound. Before infecting the animals, pre-inoculation sera were collected. Each pig in group 1 was inoculated intramuscularly (i.m.) with $10^{2.6}$ HAD₅₀ of the CAM/86 virus and each pig in group 2 was inoculated i.m. with $10^{2.1}$ HAD₅₀ of the CAM/88 virus isolate.

The rectal temperature of each animal was recorded daily and clinical examinations also carried out each day. A blood sample for virus assay was collected in 5 ml glass vials containing EDTA

1. IRAD Nkolbisson, BP 2067, Yaounde, Cameroon, Tel/fax: +237 22 33 62; E-mail: iradpnva@iccnnet.com

2. Institute of Animal Health, Pirbright Laboratory, Pirbright, Surrey GU24 0NF, United Kingdom

at a final concentration of 0.5% as anticoagulant from each animal every four days during the course of the infection. Post mortem examinations were carried out on every animal that died and the lesions observed were recorded. Samples of spleen, kidney, lung, tonsils, gastro-hepatic and mandibular lymph nodes were collected in sterile glass bottles for virus assay. The isolation, cultivation and assay of virus were carried out following standard procedures (12, 13, 21).

Any differences between the two isolates in terms of their virus titre in various organs from the infected pigs, within each group and between groups, were determined by the analysis of variance (ANOVA). The Mann-Whitney U-test was used to determine whether there was any difference in the duration of illness before death between the two groups of pigs using the statistical packages, "Minitab"¹ and "GLIM"².

■ RESULTS

Group 1 infected with the CAM/86 isolate of ASFV

Clinical signs

All ten pigs in the group (table I) became infected and the primary clinical sign was a fever of more than 40°C, first observed 3-6 days post inoculation (DPI). Other signs were evident from 7 DPI and those that were common to all the animals included loss of appetite, listlessness, incoordination in the hindquarters, shivering and diarrhea. At 11 DPI, five pigs developed lameness and had difficulty in breathing. Two pigs which became moribund at 14 DPI and 19 DPI were humanely killed with Sagatal® (May and Baker Ltd.). Most of pigs (8 of 10, 80%) died and this included the two pigs killed *in extremis*. The duration of clinical signs until death ranged from 6-16 days (median 10 days).

Gross lesions

A post mortem examination was performed on all dead pigs. The most frequently encountered lesions in all the pigs consisted of excess fluid in the thoracic and abdominal cavities, varying degrees of congestion of the lungs and hemorrhages in the kidneys and visceral lymph nodes which varied in the extent and severity in the different animals (table II). The gastro-hepatic lymph node was the most hemorrhage lymph node and resembled a blood clot in six out of eight pigs examined.

Hemorrhages were also frequently observed on the ventricles of the heart. Extensive bleeding into the subscapular region was observed in one pig probably as a result of a failure in the clotting mechanism, when the animal was bled two days before it died. There was one pig with slight splenomegaly and a dark colored spleen (table I). Hemorrhages in the gall bladder and small and large intestines were also seen in two pigs. The liver appeared normal in all the pigs.

Viremia and virus titres in the tissues

Virus was first detected in the blood at 3 DPI and maximum titres ranging between $10^{7.0}$ - $10^{9.2}$ HAD₅₀/ml were recorded between 3-6 DPI in all the animals (table III). Infectious virus could not be detected in the blood of the two animals, which survived infection at 30 DPI and 45 DPI. The virus titres in the tissues collected from each animal during autopsy were also recorded. Highest titres were recorded in the spleen and ranged between $10^{4.3}$ HAD₅₀/gm in one pig which died 15 days after the onset of fever and $10^{7.3}$ HAD₅₀/gm in another which died 6 days after the onset of fever (table IV).

Group 2 infected with the CAM/88 isolate of ASFV

Clinical signs

All ten pigs in this group (table V) became infected and the primary clinical sign was a fever of more than 40°C. Other signs became evident in the animals at 7 DPI and they included loss of appetite, posterior incoordination, dyspnea and diarrhea (which was blood-stained in two pigs). Three pigs became moribund at 12 DPI and another at 24 DPI and all were killed humanely with Sagatal. Most of the pigs (9 out of 10, 90%) died and these included the four pigs killed *in extremis*. The duration of illness before death ranged between 7-12 days (median 8 days).

Gross lesions

A post mortem examination was performed on all nine pigs, which died or were killed during the course of the infection. The frequent lesions included varying degrees of lung congestion hemorrhages in the kidney (table V) and visceral lymph nodes with the gastro-hepatic lymph node resembling a blood clot (table VI). Excess fluid in the abdominal and thoracic cavities was observed in two pigs while hemorrhages in the stomach wall, gall bladder and small and large intestines were evident in two other pigs. Extensive bleeding into subscapular region was observed in one case

Table I

Distribution and severity of pathological changes in the organs of pigs dead following infection with the CAM/86 isolate of ASF virus

Pig No.	DPI	DPP	Lung		Heart		Kidney	Spleen		Liver
			Congestion*	Hemorrhage*	Fluid	Petechiae*	Enlarged	Dark*		
RM 15	10	6	4+	3+	3+	3+	1+	1+	0	
RM 16	13	9	3+	0	0	3+	0	2+	0	
RM 17	12	9	3+	3+	0	2+	0	0	0	
RM 19**	19	16	3+	2+	1+	2+	0	0	0	
RM 20	16	12	3+	2+	0	2+	0	0	0	
RM 22	11	16	3+	3+	0	3+	0	0	0	
RM 23	19	15	3+	2+	0	2+	0	0	0	
RM 24**	14	11	3+	2+	1+	4+	0	0	0	

DPI: Days post inoculation; DPP: Days post pyrexia; * Lesions are scored from 1+ to 4+; ** Animals killed *in extremis*

1. Minitab, U.S. Inc., 1985.

2. GLIM 3.77 Update 0, 1985, Royal Statistical Society, London.

Table II

The severity of hemorrhage in lymph nodes collected at necropsy from dead pigs following infection with the CAM/86 isolate of ASF virus

Pig No.	DPI	DPP	Degree of hemorrhage* in lymph nodes								
			Latera	Mandibular	Bronchial	Prescapular	Gastro	Mesenteric	Iliac	Prefemoral	
RM 15	10	6	4+	4+	4+	4+	4+	4+	4+	4+	4+
RM 16	13	9	0	1+	0	0	4+	4+	0	0	0
RM 17	12	9	0	0	1+	0	4+	0	0	0	0
RM 19**	19	16	1+	0	0	4+	1+	1+	1+	1+	0
RM 20	16	12	1+	1+	0	0	4+	1+	1+	1+	0
RM 22	11	6	4+	4+	4+	4+	4+	4+	4+	4+	4+
RM 23	19	15	1+	1+	1+	0	4+	0	0	0	0
RM 24**	14	11	0	0	0	0	1+	0	0	0	0

* 0: no change; 1+: slight reddening; 3+: 50% of the lymph node hemorrhagic; 4+: represents a lymph node resembling a blood clot

** Animals killed *in extremis*

Table III

Viremia in pigs infected with the CAM/86 isolate of ASFV (\log_{10} HAD₅₀ /ml)

Pig No.	Days post inoculation											
	3	6	10	16	6	20	23	27	30	34	41	45
RM15	9.2	9.2	dead									
RM16	9.2	9.2	7.5	dead								
RM17	9.0	9.2	6.0	dead								
RM18	7.5	9.0	7.0	5.5	5.2	4.2	3.0	NVD	NVD	NVD	NVD	
RM19	7.0	8.5	7.0	dead								
RM20	7.2	9.0	6.5	dead								
RM21	9.2	9.0	7.2	6.2	4.2	5.5	5.5	5.0	4.2	3.0	NVD	
RM22	9.0	8.0	dead									
RM23	9.2	7.0	6.0	dead								
RM24	9.2	7.0	6.0	dead								
Mean	8.5	8.5	6.6	5.8	4.7	4.8	4.2					

NVD: no virus detected (< 1.0 HAD₅₀ /ml)

Table IV

Virus titre in tissues of pigs collected after necropsy at various times after infection with the CAM/86 isolate of ASFV

Pig No.	DPI	DPP	Virus titre (\log_{10} HAD ₅₀ /gm)							
			Spleen	Kidney	Lung	Tonsil	Gastro-hepatic L. N.	Mandibular L. N.		
RM 15	10	6	7.25	4.75	7.25	6.75		2.25		7.75
RM 16	13	9	7.25	6.25	4.75	4.25		6.25		5.25
RM 17	12	9	6.25	4.25	4.25	6.25		4.25		7.75
RM 19**	19	16	5.25	3.0	4.0	2.25		3.25		2.25
RM 20	16	12	6.0	4.0	4.75	3.0		6.25		5.75
RM 22	11	6	7.0	6.25	6.0	5.25		6.0		6.25
RM 23	19	15	4.25	4.0	4.25	2.75		3.75		3.25
RM 24	14	11	6.75	5.75	5.25	2.75		3.25		2.75

** Animals killed *in extremis*

Table V

Distribution and severity of pathological changes in the organ of dead pigs following infection with the CAM/88 isolate of ASFV.

Pig No.	DPI	DPP	Lung	Heart	Kidney	Spleen		Liver	
			Congestion*	Hemorrhage*	Fluid	Petechiae*	Enlarged		Dark*
RM 25	12	8	3+	3+	0	3+	0	0	0
RM 26**	12	7	3+	3+	0	3+	0	0	0
RM 27**	12	8	0	2+	0	3+	0	infarct	0
RM 28	12	7	2+	2+	0	3+	0	0	0
RM 29	14	10	3+	3+	2+	2+	0	0	0
RM 30	13	9	3+	3+	0	2+	0	0	0
RM 31**	24	21	3+	3+	3+	1+	1+	0	0
RM 32	12	6	2+	3+	0	3+	1+	0	0
RM 33**	12	9	3+	2+	0	3+	0	0	fibrin.

* Lesions scored from 1+ to 4+

** Animals killed *in extremis*

Table VI

The severity of hemorrhage in the lymph nodes collected at necropsy from dead pigs following infection with the CAM/88 isolate of ASF virus

Pig No.	DPI	DPP	Degree of hemorrhage*							
			Lateral retropharyngeal	Mandibular	Bronchial	Prescapular	Gastro-hepatic	Mesenteric	Iliac	Prefemoral
RM 25	12	8	3+	3+	4+	1+	4+	1+	1+	1+
RM 26	12	7	1+	1+	1+	1+	4+	1+	1+	1+
RM 27	12	8	1+	1+	0	1+	4+	1+	1+	1+
RM 28	12	7	3+	3+	1+	1+	4+	1+	1+	1+
RM 29	14	10	0	0	0	0	4+	0	4+	0
RM 30	13	9	0	1+	0	0	4+	0	3+	0
RM 31	24	21	0	0	3+	0	1+	0	0	0
RM 32	12	6	1+	1+	1+	1+	3+	3+	1+	1+
RM 33	12	9	1+	1+	1+	1+	4+	3+	1+	1+

* 0: no change; 1+: slight reddening; 3+: 50% of the lymph node hemorrhagic; 4+: represents a lymph node resembling a blood clot

probably resulting from clotting failure when the pig was bled two days before it died. Two other pigs showed a slight enlargement of the spleen including infarcts in one of them. The liver appeared normal in all but one pig, which had fibrin around the liver (table V).

Viremia and virus titres in the tissues

Virus was first detected in the blood at 3 DPI in all the pigs and maximum titres ranging between $10^{7.2}$ - $10^{9.2}$ HAD₅₀/ml were recorded between 3-6 DPI (table VII). Infectious virus could not be detected in the blood of one pig, which survived the infection at 34 DPI. Virus titres in tissues collected from each animal during autopsy were recorded. Highest titres were recorded in the lung and ranged between $10^{4.0}$ HAD₅₀/gm in one pig, which died at 24 DPI and $10^{7.0}$ HAD₅₀/gm in two others, which died at 12 and 14 DPI (table VIII).

There was no significant difference ($p > 0.01$) between the means of virus titres in different organs infected with the CAM/86 ASFV isolate. A difference in virus titre ($p < 0.01$) was observed between the tonsil, lung and gastro-hepatic lymph node from pigs infected with the CAM/88 virus isolate; the lung and the gastro-hepatic

lymph node contained higher virus titres than the tonsil. However, no organ in this group responded very differently from the rest.

A pairwise comparison of means of virus titres in the same organs in pigs infected with the two virus isolates showed that there was no difference in virus titres in organs of pigs infected with the two virus isolates ($p > 0.01$). No difference was observed between the duration of illness produced in infected pigs by the two isolates ($p > 0.01$).

An analysis of variance was carried out with the titre values as response or dependent variables while the six organs in tables IV and VIII and the two virus isolates were used as the explanatory variables or factors. The effect of the possible organ/virus isolates interaction was also tested. The statistical package GLIM was used for the analysis.

The results showed that the variation in the mean virus titres in organs was not significantly affected by the virus isolates used to infect the pigs ($p > 0.01$), implying there was no significant interaction between the organs and the virus isolates. Also, the overall mean virus titres in organs from pigs infected with the two virus isolates did not differ significantly ($p > 0.01$). However, the mean virus titres varied significantly from one organ to the other ($p < 0.01$).

Table VII

Viremia in pigs infected with the CAM/88 isolate of ASFV (\log_{10} HAD₅₀/ml)

Pig No.	Days post inoculation										
	3	6	10	16	20	23	27	30	34	41	45
RM25	9.2	7.5	6.2	dead							
RM26	9.2	6.5	7.0	dead							
RM27	7.5	6.2	6.0	dead							
RM28	7.2	6.2	7.0	dead							
RM29	6.2	7.5	7.0	dead							
RM30	9.2	7.5	7.0	dead							
RM31	9.2	7.2	7.0	5.2	3.5	3.5	dead				
RM32	9.2	8.2	6.0	dead							
RM33	9.2	7.2	6.2	dead							
RM34	9.2	7.2	5.5	4.5	5.2	5.0	4.2	3.5	NVD	NVD	NVD
Mean	8.5	7.1	6.5	4.8	4.3	4.2					

NVD: no virus detected (< 1.0 HAD₅₀/ml)

Table VIII

Virus titre in tissues of pigs collected during necropsy at various times after infection with the CAM/88 isolate of ASFV

Pig No.	DPI	DPP	Virus titre (\log_{10} HAD ₅₀ /gm)					
			Spleen	Kidney	Lung	Tonsil	Gastro-hepatic L. N.	Mandibular L. N.
RM 25	12	8	5.25	5.0	7.0	4.0	6.75	6.75
RM 25**	12	7	6.75	3.75	6.75	4.25	6.75	4.25
RM 27	12	8	6.75	4.25	6.25	3.25	6.75	4.0
RM 28	12	7	4.24	5.25	5.75	2.0	6.0	5.0
RM 29	14	10	6.0	6.0	7.0	5.0	6.0	5.0
RM 31**	24	21	3.25	1.0	4.0	1.0	2.25	1.0
RM 30	16	9	NT	NT	NT	NT	NT	NT
RM 32	16	9	NT	NT	NT	NT	NT	NT
RM 33	16	9	NT	NT	NT	NT	NT	NT

NT: not tested

** Animals killed *in extremis*

DISCUSSION

The results of this study have shown that the clinical signs, gross lesions and virus titres in tissues of pigs infected with the CAM/86 and CAM/88 ASFV isolates were very similar despite the differences observed between the genomes of these isolates.

All ten pigs in each group became infected and the first clinical sign was fever of 40°C or more that was observed at 3-6 DPI. Other signs that became evident after 7 DPI were essentially the same in both groups of pigs and included inappetence, posterior incoordination, diarrhea, lameness and prostration. Eight pigs (80%) infected with the CAM/86 virus isolate died and 9 pigs (90%) infected with the CAM/88 isolate also died of the infection. No significant difference ($p > 0.01$) was observed between the duration of illness before death produced by the two virus isolates. This period ranged between 6-16 days (median 10 days) in the pigs infected with the CAM/86 isolate and 7-21 days (median 8 days) in the pigs infected with the CAM/88 virus isolate.

The gross lesions in pigs from both groups were similar and they included excess fluid in the thoracic and abdominal cavities, varying degrees of hemorrhages in the kidney and visceral lymph

nodes. The gastro-hepatic lymph nodes were the most severely affected in both groups of pigs and they had a deep red color resembling a blood clot. The spleens in both groups of pigs were generally normal with no change in color and consistency except for two cases in the pigs infected with the CAM/86 isolate and two others in the group infected with the CAM/88 isolate, which showed slight splenomegaly and a dark coloration.

Hemorrhages in the ventricle of the heart were commonly observed in both groups of pigs. Two pigs in each group showed hemorrhages in the gall bladder and small and large intestines. The liver appeared normal in all pigs in both groups except one infected with CAM/88 virus isolate, which had fibrin around the liver.

Maximum virus titres in blood were observed between 3-6 DPI for pigs infected with the CAM/86 virus isolate and ranged between $10^{8.5}$ - $10^{9.2}$ HAD₅₀/ml (mean $10^{8.5}$ HAD₅₀/ml) and for pigs infected with the CAM/88 virus isolate, maximum viremia was observed between 3-6 DPI. The viremia became undetectable after 30 DPI and 45 DPI in two pigs, which survived infection with the CAM/86 virus isolate, and 34 DPI in another, which survived infection with the CAM/88 isolate. The maximum virus titre in the organs was observed in the spleen for the pigs infected with the

CAM/86 virus isolate and they ranged between $10^{4.3}$ - $10^{7.3}$ HAD₅₀/gm and in the lung for the pigs infected with the CAM/88 isolate and they ranged from $10^{4.0}$ to $10^{7.0}$ HAD₅₀/ml.

A significant difference was observed ($p < 0.01$) in mean virus titres between organs infected with the CAM/88 virus isolate with the highest titres being recorded in the lungs and none was observed between the means of virus titres in different organs infected with the CAM/86 ASFV isolate ($p > 0.01$). A pairwise comparison of virus titres in similar organs of infected pigs from both groups showed that there was no significant difference ($p > 0.01$) between virus titres in organs of pigs infected with the CAM/86 and CAM/88 ASFV isolates. Another analysis of variance was carried out using virus titre in tissues of pigs with virus isolates as an additional explanatory factor. This showed that the virus titres varied significantly with the organs infected ($p < 0.01$) and not with the virus isolates used to infect the pigs ($p > 0.01$). It is, therefore, clear from these results that the CAM/86 and CAM/88 ASFV isolates are very similar in relation to the clinical signs and lesions they produce in infected pigs despite the variations observed in their genomes.

Extensive bleeding into the subscapular region was observed in two pigs from each of the infected groups of pigs which was presumed to be due to a failure in the clotting mechanism when the animals were bled two days before they died. The causes of these hemorrhagic lesions in ASF infections have been investigated by a number of different workers.

Edwards *et al.* (6, 7) and Edwards and Dodds (5) suggested that the coagulation defects observed in ASF infections were probably due to the formation of immune complexes early in the course of the infection which induced platelet aggregation and thrombopenia. Naser *et al.* (18) and Naser and Kotze (19) observed degenerative changes in thrombocytes and platelets in pigs infected with ASF and these included enlargement, irregular shapes and fragmentation. These changes were associated with prolonged bleeding and thrombin-clotting time, impaired clot retraction and platelet aggregation. Anderson (2) reported that the hemorrhagic diathesis in pigs infected with ASF was primarily a result of the endothelial damage by the virus, leading to release of prostaglandin E₂, platelet aggregation and release of the pro-aggregatory prostaglandin, thromboxane A₂. The PGE₂ also promoted vascular dilation and permeability resulting in hemolytic anemia especially in acute ASF.

Ekue *et al.* (9) recorded similar lesions and clinical signs with those described in this study when they infected pigs with the CAM/82 virus isolate although the mortality rate was lower (33%). Another similar study was carried out by Wilkinson *et al.* (23) by infecting pigs with the Malta/78 virus isolate. The infected animals developed a fever ($> 40^{\circ}\text{C}$) which lasted up to 14 days with maximum viremia ranging between 10^7 - 10^9 HAD₅₀/ml which fell to undetectable levels between 35-55 days after the onset of fever. Mortality rates varied in their different experiments from 0-100% and clinical signs varied from only fever and anorexia to severe respiratory distress, prostration and death. At the onset of generalized infection high titres of virus ranging from $10^{5.3}$ to $10^{8.8}$ HAD₅₀ per ml or per gram were found in all organs and tissues examined. The results obtained in the present study were also similar to those observed in pigs infected with ASFV isolates from Brazil (Brazil/78) and the Dominican Republic (DR/78) (15). These isolates from the Western hemisphere were characterized by mild clinical signs and lesions but with lower mortality rates (44% for the Brazil/78; 30% for the DR/78). Viremia fell to below detectable levels in pigs infected with the Brazilian isolate between 24-38 DPI and 18-30 DPI in pigs infected with the Dominican Republic virus iso-

late. It could therefore be concluded that the two virus isolates used in this study produced a similar response when inoculated into domestic pigs as those observed with the CAM/82, the European isolates and those from the Western hemisphere. Generally, when pigs recover from acute disease caused by these less virulent ASF virus isolates (including those used in this study) and become clinically normal, virus is not detected in the circulation for later than 8 weeks after infection, but persists in tissues for up to 6 months. Waste meat from such pigs may contain sufficient virus to cause oral infection for up to 12-15 weeks (24). The reason for this viral clearance from the blood stream is not known. However, virus titres in tissues also decrease and persist for up to 6 months in tonsils and lymph nodes (24).

The pathogenicity of the two ASFV isolates described in this study was very different from that described for most other African isolates which usually have a short incubation period, severe clinical signs and produce high mortality rates in domestic pigs (14, 16, 17). They also differed in the lesions and clinical signs they produced in infected pigs from those of the Lisbon/57 and Lisbon/60 ASFV isolates that are very much similar to virulent African isolates in the disease produced in domestic pigs. The infection produced by the Lisbon/60 isolate of ASFV in pigs was characterized by severe clinical signs and gross lesions which included reddening of the skin, bloody diarrhea, enlarged, dark and friable spleen, and severe hemorrhages of the visceral lymph nodes and 100% mortality (15).

The antigenic and genomic relationships between the Cameroon ASFV isolates had been investigated and the results from both studies showed that the ASFV isolates from Cameroon are very similar to each other and that they are also very similar to some European isolates (8). Other earlier studies based on restriction enzyme analysis have also shown that the CAM/82 isolate is genetically very similar to the Caribbean ASFV isolates (22). Therefore this study on the pathogenicity of the CAM/86 and CAM/88 virus isolates in pigs has also emphasized the similarities shared between the Cameroon isolates and also between the Cameroon, the European and Caribbean isolates of ASFV.

Acknowledgements

The authors thank Mr. G. Hutchings, Ms Becky Lade for excellent technical assistance and Mr. I. Hughes for his help in the isolation compound. We also thank Mr. N. Forche for his assistance in the statistical analysis. Finally, our gratitude goes to the Institute of Agricultural Research for Development (IRAD), Cameroon and the Overseas Development Administration (ODA), U.K., for providing the funds.

REFERENCES

1. ALMENDRAL J.M., BLASCO R., LEY V., BELOSO A. TALAVERA A., VINUELA E., 1984. Restriction site map of African swine fever virus DNA. *Virology*, **133**: 258-270.
2. ANDERSON E.C., 1986. African swine fever: current concepts on its pathogenesis and immunology. *Rev. sci. tech. OIE*, **5**: 477-486.
3. BAROUDY B.M., VENKATESAN S., MOSS B., 1982. Incomplete base-paired flip-flop terminal loops link the two DNA strands of the vaccinia virus genome into one uninterrupted polynucleotide chain. *Cell*, **28**: 315-324.
4. CARRASCOSA J.L., CARAZO J.M., CARRASCOSA A.L., GARCIA N., SANTISTEBAN A., VINUELA E., 1984. General morphology and capsid fine structure of African swine fever virus particles. *Virology*, **132**: 160-172.
5. EDWARDS J.E., DODD W.J., 1985. Platelet and fibrinogen kinetics in healthy and African swine fever-affected swine. (⁷⁵Se) selenomethionine labelling study. *Am. J. Vet. Res.*, **46**: 181-184.

Pathogenicity of Cameroon ASF virus isolates in domestic pigs

6. EDWARDS J.E., DODDS W.J., SLAUSON D.O., 1984. Coagulation changes in African swine fever virus infection. *Am. J. Vet. Res.*, **45**: 2414-2420.
7. EDWARDS J.E., DODDS W.J., SLAUSON D.O., 1985. Megakaryocytic infection and thrombocytopaenia in African swine fever. *Vet. Pathol.*, **22**: 171-176.
8. EKUE N.F., 1989. The epidemiology of African swine fever in Cameroon. Ph.D. Thesis of the Dept of Microbiology, University of Surrey, Guildford, U.K., 231 p.
9. EKUE N.F., WILKINSON P.J., WARDLEY R.C., 1989. Infection of pigs with the Cameroon isolate (CAM/82) of African swine fever virus. *J. Comp. Pathol.*, **100**: 145-154.
10. GERSHLIN P., BERUS K.I., 1974. Characterisation and localisation of naturally occurring cross-links in vaccinia virus DNA. *J. Mol. Biol.*, **88**: 785-796.
11. HESS W.R., 1971. ASF. Virology monographs. In: Von Herausgegeben ed. 1: Handbook of virus research. New York, NY, USA, Springer Verlag, p. 1-33.
12. HESS W.R., 1981. African swine fever: A reassessment. *Adv. Vet. Sci.*, **25**: 39-69.
13. MALMQUIST W.A., HAY D., 1960. Haemadsorption and cytopathic effect produced by African swine fever in swine bone marrow and buffy coat cultures. *Am. J. Vet. Res.*, **21**: 104-108.
14. MAURER F.D., GREISMER R.A., JONES T.C., 1958. The pathology of African swine fever. A comparison with hog cholera. *Am. J. Vet. Res.*, **19**: 517-539.
15. MEBUS C.A., DARDIRI A.H., 1979. Additional characteristics of disease caused by African swine fever virus isolated from Brazil and the Dominican Republic. *Proc. of the US Anim. Health Assoc.*, **83**: 227-239.
16. MONTGOMERY R.E., 1921. On a form of swine fever occurring in British East Africa (Kenya colony). *J. Comp. Pathol.*, **34**: 159-191, 243-262.
17. MOULTON J.E., COGGINS L., 1968. Comparison of acute and chronic lesions in African swine fever. *Cornell Vet.*, **58**: 364-388.
18. NESER J.A., PHILIPS T., THOMPSON G.R., GAINARU M.D., COETZEE T., 1986. African swine fever. I. Morphological changes and virus replication in blood platelets of pigs infected with virulent haemadsorbing and non-haemadsorbing isolates. *Onderstepoort J. Vet. Res.*, **53**: 133-144.
19. NESER J.A., KOTZE C., 1987. African swine fever. II. Functional disturbances of thrombocytes in pigs infected with virulent haemadsorbing and non-haemadsorbing virus isolates. *Onderstepoort J. Vet. Res.*, **54**: 147-155.
20. PLOWRIGHT W., PARKER J., STAPLE R.F., 1968. The growth of virulent strain of ASF virus in domestic pigs. *J. Hyg.*, **66**: 117-134.
21. REED L.D., MUENCH H.H., 1938. A simple method of estimating fifty percent end points. *Am. J. Hyg.*, **27**: 493-497.
22. WESLEY R.D., TUTHILL A.E., 1984. Genome relatedness among African swine fever field isolates by restriction endonuclease analysis. *Prev. Vet. Med.*, **2**: 53-62.
23. WILKINSON P.J., WARDLEY R.C., WILLIAMS S.M., 1981. ASFV (Malta/78) in pigs. *J. Comp. Path.*, **91**: 277-284.
24. WILKINSON P.J., WARDLEY R.C., WILLIAMS S.M., 1983. Studies in pigs infected with ASFV (Malta/78). In: African swine fever, Proc. CEO/FAO research Seminar, Sassari, Sardinia, Italia, 23-25 September, 1981. P.J. Wilkinson ed., p. 74-81.

Reçu le 20.1.00, accepté le 6.4.00

Resumé

Ekue N.F., Wilkinson P.J. Pouvoir pathogène de deux isolats de virus de la peste porcine africaine chez des porcs domestiques au Cameroun

Une étude a été réalisée pour mettre en évidence les liens pathologiques pouvant exister entre deux types de virus de la peste porcine africaine isolés au Cameroun et identifiés par les codes CAM/88 et CAM/86. Cette étude a permis de montrer que les deux isolats provoquaient les mêmes signes cliniques, des lésions caractéristiques et les mêmes taux d'infestation virale chez les porcs infectés. Les signes cliniques étaient les suivants : fièvre, observée dès 3 à 6 jours après l'inoculation, perte d'appétit, apathie, troubles de la coordination des membres postérieurs, frissons, diarrhée. Les autres symptômes observés étaient une dyspnée et des boiteries. Les lésions les plus courantes chez tous les animaux étaient une congestion pulmonaire, une hémorragie rénale et la présence de ganglions lymphatiques dans les viscères. La comparaison des moyennes des taux d'infestation virale dans les organes des porcs infectés par les deux isolats n'a révélé aucune différence significative ($p > 0.01$). La variation de la moyenne du taux d'infestation virale dans les organes ne dépendait pas du type de virus, il n'y avait donc pas d'interaction significative entre les organes et les isolats ($p > 0.01$). Enfin, la moyenne générale du taux d'infestation virale dans les organes des animaux n'était pas significativement différente ($p > 0.01$) selon le type de virus, mais ces taux variaient significativement d'un organe à l'autre ($p < 0.01$).

Mots-clés : Porcin - Animal domestique - Virus de la peste porcine africaine - Pouvoir pathogène - Cameroun.

Resumen

Ekue N.F., Wilkinson P.J. La patogenicidad de dos grupos de virus de la peste porcina africana aislados en cerdos domésticos en Camerún

Un estudio llevado a cabo con el fin de determinar las relaciones patológicas entre dos grupos genéticos de virus de la PPA, aislados en Camerún, representados por CAM/88 y CAM/86, demostró que ambos grupos muestran signos clínicos, lesiones generales y títulos virales similares en los cerdos infectados. Los signos clínicos incluyen pirexia inicial, observada 3 a 6 días post-inoculación, pérdida del apetito, apatía, incoordinación del tren posterior, temblores y diarrea. Otros síntomas incluyen disnea y cojeras. Las lesiones más frecuentemente observadas en todos los cerdos fueron congestión pulmonar y hemorragia en los riñones y linfonodos viscerales. Una comparación de los promedios de los títulos de virus, en órganos similares de cerdos infectados con los dos aislamientos virales, no mostró diferencia en los títulos virales ($p > 0.01$), lo cual implica que no existe una interacción significativa entre los aislamientos de virus y los órganos. Finalmente, el promedio general de los títulos virales varió significativamente de un órgano a otro ($p < 0.001$).

Palabras clave: Cerdo - Animales domésticos - Virus de la peste porcina africana - Patogenicidad - Camerún.

The effect of passage in pigs and pig bone marrow cultures on the genome of the Cameroon isolate (CAM/82) of ASF virus

Ekue N.F.^{1*} Wilkinson P.J.²

Key words

Swine - African swine fever virus - Bone marrow - Genome - Analysis - Cameroon.

Summary

A study was carried out to determine the effect of passage in pigs and pig bone marrow cultures on the genome of the Cameroon isolate (CAM/82) of ASF virus. Restriction enzyme analysis and cross hybridizations of the restriction enzyme fragments with plasmid DNA clones of ASF virus showed that no changes were detected in the genome of the CAM/82 isolate of ASFV when the virus was passed either in pigs or pig bone marrow cultures. The results presented in this study do suggest that the ASFV genome is quite stable during pig-to-pig transmission of the virus both in natural and in experimental conditions. These results also provide further epidemiological evidence for the persistence of ASF in the country by continuous circulation of viruses in pig populations.

INTRODUCTION

Many reports have been written describing the major rearrangements that occur during adaptation of ASF virus to tissue culture (2, 13, 15). Comparison of restriction enzyme site maps of genomes of tissue culture adapted virus with those of unadapted virus showed that most changes resulted from deletions or additions of sequences from regions close to both termini. In two different experiments (2, 13) it was observed that large deletions of 7 kb and 15 kb of sequences occurred between about 7 and 23 Kb from the left terminus during adaptation to MS and Vero monkey cell lines. In addition, small increases in the size of both terminal fragments and a fragment about 25 kb from the right end were observed (13). Viral DNA sub-populations were also produced when the ASFV E70 isolate from Spain was grown in monkey kidney MS cells (10). Mapping the genomes of four of these virus variants showed that the restriction enzyme fragments located at both termini, one fragment about 25 kb from the right end and one fragment in the center of the genome varied in length when virus variants were compared to the parent viruses (10). Virus genome heterogeneity has also been observed in plaque-purified virus isolates obtained after serial passage in Vero cells (15).

Most biochemical studies have been made with the virus adapted to grow in monkey kidney cells and the DNA of such tissue culture-adapted virus varies in size (160 kbp) when compared to the wild type virus (170 kbp) (1, 13). This study was carried out to investigate the effect of serial passage of the CAM/82 ASFV isolate in pigs and in primary pig bone marrow cultures by restriction enzyme analysis and restriction enzyme site mapping.

MATERIALS AND METHODS.

Crossbred Large White x Landrace pigs of 20-30 kg live weight were used in the study. Two ml of spleen suspension containing the original CAM/82 ASF virus at a titre of $10^{4.1}$ HAD₅₀/gm of spleen was first inoculated intravenously into a pig after taking a pre-inoculation blood sample. When the pig developed a temperature of 40°C or more, blood was collected and virus DNA was prepared from the infected packed red blood cells as described by Wesley and Tuthill (16). The same procedure was carried out for 20 pig passages of the virus and each time a suspension prepared from the spleen of a previously infected pig was used to inoculate a new pig.

The restriction enzymes BamHI, Asp718 and EcoRI obtained from Boehringer Mannheim were used according to manufacturer's recommendations to digest the virus DNA prepared from the infected red blood cells obtained from the different pig passages. The end-labeling with ³²PdATP using the Klenow fragment of DNA polymerase I was performed using standard procedures (5, 6) and

1. IRAD Nkolbisson, BP 2067, Yaounde, Cameroon, Tel/fax: +237 22 33 62; E-mail: iradpna@iccnnet.cm

2. Institute of Animal Health, Pirbright Laboratory, Pirbright, Surrey GU24 0NF, United Kingdom

* Corresponding Author

electrophoresis of the digested products in 0.6% agarose gel. A Southern blot prepared after digesting the various DNA samples with BamHI was used to hybridize with plasmid DNA clones, RK', RA/SC, RB and RD' of the Vero cell-adapted Spanish isolate of ASF virus DNA (7). These clones hybridize with fragments which map to the left terminus, the region 35-40 kb from the left terminus, the central region and the right terminus which contain the variable regions of the ASF genome (2, 3, 12, 14).

Serial passage of the CAM/82 ASF virus in PBM cultures

The PBM cultures were prepared as described by Plowright *et al* (9) and established in 75 ml plastic tissue culture flasks (Falcon^R). The monolayers were infected with 2 ml of the CAM/82 ASF virus at a titre of $10^{4.1}$ HAD₅₀/gm of spleen after 3 days of incubation at 37°C. When the cytopathic effect (CPE) was 80-90% complete, the cells were pooled and an aliquot of 20 ml was stored at -70°C for the next virus passage while the rest was centrifuged at 1000 G for 15 min at 4°C. The preparation of virus DNA from the infected cells was carried out essentially as described by Wesley and Pan (15). The process was repeated until the virus had been passed 17 times in PBM cultures and at each passage the virus, stored at -70°C from the previous passage, was used to infect new PBM cultures.

The restriction enzymes BamHI and EcoRI were used to digest the virus DNA from the different PBM passages and the digests were end-labeled and electrophoresed in 0.6% agarose gel following standard procedures (5, 6). A Southern blot was prepared from fragments produced after digesting the DNA samples with BamHI (11). The blot was used to hybridize with plasmid clones RA/SC, RB RD', SH and RK'. This was to determine whether any differences had occurred in the variable region as a result of the PBM culture passage.

RESULTS

Serial passage of the CAM/82 isolate of ASFV in domestic pigs

Virus DNA prepared from infected red blood cells obtained from the pig passages 1, 5, 10, 15 and 20 of the CAM/82 virus isolate was digested with the restriction enzyme BamHI, EcoRI and Asp718. The digested products were analyzed by electrophoresis on 0.6% agarose gel. No variations in the electrophoretic mobility of the restriction enzyme fragments were observed between the genomes with the three enzymes (figure 1).

Cross-hybridizations of the BamHI fragments of the virus genome from the various pig passages on a Southern blot were carried out using the plasmid DNA clones RK', RA/SC, RB, SH and RD' as probes to determine whether any variations had occurred in the fragments in the variable regions of the genome. No size differences were observed using these probes (figure 2).

Serial passage of the CAM/82 isolate of ASFV in PBM cultures

Virus DNA of the CAM/82 isolate prepared from 5 passages of the virus in PBM cultures was analyzed by restriction enzyme analysis on 0.6% agarose gel with the enzymes BamHI and EcoRI. No differences in restriction enzyme fragment pattern were observed between the DNA from the PBM passages 1, 5, 8, 10 and 17 with BamHI and EcoRI (figure 3) with the parent virus isolate.

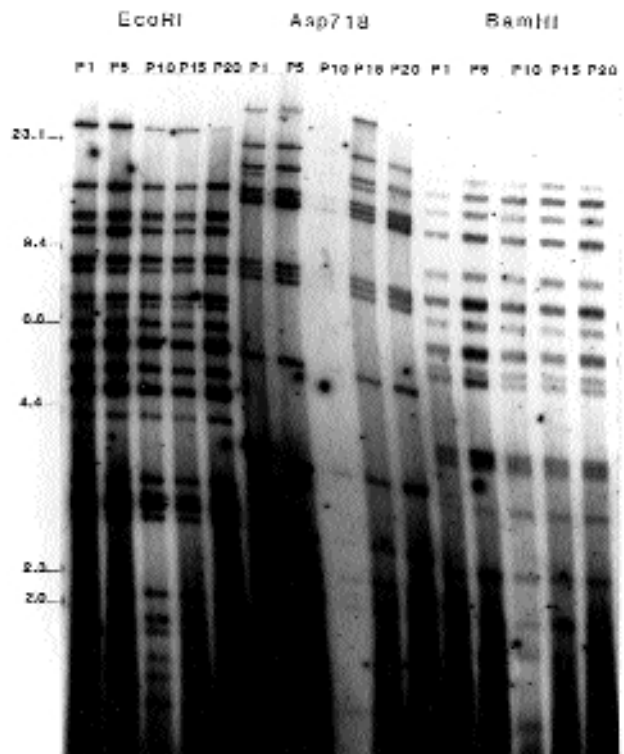


Figure 1: Restriction enzyme analysis of virus DNA from infected pig blood from 20 pig passages of the CAM/82 isolate of ASF virus with the enzymes BamHI, EcoRI and Asp718. Left: sizes of the molecular weight markers. P: pig passages.

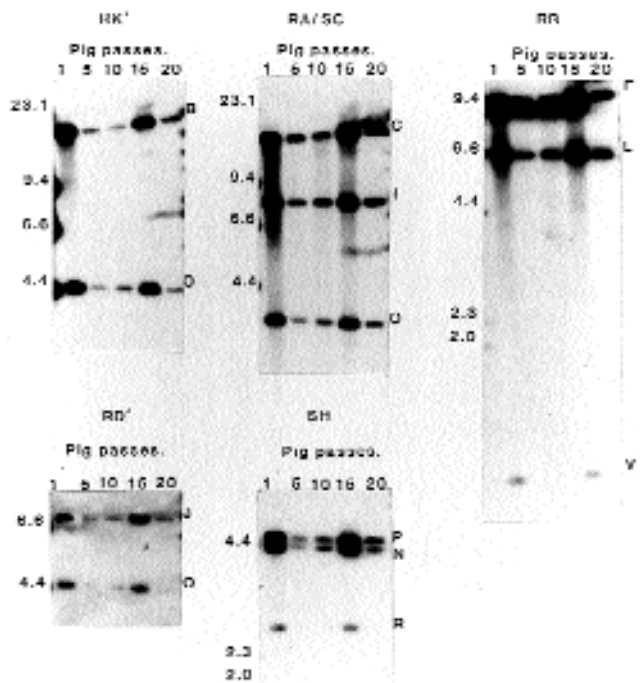


Figure 2: Hybridization of the plasmid clones RK', RA/SC, RB and RD' with Southern filters of the BamHI restriction enzyme fragments of virus DNA from different pig passages of the CAM/82 ASF virus.

The virus became non-haemadsorbing after the 10th passage and remained non-haemadsorbing in the subsequent passages.

No differences between restriction enzyme fragments of the genome of the CAM/82 virus from the different PBM passages was observed when a Southern blot of these fragments was cross-hybridized with the plasmid DNA clones RK', RA/SC, RB, SH and RD', which hybridize to fragments mapping to the variable regions of the genome (figure 4).

DISCUSSION

The results of the restriction enzyme analysis and cross-hybridizations of the restriction enzyme fragments with plasmid DNA clones of ASF virus, have shown that no changes were detected in the genome of the CAM/82 isolate of ASFV when the virus was passed either in pigs or PBM cultures.

This stability of the ASFV genome has also been observed with other isolates during natural infection in domestic pigs. The Dominican Republic and Haiti isolates were obtained three years apart and from different geographical areas, yet they showed identical restriction enzyme fragment profiles which were also very closely related to those of the genome of the CAM/82 isolate of ASFV (16). The CAM/82 isolate was indistinguishable from the CAM/88 isolate by restriction enzyme analysis (4) and these isolates were obtained six years apart from different parts of the enzootic area. Also seven 1986 Portuguese ASFV isolates from outbreaks in domestic pigs in different regions of the country were shown to be identical by restriction enzyme analysis while other European isolates of ASFV from outbreaks in domestic pigs were

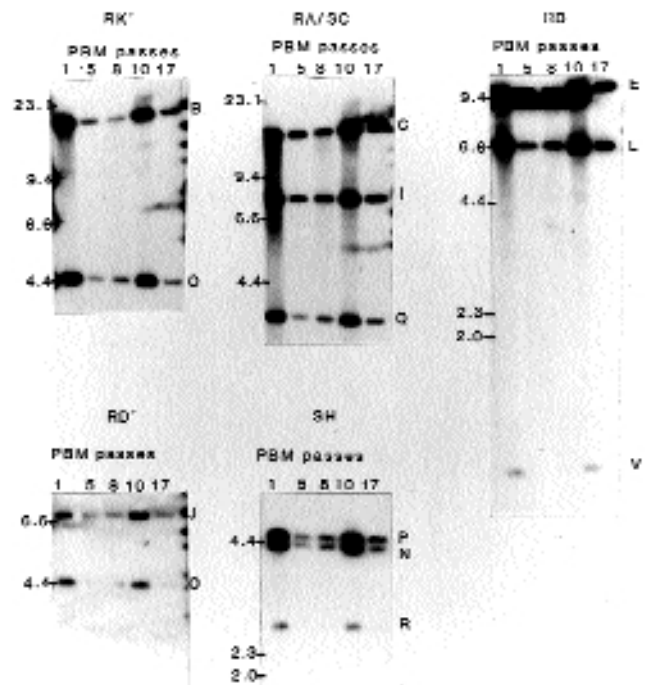


Figure 4: Hybridization of the plasmid ASVF clones RK', RA/SC, RB and RD' with Southern filters of the BamHI restriction enzyme fragments of virus DNA from the PBM culture passages of the CAM/82 virus isolate.

observed to be very closely related (Wilkinson *et al.*, personal communications). The results presented in this study and those of other workers mentioned do suggest that the ASFV genome is quite stable during pig-to-pig transmission of the virus both in natural and in experimental conditions.

No differences in restriction enzyme fragment pattern were observed with the virus DNA from the different PBM culture passages (figure 3). Cross-hybridizations of the BamHI restriction enzyme fragments on a Southern blot with plasmid clones RK', RA/SC, RB, SH and RD' failed to detect any differences within the variable regions of the genome between virus DNA from the different PBM passages. A number of different workers have described major genome rearrangements that occur during adaptation of ASFV to grow in other tissue culture cell lines (2, 13, 15). Most changes resulted from deletions or additions of sequences from regions close to both termini. Large deletions of 7-15 kbp of sequences between about 7 and 23 kb from the left terminus occurred during adaptation of the virus to MS and Vero monkey cell lines (2, 13). In addition, small increases in the size of both terminal fragments and of a fragment about 25 kb from the right terminus were also observed (13). This latter fragment also varied in length in virus variants obtained after sequential passage in MS tissue culture cells (13). However, the Badajoz isolate of ASFV (BA71 clone 1) did not change in its SalI restriction enzyme fragment pattern after 20 passages in pig macrophage cultures (2). Also, the virus BA71H which was derived from BA71 by more than 100 passages in pig macrophage cultures, showed no change in the SalI restriction enzyme pattern with respect to the predominant virus in the original population (2). Their results were very similar to those obtained in the present study with the CAM/82 virus isolate.

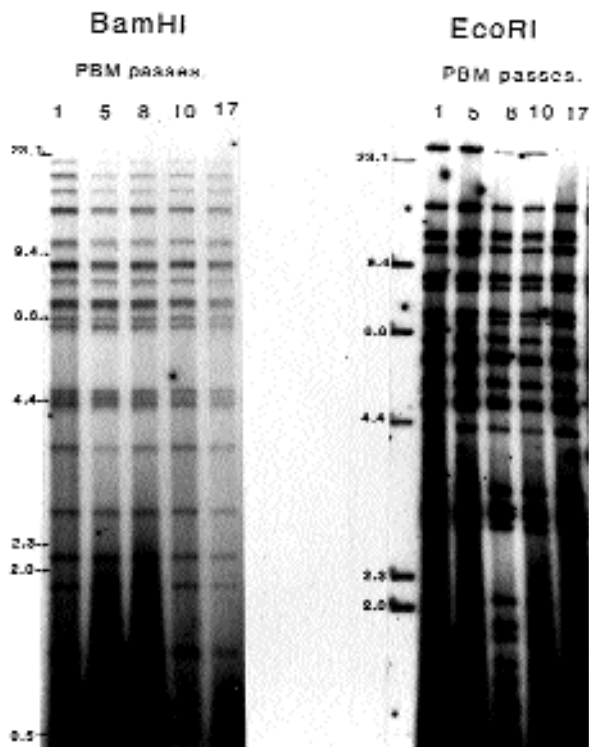


Figure 3: Restriction enzyme analysis of virus DNA of the CAM/82 ASF virus from different passages in PBM cultures with the enzymes BamHI and EcoRI.

It was observed that the virus (CAM/82) became non-haemadsorbing after the 10th PBM culture passage. It is quite possible that the passaging process had selected a new predominant virus population which did not possess this biological marker and had a similar genome to the earlier population as shown by the similar restriction enzyme fragment patterns (figure 5). This multiclonal concept of ASF virus was first proposed by Pan and Hess (8). They stated that ASFV isolates are composed of heterogeneous virus populations that can be separated by cloning and that they may differ in their biological characteristics with respect to haemadsorption, virulence, plaque size, antigenic composition and genomic structure. Therefore, the characteristics of any particular virus population can change if the proportion of the different clones is altered by passage in tissue culture (or pig) and this is probably the situation that was generated from the 10th PBM passage in relation to the haemadsorption characteristic.

The results presented in this study provide further epidemiological evidence for the persistence of ASF in Cameroon by continuous circulation of viruses in pig populations.

Acknowledgements

The authors would like to thank Mr. G. Hutchings and Miss R. Rade for excellent technical assistance and Mr. I. Hughes for his help in the isolation compound. We also thank Dr. E. Vinuela for the plasmid clones of the BA71-V ASF virus isolate used in this study. Finally, we extend our gratitude to the Institute of Agricultural Research for Development (IRAD), Cameroon and the Overseas Development Administration (O.D.A.), U.K., for providing the funds.

REFERENCES

1. ALMENDRAL J.M., BLASCO R., LEY V., BELOSO A., TALAVERA A., VINUELA E., 1984. Restriction site map of African swine fever virus DNA. *Virology*, **133**: 258-270.
2. BLASCO R., AGUERO M., ALMENDRAL J.M. AND VINUELA E., 1989. Variable and constant regions in African swine fever virus DNA. *Virology*, **168**: 330-338.
3. DIXON L.K., WILKINSON W.P., 1988. Genetic diversity of African swine fever virus isolates from soft ticks (*Ornithodoros moubata*) inhabiting burrows in Zambia. *J. Gen. Vir.*, **69**: 2981-2993.
4. EKUE N.F., 1989. The epidemiology of African swine fever in Cameroon. Ph.D. Thesis, University of Surrey, Guildford, U.K., 231 p.
5. FEINBERG A.P., VOGELSTEIN B., 1983. A technique for radiolabeling DNA restriction endonuclease fragments to high specific activity. *Anal. Biochem.*, **132**: 6-13.
6. FEINBERG A.P., VOGELSTEIN B., 1984. A technique for radiolabeling DNA restriction endonuclease fragments to high specific activity. *Anal. Biochem.*, **137**: 266-267.
7. LEY V., ALMENDRAL J.M., CARBONERO P., BELOSO A., VINUELA E., TALAVERA A., 1984. Molecular cloning of African swine fever virus DNA. *Virology*, **133**: 249-257.
8. PAN I.C., HESS W.R., 1985. Diversity of African swine fever virus. *Am. J. Vet. Res.*, **66**: 314-320.
9. PLOWRIGHT W., PARKER J., STAPLE R.F., 1968. The growth of a virulent strain of ASF virus in domestic pigs. *J. Hyg.*, **66**: 117-134.

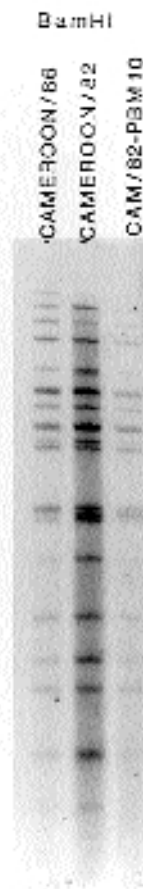


Figure 5: Restriction enzyme analysis of genomes of the parent CAM/82, CAM/86 virus isolates and that from the 10th PBM passage of the CAM/82 virus with the enzyme BamHI.

10. SANTURDE G., GONZALVO RUIZ F., CARNERO M.E., TABARES E., 1988. Genetic stability of African swine fever virus grown in monkey kidney cells. *Arch. Virol.*, **98**: 117-122.
11. SOUTHERN E.M., 1975. Detection of specific sequences among DNA fragments separated by gel electrophoresis. *J. Mol. Biol.*, **98**: 503-518.
12. SUMPTION K.J., HUTCHINGS G.H., WILKINSON P.J., DIXON L.K., 1990. Variable regions on the genome of the Malawi isolates of ASF virus. *J. Gen. Virol.*, **71**: 2331-2340.
13. TABARES E., OLIVARES I., SANTURDE C., GARCIA M.J., MARTIN E., CARNERO M.E., 1987. African swine fever virus DNA: deletions and additions during adaptation to growth in monkey kidney cells. *Arch. Virol.*, **97**: 333-346.
14. VINUELA E., 1985. African swine fever. *Curr. Top. Microbiol. Immunol.*, **116**: 151-170.
15. WESLEY R.D., PAN I.C., 1982. African swine fever virus DNA: Restriction endonuclease cleavage patterns of wild type, Vero cell-adapted and plaque purified virus. *J. Gen. Virol.*, **63**: 383-391.
16. WESLEY R.D., TUTHILL A.E., 1984. Genome relatedness among African swine fever field isolates by restriction endonuclease analysis. *Prev. Vet. Med.*, **2**: 53-62.

Reçu le 20.1.00, accepté le 6.4.00

Résumé

N.F. Ekue, P.J. Wilkinson Comportement du génome du virus de la PPA dans l'isolat CAM/82 après son passage chez le porc et dans des cultures de sa moelle osseuse

Une étude a été menée en vue de déterminer le comportement du génome du virus de la peste porcine africaine (Ppa) dans l'isolat Camerounais CAM/82, après son passage chez le porc et dans les cultures de sa moelle osseuse. Les analyses de l'enzyme de restriction et l'hybridation croisée des fragments d'ADN du virus avec des clones plasmides ont montré qu'aucune modification du génome du virus n'est intervenue. Les résultats de cette étude suggèrent que le génome du virus de la PPA est stable durant sa transmission d'un porc à l'autre, aussi bien dans des conditions expérimentales que naturelles. Ces résultats fournissent en outre la preuve épidémiologique de la persistance de la PPA dans le pays par une circulation continue des virus au sein des populations porcines.

Mots-clés : Porcin - Virus de la peste porcine africaine - Moelle osseuse - Génome - Analyse - Cameroun.

Resumen

N.F. Ekue, P.J. Wilkinson Efecto del pasaje en cultivos de médula ósea de cerdo y en cerdos sobre el genoma del virus de la PPA (CAM/82) aislado en Camerún

Se llevó a cabo un estudio para determinar el efecto del pasaje en cultivos de médula ósea de cerdo y en cerdos sobre el genoma del virus de la PPA (CAM/82) aislado en Camerún. El análisis de la restricción enzimática e hibridaciones cruzadas de fragmentos de enzimas de restricción con clones de ADN de plasmidios, mostró que no se detectaron cambios en el genoma del aislamiento del ASFV CAM/82 durante los pasajes de los cultivos en cerdos o en médula ósea de cerdo. Los resultados presentados en el presente estudio sugieren que el genoma de la PPA es bastante estable durante la transmisión entre cerdos del virus, tanto en condiciones experimentales como naturales. Estos resultados también proveen mayor evidencia epidemiológica de la persistencia del ASF en el país, mediante circulación continua de los virus en las poblaciones de cerdos.

Palabras clave: Cerdo - Virus de la peste porcina africana - Médula ósea - Genomas - Análisis - Camerún.

Flora of Egypt

L. Boulos

□ La flore d'Égypte, bien connue, a déjà été le thème de très nombreuses études et publications. Il faut aussi reconnaître que le travail des botanistes égyptiens se poursuit inlassablement et il est important de marquer l'étape que constitue la parution d'une nouvelle flore. C'est cette œuvre que Loutfy Boulos entreprend actuellement de mener à bonne fin en intégrant en particulier les données les plus récemment acquises sur la flore d'Égypte. Son travail doit comporter trois volumes dont seul le premier est maintenant paru.

L'auteur n'est assurément pas un nouveau venu, loin s'en faut. Il est au contraire un scientifique avisé et de renom international, comme en attestent les divers postes de responsabilité qu'il a occupés de par le monde et plus particulièrement en Afrique, au Proche et au Moyen-Orient. Après sa thèse de Doctorat d'Etat soutenue à Montpellier, il a tout d'abord travaillé au National Research Centre au Caire, puis dans diverses universités (Le Caire, Amman, Tripoli, Kuwait). Il a également œuvré plusieurs années auprès du Centre international pour l'élevage en Afrique (IICA-Cipea) à Addis-Abeba (Ethiopie). Il a rédigé de très nombreux articles et ouvrages sur la flore d'Égypte, du Nord de l'Afrique, du Proche et du Moyen-Orient.

Cette nouvelle flore comprend à la fois :

- les clefs de détermination révisées, par rapport aux travaux plus anciens, afin de faciliter les identifications ; les familles et les genres sont décrits et présentés en détail ;
- la mise à jour des taxons considérés comme appartenant à la flore égyptienne en tenant compte des nécessaires additions ou suppressions par rapport aux travaux antérieurs ;
- la mise à jour de la nomenclature des taxons (binômes complets, synonymes et descriptions brèves mais précises) ; la nomenclature est proposée en cohérence parfaite avec l'ouvrage déjà paru sous la plume du même auteur et intitulé : *Flora of Egypt — Checklist* (1995) ;
- les éléments concernant les habitats occupés et la distribution en Égypte des divers taxons, mais également leur répartition plus large ;
- des informations relatives aux usages habituels des taxons ;
- un index complet en fin de volume, permettant — aussi bien par les synonymes que par le binôme en vigueur — une consultation rapide des nombreuses informations contenues dans cet ouvrage.

Ce premier volume traite des dicotylédones depuis les Azollaceae jusqu'aux Oxalidaceae. Il concerne au total

42 familles d'espèces natives ou naturalisées en Égypte. En tout, 719 espèces y sont traitées. Les Leguminosae (228 espèces), les Cruciferae (102 espèces), les Caryophyllaceae (87 espèces) et les Chenopodiaceae (76 espèces) sont les familles les mieux représentées. Une attention toute particulière a été portée aux illustrations sous la forme de 64 planches dessinées (soit 544 espèces), dues à la plume de plusieurs illustrateurs. Les planches de photographies en couleur, réalisées par l'auteur, complètent très agréablement l'ouvrage.

A la suite de ce tome, paru en 1999, un second volume complètera la partie « dicotylédones » de cette flore (Geraniaceae-Compositae). Il est déjà rédigé et sa parution est programmée chez Al Hadara Publishing, au Caire. Un troisième volume sera consacré aux monocotylédones et autres gymnospermes.

Edouard LE FLOC'H
Cnrs

Boulos L., 1999. Flora of Egypt, Vol. 1 (Azollaceae-Oxalidaceae), 420 p. Al Hadara Publishing, 7, Abou El-Seoud Street, Dokki 12311, Cairo, Egypt.
Fax: + 20 2 36 05 898;
E-mail: hadara@ritsec1.com.eg
ISBN 977-5429-14-5

L'ouvrage est en vente à l'adresse de l'auteur : Loutfy Boulos, 11, Nawal Street, Dokki, Cairo, Egypt.

Importance des interfaces spatiales et temporelles entre les bovins et les glossines dans la transmission de la trypanosomose animale en Afrique de l'Ouest

S. de La Rocque^{1,2} * Z. Bengaly¹ J.F. Michel^{1,2}
P. Solano³ I. Sidibé¹ D. Cuisance²

Mots-clés

Bovin - *Glossina* - Trypanosomose - Epidémiologie - Environnement - Agriculture - Méthode d'élevage - Burkina Faso.

Résumé

Lors d'une étude globale du risque trypanosomien menée dans la zone agropastorale de Sédéradougou (Burkina Faso), des troupeaux sentinelles issus de deux systèmes d'élevage différents ont été suivis durant deux ans. L'incidence trypanosomienne mensuelle a été mesurée et interprétée en fonction des parcours des troupeaux, de leur pratique d'abreuvement et de leur contact avec les glossines ripicoles (*Glossina tachinoides* et *G. palpalis gambiensis*). A Nakaka, village d'éleveurs Peuls, la transmission en saison sèche est assurée aux points d'abreuvement pérennes dans la galerie forestière. En saison des pluies, les glossines ripicoles se dispersent dans les savanes et infectent les animaux jusque dans les villages. A Péfrou, ensemble de campements d'agriculteurs Bobo, les troupeaux sont composés essentiellement de bœufs de traction. Les animaux issus des campements localisés à proximité du cours d'eau s'abreuvent dans les points d'eau des formations riveraines et sont infectés toute l'année. L'incidence est plus élevée en hivernage et en début de saison sèche, période où les glossines sont les plus nombreuses. A l'opposé, les troupeaux des campements éloignés du réseau hydrographique (3 km) sont abreuvés au puits et ne fréquentent pas les biotopes des glossines. Dans ce paysage essentiellement agricole, les glossines ne se dispersent pas, même en saison humide. L'incidence dans les troupeaux est quasiment nulle. Ces résultats montrent l'importance des interfaces spatiales et temporelles entre les bovins et les glossines dans l'épidémiologie des trypanosomoses en Afrique de l'ouest.

■ INTRODUCTION

Le fonctionnement du système pathogène incriminé dans la transmission des trypanosomoses animales fait intervenir la classique triade hôte/vecteur/parasite. Au-delà de la répartition des glossines, inféodée à des biotopes particuliers, des études récentes menées dans une zone agropastorale du Burkina Faso ont montré que les glossines ne sont pas partout infectées par les mêmes parasites et que certains sites sont plus dangereux que d'autres. Ces points à risque se situent aux interfaces les plus intenses entre les glossines et les bovins (9).

Or, la capacité vectorielle telle qu'elle est souvent perçue laisse peu de place à l'hôte vertébré. Il est généralement considéré comme un agent passif, sur lequel les glossines acquièrent les parasites et auquel elles les transmettent. Pourtant, certaines pratiques pastorales permettent de limiter la fréquentation des sites où les glossines abondent ou d'éviter les heures où elles sont actives ; ces pratiques peuvent être interprétées comme des stratégies de défense de l'hôte.

La stratégie du « rendez-vous » (8) entre les acteurs repose sur les interfaces temporelles et spatiales qui se réalisent à la faveur de la croisée des circuits. Les différentes pratiques et les contraintes du milieu favorisent ou empêchent le contact entre les hôtes vertébrés et les vecteurs. La présente étude vise, à travers le suivi de troupeaux « sentinelles », à mieux comprendre l'épidémiologie analytique de parasites à transmission vectorielle. Elle décrit la circulation des parasites entre le compartiment vecteur (les glossines) et le compartiment hôte (le bétail) dans des situations contrastées rencontrées dans des savanes soudanaises d'Afrique de l'Ouest.

1. Cirades, BP 454, 01 Bobo-Dioulasso, Burkina Faso

2. Cirad-emvt, Campus de Baillarguet, 34398, Montpellier Cedex 5, France

3. Institut Pierre Richet, BP 1500, Bouaké, Côte d'Ivoire

* Auteur pour la correspondance :

Tél : + 226 97 22 87 ; Fax : + 226 97 23 20 ; E-mail : stephane.delarocque@cirad.fr

■ MATERIEL ET METHODES

Présentation de la zone

La zone agropastorale de Sidéradougo se situe au sud de Bobo-Dioulasso, au Burkina Faso, à 11° 10' de latitude Nord et 4° 19' de longitude Ouest (figure 1). Elle s'étend sur 3 500 km² au pied de la falaise de Banfora. Elle est représentative de la zone soudanienne, avec des précipitations de l'ordre de 1 100 mm par an.

Elle est constituée de savanes arborées à karité (*Butyrospermum paradoxum*) et à badamier (*Terminalia laxiflora*), de formations ripicoles arbustives ou de galeries forestières qui occupent les berges du réseau hydrographique. Dans cette zone, 1 200 km² ont fait l'objet durant les trois dernières années d'un projet de recherche mené par le Cirad et le Cirades pour identifier et localiser les sites de transmission des trypanosomoses animales (9). Lors de ce travail, un ensemble d'informations relevées sur le terrain ou issues d'analyses de données de télédétection (photographies aériennes, images Spot) a été intégré dans un système d'information géographique (Sig).

Occupation agricole

L'occupation agricole a été évaluée par l'interprétation d'une image de télédétection à haute résolution (Spot XS, décembre 1996, résolution 20 m x 20 m). Le parcellaire agricole a été cartographié par interprétation visuelle sur l'image satellite brute puis numérisé (figure 1).

Les systèmes d'élevages

L'effectif bovin de la zone a été recensé et s'élève à 16 500 têtes. Différents systèmes d'élevages ont été identifiés (15, 26) :

- des éleveurs traditionnels en voie de sédentarisation, d'ethnie Peul, sont propriétaires de troupeaux de grande taille et pratiquent un mode traditionnel d'élevage semi-transhumant ; leurs déplacements

sont limités et ne concernent souvent qu'une partie du troupeau ; ces éleveurs sont néanmoins grands consommateurs d'espace ; ils vivent dans les zones peu cultivées ;

- des agriculteurs d'ethnies locales anciennement installées (Bobo, Tiefo, Karaboro, Toussian...) possèdent quelques bovins de trait pour une production essentiellement vivrière (maïs, sorgho, petit mil) ;

- des agropasteurs originaires du plateau Mossi au centre du pays, installés depuis une dizaine d'années, ont été attirés par les conditions propices à la culture du coton ; ils acquièrent initialement quelques animaux de trait, capitalisent en quelques années les revenus cotonniers dans des femelles reproductrices et constituent des troupeaux d'une vingtaine d'animaux en moyenne ; ils vivent généralement dans les zones densément cultivées et, lorsque l'espace pastoral est trop réduit, peuvent confier une partie de leur troupeau à des bouviers Peuls.

A chacun de ces systèmes sont associées des stratégies différentes d'utilisation de l'espace, en réponse à la contrainte majeure que représente l'abreuvement des animaux durant la saison sèche (2).

Situation entomologique

Lors d'enquêtes entomologiques très fines réalisées en 1996 (un piège posé tous les 100 m le long de 120 km de réseau hydrographique), deux espèces de glossines ripicoles, *G. tachinoides* Westwood, 1850 et *G. palpalis gambiensis* Vanderplanck, 1949 ont été mises en évidence (12). En revanche aucune glossine de savane n'a été capturée lors de cette prospection.

Suivi des troupeaux sentinelles

Afin d'évaluer le risque de transmission parasitaire auquel sont soumis les troupeaux selon les pratiques pastorales, deux groupes d'animaux sentinelles ont été suivis durant deux ans. Ces troupeaux ont été choisis dans des situations contrastées.

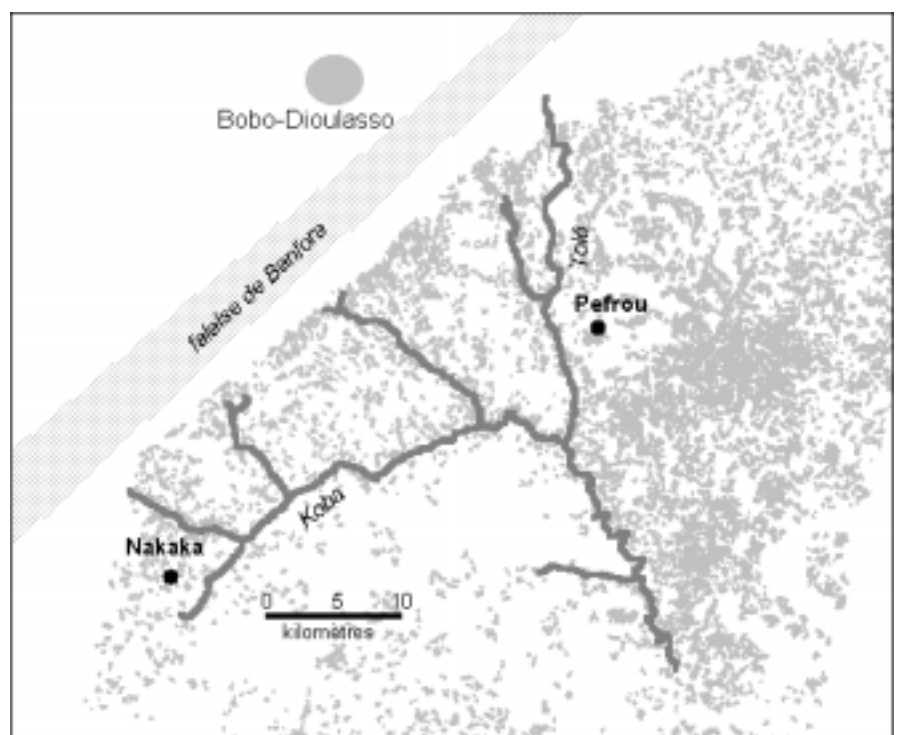
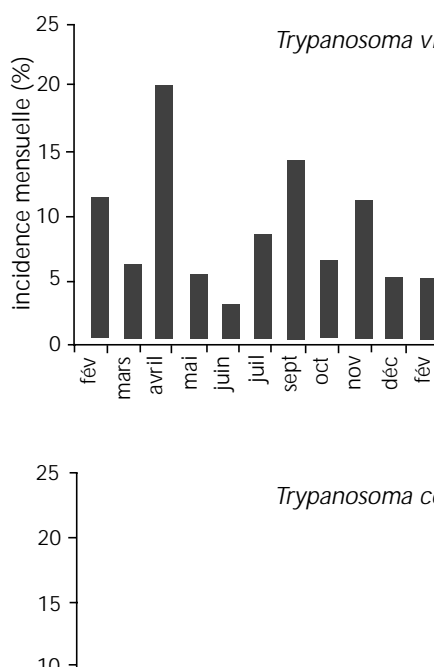


Figure 1 : situation de la zone de Sidéradougo, occupation agricole et localisation des troupeaux sentinelles.

Le premier troupeau appartient à des éleveurs Peuls qui pratiquent un élevage traditionnel. Leur campement nommé Nakaka se situe dans la partie pastorale au sud-ouest de la zone. Il est composé d'une dizaine de familles sédentarisées depuis plus de vingt ans. Chacune possède entre 15 et 400 animaux, l'effectif bovin total du campement avoisine les 1 600 têtes. Les troupeaux de trois familles ont été sélectionnés et les animaux suivis ont été échantillonnés par tirage aléatoire. Au total, 55 animaux ont été retenus et marqués d'une boucle auriculaire.

Le second troupeau est composé d'animaux de plusieurs agriculteurs Bobo localisés sur le terroir du village de Barré, aux abords de la rivière Tolé, dans une zone densément cultivée. Ces agriculteurs possèdent entre 1 et 8 animaux, essentiellement destinés au travail dans les champs. Les animaux de 20 éleveurs ont été retenus, ce qui représente un effectif de 74 têtes.

Protocole de suivi parasitologique

Chaque troupeau sélectionné a été visité toutes les cinq semaines durant deux ans. Le protocole adopté s'apparente à celui dit de « l'index Bérénil » qui permet de juger de l'incidence trypanosomienne. Lors des visites, une prise de sang à la veine jugulaire a été réalisée sur tous les animaux. Un examen parasitologique a été effectué immédiatement après le prélèvement, en utilisant la technique du *buffy coat* (centrifugation différentielle en microtubes capillaires, étalement de la phase leucocytaire entre lame et lamelle et examen en microscopie à fond noir) (28). L'observation directe des trypanosomes, leur taille, leur morphologie et leur motilité permettent de réaliser une première diagnose d'espèce, confirmée ultérieurement à l'examen des frottis après coloration (33).

Cette technique est reconnue sensible pour un diagnostic de terrain et permet d'identifier rapidement les animaux dont les parasitémies sont de l'ordre de 300 à 700 trypanosomes par ml (3, 34, 35). Cependant, les parasitémies peuvent être très faibles et échapper à cet examen direct (13, 24, 37). Aussi les animaux dont les valeurs de l'hématocrite étaient inférieures à 25 p. 100 ont été considérés comme douteux. Les échantillons positifs et douteux ont été ultérieurement analysés par *Pcr* (32).

A l'issue des examens pratiqués sur le terrain, les animaux parasitologiquement positifs ou ayant une valeur de l'hématocrite inférieure à 25 ont été traités à l'acéturate de diminazène (Bérénil®) à la dose de 7 mg/kg.

Calcul de l'incidence

Le suivi régulier de troupeaux sentinelles permet d'étudier la vitesse de réinfection par les trypanosomes, donc le niveau d'exposition des animaux à la pression parasitaire. L'acéturate de diminazène est une molécule particulièrement intéressante pour les études d'incidence. Il a un effet curatif immédiat mais son activité trypanopréventive est de courte durée, estimée à une quinzaine de jours. Des visites régulières toutes les cinq semaines laissent à l'animal traité la possibilité de s'infecter dans les vingt jours suivant l'injection (36). A chacune des visites se trouvaient donc, parmi les animaux positifs, des individus qui avaient été positifs et traités à la visite précédente et d'autres qui avaient été négatifs. Le calcul de l'incidence sur trente jours a été réalisé de la manière suivante :

$$I = \{[(PN/N) \times (30/d)] \times N/M\} + \{[(PT/T) \times (30/d-15)] \times T/M\}$$

ou encore $I = (30/N) \times [(PN/d) + (PT/d-15)]$

où :

PN : nombre de positifs à la visite n et non traités à n-1

PT : nombre de positifs à la visite n et traités à n-1

N : total des animaux non traités à n-1

T : total des animaux traités à n-1

d : nombre de jours entre les deux visites

M : population totale

Malgré l'action trypanopréventive limitée de l'acéturate de diminazène, l'apparition de phénomènes de résistance à ce principe actif relativise la confiance que l'on peut lui accorder. L'estimation de ces résistances dans la zone cotonnière du Burkina Faso est en cours (25).

Suivi du parcours des troupeaux

Afin de connaître le parcours journalier des animaux, les troupeaux sentinelles ont été suivis sur le terrain durant trois jours consécutifs, en fin de saison sèche et durant la saison des pluies. Leur position a été relevée tous les quarts d'heure au Gps (Global Positioning System, Garmin 75®). Ces résultats très précis ont été comparés à ceux d'une étude plus générale portant sur les pratiques d'élevage et les stratégies d'utilisation de l'espace (15).

Suivi entomologique

Les glossines ripicoles ont des exigences écologiques étroites. Elles restent concentrées dans les formations forestières riveraines, notamment durant la saison sèche. Cependant, lors de la période humide, elles ont une certaine aptitude à se disperser dans les savanes avoisinantes à la recherche d'hôtes nourriciers (10, 29). Afin d'estimer l'ampleur de cette dispersion, des pièges biconiques et monoconiques du type Vavoua ont été disposés alternativement tous les 100 m le long de transects allant du point d'abreuvement le plus proche jusqu'au village (5, 6, 20). La position de chacun de ces pièges a été relevée par Gps, selon une procédure assurant une précision de 20 m (14). Le dispositif de piégeage a été laissé en place trois jours consécutifs, toutes les deux semaines durant la saison des pluies (de début juillet à début septembre) et les récoltes d'insectes ont été effectuées tous les soirs.

■ RESULTATS

Le site de Nakaka : un contact hôtes-vecteurs permanent

Des incidences élevées toute l'année

La figure 2 présente les incidences mensuelles observées dans le troupeau de Nakaka durant les deux années de suivi. Les incidences mensuelles de l'infection à *T. vivax* se situent pratiquement toute l'année entre 5 et 10 p. 100, avec des pics jusqu'à 20 p. 100 en saison sèche chaude (mars - avril). Celles de *T. congolense* sont centrées sur la fin de saison sèche chaude et la saison des pluies (avril à septembre), période durant laquelle les densités de glossines augmentent. La transmission de *T. brucei* s.l. semble plus accidentelle. Les animaux sont donc en permanence soumis à une forte pression parasitaire.

Des parcours de vaste amplitude

Les parcours des animaux en fin de saison sèche (juillet) et durant la saison des pluies (septembre) sont représentés sur la figure 3. Chez les Peuls, les animaux sont généralement confiés à un jeune bouvier qui les conduit sur les pâturages et aux points d'abreuvement. Chaque soir, le troupeau rentre au campement.

Au mois de juillet, période de la préparation des cultures, les troupeaux doivent éviter les aires cultivées. Bien qu'il commence à pleuvoir à cette époque, le parcours indiqué ici est représentatif de ceux qui sont utilisés durant la période de sécheresse (15). Les principales contraintes qui guident les déplacements sont la recherche de pâturage et, surtout, des points d'abreuvement (18, 23). Les animaux sont abreuvés une ou deux fois dans la journée aux points d'eau pérennes du réseau hydrographique.

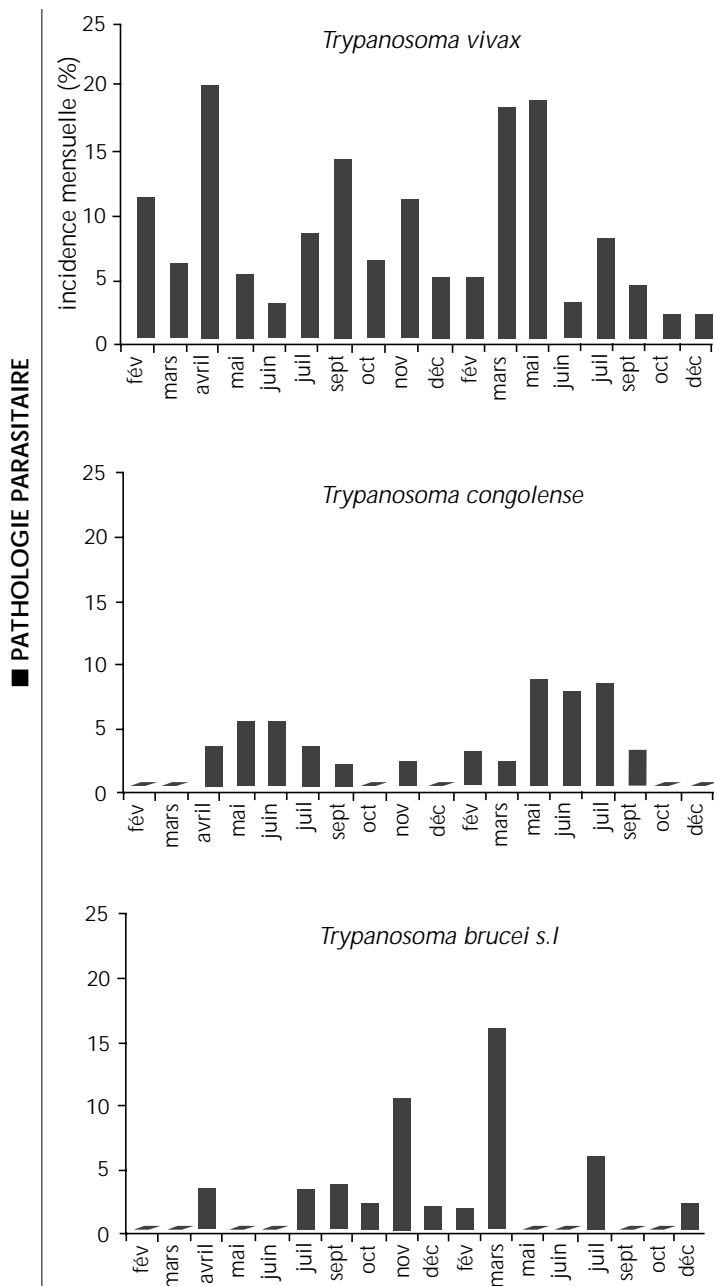


Figure 2 : incidences trypanosomiennes mensuelles (*Trypanosoma vivax*, *T. congolense*, *T. brucei s.l.*) dans le troupeau du village de Nakaka.

Au mois de septembre, le problème de l'abreuvement est moins crucial car les pluies ont créé de nombreuses mares temporaires. L'espace cultivé se libère après les premières récoltes et les animaux pénètrent dans les champs pour profiter des résidus de cultures. Les parcours sont plus restreints et centrés autour du campement.

La dispersion des glossines

La dispersion des mouches dans les savanes proches du réseau hydrographique est maximale durant la saison des pluies. Lors du suivi entomologique, *G. tachinoides* a été capturée régulièrement à différents niveaux du transect de pièges, jusque dans le village de Nakaka, pourtant distant de 2 km (figure 3). Les densités étaient cependant plus élevées dans les pièges proches de la galerie fores-

tière. *G. palpalis gambiensis* a également pu être mise en évidence dans le village et sur le transect, mais à deux occasions seulement. Cette dispersion des mouches est favorisée par la situation du village, localisé le long d'une dépression humide où la végétation arborée est dense. Ces résultats des captures confirment l'aptitude des deux espèces de glossines à sortir de leur biotope de saison sèche et à assurer en période humide une transmission sur le site même du village.

Ainsi, à Nakaka, la transmission des trypanosomes en saison sèche est assurée par un contact étroit et régulier entre les bovins et les glossines aux points d'abreuvement dans la galerie. En saison des pluies, les bovins ne fréquentent plus les points d'eau du réseau hydrographique, mais les mouches se dispersent dans les savanes et peuvent infecter les animaux jusque dans le village.

Le site de Péfrou : des situations variables selon la localisation du campement

Les résultats parasitologiques obtenus à Péfrou indiquent deux situations très différentes selon la proximité ou l'éloignement entre le campement du propriétaire des bovins et le réseau hydrographique.

Les campements situés à proximité du cours d'eau

Les courbes d'incidence obtenues chez les animaux localisés au voisinage de la Tolé (moins de 500 m) sont reportées dans la figure 4 (9 éleveurs, 33 animaux). Elles indiquent une pression de la transmission parasitaire régulière tout au long de l'année.

Les parcours journaliers des animaux sont de petite amplitude (figure 5). Confiés à un enfant de la famille, les bovins restent en périphérie de la concession, même durant la période de culture. Après les récoltes, ils sont menés sur les parcelles pour consommer les résidus de culture et assurer la fertilisation organique du sol. Dans ces campements situés à proximité du cours d'eau, les animaux sont abreuvés aux puisards creusés dans le lit de la rivière. Le contact avec les glossines est donc fréquent, comme en attestent les captures régulières de *G. tachinoides* à ces endroits.

Les campements situés à l'écart du cours d'eau

Dans le cheptel des campements situés à plus de 2 km du réseau hydrographique (11 éleveurs, 41 animaux), les résultats parasitologiques obtenus sont très différents (figure 6). La transmission est exceptionnelle, et les quelques infections détectées surviennent durant les périodes humides.

Ces animaux ne fréquentent pas les cours d'eau. Les effectifs réduits des troupeaux permettent au propriétaire de les abreuver avec l'eau du puits familial situé dans le campement. Ils restent ainsi éloignés des biotopes des glossines (figure 5). Par ailleurs, celles-ci ne se dispersent pas, ou peu, dans les savanes densément occupées par les cultures. Lors du suivi entomologique, seuls deux spécimens ont été capturés le long du transect au cours de la saison des pluies. Ces deux captures correspondaient à des pièges posés dans une zone de végétation dense, dans un bas-fond relié à l'un des affluents du cours d'eau (figure 5).

Ainsi, à Péfrou, les animaux issus des campements proches de la Tolé sont soumis à une forte pression glossinienne qui assure une transmission toute l'année. A l'inverse, les troupeaux des campements éloignés du cours d'eau ne fréquentent pas les biotopes à glossines. De plus celles-ci se dispersent peu dans un espace essentiellement agricole qui leur est très défavorable. Ces animaux ne s'infectent donc pas ou peu.

Densités de *Glossina tachinoides*

- aucune glossine
- de 1 à 3 glossines
- de 3 à 6 glossines
- de 6 à 30 glossines
- parcours de fin de saison sèche
- +—+—+ parcours de saison des pluies
- réseau hydrographique
- savane arborée dense
- ▨ parcelles cultivées

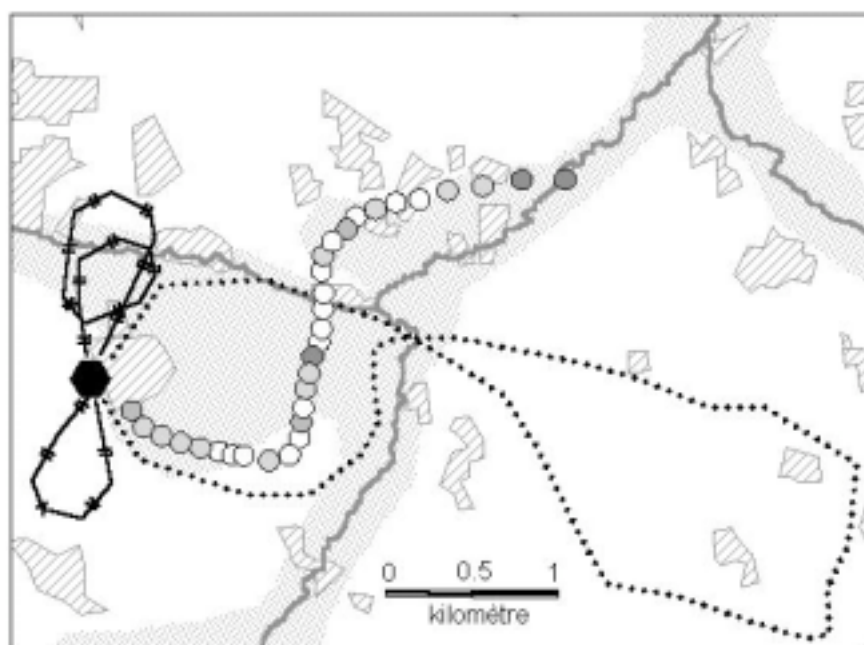


Figure 3 : parcours des animaux du village de Nakaka en fin de saison sèche, en saison des pluies et résultats entomologiques le long du transect.

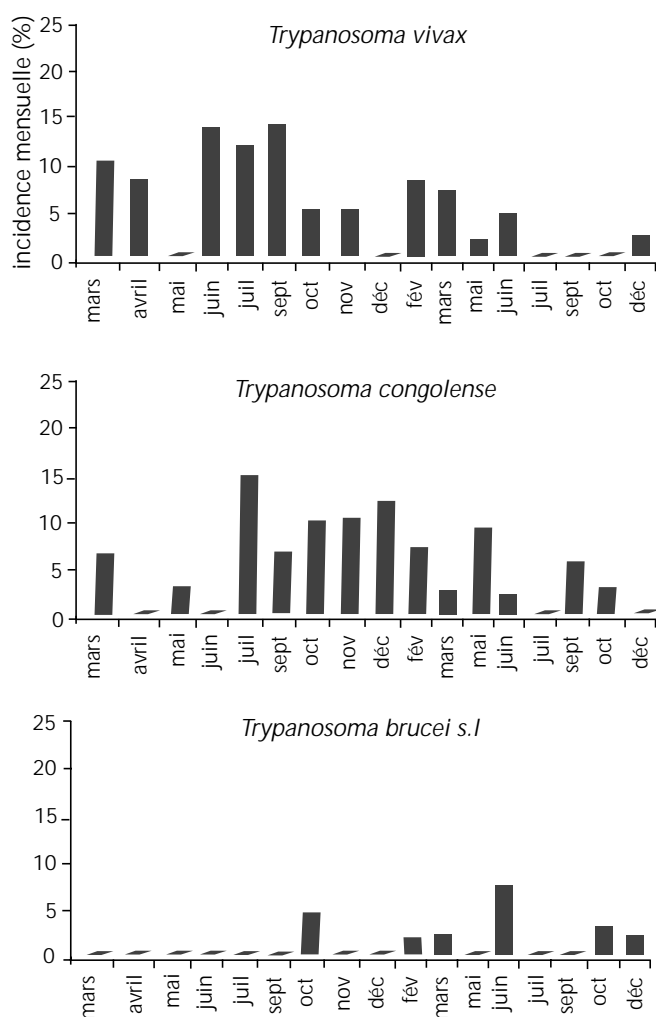


Figure 4 : incidences trypanosomiennes mensuelles (*Trypanosoma vivax*, *T. congolense*, *T. brucei s. l.*) chez les animaux du village de Péfrou issus de campements proches de la rivière.

■ DISCUSSION

Dans la littérature, le risque trypanosomien est classiquement relié à l'importance numérique des vecteurs (7, 17, 21, 27, 31). Cette relation entre les densités de glossines et la pression de transmission est bien admise avec les mouches des savanes — qui sont largement distribuées et ont des capacités de dispersion saisonnière rapides et amples. De ce fait, leur répartition spatiale est souvent considérée comme homogène. Quelques études ont cependant montré qu'à petite échelle, même avec ces espèces savanicoles, la transmission parasitaire pouvait être hétérogène dans l'espace (30). On a ainsi observé que, dans une savane colonisée par *G. morsitans submorsitans*, la pression glossinienne peut varier selon un rapport de 1 à 10 en fonction des troupeaux et de leurs lieux de pâture (36).

Dans le cas des glossines ripicoles, les zones de contact entre les vecteurs et les bovins sont encore plus circonscrites. En saison sèche, la répartition des glossines est essentiellement limitée aux formations arborées du réseau hydrographique. Or, la fréquentation des points d'abreuvement situés dans les galeries forestières est une obligation pour les propriétaires de grands troupeaux, qui ne peuvent pourvoir aux besoins de leurs animaux par l'exhaure manuelle. Les agriculteurs propriétaires de petits troupeaux ont, quant à eux, la possibilité de tirer l'eau des puits ou des forages et peuvent éviter les sites dangereux de la rivière. Mais, peut-être en raison d'une mauvaise connaissance de la maladie, ceux d'entre eux installés juste à proximité du réseau hydrographique y abreuvent régulièrement leurs animaux. Cette pratique quotidienne est d'autant plus dangereuse qu'elle permet la mise en place d'un système local de transmission parasitaire entre une population de vecteurs — pas toujours très abondante mais très infectée et infectante — et un troupeau quotidiennement agressé, à la fois source et victime des parasites (9, 22). La connaissance des pratiques pastorales et des systèmes d'élevage a donc une très grande importance dans l'évaluation du risque de transmission parasitaire (11).

Durant la saison humide, les glossines peuvent sortir de leurs biotopes traditionnels et se disperser dans les savanes avoisinantes.

Densités de *Glossina tachinoides*

- aucune glossine
- de 1 à 3 glossines
- de 3 à 6 glossines
- de 6 à 30 glossines
- campements qui abreuvent leurs animaux à la rivière
- + campements qui abreuvent leurs animaux à leur puits
- réseau hydrographique
- savane arborée dense
- ▨ parcelles cultivées

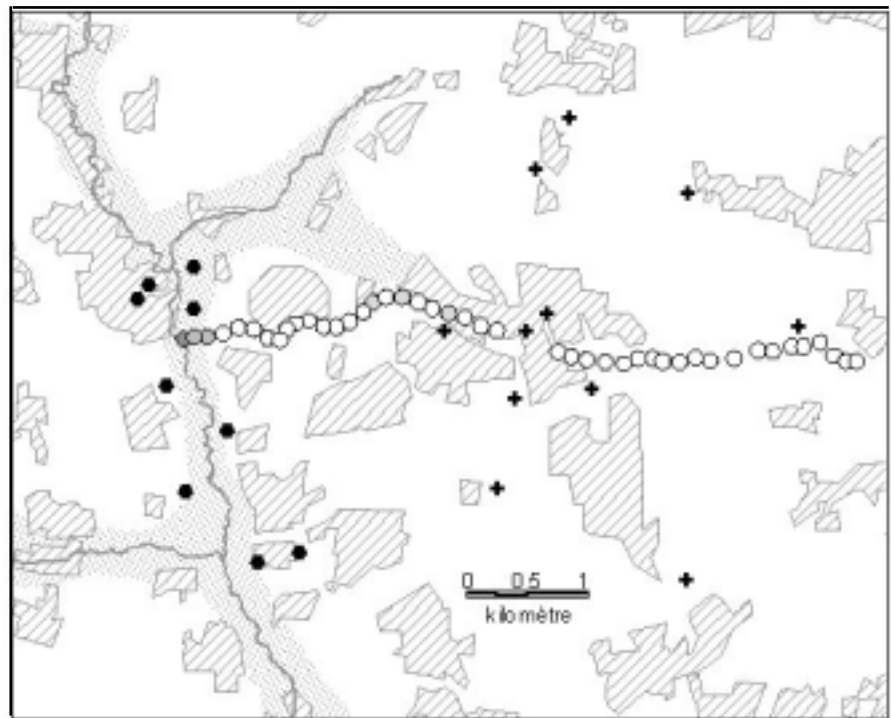


Figure 5 : localisation des campements de Péfrou et résultats entomologiques le long du transect.

Les sites de transmission sont alors déplacés parfois jusque dans les villages eux-mêmes. Cependant cette dispersion des vecteurs dépend des caractéristiques écologiques du milieu savanicole rencontré. Elle est très nette dans le cas de Nakaka, village situé dans une zone pastorale entourée de savane densément arborée, où les glossines (et particulièrement *G. tachinoides*) sont rencontrées régulièrement tout au long du transect. Dans le village, les vecteurs colonisent des gîtes péri-domestiques (1, 4, 16, 19) et sont à l'origine de systèmes épidémiologiques temporaires. En revanche, dans les milieux fortement anthropisés la dispersion est très réduite, le défrichement et les cultures créant un milieu défavorable aux glossines. Ces paysages agricoles constituent en quelque sorte une barrière de protection pour les campements à l'écart des biotopes naturels des mouches tsé-tsé.

Lors des séances régulières de piégeage, plusieurs espèces d'insectes hématophages potentiellement vecteurs mécaniques des trypanosomoses animales ont été capturées le long des transects, aux points d'eau situés en savane (*Haematopota occidentalis*, *H. lacessans*, *Atylotus albipalpus*, *A. agrestis*, *Chrysops distinctipennis*, *Tabanus taeniola*, *T. par*, *T. gratus*, *T. biguttatus*, *T. ruficrus*, *Ancala necropina*) et autour des parcs de nuit (*Stomoxys calcitrans*, *S. niger*, *Hippobosca* sp.). L'importance de la transmission mécanique est difficile à évaluer dans les zones infectées de glossines, mais ce type de transmission pourrait prendre le relais de la transmission cyclique et amplifier les incidences en saison des pluies, période d'activité de ces insectes (11). Cela suppose néanmoins que certains animaux du troupeau soient initialement infectés. La transmission mécanique pourrait donc avoir un impact épidémiologique à Nakaka, mais ne permet pas d'expliquer les quelques infections relevées dans les campements de Péfrou éloignés de la rivière. D'ailleurs, si la transmission mécanique est efficace pour certains trypanosomes tels que *T. vivax*, elle se réalise plus difficilement avec *T. congolense* et *T. brucei* s. l. (33), dont les incidences restent en conséquence de bons indi-

cateurs de l'interface entre les hôtes vertébrés et les glossines. Les quelques infections observées à Péfrou restent donc difficiles à expliquer, sinon par une fréquentation exceptionnelle des points d'abreuvement du réseau ou la dispersion très occasionnelle des glossines.

■ CONCLUSION

L'ensemble de ces résultats permet d'imaginer quelques recommandations à proposer aux éleveurs ou aux agents de santé sur le terrain. La principale serait sans doute de tenir compte de la diversité des systèmes existants et des risques associés. Une bonne connaissance du terrain, l'appréciation du milieu écologique et des pratiques pastorales permettent de reconnaître, à l'échelle d'un terroir, les situations les plus dangereuses et de proposer les interventions adaptées. Finalement, la compréhension du système de transmission impose de s'intéresser à des thèmes qui dépassent le contexte bio-écologique classiquement décrit. La gestion spatiale des troupeaux, la transformation des paysages, donc la dynamique des interfaces hôtes/vecteurs/parasites, reposent en partie sur les contraintes et les motivations des propriétaires. Celles-ci peuvent être à la fois sociales, culturelles, ethniques ou économiques. Considérer le milieu, au sens large, comme un révélateur du fonctionnement du système pathogène semble particulièrement adapté à l'épidémiologie complexe des trypanosomoses transmises par les glossines ripicoles.

Remerciements

Les auteurs remercient le directeur général du Cirades S.M. Toure, pour son appui au déroulement de ce travail. L'étude a été financée par le Cirad (Action thématique programmée Santé, environnement) et le Cnrs (Programme Environnement, vies et sociétés).

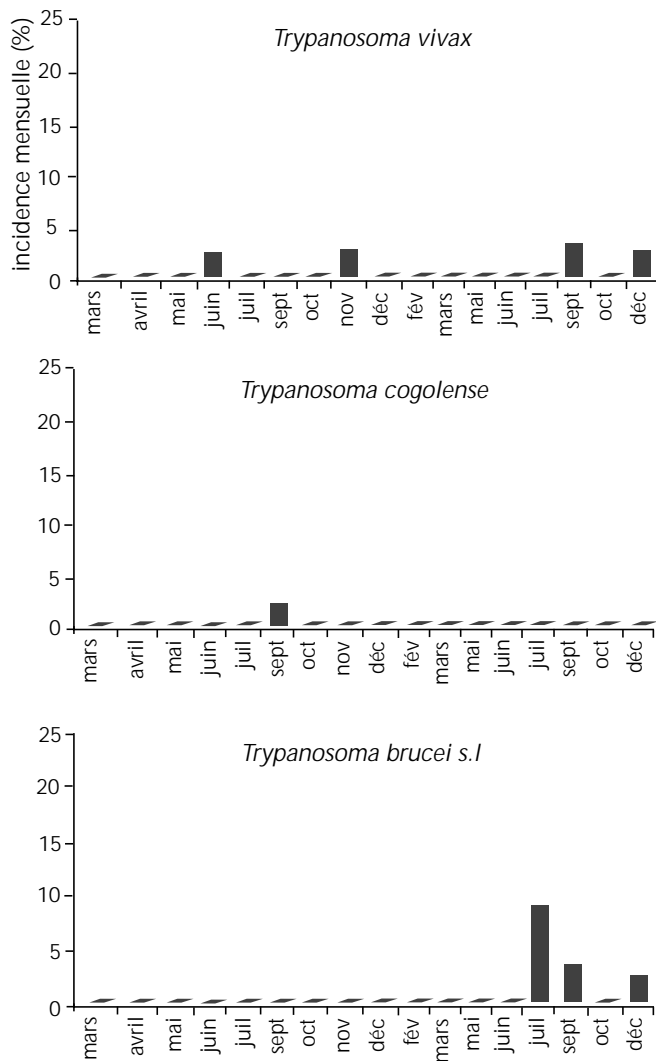


Figure 6 : incidences trypanosomiennes mensuelles (*Trypanosoma vivax*, *T. congolense*, *T. brucei s.l.*) chez les animaux du village de Péfrou issus de campements éloignés de la rivière.

BIBLIOGRAPHIE

- BALDRY D.A.T., 1970. Observations on the peridomestic breeding behaviour and resting sites of *Glossina tachinoides* West. near Nsukka, East Central State, Nigeria. *Bull. Entomol. Res.*, **59**: 585-593.
- BENOIT M., 1977. Introduction à la géographie des aires pastorales soudaniennes de Haute-Volta. Paris, France, Orstom, 95 p.
- CAMUS E., 1983. Diagnostic de la trypanosomose bovine sur le terrain par la méthode de centrifugation hématocrite. *Rev. sci. tech. Off. int. Epiz.*, **2** : 751-769.
- CHALLIER A., 1980. Ecology and epidemiological importance of *Glossina palpalis* in the Ivory Coast forest zone. *Insect Sci. Appl.*, **1**: 77-83.
- CHALLIER A., EYRAUD M., LAFAYE A., LAVEISSIERE C., 1977. Amélioration du rendement du piège biconique pour glossines (Diptera, Glossinidae) par l'emploi d'un cône inférieur bleu. *Cah. Orstom Sér. Ent. méd. Parasitol.*, **15** : 283-286.
- CHALLIER A., LAVEISSIERE C., 1973. Un nouveau piège pour la capture des glossines (*Glossina*: Diptera - Muscidae), description et essais sur le terrain. *Cah. Orstom Sér. Ent. méd. Parasitol.*, **11** : 251-262.
- CLAXTON J.R., LEPERRE P., RAWLINGS W.F., SNOW W.F., DWINGER R.H., 1992. Trypanosomiasis in cattle in Gambia: incidence, prevalence and tsetse challenge. *Acta trop.*, **50**: 219-225.

- COMBES C., 1995. Interactions durables, écologie et évolution du parasitisme. Paris, France, Masson, 524 p.
- CUISANCE D., DE LA ROCQUE S., 1998. Tsé-tsé et trypanosomoses : du système pathogène à l'évaluation du risque. Montpellier, France, Cirad-emvt/Cnrs, 90 p.
- CUISANCE D., FEVRIER J., DEJARDIN J., FILLEDIER J., 1985. Dispersion linéaire de *Glossina palpalis gambiensis* et *G. tachinoides* dans une galerie forestière en zone soudano-guinéenne (Burkina Faso). *Revue Elev. Méd. vét. Pays trop.*, **47** : 69-75.
- D'AMICO F., 1993. Rôle de *Glossina fuscipes fuscipes* Newstead, 1910, dans la transmission des trypanosomoses bovines en Afrique centrale. Cas de la zone d'élevage d'Ouro-Djafoun (République centrafricaine). Thèse Doct., Université Montpellier II, Montpellier, France, 160 p.
- DE LA ROCQUE S., 1997. Identification des facteurs discriminants de la présence de glossines dans une zone agro-pastorale du Burkina Faso. Intérêt pour l'évaluation du risque trypanosomien. Thèse Doct., Université Montpellier II, Montpellier, France, 162 p.
- DESQUESNES M., DE LA ROCQUE S., 1995. Comparaison de la sensibilité du test de Woo et d'un test de détection des antigènes de *Trypanosoma vivax* chez des moutons expérimentalement infectés avec une souche guyanaise du parasite. *Rev. Elev. Méd. vét. Pays trop.*, **48** : 247-253.
- FREYCON V., FAUVET N., 1998. Les Gps (Global Positioning System) : de l'acquisition des relevés à leur intégration dans un Sig. Montpellier, France, Cirad. 70 p.
- INERA, 1998. Etude des systèmes d'élevage dans la Zap de Sidéradougou : pratiques d'élevage intégrées aux exploitations agricoles et stratégies d'utilisation de l'espace. Bobo-Dioulasso, Burkina Faso, Inera/Cirdes/Cirad, 28 p.
- KUZOE F.A.S., BALDRY D.A.T., VAN DER VLOEDT A., CULLENS J.R., 1985. Observation of an apparent population extension of *Glossina tachinoides* Westw. in Southern Ivory Coast. *Insect Sci. Appl.*, **6**: 55-58.
- LAMBRECHT F.L., 1980. Ecological and physiological factors in the cyclic transmission of African Trypanosomiasis. *Insect Sci. Appl.*, **1**: 47-54.
- LANDAIS E., 1983. Analyse des systèmes d'élevage sédentaires du nord de la Côte d'Ivoire. Maisons-Alfort, France, Cirad-iemvt, 759 p.
- LAVEISSIERE C., COURET D., HERVOUET J.P., 1986. Localisation et fréquence du contact homme/glossines en secteur forestier de Côte d'Ivoire. 1. Recherche des points épidémiologiquement dangereux dans l'environnement végétal. *Cah. Orstom Sér. Ent. méd. Parasitol.*, **24** : 21-35.
- LAVEISSIERE C., GREBAUT P., 1983. Recherches sur les pièges à glossines (Diptera, Glossinidae). Mise au point d'un modèle économique : le piège « Vavoua ». *Trop. Med. Parasitol.*, **41** : 185-192.
- LEAK S.G.A., MULATU W., AUTHIE E., D'ETEREN G.D.M., PEREGRINE A.S., ROWLANDS G.J., TRAIL J.C.M., 1993. Epidemiology of bovine trypanosomiasis in the Guide valley, Southwest Ethiopia. 1. Tsetse challenge and its relationship to trypanosome prevalence in cattle. *Acta trop.*, **53**: 121-134.
- LEFRANÇOIS T., SOLANO P., DE LA ROCQUE S., BENGALY Z., REIFENBERG J.M., KABORE I., CUISANCE D., 1998. New epidemiological data on animal trypanosomosis by molecular analysis in the pastoral zone of Sideradougou, Burkina Faso. *Mol. Ecol.*, **7**: 897-904.
- LHOSTE P., DOLLE V., ROUSSEAU J., SOLTNER D., 1993. Manuel de zootechnie des régions chaudes : les systèmes d'élevage. Paris, France, ministère de la Coopération, 288 p. (Coll. Manuels et précis d'élevage)
- MCLENNAN K.J.R., 1971. The aparasitemic interval following diminazene aceturate therapy of a relapsing strain of *T. vivax* infecting cattle. *Trop. Anim. Health Prod.*, **3**: 208-212.
- MCDERMOTT J.J., WOITAG T., BAUER B., SIDIBE I., OUEDRAOGO D., KAMUANGA J.M.B., CLAUSEN P.H., EISLER M., PEREGRINE A.S., ZESSIN K.H., MEHLITZ D., 1999. Le risque d'infection trypanosomienne, la pression glossinaire et la résistance aux trypanocides dans la province du Kéné Dougou, Burkina Faso. In : 25^e réunion Csirtl, 27 sept.-1 oct. 1999, Mombasa, Kenya, Ouaf/Cstr.
- MICHEL J.F., MICHEL V., DE LA ROCQUE S., TOURE I., RICHARD D., 1999. Modélisation de l'occupation de l'espace par les bovins. Applications à l'épidémiologie des trypanosomoses animales. *Rev. Elev. Méd. vét. Pays trop.*, **52** : 25-33.

27. MILLIGAN P.M.J., BAKER R.D., 1988. A model of tsetse-transmitted animal trypanosomiasis. *Parasitol.*, **96**: 211-239.
28. MURRAY M., MURRAY P.K., MCINTYRE W.I.M., 1977. An improved parasitological technique for the diagnosis of African trypanosomiasis. *Trans. R. Soc. Trop. Med. Hyg.*, **71**: 325-326.
29. POLITZAR H., CUISANCE D., CLAIR M., TAZE Y., SELLIN E., BOURDOISEAU G., 1980. Etude préliminaire de la longévité et de la dispersion des mâles irradiés de *Glossina palpalis gambiensis* dans leur biotope naturel (Haute-Volta). *Rev. Elev. Méd. vét. Pays trop.*, **33**: 45-50.
30. RAWLINGS P., DWINGER R.H., SNOW W.F., 1991. An analysis of survey measurement of tsetse challenge to trypanotolerant cattle in relation to aspect of analytical models of trypanosomiasis. *Parasitol.*, **102**: 371-377.
31. ROGERS D.J., 1985. Trypanosomiasis « risk » or « challenge »: a review. *Acta trop.*, **42**: 5-32.
32. SOLANO P., MICHEL J.F., LEFRANÇOIS T., DE LA ROCQUE S., SIDIBE I., ZOUNGRANA A., CUISANCE D., 1999. Polymerase chain reaction as a diagnosis tool for detecting trypanosomes in naturally infected cattle in Burkina Faso. *Vet. Parasitol.*, **86**: 95-103.
33. TRONCY P.M., ITARD J., MOREL P.C., 1981. Précis de parasitologie tropicale. Paris, France, ministère de la Coopération, 717 p.
34. UILENBERG G., 1998. A field guide for the diagnosis, treatment and prevention of African animal trypanosomiasis. Rome, Italie, Fao, 158 p.
35. VERY P., BOCQUENTIN R., DUVALLET G., 1990. Sensibilité de la double microcentrifugation pour la recherche des trypanosomes. *Rev. Elev. Méd. vét. Pays trop.*, **43**: 325-329.
36. WACHER T.J., MILLIGAN P.J.M., RAWLINGS P., SNOW W.F., 1994. Tsetse-trypanosomiasis challenge to village N'Dama cattle in the Gambia : field assessment of spatial and temporal patterns of tsetse-cattle contact and the risk of trypanosomiasis infection. *Parasitol.*, **109**: 149-162.
37. WHITELAW D.D., GARDINER P.R., MURRAY M., 1988. Extravascular foci of *Trypanosoma vivax* in goats: the central nervous system and aqueous humor of the eyes as potential source of relapse infection after chemotherapy. *Parasitol.*, **97**: 51-61.

Reçu le 10.12.99, accepté le 17.04.00

Summary

De La Rocque S., Bengaly Z., Michel J.F., Solano P., Sidibé I., Cuisance D. Evaluation of spatial and temporal contacts between tsetse flies and cattle, a key factor for trypanosomiasis transmission in West Africa

A global study was carried out in the agropastoral zone of Sideradougou (Burkina Faso) on risk assessment of trypanosomiasis transmission. Sentinel herds from two different farming systems were sampled and followed up during two years. The monthly incidences of infections were measured and interpreted according to the movements of herds, their practices for watering and their contacts with the riparian tsetse flies (*Glossina tachinoides* and *G. palpalis gambiensis*). In Nakaka, a Fulani breeders' village 4 km away from the river, the parasites are transmitted during the dry season at the point of permanent watering places inside the forest gallery. In rainy season, the tsetse flies disperse through the savannah and infect cattle even in the village. In Pefrou, a group of farmers' settlements, herds are made up mainly of draught cattle. Animals from settlements located near the hydrographic network drink in the river and are regularly infected all the year long. The incidences are higher during the rainy season and the beginning of the dry season when tsetse flies are the most abundant. On the other and, herds from the settlements far away (3 km) from the hydrographic network are watered from wells and do not frequent the habitats of vectors. In such an agricultural landscape, tsetse flies do not disperse even in the rainy season. Incidences in these herds are almost nil. These results prove the importance of space and temporal contacts between hosts and vectors in the epidemiology of trypanosomiasis in West Africa.

Key words: Cattle - *Glossina* - Trypanosomiasis - Epidemiology - Environment - Agriculture - Animal husbandry methods - Burkina Faso.

Resumen

De La Rocque S., Bengaly Z., Michel J.F., Solano P., Sidibé I., Cuisance D. Importancia de las interfaces espaciales y temporales entre los bovinos y las glossinas en la transmisión de la tripanosomiasis animal en Africa del Oeste

Durante un estudio global sobre el riesgo del tripanosoma, llevado a cabo en la zona agropastoril de Sideradougou (Burkina Faso), se siguieron durante dos años hatos centinelas originarios de dos sistemas de crianza diferentes. La incidencia tripanosómica mensual se midió e interpretó en función del trayecto de los hatos, de las prácticas para abreviar y del contacto con las glossinas ripícolas (*Glossina tachinoides* y *G. palpalis gambiensis*). En Nakaka, pueblo de criados Peul, la transmisión durante la estación seca es segura en los puntos de abrevadero perennes en la galería forestal. Durante la estación lluviosa, las glossinas ripícolas se dispersan en las sabanas e infectan los animales, incluso hasta en el pueblo. En Pefrou, conjunto de campamentos de agricultores Bobo, los hatos están compuestos esencialmente de bueyes de tracción. Los animales originarios de los campamentos localizados a proximidad de los cursos de agua abrevan en los puntos de agua de las formaciones ribereñas y se infectan regularmente todo el año. Los incidentes son más frecuentes durante el invierno y al inicio de la estación seca, periodo en el cual las glossinas son más numerosas. Por otro lado, los hatos de los campamentos alejados de la red hidrográfica (3 km) abrevan en pozos y no frecuentan los biotopos de las glossinas. En este panorama, esencialmente agrícola, las glossinas no se dispersan, ni siquiera durante la estación húmeda. Los incidentes en los hatos son casi inexistentes. Los resultados muestran la importancia de las interfaces espaciales y temporales entre los bovinos y las glossinas en la epidemiología de las tripanosomiasis en Africa del Oeste.

Palabras clave: Ganado bovino - *Glossina* - Tripanosomiasis - Epidemiología - Medio ambiente - Agricultura - Métodos de crianza - Burkina Faso.

Enquête parasitologique et sérologique (Elisa-indirect) sur les trypanosomoses des bovins dans la zone de Sidéradougou, Burkina Faso

M. Desquesnes^{1,3*} J.F. Michel^{1,3} S. de La Rocque^{1,3}
P. Solano^{1,2} L. Millogo¹ Z. Bengaly¹ I. Sidibe¹

Mots-clés

Bovin - *Trypanosoma vivax* - *Trypanosoma brucei* - *Trypanosoma congolense* - Parasitologie - Test Elisa - Hématocrite - Morbidité - Burkina Faso.

Résumé

Une enquête parasitologique et sérologique sur les trypanosomoses des bovins a été réalisée dans le secteur nord de la zone de Sidéradougou (Burkina Faso), en novembre et décembre 1997. Un millier de bovins ont été examinés sur la base d'un échantillonnage stratifié aléatoire. L'âge et la race des animaux, la nature et la date du dernier traitement trypanocide ont été enregistrés. Les examens parasitologiques ont été effectués par la méthode du *buffy coat*, la mesure de l'hématocrite a été recueillie et les tests Elisa-indirect ont été réalisés dans trois systèmes différents, avec les antigènes solubles de *Trypanosoma vivax*, *T. brucei* ou *T. congolense* (type savane). La technique parasitologique a fourni 5,3 p. 100 d'échantillons positifs, dominés par l'espèce *T. congolense*. Les examens sérologiques ont indiqué une séroprévalence de 81,7 p. 100 ($\pm 2,4$ p. 100) les trois tests confondus. L'incidence annuelle moyenne a été estimée à 52 p. 100 (± 11 p. 100). Les scores de positivité ont indiqués des séroprévalences par espèce de 79 p. 100 pour *T. vivax*, 3 p. 100 pour *T. brucei*, et 28 p. 100 pour *T. congolense*. Dans cette situation enzootique, la parasitologie est peu sensible, mais, associée à la valeur de l'hématocrite, elle a permis d'estimer l'importance des cas de trypanosomose maladie à environ 15 p. 100. Dans le secteur étudié, les trypanosomoses bovines demeurent une préoccupation majeure. Elles sévissent de manière enzootique avec une prédominance nette des infections par *T. vivax*, une prévalence et un impact clinique élevés de *T. congolense*. Les données générées par cette enquête seront intégrées dans un système d'information géographique (Sig) mis en place dans la zone pour l'évaluation du risque trypanosomien.

■ INTRODUCTION

En Afrique subsaharienne, les trypanosomoses animales sont considérées comme les plus importantes maladies du bétail transmises par des vecteurs. Le contrôle de ces maladies repose sur l'utilisation de trypanocides, l'élevage de bétail trypanotolérant et la lutte contre leurs principaux vecteurs, les glossines, notamment à l'aide de systèmes attractifs toxiques (32). Ces mesures trouvent leur limite dans l'apparition de résistances aux trypanocides et la difficulté à maintenir durablement la pression de lutte. La nécessité

est donc apparue d'identifier les lieux à risques dans les secteurs prioritaires de développement, afin de réduire le coût de la lutte et d'en accroître l'efficacité (11).

Au Burkina Faso, la zone agropastorale de Sidéradougou, située au sud-est de Bobo-Dioulasso, est un excellent exemple. Dans les années quatre-vingts, cette zone a été pressentie pour devenir un site d'accueil des élevages transhumants de la région en saison sèche. Elle a par conséquent fait l'objet de prospections entomologiques (8) qui ont induit un plan de lutte. Ce plan reposait sur une alternance saisonnière de pose d'écrans imprégnés d'insecticides et de lâchers de mâles stériles. Deux ans plus tard, les glossines étaient éradiquées de la zone (9, 28, 32). Malheureusement, le système de barrières n'a pu être maintenu convenablement et, dès 1986, la zone était à nouveau envahie (2). Quinze ans plus tard, une nouvelle prospection entomologique a confirmé la recolonisation du milieu par les glossines riveraines (*Glossina palpalis gambiensis* et *G. tachinoides*) sur l'ensemble du réseau hydrographique (10).

1. Cirades, BP 454, 01 Bobo-Dioulasso, Burkina Faso

2. Ird, BP 5045, 34032 Montpellier, France

3. Cirad-emvt, Campus de Baillarguet, 34398 Montpellier Cedex 5, France

* Auteur pour la correspondance

Cirad-emvt, Cirades, BP 454, 01 Bobo-Dioulasso, Burkina Faso

Tél : + 226 97 22 87 ; Fax : + 226 97 23 20 ; E-mail : m.desquesnes@fasonet.bf

Dans le cadre de l'Action thématique programmée Santé-environnement du Cirad-emvt (11), une nouvelle approche de la problématique des trypanosomoses a été instaurée dans le secteur nord de la zone de Sidéradougou, dont le cheptel bovin est estimé à 16 500 têtes (29). Cette activité multidisciplinaire regroupe des données entomologiques, parasitologiques (*Trypanosoma vivax*, *T. brucei* et *T. congolense*, chez l'hôte et le vecteur), la connaissance du milieu naturel, la répartition des bovins ainsi que les pratiques pastorales et médicales qui peuvent être analysées dans un système d'information géographique (10, 11, 12, 13). La détermination de la prévalence des infections à trypanosomes chez les bovins est une des composantes de ce système d'information.

Une enquête sur les trypanosomoses bovines a donc été réalisée avec l'objectif de déterminer, par des méthodes parasitologiques et sérologiques, les prévalences des principaux trypanosomes pathogènes des bovins. Dans le contexte étudié (présence de *T. vivax*, *T. brucei* et *T. congolense*), la réalisation de trois réactions sérologiques spécifiques (Elisa) était nécessaire pour obtenir une sensibilité maximale dans la détection des anticorps dirigés contre les trypanosomes pathogènes (26).

■ MATERIEL ET METHODES

Echantillonnage, prélèvements et diagnostics parasitologiques

L'enquête a été réalisée après la saison des pluies, en novembre et décembre 1997. Partant d'un recensement terrestre exhaustif des bovins de la zone effectué en 1997 (29), un millier de bovins ont été sélectionnés selon un échantillonnage stratifié aléatoire (5) basé sur la taille des troupeaux, pour estimer la prévalence dans toute la zone avec une erreur maximale de 5 p. 100. Dans les petits et moyens troupeaux (≤ 30 têtes), les échantillons ont été prélevés sur 14 individus ; dans les grands troupeaux (> 30 têtes), 15 à 20 prélèvements individuels ont été réalisés.

Les principaux paramètres intervenant sur le diagnostic et sa signification ont été enregistrés dans un questionnaire : âge, race, état corporel (indice de condition noté de 1 à 5), nature et date du dernier traitement trypanocide, nombre d'animaux.

Les prélèvements ont été effectués à la veine jugulaire des animaux en tube hépariné de 5 ml. Les examens parasitologiques ont été réalisés dans les deux heures qui ont suivi le prélèvement. Les plasmas ont été récoltés après centrifugation et conservés à -20°C jusqu'à la réalisation des tests Elisa.

Les examens parasitologiques ont été effectués par la méthode du *buffy coat*, ou Mbc (observation microscopique du *buffy coat* extrait de tubes à hématocrite, placé entre lame et lamelle) (31) ; la mesure de l'hématocrite a été enregistrée et les espèces identifiées (4).

Diagnostics sérologiques

Les examens sérologiques ont été effectués par Elisa-indirect dans trois systèmes avec sensibilisation des plaques par les antigènes solubles ($5\ \mu\text{g/ml}$) de *T. vivax* (IL1392) (20), *T. brucei* (ILTat1.2) (7) ou *T. congolense* type savane (IL1180) (20). Le protocole (15) est dérivé de Ferenc et coll. (17) ; il utilise un conjugué commercial anti-bovin (réf. A 5295, Sigma).

Les résultats des test Elisa ont été exprimés en pourcentage de positivité relative (PPR_v, PPR_b et PPR_c) par rapport à des échantillons de référence positifs et négatifs (14). Les seuils de positivité (SP) de chaque test (SP_v, SP_b et SP_c) ont été calculés classiquement par la moyenne des PPR de 100 échantillons négatifs (issus

d'une zone indemne de trypanosomose) augmentée de trois écarts types. Les PPR obtenus dans les trois systèmes ont été standardisés (les valeurs standardisées ont été notées V, B et C) sur la base du seuil de positivité du test *T. brucei* selon les relations suivantes :

$$V = \text{PPR}_v \times \text{SP}_b / \text{SP}_v$$

$$B = \text{PPR}_b$$

$$C = \text{PPR}_c \times \text{SP}_b / \text{SP}_c$$

Ainsi les trois tests possèdent un seuil de positivité commun dont la valeur est celle du SP_b.

Interprétation par le seuil de positivité

L'interprétation des résultats aux trois tests par le seuil de positivité indique la présence d'anticorps dirigés contre *Trypanosoma* spp., avec une très bonne sensibilité (26), mais sans permettre de préciser les espèces puisque Elisa-indirect n'est pas spécifique d'espèce (18).

Interprétation des scores maximums de positivité

Bien que le diagnostic sérologique par recherche d'anticorps ne permette pas de préciser les espèces, les auteurs s'accordent sur le fait que l'intensité des réactions homologues est presque toujours supérieure à celle des réactions hétérologues (15, 16, 17, 18, 23, 24, 30). En effet, des plasmas de moutons expérimentalement infectés (infections monospécifiques), testés en Elisa dans les mêmes conditions, fournissent 98,5 p. 100 de réponses homologues supérieures aux réponses hétérologues (Desquesnes et Bengaly, comm. pers.). En conséquence, le score de PPR le plus élevé des trois tests indique avec une très forte probabilité la présence d'anticorps dirigés contre l'un au moins des parasites rencontrés par l'hôte, sans toutefois permettre de détecter les infections mixtes.

Cette méthode d'interprétation a été appliquée à l'ensemble des échantillons. Elle permet une estimation de la prévalence relative des trois espèces recherchées. Sur cette base, un modèle d'extrapolation a été appliqué pour déterminer le taux d'infections mixtes et estimer les séroprévalences des trois *Trypanosoma* spp. présents dans la population étudiée.

Les liaisons entre résultats parasitologiques et sérologiques, valeur de l'hématocrite, âge, date du dernier traitement trypanocide..., ont été étudiées par des méthodes statistiques classiques.

■ RESULTATS

Echantillonnage, hématocrites et diagnostics parasitologiques

Au total, 1 019 animaux ont été examinés dans 125 troupeaux. La répartition par type de bovins était la suivante : 54 taurins (désignant ici l'ensemble des taurins de type trypanotolérant), 424 métis, 501 zébus et 40 non déterminés.

L'hématocrite moyen observé était de 30,52 p. 100 ($s = 5,4$) : 31,6 p. 100 chez les taurins, 30,0 p. 100 chez les métis, 30,9 p. 100 chez les zébus. Les individus présentant des valeurs de l'hématocrite inférieures à 25 p. 100 (seuil classiquement considéré comme révélateur d'un état pathologique) (1) étaient 125 (12,3 p. 100) dont seulement 3 p. 100 chez les taurins, contre 13 p. 100 chez les métis et 12 p. 100 chez les zébus.

Les examens parasitologiques ont fourni 5,3 p. 100 d'échantillons positifs (54/1019) pour *Trypanosoma* spp. (trypanosomes pathogènes), dont 19 positifs pour *T. vivax* (1,9 p. 100), 3 pour *T. brucei*

(0,3 p. 100) et 35 pour *T. congolense* (3,4 p. 100), répartis comme indiqué dans le tableau I. L'importance relative des trois espèces apparaît entre parenthèses dans le tableau II. L'espèce prédominante était *T. congolense* (65 p. 100 des cas).

Résultats des tests Elisa par le seuil de positivité

Les 1019 échantillons de plasma testés en Elisa-indirect ont fourni 80,5 p. 100 de résultats positifs pour *T. vivax*, 50 p. 100 pour *T. brucei* et 45 p. 100 pour *T. congolense*. La séroprévalence des animaux porteurs d'anticorps dirigés contre *Trypanosoma* spp. (les trois tests confondus) était de 81,7 p. 100 ($\pm 2,4$ p. 100). La répartition des résultats par système est indiquée dans le tableau I. Seul le test Elisa *T. vivax* a fourni un nombre important de résultats monospécifiques (222 échantillons positifs), indiquant une forte prédominance des infections par cette espèce.

Résultats des tests Elisa par le score maximum de positivité

Sur 832 échantillons positifs à l'un au moins des trois tests, les scores de PPR les plus élevés indiquaient 12 *T. brucei*, 154 *T. congolense* et 666 *T. vivax*. Ces résultats montrent, avec une forte probabilité, au moins une espèce de trypanosome infectant ou ayant infecté l'individu. Ils sous-estiment les prévalences réelles de chaque parasite puisqu'ils ne tiennent pas compte des infections mixtes, mais ils permettent de calculer les séroprévalences relatives des trois parasites.

En appliquant ces proportions relatives à l'ensemble des échantillons positifs, les effectifs théoriques des infections mixtes ont été calculés. Par exemple, parmi les 666 échantillons indiquant une infection à *T. vivax*, 18,5 p. 100 auraient été également infectés par *T. congolense* et 1,5 p. 100 par *T. brucei*. En procédant ainsi pour chacun des effectifs précédents, on a obtenu les séroprévalences estimées sur la totalité de l'échantillonnage (tableau II). Avec ce mode d'interprétation, la séroprévalence s'élevait à 79 p. 100 pour *T. vivax*, 3 p. 100 pour *T. brucei* et 28 p. 100 pour *T. congolense*.

Variations selon l'âge

L'âge moyen des animaux examinés ($n = 1010$) était de 4,3 ans ($s = 3,1$). Les animaux séronégatifs ($n = 187$) avaient un âge moyen de 1,6 an ($s = 1,5$), les séropositifs ($n = 823$), de 4,9 ans

($s = 3,0$), les triples positifs ($n = 348$) de 5,4 ans ($s = 2,9$). Toutes ces moyennes sont significativement différentes ($p < 0,01$) et indiquent l'augmentation graduelle de la séroprévalence avec l'âge.

Les individus ont été regroupés en 9 classes d'âge dont les limites, les effectifs et les séroprévalences sont indiqués dans la figure 1.

Avec le test Elisa *T. vivax*, la séroprévalence observée chez les veaux de moins de 4 mois ($n = 39$) était de 31 p. 100 (± 14 p. 100). Tous les animaux positifs en sérologie étaient négatifs en parasitologie. Ces échantillons n'étaient positifs qu'avec le test Elisa *T. vivax*. Dans la classe d'âge suivante, la séroprévalence était stable puis elle croissait régulièrement et rapidement de 30 à 85 p. 100 entre l'âge de 10 mois et celui de 3 ans, pour atteindre un plateau voisin de 95 p. 100 vers 4 ans.

Avec le test Elisa *T. brucei*, on n'a pas détecté pas d'anticorps chez les veaux de moins de 4 mois. La séroprévalence croissait régulièrement de 0 p. 100 à 50 p. 100 entre 4 mois et 3 ans, pour atteindre un plateau voisin de 60 p. 100 vers 4 ans.

Avec le test Elisa *T. congolense*, on n'a détecté que 2 animaux positifs dans la classe d'âge inférieur à 4 mois. La séroprévalence croissait régulièrement de 5 à 65 p. 100 entre 0 et 9 ans sans former véritablement de plateau.

A l'échelle de la population échantillonnée, une estimation de l'incidence annuelle moyenne des infections par les trypanosomes (toutes espèces confondues) a pu être faite sur la base de la séroprévalence observée chez les animaux de 10 à 12 mois ($n = 77$) ; elle était de 52 p. 100 (± 11 p. 100). L'étude des scores maximums de positivité et le calcul des effectifs théoriques des infections mixtes dans cette classe d'âge ont permis d'estimer l'incidence annuelle par espèce à 51 p. 100 pour *T. vivax*, 14 p. 100 pour *T. congolense* et 2,5 p. 100 pour *T. brucei*.

Prévalences relatives des trypanosomes

Selon la technique de détection utilisée, les prévalences et séroprévalences relatives observées ou estimées ont été rapportées dans le tableau II. Si les examens parasitologiques montraient que *T. congolense* était l'espèce dominante (65 p. 100), l'estimation par la sérologie indiquait *T. vivax* (80 p. 100). Les prévalences relatives observées par la parasitologie et estimées par la sérologie ne concordent pas pour l'espèce *T. brucei*.

Tableau I

Résultats parasitologiques et sérologiques (par le seuil de positivité)

Tests positifs	Examens parasitologiques		Examens sérologiques	
	Pourcentage observé	Effectifs	Pourcentage observé	Effectifs
<i>Tv</i> * seul	1,7 %	17	21,8 %	222
<i>Tb</i> ** seul	0,1 %	1	0,1 %	1
<i>Tc</i> *** seul	3,2 %	33	1,1 %	11
<i>Tv</i> et <i>Tb</i>	0,1 %	1	15,1 %	154
<i>Tv</i> et <i>Tc</i>	0,1 %	1	9,1 %	93
<i>Tb</i> et <i>Tc</i>	0,1 %	1	0 %	0
<i>Tv</i> , <i>Tb</i> et <i>Tc</i>	0,0 %	0	34,5 %	351
<i>Trypanosoma</i> spp.	5,3 %	54	81,7 %	832
Tests négatifs	94,7 %	965	18,3 %	187
Total	100 %	1019	100 %	1019

* *Trypanosoma vivax* ; ** *T. brucei* ; *** *T. congolense*

Tableau II

Prévalences et prévalences relatives des *Trypanosoma* spp. observées et estimées sur 1019 échantillons testés

<i>Trypanosoma</i> spp	Parasitologie observée *	Sérologie observée par le seuil de positivité **	Sérologie estimée par les scores de positivité **
<i>T. vivax</i>	1,9 % (35 %)	80,5 % (98,5 %)	79 % (80 %)
<i>T. brucei</i>	0,3 % (5,5 %)	50 % (61 %)	3 % (1,5 %)
<i>T. congolense</i>	3,4 % (65 %)	45 % (55 %)	28 % (18,5 %)

Entre parenthèses, les prévalences relatives parmi les échantillons positifs

* Prévalences relatives calculées sur un effectif de 54 positifs

** Prévalences relatives calculées sur un effectif de 832 positifs

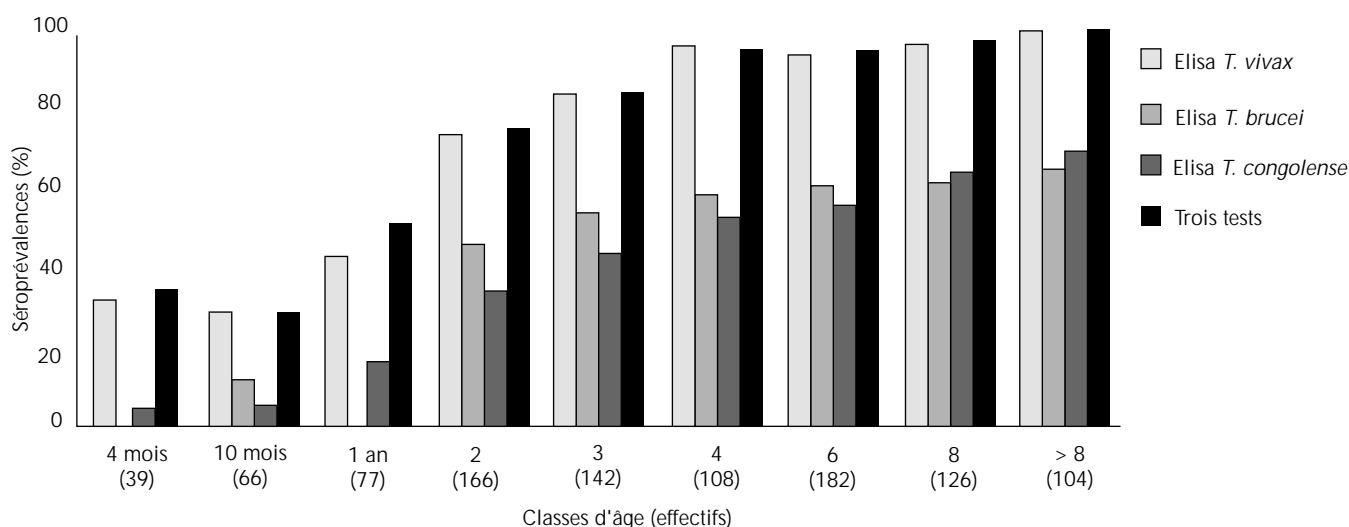


Figure 1 : séroprévalences observées par classe d'âge, avec les Elisa *T. vivax*, *T. brucei*, *T. congolense* et tous tests confondus.

Liaisons à la valeur de l'hématocrite

Parasitologie

Les animaux positifs en parasitologie ($n = 54$) présentaient un hématocrite moyen de 25,8 p. 100 ($s = 5,4$), alors que celui des animaux négatifs ($n = 956$) était de 30,8 p. 100 ($s = 5,3$) ; cette différence est hautement significative ($p < 0,001$).

Chez les animaux présentant un hématocrite inférieur à 25 ($n = 125$), la prévalence parasitologique était de 20,8 p. 100 ($s = 0,4$), dont 18 p. 100 pour *T. congolense* et 3,2 p. 100 pour *T. vivax*. Elle était de 3 p. 100 ($n = 894$, $s = 0,17$) chez les animaux présentant un hématocrite supérieur ou égal à 25, dont 1,4 p. 100 pour *T. congolense* et 1,7 p. 100 pour *T. vivax*. Ces différences sont hautement significatives ($p < 0,001$) ; elles indiquent que dans le premier groupe les examens parasitologiques étaient plus fréquemment positifs, avec une nette prédominance de *T. congolense* qui n'était pas observée dans le second groupe, moins fréquemment positif.

Sérologie

Les hématocrites moyens des animaux positifs ou négatifs en sérologie n'étaient pas significativement différents de l'hématocrite moyen de l'ensemble de la population échantillonnée. Néanmoins, chez les animaux présentant un hématocrite inférieur à 25 p. 100 ($n = 125$), la séroprévalence de *T. congolense* était de 58,4 p. 100

($s = 0,49$). Ce taux était faiblement mais significativement supérieur ($p < 0,03$) à celui observée chez des animaux présentant un hématocrite supérieur à 25, qui était de 42,7 p. 100 ($n = 894$, $s = 0,49$). En revanche, aucune différence significative n'a été observée pour les séroprévalences de *T. vivax* (voisine de 80,5 p. 100) et *T. brucei* (voisine de 52 p. 100).

L'interprétation par les scores maximums de positivité indiquait 29 p. 100 de scores en faveur de *T. congolense* chez les animaux présentant un hématocrite inférieur à 25. Chez les animaux présentant un hématocrite supérieur ou égal à 25, ils étaient seulement 17 p. 100 (différence significative, $p < 0,001$).

Sérologie et parasitologie concordent et indiquent que *T. congolense* était d'avantage présent chez les animaux possédant un hématocrite faible.

Type de bovins

La valeur de l'hématocrite moyen était significativement plus faible ($p < 0,001$) chez les métis (24,5 p. 100) et les zébus (26,2 p. 100) positifs en parasitologie que chez les animaux négatifs (30,4 p. 100 et 31,0 p. 100). Chez les taurins trypanotolérants l'hématocrite moyen n'était pas différent selon les résultats de parasitologie ; il était significativement supérieur (voisin de 31,5 p. 100) à celui des autres types de bovins.

En aucun cas la valeur moyenne de l'hématocrite n'était modifiée selon les résultats de la sérologie.

Il n'a pas été trouvé de différence significative de l'état estimé des animaux (indice de condition) selon la présence de parasites détectables dans le sang et/ou la réponse sérologique.

Liaisons à la nature et la date des traitements trypanocides

Selon les trois types de traitements déclarés appliqués aux animaux (acéturate de diminazène, chlorure d'isoméamidium, ou alternance des deux produits), il n'y avait pas de différence significative entre les prévalences et séroprévalences globales observées ou estimées.

L'étude des résultats individuels selon la date et la nature du dernier traitement trypanocide a fourni les résultats suivants :

- chez les animaux traités depuis trois mois et plus (n = 566), la prévalence parasitologique moyenne était de 4,8 p. 100 ; aucune différence significative n'a été observée selon la nature du traitement (trypanocide ou trypanopréventif) ;

- chez les animaux traités depuis moins de 31 jours (n = 248) et depuis 31 à 61 jours (n = 156), les prévalences parasitologiques étaient respectivement de 4,8 p. 100 et 9,6 p. 100 ; chez les animaux traités au chlorure d'isoméamidium, la prévalence parasitologique était nulle dans la première période, mais de 12,5 p. 100 dans la deuxième, alors que chez les animaux traités à l'acéturate de diminazène, la prévalence était voisine de 7,5 p. 100 quelle que soit la date du dernier traitement.

Certains propriétaires de grands troupeaux ont la capacité financière et une connaissance suffisante de la trypanosomose pour entreprendre des traitements collectifs. Les effectifs, les prévalences parasitologiques et les séroprévalences observées en fonction de la date du dernier traitement déclaré, chez les animaux traités à l'acéturate de diminazène (n = 305), sont présentés dans le tableau III. Alors que l'étude parasitologique ne montrait pas de différence significative des prévalences observées selon la date du dernier traitement, on a observé une chute des séroprévalences dans la catégorie des animaux traités depuis 1 à 2 mois, (différences significatives à des risques inférieurs à 2 p. 100 pour la séroprévalence globale et les séroprévalences de *T. vivax* et *T. congolense*). Cet infléchissement ne se maintenait pas dans la catégorie d'animaux traités depuis plus de 2 mois. Chez les animaux traités au chlorure d'isoméamidium on n'a pas observé de variation de séroprévalence selon la date du dernier traitement.

■ DISCUSSION

Parasitologie

Les examens parasitologiques n'ont révélé que 5,3 p. 100 d'échantillons positifs, dominés par l'espèce *T. congolense*, dans un secteur où la trypanosomose est considérée comme la principale maladie vectorielle et où les études chez les vecteurs indiquent de forts niveaux d'infection (10, 12). Une étude menée en 1986-1987 révélait des prévalences parasitologiques assez voisines, mais dominées alors par l'espèce *T. vivax* (2). Dans tous les cas, les prévalences parasitologiques étaient très basses. Les techniques parasitologiques ne sont pas adaptées pour l'évaluation du taux d'infection des bovins en secteur hautement enzootique ; de telles observations sont fréquemment rapportées (18, 37).

Un sous-échantillonnage représentatif (n = 258), testé par amplification en chaîne par polymérase (ou *Polymerase Chain Reaction, Pcr*) avec les amorces spécifiques des trois parasites étudiés (27), a indiqué une prévalence des trypanosomes pathogènes de 11,6 p. 100, — 2,5 fois supérieure à celle décelée par la technique parasitologique dans le même sous-échantillonnage (35). La *Pcr* présente un progrès notable dans la spécificité et la sensibilité de la détection des parasites (ou de leur matériel génétique), mais le niveau de parasitémie des animaux reste probablement dans de nombreux cas en-dessous de son seuil de détection. Pour *T. brucei* et *T. vivax*, l'existence de refuges extra-vasculaires des parasites peut également engendrer des résultats négatifs en *Pcr* malgré un portage effectif (21, 38). L'examen exhaustif des échantillons par *Pcr* n'a pu être effectué pour des raisons économiques, mais l'extrapolation des résultats obtenus en *Pcr* à l'ensemble de l'échantillonnage indiquait une prévalence voisine de 15 p. 100.

Sept échantillons étaient positifs en parasitologie et négatifs en sérologie. Ces échantillons provenaient d'animaux jeunes pour la plupart (1,6 ans d'âge moyen), probablement récemment infectés, chez lesquels la séroconversion n'avait pas encore eu lieu.

Sérologie

Le diagnostic sérologique par recherche d'anticorps n'est pas spécifique d'espèce, de fortes réactions croisées sont observées quel que soit le système de détection utilisé (hémagglutination, Ifi, Elisa...) (18). Les résultats des test Elisa indiqués par les seuils de positivité n'ont donc pas de valeur individuelle spécifique d'espèce, ils signifient que les animaux sont porteurs d'anticorps dirigés contre des trypanosomes pathogènes (15, 17, 18, 25, 26).

Tableau III

Effectifs, prévalences parasitologiques (Mbc) et séroprévalences (Elisa) selon la date du dernier traitement à l'acéturate de diminazène dans les grands troupeaux

Dernier traitement (en mois)	Effectifs	Mbc *	Elisa <i>T. vivax</i> **	Elisa <i>T. brucei</i> **	Elisa <i>T. congo.</i> **	Elisa <i>Tryp. sp.</i> **
≤ 1	54	3,7	76	39	30	76
> 1 et ≤ 2	41	2,5	55	30	15	58
> 2	210	3,8	80	41	35	82
Effectif total	305					
Prévalence moyenne		3,6	76	39	31	78

Mbc : méthode du *buffy coat* ; * Prévalences en pourcentages ; ** Séroprévalences en pourcentages
En gras, les infléchissements significatifs (p < 0.02) par rapport à la classe précédente ou suivante

La réalisation simultanée des trois réactions Elisa fournit une sensibilité maximale pour la détection des anticorps dirigés contre les trypanosomes pathogènes (26). La séroprévalence globale, tous tests confondus, était de 81,7 p. 100, avec un score de 100 p. 100 chez les animaux de plus de 9 ans ($n = 104$). L'âge des animaux pouvant intervenir sur le bruit de fond des réponses sérologiques (19), l'application à cette classe d'âge d'un seuil de positivité augmenté de 25 p. 100 a été réalisée ; elle n'a ramené la séroprévalence qu'à 97 p. 100 au lieu de 100 p. 100. La séroprévalence très élevée chez les animaux âgés ne serait donc pas due à une augmentation du bruit de fond mais bien à un contact avec les trypanosomes. Elle confirme la forte pression parasitaire dans le secteur étudié.

La situation enzootique des trypanosomoses dans la zone de Sidéradougou, appréhendée par les études épidémiologiques antérieures (10), a été confirmée par la sérologie.

Les animaux positifs au test *T. vivax* (80,5 p. 100) représentaient la quasi totalité des animaux positifs à l'un au moins des trois tests (81,7 p. 100), indiquant que les contacts avec *T. vivax* étaient nettement prédominants. Cette observation a été confirmée par l'étude du score le plus élevé aux trois tests (666 scores en faveur de *T. vivax* sur 832 échantillons positifs).

Les croisements sérologiques du test Elisa *T. congolense* avec les anticorps dirigés contre *T. vivax* sont moins importants (Desquesnes et Bengaly, comm. pers.). Toutefois Hopkins et coll. (22) utilisent les antigènes de *T. congolense* pour la détection des trois sous-genres pathogènes avec une sensibilité de 88 p. 100. Dans notre enquête, la prévalence des infections à *T. congolense* indiquée par le seuil de positivité était de 45 p. 100, alors que la prévalence estimée (154 scores en faveur de *T. congolense*) n'était que de 28 p. 100. Cette différence est probablement due aux réactions croisées avec *T. vivax* dont la prévalence était très élevée.

Selon le seuil de positivité, la séroprévalence de *T. brucei* aurait été voisine de 50 p. 100. Compte tenu des très fortes réactions croisées entre les antigènes des *Trypanozoon* et les anticorps dirigés contre *T. vivax* et *T. congolense* (6, 16, 23, 33, 34), la majeure partie des résultats positifs au test Elisa *T. brucei* peut être attribuée à des réactions croisées. En effet, l'étude des scores les plus élevés dans les trois systèmes indique une très faible prévalence de *T. brucei*, estimée à moins de 3 p. 100.

Les estimations de séroprévalences qui ont été faites à l'aide des scores de positivité en Elisa fournissent une meilleure approche de la séroprévalence des trois espèces que la seule lecture des résultats par rapport au seuil de positivité.

Etude par classe d'âge

Chez les animaux de moins de 4 mois, les sérologies positives étaient probablement dues à des anticorps maternels plutôt qu'à l'existence d'infections précoces par *T. vivax* qui auraient été accompagnées de parasitémies décelables chez ces jeunes animaux. En outre, ces animaux n'étaient positifs que dans le système *T. vivax*, ce qui confirme la prédominance de ce parasite et indique que les anticorps maternels sont spécifiques d'espèce (pas de réaction croisée avec Elisa *T. brucei* et Elisa *T. congolense*). La séroprévalence de *T. vivax* dans la classe 4 à 10 mois ($n = 66$) était stable (30 ± 11 p. 100), ce qui traduit probablement l'élimination des anticorps maternels par une partie de la population et l'acquisition d'anticorps post-infectieux par l'autre partie, infectée précocement.

Dans l'ensemble, la croissance régulière des séroprévalences avec l'âge indique une pression parasitaire relativement constante d'une année à l'autre.

Proportions relatives des trois espèces

La mise en évidence d'infections actives (Mbc et *Pcr*) indique une prépondérance de l'espèce *T. congolense*. Les enquêtes parasitologiques menées chez les bovins après la campagne de lutte montraient que l'éradication des glossines avait permis d'éliminer l'espèce *T. congolense* pendant quelques années, durant lesquelles l'espèce *T. vivax* avait dominé (2). Les résultats de la présente enquête indiquent un retour à la domination de l'espèce *T. congolense*.

Bien que la présence de *T. congolense* ait été dominante en parasitologie et par *Pcr*, la sérologie indiquait la prépondérance de *T. vivax*.

L'état hautement enzootique des infections à *T. vivax*, révélé par la sérologie, engendre une situation où les infections sont bien contrôlées par les animaux. Elle se traduit fréquemment par l'impossibilité de diagnostiquer l'infection au moyen de l'examen parasitologique. La situation plus instable de *T. congolense* est en revanche favorable au développement de parasitémies plus importantes, détectables par la parasitologie (ou la *Pcr*). En outre, en particulier en Afrique occidentale, la virulence de *T. congolense* est notablement plus forte que celle de *T. vivax* (36). De ce fait, les parasitémies à *T. congolense* chez les bovins sont souvent importantes, alors que dans les infections chroniques à *T. vivax* les parasites sont souvent indétectables.

Ces éléments concordent et expliquent la différence de prévalences relatives des parasites selon la technique de diagnostic utilisée. Les techniques de détection des parasites (Mbc et *Pcr*) ont permis de détecter les animaux récemment infectés et/ou ne contrôlant que partiellement leur parasitémie (5,3 p. 100 dont 35 p. 100 dues à *T. vivax* et 65 p. 100 à *T. congolense*), alors que les techniques sérologiques ont détecté les infections dès la deuxième ou troisième semaine quel qu'ait été l'état de portage (81 p. 100 dont 79 p. 100 dues à *T. vivax* et 28 p. 100 à *T. congolense*).

L'apparente discordance des prévalences relatives observées entre parasitologie et *Pcr* d'une part et sérologie de l'autre était donc probablement liée à la différence de sensibilité des techniques et à la différence d'émergence numérique des parasites dans le sang.

Quoiqu'il en soit, l'émergence de *T. congolense*, en parasitologie et *Pcr*, plus forte que celle de *T. vivax*, a révélé l'impact clinique de la trypanosomose à *T. congolense* (en liaison avec l'effondrement de la valeur de l'hématocrite). La sérologie a confirmé la situation instable des infections à *T. congolense* — et donc leur possible impact sur la production — et a indiqué la prévalence dominante des infections à *T. vivax*. Ces résultats ne sont nullement incompatibles, leur signification épidémiologique et médicale est différente.

Pour *T. brucei*, la prévalence indiquée par la parasitologie et celle estimée par la sérologie concordent et étaient toutes deux inférieures à 3 p. 100. Toutefois, la fiabilité des examens sérologiques est plus faible que pour *T. vivax* et *T. congolense*, du fait d'importantes réactions croisées des antigènes de *T. brucei* avec les autres parasites étudiés (16, 34).

Estimation du taux d'infections actives

L'estimation du taux d'infections actives par la parasitologie est efficace dans les foyers épizootiques, où la plupart des animaux, récemment infectés, présentent des parasitémies élevées et détectables. En situation enzootique, sauf stress particulier, une grande partie des animaux activement infectés restent négatifs aux examens parasitologiques (37), particulièrement pour *T. vivax* et *T. brucei*, mais aussi pour *T. congolense* (18, 21). Ces phases

latentes — dites aparasitémiques — sont également observées lors d'infections expérimentales (15, 38). Les taux d'infections actives dans ce secteur enzootique étaient donc considérablement sous-estimés par les examens parasitologiques.

De même, la sérologie peut sous-estimer la prévalence des animaux activement infectés, du fait du délai de séroconversion positive après infection, évalué à une ou deux semaines (15, 17). Toutefois, les animaux subissant une primo-infection sont souvent parasitémiques. Dans notre enquête, le taux d'animaux parasitémiques et séronégatifs était très faible (7 individus) ; la sous-estimation des infections actives était donc négligeable.

A l'inverse, la persistance des anticorps après traitement curatif ou *self-cure* peut provoquer une surestimation de la prévalence des animaux activement infectés. Il est difficile de mesurer l'importance numérique de ces cas sur le terrain, du fait des incertitudes sur l'application et l'efficacité des traitements et de l'existence de réinfections après ces traitements. La persistance des anticorps détectés par la méthode Elisa est estimée à deux à trois mois (3, 15, 17, 25) ; elle pourrait être plus longue chez les animaux âgés pour lesquels des seuils de positivité plus élevés sont recommandés (19).

L'étude des séroprévalences dans les groupes d'animaux constitués selon la date du dernier traitement à l'acéturate de diminazène (tableau III) indique qu'une chute de séroprévalence a été enregistrée dans la classe des animaux traités depuis un à deux mois, ce qui correspond bien à la cinétique d'élimination des anticorps après traitement. Toutefois, dans la classe suivante, cet infléchissement ne se maintenait pas et la séroprévalence revenait à une valeur proche de la moyenne générale chez les animaux traités depuis plus de deux mois. Cela tend à montrer que les séroconversions négatives attendues à la suite des traitements sont effacées par des réinfections rapides et/ou par la résurgence des infections à la suite de traitements non stérilisants.

Ces observations sont corroborées par les résultats parasitologiques. Chez les animaux traités depuis trois mois et plus, le taux de positifs était de 4,8 p. 100, égal à celui observé chez les animaux traités depuis moins d'un mois et même inférieur à celui observé chez les animaux traités depuis un à trois mois. Ces chiffres confirment des réinfections rapides et/ou l'inefficacité des traitements. Ils n'indiquent pas que le traitement modifie sensiblement le taux de portage des parasites.

Chez les animaux traités au chlorure d'isométramidium, l'absence d'infléchissement de la sérologie au deuxième mois suivant le traitement et le choix du trypanopréventif traduisaient une pression vectorielle élevée. Cette pression a été confirmée par la détection de cas positifs en parasitologie dès le deuxième mois qui suivait l'usage du trypanopréventif. Elle a révélé en outre une efficacité anormalement faible du produit.

Dans tous les cas, l'inefficacité apparente des traitements pouvait être due à une anamnèse biaisée, à un dosage insuffisant des trypanocides par les éleveurs, à l'utilisation de produits inefficaces (produits frauduleux sans activité trypanocide), à l'existence de refuge extra-vasculaire des parasites ou enfin à leur chimiorésistance.

Compte tenu de ces diverses observations, la prévalence des infections actives restait probablement voisine de la séroprévalence estimée. La faiblesse et la brièveté de l'infléchissement de la séroprévalence dans les classes d'animaux traités récemment ne pouvait se justifier seulement par l'incidence des réinfections. L'efficacité des traitements trypanocides est mise en doute par ces résultats, elle devra être évaluée par des études complémentaires sur les méthodes de traitement (origine et nature des médicaments, doses réelles appliquées), mais également par l'étude de la sensibi-

lité des souches locales aux trypanocides.

Quel que soit le taux d'animaux porteurs, la pression parasitaire à l'échelle d'une zone d'élevage est mieux évaluée par le taux de porteurs d'anticorps que par celui des porteurs de parasites. En effet, ce dernier dépend étroitement de la sensibilité de la technique de diagnostic utilisée, de l'état de trypanotolérance de la population étudiée, ainsi que de la fréquence, l'ancienneté et l'efficacité des traitements trypanocides.

Estimation des états pathologiques dus aux trypanosomoses

Quoique multifactoriel (trypanosomoses, helminthoses, anaplas-mose, état nutritionnel...), l'effondrement de la valeur de l'hématocrite est classiquement considéré comme un signe indicateur de trypanosomose maladie (1).

Parmi les animaux, 12,3 p. 100 présentaient des hématocrites inférieurs à 25. Les prévalences détectées chez eux par microscopie et par *Pcr* étaient plus élevées (7 fois et 5 fois) que chez les animaux présentant un hématocrite supérieur ou égal à 25. La sérologie indiquait aussi une séroprévalence supérieure. Dans les deux types d'analyses, *T. congolense* était prédominant.

Chez les métis et les zébus la valeur de l'hématocrite était significativement réduite en présence de parasites décelables dans le sang. L'hématocrite des taurins trypanotolérants n'était pas modifié par la présence ou l'absence de parasite ; il était en outre toujours supérieur à celui des autres types de bovins.

Chez les zébus et les métis, des liaisons fortes existaient entre l'état pathologique, indiqué par une valeur faible de l'hématocrite, la présence de trypanosomes (*T. congolense* surtout) détectables par la parasitologie ou la *Pcr* et la présence dominante d'anticorps dirigés contre *T. congolense*. Elles indiquaient que 10 à 15 p. 100 des animaux étaient cliniquement affectés par la trypanosomose au moment de l'enquête, plus probablement par des infections à *T. congolense*. Ces observations n'ont pas été vérifiées chez les animaux trypanotolérants.

■ CONCLUSION

Les prévalences révélées par la parasitologie sous-estiment considérablement les taux réels d'infections. La méthode du *buffy coat* est mal adaptée à l'estimation de la prévalence des infections ou de la pression parasitaire dans ce type de situation hautement enzootique. Quoiqu'il en soit, cet examen a permis d'identifier les espèces présentes ainsi que leur émergence parasitémique relative (élevée pour *T. congolense*, moyenne pour *T. vivax* et très faible pour *T. brucei*). Associé à la valeur de l'hématocrite, il a permis d'évaluer le taux d'infections ayant des retentissements cliniques décelables. Au moment de l'enquête, selon les techniques (parasitologie et *Pcr*), 5 à 10 p. 100 des animaux ont présenté des parasitémies décelables avec prédominance de *T. congolense*, 12 p. 100 des hématocrites inférieurs à 25 et 15 p. 100 l'un au moins de ces paramètres. Seuls les animaux trypanotolérants semblaient peu affectés, mais ils ne représentaient qu'environ 5 p. 100 de la population échantillonnée.

Sans apporter un diagnostic individuel spécifique d'espèce, la réalisation des trois tests Elisa a permis d'établir avec une très bonne sensibilité le taux de porteurs d'anticorps dirigés contre les trypanosomes pathogènes ($81,7 \pm 2,4$ p. 100). Il a permis aussi d'estimer l'incidence annuelle des trypanosomoses à 52 p. 100 en 1997. L'étude des scores maximums de positivité a indiqué une prédominance nette de *T. vivax* dont la séroprévalence a été évaluée à 79 p. 100 et une séroprévalence élevée de *T. congolense*, estimée à

24 p. 100. La réalisation simultanée des tests Elisa *T. vivax* et *T. congolense* et l'interprétation des scores de positivité apparaissent fiables. Ils sont recommandés pour l'estimation de la prévalence de ces deux parasites. Compte tenu de l'existence d'importantes réactions croisées du test Elisa *T. brucei*, il est difficile d'estimer la séroprévalence de ce parasite. Mais sa mise en évidence (Mbc et Pcr) et les scores de sérologie en faveur d'infections dont il était responsable indiquaient une prévalence inférieure à 3 p. 100. Des outils de diagnostic plus sensibles et spécifiques sont requis pour une estimation plus précise de l'importance de ce parasite dans les populations bovines. Un examen exhaustif des échantillons de cette enquête par Pcr apporterait d'autre part un complément d'information.

L'étude sérologique a révélé des contacts fréquents et réguliers de la population bovine avec les trypanosomes. Elle a confirmé que ces parasites demeurent une préoccupation majeure de l'élevage bovin dans la zone nord du secteur de Sidéradougou. Le taux d'animaux paraissant affectés par des trypanosomoses maladies était estimé à 15 p. 100 au moment de l'enquête, mais le taux d'animaux porteurs de parasites était beaucoup plus élevé. Les infections à *T. vivax* étaient hautement enzootiques, mais les états pathologiques du bétail semblaient davantage liés aux infections par *T. congolense*, dont l'incidence annuelle moyenne a été estimée à 14 p. 100. Les données générées par cette enquête seront intégrées dans le système d'information géographique mis en place

dans le cadre de l'Atp Santé-environnement du Cirad-emvt (11) pour une analyse multifactorielle du risque trypanosomien. La relation entre prévalence des trypanosomes chez les glossines et chez le bétail sera particulièrement étudiée.

Sur le plan individuel, l'observation des signes cliniques, la mesure de l'hématocrite et la détection des parasites restent des éléments clés dans l'estimation de l'impact clinique et la décision de traitement.

Sur le plan collectif, l'impact de la trypanosomose est davantage évalué par les techniques hématocrites et parasitologiques. En revanche, son épidémiologie est beaucoup mieux appréhendée par la sérologie qui permet d'établir l'incidence des infections et d'estimer leur prévalence ; en ce sens, la sérologie est un outil majeur pour l'identification des secteurs prioritaires de lutte.

Remerciements

Les auteurs remercient vivement le Cirad (Atp n° 70/96), le Cnrs (Programme interdisciplinaire Environnement, vies et sociétés n° 96/6/12) et la Coopération française, qui ont apporté leur soutien à ce travail. Ils remercient également chaleureusement le Dr S.M. Touré, directeur du Cirades au Burkina Faso et le personnel du centre pour leur appui et leur soutien, ainsi que les services de l'élevage et les éleveurs de la zone pour leur coopération.

BIBLIOGRAPHIE

- BAUER, B., AMSLER-DELAFOSSÉ S., KABORE I., KAMUANGA M., 1999. Improvement of cattle productivity through rapid alleviation of African animal trypanosomiasis by integrated disease management practices in the Agropastoral Zone of Yalé, Burkina Faso. *Trop. Anim. Health Prod.*, **31**: 89-102.
- BAUER B., PETRICH-BAUER J., KABORE I., KOUROUMA B., MATTAUSCH M., SOME J., TAMBOURA I., 1988. Epidemiological survey in the pastoral zone of Sideradougou, Burkina Faso. In: Proc. int. Symp. on modern Insect Control, Vienna, Austria, 16-20 November 1987. Vienna, Austria, AIEA, p. 139-149.
- BOCQUENTIN R., VERY P., DUVALLET G., 1990. Cinétique des anticorps après traitement trypanocide chez les bovins infectés expérimentalement ou naturellement. Intérêt épidémiologique. *Rev. Elev. Méd. vét. Pays trop.*, **43**: 179-186.
- CAMUS, E., 1983. Diagnostic de la trypanosomose bovine sur le terrain par la méthode de centrifugation hématocrite. *Rev. sci. tech. Off. int. Epiz.* **2**: 751-769.
- COCHRAN W.G., 1977. Sampling techniques. New York, NY, USA, Wiley, 448 p.
- CONNOR R.J., HALLIWELL R.W., 1987. Bovine trypanosomiasis in Southern Tanzania: parasitological and serological survey of prevalence. *Trop. Anim. Health Prod.*, **19**: 165-172.
- CROSS G.A.M., 1977. Antigenic variation in trypanosomes. *Amer. J. trop. Med. Hyg.*, **26**: 240-244.
- CUISANCE D., POLITZAR H., TAMBOURA I., MEROT P., LAMARQUE G., 1984. Répartition des glossines dans la zone pastorale d'accueil de Sidéradougou, Burkina Faso. *Rev. Elev. Méd. vét. Pays trop.*, **37**: 99-113.
- CUISANCE D., POLITZAR H., MEROT P., TAMBOURA I., 1984. Les lâchers de mâles irradiés dans la campagne de lutte intégrée contre les glossines dans la zone pastorale de Sidéradougou, Burkina Faso. *Rev. Elev. Méd. vét. Pays trop.*, **37**: 449-468.

10. DE LA ROCQUE S., 1997. Identification des facteurs discriminants majeurs de la présence de glossines dans une zone agropastorale du Burkina Faso. Intérêt pour la prévision du risque trypanosomien. Thèse Doct., Université Montpellier II, Montpellier, France, 212 p.

11. DE LA ROCQUE S., CUISANCE D., 1997. Facteurs discriminants de la présence de glossines au Burkina Faso. In : Proc. 8th Int. Symp. on Veterinary Epidemiology and Economics, Paris, France, 7-10 juillet 1997. *Epidémiol. Santé anim.*, n° spécial : 31-32.

12. DE LA ROCQUE S., LEFRANCOIS T., REIFENBERG J.M., SOLANO P., KABOR I., BENGALY Z., AUGUSSEAU X., CUISANCE D., 1998. PCR analysis and spacial repartition of trypanosomes infecting tsetse flies in Sidéradougou area (Burkina Faso). *Ann. N.Y. Acad. Sc.*, **849**: 32-38.

13. DE LA ROCQUE S., MICHEL J.F., MICHEL V., SOLANO P., DE WISPELAERE G., ARNAUD M., CUISANCE D., sous presse. Du système pathogène à l'évaluation du risque ; cas des trypanosomoses animales dans une zone du Burkina Faso. 25th ISCTRC Meeting, Mombasa, Kenya, 25 sept. - 1 oct. 1999. Mombasa, Kenya, OUA/CSTR, 6 p.

14. DESQUESNES M., 1997. Standardisation internationale et régionale des épreuves immuno-enzymatiques : méthodes, intérêts et limites. *Rev. sci. tech. Off. int. Epiz.*, **16**: 809-823.

15. DESQUESNES M., 1997. Les trypanosomoses du bétail en Amérique Latine, étude spéciale dans le Plateau des Guyanes. Thèse Doct., Université Lille, Lille, France, 409 p.

16. DESQUESNES M., TRESSE L., 1999. Utilisation of *T. evansi* antigens in indirect-ELISA for diagnosis of Chagas disease in humans. In: Proc. of 1st Symposium on New World Trypanosomes, 20-22 November 1996, Georgetown, Guyana. Georgetown, Guyana, Vokaty S., Desquesnes M. eds, p. 111-114.

17. FERENC S.A., STOPINSKI V., COURTNEY C.H., 1990. The development of an enzyme-linked immunosorbent assay for *Trypanosoma vivax* and its use in a seroepidemiological survey in the eastern Caribbean basin. *Int. J. Parasitol.*, **20**: 51-56.

18. GARDINER P.R., 1989. Recent studies of the biology of *Trypanosoma vivax*. *Adv. Parasitol.*, **28**: 229-317.

19. GREINER M., SHIVARAMA BHAT T., PATZELT R. J., KAKAIRE D., SCHARES G., DIETZ E., BÖHNING D., ZESSIN K.H., MEHLITZ D., 1997. Impact of biological factors on the interpretation of bovine trypanosomosis serology. *Prev. Vet. Med.*, **30**: 61-73.
20. GUIDOT G., ROELANTS G.E., 1982. Sensibilité de taurins Baoulé et de zébus à *Trypanosoma (Duttonella) vivax* et *T. (Nannomonas) congolense*. *Revue Elev. Méd. vét. Pays trop.*, **35** : 233-244.
21. HOARE C.A., 1972. The trypanosomes of mammals. A Zoological Monograph. Oxford, U.K., Blackwell Scientific Publications, 749 p.
22. HOPKINS J.S., CHITAMBO H., MACHILA N., LUCKINS A.G., RAE P.F., VAN DEN BOSSCHE P., EISLER M.C., 1998. Adaptation and validation of antibody-ELISA using dried blood spots on filter paper for epidemiological surveys of tsetse-transmitted trypanosomosis in cattle. *Prev. Vet. Med.*, **37**: 91-99.
23. IJAGBONE I.F., STAACK C., REINHARD R., 1989. Fractionation of trypanosome antigens for species-specific sero-diagnosis. *Vet. Parasitol.*, **32**: 293-299.
24. LATIF B.M., ADAM K.M., 1973. Differentiation of *Trypanosoma brucei*, *T. rhodesiense*, and *T. gambiense* by the indirect fluorescent antibody test. *Bull World Health Organ.*, **48**: 401-407.
25. LUCKINS A.G., 1977. Detection of antibodies in trypanosome-infected cattle by means of a microplate enzyme-linked immunosorbent assay. *Trop. Anim. Health Prod.*, **9**: 53-62.
26. LUCKINS A.G., MELHLITZ D., 1978. Evaluation of an indirect fluorescent antibody test, enzyme-linked immunosorbent assay and quantification of immunoglobulins in the diagnosis of bovine trypanosomiasis. *Trop. Anim. Health Prod.*, **10**: 149-159.
27. MASIGA D.K., SMYTH A.J., HAYES P., BROMIDGE T.J., GIBSON W.C., 1992. Sensitive detection of trypanosomes in tsetse flies by DNA amplification. *Int. J. Parasitol.*, **22**: 909-918.
28. MEROT P., POLITZAR H., TAMBOURA I., CUISANCE D., 1984. Résultats d'une campagne de lutte contre les glossines riveraines au Burkina par l'emploi d'écrans imprégnés de deltaméthrine. *Rev. Elev. Méd. vét. Pays trop.*, **37** : 175-184.
29. MICHEL J.-F., MICHEL V., DE LA ROCQUE S., TOURE I., RICHARD D., 1999. Modélisation de l'occupation de l'espace par les bovins, applications à l'épidémiologie des trypanosomoses animales. *Rev. Elev. Méd. vét. Pays trop.*, **52** : 25-33.
30. MONZON C.M., COLMAN O.L.R., 1988. Estudio seroepidemiológico de la tripanosomiasis equina (O Mal de Caderas) mediante la prueba de inmunofluorescencia indirecta en la Provincia de Formosa (Argentina). *Arq. Bras. Med. Vet. Zoot.*, **40**: 279-285.
31. MURRAY M., MURRAY P.K., McINTYRE W.I.M., 1977. An improved parasitological technique for the diagnosis of African trypanosomiasis. *Trans. R. Soc. Trop. Med. Hyg.*, **71**: 325-326.
32. POLITZAR H., CUISANCE D., 1984. An integrated campaign against riverine tsetse, *Glossina palpalis gambiense* and *Glossina tachinoides*, by trapping, and the release of sterile males. *Insect Sci. Appl.*, **5**: 439-442
33. ROSSI M., ASO P., ESPINOZA E., 1993. Antigenos de *Trypanosoma evansi* y su utilización en el inmunodiagnostico de la tripanosomiasis bovina. *Acta Cient. Venez.*, **44**: 1.
34. SILAYO R.S., GRAY A.R., LUCKINS A.G., 1980. Use of antigens of cultured *Trypanosoma brucei* in tests for bovine trypanosomiasis. *Trop. Anim. Health Prod.*, **12**: 127-131.
35. SOLANO P., MICHEL J.F., LEFRANCOIS T., DE LA ROCQUE S., SIDIBE I., ZOUNGRANA A., CUISANCE, D. 1999. Polymerase Chain Reaction as a diagnosis tool for detecting trypanosomes in naturally infected cattle in Burkina Faso. *Vet. Parasitol.*, **86**: 95-103.
36. TOURE S.M., 1977. Diagnostic des trypanosomiasis animales. *Rev. Elev. Méd. vét. Pays trop.*, **30** : 1-10.
37. UILENBERG G., 1998. A field guide for the diagnosis treatment and prevention of African animal trypanosomosis. Rome, Italie, FAO, 158 p.
38. WHITELAW D.D., GARDINER P.R., MURRAY M., 1988. Extravascular foci of *Trypanosoma vivax* in goats: the central nervous system and aqueous humor of the eye as potential sources of relapse infections after chemotherapy. *Parasitol.*, **97**: 51-61.

Reçu le 14.9.99, accepté le 25.4.00

Summary

Desquesnes M., Michel J.F., de La Rocque S., Solano P., Millogo L., Bengaly Z., Sidibe I. Parasitological and serological (indirect-ELISA) survey on bovine trypanosomiasis in Sideradougou area, Burkina Faso

A parasitological and serological survey of bovine trypanosomiasis was carried out in the northern sector of Sideradougou area (Burkina Faso), in November-December 1997. One thousand cattle were sampled by a stratified random sampling. Age and breed of the animals, nature and date of the last trypanocidal treatment were recorded. Parasitological examinations were carried out by the buffy coat method, hematocrit values were recorded, and indirect-ELISAs were carried out in 3 different systems, with soluble antigens of *Trypanosoma vivax*, *T. brucei* or *T. congolense* (type savannah). Parasitological examinations showed 5.3% positive samples, dominated by the specie *T. congolense*. Serological tests indicated a seroprevalence of 81.7% ($\pm 2.4\%$) in *Trypanosoma* sp., the 3 tests combined. A mean annual incidence of 52% ($\pm 11\%$) was estimated. The scores of positivity indicated seroprevalences per species of 79% for *T. vivax*, 3% for *T. brucei*, and 28% for *T. congolense*. In this enzootic situation parasitology is not very sensible, but associated with the hematocrit value, it allowed estimating the importance of trypanosomiasis disease at 15%. Cattle trypanosomiasis remains as a major concern in the study area. The enzootic situation is dominated by *T. vivax* infections, with high prevalence and clinical impact due to *T. congolense*. The data generated by this survey will be integrated into a geographical information system (GIS) set up in the area for the evaluation of trypanosome risk.

Key words: Cattle - *Trypanosoma vivax* - *Trypanosoma brucei* - *Trypanosoma congolense* - Parasitology - ELISA - Hematocrit - Morbidity - Burkina Faso.

Resumen

Desquesnes M., Michel J.F., de La Rocque S., Solano P., Millogo L., Bengaly Z., Sidibe I. Encuesta parasitológica y serológica (ELISA indirecto) sobre los tripanosomas de bovinos en la zona de Sideradougou, Burkina Faso

Se llevó a cabo una encuesta parasitológica y serológica sobre los tripanosomas bovinos en el sector norte de la zona de Sideradougou (Burkina Faso), en noviembre - diciembre 1997. Se tomaron muestras de un millar de bovinos, sobre la base de un muestreo aleatorio en categorías. Se registraron la edad y la raza de los animales, el tipo y la fecha del último tratamiento tripanocida. Los exámenes parasitológicos se efectuaron por el método de *buffy coat*, se tomó nota del hematocrito y los ELISA indirectos se llevaron a cabo en tres sistemas diferentes, mediante antígenos solubles de *Trypanosoma vivax*, *T. brucei* o *T. congolense* (tipo sabana). La técnica parasitológica presentó 3.5% de muestras positivas, dominadas por la especie *T. congolense*. Los exámenes serológicos indican una prevalencia serológica de 81,7% ($\pm 2,4\%$) los tres exámenes confundidos. La incidencia anual media fuera de 52% ($\pm 11\%$). La cuenta máxima de positivos indicaron prevalencias serológicas por especie de 79% para *T. vivax*, 3% para *T. brucei* y 28% para *T. congolense*. En este situación enzoótica la parasitología es poca sensible pero, asociada al valor del hematocrito, permite estimar la importancia de estos casos de tripanosomiasis a alrededor de 15%. Las tripanosomiasis bovinas siguen siendo una preocupación mayor en la zona. Se presentan de manera enzoótica con una predominancia neta de las infecciones por *T. vivax*, una prevalencia y un impacto clínico altos de *T. congolense*. Los datos generados por esta encuesta serán integrados en un sistema de información geográfica (SIG) establecido en la zona para la evaluación del riesgo tripanosómico.

Palabras clave: Ganado bovino - *Trypanosoma vivax* - *Trypanosoma brucei* - *Trypanosoma congolense* - Parasitología - ELISA - Hematocrito - Morbosidad - Burkina Faso.

Trypanosoma evansi infection in camels in Jordan

O. F. Al-Rawashdeh^{1*} L.A. Sharif¹
K. Al-Qudah¹ F.K. Al-Ani¹

Key words

Camels - *Trypanosoma evansi* - Blood - Epidemiology - Jordan.

Summary

A total of 257 camels in different districts of Jordan were used in the present study. These areas included Jordan Valley (140 camels), Al-Safawi (51 camels), Ramtha (36 camels) and Amman (30 camels). Blood samples were collected from camels into tubes containing anticoagulant. Blood smears were prepared from each blood sample and stained. Blood samples were also inoculated in immunosuppressed mice. Results indicated that *Trypanosoma evansi* was present in 132 camels. Infection rate of trypanosomiasis was 33% by direct smear stain technique and 51% by mouse inoculation. The highest rate of infection was reported in Jordan Valley from April to September. All 65 affected camels in the acute form of the disease showed signs of fever, anorexia, weakness, severe anemia and leukocytosis. Hematological examination revealed that all 65 camels were heavily infested with *T. evansi*. Sixty-seven camels showed low parasitemia with no evidence of clinical trypanosomiasis. In 125 camels, clinical signs were not observed, nor was *T. evansi* found in the blood. All camels treated with melarsomine in a dose of 0.25 mg/kg body weight recovered although 18% required 2-3 treatments.

INTRODUCTION

Trypanosoma evansi was the first trypanosome to be described and identified as a causative agent of mammalian trypanosomiasis. The earliest reports on the trypanosome were published by Evans (9) who associated it with an endemic disease in equines and camels known as *Surra* in the Dera Ismail Khan in the Punjab province (13). Since then, the disease has been reported quite frequently in North Africa, Sudan, Ethiopia and East Africa, through the Middle East into the Indian subcontinent and south East Asia, including all the islands of the Indonesian archipelago and the Philippines (1, 2, 4, 10, 13). It is also found in Central and South America and in countries belonging to the former Soviet Union (17). In Middle East countries, the main hosts are camels and, to a lesser extent, horses (4). *T. evansi* epidemics tend to involve different animal hosts in different parts of the world (2, 4, 10, 15, 22). In Indochina horses are mainly affected, followed by camels, bovine and buffaloes, whereas in Middle Asia the main hosts are camels and, to a lesser extent, horses. In certain parts of Africa such as Somalia, Kenya, Ethiopia, Sudan, Chad, Nigeria and West Africa,

camels are affected most (10,13). In Argentina, horses are the main hosts, causing a disease known as *Mal de Caderas*, but the parasite has also been found in dogs (15). The sensitivity of parasitological diagnosis varies according to the technique used and a combination of the hematocrit method together with inoculation of blood into rodents is recommended as being the most effective procedure (18). Different serological methods have been used (8, 20, 22). However, these techniques are not always capable of distinguishing current from past infection due to the prolonged persistence of antibodies in the blood of treated animals (12, 16). The effect of the disease is most noticeable in pregnant and lactating camels and weaners. Anemia is commonly associated with trypanosome infections (18, 21, 22). Giemsa staining can detect the parasite 6-10 days after infection. The purpose of this study was to present the clinical and hematological picture, diagnosis and the effect of melarsomine treatment on camels affected by *Trypanosoma evansi* infection in Jordan.

MATERIALS AND METHODS

Sampling method

A total of 257 camels belonging to sixteen different farms in four different districts of Jordan were sampled between April 1996 and March 1997 (figure 1). Data were collected and pooled from camels from four different locations which represent camel

1. Department of Veterinary Clinical Sciences, Faculty of Veterinary Medicine, Jordan University of Science and Technology, Irbid, PO Box 3030, Jordan

* Corresponding author:

Tel: +962 2 295 111; Fax: +962 2 295 123; E-mail: odeb@just.edu.jo

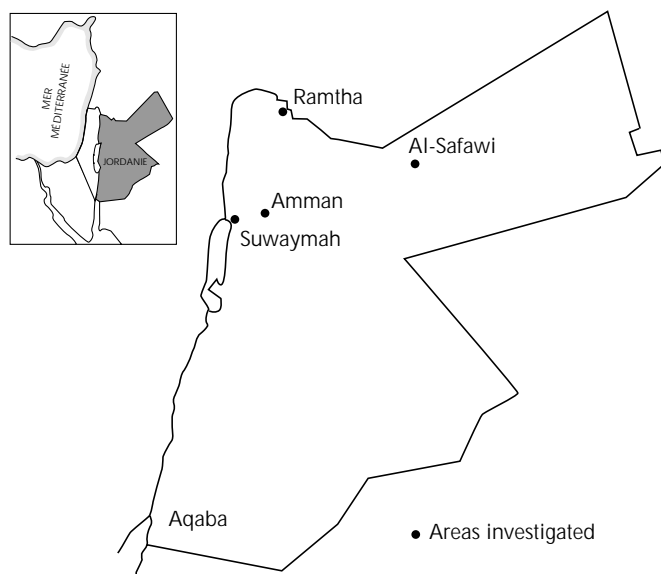


Figure 1: The areas investigated in Jordan.

population in Jordan (Jordan Valley, Suwaymah area, warm desert, $n = 140$; Al-Safawi, cool desert, $n = 51$; Ramtha, warm steppe, $n = 36$; and Amman, warm temperate, $n = 30$). Herd size ranged between 12 and 250 camels with 4 herds classified as small (12-50 camels), 5 herds as medium (51-99 camels) and 7 herds as large (≥ 100 camels). Twenty percent of camels in small herds, 15% in medium herds and 10% in large herds were sampled using systematic random sampling method (14). Based on the table random number, the first animal in each herd was chosen (14). The selected camels were examined clinically and recorded on a special form. Each animal was sampled only once during the study period.

Blood collection and analysis

Blood samples were collected from the jugular vein of all camels under the study. The blood was placed in two 10-ml partial-vacuum tubes. One tube contained ethylenediaminetetraacetic acid (EDTA) at a concentration of 1 mg/ml blood; the second tube contained no anticoagulant and sera were separated from the tube following blood coagulation, and stored at -20°C until analysis. Blood smears were prepared from each blood sample and stained with Giemsa stain. Total white blood cell counts (WBC), total red blood cell counts (RBC), hemoglobin concentration (Hb) and packed cell volume (PCV) were determined using the standard hematological methods described by Coles (7). Mean corpuscular volume (MCV), mean corpuscular hemoglobin (MCH) and mean corpuscular hemoglobin concentration (MCHC) were also calculated (7). Serum was analyzed for total protein (TP) concentration.

Animal grouping

For statistical analysis, the animals were divided into three different groups. Group 1 included the heavily positive animals by direct smear technique. Group 2 included the animals with few parasites. Group 3 included animals negative for the parasite detection. General clinical examinations were recorded. Sick animals were carefully examined for their body temperature,

respiration rates, presence of edema and the color of the mucous membranes. Regional and seasonal occurrence of the disease was also recorded.

Mice inoculation test

Randomly bred white mice were used in this experiment. They were housed in plastic cages (24 cm x 18 cm) and were supplied with food and water *ad libitum*. Each mouse received 0.5 ml of dexamethasone intramuscularly plus 0.5 ml of camel blood intraperitoneally. The mice were closely observed for 7 days and then sacrificed. From each mouse, blood smears were stained with Giemsa stain and examined under light microscopy with x 400 magnification for the presence of the parasites. The blood smears prepared from the camel samples were similarly observed.

Treatment

The camels of group 1 were treated with melarsomine (Cymelarsan, Rhône Mérieux, France) at a dose of 0.25 mg/kg body weight by deep intramuscular injection of freshly prepared aqueous solution. Clinical and parasitological examination of treated camels were made on a weekly basis. Twelve camels, which did not recover quickly, received repeated doses of melarsomine until recovery occurred.

Statistical analysis

The analysis of variance, Student's t-test and χ^2 test were used. Differences were considered significant ($p < 0.05$). Data were expressed as mean \pm SD.

■ RESULTS

Epidemiological findings

Trypanosoma evansi was diagnosed in 132 camels (51%). The infection rate was 33% by direct smear stain technique and 51% by mouse inoculation method. The results of diagnostic tests are given in table I. Out of 257 camels examined, mice inoculation revealed 47 infections not detected by the direct smear method. The mice inoculation test was found more sensitive than the blood smear stain technique ($p < 0.05$). All the samples positive by blood smears were also positive by mice inoculation. A significant ($p < 0.05$) difference in the rate of infection between Jordan Valley and the other areas under the study was found (table I). The highest rate of infection in camels in the Jordan Valley was recorded from April to October 1996 and then decreased significantly ($p < 0.001$) from November 1996 to March 1997 (table II).

Clinical and hematological findings

In group 1, the total of 65 camels showed signs of fever, anorexia, weakness and severe anemia. Two camels developed subcutaneous edema and one camel aborted. Blood smear examination revealed the presence of a high number of *T. evansi* (table I). In group 2 (67 camels) no evidence of clinical trypanosomiasis was noticed except that the animals had slight anorexia. When blood smears were stained and examined, they were found to be parasitized by a few *T. evansi*. In group 3 (125 camels), neither clinical signs of trypanosomiasis were seen nor could the parasite be found in their stained blood smears and mice inoculation test.

Table III shows the mean values of WBC, RBC, Hb, PCV and TP. Blood indexes include MCV, MCH, and MCHC are also shown. All camels in group 1 had a significant increase in mean value of WBC, MCV and MCH ($p < 0.05$), while the mean values of RBC,

Table I
Prevalence of *Trypanosoma evansi* in camels by direct smear and mice inoculation tests

Area	Animal group	No. of camels examined	No. (%) of positive cases by stained smear method	No. (%) of positive cases by mouse inoculation method
Jordan Valley	G1	61	61	61
	G2	48	12	48
	G3	31	0	0
	Total	140	73 (52%) ^a	109 (77.8%) ^a
Al-Safawi	G1	0	0	0
	G2	5	2	5
	G3	46	0	0
	Total	51	2 (3.9%) ^b	5 (9.8%) ^b
Ramtha	G1	0	0	0
	G2	5	3	5
	G3	31	0	0
	Total	36	3 (8.3%) ^b	5 (13.8%) ^b
Amman	G1	4	4	4
	G2	9	3	9
	G3	17	0	0
	Total	30	7 (23.3%) ^b	13 (43.3%) ^b
Total	G1	65	65	65
	G2	67	20	67
	G3	125	0	0
	Total	257	85 (33%) ^A	132 (51.4%) ^B

a, b: differ within columns by χ^2 test; A, B: differ within rows by χ^2 test

Table II
Diagnosed cases of trypanosomiasis by the direct stain method and mice inoculation method according to months of the years 1996-1997

Months	Number Positives/Number Tested			
	Jordan Valley	Al-Safawi*	Amman*	Ramtha*
April 1996 to October 1996	104/117 ^a	5/31	12/19	4/20
November 1996 to March 1997	5/23 ^b	0/20	1/11	1/16
Total	109/140	5/51	13/30	5/36

a, b: differ within column by χ^2 test

* The sample size in the these districts is too low for statistical analysis of seasonal variations

Hb, PCV, and MCHC were significantly decreased ($p < 0.05$). The total protein remained within the normal range ($p > 0.05$).

Results of the treatment

All animals in group 1 (65 camels) recovered completely following melarsomine treatment. 82% of the camels recovered following the first dose. However, 18% of camels with clinical signs of trypanosomiasis needed a second or even a third dose of

melarsomine. Signs of edema started to disappear gradually and affected camels started to consume their feed normally.

DISCUSSION

The present investigation showed that *T. evansi* is a common parasite of camels in the Jordan Valley. The overall infection rate among camels in Jordan Valley alone was 77.8%. It is well known

Table III

WBC, RBC, Hb, PCV and total protein values in groups 1, 2 and 3

Variables	Group 1	Group 2	Group 3
WBC (μl^{-1})	12,300 ^a \pm 1160	9,330 ^b \pm 720	9,100 ^b \pm 1704
RBC (10^6 cell/ μl^{-1})	4.50 ^a \pm 0.580	6.20 ^b \pm 0.667	7.00 ^b \pm 0.600
Hb (g dl ⁻¹)	9.2 ^a \pm 0.833	11.33 ^b \pm 1.030	12.30 ^b \pm 0.992
PCV (%)	27.66 ^a \pm 0.78	29.70 ^b \pm 1.560	31.20 ^b \pm 1.300
MCV (fl)	62 ^a \pm 7.07	48 ^b \pm 4.90	44 ^b \pm 3.25
MCH (pg)	20.54 ^a \pm 1.77	18.26 ^b \pm 0.79	17.58 ^b \pm 1.19
MCHC (gdl ⁻¹)	33.20 ^a \pm 2.23	38.1 ^b \pm 3.16	39.36 ^b \pm 2.15
TP (gdl ⁻¹)	7.84 ^a \pm 0.68	7.5 ^a \pm 0.25	7.10 ^a \pm 0.60

Data are express as mean \pm SDa, b: means in a row with the same superscript letter are not significantly different ($p > 0.05$)

that the Jordan Valley, especially Suwaymah lies at the lowest point on the earth (about 406 m below sea level). It is influenced by the Mediterranean bioclimate, and is situated in the warm desert-climate zone (3). In this area tabanid flies were found in abundance and we observed the flies feeding on the camels. In Sudan camel trypanosomiasis has been found to be seasonal; epidemics occurred especially after the long rains of April, with sporadic infections during the dry season (6, 13). Mechanical transmission from camel to camel by biting flies including *Tabanus*, *Stomoxys* and *Haematopota* has been reported (13). A feeding time of five seconds is enough to acquire infection in a tabanid fly and a similar time feeding on a new host is sufficient to transmit the infection; a single fly can infect at least two clean individuals following an interrupted infective meal (11).

In the present study, the disease exhibits two different clinical forms, the acute form and the chronic form. It has been reported that in the acute form, *T. evansi* is invariably present in the blood and the disease is almost always fatal (13). The disease, however, generally takes a chronic form resulting in heavy economic losses due to lower milk and meat yields (11). Abortion, premature births and reduced milk production greatly reduce reproductive potential in affected herds. Chronically infected animals may survive for three to four years and act as a source of the infection.

The use of immunosuppressed mice described in this paper showed a higher diagnostic sensitivity for *T. evansi* than the direct stain method. This information is wholly in agreement with previous work. Serological methods are used as complementary diagnostic tools in many clinical or epidemiological situations. However, these techniques are not always capable of distinguishing current from past infection due to the prolonged persistence of antibodies in the blood of treated animals (12, 16, 17).

There are few trypanocidal drugs available for treatment of camel trypanosomiasis. For many years suramine has been the drug of choice, a single dose of 10 mg/kg body weight usually being effective. In our study all camels in the clinically sick group responded satisfactorily to melarsomine treatment. It has been reported that melarsomine has a high efficacy against *T. evansi* infection in the dromedary camel (19).

The significant decrease in blood RBC, Hb, MCHC and PCV associated with increase in MCV and MCH values may be considered as microcytic hypochromic type anemia. Also, the

present study revealed that the infected group of camels had higher values of total proteins although not significantly different. Boid *et al.* (5) found that total protein concentration was increased above normal values in camels experimentally and naturally infected with *T. evansi*. It has been stated that protein levels varied during *T. evansi* infection of Indian camels (19). In acute infection, albumin remained unchanged but it fell below normal during chronic disease, alpha-globulin fell during acute infection and increased during chronic disease, beta-globulin increased during acute infection but remained unchanged during chronic disease and gamma-globulin increased during both acute and chronic diseases.

CONCLUSION

Trypanosomiasis is a common camel disease in Jordan Valley but is of low prevalence in the other areas investigated (Al-Safawi, Ramtha, Amman). Variations in the percentage of infection were seen from month to month with a peak started from April to October. Affected camels can be treated safely with melarsomine, although 18% of the animals required 2-3 treatments.

Acknowledgements

We wish to thank the Higher Council of Science and Technology of Jordan for funding the conducting research, through Badia Research and Development Program (Badia fund No 54/97).

REFERENCES

- AGAD B.I., NASSER M.H., ABU-EL-MAGD M.M., HAFEZ I., 1993. Clinical and biochemical studies on microfilaria and trypanosoma infected camels. *Assuit Vet. Med. J.*, **29**: 125-134.
- AL-ANI F.K, 1997. Camel Encyclopedia. Amman, Jordan, Al-Bahga Press, p. 347-356.
- ANON, 1984. National Atlas of Jordan. 1. Climate and Agroclimatology. Amman, Jordan, Jordan National Geographic Center, p. 135.
- AWAKATI A.J, AL-KHATIB G.M, 1974. Trypanosomiasis in domestic animals in Iraq. *J. Egypt. Vet. Med. Ass.*, **32**: 203-206.
- BOID R., MAHMOUD M.M., GRAY A.R., 1980. Changes in the levels of some serum enzymes in dromedary camels infested with *Trypanosoma evansi*. *Res. Vet. Sci.*, **28**: 336-340.

6. CLARKSON M.J., 1976. Trypanosomes. *Vet. Parasitol.* **2**: 9-29.
7. COLES E.H., 1986. Veterinary Clinical Pathology, 7th ed. London, UK, Bailliere Tindall, p. 12-56.
8. DIALL O., NANTULYA V.M., LUCKINS A.G., DIARRA B., KOUYATE B., 1992. Evaluation of mono- and polyclonal antibody-based antigen detection immunoassays for diagnosis of *Trypanosoma evansi* infection in the dromedary camel. *Revue Elev. Méd. Vét. Pays Trop.*, **45**: 149-153.
9. EVANS G., 1880. Report on *Surra* disease in the Dera Ismail Khan district. Punjab Government Military Department, No. 439, 446.
10. ILEMOBADE A.A., 1971. Studies on the incidence and pathogenicity of *T. evansi* in Nigeria. 1. The incidence of *T. evansi* in camels. ISCTRC. OAU/STRC, No. 105, p. 107-114.
11. LUCKINS A.G., 1988. Separation of *Trypanosoma evansi* in Asia. *Parasitol. Today*, **4**: 137-142.
12. LUCKINS A. G., GRAY A.R., RAE P., 1978. Comparison of the diagnostic value of serum immunoglobulin levels, an enzyme-linked immunosorbent assay and a fluorescent antibody test in experimental infection with *Trypanosoma*. *Parasitol.*, **72**: 429-441.
13. MAHMOUD M.M., GRAY A.R., 1980. Trypanosomiasis due to *Trypanosoma evansi* (Steel, 1885, Balbiani, 1888). A review of recent research. *Trop. Anim. Health Prod.*, **12**: 35-47.
14. MARTIN S. W., MEEK A.H., WILLEBERG P., 1987. Veterinary Epidemiology. Principles and Methods. Ames, IA, USA, Iowa State University Press, p. 22-47.
15. MAYER H. F., MARDER G., 1978. Aspectos serologicos de la *Tripanosomiasis canina* and *T. equinum*, Voges, 1901. *Vet. (UNNE)*, **2**: 43-49.
16. MONZON C.M., 1987. Evaluación de las pruebas de aglutinación indirecta inmunofluorescencia indirecta para el diagnostico de la tripanosomiasis equina Sudamérica o mal de Caderas. *Vet. Argent.*, **4**: 908-915.
17. MONZON C.M., 1993. Serological diagnosis of *Trypanosoma evansi* (Steel, 1885) in horses using a direct agglutination test. *Vet. Parasitol.*, **47**: 25-35.
18. MONZON C.M., MANCEBO O.A., ROUX J.P., 1990. Comparison between six parasitological methods for diagnosis of *Trypanosoma evansi* in the subtropical area of Argentina. *Vet. Parasitol.*, **36**: 141-146.
19. OLAHO-MUKANI W., NYANG'AO J.M., OUMA J., 1995. Elimination of drug-resistant *Trypanosoma evansi* infection in a group of camels by sequential treatment with melarsomine. *J. Camel Pract. Res.*, **2**: 83-85.
20. RAISINGHANI P.M., LODHA K.R., 1986. Comparative efficacy of different diagnostic tests for *Surra* in camel (*Camelus dromedarius*). *Indian J. Anim. Sci.*, **56**: 1142-1143.
21. RAISINGHANI P.M., LODHA K.R., BHATIA J.S., DWARKANATH P.K., VYAS U.K., 1981. Note on some haematological and biochemical studies in experimental *Surra* in camel. *Indian J. Anim. Sci.*, **51**: 1108-1112.
22. SULIMAN H.B., FELDMAN B.F., 1989. Pathogenesis and aetiology of anaemia in trypanosomiasis with special reference to *T. brucei* and *T. evansi*. *Vet. Bull.* **59**: 99-107.

Reçu le 18.12.98, accepté le 6.4.00

Résumé

Al-Rawashdeh O. F., Sharif L.A., Al-Qudah K., Al-Ani F.K. Infections à *Trypanosoma evansi* chez des chameaux en Jordanie

Dans cette étude, 257 chameaux provenant de différents districts de Jordanie ont été examinés : 140 dans la vallée du Jourdain, 51 dans le secteur d'Al-Safawi, 36 dans celui de Ramtha et 30 dans celui d'Amman. Les prélèvements sanguins ont été collectés dans des tubes contenant un anticoagulant. Les frottis ont été préparés à partir de chaque échantillon et colorés. Les échantillons ont également été inoculés à des souris immunodéprimées. Les résultats ont montré la présence de *Trypanosoma evansi* chez 132 chameaux. Le taux d'infection atteignait 33 % avec la technique de coloration des plaques et 51 % avec celle de l'inoculation aux souris. Le taux le plus important a été trouvé dans la vallée du Jourdain, d'avril à septembre. Parmi tous les chameaux, 65 étaient atteints de la forme aiguë de la maladie et présentaient de la fièvre, de l'anorexie, de l'asthénie, une anémie sévère et une leucocytose. Un examen hématologique a démontré qu'ils étaient gravement contaminés par *T. evansi*. D'autres chameaux (67) étaient plus légèrement infectés et n'avaient pas de manifestations cliniques de la trypanosomose. Enfin, 125 chameaux ne présentaient aucun signe de la maladie ni aucune trace de *T. evansi* dans le sang. Tous les chameaux malades, traités à la melarsomine à la dose de 0,25 mg par kg ont été guéris, bien que 18 % d'entre eux aient eu besoin de deux à trois traitements successifs.

Mots-clés : Chameau - *Trypanosoma evansi* - Sang - Epidémiologie - Jordanie.

Resumen

Al-Rawashdeh O. F., Sharif L.A., Al-Qudah K., Al-Ani F.K. Infección de *Trypanosoma evansi* en camellos en Jordania

El presente estudio incluyó un total de 257 camellos en diferentes distritos de Jordania. Estas áreas incluyeron el Valle del Jordán (140 camellos), Al-Safawi (51 camellos), Ramtha (36 camellos) y Amman (30 camellos). Se recolectaron muestras sanguíneas de los camellos en tubos conteniendo anticoagulante. Se prepararon frotamientos sanguíneos a partir de cada muestra de sangre y se tiñeron con colorante. También se inocularon muestras de sangre en ratones inmunosuprimidos. Los resultados indican que el *Trypanosoma evansi* estuvo presente en 132 camellos. La tasa de infección de la trypanosomosis fue de 33% por medio de la técnica de tinción de frotamiento directo y 51% mediante la inoculación de ratones. La mayor tasa de infección se reportó en el Valle del Jordán, entre abril y septiembre. Los 65 camellos afectados por la forma aguda de la enfermedad mostraron signos de fiebre, anorexia, debilidad, anemia severa y leucocitosis. Los exámenes hematológicos revelaron que los 65 camellos estaban fuertemente infestados con *T. evansi*. Sesenta y siete camellos mostraron una parasitemia baja, sin evidencia clínica de trypanosomosis. No se observaron signos clínicos ni *T. evansi* en sangre de 125 otros camellos. Todos los camellos tratados con melarsomina a dosis de 0.25mg/kg de peso se recuperaron, aunque 18% requirieron dos o tres tratamientos.

Palabras clave: Camello - *Trypanosoma evansi* - Sangre - Epidemiología - Jordania.

Effect of trypanocidal drugs on some aspects of the reproductive biology of female *Glossina palpalis palpalis* (Diptera: Glossinidae)

P.M. Dede¹

Key words

Glossina palpalis palpalis - Drugs - Trypanosomiasis - Reproductive performance - Fertility - Survival - Abortion - Nigeria.

Summary

Effects of isometamidium chloride (Samorin) and diminazene aceturate (Berenil) on some aspects of the reproductive biology of female *Glossina palpalis palpalis* (*Gpp*) were investigated. Samorin and Berenil were administered to the flies *in vitro*, through a silicone membrane at 0.14 mg/ml and 0.40 mg/ml blood respectively or *in vivo* on ears of rabbits treated at recommended prophylactic and therapeutic doses of 1 mg and 3.5 mg/kg body weight respectively. Flies were maintained at $24.5 \pm 0.5^\circ\text{C}$, $80 \pm 5\%$ RH and 6 h photoperiod. Neither Berenil nor Samorin at the concentrations employed had any adverse effect on female survival rate, fecundity or mean puparial weights. Rather, females fed on Berenil at 0.40 mg/l blood through membrane had the best survival rate, fecundity and mean puparial weight amongst the groups, including control, also flies that emerged from pupae deposited by these flies were noted to be the most active (cage activities). The implication of these findings in relation to vector control is highlighted.

INTRODUCTION

Chemotherapy and chemoprophylaxis will remain among the most reliable and widely used methods in the control of animal trypanosomiasis, especially where other methods of control have not been successful. Isometamidium chloride (Samorin[®], May & Baker) is a widely accepted trypanocide due to its curative properties and currently the only drug available for prophylaxis against animal trypanosomiasis. Its remarkable economic value in reducing livestock mortality and increasing productivity has been demonstrated in the field (7, 9, 10). Whitelaw *et al.* (19) have observed a prophylactic action of Samorin in the field between 14-36 weeks when administered at a recommended dose of 0.5-1 mg/kg body weight. Diminazene aceturate (Berenil[®], Hoechst) is widely used as a curative trypanocide in animal trypanosomiasis. The recommended dose of 3.5 mg/kg body weight has been used intensively in the field (6, 8, 10).

Until the late 70s, the above trypanocides were being used in the fields without any assessment of their possible effect on survival and reproductive biology of *Glossina* spp. The pioneering work of

Oladunmade and Balogun (16), later Moloo and Kutuza (13) and Abbeele *et al.* (1) have tried to assess the possible effect of *in vivo* administered Samorin on survival and reproductive performance of tsetse species. Results obtained by these investigators were unreconcilable. The present investigation is aimed at assessing the effect of *in vitro* and *in vivo* administered Berenil and Samorin, in an effort to add to our understanding of their effects on survival and reproductive biology of *Glossina* spp.

MATERIALS AND METHODS

Rabbits

Rabbits purchased for feeding were screened for trypanosomes before they were put into uses. They were maintained on standard pellets, with cabbage supplement. All *in vivo* feedings were carried out on ears of rabbits.

Tsetse species

A total of 292 teneral females *Glossina palpalis palpalis* (*Gpp*) were used. These were obtained from a laboratory reared colony at the Biological Control of Tsetse Project (BICOT). Flies were held in single size oblong polyvinyl chloride (PVC) cages (18 cm x 8 cm

1. Entomology/Parasitology Division, Nigerian Institute for Trypanosomiasis Research, P.M.B. 03, Vom, Plateau State, Nigeria

x 4 cm), each containing 20 females and were maintained throughout the period of experiment at $24.5 \pm 0.5^\circ\text{C}$, $80 \pm 5\%$ RH and 6 h photoperiod. They were fed *in vivo* on the ears of rabbits or *in vitro* through a silicone rubber membrane (3). At least 7 days old males were mated to 2 days old females at ration 1:1. Mating lasted 3 days before separation.

In vitro diet

The diet consist of a mixture (50:50; v/v) of fresh frozen heparinized bovine and porcine blood. Sodium heparin was drawn from a concentration of 0.4 mg/10 ml of distilled water and added to blood at 10 ml and 12 ml per 25 l of blood respectively. Before storage at -20°C , each batch of blood was separately treated to an initial 50 krad of gamma-irradiation in a cobalt⁶⁰ source. After mixing, and before the diet was used for feeding, the mixture was treated to an additional 100 krad of irradiation. Just before the flies were fed, a phagostimulant, adenosin-5-triphosphate (ATP), drawn from a concentration of 1 mg/4 ml of distilled water was added to the diet at the rate of 2 µl/ml of blood.

Trypanocides

Diminazene aceturate (Berenil) and isometamidium chloride (Samorin) were used. These were administered to the rabbits intramuscularly or directly dissolved into the *in vitro* diet.

Experimental procedures

A total of six experimental groups were investigated.

Groups I and II

Blood containing Berenil at 0.4 mg/ml and Samorin at 0.14 mg/ml was fed *in vitro* on two consecutive days to groups I and II flies respectively. Flies were kept for 55 days, by which time most females would have completed four reproductive cycles. Pupae collected were sorted out into the five weight classes, using a mechanical sorting device (20). Abortions were checked daily. All the dead flies were dissected and their uterine contents examined.

Groups III and IV

Rabbits treated with Berenil at 3.5 mg/kg body weight and Samorin at 1 mg/kg body weight were used on two consecutive days in the *in vivo* feeding of groups III and IV flies respectively. Otherwise, the procedure was the same as above.

Group V

Flies were fed *in vitro* on unmedicated blood throughout the period of experiment, again along the same procedure as above. The group served as control for groups I and II.

Group VI

Flies were maintained on untreated rabbits throughout the experimental period, otherwise the procedure was the same as from the 2nd sentence in "Groups I and II". The group served as control for groups III and IV.

RESULTS

Table I shows a summary of survival and reproductive performance of flies in all the experimental groups. Table II is the dissection result showing the reproductive status from the dead and surviving females, including abortions recovered.

Surviving females at day 55 post emergence in all the groups did not show any significant difference ($\chi^2 = 7.84$; $df = 5$; $p > 0.05$), even though group II flies had the least survival rate (51.1%). Although group I flies recorded the highest number of pupae (161), there was no significant differences in fecundity (puparia/initial female) ($\chi^2 = 0.103$; $df = 5$; $p > 0.05$), nor in the puparia weight class frequency distribution ($f = 0.04$, $df = 5$; $p > 0.05$). However, group I flies had the highest frequency in the heaviest weight class, also pupae produced in this group were observed to be exceptionally darker, with flies that emerged from them noted to be most active (cage activities). There was no significant difference in the mean puparial weights ($\chi^2 = 0.14$; $df = 5$; $p > 0.05$). With the exception of group I flies that larviposited a day earlier, all the remaining groups larviposited on day 20 post emergence.

Table I

Reproductive performance of female *Glossina palpalis palpalis* fed *in vivo* and *in vitro* on Berenil and Samorin, then maintained for 53 days on untreated blood meal

Exp. group	Treatment	Initial No. of females	No. of puparia deposited	Pupae/puparia female (ppf)	Pupae freq. distribution into the five weight classes					Mean puparia weights (mg ± SE)
					A	B	C	D	E	
I	Berenil (M)	51	163	3.21	3	12	53	63	25	30.58 ± 0.54
II	Samorin (M)	47	122	2.60	11	23	47	32	9	28.10 ± 1.01
III	Control (M)	51	159	3.12	5	12	58	67	17	30.12 ± 0.76
IV	Berenil (R)	48	146	3.04	4	10	66	56	10	29.77 ± 0.87
V	Samorin (R)	48	152	3.17	5	11	54	66	15	29.94 ± 1.21
VI	Control (R)	47	156	3.32	2	11	53	71	19	30.58 ± 0.96

M: membrane (drug was administered to the flies through membrane feeding)

R: rabbit (drug was administered to the flies through feeding on rabbits)

Results of dissection from the female daily mortality did not differ in their uterine contents in groups fed *in vitro* ($f = 1.81$; $df = 4, 11$; $p > 0.05$) and those fed on rabbits ($F = 0.97$; $df = 4, 11$; $p > 0.05$). The number of empty uteri due to aborted pre-mature larval stages and blockages did not differ between all the groups. Also there were few recorded cases of empty uterus due to aborted pre-mature stages and blockages in female survivors, with the majority of them having 2nd or 3rd instar larvae in utero.

DISCUSSION

Attempts made in the past are assessing the effect of trypanocides on survival and reproductive performance of *Glossina* spp. have yielded unreconcilable results. Whereas Oladunmade and Balogun (16) claimed that Samorin administered to flies *in vivo* through rabbits at a prophylactic dose of 0.5 mg/kg body weight adversely affected survival and reproductive performance of *G. morsitans*, Moloo and Kutuza (13) and Abbeele *et al.* (1) on the contrary did not observe any adverse effect of Samorin on survival, reproductive performance and gut endosymbionts in *G. m. centralis* and *Gpp* respectively, when they fed flies on animal host treated at a prophylactic dose of 1 mg/kg body weight.

Results from this investigation have shown that neither Berenil nor Samorin, at the concentrations employed and the forms (metabolite or unchanged) administered to the insect vector had any negative effect on survival and reproductive performance of the flies. This is evident from the high fecundity values and the dissection results of both dead and surviving flies, that revealed the majority of these females with 2nd and 3rd instar larval stages in utero, thus indicating their high reproductive potentials. Besides, the low number of cases of abortions in the premature larval stages and the few ovarian blockages also serve as evidence against any possible negative effect of these drugs on the gut endosymbiotic bacteroids. These microorganisms are known to play a significant role in furnishing the host fly with essential amino acids, vitamins of the B-complex and other substances for embryonic development (4, 5, 12). Although antibacterial properties of Berenil have been observed against *Brucella* spp and streptococci species in livestock—Taylor *et al.*, 1956, quoted in Mulligan (14)—factors responsible for the enhancement of productivity in the group I flies are not understood. Berenil administered at 0.4 mg/ml blood and fed to the flies through membrane may have had some antibacterial activity against species of bacteria that have been identified and found to cause heavy mortality and poor reproductive performance in tsetse colonies fed *in vitro* (2). Parenteral administration of Samorin in livestock and laboratory animals did not give rise to any putative metabolite (11, 17), thus ruling out the possibility of *in vivo* fed flies of picking up any metabolite. However, Taylor (18) and Phillip *et al.* (17) have shown that Samorin orally administered to cattle, rats and mice breaks down into homidium (curative trypanocide) due to the acidic environment in the stomach. It therefore implies that both *in vitro* and *in vivo* fed flies ingested Samorin in unchanged form, but due to acidic environment in the stomach of the insect vector, it breaks down into homidium. The optimal performance put up by flies in this investigation clearly rules out the possibility of any negative effect of homidium on survival and reproductive performance of the flies.

Also since flies in this investigation were fed on ears of rabbits, it is obvious that they could not have picked up high concentrations of the drug from the injection site, contrary to observations made by Oladunmade and Balogun (16).

In conclusion, Berenil and Samorin administered *in vivo* to rabbits at recommended therapeutic and prophylactic doses of 3.5 mg/kg

Table II
Reproductive status and abortions recovered from female *Glossina palpalis palpalis* fed *in vivo* and *in vitro* on Berenil and Samorin, then maintained for 53 days on untreated blood meal

Exp. Group	Treatment	% female survivors at day 55	Pupae/initial female (ppf)	Egg	Abortions recovered larvae (I, II, III)	Dissection results																			
						Dead						Surviving													
						Ms ⁺	Sp ⁺	E	I	II	III	IUP	Ab	B1	P1	Ms ⁺	Sp ⁺	E	I	II	III	Ab	B1	P1	
I	Berenil (M)	68.6	3.21	3	3	15	13	2	2	1	3	2	1	-	5	34	32	-	1	7	25	-	1	2	2
II	Samorin (M)	51.1	2.60	5	6	21	20	1	4	2	2	-	4	3	3	24	22	-	2	7	14	-	1	1	1
III	Control (M)	71.5	3.12	4	8	15	15	-	-	1	1	1	1	1	3	35	35	-	1	11	21	1	1	1	2
IV	Berenil (R)	60.4	3.04	4	10	18	18	3	2	2	2	-	3	2	4	28	28	-	2	10	17	1	2	2	2
V	Samorin (R)	68.8	3.17	3	4	13	12	2	3	-	-	-	4	1	3	33	33	-	1	13	19	-	1	1	1
VI	Control (R)	80.9	3.32	5	4	8	7	1	-	-	-	1	2	-	6	37	36	1	3	13	20	-	1	1	3

Ms⁺: positive mating scar; Sp⁺: positive spermathecae; E: egg;

I: 1st instar larva; II: 2nd instar larva; III: 3rd instar larva; IUP: in utero pupation; Ab: abortion; B1: blockage; P1: post larviposition

and 1 mg/kg body weight respectively, did not have any adverse effect on survival and reproductive performance of female *Gpp* fed on their ears. Hence, the use of these drugs in the field may not have potentials in the control of *Glossina* spp., thus contradicting earlier claims by Oladunmade and Balogun (16), who used Samorin at a lower dose.

Acknowledgments

The Nigerian Institute for Trypanosomiasis Research (NITR) is greatly acknowledged for sponsoring this work, my special thanks go to the BICOT project for his material support. I thank the Director NITR, Dr I. Halid for permission to publish this work.

REFERENCES

1. ABEELE van den J., BOSSCHE van den P., MARTELMANS J., DEDEIR W., 1998. Effect of ivermectin and isometamidium chloride on *Glossina palpalis* (Diptera: Glossinidae). *Ann. Soc. Belge Med. trop.*, **68**: 53-59.
2. BAUER B., WETZEL H., 1975. Effect of bacteria on tsetse flies fed through membrane. In: Sterility Principle for Insect Control, proceed. of Symp., Innsbruck, 22-26 July 1974. Vienna, Austria, IAEA/FAO, p. 495-499.
3. BAUER B., WETZEL H., 1976. A new membrane for feeding *Glossina morsitans* Westw. (Diptera: Glossinidae) *Bull. Ent. Res.*, **65**: 563-565.
4. CMELIK S.H.W., BURSELL E., SLACK E., 1969. Composition of the gut content of third instar tsetse larvae (*Glossina morsitans* Westw.). *Comp. Biochem. Physiol.*, **29**: 447-453.
5. ENGELMANN F., 1970. The physiology of insect reproduction. Oxford, UK, Pergamon, 307 p.
6. FINELLE P., LACOTTE R., 1965. Essais des médicaments trypanopréventifs chez les ânes. In : 10th meeting of the International Scientific Committee for Trypanosomiasis Research, Kampala, 1964. London, UK, Tech. Co-op. Afr., p. 31-33. (No 97)
7. GRAY A.R., STEPHEN L.E., 1962. A comparative trial of the local toxicity and prophylactic activity against trypanosomiasis in West African Zebu cattle of metamidium chloride, suramin salt. *Vet. Rec.*, **72**: 696-702.
8. ILEMOBADE A.A., 1988. Chemotherapy against African animal trypanosomiasis: Its strengths and limitations. Nairobi, Kenya, ILCA/ILRAD, p. 265-273.
9. JIBBO J.M.C., DURKIN J., LIGHT D.E., MURRAY M., SONES K., TRAIL J.C.M., 1988. Chemoprophylaxis. Its successful use in cattle, at Micwaja Ranch, Tanzania. Nairobi, Kenya, ILCA/ILRAD, p. 274-282.
10. KALU A.U., 1995. Studies on chemotherapeutic control of animal trypanosomiasis in Nigeria. *J. Pasteur Inst.*, **3**: 82-92.
11. KINABO L.D.B., BOGAN J.A., 1988. Pharmacology of Samorin. *J. Vet. Pharm. Therapeut.*, **11**: 233-245.
12. LAIRD M., 1971. Tsetse: The future for biological methods in integrated control. Ottawa, Canada, IDRC, 220 p.
13. MOLOO S.K., KUTUZA S.B., 1987. Effect of Samorin administered to a bovine host on the survival and reproductive performance of female *Glossina morsitans centralis*. *Ann. Trop. Med. Parasitol.*, **81**: 743-744.
14. MULLIGAN H.W., 1970. The African Trypanosomiasis. London, UK, George Allen and Unwin, 950 p.
15. NASH T.A.M., JORDAN A.M., BOYLE J.A., 1966. A promising method of rearing *Glossina austeni* Newst. on a small scale, based on the use of rabbit ears for feeding. *Trans. R. Soc. Trop. Med. Hyg.*, **60**: 183-188.
16. OLADUNMADE M., BALOGUN R.A., 1979. Effects of Samorin on some aspects of the biology of *Glossina morsitans* West. *Nigerian J. Entomol.*, **3**: 297-222.
17. PHILLIPS F.S., STERNBERG S.S., CRONIN A.P., SODERGREEN J.E., VIDAL P.M., 1967. Physiologic disposition and intracellular localization of isometamidium. *Cancer Res.*, **27**: 333-349.
18. TAYLOR A.E.R., 1960. The abortion, distribution and excretion of prothidium in rats, rabbits, and cattle. *Brit. J. Pharmacol.*, **15**: 235-242.
19. WHITELAW D.D., BELL I.R., HOLMES P.P., MOLOO S.K., HIRUMI H., URQUHART G.M., MURRAY M., 1986. Isometamidium chloride prophylaxis against *Trypanosoma congolense* challenge and the development of immune responses in Boran cattle. *Vet. Rec.*, **118**: 722-726.
20. ZELGER R., RUSS K., 1976. Puppentrennmachine met zwei Walzenpaare. *Z. Angew. Zool.*, **63**: 257.

Reçu le 22.10.98, accepté le 20.10.99

Résumé

Dede P.M. Effets des médicaments trypanocides sur certains aspects de la biologie reproductive de *Glossina palpalis palpalis* femelle (Diptera : Glossinidae)

Les effets du chlorure d'isoméamidium (Samorin) et de l'acétate de diminazène (Bérénil) sur certains aspects de la biologie reproductive de la *Glossina palpalis palpalis* (Gpp) femelle ont été examinés. Le Samorin et le Bérénil ont été administrés aux mouches *in vitro* à travers une membrane de silicone à raison de 0,14 mg/ml et 0,40 mg/ml de sang respectivement ou *in vivo* sur les oreilles de lapins traités aux doses prophylactiques et thérapeutiques recommandées de 1 mg et 3,5 mg/kg respectivement. Les mouches étaient maintenues à $24,5 \pm 0,5$ °C, à 80 ± 5 % d'humidité relative et à une photopériodicité de 6 h. Ni le Bérénil, ni le Samorin, aux concentrations employées, n'ont eu un effet défavorable sur le taux de survie de la femelle, sa fécondité et le poids moyen des pupes. Bien au contraire, les femelles nourries sur Bérénil à 0,40 mg/ml de sang à travers la membrane avaient une meilleure survie, une fécondité et un poids moyen des pupes plus élevés que les autres groupes, y compris les témoins. De même, les mouches qui émergeaient des pupes de ce groupe étaient plus actives en cage. L'implication de ces découvertes en relation avec le contrôle de vecteur est étudiée.

Mots-clés : *Glossina palpalis palpalis* - Trypanosomose - Médicament - Performance de reproduction - Fertilité - Survie - Avortement - Nigeria.

Resumen

Dede P.M. Efectos de los medicamentos tripanocidas sobre ciertos aspectos de la biología reproductiva de *Glossina palpalis palpalis* hembra (Diptera: Glossinidae).

Se estudiaron los efectos del cloridio de isometamidio (Samorin) y del acetato de diminaceno (Berenil) sobre ciertos aspectos de la biología reproductiva de *Glossina palpalis palpalis* (Gpp) hembra. El Samorin y el Berenil fueron administrados a las moscas *in vitro* a través de una membrana de silicona, a razón de 0,14 mg/ml y de 0,40 mg/ml de sangre respectivamente, o *in vivo* sobre las orejas de conejos tratados con dosis profilácticas y terapéuticas recomendadas de 1 mg y de 3,5 mg/kg respectivamente. Las moscas se mantuvieron a $24,5 \pm 0,5$ °C, a 80 ± 5 % de humedad relativa y a una fotoperiodicidad de 6 horas. Ni el Berenil ni el Samorin, a las concentraciones utilizadas, tuvieron efecto desfavorable sobre la tasa de supervivencia de la hembra, su fecundidad y el peso medio de las pupas. Al contrario, las hembras alimentadas sobre Berenil a 0,40 mg/ml de sangre a través de la membrana tuvieron una mejor supervivencia, una fecundidad y un peso medio de las pupas más elevados con respecto a otros grupos, incluyendo los testigos. De igual manera, las moscas que emergieron de las pupas de este grupo fueron más activas en las jaulas. Se estudia la implicación de estos descubrimientos en relación con el control del vector.

Palabras clave: *Glossina palpalis palpalis* - Trypanosomiasis - Medicamentos - Reproductividad - Fertilidad - Supervivencia - Aborto - Nigeria.

Ventricular encephalitis due to *Aspergillus fumigatus* infection in a goat

B. Abbas¹ O.M. Mahmoud¹ E.M. Haroun¹
M.G. Elfaki¹

Key words

Goat - *Aspergillus fumigatus* -
Mycoses - Encephalitis -
Saudi Arabia.

Summary

Mycotic encephalitis was reported in a goat. *Aspergillus fumigatus* was demonstrated by impression smear from the brain lesion as well as by culture. A large granulomatous lesion was confined to the brain lateral ventricle and showed small nodules and extensive fibrosis. The main clinical signs were circling, head rotation and opisthotonos. Since brain ventricles were infected without involvement of other internal organs, the possible routes of infection were discussed.

■ INTRODUCTION

Aspergillosis has been recognized for a long time as a specific disease in several animal species including chickens, ruminants and horses (1, 4, 6). The source of the fungus is usually moldy hay or other contaminated feed. When baled hay or straw has been left in the open, cultures are easily obtainable and individuals fed with this material contract aspergillosis (5, 8, 9). The digestive, respiratory and reproductive systems are commonly involved with diarrhea, pneumonia and abortion as the main clinical signs in affected animals (2). In this paper, we describe a rare case of aspergillosis involving the lateral ventricle of the brain in a goat. To our knowledge, the disease has not been reported before.

■ MATERIALS AND METHODS

A 3-year-old female goat was presented to the Veterinary Hospital of King Saud University, with signs of circling, opisthotonos and rotation of the head along its axis. The animal was in fair body condition but weak and laid down frequently. The condition was diagnosed presumptively as encephalitis and a broad spectrum antibiotic (tetracycline) was prescribed. However, the condition of the animal continued to deteriorate and euthanasia was performed two weeks after presentation and post-mortem examination was carried out. Specimens of the brain showing lesions were fixed in 10% formol-saline, embedded in paraffin wax and sectioned at 5 µm and stained with haematoxylin and eosin (H&E) for histo-

pathological examination. Slices representing the granulomatous lesions were cultured on Sabouraud's dextrose agar and incubated at 28 °C (8).

■ RESULTS

Lesions were confined to the lateral ventricle of the brain which was enlarged due to presence of a whitish turbid fluid. The ventricle was traversed with linear haemorrhages and small granulomas were dispersed on its wall (figure 1). No lesions were seen in other parts of the CNS or visceral organs. Impression smears made from the lesion and stained with Gram-stain demonstrated aggregates of Gram-positive mycelial elements and spores indicative of a systemic fungal infection (figure 2). A confluent fungal growth was obtained within 5 days of culture. *Aspergillus fumigatus* was diagnosed on the basis of colonial morphology and color as well as by microscopic examination of conidial heads (figure 3). Microscopic examination of the brain lesion showed typical fungal granuloma containing a dense fibrous capsule with numerous macrophages and Langerhan's giant cells (figure 4).

■ DISCUSSION

The diagnosis of *A. fumigatus* as a cause of encephalitis in a ruminant draws attention to the necessity for including this agent in the differential diagnosis of all forms of encephalitis in farm animals. Pier *et al.* (7) inoculated pregnant ewes intravenously as well as intrauterinally with spores of *A. fumigatus* and reported abortion, ewe mortality and stillbirths without development of

1. Department of Veterinary Medicine, King Saud University, PO Box 1482, Buraydah, Al-Qassim, Saudi Arabia

nervous signs. Although extrauterine infection was established in the liver, spleen and kidneys, the central nervous system did not reveal evidence of infection. The authors were not aware of a previous report describing infection of brain ventricles with any fungus including *A. fumigatus*. It was difficult to suggest a mechanism for route of a primary infection of the brain with *A. fumigatus* spores. Similarly, it was equally difficult to suggest a secondary fungal brain infection since necropsy showed no respiratory or digestive tract involvement. The likely site of granulomatous lesions in the CNS of animals are the meninges and not the brain ventricles. Ventricular lesions are only possible through spinal cord infection, since the spinal canal and the cerebrospinal fluid are continuous with the brain ventricles. Although no clinical signs suggestive of spinal cord infection were observed in the investigated animal, subclinical infection could not be excluded. Another possibility was that the infection gained entrance to the blood through breaks in the oral or pharyngeal mucosa. It was difficult to explain the mechanism by which spores could have surpassed the blood-brain barrier. Cysewski and Pier (3) observed rapid clearance of *A. fumigatus* from all organs except the placenta of animals experimentally inoculated with fungal spores. The same authors recorded morphologic differences between mycelial elements of the fungus isolated from the placenta as compared to those from extrauterine organs, and commented that morphologic differences could be related to fungal persistence in the placenta. This aspect needs investigation as it may have epidemiologic implications.



Figure 1: Lateral brain ventricle showing fibrosis, small nodules (arrow) and linear haemorrhages.

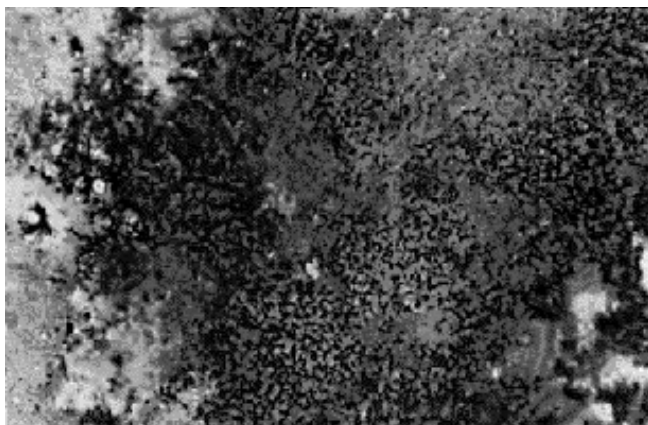


Figure 2: Impression smear from ventricular lesion showing mycelial elements. Gram-stain X 1000.

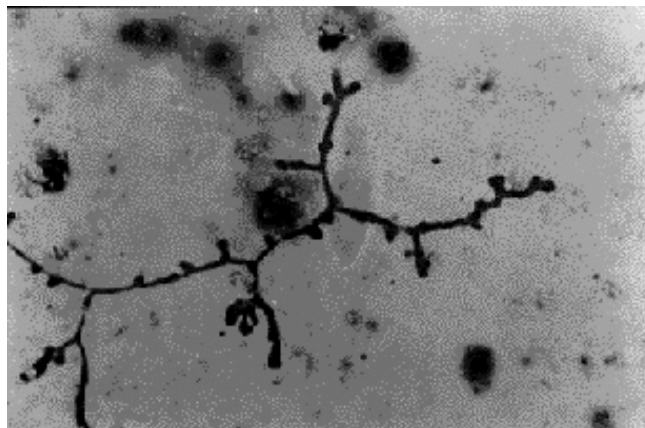


Figure 3: Conidial elements from culture smear. Gram-stain X 1000.



Figure 4: Granulomatous lesion from infected ventricle showing macrophages and Langerhan's giant cells. H&E X 250.

REFERENCES

1. AINSWORTH G.C., AUSTWICK P.U.K., 1959. Fungal diseases of Animals. Farnham Royal, UK, Commonwealth Agricultural Bureaux.
2. BLOOD D.C., RADOSTITS O.M., HENDERSON A.J., ARNUDEL J.H., GRAY C.C., 1983. Veterinary Medicine, 6th ed. London, UK, Bailliere Tindall.
3. CYSEWSKI S.J., PIER A.C., 1986. Mycotic abortion in ewes produced by *Aspergillus fumigatus* : Pathologic changes. *Am. J. Vet. Res.*, **29**: 1135-1151.
4. EGGERT M.T., ROMBERG P.F., 1960. Pulmonary aspergillosis in a calf. *J. Am. Vet. Med. Ass.*, **137**: 595-596.
5. KAPLAN W., 1973. Epidemiology of the principal systemic mycosis and lower animals and the ecology of their aetiologic agents. *J. Am. Vet. Med. Ass.*, **163**: 1043-1049.
6. LUNDVALL R.L., ROMBERG P.F., 1960. Persistent diarrhoea in colts associated with infection with *Aspergillus fumigatus*. *J. Am. Vet. Med. Ass.*, **137**: 481-483.
7. PIER A.C., CYSEWSKI S.J., RICHARD J.L., 1986. Mycotic abortion in ewes produced by *Aspergillus fumigatus* : Intravascular and intrauterine inoculation. *Am. J. Vet. Res.*, **33**: 349-356.
8. RAPER K.B., FERNELL D.I., 1965. The Genus *Aspergillus*. Baltimore, MD, USA, Williams and Wilkins.
9. WILLIAMS B.M., 1977. Bovine mycotic abortion: some epidemiological aspects. *Vet. Rec.*, **100**: 382-384.

Reçu le 8.9.99, accepté le 18.10.99

Résumé

Abbas B., Mahmoud O.M., Haroun E.M., Faki M.G.
Encéphalite ventriculaire due à une infection à *Aspergillus fumigatus* chez une chèvre

Un cas d'encéphalite fongique chez une chèvre a été examiné. *Aspergillus fumigatus* a été mis en évidence par lecture du frottis de la lésion et par culture. Seul le ventricule latéral du cerveau était atteint d'une importante lésion granulomateuse et montrait de petits nodules et une fibrose étendue. Les principaux signes cliniques étaient le tournis, une rotation de la tête et un opisthotonos. Comme les ventricules du cerveau étaient infectés sans implication des autres organes internes, les trajets possibles de l'infection ont été envisagés.

Mots-clés : Chèvre - *Aspergillus fumigatus* - Mycose - Encéphalite - Arabie Saoudite.

Resumen

Abbas B., Mahmoud O.M., Haroun E.M., Faki M.G.
Encefalitis ventricular debida a una infección por *Aspergillus fumigatus* en una cabra

Se reporta una encefalitis micótica en una cabra. *Aspergillus fumigatus* fue demostrado mediante frotis de impresión de una lesión cerebral, así como mediante un cultivo. Se encontró una larga lesión granulomatosa confinada al ventrículo lateral del cerebro, mostrando pequeños nódulos y fibrosis extensa. Los principales signos clínicos fueron marcha en círculos, rotación de la cabeza y opistotono. Debido a que los ventrículos cerebrales estaban infectados, sin compromiso de otros órganos internos, se discuten las posibles vías de infección.

Palabras clave: Cabra - *Aspergillus fumigatus* - Micosis - Encefalitis - Arabia Saudita.

Cultures fourragères tropicales

G. Roberge, B. Toutain

□ Cet ouvrage s'ajoute à la série déjà longue des publications de la collection *Repères* du Cirad, sur un thème nouveau, celui des cultures fourragères. Il vient à point nommé pour combler un vide dans la diffusion vers le grand public des résultats de la recherche dans ce domaine.

Certes, tous ceux qui s'intéressent à cet aspect du développement des régions chaudes ont pu avoir connaissance des travaux effectués, mais les ouvrages sont parfois difficilement accessibles et leur présentation adaptée aux conditions du moment et au lectorat.

Cette situation ne pouvait satisfaire pleinement le chercheur de terrain ou le développeur, qui avaient besoin d'actualiser leurs informations et craignaient de ne pas avoir eu accès à la majorité des travaux de référence.

A ce stade un bilan s'avérait nécessaire, car loin de marquer le pas, il serait le garant d'une avancée dans ce domaine. C'est ce que proposent les éditeurs scientifiques avec ce travail qui fait intervenir les différents auteurs et acteurs de la discipline, au fait de ses dernières avancées.

Il en résulte un ouvrage très dense, malgré tout très facile d'utilisation. Le lecteur peut passer directement au chapitre qui l'intéresse, il peut aussi s'attarder longuement sur celui qui ne lui est pas familier et approfondir ainsi ses connaissances.

Pour montrer l'exhaustivité de l'ouvrage, il convient de citer les différents chapitres :

1. Écophysiologie des plantes fourragères tropicales
2. Amélioration génétique des graminées fourragères tropicales
3. Quelques aspects agronomiques des plantes fourragères
4. Valeur alimentaire des fourrages cultivés
5. Choix des plantes fourragères
6. Productions de semences fourragères tropicales

7. Établissement et entretien des prairies
8. Exploitation des cultures fourragères
9. Plantes fourragères et maintien de la fertilité du sol
10. Intégration des cultures fourragères dans les systèmes de production,

En fait, l'ouvrage aborde le problème des cultures fourragères sous deux aspects :

- l'aspect scientifique et théorique, en particulier l'écophysiologie, l'amélioration génétique et la valeur alimentaire des plantes fourragères ;

- l'aspect technique de leur utilisation, à travers la succession d'actions à entreprendre : la production de semences fourragères, le choix des espèces, l'installation et l'entretien des cultures, le maintien de la fertilité.

La partie scientifique met à la portée du lecteur une synthèse des diverses connaissances. Elle présente même, dans le cas de la valeur alimentaire des fourrages cultivés, des résultats originaux qui jusque là n'avaient fait l'objet que d'une diffusion restreinte. Ces chapitres mettent en évidence la complexité des facteurs intervenant dans ce type de cultures ; on retrouve les problèmes liés aux cultures vivrières et industrielles. C'est dire l'intérêt que l'on doit porter aux aspects suivants.

La production de semences fourragères constitue un volet économique important dans certaines régions tropicales, comme au Brésil avec les semences de légumineuses. En revanche, cette production est très réduite en Afrique et, si l'on veut y développer les cultures fourragères, l'approvisionnement en semences constituera un volet important.

Le choix des espèces fourragères est une entreprise délicate qui doit tenir compte de toutes les contraintes socio-économiques, des stratégies des éleveurs, des paramètres climatiques et pédologiques. Dans ce domaine, parfois nouveau dans certaines zones tropicales, on ne peut pas prendre le risque ne serait-ce que d'un semi-échec.

L'établissement, l'entretien des prairies et l'exploitation des cultures fourragères font l'objet de deux chapitres très importants. En effet ces cultures, souvent pérennes, doivent être installées et entretenues avec soin pour produire du fourrage de qualité. L'exploitation de ce fourrage peut se faire sous des formes plus variées que pour une culture vivrière ou industrielle. L'exploitant doit gérer une pâture directe ou une récolte, sous forme de foin ou d'ensilage, en fonction des besoins alimentaires quantitatifs et qualitatifs de son cheptel. L'importance des résultats sur la valeur alimentaire des fourrages est grande, en

particulier lorsqu'il s'agit de production laitière.

Installer et exploiter une culture exportatrice d'éléments minéraux pose le problème important du maintien de la fertilité des sols, risques d'érosion inclus. Outre leur rôle initial de production de nourriture pour le bétail, les plantes fourragères sont appelées à jouer un rôle « important dans l'émergence de systèmes de culture très diversifiés, relativement productifs, économes en ressources rares et améliorant la qualité de l'environnement ».

Le dernier chapitre traite de l'intégration des cultures fourragères dans les systèmes de production — systèmes qui englobent les autres cultures, le cheptel et les orientations socio-économiques de l'exploitation agricole. Il fait le bilan des contraintes de toute sorte qui freinent cette intégration, en particulier celles liées au foncier. L'intégration dans un système de production intensifié est une voie qui commence à être développée à travers les cultures associées ou intercalées. Toutefois, elle « se traduit par un itinéraire technique complet des cultures fourragères ».

En conclusion, cet ouvrage représente une somme de connaissances indispensables aussi bien à l'agronome, au zootechnicien qu'au développeur, connaissances renforcées par une abondante série de références bibliographiques pertinentes. De plus, la lecture permet de constater au fil des pages que, depuis plusieurs décennies, des relations se sont tissées entre les institutions concernées — nationales ou internationales — et leurs chercheurs. La liste des différents auteurs, à travers leur diversité, montre clairement que ces liens se sont maintenus et développés. Cette synergie augure bien de l'avenir des plantes fourragères en zones tropicales, en particulier dans des situations où elles avaient été négligées. L'évolution économique et démographique ne peut leur donner qu'un regain d'intérêt en complétant ainsi les acquis dans les domaines de l'agronomie et de la zootechnie tropicale.

André GASTON
Inra-Ina PG

G. Roberge, B. Toutain éditeurs (Cirad-emvt), 1999.
Cultures fourragères tropicales (Collection Repères).
Montpellier, France, Cirad, 370 p.

ISBN : 2-87614-361-5 ; ISSN : 1251-7224

Ce document peut être commandé à la librairie du Cirad, TA 283/04, avenue Agropolis, 34398 Montpellier Cedex 5, France.

Tél. : + 33 (0)4 67 61 44 17 ;

Fax : + 33 (0)4 67 61 55 47 ;

E-mail : librairie@cirad.fr 270 FF / 41,15 Euros

Phosphates naturels et alimentation du bétail en zone sahélienne

II. Influence sur la survie, la production laitière et la reproduction du zébu Gobra

S.T. Fall¹ M. Diop¹ G. Sawadogo² A. Doucouré³

Mots-clés

Vache laitière - Zébu Gobra - Phosphate naturel - Complémentation - Mortalité - Reproduction - Sahel - Sénégal.

Résumé

Pour évaluer l'impact des phosphates naturels sur la survie et la reproduction du zébu Gobra, des essais ont été menés à Dahra au Sénégal, dans la zone sylvopastorale, de janvier 1991 à novembre 1994. Quatre lots de 15 génisses de race Gobra ont été entretenus sur pâturages permanents au Crz de Dahra. Les compléments minéraux distribués étaient composés de 50 g de phosphate de Taiba pour le lot 1, de 100 g de phosphate tricalcique de Lam-Lam (Thiès) pour le lot 2 et de 65 g de poudre d'os pour le lot 3. Le lot 4 témoin ne recevait aucun supplément. Les minéraux ont été distribués tous les jours en saison sèche (huit à neuf mois sur douze) pendant quatre années consécutives. Les mesures effectuées ont concerné la consommation quotidienne des minéraux, le contrôle pondéral et l'enregistrement des mortalités, naissances, saillies et gestations. Un contrôle laitier hebdomadaire a été fait sur les animaux en lactation. Le suivi de l'état de santé du troupeau a été effectué par des examens cliniques mensuels et le suivi quotidien des animaux malades. Les résultats mettent en évidence une innocuité des phosphates testés. Aucun signe d'intoxication au fluor n'a été noté. Une nette efficacité zootechnique des phosphates naturels a été observée. Comparée au lot témoin, la mortalité a été réduite de 50 et 85 p. 100 respectivement au sein des lots « poudre d'os » et « phosphate de Thiès ». En novembre 1994 et respectivement pour les lots 1, 2, 3 et 4, le taux de conception était de 25, 53, 57 et 40 p. 100, l'intervalle entre les vélages de 633, 654, 621 et 704 j et le poids à la naissance de 23,5, 26, 23,9 et 23,8 kg. Ces paramètres ont été améliorés par la supplémentation minérale qui a eu aussi une influence significative ($p < 0,01$) sur la production laitière. Ces résultats suggèrent l'utilisation généralisée en milieu traditionnel du phosphate de Taiba et du phosphate tricalcique de Lam-Lam (Thiès), aux doses quotidiennes respectives de 50 g et 100 g en distribution continue pendant la saison sèche (huit à neuf mois sur douze).

INTRODUCTION

Les troupeaux traditionnels élevés dans les zones sahéliennes d'Afrique sont caractérisés par de faibles performances de production et de reproduction. La mortalité apparaît comme un fléau redoutable qui élimine chaque année près de 15 p. 100 du cheptel, des jeunes notamment. Une faible production laitière, de faibles

performances de reproduction sont d'autres manifestations d'un état nutritionnel déficient. Les carences minérales font encore partie des dominantes pathologiques en zone sahélienne (4, 14). Leur prévention est effectuée par une supplémentation minérale à base de blocs à lécher ou de compléments pas toujours disponibles localement. En effet, ces produits sont importés et n'existent pas en quantité suffisante ni à un prix accessible sur les marchés locaux d'Afrique.

L'effet positif sur les performances des ruminants domestiques d'un apport de phosphore de bonne qualité dans leur régime a été largement démontré (5, 15, 16, 22).

Les phosphates naturels, exploités dans des mines peu profondes de nombreux pays africains, ont été utilisés pour prévenir les carences en phosphore (Lerman et coll., communication person-

1. Institut sénégalais des recherches agricoles, Laboratoire national d'élevage et de recherches vétérinaires, BP 2057 Dakar, Sénégal

2. Ecole inter-Etats des sciences et médecines vétérinaires, Service de chimie et biophysique médicales, BP 5077 Dakar, Sénégal

3. Institut sénégalais des recherches agricoles, Crz de Dahra Djoloff, Sénégal

nelle¹, 9, 19, 23). Des minéraux de source locale ont été testés au Sénégal (10) pour évaluer leur qualité et leur aptitude à limiter les carences minérales. L'innocuité des phosphates de Taiba et des phosphates ferro-alumino-calciques de Thiès a été démontrée, mais leur influence positive sur la croissance du zébu mâle n'a pas été mise en évidence (10). Un troisième essai a été conduit de 1990 à 1994 pour étudier l'influence des phosphates naturels sur les performances des vaches laitières Gobra à Dahra (Sénégal). L'article présente les résultats de cet essai qui avait pour objectif de tester les phosphates de Taiba et de Lam-Lam (phosphate tricalcique de Thiès) au Sénégal, sur une longue durée, pour évaluer leur influence sur la santé des troupeaux reproducteurs, la mortalité, les paramètres de la reproduction et de la production laitière, la survie et la croissance des veaux dans les premières semaines de leur vie.

■ MATERIEL ET METHODES

Les expériences se sont déroulées au Crz de Dahra, en zone sylvo-pastorale, à 270 km au nord-est de Dakar de janvier 1991 à novembre 1994.

Le site expérimental

Les caractéristiques écoclimatiques de la station de Dahra ont été décrites par ailleurs (10). L'année 1993 a cependant été marquée par une grande sécheresse consécutive à une forte baisse de pluviométrie. En 1992 celle-ci n'a atteint que 173 mm, contre une moyenne de 477 mm en 1934 ou de 304 mm en 1994 (Crz de Dahra, 1994, communication personnelle). Cette sécheresse a entraîné une forte mortalité au sein des troupeaux traditionnels et surtout un vaste mouvement des animaux vers le sud.

Le troupeau expérimental a été maintenu au Crz de Dahra avec une modification du protocole portant sur la distribution de faibles quantités de coque d'arachide mélassée en plus des minéraux.

Les animaux et leur alimentation

Soixante zébus femelles de race Gobra, âgées de deux ans et d'un poids moyen de 198 kg, ont été réparties en quatre lots de 15 animaux. Ces femelles, en âge d'entrer en reproduction, ont été entretenues en continu sur des pâturages naturels au Crz de Dahra. Elles ont été fécondées par un taureau Gobra en permanence dans le troupeau (monte naturelle). Elles revenaient des parcours le matin pour recevoir les compléments minéraux et allaiter les petits.

Ces compléments minéraux étaient composés pour le lot 1 de phosphate de Taiba (Tap : 50 g/animal/jour), pour le lot 2 de phosphate tricalcique de Lam-Lam (Thpt : 100 g/animal/jour), pour le lot 3 de poudre d'os (Pos : 65 g/animal/jour). Le lot témoin 4 ne recevait aucun supplément.

Les compléments minéraux, distribués individuellement aux femelles, étaient ajoutés à un support composé de 300 g d'un mélange de coque d'arachide (70 p. 100) et de mélasse (30 p. 100). En 1992, la quantité du support a été augmentée à 1 kg en raison de l'appauvrissement des pâturages consécutif au déficit pluviométrique. En 1994, la bonne qualité des pâturages a autorisé une réduction de ce support à une cuillerée de mélasse.

L'apport de minéraux s'est effectué pendant quatre ans à raison de huit à neuf mois par an (selon la précocité des pluies), de décembre à l'apparition de l'herbe verte (juillet - août).

1. LERMAN S., KRIZEVAN S., MILICIC P., 1976. Emplois du Polyfos dans l'alimentation des bovins et des porcs. 9 p.

Les mesures

Le troupeau était suivi au pâturage par deux bergers. Tous les événements (naissances, saillies, maladies, mortalité des veaux ou des mères) ont été quotidiennement notés.

Pour surveiller l'état général du troupeau et déceler des signes éventuels d'intoxication au fluor, un examen clinique des vaches a été effectué mensuellement par palpation-pressure des côtes et des métatarsiens et par examen bucco-dentaire à la recherche de colorations ou d'érosions dentaires (10). Une observation quotidienne du troupeau permettait de détecter les boiteries, signes d'atteintes osseuses.

L'évolution pondérale des femelles était appréciée par double pesée mensuelle. La consommation des compléments minéraux était notée par observation individuelle des vaches.

Les veaux étaient pesés à la naissance. Le contrôle laitier était effectué sur chaque femelle en lactation une fois par semaine, dans les mêmes conditions qu'en élevage traditionnel, par traite manuelle en présence du veau et mesure de la quantité de lait tirée.

Les analyses

Analyses chimiques

La qualité des compléments minéraux (Tap, Thpt et Pos) a été contrôlée par dosage du calcium et du phosphore (2). Le fluor des phosphates a été dosé par ionométrie (17). La disponibilité biologique des minéraux a été estimée par solubilité à l'acide citrique 2 p. 100.

Analyses statistiques

L'influence des différents compléments minéraux sur la croissance des lots, le taux de survie du troupeau, la production laitière et les paramètres de la reproduction (intervalle entre vêlages, taux de fécondité) a été appréciée en comparant les moyennes par analyse de variance.

■ RESULTATS

Les résultats obtenus concernent la composition chimique des minéraux, leur consommation par les vaches, l'état général du troupeau puis l'influence de la supplémentation minérale sur sa survie, ses performances pondérales, la production laitière et les paramètres de la reproduction.

Composition chimique des minéraux

La composition chimique des compléments minéraux est décrite dans le tableau I. D'un rapport phosphocalcique optimal, le Tap présente une disponibilité biologique intermédiaire et une importante teneur en fluor dont les inconvénients ont été décrits (10, 24). Le Thpt a un rapport phosphocalcique comparable à celui du Tap. Sa solubilité citrique est cependant plus importante (43 contre 35 p. 100 pour le Tap) et sa teneur en fluor plus faible (2,6 contre 3,6 p. 100 MS), ce qui représente un avantage non négligeable pour l'alimentation du bétail.

Le Thpt se révèle également meilleur que le phosphate ferro-alumino-calcique de Thiès, ou polyphos, qui a la plus faible concentration en fluor (0,8 à 1 p. 100) mais est pénalisé par une solubilité citrique médiocre. Ce contrôle chimique préliminaire nous a permis de confirmer l'hétérogénéité des mines de phosphates ; c'est pourquoi nous avons comparé le Thpt avec le Tap et la Pos dans les essais de complémentation des vaches laitières ou en reproduction.

Tableau I
Composition chimique des minéraux

	Calcium	Phosphore	Fluor	Sol. *
	(% MS)			
Phosphates de Taïba	32,0	14,7	3,62	35
Phosphates de Thiès **	35,5	14,7	2,62	43
Poudre d'os	17,7	10,6	nd	nd

* Solubilité à l'acide citrique 2 p. 100

** Phosphate tricalcique de Lam-Lam

nd : non déterminé

Consommation des minéraux

La consommation des compléments minéraux par le troupeau a subi d'importantes variations saisonnières, annuelles, individuelles ou encore selon le type de complément (tableau II).

Tableau II
Consommation des minéraux en saison sèche, 1993
(% de rations consommées)

	J	F	M	A	M	J	J
Lot 1							
C *	12,5	0	50	100	100	100	100
1/2 **	0	25	0	0	0	0	0
T ***	25	50	50	0	0	0	0
NC ****	62,5	25	0	0	0	0	0
Lot 2							
C	0	0	0	16	8	0	42
1/2	0	0	0	66	34	28	0
T	0	6	64	8	58	66	58
NC	100	94	36	0	0	6	0
Lot 3							
C	95	100	100	100	100	100	100
1/2	5	0	0	0	0	0	0
T	0	0	0	0	0	0	0
NC	0	0	0	0	0	0	0

* Dose totalement consommée

** Dose à moitié consommée

*** Des traces de la dose ont été consommées

**** Dose non consommée

Les minéraux ont été mieux consommés en 1993 qu'en 1994. En effet, le taux moyen de rations volontairement consommées était de 73,6 p. 100 en 1993 contre 53,5 p. 100 en 1994, tous minéraux confondus. Ce fait est attribuable à un meilleur état nutritionnel du troupeau en 1994 qui a contribué à diminuer le déficit des pâturages en minéraux, contrairement à l'année précédente durant laquelle les animaux ont eu à subir fortement les conséquences de la sécheresse.

Le type de minéral distribué a été un important facteur de discrimination. En 1994 la poudre d'os, avec un taux de consommation de 99,3 p. 100, a été mieux consommée que les phosphates, celui de

Taïba (66 p. 100) ayant été beaucoup plus apprécié que celui de Lam-Lam (9,4 p. 100). En 1993, ces proportions étaient de 96,2 p. 100, 66 p. 100 et 58,6 p. 100 respectivement pour la Pos, le Tap et le Thpt. Si elles montrent un maintien du niveau de consommation des deux premiers compléments minéraux, elles révèlent une importante baisse pour le dernier en 1994.

L'acceptation des minéraux a varié en fonction de la saison de distribution. A l'exception de la poudre d'os bien consommée en toutes saisons, les phosphates ont été plus appréciés en saison sèche chaude (d'avril à juin) qu'en saison sèche froide (de janvier à mars). Ces périodes correspondent aux variations saisonnières de l'apport en minéraux des pâturages naturels, qui est plus faible en saison sèche chaude.

Etat général du troupeau

L'état général du troupeau a été assez bon dans l'ensemble en 1994. Les problèmes pathologiques rencontrés ont été dominés par des affections bactériennes localisées (trois cas d'abcès et une mammite) ou des blessures accidentelles (deux cas).

L'examen de l'appareil locomoteur n'a pas mis en évidence d'excroissances osseuses ni de boiteries, signes de l'influence du fluor sur les os.

L'examen des dents a montré une coloration blanche ou brunâtre pour les animaux du lot témoin et ceux du lot 3. En revanche, on a noté des dents brunâtres ou légèrement noirâtres chez les animaux recevant des phosphates ; cependant cette coloration ne semble pas avoir affecté l'efficacité de l'appareil bucco-dentaire.

Aucun signe grave d'intoxication au fluor n'a été noté. Ces observations mettent en évidence la non-toxicité des phosphates et confirment celles faites au début de cet essai (7) ou lors des essais sur les mâles (10).

La sécheresse de 1992-1993 a pourtant eu un impact non négligeable sur la croissance et la reproduction des génisses, qui ont accusé des pertes de poids très importantes puis une mortalité due à leur mauvais état général.

Influence des minéraux sur la survie du troupeau

Une importante mortalité a été enregistrée en 1993. Les taux ont été de 30 p. 100, 13 p. 100, 6,5 p. 100 et 30 p. 100 respectivement pour les lots 1, 2, 3 et 4. L'adjonction de coque d'arachide mélassée a été bénéfique car ces chiffres sont globalement inférieurs au taux moyen de mortalité de 60 p.100 enregistré dans les troupeaux traditionnels de la zone sylvopastorale pendant cette saison sèche. Ces résultats mettent en évidence une influence significative ($p < 0,05$) de la supplémentation avec la Pos et le Thpt sur la limitation de la mortalité en période de disette. En revanche, le Tap n'a pas eu d'effet limitant : le taux de ce lot a égalé celui du lot témoin. La quasi-totalité des mortalités a été enregistrée aux périodes critiques de mai à juillet.

En 1994, les pâturages ont été de meilleure qualité et la mortalité moins importante ; seule une vache du lot 2 est morte des suites d'une météorisation.

Ces résultats traduisent un renforcement de la résistance à la sous-nutrition des animaux supplémentés.

Influence des minéraux sur l'évolution pondérale du troupeau

La figure 1 décrit l'évolution pondérale du troupeau. De novembre 1993 à septembre 1994, le poids moyen des animaux a été de 310, 340, 322 et 329 kg respectivement pour les lots 1, 2, 3 et 4. Les animaux du lot 2 ont été plus lourds pendant toute la durée de l'essai. Cela peut s'expliquer par un taux de conception plus important. Leur supériorité pondérale n'était cependant pas significative ($p < 0,05$), à cause de l'important écart de poids entre les femelles gravides et les non-gravides. Globalement, les lots supplémentés étaient significativement comparables, mais à l'analyse statistique, seul le lot 3 était significativement différent ($p < 0,05$) du lot témoin.

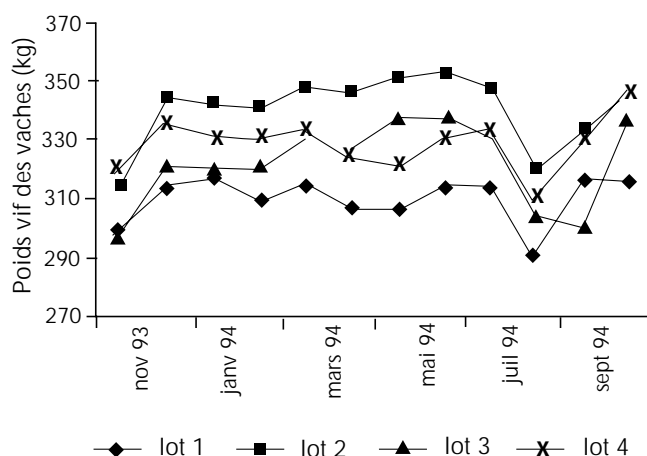


Figure 1 : poids moyen des animaux des quatre lots.

Influence des minéraux sur le taux de conception

Les vaches n'ont pas été saillies en 1993 à cause de leur mauvais état nutritionnel consécutif à la sécheresse de 1992-1993. Cette situation s'est améliorée en 1994. En effet, de juin à août 1994, le taux de vêlage a été de 25 p. 100, 53 p. 100, 57 p. 100 et 40 p. 100 respectivement pour les lots 1, 2, 3 et 4.

Les vaches des lots 2 et 3 ont eu un taux de conception plus important ($p < 0,05$) que celui du lot témoin.

Influence des minéraux sur la fréquence des vêlages

L'intervalle entre vêlages (Ivv) a été mesuré sur les vaches ayant été gravides deux fois pendant la période 1993-1994.

Dans le lot 1, trois vaches ont vêlé deux fois de 1991 à 1994 et l'Ivv a été de 633 j en moyenne. Dans le lot 2, cinq vaches ont vêlé avec un Ivv moyen de 654 j. En ce qui concerne le lot 3, l'Ivv moyen calculé sur huit vaches était de 621 j. Pour le lot témoin, quatre vaches ont vêlé deux fois avec un intervalle moyen de 704 j.

Le petit nombre d'observations n'a pas permis pas de faire une analyse de variance. Cependant, les lots supplémentés ont eu globalement une fréquence de vêlage plus importante que le lot témoin. La poudre d'os a permis d'obtenir l'Ivv le plus réduit, contrairement au lot témoin qui a eu l'Ivv le plus long. Les lots « phosphate » ont eu des Ivv comparables et intermédiaires.

Ces résultats tendent à montrer l'effet bénéfique de la supplémentation sur la productivité numérique par une réduction de l'intervalle entre vêlages.

Influence des minéraux sur le poids à la naissance

Le poids moyen des veaux à la naissance a été de 23,5 kg, 26 kg, 23,9 kg et 23,8 kg respectivement pour les lots 1, 2, 3 et 4. Ces poids sont supérieurs à la moyenne observée en milieu traditionnel ($20 \text{ kg} \pm 2$).

Les veaux du lot 2 ont été plus lourds à la naissance que ceux des lots 1 et 3 dont les poids ont été comparables à ceux du lot témoin ; cette différence n'est cependant pas significative ($p < 0,05$).

Les veaux des lots 2 et 3 ont eu une croissance comparable durant les trois premiers mois de leur vie avec respectivement un gain moyen quotidien (Gmq) de 455 et 490 g. Le lot 1 a eu un gain de poids intermédiaire (Gmq = 383g/jour) alors que le lot témoin a eu la plus faible croissance (Gmq = 147 g/jour).

Si le poids à la naissance ne semble pas être significativement influencé par la supplémentation minérale, la croissance des animaux pendant les premiers mois de leur vie paraît être fortement déterminée par cet apport.

Influence des minéraux sur la production laitière

La traite manuelle, qui ne permet pas une extraction complète du lait produit, incite à la prudence dans l'interprétation des résultats obtenus. Mais en imitant les pratiques traditionnelles, ces résultats pourront être comparés à ceux obtenus dans les essais de supplémentation en cours dans les élevages traditionnels en zone sylvo-pastorale.

En 1994, la production laitière a été mesurée pendant 14 semaines. Les productions quotidiennes ont varié de 0,6 à 5,6 l de lait par vache. Elles étaient différentes selon le lot et la période de lactation. L'individu semble être également un facteur de variation non négligeable : des femelles exceptionnelles ont atteint des productions quotidiennes de plus de 5 l contre 2 l en moyenne en milieu traditionnel et en saison des pluies. Cette année-là, la production laitière a été supérieure à celle de 1993 qui n'était que de 0,8 l par jour en moyenne (7).

La supplémentation minérale a significativement influencé ($p < 0,01$) la production laitière. Les lots « phosphates », avec une production journalière moyenne de 3,1 et 2,5 l respectivement pour les lot 1 et 2 ont eu une production supérieure au lot 3 qui enregistrait une production moyenne de 2,4 l par jour.

Le lot témoin a eu une production laitière plus faible (2,3 l en moyenne quotidienne) que les lots supplémentés, ce qui confirme l'influence bénéfique des phosphates sur les paramètres de la reproduction et de la production laitière mesurée par traite manuelle.

DISCUSSION

La supplémentation minérale en zone sahélienne de vaches Gobra en reproduction a permis de visualiser l'importance de son influence sur la survie, la productivité numérique des troupeaux et la croissance des veaux issus de mères supplémentées.

Ces observations avaient déjà été faites en milieu tropical pour les minéraux en général (Loeffler et coll., communication personnelle², 1, 3, 5, 11, 15, 18, 22). Elles confirment l'importance de l'apport en phosphore dans la vie animale même si l'eau, l'énergie et l'azote sont déficients.

2. LOEFFLER I.K., SCHILLHORN VAN VEEN T.W., 1989. Mineral deficiency in ruminants in Sub-Saharan Africa. A review. 19 p.

Si l'efficacité zootechnique des compléments minéraux classiques a été démontrée, tel n'était pas le cas pour les phosphates naturels (9, 10, 19, 23). L'essai de Dahra suggère la possibilité d'utiliser des phosphates naturels dans la prophylaxie des carences minérales en milieu tropical.

L'innocuité des phosphates de Taiba et de Thiès distribués aux doses quotidiennes respectives de 50 et 100 g a été confirmée. Leur distribution pendant huit à neuf mois par an durant quatre années consécutives n'a pas entraîné de problèmes pathologiques majeurs liés à la présence de fluor. Ce fait est explicable par un bon déstockage du fluor, par voie urinaire notamment (10).

Comparés au lot témoin, les lots 2 et 3 ont montré une amélioration de la survie du troupeau, de sa production laitière, de l'intervalle entre vêlages, du poids à la naissance et de la croissance des veaux. Les deux types de phosphate ont permis d'améliorer la production laitière dans leurs lots respectifs. Les principaux résultats de la supplémentation semblent avoir été l'amélioration du taux de conception, la limitation de la mortalité et l'amélioration de la croissance des veaux.

Les variations de la réponse animale, nulle pour les mâles (10) et positive pour les femelles en reproduction, pourraient s'expliquer par l'effet type de phosphate/sexe/année/production cible. En effet, le Thpt présente des caractéristiques chimiques plus proches du Tap ; il est cependant moins riche en fluor et semble être mieux approprié pour la supplémentation minérale des ruminants. De plus, les femelles en croissance sont en général plus sensibles aux carences en minéraux que les mâles.

Une seconde expérience plus longue que la première (quatre ans au lieu de trois) puis la forte sécheresse de l'année 1992 ont sans doute aidé à visualiser l'effet stimulant des minéraux (phosphates et poudre d'os) sur la résistance des animaux et leur fécondité, confirmant ainsi les résultats de Calvet et coll. (3). En effet, l'importance du facteur durée de supplémentation a été soulignée par des auteurs Sud-Africains (20, 21) qui n'ont pu mettre en évidence l'effet positif de la supplémentation minérale qu'au bout de six ans d'expérience. Ces observations sont à lier avec la

complexité du métabolisme phosphocalcique mettant en jeu le passé nutritionnel de l'animal avec une importante incidence de l'appareil osseux et de la vitamine D.

■ CONCLUSION

Les résultats de cet essai suggèrent l'extension au troupeau traditionnel de la supplémentation minérale avec des phosphates. Le phosphate tricalcique de Lam-Lam (Thiès), moins toxique que celui de Taiba, présente plus d'avantages pour la supplémentation des ruminants. Des travaux complémentaires sont envisagés pour procéder à l'amélioration de la forme de présentation des phosphates (en granulés et/ou en blocs) et au test de formules de compléments minéraux plus complets à base de phosphates naturels avec incorporation de sels de cuivre, de zinc, de sodium, de magnésium et de manganèse pour assurer la prévention des carences minérales en zone sylvo-pastorale.

Remerciements

Ce travail a été mené conjointement par le Laboratoire national d'élevage et de recherches vétérinaires (Lnerv), le Centre de recherches zootechniques de Dahra de l'Institut sénégalais de recherches agricoles (Isra) et le Service de chimie et biophysique médicales de l'Ecole inter-Etats des sciences et médecine vétérinaires (Eismv) de Dakar, dans le cadre d'un projet financé par l'Organisation mondiale du phosphate (Imphos). Les phosphates ont été gracieusement fournis par la Compagnie sénégalaise des phosphates de Taiba et la Société sénégalaise des phosphates de Thiès. Sur le terrain, les essais ont été suivis par Abdoul Bâ et Assette Sow sous la direction d'Adiouma Doucouré. Les analyses chimiques ont été effectuées par les techniciens du service d'alimentation-nutrition du Lnerv-Isra. Maïmouna S. Dicko, Louis Suchet et Abdel Kader Diallo ont apporté des remarques critiques au déroulement des travaux lors d'une mission d'évaluation du programme ressources alimentaires de l'Isra en avril 1994. Les auteurs expriment leur profonde gratitude à tous ceux qui ont participé à ce travail.

BIBLIOGRAPHIE

1. ALEGRIA C., ECHEVARRIA M. G., GARCIA M., VALVIDIA R., ROSEMBERG M., McDOWELL L.R., 1988. Mineral supplementation and fertility in crossbred Zebu heifers fed regional grasses in the Peruvian tropical lowlands. *Nutr. Report Int.*, **37**: 805-810.
2. BIPEA, 1976. Recueil des méthodes d'analyses des Communautés européennes. Paris, France, Bipea.
3. CALVET H., FRIOT D., GUEYE I.S., 1976. Supplémentation minérale, alimentaire et pertes de poids des zébus sahéliens en saison sèche. *Rev. Elev. Med. Vet. Pays Trop.*, **29**: 59-66.
4. CALVET H., PICART P., DOUTRE M. et CHAMBRON J., 1965. Aphasphorose et botulisme au Sénégal. *Rev. Elev. Med. Vet. Pays Trop.*, **18**: 249-282.
5. CONRAD J.H., MCDOWELL J.R., ELLIS G.L., LOOSLI J.K., 1985. Minéraux pour les ruminants sur pâturages des régions tropicales. Gainesville, FL, USA, Centre pour l'agriculture tropicale, Université de Floride, Agence des Etats-Unis pour le Développement international, 96 p. (Bulletin du Département de Zootechnie)
6. DIOP M., FALL S.T., SAWADOGO G., 1992. Etude de l'utilisation des phosphates naturels dans l'alimentation du bétail. Deuxième phase, 1^{re} année. Rapport conjoint Isra-Eismv. Dakar, Sénégal, Isra-Lnerv, 22 p. (Ress. Alim. n° 28)
7. DIOP M., FALL S.T., SAWADOGO G., 1993. Etude de l'utilisation des phosphates naturels dans l'alimentation du bétail. Deuxième phase, 2^e année. Rapport conjoint Isra-Eismv. Dakar, Sénégal, Isra-Lnerv, 7 p. (Ress. Alim. n° 47)

8. DIALLO I., M'BAYE N., GUERIN H., 1983. Effet d'une complémentation minérale et azotée sur la productivité des troupeaux naisseurs de la zone sylvo-pastorale. Premiers résultats. Rapport Technique. Dahra, Sénégal, Isra-Lnerv/Crz, 20 p. (Physiol. Nutr. n° 45)
9. DIALLO I., SOW R., NGOMA A., DIOP B., 1985. Utilisation des blocs mélasse-urée comportant trois sources de phosphates naturels (Thiès, Taiba, Matam) dans un essai de complémentation destiné à des génisses Gobra en élevage extensif. Dahra, Sénégal, Isra-Lnerv/Crz, p. 83-90 (Rapport annuel)
10. FALL S.T., SAWADOGO G., DIOP M., 1999. Phosphates naturels et alimentation du bétail en zone sahélienne : I. Influence sur la santé et la croissance du zébu Gobra. *Rev. Elev. Med. Vet. Pays Trop.*, **52**: 133-145.
11. FERRANDO R., 1982. Le phosphore et la vie animale. In : Extrait du procès verbal de l'Académie d'agriculture de France, Paris, séance du 10 février 1982, p 290-307.
12. FRIOT D., CALVET H., 1971. Etudes complémentaires sur les carences minérales rencontrées dans les troupeaux du Nord-Sénégal. *Rev. Elev. Med. Vet. Pays trop.*, **24**: 393-407.
13. GUEGUEN L., 1970. Les critères de qualité nutritionnelle des compléments minéraux en alimentation animale. *Bull. Soc. sci. Hyg. aliment.*, **58**: 116-129.
14. GUERIN H., RICHARD D., HEINIS V., LEFEBVRE P., DUCHE A., 1994. Composition minérale des fourrages. In : Les pâturages sahéliens de l'Afrique de l'Ouest. Extrait des atlas « Elevage et potentialités pastorales sahéliennes ». Wageningen, Pays-Bas, CTA/Gaston A. et Lamarque A., p. 185-203.

Influence of rock phosphates on cattle survival and reproduction

15. KERRIDGE P.C., McLEAN R.W., 1988. Fertilizer and supplementary phosphorus responses by cattle on legume pastures in S.E. Queensland. In: Proceedings of the Australian Society of Animal Production, **17**: 426.
16. LITTLE D.A., 1970. Factor of importance in the phosphorus nutrition of beef cattle in Northern Australia. *Aust. Vet. J.*, **46**: 241-247.
17. MAUZAC M., GUERARD F., MATHIEU J., LAROCHE J., 1976. Dosage de l'ion fluor à l'aide de l'électrode spécifique. *Analysis*, **4** : 326-329.
18. MÜSCHEN H., PETRI A., BREVES G., PFEFFER E., 1988. Response of lactating goats to low phosphorus intake. 1. Milk yield and faecal excretion of P and Ca. *J. of Agric. Sci.*, **111**: 255-263.
19. N'DIAYE V., 1985. Utilisation des phosphates naturels dans l'alimentation des bovins tropicaux. Cas du Sénégal. *Thèse Med. vét.*, Eismv, 85 p. (n° 21)
20. READ M.V.P., ENGELS E.A.N., SMITH W.A., 1986. Phosphorus in the grazing ruminant. 1. The effect of supplementary P on sheep at Armoedsvlakte. *S. Afr. J. Anim. Sci.*, **16**: 1-6.
21. READ M.V.P., ENGELS E.A.N., SMITH W.A., 1986. Phosphorus and the grazing ruminant. 2. The effect of supplementary P on cattle at Glen and Armoedsvlakte. *S. Afr. Journ. of Anim. Sci.*, **16**: 7-12.
22. RIVERA B., VERA R.R., WENIGER J H., 1988. Possibilities for improved use of the savanna in the Llanos of Colombia for beef production. In: Rinderproduktion. Giessener Beiträge zur Entwicklungsforschung, I (Symposien). Cali, Colombia, CIAT, 1988, **17**: 243-248.
23. SERRES H., BERTAUIERE H., 1979. Essais de distribution discontinue de phosphates naturels dans l'alimentation des bovins tropicaux. *Rev. Elev. Med. Vet. Trop.*, **32** : 391-399.
24. SHUPE J.L., 1963. Disease of cattle. Santa Barbara, CA, USA, American Veterinary Publication.
25. SOCIETE D'ETUDE ET D'APPLICATION DES MINERAIS DE THIES, 1967. Le Polyfos dans l'alimentation des vaches laitières. Résultats de quatre années de démonstration. Rapport technique. Thiès, Sénégal, Smt, 3 p.
26. SOCIETE D'ETUDE ET D'APPLICATION DES MINERAIS DE THIES, 1970. Le Polyfos : un phosphate spécial pour l'alimentation animale. Rapport technique. Thiès, Sénégal, Smt, 3 p.
27. UNDERWOOD E.J., 1956. Trace element in human and animal nutrition. New York, NY, USA, Academic Press Publishers, p. 312-340.

Reçu le 18.8.98, accepté le 20.1.00

Summary

Fall S.T., Sawadogo G., Diop M., Doucouré A. Rock phosphates and cattle feeding in Sahel. II. Influence on the Gobra zebu survival rate, milk production and reproduction performances

The influence of rock phosphates on survival rate and reproduction performances has been tested in the Senegalese Sahelian zone at Dahra from 1991 to 1994. Four groups of 15 young Gobra heifers each were raised in permanent pastures at the Dahra station and a supplementation program was applied during 8 months each year for 4 years. Group 1 was supplemented continuously with 50 g Taiba rock phosphate, group 2 with 100 g tricalcic phosphate from Lam-Lam mine and group 3 with 65 g bone meal. Group 4 was not supplemented as a control. Mineral intake was daily recorded and animals growth rate measured. Other observations were mortality, calving rate, herd fecundity and milk production. Health status was monitored by monthly clinical examinations. Special attention was paid to fluorosis as it may be a consequence of long lasting phosphates consumption in ruminants. Results emphasized non toxicity of rock phosphates, no fluorosis lesions were observed. Rock phosphates efficiency was clearly demonstrated in mortality reduction (50 to 85% in the groups ingesting Lam-Lam rock phosphate and bone meal respectively). In November, 1994, for groups 1, 2, 3 and 4 respectively, calving rate was 25, 53, 57 and 40%, calving interval 633 j, 654 j, 621 j and 704 j, calve weight 23,5 kg, 26 kg, 23,9 kg and 23,8 kg. Mineral supplementation improved these parameters and significantly ($p < 0,01$) milk production. Results would recommend, for mineral supplementation in traditional systems, 50 g Taiba phosphate and 100 g Lam-Lam (Thiès) tricalcic phosphate daily intake during dry season (eight to nine months per year).

Key words: Dairy cow - Gobra zebu - Rock phosphate - Food enrichment - Mortality - Reproduction - Sahel - Senegal.

Resumen

Fall S.T., Sawadogo G., Diop M., Doucouré A. Fosfatos naturales y alimentación del ganado en zona sahelina. II. Influencia sobre la supervivencia, la producción lechera y los parámetros de la reproducción del cebú Gobra

Con el fin de evaluar el impacto de los fosfatos naturales sobre la supervivencia y la reproducción del cebú Gobra, se llevaron a cabo estudios en Dahra, Senegal, en la zona silvo-pastoral, de enero 1991 a noviembre 1994. Cuatro lotes de 15 novillas de raza Gobra fueron mantenidos en pastizales permanentes en el Crz de Dahra. Los complementos minerales distribuidos estuvieron compuestos de 50 g de fosfato de Taiba para el lote 1, de 100 g de fosfato tricálcico de Lam-Lam (Thiès) para el lote 2 y de 65 g de polvo de hueso para el lote 3. El lote testigo (4) no recibió ningún complemento mineral. Los minerales se distribuyeron todos los días durante la estación seca (de ocho a nueve de los doce meses) y durante cuatro años consecutivos. Las medidas efectuadas concernían el consumo cotidiano de minerales, el control ponderal y el registro de las mortalidad, nacimientos, montas y gestaciones. Se llevó a cabo un control lechero semanal de los animales en lactación. El seguimiento del estado de salud del hato se efectuó mediante exámenes clínicos mensuales y el seguimiento cotidiano de los animales enfermos. Los resultados demuestran una inocuidad de los fosfatos probados. No se observó ningún signo de intoxicación por flúor. Se observó una neta eficiencia zootécnica de los fosfatos naturales. En comparación con el lote testigo, la mortalidad se redujo de 50 a 85% respectivamente en el seno de los lotes «polvo de hueso» y «fosfato de Thiès». En noviembre 1994 y respectivamente por los lotes 1, 2, 3 y 4, la tasa de concepción fue de 25, 53, 57 y 40%, el intervalo entre partos de 633, 654, 621 y 704 días y el peso al nacimiento de 23,5, 26, 23,9, y 23,8 kg. Estos parámetros mejoraron con la suplementación mineral, la cuál también influyó significativamente ($p < 0,01$) la producción lechera. Estos resultados sugieren el uso generalizado en medio tradicional del fosfato de Taiba y del fosfato tricálcico de Lam-Lam (Thiès), a dosis cotidianas respectivas de 50 y 100 g, en distribución continua durante la estación seca (ocho a nueve de los doce meses).

Palabras clave: Vacas lecheras - Fosfato mineral - Cebú Gobra - Enriquecimiento de los alimentos - Mortalidad - Reproducción - Sahel - Senegal.

Contribution of crop residues to ruminant feeding in different agroecological zones of Burkina Faso

M. Savadogo^{1*} G. Zimmelink²
H. Van Keulen³ A.J. Nianogo⁴

Key words

Ruminants - Feed consumption - Cereals - Legumes - Crop residues - Carrying capacity - Agroclimatic regions - Burkina Faso.

Summary

A static model is used to evaluate the potential contribution of crop residues to ruminant feeding in the different agroecological zones of Burkina Faso. Residues of cereal crops including maize (*Zea mays* L.), millet (*Pennisetum glaucum* [L.] R.Br.), sorghum (*Sorghum bicolor* [L.] Moench) and rice (*Oryza sativa* L.) represent 90 to 98% of the total quantities of crop residues. These residues are characterized by low crude protein (CP) content (average 4.7%) and low digestibility of organic matter (OMD, average 49.2%). The best quality residues are haulms of cowpea (*Vigna unguiculata* [L.] Walp) and groundnut (*Arachis hypogaea* L.) with 12.6 to 15.6% CP and 57 to 61% OMD. Residues of bambara groundnut (*Voandzeia subterranea*) are of intermediate value: 6.4% CP and 55% OMD. With the current amounts of different residues, a maximum of 8, 54, 98 and 76% of the current ruminant stock, respectively in the Sahelian, Sub-Sahelian, North-Sudanian and South-Sudanian zones, could be fed at maintenance level during the dry season. Optimum utilization of crop residues in the Sudanian zones may contribute to intensify ruminant livestock production.

INTRODUCTION

Sub-Saharan livestock production is increasingly constrained by feed shortage, both quantitatively and qualitatively. Natural forage is not sufficient to satisfy animal requirements in the dry season when the quantity decreases by 25 to 50% of peak biomass and N content falls well below 1% (1, 3, 16, 23). In addition, industrial by-products are not available, or so expensive that farmers cannot afford them (8, 13). The human population increased by 77% in the last 30 years and crop areas followed the same trend (+120%) (29). In the region, animal feed in the dry season already consists mainly of crop residues (15, 16). Although this is increasingly the case in all Sahelian countries, reliance on crop residues to sustain animal production faces problems, because of the limited

availability and low nutritive value. Nevertheless, many studies have shown scope for improvement of ruminant livestock production in systems based on crop residues, when appropriate feeding strategies are applied (4, 12).

Of the three major feed resources, i.e. natural or cultivated forage, industrial by-products and crop residues, only the latter is sure to increase in total production. Improving knowledge of their potential contribution to livestock feeding may therefore help in estimating the carrying capacity of different agroecological zones, and to examine the effect of possible changes in feeding systems on the productivity of livestock. The specific objective of this chapter was to quantify the potential contribution of crop residues to ruminant livestock feeding in the different agroecological zones of Burkina Faso, taking into account the combined effects of their quantities and nutritive value (digestibility and N content).

MATERIALS AND METHODS

Study area

This study covered four agroecological zones: Sahelian, Sub-Sahelian, North-Sudanian and South-Sudanian. The Sahelian zone, located in the north of the country, is characterized by annual rainfall ranging from 200 to 400 mm, during 2-3 months; the Sub-

* Corresponding author

1. Antenne sahélienne, 01 BP 5385 Ouagadougou 01, Burkina Faso
Tél +226 36 31 08; Fax +226 36 31 10; E-mail : savadogomou@hotmail.com

2. Wageningen University, Wageningen Institute of Animal Sciences, Animal Production Systems Group, PO Box 338, 6700 Wageningen, The Netherlands

3. Research Institute for Agrobiological and Soil Fertility (AB), Plant Production Systems Group, WUR, PO Box 6700 AA Wageningen, The Netherlands

4. Institut national de l'environnement et de recherches agricoles (Inera), département des Productions animales, 03 BP 7192 Ouagadougou, Burkina Faso

Sahelian zone receives 400 to 800 mm rain in about 4-5 months, the North-Sudanian zone 800 to 1000 mm and the South-Sudanian more than 1000 mm, in about 6 months (figure 1).

Estimation of crop residue availability

Estimates of the quantities of crop residues were based on crop areas and grain yields derived from the national agropastoral statistics (18). The ratios straw/grain were set to 3 for sorghum and millet, 2 for maize, 1.5 for cowpea and groundnut, 1.25 for rice, and 1 for bambara groundnut (34). The number of livestock was estimated on the basis of the national livestock census data of 1989 updated by an annual rate of increase of 2% for cattle, donkeys and horses, and 3% for small ruminant (17). Herd size was expressed in tropical livestock units (TLU), a hypothetical animal of 250 kg (3). The conversion factors used are 0.8 for cattle, 0.12 for sheep and goats, 0.6 for donkeys, and 1 for horses (17). Nutritive values of plant materials were taken from various relevant publications.

Calculation procedure

All calculations were performed with the "Java" program developed at the Department of Animal Sciences, Animal Production Systems Group of Wageningen University (5, 32). "Java" was designed to estimate potential animal production for situations where feeds of different quality are available. It takes into account that intake of feed by animals depends on the quality (digestibility and N content) of the ration. This allows estimating the effect of selective utilization of feeds on animal production and hence to estimate optimum degrees of selection to attain maximum production or maximum number of animals that can be maintained during a given period of time. "Java" has been successfully used to determine optimum herd and to explore possibilities for increasing animal production in East Java (11), and to assess the balance of feed supply and animal production in Kenya (33). The program operates by first ranking the feeds according to their potential

intake of metabolizable energy (IME) when fed *ad libitum*. IME is calculated from intake of organic matter (IOM in $\text{g/kg}^{-0.75}/\text{d}^{-1}$) according to the equation of Ketelaars and Tolcamp (14) for sheep:

$$\text{IOM} = -42.78 + 2.3039 \cdot \text{OMD} - 0.0175 \cdot \text{OMD}^2 - 1.8872 \cdot \text{N}^2 + 0.2242 \cdot \text{OMD} \cdot \text{N}$$

$$(\text{rsd} = 8.9; r^2 = 0.65)$$

where OMD is organic matter digestibility and N is nitrogen concentration in the organic matter, both expressed as % (g/100 g).

This equation is obtained by regression analyses using data from feeding trials with 831 different roughage from various locations in subtropical and tropical zones. IOM calculated in this way for sheep was multiplied with 1.33 to account for the higher average metabolism level of cattle as compared to sheep (11). After this IOM is multiplied by OMD to arrive at IDOM (intake of digestible organic matter) and this is converted into IME, assuming that 1 g of digestible organic matter is equivalent to 15.8 kJ ME (20). The daily live weight gain per animal is calculated as $(\text{IME} - \text{IME}_m)/b$, where IME_m represents the maintenance requirements and b the amount of ME needed per unit live weight gain. In the present study values for Sahelian cattle breeds were used: 0.508 MJ/kg $^{-0.75}/\text{d}^{-1}$ for ME_m , and 31 MJ/kg for b (4).

After ranking the feeds according to their individual values of IME, the program starts a stepwise procedure to calculate the effect of varying degrees of inclusion of feed on ration quality and voluntary feed intake. In step 1, a certain fraction (e.g. 1%) of the total available feed DM is taken, in step 2 the next 1% is added, etc., until all feed is included. At each step, the program calculates the total amount of feed DM included and its quality (weighted mean of digestibility and N concentration), IOM, IDOM and IME. Using these values it calculates: (a) the number of animals units that can be fed *ad libitum* (herd size); (b) production (mean live weight gain per animal unit per day); and (c) total live weight production.

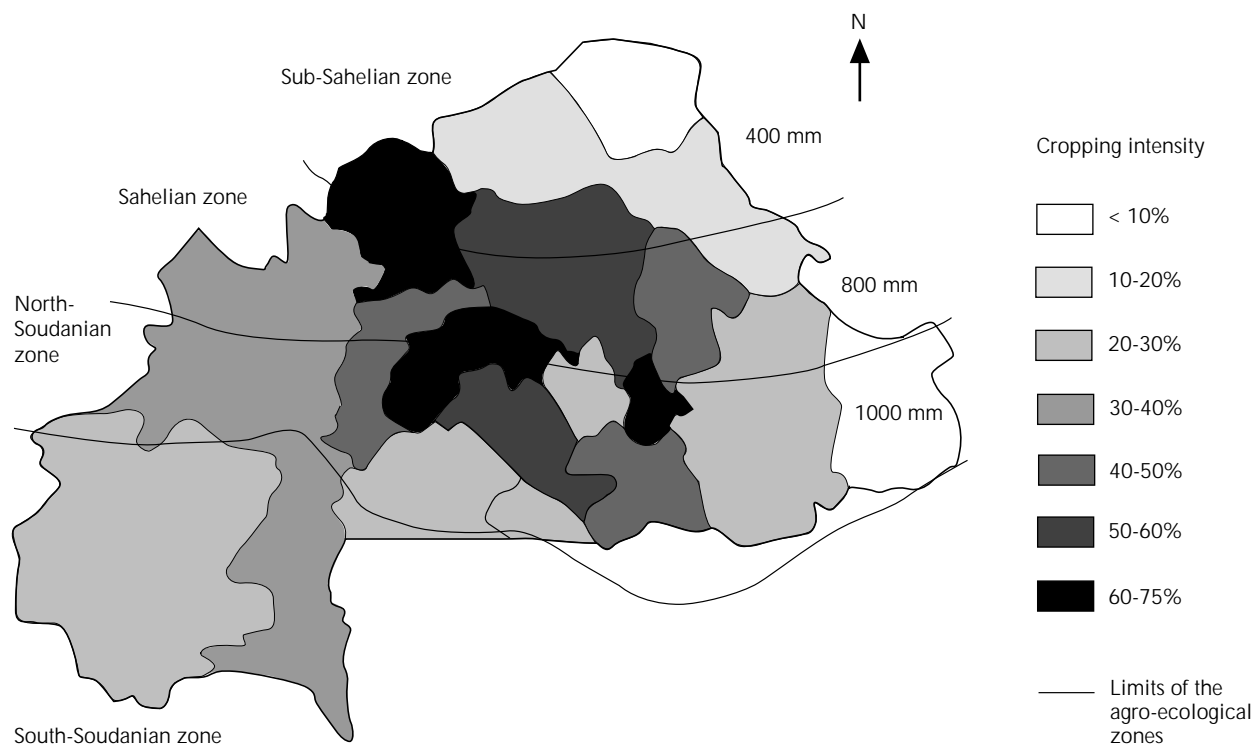


Figure 1: Agroecological zones and cropping intensity in Burkina Faso. (Source : MET, 1991)

Input data were the quantities of crop residues given in table I and their nutritive values (tables II and III). Four situations have been analyzed:

A: current quantity and average nutritive value of each crop residue were used. This reflects the utilization of crop residues in ruminant feeding without application of any special technology.

A-20: the quantities of cowpea and groundnut haulms were assumed 20% higher. This reflects the target of extension services for the Sudanian zones, mainly through the introduction of forage legumes, i.e. dolich (*Dolichos lablab*) and dual-purpose cowpea (9).

B: the effect of selective consumption on system productivity was examined by considering stems and leaves of cereal residues separately.

B-20: Scenario B with the quantities of cowpea and groundnut haulms assumed 20% higher.

All calculations were performed hypothesizing that the nutritive value of the crop residues was constant throughout the feeding period. The length of the period was set to 210 days, the average duration of the dry season.

■ RESULTS

Quantities of crop residues in the agroecological zones

Cereal crops, i.e. millet (*Pennisetum glaucum* [L.] R.Br.), sorghum (*Sorghum bicolor* [L.] Moench) and maize (*Zea mays* L.) are predominant in all four agro-ecological zones. Depending on the zone, these crops occupy 28 to 58%, 39 to 58%, and 0.4 to 17%, respectively, of the total cultivated land area (table I). Millet is the

Table I

Area, yields and total quantities of residues in the different agroecological zones of Burkina Faso

Crop residue	Sahelian zone			Sub-Saharan zone			North-Sudanian zone			South-Sudanian zone		
	A	Y	Q	A	Y	Q	A	Y	Q	A	Y	Q
Legume residues												
Cowpea	9.4	747	7	65.0	939	61	168.5	1294	218	58.8	1123	66
Groundnut	2.6	775	2	26.7	1161	31	136.0	1434	195	66.2	1254	83
Bambara groundnut	2.3	864	2	7.9	880	7	18.9	951	18	22.6	931	21
Cereal residues												
Maize	2.2	928	2	12.1	1736	21	69.5	2130	148	162.3	2132	346
Millet	209.7	1416	297	205.0	1395	286	715.8	2094	1499	245.2	2349	76
Rice	0.7	1500	1	0.6	1687	1	14.4	2437	35	10.7	2531	27
Sorghum	138.2	1440	199	279.0	2025	565	836.7	2688	2249	359.0	2571	923

A: crop area (10³ ha); Y: yield of crop residue (kg/ha⁻¹); Q: total amount crop residue (in dry matter, 10⁶ kg)

Table II

Average, lowest and highest nutritive values of crop residues reported in consulted papers

Crop residue	OM (% DM)			CP (% in OM)			ME (MJ kg ⁻¹ OM)			OMD (%)		
	Avg	Min	Max	Avg	Min	Max	Avg	Min	Max	Avg	Min	Max
Legume residues												
Cowpea	89	88	92	15.6	13.9	21.7	9.7	9.2	11.7	61	58	74
Groundnut	88	85	90	12.6	8.5	25.3	9.0	8.7	10.8	57	55	68
Bambara groundnut	88	84	92	6.4	5.5	10.1	8.7	7.9	9.5	55	50	60
Cereal residues												
Maize	91	87	95	4.8	4.6	6.5	7.1	6.3	8.7	45	40	55
Millet	90	89	93	5.2	4.8	9.3	7.5	4.6	10.0	47	29	63
Rice	83	77	86	5.4	2.3	8.6	7.5	6.7	9.0	47	42	57
Sorghum	91	90	94	4.4	2.8	7.0	8.1	6.8	10.3	51	43	65
Weighted mean (cereals)	90			4.7			7.8			49.2		

OM: organic matter; CP: crude protein

ME: metabolizable energy estimated from digestible organic matter (1 g DOM equivalent to 15.8 kJ ME); OMD: organic matter digestibility

Avg: average; Min: minimum; Max: maximum

Sources: 4, 6, 13, 21, 24

Table III

Proportions and nutritive values of stems and leaves of cereal stovers used in the calculations

Crop residue	Stem					Leaf				
	P	OM	CP	OMD	ME	P	OM	CP	OMD	ME
Millet	70	93	3.8	38	6.0	30	86	6.6	59	9.4
Sorghum	71	95	2.6	41	6.5	29	87	5.4	46	7.3
Maize	65	95	4.0	40	6.3	35	85	5.0	52	8.3
Rice	40	82	3.7	40	6.3	60	75	4.8	55	8.7
Weighted mean	70	94	3.1	40	6.3	30	86	5.8	52	8.2

P: proportion (% of OM); OM: organic matter (% in DM); CP: crude protein (% in OM)

OMD: organic matter digestibility (%); ME: metabolizable energy (MJ kg⁻¹ OM) estimated from digestible organic matter (1 g OM equivalent to 15.8 kJ ME)

Sources: 1, Savadogo (unpl.)

Table IV

Proportion of feeds included in the ration when feeding aims at maintaining the maximum number of animals (HS) or maximum total live weight gain (TP). Cowpea and groundnut haulms are fully used in all rations

Crop residue	Sahelian zone		Sub-Saharan zone		North-Sudanian zone		South-Sudanian zone	
	HS	TP	HS	TP	HS	TP	HS	TP
Situation A								
Total feed	7	2	37	10	35	11	27	10
Bambara groundnut haulms	100	60	100	74	100	100	100	100
Cereal stovers	5	0	30	0	28	1	20	0
Situation A-20								
Total feed	9	2	43	15	41	12	32	12
Bambara groundnut haulms	100	77	100	100	100	100	100	100
Cereal stovers	7	0	35	3	33	0	25	2
Situation B								
Total feed	32	11	43	22	43	29	41	17
Bambara groundnut haulms	100	100	100	100	100	100	100	100
Cereal leaves	100	30	100	45	100	71	100	31
Cereal stems	1	0	10	0	10	0	7	0
Situation B-20								
Total feed	33	13	46	21	46	33	43	26
Bambara groundnut haulms	100	100	100	100	100	100	100	100
Cereal leaves	100	36	100	35	100	81	100	58
Cereal stems	2	0	14	0	13	0	9	0

A: current quantities of feed, no distinction between leaves and stems of cereal residues; A-20: as A with legume residue assumed 20% higher

B: current quantities of feed with distinction between leaves and stems of cereal residues; B-20: as B with legume residues assumed 20% higher

principal crop in the Sahelian zone, but somewhat less important further south. Maize as % of the total area is most important in the South-Sudanian zone and sorghum in the intermediate zones. The legume crops, i.e. cowpea (*Vigna unguiculata* [L.] Walp), groundnut (*Arachis hypogaea* L.) and bambara groundnut (*Voandzeia subterranea*) occupy in all zones less than 15% of the crop area. Cowpea is often intercropped with sorghum or millet. The intercropping consists of various spatial arrangements of millet/sorghum and cowpea. The yields of the residues in t/ha⁻¹ range from 1.4 to 2.3 for millet, 1.4 to 2.7 for sorghum, 0.9 to 2.1 for maize, 0.7 to 1.3 for cowpea, 0.7 to 1.4 for groundnut, and 0.8 to 0.9 for bambara groundnut.

Better quality residues are those of cowpea and groundnut, with 15.6 and 12.6% crude protein (CP), 61 and 57% digestibility of organic matter (OMD), and 9.7 and 9.0 MJ metabolizable energy (ME) per kg OM, respectively (table II). Cereal residues that represent more than 85% of all residues in all agroecological zones are lowest in nutritive value, i.e. 4.4 to 5.4% CP, 45 to 51% DOM and 7.1 to 8.1 MJ ME per kg OM. Residues of bambara groundnut are of intermediate nutritive value, i.e. 6.4% CP, 55% DOM and 7.9 MJ per kg OM. For situations A and A-20 the weighted mean nutritive value of cereal residues given in table II was used in the calculations. For situations B and B-20, where leaves and stems of cereal residues are distinguished, weighted mean values of stems and leaves were used (table III).

Composition of rations

When the objective is to maintain the maximum number of animals, i.e. provide a ration meeting the requirements for maintenance only, 7% of the total amount of crop residues available in the Sahelian zone could be used in the current situation (A). This consists of all legume haulms (cowpea, groundnut and bambara groundnut) combined with 5% of the cereal stovers (table IV). Due to the larger quantities of haulms, a larger fraction of the cereal stovers could be used in the other zones: 30, 28 and 20%, respectively, while 37, 35 and 27% of the total feed could be used in the Sub-Saharan, North-Sudanese and South-Sudanese zones, respectively. The assumed nutritive value of cereal stovers is below maintenance requirements and due to their large quantities, only a small proportion could be combined with the small quantities of haulms. Even when the amount of haulms was increased by 20% (situation A-20), only 9% of the total amount of feed in the Sahelian zone can be used and 32 to 43% in the other zones. The distinction between leaves and stems of stovers allows inclusion of a higher proportion of the stovers, and hence a higher proportion of the total amounts of feed. The increase in proportion of total feed that could be used was more important in the Sahelian zone (by a factor 4.6) than in the Sub-Saharan and Sudanese zones. In the Sub-Saharan and Sudanese zones, 7 to 10% of the cereal stems could be used. Under situation B-20 (selective utilization of cereal leaves and 20% increase in the quantity of haulms), only a slightly larger proportion of the stems could be used.

When the objective is to maximize animal production, even smaller proportions of cereal residues can be used. Under the current situation (A) in the Sahelian zone, the total proportion of bambara groundnut was less than 1% of the total residues and only 60% of that could be used. Also in the Sub-Saharan zone, only 74% of the bambara groundnut haulms could be included and only 10% of the total feeds were used. When availability of haulms was assumed 20% higher, only slight changes resulted. Distinction between leaves and stems in stovers led to an increased contribution of cereal residues to the diets. Up to 71 and 81% of stover leaves could be used in situations B and B-20, respectively, in the North-Sudanese zone, and 30 to 58% in the other zones.

Carrying capacity of the different zones

Sahelian zone

When maximizing total production, a maximum of 64 10³ livestock units could be fed in the Sahelian zone in situation B (table V), corresponding to 12% of the current livestock population (550 10³ TLU). The associated daily weight gain was 97 g per TLU. It would be possible to feed a higher number of animals (76 10³) for similar daily weight gain when the quantities of haulms were increased by 20% and leaves and stems of cereal residues distinguished. Under situation A, 9 10³ TLU could be fed to gain 526 g per TLU per day for maximum total production or a maximum of 43 10³ TLU at maintenance level. Allowing selective consumption of stover leaves (situation B) results in an increase in this maximum herd size by a factor 4.6. Increasing haulms availability by 20% (situation A-20) results in a 33% increase in herd size. Up to 37% of the current ruminant stock in this zone could be fed at maintenance level if the amounts of haulms could be increased by 20% and selective consumption of the stover leaves were allowed. In this zone, only a small total production could be derived from the available crop residues.

Sub-Saharan zone

Maximum potential live weight gain was estimated at 10 10⁶ kg in situation A, 12 10⁶ kg in situations A-20 and B, and 14 10⁶ kg for B-20. This production was obtained with 90, 148, 225 and 213 10³ TLU, respectively, corresponding to 11, 18, 27 and 26% of the current ruminant population in this zone (817 10³ TLU). These optimum herd sizes were associated with daily weight gains per animal of 302 to 526 g. When the quantity of haulms was increased by 20% or leaves of the cereal stovers were distinguished from stems, or both, the number of animals that give maximum production increased by a factor 1.64 to 2.50, but the associated daily weight gain per animal decreased so that the total production increased by only a factor 1.17 to 1.36. A maximum of 54% of the current population could be fed at maintenance level in situation A. Situation B-20 allowed maintenance of 67% of the current livestock population. The current availability of crop residues cannot maintain the current livestock population in the dry season in this zone with the assumed nutritive value, even when selective consumption is allowed.

Table V

Potentials of crop residues as ruminant feed in the different agroecological zones

Agroecological zone	At maximum TP			Maximum HS fed at maintenance
	HS	DWG	TP	
Sahelian zone				
A	9	526	1	43
A-20	9	583	1	57
B	64	97	1	198
B-20	76	98	2	206
Sub-Saharan zone				
A	90	526	10	441
A-20	148	374	12	522
B	225	246	12	503
B-20	213	302	14	551
North-Sudanese zone				
A	464	427	42	1872
A-20	505	478	51	2235
B	1386	174	51	2259
B-20	1602	180	61	2476
South-Sudanese zone				
A	205	342	15	675
A-20	252	333	18	814
B	370	213	18	1009
B-20	592	173	22	1075

A: current quantities of feed, no distinction between leaves and stems of cereal residues

A-20: as A with legume residues assumed 20% higher

B: current quantities of feed with distinction between leaves and stems of cereal residues

B-20: as B with legume residues assumed 20% higher

HS: Herd size in 10³ TLU (an hypothetical animal of 250 kg body weight)

DWG: daily weight gain in g d⁻¹ per TLU

TP: total production in 10⁶ kg

North-Sudanian zone

This zone has the highest potential. In situation A, 98% of the current 1 901 10³ livestock units could be fed at maintenance level. If 20% more cowpea and groundnut haulms would be available, or when selective consumption of cereal stover is assumed, or both, it would be possible to maintain all the current ruminants in this zone. Total potential production varied between 42 and 61 10⁶ kg. Optimum herd size associated with the highest potential production ranged from 464 to 1602 10³ TLU.

South-Sudanian zone

In situation A, maximum production was attained with 205 10³ TLU, associated with 342 g daily weight gain per animal. If 20% more legume haulms would be available (A-20), the optimum herd size would increase to 252 10³ TLU. Similar trends were observed when selective consumption was assumed. When the target was to maximize herd size fed at maintenance, 76, 92, 114 and 121% of the current livestock population (887 10³ TLU) could be maintained in situations A, A-20, B and B-20, respectively. Optimum herd sizes for maximum regional production, however, would be 205, 252, 370 and 592 10³ TLU, respectively, corresponding to 23 to 67% of the current population. These herd sizes were associated with daily weight gains of 342, 333, 213 and 173 g per animal, giving 15 10⁶ kg total production from 210 days feeding in situation A, 18 10⁶ kg in A-20 and B, and 22 10⁶ kg in B-20.

DISCUSSION**Potential of crop residues as ruminant feeds in the different agroecological zones**

Crop residue yields per ha estimated in this study, are slightly lower than those reported by Van Duivenbooden (30) and Camara (6), because different straw/grain ratios have been used. Yields of crop residues are quite substantial compared to the average yields of natural forages in the same period. Winrock International (31) estimates the latter at 0.2 to 0.5 t ha⁻¹ in the arid and semi-arid zones, and 0.72 to 0.76 t ha⁻¹ in the subhumid and highland zones. Leloup (11) reported a forage yield of 2.3 t per ha natural grassland in Southern Mali at peak biomass. Cowpea and groundnut haulms are of reasonable quality, both in terms of digestibility and protein content, allowing acceptable levels of animal production when fed alone. However, the quantities available are insufficient to compensate for the low nutritional value of the cereal crop residues.

To increase the possibilities of using crop residues for ruminant feeding, physical, chemical and biological treatments have been tested in many developing countries (22). Chopping increases dry matter intake, but has a variable effect on digestibility and weight gain; the effectiveness of treatment with urea in terms of increased digestibility is variable (21, 27) and does not always result in increased weight gain, due to the interactions with nutrient availability. Urea treatment improves the availability of energy, but the low level of true protein may hamper the conversion of this energy into animal products. As urea treatment is also expensive, it is not widely used (7). Other treatments such as grounding, soaking, wetting, addition of NaOH, KOH, urine, composting and ensiling have been developed (27), but these are often unknown by smallholders and/or impractical and costly.

Results of the present analyzes suggest that the North and South-Sudanian zones are well endowed with crop residues that may

allow meeting the feed requirements of the current ruminant population in the dry season, even without application of any of these technologies. This requires that animals be allowed to eat leaves of stovers selectively. In that situation, between 31 and 81% of the leaves would be included in the diet when maximizing animal production. When the feeding system aims at maximizing the number of animals fed at maintenance level, for which rations of lower quality can be used, even some of the stems can be included in the diets (maximum about 10%). A substantial part of the cereal residues is of such inferior quality that it does not contribute to the possibilities for maintaining animals. In these zones, intensive management of crop residues can contribute to intensified ruminant livestock production, which may lead to increased recycling of nutrients, if all nutrients in animal excreta could be returned to the crop land. Recycling, however, is associated with unavoidable losses. Hence, more intense recycling also leads to greater losses in absolute terms. Therefore, this recycling may lead to higher nutrient availability for crops in the short run, but contributes to more efficient mining in the long run. The degree to which more intensive management of crop residues will be adopted depends on possibilities to collect and transport residues, conservation techniques and the value attached by farmers to the different alternative uses of these residues.

Practical implications

Optimizing use of crop residues has for a long time been a major concern in the semi-arid West African Research and Development programs. Based on the results of this study, the following measures can be suggested that can help to improve the contribution of crop residues to ruminant feeding:

- the first step towards improved utilization of crop residues would be to improve residue collection and conservation techniques that minimize the reduction in nutritive value, especially of the scarce highest quality residues. Collected and conserved under good conditions, the nutritive value of cowpea and groundnut haulms can be quite high (> 20% crude protein and 60 to 70% OMD). Also appropriate collection and storage minimizes losses of cereal leaves;

- improvement of animal production in systems based on crop residues during the dry season requires an increase in the availability of better quality feed (residues of leguminous crops). In the Sahelian and Sub-Saharan zones, very little scope seems to exist for such an improvement because of unfavorable climatic conditions. In the other zones, some possibilities may exist although availability of soil nutrients may be a major limiting factor. Introduction of cultivated forages as single crop meets difficulties related to the shortage of suitable land and labor, but legume-cereal intercropping as already applied by farmers, could be successfully used (25, 26). In addition to taking advantage of N fixation by legumes, intercropping of cereals and legumes reduces the competition for land. Intercropping of maize and *Dolichos lablab* for example has attracted great interest in South Mali (10). The utilization of dual-purpose varieties (cultivated for both grain and forage), i.e. *Vigna unguiculata* types Vita1, Vita3, and 58-74 selected in Burkina Faso (9), reduces the land area and labor needed. Moreover, the lower cereal yields that may result from intercropping are compensated by higher animal production. Increasing the amount of legume haulms is an alternative for using concentrate, which requires much working capital;

- in the Sudanian zones, where availability of cereal stover is higher, it may be profitable to take advantage of the capacity of animals to use feeds selectively by excess feeding, to increase

quantity and quality of intake by allowing animals to consume only leaves. Subba Rao *et al.* (28) have shown that selective consumption of the better part of millet stover by sheep allows energy intake levels close to their maintenance requirements. Bhargava *et al.* (2) indicated that intake of digestible organic matter by sheep fed excess barley straw, so that animals can select, is comparable to that realized after treating straw with alkali. This feeding technique should be combined with improved refusal management so that refused organic matter can be effectively returned to cropland.

■ CONCLUSION

From the above results we conclude that crop residues can improve significantly animal production in the Sudanian zones, if suitable feeding strategies are applied. The possibility for selective consumption of cereal stover leaves and availability of legume haulms determine the level of production that can be achieved, depending on the production objectives. In low external input systems, crop residues represent a strategic organic matter and nutrient resource for soil and animals. Their optimum utilization implies thus a choice or compromise between maximizing animal production and maintaining maximum number of animals. The model used in this study allows assessment of the potential of a total package of tropical feed resources, as a basis for identification of relevant feeding strategies.

REFERENCES

1. AYANTUNDE A.A., 1998. Influence of grazing regimes on cattle nutrition and performance and vegetation dynamics in Sahelian rangelands. Ph.D. Thesis, Wageningen Agricultural University, Wageningen, The Netherlands, 179 p.
2. BHARGAVA P.K., ORSKOV E.R., WALLI T.K., 1988. Rumen degradation of straw. 4. Selection and degradation of morphological components of barley straw by sheep. *Anim. Prod.*, **47**: 105-110.
3. BREMAN H., DE RIDDER N., 1991. Manuel sur les pâturages des pays sahéliens. Paris, France, Editions Karthala, 485 p.
4. BREMAN H., SISSOKO K. (eds.), 1998. L'intensification agricole au Sahel. Paris, France, Editions Karthala, 996 p.
5. BROUWER B.O., 1991. Java programme. Version 2.7. Department of Animal Production Systems, Wageningen Agricultural University, Wageningen, The Netherlands.
6. CAMARA O.S., 1996. Utilisation des résidus de récoltes et du fumier dans le Cercle de Koutiala : Bilan des éléments nutritifs et analyse économique. Wageningen, The Netherlands, Wageningen Agricultural University, AB-DLO, 140 p. (Rapport PSS n° 18)
7. DE LEEUW P.N., 1997. Crop residues in tropical Africa: Trends in supply, demand and use. In: RENARD C. (ed.). Crop residues in sustainable mixed crop/livestock farming systems. Wallingford, UK, CAB International/ICRISAT/ILRI, p. 41-77.
8. DEMBELE F., 1995. Etude économique de la disponibilité et de l'utilisation des suppléments dans l'alimentation des bovins au Mali. Etude de cas des éleveurs du Cercle de Koutiala. Wageningen, The Netherlands, Wageningen Agricultural University, AB-DLO, 159 p. (Rapport PSS n° 14)
9. DVA (direction de la Vulgarisation agricole), 1997. Fiche technique *Vigna unguiculata* - variétés : Vita 1, Vita3, 58-74. DVA, Ouagadougou, Burkina Faso, 2 p.
10. ESPGRN (équipe Systèmes de production et gestion des ressources naturelles), 1994. Fiche technique de recherche : La culture fourragère de l'association maïs/dolique. Sikasso, Mali, ESPGRN, 19 p.
11. IFAR S., 1996. Relevance of ruminants in upland mixed farming systems in East Java, Indonesia. Ph.D. Thesis, Wageningen Agricultural University, Wageningen, The Netherlands, 139 p.
12. JABBAR M.A., 1993. Evolving crop/livestock farming systems in the humid zone of West Africa: Potential and research needs. *Outlook on Agric.*, **22**: 13-21.
13. KABORE C.Y., 1996. Composition chimique et valeur nutritive des herbacées et ligneux des pâturages naturels soudanais et des sous-produits du Burkina Faso. Thèse Doct. Sci., Université de Ouagadougou, Burkina Faso, 223 p.
14. KETELAARS J.J.M.H., TOLKAMP B.J., 1991. Towards a new theory of feed intake regulation in ruminants. Ph.D. Thesis, Wageningen Agricultural University, Wageningen, The Netherlands, 254 p.
15. KIEMA A., 1994. Etude des petits ruminants dans les systèmes d'élevage traditionnel en zone soudano-sahélienne. Paramètres zootechniques, utilisation des espaces sylvopastoraux par le bétail. Mémoire d'Ing. du Dévelop. Rural, Université de Ouagadougou, Burkina Faso, 137 p.
16. LELOUP S., 1994. Multiple use of rangelands within agropastoral systems in Southern Mali. Ph.D. Thesis, Wageningen Agricultural University, Wageningen, The Netherlands, 101 p.
17. MAE (ministère de l'Agriculture et de l'Élevage), 1990. Enquête nationale sur les effectifs du cheptel. 1. Résultats et analyses. Ouagadougou, Burkina Faso, Mae, 250 p.
18. MARA (ministère de l'Agriculture et des Ressources Animales), 1996. Enquête nationale de statistiques agricoles, rapport général. Ouagadougou, Burkina Faso, Ensa, 100 p.
19. MET (ministère de l'Environnement et du Tourisme), 1991. Plan d'action national pour l'environnement (Pane) - I. Ouagadougou, Burkina Faso, Met, 100 p.
20. NRC, 1988. Nutrient requirements of dairy cattle, 6th rev. ed. Washington, DC, USA, National Academy of Science, 15 p.
21. OUEDRAOGO C.L., 1990. Influence du traitement des pailles à l'urée sur la croissance et la digestibilité chez les petits ruminants. Mémoire d'Ing. du Dévelop. Rural, Université de Ouagadougou, Burkina Faso, 78 p.
22. OWEN E., JAYASURIYA M.C.N., 1989. Use of crop residues as animal feeds in developing countries. *Research and Develop. in Agric.*, **6**: 129-138.
23. PENNING DE VRIES, F.W.T., DJITEYE M.A. (eds.), 1982. La productivité des pâturages sahéliens. Une étude des sols, des végétations et de l'exploitation de cette ressource naturelle. Wageningen, The Netherlands, Wageningen Agricultural University, PUODO-DLO, 525 p. (Agricultural Research Report No. 918)
24. RIVIERE R., 1978. Manuel d'alimentation des ruminants domestiques en milieu tropical. Paris, France, ministère de la Coopération, 519 p. (collection Manuels et précis d'élevage)
25. SHETTY S.V.R., NTARE B.R., BATIONO A., RENARD C., 1995. Millet and cowpea in mixed farming systems of the Sahel: A review of strategies for increased productivity and sustainability. In: Powell J.M., Fernandez-Riviera S., Williams T.O., Renard C. eds., Livestock and sustainable nutrient cycling in mixed farming systems of sub-Saharan Africa. 2. Technical papers. Proc. of Int. Conf., 22-26 November 1993. Addis-Ababa, Ethiopia, ILCA, p. 293-303.
26. SINGH B.B., 1997. Cowpea and its improvement: key to sustainable mixed crop/livestock farming systems in West Africa. In: Renard C. ed., Crop residues in sustainable mixed crop/livestock farming systems. Wallingford, UK, CAB International/ICRISAT/ILRI, p. 79-100.
27. SINGH K., SCHIERE J.B. eds., 1995. Handbook for straw feeding systems. Principles and applications with emphasis on Indian livestock production. New Delhi, India, Indo-Dutch Project on Bioconversion of Crop Residues, 428 p.
28. SUBBA RAO A., PBHU U.H., SAMPATH S.R., SCHIERE J.B., 1994. The effect of allowance on the intake and digestibility of finger millet (*Eleusine corisicana*) straw in crossbred heifers. *Anim. Feed Sci. Tech.*, **49**: 37-41.
29. UNDP, 1997. Human development report 1997. Human development to eradicate poverty. New York, USA, Oxford University Press, 245 p.

30. VAN DUIVENBOODEN N., 1992. Sustainability in terms of nutrient elements with special reference to West Africa. Wageningen, The Netherlands, Wageningen Agricultural University, CABO-DLO, 216 p. (Report No. 160)
31. WINROCK INTERNATIONAL, 1992. Assessment of animal agriculture in Africa. Arkansas, USA, Morrilton, 125 p.
32. ZEMMELINK G., BROUWER B.O., IFAR S., 1992. Feed utilisation and the role of ruminants in farming systems. In: Ibrahim M.N.M, De Jong R., Van Bruchem J., Pumono H. eds., Livestock and feed development in the tropics. Proc. of Int. Semin., Brawijaya University, Malang, Indonesia, 21-25 October 1991, p. 444-451.
33. ZEMMELINK G., ROMNEY D.L., KAITHO R.J., 1999. Dairy farming in Kenya: resources and nitrogen flows. In: 10th Symp. on Tropical Animal health and Production, outcome and perspectives of collaborative research, Faculty of Vet. Med., Utrecht, The Netherlands, 5 November 1999, 5 p.
34. ZONGO P., 1997. Contribution à l'optimisation de l'utilisation des résidus de récoltes dans la province du Zoundwéogo. Mémoire d'Ing. du Dévelop. Rural, option Elevage, Institut Polytechnique de Bobo-Dioulasso, Burkina Faso, 110 p.

Reçu le 22.1.99, accepté le 1.2.00

Résumé

Savadogo M., Zimmelink G., Van Keulen H., Nianogo A. J. Contribution des résidus de récoltes à l'alimentation des ruminants dans différentes zones agro-écologiques du Burkina Faso

Un modèle statique a été utilisé pour évaluer la contribution potentielle des résidus de récoltes à l'alimentation des ruminants dans différentes zones agro-écologiques du Burkina Faso. Les résidus de céréales, comprenant le maïs (*Zea mays* L.), le mil (*Pennisetum glaucum* [L.] R.Br.), le sorgho (*Sorghum bicolor* [L.] Moench) et le riz (*Oryza sativa* L.) représentent 90 à 98 % des quantités totales de résidus de récoltes. Ils présentent de faibles taux de protéine brute (Pb : 4,7 % en moyenne) et une faible digestibilité de la matière organique (dMO : 49,2 % en moyenne). Le reste est constitué des résidus de fanes de niébé (*Vigna unguiculata* [L.] Walp) et d'arachide (*Arachis hypogaea* L.) qui sont de meilleure qualité (Pb : 12,6 à 15,6 %, dMO : 57 à 61 %) ; ceux du voandzou (*Voandzeia subterranea*) sont de valeur intermédiaire (Pb : 6,4 %, dMO : 55 %). Avec les quantités de résidus de récoltes disponibles, un maximum de 8, 54, 98 et 76 % des ruminants, respectivement dans les zones sahélienne, sub-sahélienne, nord et sud-soudanienne, pourraient être entretenus pendant toute la saison sèche. Une utilisation optimale des résidus de récoltes pourrait contribuer de manière significative à l'intensification des productions animales, spécialement dans les zones soudanaises.

Mots-clés : Ruminants - Consommation alimentaire - Céréale - Légumineuse - Résidu de récolte - Capacité de charge - Zone agroclimatique - Burkina Faso.

Resumen

Savadogo M., Zimmelink G., Van Keulen H., Nianogo A. J. Contribución de los residuos de cosechas en la alimentación de los rumiantes en diferentes zonas agroecológicas de Burkina Faso

Se utiliza un modelo estático para evaluar el potencial de la contribución de los residuos de cosechas en la alimentación de los rumiantes, en diferentes zonas agroecológicas de Burkina Faso. Los residuos de las cosechas de cereales, incluyendo maíz (*Zea mays* L.), millo (*Pennisetum glaucum* [L.]R.Br.), sorgho (*Sorghum bicolor* [L.] Moench) y arroz (*Oryza sativa* L.) representan 90 a 98% de la cantidad total de residuos de cosechas. Estos residuos se caracterizan por un bajo contenido de proteína cruda (CP) (4,7% en promedio) y una baja digestibilidad de materia orgánica (OMD promedio de 49,2%). Los residuos de mejor calidad son los tallos de *Vigna unguiculata* ([L.] Walp) y cacahuete (*Arachis hypogaea* L.) con 12,6 a 15,6% CP y 57 a 61% OMD. Los residuos de cacahuete bambara (*Voandzeia subterranea*) tienen un valor intermedio: 6,4% de CP y 55% de OMD. Con las cantidades actuales de los diferentes residuos, se podría alimentar un máximo de 8, 54, 98 y 76% del hato rumiante, a nivel de mantenimiento durante la estación seca, en las zonas Sahelina, sub-Sahelina, Sur-Sudanesa y Norte-Sudanesa, respectivamente. La optimización del uso de los residuos de cosechas en las zonas sudanesas puede contribuir a la intensificación de la producción animal.

Palabras clave: Rumiante - Consumo de piensos - Cereales - Leguminosas - Residuos de cosechas - Capacidad de carga - Regiones agroclimáticas - Burkina Faso.

Evaluer la densité des ligneux par la méthode des distances ? Un problème

Ph. Daget¹ A. Ickowicz² M. Mbaye³

Mots-clés

Pâturages - Mesure - Méthode - Echantillonnage - Végétation - Densité - Plante ligneuse - Zone tropicale.

Résumé

L'estimation de la densité des ligneux dans les savanes est une étape souvent nécessaire dans l'étude de la production de ces pâturages. L'expérience a montré que les observations directes par dénombrement donnaient souvent des valeurs différentes de celles qui sont obtenues par les méthodes Ppi (plus proche individu) et Qcp (quadrant centré sur un point) de la *Plotless method*. Les auteurs montrent que ces divergences sont liées à l'hétérogénéité de la répartition des individus dans l'espace.

■ INTRODUCTION

La méthode d'étude de la végétation proposée par Clark et Evans (2) est connue sous le nom de *Plotless method*, mais aussi de « méthode du quadrant centré sur un point » (Qcp) ou encore de « méthode du plus proche individu » (Ppi). Elle consiste à répartir dans l'unité de végétation à échantillonner 30 à 100 points et à mesurer la distance séparant chacun d'eux de l'individu le plus proche dans le cas de la méthode Ppi ou des quatre individus les plus proches dans celui de la méthode Qcp. La distance moyenne m^* est ensuite calculée ; si la végétation est homogène, la densité — c'est-à-dire le nombre d'individus par unité de surface — est donnée par deux formules :

$$d = \frac{1}{4 m^2} \text{ (méthode Ppi) ou } d = \frac{1}{m^2} \text{ (méthode Qcp)}$$

Cette méthode a été très tôt transposée à l'étude de la strate haute dans les steppes et savanes arborées des régions tropicales (13, 14). Non sans difficultés puisque, dans un travail récent, Ickowicz (11) se heurte encore à des divergences déjà signalées (9, 15, 16) pouvant être importantes entre la densité calculée de cette manière et la « densité vraie » obtenue par le dénombrement complet des individus dans l'unité de végétation. Cette divergence pose un problème sur lequel nous allons insister ici.

1. Cirad-emvt/Cnrs, Campus international de Baillarguet, TA 30/F, 34398 Montpellier Cedex 5, France ; E-mail : philippe.daget@cirad.fr

2. Cirad-emvt/Isra-Lnerv, BP 2057, Dakar, Sénégal
E-mail : ickowicz@telecomplus.sn

3. Isra-Lnerv, BP 2057, Dakar, Sénégal

■ APPROCHE THEORIQUE

Distribution uniforme

Tout d'abord, il faut bien voir que cette méthode ne peut être appliquée qu'à des végétaux aisément dénombrables et faciles à distinguer, donc pas aux graminées ni aux espèces constituant le fond du tapis végétal dans des formations denses : elle n'est pas générale. Mais les auteurs évoqués l'utilisaient pour caractériser la strate arborée de savanes boisées et non pas les strates basses ; ce n'est donc pas sur ce point que le problème se pose.

Ensuite, il faut que la végétation soit « homogène ». Souvent ce terme est pris comme synonyme de « répartie au hasard », ce qui en soit ne signifie pas grand-chose. Il faut spécifier selon quelle loi cette répartition est faite (ou supposée faite) ; le plus souvent il s'agit d'une répartition selon la **loi uniforme**, ou plus brièvement de répartition uniforme. Parfois confondue avec la répartition régulière, la répartition uniforme est telle que les individus de l'espèce examinée ont une probabilité d'occurrence égale en toute unité de surface de la station (6). Il est clair qu'une végétation peut être homogène pour une espèce et ne pas l'être pour une autre. Il existe des méthodes pour analyser les écarts à l'homogénéité d'une végétation, mais au plan phytosociologique cette homogénéité est, le plus souvent, appréciée visuellement (1, 3, 10). C'est à ce niveau que les problèmes se posent.

■ SIMULATIONS

Trois « végétations » ont été simulées sur ordinateur, avec 250 individus répartis dans un carré de 100 m de côté. Par construction donc, la densité est de $250/10\ 000 = 0,025$. Chacune de ces végéta-

tions a été échantillonnée selon la *Plotless method* au moyen de 100 points régulièrement disposés le long de la diagonale ascendante du carré. Une application « inverse » de la définition de la densité permet d'obtenir la distance moyenne théorique attendue, celle qui correspondrait à une distribution uniforme rigoureuse :

$$0,025 = \frac{1}{4 \text{ m}^2} \text{ d'où } m = \sqrt{10} = 3,1623$$

■ La première population artificielle est obtenue par un tirage aléatoire des positions des 250 pieds. La distance moyenne telle qu'elle a été définie plus haut est $m^* = 3,6556$ avec une déviation standard $s = 1,452$. La densité appréciée selon la formule précédente est $d = 0,0187$, valeur très sensiblement plus faible que la valeur vraie. La comparaison de la moyenne calculée avec la moyenne attendue par le test *t* donne :

$$t = \frac{3,6556 - 3,1623}{\frac{1,452}{10}} = \frac{0,4933}{0,1452} = 3,397$$

très nettement supérieure à la valeur liminaire au seuil de 1 p. 100 (2,326). Il y a donc une différence significative entre m^* et sa valeur théorique qui explique la trop faible densité calculée. Pourtant, à l'œil, la répartition des points sur la figure 1 ne semble pas présenter de défaut majeur.

■ Dans une seconde population artificielle obtenue, comme la précédente, par des tirages aléatoires, les résultats sont les suivants :

$$\begin{array}{ll} m^* = 3,1856 & s = 1,83 \\ t = 0,127 & d = 0,0246 \end{array}$$

La différence entre la moyenne calculée et la moyenne attendue n'est pas significative et la densité mesurée est presque égale à la densité théorique.

■ Une population agrégée a été construite en tirant 25 points selon la loi uniforme dans le même espace, puis 9 points selon la loi uniforme autour de chacun d'eux, mais dans un espace dix fois plus petit (figure 2). Les résultats obtenus sont les suivants :

$$\begin{array}{ll} m^* = 4,3945 & s = 2,0597 \\ t = 6,156 & d = 0,0129 \end{array}$$

La différence entre la moyenne calculée et la moyenne attendue est hautement significative ($p < 0,001$) et la densité calculée est voisine de la moitié de la valeur vraie.

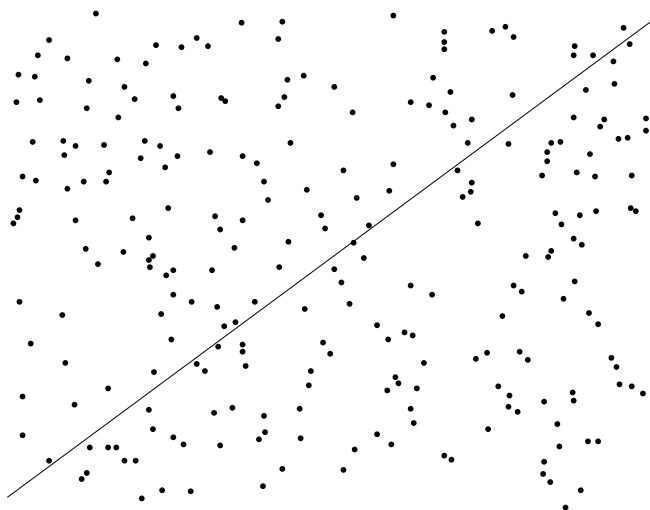


Figure 1 : population artificielle obtenue par tirage des coordonnées des points suivant une loi uniforme.

Commentaires

Le premier et surtout le troisième cas permettent de retrouver les divergences signalées et les modèles présentés conduisent à la réponse déjà formulée par Piélou (12) : « *The formula is an estimator of the density only when the population has a random process (c'est à dire une répartition uniforme) so it can be used only if we can safely assume that a pattern is indeed random.* » Donc la mesure de la densité est bonne dans le deuxième cas parce qu'il présente une répartition uniforme, elle est médiocre dans le premier cas qui s'en écarte faiblement et mauvaise dans le troisième cas parce qu'il n'est absolument pas uniforme. Elle est mauvaise dans les steppes et les savanes, comme elle le serait dans la plupart des végétations spontanées car les individus des diverses espèces n'y sont pas répartis de manière uniforme dans la plupart des cas (7).

Sous le nom de coefficient de variation, le rapport de la variance à la moyenne est souvent pris comme un indice de la dispersion des données :

$$I = \frac{\text{VAR}}{\text{MOY}}$$

mais on utilise aussi (14) :

$$d = (k - 1) I = (k - 1) \frac{\text{VAR}}{\text{MOY}}$$

et (15) :

$$I^* = I - 1$$

Lorsque les individus sont distribués de manière homogène, l'indice *I* n'est pas significativement différent de 1, l'indice *I** de 0 et *d* de $k - 1$; pour cela, il faut que la statistique

$$x^2 = \frac{d}{(k - 1)}$$

ne soit pas significativement différente du χ^2 à $k - 1$ ddl (5), mais cela ne suffit pas. C'est ainsi que différentes itérations de la modélisation de populations agrégées ont donné des indices très élevés — supérieurs à 5 — mais aussi des indices voisins de 1.

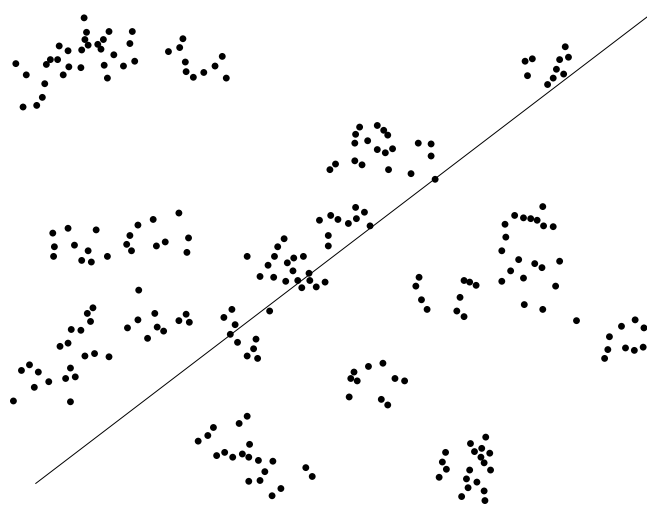


Figure 2 : population artificielle obtenue par tirage des coordonnées des points suivant une loi agrégative forte.

■ MISE EN PRATIQUE

Matériel et Méthodes

Une application pratique est proposée sur des mesures effectuées en Haute Casamance dans la région de Kolda, au Sénégal. Dans cette végétation de savane arbustive, deux lignes perpendiculaires de 120 m se croisant en leur centre ont été mises en place ; sur ces lignes, un point d'observation a été pris tous les 10 m, plus un point central, soit un total de 25 points d'observation. De chaque point, la distance au pied le plus proche a été mesurée en mètres, en retenant successivement les arbres, les arbustes et les buissons, sans tenir compte de leur nature spécifique.

Résultats

Arbres

Distances

5,00	1,05	3,80	6,95	5,25	6,25	3,80
1,00	2,26	1,04	2,96	6,00	3,97	2,00
4,55	3,00	4,40	0,96	4,60	3,00	2,84
9,80	4,12	2,35	4,75			

Statistiques sur les distances

Effectif	25
Maximum	9,80
Minimum	0,96
Ecart absolu	8,84
Moyenne	3,828
Variance	4,3579
Déviat. standard	2,0876
Déviat. moyenne	1,5763
Médiane	3,80

Effectif réel sur un hectare : 140

Densité vraie : 0,014

Distance moyenne théorique : 4,2277

Distance moyenne observée : 3,828

Test t sur les distances :

$$t = \frac{3,828 - 4,2277}{\frac{2,08757}{5}} = 0,96$$

$t < 1,96$ donc la différence observée n'est pas significative et par suite les individus arborés peuvent être considérés comme répartis uniformément, la formule de calcul de la densité était applicable, elle donne $d = 0,01706$.

Arbustes

Distances

1,30	2,42	2,46	2,50	2,92	3,70	3,20
8,72	1,40	1,05	0,66	2,10	2,60	1,66
1,05	0,84	2,15	3,55	2,20	0,50	1,90
8,10	2,34	2,67	4,50			

Statistiques sur les distances

Effectif	25
Maximum	8,72
Minimum	0,50
Ecart absolu	8,22
Moyenne	2,4196
Variance	2,6834
Déviat. standard	1,6381
Déviat. moyenne	1,01
Médiane	2,20

Effectif réel sur un hectare : 797

Densité vraie : 0,0797

Distance moyenne théorique : 1,7711

Distance moyenne observée : 2,4196

Test t sur les distances :

$$t = \frac{2,4196 - 1,77109}{\frac{1,6381}{5}} = 1,9795$$

$t > 1,96$ donc la différence observée est (tout juste) significative et par suite les individus arbustifs ne peuvent être considérés comme répartis uniformément, la formule de calcul de la densité n'était pas applicable, en fait elle donne $d = 0,0427$.

Buissons

Distances

0,05	0,11	0,10	0,64	0,52	0,40	0,40
0,50	0,20	0,50	0,44	0,20	0,40	0,27
0,05	0,35	0,45	0,65	0,42	0,05	0,30
0,40	0,45	0,30	0,05			

Statistiques sur les distances

Effectif	25
Maximum	0,65
Minimum	0,05
Ecart absolu	0,60
Moyenne	0,328
Variance	0,3398
Déviat. standard	0,1843
Déviat. moyenne	0,1542
Médiane	0,40

Effectif réel sur un hectare : 13 732

Densité vraie : 1,373

Distance moyenne théorique : 0,4267

Distance moyenne observée : 0,328

Test t sur les distances :

$$t = \frac{0,328 - 0,427}{\frac{0,1843}{5}} = -2,685$$

$|t| > 2,326$ donc la différence observée est hautement significative et par suite les individus d'arbrisseaux ne peuvent pas du tout être considérés comme répartis uniformément, la formule de calcul de la densité n'était pas applicable, en fait elle donne $d = 2,324$, près du double de la densité vraie.

Discussion

Pour 25 valeurs, les limites du χ^2 sont 42,98 et 10,86 au seuil de 99 p. 100 et de 36,42 et 13,85 au seuil de 95 p. 100 ; rapportés aux indices de dispersion, ils deviennent respectivement 1,791 - 0,453 et 1,518 - 0,577.

- pour les arbres, on a

$$I = \frac{0,034}{0,33} = 0,102$$

valeur supérieure à l'unité donc traduisant une surdispersion ; comprise entre 1,518 et 0,577, cette surdispersion n'est pas significative ;

- pour les arbustes, avec

$$I = \frac{2,68}{2,42} = 1,112$$

les conclusions sont identiques ;

- pour les buissons,

$$I = \frac{0,034}{0,33} = 0,102$$

cette valeur inférieure au seuil le plus bas (0,453) traduit une sous-dispersion hautement significative des individus.

En définitive, les mesures de distances des deux premiers cas peuvent autoriser l'utilisation de la formule d'évaluation de la densité ; ce n'est pas possible pour les buissons et dans ce cas, il faut procéder par une autre approche.

La distance calculée à partir de la densité réelle dans le cas des arbustes est plus petite que la distance moyenne théorique ; cela devrait correspondre à une sous-dispersion alors que le calcul traduit une surdispersion. Ce fait tient à ce que le calcul porte sur les individus à proximité du dispositif et que l'évaluation directe porte sur tous les individus de l'hectare.

■ CONCLUSION

Comme Cottam et coll. (4) l'avaient annoncé, les problèmes rencontrés dans l'utilisation de la *Plotless method* pour l'estimation de la densité de la végétation ont pour origine la structure irrégulière de la répartition des individus dans l'espace et les formules ne constituent pas « *an estimator of the density only when the population has a random pattern* » comme le dit Piéou (12). Mais sa conclusion « *It is not possible in practice to estimate density of natural population of organism... distance measurement alone are not enough and we must also carry out quadrat sampling or complete count of population* » est excessive et nous verrons dans quelques notes ultérieures comment il peut être possible d'éviter de compléter les « mesures » de la densité par l'examen exhaustif de quadrats (11). En pratique, après un échantillonnage par la *Plotless method*, une estimation de l'indice de dispersion et un simple test statistique permettent de porter un jugement sur la fiabilité de l'estimation de la densité pouvant en être déduite.

BIBLIOGRAPHIE

1. BRAUN-BLANQUET J., 1928. Pflanzensoziologie. Berlin, Allemagne, Springer, 330 p.
2. CLARK P. EVANS F., 1954. Distance to nearest neighbour as a measure of spatial relationships in populations. *Ecol.*, **35**: 445-455.
3. CONTANDRIOPOULOS J., 1962. Recherche sur la flore endémique de la Corse et sur ses origines. *Ann. fac. Sci. Marseille*, **32** : 1-354.
4. COTTAM G., CURTIS J., HALE B., 1953. Some sampling characteristics of a population of randomly dispersed individuals. *Ecol.*, **34**: 741-757.
5. COX D., LEWIS P., 1969. L'analyse statistique des séries d'événements. Paris, France, Dunod, 272 p.
6. DAGET P., 1976. Répartition des présences dans une série d'unités d'échantillonnage, application à l'analyse de l'homogénéité. *Nat. Monspelienis*, **26** : 95-108.
7. DAGET P., 1978. Ecologie générale et prairie permanente, de la réflexion fondamentale à l'application. Thèse d'Etat, Université Montpellier II, Montpellier, France, 208 p.
8. DAVID F., MOORE P., 1954. Notes on contagious distributions in plant populations. *Ann. Bot.*, **18**: 47-53.
9. GUERIN H., 1994. Valeur alimentaire des fourrages ligneux consommés par les ruminants en Afrique centrale et de l'Ouest. Maisons-Alfort, France, Cirad-emvt, 350 p.
10. GUINOCHET M., 1974. Phytosociologie. Paris, France, Masson, 227 p.
11. ICKOWICZ A., 1995. Approche dynamique du bilan fourrager appliquée à des formations pastorales du Sahel tchadien. Thèse Doct., Université Paris XII, Paris, France, 475 p.
12. PIELOU E., 1980. Biogeography. New York, NY, USA, John Wiley, 351 p.
13. POISSONET J., TOURE I., 1986. Eléments pour une étude qualitative et quantitative de la végétation du Ferlo sénégalais. In : Séminaire régional sur la dynamique et l'évolution des écosystèmes pastoraux. Dakar, Sénégal, Fapis/Unesco, 12 p.
14. SEN A., TOURIGNY J., SMITH G., 1974. On the transect sampling method. *Biometrics.*, **30**: 329-340.
15. TOURE I., Gillet H., 1989. Techniques d'inventaire des ligneux et d'estimation de la biomasse ligneuse appréciée. In : Compte-rendu du séminaire régional sur les fourrages et l'alimentation des ruminants, Maisons-Alfort, France. Maisons-Alfort, France, lemvt, p. 251-263.16. WALKER B., 1970. An evaluation of eight methods of botanical analysis on grassland in Rhodesia. *J. Appl. Ecol.*, **7**: 403-416.

Reçu le 13.7.99, accepté le 24.2.00

Summary

Daget P., Ickowicz A., Mbaye M. Evaluation of the density of the ligneous by distance-methods? A problem

The estimation of ligneous density in savannah is a necessary step in the study of the production of these pasture lands. The experience showed that direct observations by counting often gave different values from those obtained with PPI and QCP of the Plotless method. The authors show that these divergences are linked to the heterogeneity of the stems distribution in the space.

Key words: Pastures - Measurement - Methods - Sampling - Vegetation - Density - Woody plants - Tropical zones.

Resumen

Daget P., Ickowicz A., Mbaye M. ¿Evaluar la densidad de los leñosos mediante el método de las distancias? Un problema

La estimación de los leñosos en las sabanas es una etapa a menudo necesaria en el estudio de la producción de estos pastizales. La experiencia ha mostrado que las observaciones directas por conteo dan a menudo valores diferentes de los obtenidos mediante los métodos PPI (del individuo más cercano) y QCP (del cuadrante centrado sobre un punto) del *Plotless method*. Los autores demuestran que estas divergencias están ligadas a la heterogeneidad de la repartición de los individuos en el espacio.

Palabras clave: Pastizales - Medición - Métodos - Muestreo - Vegetación - Densidad - Plantas leñosas - Zona tropical.

Evaluer la densité des ligneux par la méthode des distances ? Un estimateur

Ph. Daget ¹ A. Ickowicz ²

Mots-clés

Pâturages - Mesure - Méthode -
Echantillonnage - Végétation - Densité -
Plante ligneuse - Zone tropicale.

Résumé

Les auteurs reprennent un estimateur de la densité à partir d'observations proches de celles des *Plotless methods*, en montrant le fonctionnement et l'applicabilité au cas des ligneux dans les savanes.

■ INTRODUCTION

La précédente note (6) a mis en évidence l'origine de la distorsion observée entre la densité calculée à partir des formules de Clarks et Evans (4) et la densité vraie correspondant au dénombrement réel des individus sur un hectare. Cependant, les mesures de densité restent très employées par les spécialistes de la faune sauvage, particulièrement par les ornithologues (7), ainsi que par des forestiers cherchant à évaluer le volume de matière combustible en sous-bois (9). De telles mesures peuvent aboutir à des valeurs réalistes par l'emploi d'**estimateurs**. Crain et coll. (8) ont émis une proposition qui a fait l'objet d'analyses mathématiques approfondies (1, 5). Nous en proposons ici une présentation pratique « débarrassée » des considérations théoriques que le lecteur intéressé pourra trouver dans les travaux cités ci-dessus.

■ REALISATION DES MESURES

Principe des observations

Avant tout, il est nécessaire que les observations soient bien normalisées. On matérialise sur le terrain une « base » de longueur L (en général, $L = 100$ m, mais ce n'est pas indispensable). On fixe ensuite le nombre N de points de mesure sur la base ($N = 40$ est commode).

L'étape suivante consiste à mesurer, **en face de chaque point et perpendiculairement à la ligne**, la distance à la base du pied de l'individu le plus proche, soit d'un côté, soit de l'autre (figure 1).

Le fait que la distance soit mesurée au droit des points constitue la différence entre cette méthode et celle, originale, de Clark et Evans (4).

Enfin, toutes les distances Z_j supérieures à un seuil W fixé *a priori* (il est commode de prendre $W = 65$ m) sont éliminées ; on ajoute des observations de manière à en avoir exactement n . Les calculs se font donc sur une distribution tronquée des Z_j .

En définitive, au retour du terrain, on a donc 40 mesures Z_j , toutes inférieures à 65 m, à partir desquelles il faut évaluer la densité en nombre moyen d'individus à l'hectare.

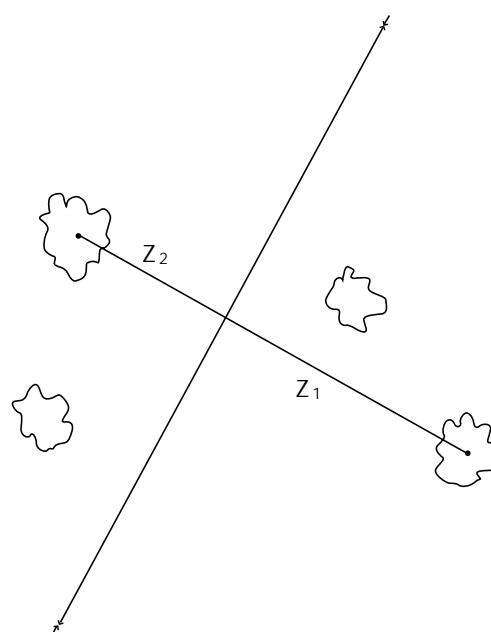


Figure 1 : dispositif d'observation sur le terrain ; comme $Z_2 < Z_1$, la distance retenue est Z_2 .

1. Cirad-emvt/Cnrs, Campus international de Baillarguet, TA 30/F, 34398 Montpellier Cedex 5, France ; E-mail : philippe.daget@cirad.fr

2. Cirad-emvt/Isra-Lnerv, BP 2057, Dakar, Sénégal
E-mail : ickowicz@telecomplus.sn

Réalisation pratique

De telles observations sont grandement facilitées par l'emploi d'un matériel d'arpenteur ou de géomètre : jalons colorés, viseurs, équerres d'arpenteur, rouleaux de fil et hectomètre à ruban... Mais on pourra suppléer les viseurs et l'équerre par une « boîte de visée » (figure 2).

Quel que soit le moyen utilisé, matériel d'arpenteur ou bricolé, on matérialise en premier lieu la « base », c'est-à-dire une ligne droite de longueur L par N jalons alignés au moyen de la boîte de visée.

Compte tenu des valeurs recommandées pour L et N, on alignera 40 jalons séparés de 33 pas ; en effet, 33 pas de 0,75 m font 25 m, cette distance reproduite 40 fois donne une longueur de 1 000 m.

Cela fait, la boîte de visée est positionnée à l'emplacement de chaque jalon pour déterminer l'individu le plus proche dans la visée perpendiculaire à la base. Pour cela, il faut viser le tronc des arbres (ou des palmiers) ou la souche des ligneux multicaules successivement d'un côté puis de l'autre et ne retenir que la plus faible des deux distances. Il est clair que deux personnes sont nécessaires pour aboutir à un résultat. Les opérations sont assez longues, mais moins que le dénombrement total du contenu d'un hectare de densité appréciable.

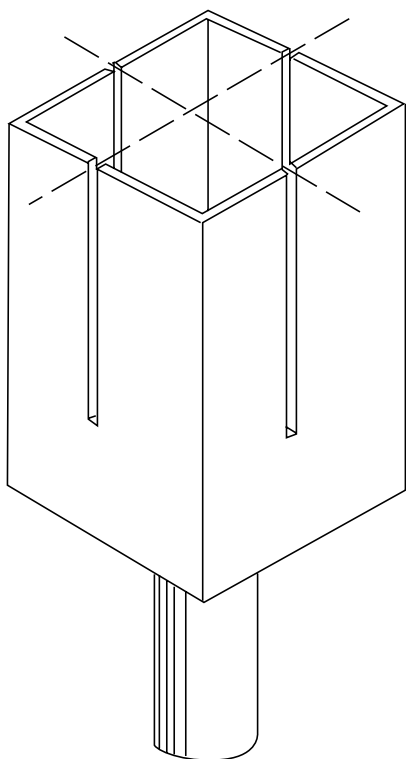


Figure 2 : pour construire une « boîte de visée », joindre par un trait de scie les milieux des côtés d'une boîte en bois de section carrée, un peu plus haute que large, sur les trois-quarts de la hauteur et ébarber les bords des fentes ainsi faites. Marquer puis perforer le centre du fond de la boîte et la fixer par une vis sur un manche droit et rigide (un manche à balai par exemple). Cette boîte peut tenir lieu de viseur d'alignement et d'équerre optique. Les jalons pourront être remplacés par des individus munis d'une petite feuille de papier coloré placée dans une fente faite à l'une des extrémités.

Au laboratoire

L'estimateur

Crain et coll. (5) montrent que la densité D peut être approchée par :

$$D = \frac{n f(0)}{2L}$$

expression dans laquelle :

$$f(0) = \frac{1}{W} + \sum_{i=1}^{40} \frac{2}{WN} \sum_{j=1}^3 \cos \frac{k\pi Z_j}{W}$$

Dans cette formule, les cosinus s'introduisent par l'intermédiaire des séries de Fourier. L'expression peut paraître complexe, surtout que les angles sous le signe « cosinus » doivent être exprimés en radians, mais le petit programme ci-dessous montre, par sa brièveté, qu'il n'en est rien :

```

20  A (1) = 0 : A (2) = 0 : A (3) = 0
30  Y = 0 : W = 65 : N = 40 : L = 1000
50  FOR I = 1 TO N
60      INPUT « Distance » ; Z
70      FOR J = 1 TO 3
80          T = J * π * Z / W
90          T = COST T
110         Y = Y + T
120     NEXT J
130 NEXT I
140  K = (1/W) + [(Y * 2) / (W * N)]
150  D = N * K / (2 * L)
160  PRINT « Densité = » ; D
170  PRINT « Individus par ha : » ; D * 10000
180  END

```

Simulation

Une observation

Elle est proposée par Crain (5) ; dans une population dont la densité vraie est de 5,04 par ha, les 40 distances mesurées sur 1 km sont :

24,10	10,98	8,30	48,56	48,05
32,92	43,20	27,61	32,68	17,48
8,53	27,26	25,25	23,56	14,99
36,76	14,27	16,25	24,78	37,84
2,14	61,88	59,69	44,42	5,32
37,61	36,33	25,31	6,94	27,73
0,0	5,99	3,05	13,18	23,71
43,16	16,28	9,06	41,01	7,95

L'application à ces données des relations précédentes donne :

$$D = 0,0044923 \text{ soit } 4,49 \text{ individus} \cdot \text{ha}^{-1}$$

Par rapport à la densité vraie de 5,04, l'erreur relative est de 11 p. 100, ce qui est assez faible en regard des erreurs relevées d'après l'application de la méthode de Curtis (4).

Signalons également qu'à partir du même type d'observation, Chessel (2, 3) a proposé un mode d'interprétation différent conduisant à caractériser le mode de distribution, contagieux ou non, dans les populations végétales — notamment steppiques — mais il n'allait pas jusqu'à la densité nécessaire à l'estimation des potentialités pastorales.

■ CONCLUSION

La méthode de Crain, plus simple qu'elle ne paraît, permet les mesures de densité dont les pastoralistes font usage, avec un biais relativement faible et compatible avec les autres incertitudes inhérentes à l'évaluation de la ressource constituée par les ligneux fourragers des savanes sèches.

BIBLIOGRAPHIE

1. BURNHAM K., ANDERSON D., 1976. Mathematical models for non parametric inferences from line transect data. *Biometrics*, **32**: 325-336.
2. CHESSEL D. L'échantillonnage d'une population d'individus dénombrables. Université C. Bernard, dép. de Biologie générale et appliquée, Lyon, France, 23 p.

3. CHESSEL D., 1973. Mesure de la contagion vraie en échantillonnage par carrés dans l'analyse des populations végétales. *Comptes-rendus Acad. Sci.*, Paris, France, **277** : 1483-1486.
4. CLARK P. EVANS F., 1954. Distance to nearest neighbour as a measure of spatial relationships in populations. *Ecol.*, **35**: 445-455.
5. CRAIN B., BURNHAM K., ANDERSON D., LAAKE J., 1978. A Fourier series estimator of population density for line transect sampling. Ville : Salt Lake City, UT, USA, Utah State University Press, 25 p.
6. DAGET Ph., ICKOWICZ A., MBAYE M., 1999. Evaluer la densité des ligneux par la méthode des distances ? Un problème. *Revue Elev. Méd. vét. Pays trop.*, **52** : 263-266.
7. EMLÉN J., 1971. Population densities of birds derived from transect counts. *The auks*, **88**: 323-342.
8. GATES C., MARSHALL W., OLSON D., 1968. Line transect method of estimating grouse population densities. *Biometrics*, **24**: 135-145.
9. VAN WAGNER C., 1968. The line intersect method in forest fuel sampling. *Forest Sci.*, **14**: 20-26.

Reçu le 13.7.99, accepté le 24.2.00

Summary

Daget P., Ickowicz A. Evaluation of the density of the ligneous by distance-methods? An estimator

The authors take up again an estimation mean of the ligneous density in savannah from observations close to "Plotless" method ones and show its functioning and applicability.

Key words: Pastures - Measurement - Methods - Sampling - Vegetation - Density - Woody plants - Tropical zones.

Resumen

Daget P., Ickowicz A. ¿Evaluar la densidad de los leñosos por el método de las distancias? Un estimador

Los autores toman un estimador de la densidad a partir de observaciones próximas a las « *Plotless methods* », demostrando el funcionamiento y la aplicabilidad en caso de los leñosos de las sabanas.

Palabras clave: Pastizales - Medición - Métodos - Muestreo - Vegetación - Densidad - Plantas leñosas - Zona tropical.

Evaluer la densité des ligneux par la méthode des dénombrements ? Une difficulté

Ph. Daget ¹

Mots-clés

Pâturages - Mesure - Méthode - Echantillonnage - Végétation - Densité - Recensement - Plante ligneuse - Zone tropicale.

Résumé

La densité des ligneux dans les savanes est parfois estimée par des dénombrements dans des aires échantillons. Les auteurs montrent que cette approche n'est pas sans risque de biais liés à l'hétérogénéité de leur répartition.

■ INTRODUCTION

La première de ces notes relative à la densité (3) a mis en évidence l'origine de la distorsion observée entre la densité calculée à partir des formules de Clark et Evans (1) et la densité vraie correspondant au dénombrement réel des pieds sur un hectare. Aussi certains observateurs ont-ils été conduits à penser que la seule approche possible de la densité était le dénombrement exact des individus présents sur un hectare (5). Mais c'est là une approche qui devient excessivement laborieuse dès que le nombre d'individus est abondant ; de plus, elle n'est pas sans risque de biais.

■ APPROCHE THEORIQUE

Lorsque les individus sont répartis uniformément dans l'espace, leur nombre par unité de surface (par quadrat) suit une loi de Poisson (4), dite souvent loi de l'hématimètre, dans les situations de ce type. Plus le quadrat est grand, plus la loi de Poisson correspondante est proche d'une loi normale.

La loi de Poisson se caractérise par un coefficient de variation égal à 1, avec :

$$CV = \frac{VAR}{MOY}$$

En d'autres termes, la variance de cette loi est égale à sa moyenne ; compte tenu du nombre k d'échantillons, l'indice de dispersion caractéristique de la distribution (2) s'écrit :

$$I = \frac{(k - 1) VAR}{MOY}$$

où k est le nombre d'unités d'échantillonnage, donc ici de placeaux. Cet indice prend la valeur $k - 1$ dans le cas de la loi de Poisson — lorsque la répartition des individus est uniforme —, une valeur inférieure dans les cas de répartition presque régulière (on parle alors de « surdispersion ») et supérieure quand il y a répartition agrégée (c'est une « sous-dispersion »). Il existe un test standard pour vérifier si les k valeurs correspondent à une distribution agrégée ou non (2) ; il est fondé sur la statistique d :

$$d = \frac{\sum (n_i - m)^2}{m} \quad \text{ou} \quad d = \frac{I}{k - 1}$$

« La loi de χ^2 à $k - 1$ degrés de liberté constitue une bonne approximation pour la loi de d sous hypothèse nulle. » (6)

La mise en œuvre de ce test est très simple (2). Supposons que l'inventaire de 5 placeaux ait donné les valeurs 12, 18, 25 et 32 individus, la moyenne est 18,4 ; on calcule :

$$d = \frac{\sum (n_i - m)^2}{m} = \frac{6,4^2 + 0,4^2 + 6,6^2 + 13,2^2 + 13,6^2}{18,4}$$

$$d = \frac{449,2}{18,4} = 24,4$$

Aux seuils de 5 et 1 p. 100, avec 4 degrés de liberté, les valeurs liminaires du χ^2 sont respectivement 11,1 et 15,1 ; d étant supérieur à la plus forte de ces limites, il est hautement significatif. En d'autres termes, il y a moins d'une chance sur 100 que les cinq valeurs observées soient la traduction d'une répartition homogène des individus ligneux de la station ; cette hypothèse doit donc être rejetée en faveur de celle d'une distribution agrégative.

Cependant, en raison des risques de première et de seconde espèce, avoir trouvé une différence significative sur un échantillon signifie qu'il est improbable que la répartition des individus soit homogène, mais c'est malgré tout possible ; avoir trouvé une différence

1. Cirad-emvt/Cnrs, Campus international de Baillarguet, TA 30/F, 34398 Montpellier Cedex 5, France ; E-mail : philippe.daget@cirad.fr

non significative indique qu'il est vraisemblable que la répartition des individus soit homogène, mais il est possible qu'elle ne le soit pas. Les statisticiens ont mis au point des méthodes pour se prémunir contre ces deux risques, mais elles seraient d'une mise en place trop lourde dans la pratique quotidienne du terrain.

Lorsque pour $k = 5$ la valeur de d est inférieure à 0,5, l'hypothèse de la répartition uniforme doit être rejetée et la répartition des individus considérée comme presque régulière ; le calcul de la densité ne pose alors aucun problème.

Pour calculer la densité exprimée en nombre d'individus par hectare, une règle empirique en quatre points peut être suivie :

- l'inventaire de 10 placeaux de 100 m² chacun est effectué ;
- les résultats sont répartis en 2 lots de 5 placeaux qui sont traités selon la manière décrite ;
- si les 2 lots donnent le même résultat (rejet ou non), ce résultat est retenu comme définitif ;
- si les résultats sont différents, un troisième lot de 5 placeaux vient trancher.

Si l'homogénéité est retenue, la densité est immédiatement donnée par :

$$D = 100 \frac{\text{MOY1} + \text{MOY2}}{2}$$

Si elle ne l'est pas, deux voies peuvent être suivies. La première, la plus simple, consiste à retenir la médiane des valeurs utilisées :

$$D = 100 \text{ MED}$$

L'autre est de calculer les fréquences des différents effectifs à partir de la fonction binomiale négative de mêmes paramètres ; c'est une affaire de spécialistes...

■ MISE EN PRATIQUE

Dans une végétation arborée, on a dénombré les individus dans 2 séries de 5 placeaux ayant chacun 10 m de côté. Les effectifs trouvés sont, respectivement :

Série 1 :	20	6	24	18	14
Série 2 :	25	17	23	14	22

Les résultats sont les suivants :

Moyenne	16,4	20,2
Variance	187,2	82,8
χ^2	11,41	4,099
Coefficient de variation	2,85	1,024
Signification	*	ns

Il y a une divergence entre les niveaux de signification des deux séries ; une troisième vient trancher :

Série 2 :	25	17	23	14	22
Série 3 :	19	18	14	25	24

Summary

Daget Ph. Evaluation of the density of the ligneous by the count-plot analysis? A difficulty

The density of ligneous in savannah is sometimes estimated by counting in some sample areas. The authors show that this approach has a risk of bias linked to the heterogeneity of the stem distribution in the space.

Key words: Pastures - Measurement - Methods - Sampling - Vegetation - Density - Census - Woody plants - Tropical zones.

D'où une moyenne de 20, un coefficient de variation de 1,025 et un χ^2 de 4,1, non significatif.

Dans ces conditions, la médiane des trois valeurs — soit 20 — constitue la meilleure estimation du nombre d'individus par placeau; s'il y a 20 individus sur 100 m², la densité est de 2 000 individus/ha⁻¹.

■ CONCLUSION

La méthode présentée ici permet d'obtenir rapidement une réponse sur l'homogénéité de la répartition spatiale des ligneux (ou des individus d'une espèce particulière) dans une station, par de simples comptages en nombre réduit. Dans le cas où l'homogénéité pourrait être admise, elle donnerait la densité. Dans les autres cas, la notion de densité perd sa signification car elle est alors variable dans l'espace et le temps de manière parfois prévisible (brousse tigrée), parfois imprévisible.

Les tests proposés sont très simples et peuvent être effectués sur le terrain à l'aide d'une calculette de poche ou d'une règle à calcul (appareil presque oublié mais qui ne tombe jamais en panne puisque sans pile !). Il serait possible d'obtenir plus de précision dans les résultats par des tests exacts (2), mais le gain obtenu ne semble pas proportionné à la lourdeur des opérations.

En ce qui concerne les limites de la méthode, elles résultent clairement des formules utilisées. En effet, pour 5 effectifs, les valeurs minimales qui peuvent être trouvées sont :

1 0 0 0

d'où une moyenne minimale de 0,2 par placeau ; la suite dépend de la taille des placeaux. S'ils ont 100 m² comme dans l'exemple précédent, la densité minimale analysable est de 20 individus/ha⁻¹. S'il faut traiter des densités plus faibles, il faudra envisager des placeaux plus grands, ou plus nombreux.

BIBLIOGRAPHIE

- CLARK P. EVANS F., 1954. Distance to nearest neighbour as a measure of spatial relationships in populations. *Ecol.*, **35**: 445-455.
- COX D., LEWIS P., 1969. L'analyse statistique des séries d'événements. Paris, France, Dunod, 272 p.
- DAGET Ph., ICKOWICZ A., MBAYE M., 1999. Evaluer la densité des ligneux par la méthode des distances ? Un problème. *Revue Elev. Méd. vét. Pays trop.*, **52** : 263-266
- GIRAULT M., 1965. Processus aléatoires. Paris, France, Dunod, 152 p. (Coll. Probabilités, statistiques et recherche opérationnelle)
- PIELOU E., 1980. Biogeography. New York, NY, USA, John Wiley, 351 p.
- RAO C., CHAKRAVATI I., 1956. Some sample tests of significance for a Poisson distribution. *Biometrics*, **12**: 264-282.

Reçu le 13.7.99, accepté le 24.2.00

Resumen

Daget Ph. ¿Evaluar la densidad de los leñosos mediante el método de conteo? Una dificultad.

La densidad de los leñosos en las sabanas se estima a veces por conteo en las áreas de muestra. Los autores muestran que este enfoque no deja de presentar un riesgo de sesgo ligado a la heterogeneidad de la repartición.

Palabras clave: Pastizales - Medición - Métodos - Muestreo - Vegetación - Densidad - Conteo - Plantas leñosas - Tropical zones.

Evaluer la diversité du paysage des pâturages africains

M. Godron ¹ J. Poissonet ² Ph. Daget ²

Mots-clés

Pâturages - Mesure - Méthode - Paysage - Zone tropicale.

Résumé

La diversité d'un paysage peut être mesurée par une application de la théorie de l'information à l'analyse d'un panorama découpé en plans selon les facettes géomorphologiques et les types de végétation. Des applications sont proposées sur des paysages d'Afrique tropicale septentrionale.

■ INTRODUCTION

Il est souvent écrit que l'ensemble des paysages d'Afrique est très divers. Il est plus difficile de dire dans quelle mesure chacun de ces paysages est divers ou, au contraire, uniforme. C'est tout le problème de la qualification de la diversité et de la valeur des paysages d'Afrique qui est ainsi posé, mais l'expérience montre que les critères qui permettent de juger de la qualité d'un paysage naturel sont rarement précisés. Cette diversité dépend de nombreux paramètres tels que, par exemple, le nombre et la nature des principaux éléments qui peuvent être retenus : arbres, herbes, fleurs, animaux, maisons, rochers, eau, relief, leur forme ou leur couleur.

En face d'un paysage de savane ou de steppe, l'importance accordée à ces paramètres sera variable suivant les individus et le niveau de perception. Heureusement, il existe une méthode (1, 3) offrant la possibilité d'en analyser la diversité en fonction de paramètres simples. On examine le nombre et la disposition des « plans » déterminés par le relief du sol et par la végétation, au sens où l'on parle en photographie du premier plan, du second plan.

C'est cette méthode qui va être reprise ici sur des exemples plus familiers aux africanistes que ceux qui illustraient le travail original.

■ PRINCIPES ET METHODES

Pour être plus précise, l'analyse sera limitée à une fraction du paysage correspondant à celle qui entre dans le champ d'un appareil photographique de focale normale (soit 50 mm pour un appareil de format 24 x 36). La présence ou l'absence de chaque plan (au sens

de « premier plan », « deuxième plan », déterminés par les facettes du relief et de la végétation) sera examinée dans chaque maille d'une grille de « carrés » contigus tracés sur la photographie. Ce qui revient à répondre à la question : le plan A est-il présent dans la maille ? Chacune des réponses apporte, selon la définition classique de la théorie de l'information (2), une unité d'information appelée *shannon* (autrefois *binon*) ; quand on examine plusieurs carrés, l'information recueillie croît comme le logarithme du nombre de cas possibles, équiprobables a priori.

Considérons d'abord un plan A et 8 carrés contigus en deux rangées. Si le plan A n'est présent qu'une seule fois, il peut occuper 8 positions différentes (figure 1) et l'information correspondante est, par définition, égale à :

$$I = \log_2 8 = 3 \text{ shannons}$$

Puis le plan B présent dans deux mailles peut l'être de 28 manières différentes (figure 2) et l'information correspondante est égale à :

$$I = \log_2 28 = 4,8 \text{ shannons}$$

Si les 8 positions du plan A et les 28 positions du plan B sont combinées entre elles, on obtient $8 \times 28 = 224$ cas possibles. L'information correspondante devient :

$$I = \log_2 224 = 7,8 \text{ shannons}$$

On vérifie bien que l'information relative au plan A s'ajoute à celle du plan B, puisque :

$$\log_2 224 = \log_2 (8 \times 28) = \log_2 8 + \log_2 28 = 3 + 4,8 = 7,8$$

Plus généralement, si le plan A est présent A fois dans S mailles, le nombre de cas possibles est :

$$C_S^A = \frac{S!}{A!(S-A)!}$$

et l'information est, avec les mêmes conventions :

$$I_A = \log_2 C_S^A$$

1. Institut de Botanique de l'Université Montpellier II, Montpellier, France ; actuellement La Graineterie, 18410 Brinon sur Sauldre, France ; E-mail : michel.godron@libertysurf.net

2. Cirad-emvt/Cnrs, TA 30/F, Campus international de Baillarguet, 34398 Montpellier Cedex 5, France ; E-mail : philippe.daget@cirad.fr

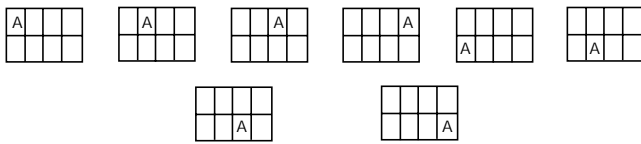


Figure 1 : le plan A, présent une seule fois, peut occuper 8 positions.

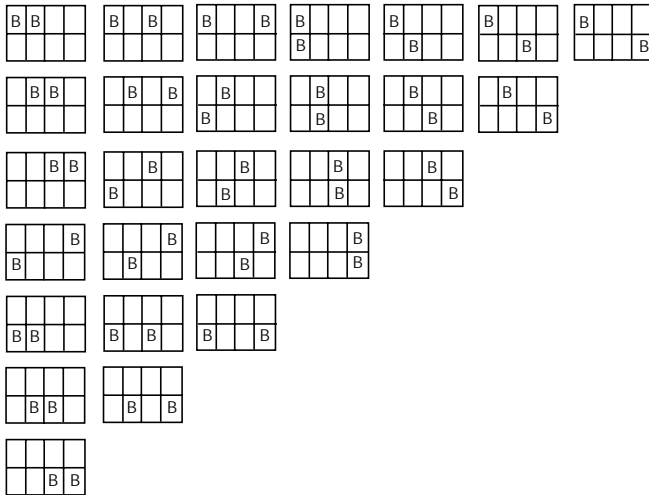


Figure 2 : le plan B est présent dans 2 carrés, d'où 28 combinaisons possibles.

En définitive, pour l'ensemble des plans A, B, C ... J, présents sur une photographie, l'information totale est :

$$I = I_A + I_B + I_C + \dots + I_J$$

Si le plan A n'est pas présent sur le cliché, ou s'il est présent dans toutes les mailles, il n'apporte aucune diversité au paysage :

$$C_8^0 = 1 \text{ et } I_A = \log 1 = 0$$

Si le plan A est présent dans une seule des 8 mailles, il n'apporte que peu de diversité et l'on peut écrire :

$$C_8^1 = 8 \text{ et } I_A = \log 8 = 3$$

Si le plan A est présent dans 2 mailles, il apporte un peu plus de diversité :

$$C_8^2 = \frac{8!}{2!(8-2)!} = \frac{8 \times 7}{2} = 28 \text{ et } \log_2 28 = 4,8$$

Au fur et à mesure que le nombre de présences du plan A dans les mailles augmente, I_A augmente aussi, tant que le nombre de présences est inférieur à $S/2$, ici à 4 ; ensuite il diminue. Enfin, si le plan A est présent partout, la photo est uniforme en ce qui le concerne et donc non diversifiée, alors :

$$C_8^8 = 1 \text{ et } I_A \log_2 1 = 0$$

En définitive :

- un plan présent dans 0 ou 8 mailles donne 0 shannon
- un plan présent dans 1 ou 7 mailles donne 3 shannons

- un plan présent dans 2 ou 6 mailles donne 4,8 shannons
- un plan présent dans 3 ou 5 mailles donne 5,8 shannons
- un plan présent dans 4 mailles donne 6,1 shannons

Soit I la somme des résultats correspondant aux différents plans. Plus la photo — donc le paysage — est diversifiée, plus I est grand ; en revanche, plus la photo et le paysage sont uniformes, plus I est petit. C'est donc cette quantité I qui mesure la diversité globale de la fraction du paysage retenue sur le cliché.

■ APPLICATIONS

Calcul de la diversité globale de paysages d'Afrique

Pour calculer la diversité globale d'un paysage, il suffit :

- a) de délimiter et de dénombrer les différents plans sur la photographie ;
- b) de placer sur le cliché une grille de rectangles contigus en deux rangs ; par commodité, on en met 8 sur un cliché en focale normale (mais il est préférable d'en prendre 12 sur un cliché panoramique) ;
- c) de compter le nombre de mailles où chacun des plans est présent ;
- d) de se reporter au tableau précédent pour avoir le nombre de shannons (dans le cas de 8 mailles ; pour 12 il faut établir un tableau équivalent) ;
- e) de faire la somme des valeurs obtenues.

Quelques exemples détaillés montreront la manière de procéder.

Une savane ouverte du Tchad

La première photo, prise dans une savane ouverte de l'est du Tchad, est interprétée sur un schéma (figure 3). Trois plans apparaissent. Le plan 1 est présent dans 8 mailles sur 8, le 2 et le 3 dans 4 mailles sur 8. Par conséquent :

$$I_1 = 0 ; I_2 = 6,1 ; I_3 = 6,1$$

Pour le paysage :

$$I = 0 + 6,1 + 6,1 = 12,2$$

La diversité de ce paysage tchadien est donc de 12,2 shannons.

Une savane du Cameroun

La deuxième photo correspond à une savane humide altitudinale de l'Adamaoua au Cameroun. Son interprétation sur la figure 4 montre que les plans 1 et 2 sont présents dans 4 mailles, les plans 3 et 4 dans 6 mailles et le plan 5 dans 5 mailles. Par conséquent, la diversité globale de ce paysage de montagne est :

$$I = (2 \times 6,1) + (2 \times 4,8) + 5,8 = 27,6$$

Un paysage du Hoggar

La troisième photo montre un aspect du panorama visible du seuil de l'oratoire du Père de Foucauld au sommet du Hoggar en Algérie. La figure 5 est son interprétation sous l'angle des plans. Le tableau I en donne la ventilation.

Soit au total pour le paysage :

$$I = \sum_{i=1}^n I_n = 55,5$$

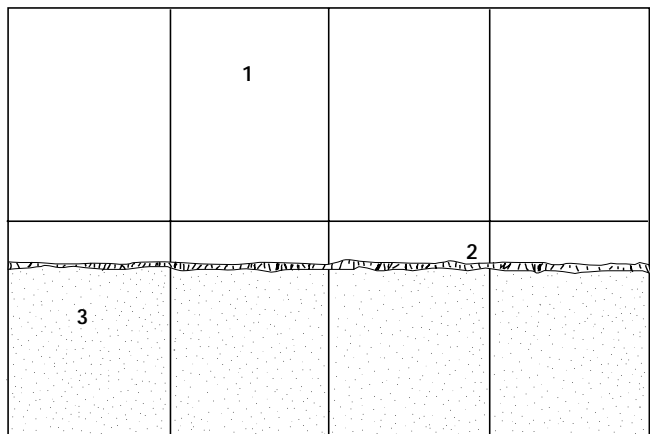
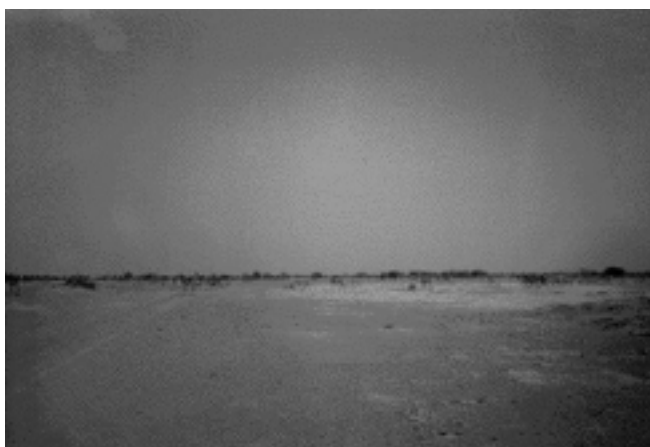


Figure 3 : photo d'une savane ouverte de l'est du Tchad (J. Poissonet) et interprétation du paysage.

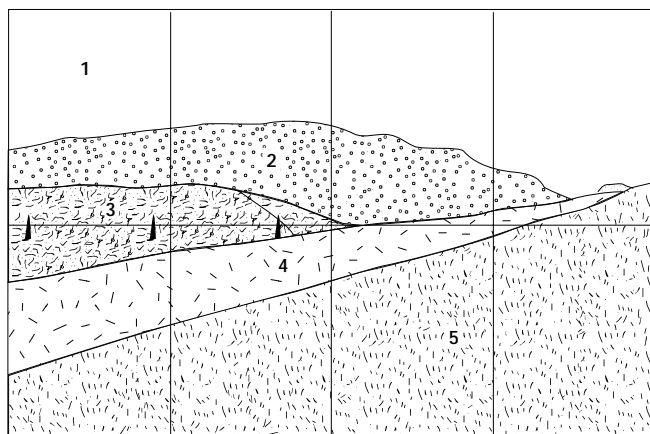


Figure 4 : photo d'une savane humide de l'Adamaoua au Cameroun (Cirad-forêt) et interprétation du paysage.

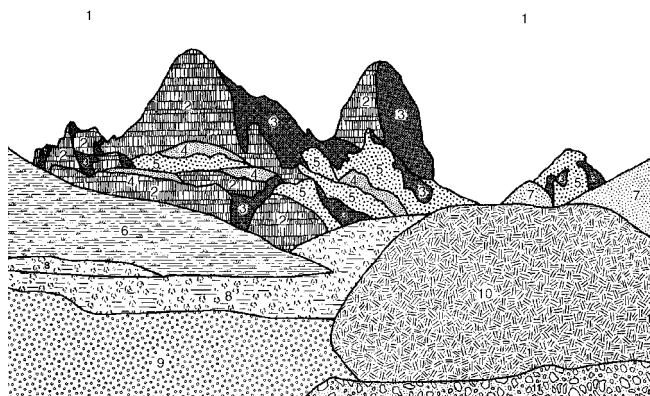


Figure 5 : photo de savanes altitudinales du Hoggar en Algérie (N. Daget) et interprétation du paysage.

Critère de jugement

La diversité globale calculée **I** permet de porter un jugement objectif sur la diversité d'ensemble du paysage visionné. L'échelle suivante en donne le moyen :

- de 0 à 10 : paysage très faiblement diversifié
- de 11 à 20 : paysage faiblement diversifié
- de 21 à 30 : paysage moyennement diversifié
- de 31 à 40 : paysage fortement diversifié
- de 41 à 50 : paysage très fortement diversifié
- plus de 51 : paysage extrêmement diversifié

Pour les trois cas présentés ici, le paysage du Tchad est très faiblement diversifié, celui du Cameroun est moyennement diversifié et celui du Hoggar extrêmement diversifié.

Diversité relative

Moyenne des plans du paysage

La diversité moyenne des plans du paysage est définie comme le quotient de la diversité globale telle qu'elle vient d'être calculée par le nombre de plans retenus dans l'interprétation de la photographie témoin du paysage. Ainsi, pour les trois exemples cités, on a respectivement :

Tchad	12,2	3	$Dm = 12,2/3 = 4,1$
Cameroun	27,6	5	$Dm = 27,6/5 = 5,5$
Algérie	55,5	11	$Dm = 55,5/11 = 5$

Tableau I

Eléments de l'interprétation de la diversité du panorama du Hoggar

Plans n	Carrés								Σ	I _n
	1	2	3	4	5	6	7	8		
1	x	x	x	x			x	x	6	4,8
2	x	x	x		x	x			5	5,8
3	x	x	x	x		x	x	x	7	3,0
4	x	x	x			x	x		5	5,8
5	x	x	x	x		x	x	x	7	3,0
6	x	x			x	x			4	6,1
7				x				x	2	4,8
8					x	x	x		3	5,8
9					x	x	x		3	5,8
10							x	x	2	4,8
11						x	x	x	3	5,8

Diversité maximale d'un paysage

C'est la diversité qui serait atteinte si chaque plan de la photographie témoin était présent dans une maille sur deux. Elle est égale à :

$$I_{\max} = N \log_2 C_S^{S/2}$$

où **S** est le nombre de mailles et **N** le nombre de plans ; dans le cas particulier présent où $S = 8$, la diversité maximale par plan est égale à :

$$C_8^4 = 6,1$$

et celle du paysage à :

$$I_{\max} = 6,1 N$$

Par conséquent, pour les trois paysages africains examinés ici, la diversité maximale est respectivement de :

18,3 pour le paysage du Tchad

30,5 pour celui du Cameroun

67,1 pour celui de l'Algérie

Diversité relative d'un paysage

Connaissant la diversité globale effective et la diversité maximale, il est possible de caractériser la diversité relative des paysages par le rapport :

$$Q = \frac{I}{I_{\max}}$$

Le barème suivant permet un jugement objectif de la diversité réalisée :

$Q < 0,5$	paysage de diversité relative très médiocre
$0,5 < Q < 0,6$	paysage de diversité relative médiocre
$0,6 < Q < 0,7$	paysage de diversité relative moyenne
$0,7 < Q < 0,8$	paysage de diversité relative bonne
$0,8 < Q < 0,9$	paysage de diversité relative très bonne
$Q > 0,9$	paysage de diversité relative excellente

Pour les trois paysages examinés ici, on a :

$$Q(1) = 0,67 ; Q(2) = 0,90 ; Q(3) = 0,83$$

Donc le paysage tchadien présente une diversité relative moyenne, en ce sens qu'avec seulement 3 plans la diversité atteinte est relativement réduite. En revanche, celle du Cameroun est excellente, ce qui veut dire qu'avec 9 plans la diversité atteinte est très proche du maximum possible. Celle du Hoggar est très bonne, donc assez proche du maximum possible avec 11 plans.

Un cas concret : les paysages de l'Est tchadien

Poissonet et coll. (5) ont reconnu 57 « unités pastorales » dans la partie du territoire tchadien situé entre 9 et 16° N et entre 19 et 23° E ; elles sont regroupées en 18 « unités de végétation », elles-mêmes réunies en 8 « grandes unités géomorphologiques ». Seize

Tableau II

Eléments de l'appréciation de la diversité des principaux paysages de l'Est tchadien

Paysage	Nb. de plans	Diversité		
		Effective	Maximale	Relative
H2	11	49	67,1	0,73
M4	9	37,6	54,9	0,68
K	9	51,7	54,9	0,94
G	4	16,7	24,4	0,68
D	4	24,1	16,7	0,98
S	5	28,9	30,5	0,94
R	5	21	30,5	0,68
A	8	34,6	48,8	0,70
P	7	34,7	42,7	0,81
F	5	26,1	30,5	0,85
C	6	27,6	36,6	0,85
V	6	29,1	36,6	0,79
W	7	41,8	42,7	0,97
B	7	34,9	42,7	0,81
O	7	42,1	42,7	0,98
U	6	28,9	36,6	0,78

des 18 unités de végétation sont illustrées par la photographie d'un panorama-type. Ces 16 clichés ont été réinterprétés sous l'aspect de leur diversité (tableau II).

Dans un graphique portant la diversité effective en fonction de la diversité maximale (figure 6), les images des 16 paysages se répartissent en cinq groupes de diversité effective décroissante, depuis les milieux sub-désertiques jusqu'aux milieux montagneux :

I : trois unités de végétation des ensablements dunaires et regs sahéliens, D, G et R ;

II : un groupe intermédiaire avec les unités des végétations herbacées des dépôts sableux (S) et steppes boisées sur cuirasse (F) ;

III : les unités des plaines et vallées, A, B, C, M, P, V avec l'unité culture U ; on peut distinguer deux sous-groupes : en bas, avec les cultures, les steppes plus ou moins boisées à épineux sous climat sahélien et en haut les steppes boisées et forêts claires du Salamat sous climat soudanien ;

IV : la végétation hydrophile soudanienne, mares (O) et plaines (W) ;

V : deux unités des massifs et reliefs, H et K.

Chacun de ces groupes correspond à une « famille » de paysage au sens de Papillon et Godron (4). On note une bonne corrélation entre les deux types de diversité ($r = 0.92$ ***) indiquant qu'en première approximation la diversité effective d'un paysage est voisine de 73 % de sa diversité maximale.

■ CONCLUSION

Le procédé d'analyse qui vient d'être rappelé donne un moyen simple et rapide de caractériser objectivement la diversité d'un

paysage. Il peut conduire à des approches plus raffinées prenant en compte la couleur des plans ou leur dimensions et leur agencement. Comme la diversité d'une végétation est variable d'un emplacement à un autre, un angle de vue même légèrement différent peut produire une valeur différente dans le calcul de la diversité du paysage, les plans n'étant pas souvent les mêmes. Ce phénomène peut être utilisé pour analyser des panoramas en comparant le jeu des valeurs obtenues sur des photos balayant l'horizon. Il faut remarquer également que la diversité paysagère qui vient d'être présentée est bien corrélée avec la diversité cartographique qui peut être calculée d'une manière analogue en plaçant une grille sur une carte écologique.

BIBLIOGRAPHIE

1. FOREMAN R., GODRON M., 1985. Landscape ecology. New York, NY, USA, Wiley, 619 p.
2. GODRON M., 1971. Essai sur une approche probabiliste de l'écologie des végétaux. Thèse d'Etat, Université Montpellier II, Montpellier, France, 250 p.
3. GODRON M., POISSONET J., 1976. Essai d'expression de la biodiversité des paysages. In : IVE Symposium int. sur la biologie et l'écologie des paysages, Smolenice, Tchécoslovaquie. Bratislava, Tchécoslovaquie, Académie des Sciences, 12 p.
4. PAPILLON Y., GODRON M., 1997. Distribution du lapin de garenne (*Oryctolagus cuniculus*) dans le Puy-de-Dôme : l'apport de l'analyse des paysages. *Game Wild.*, 14 : 303-324.
5. POISSONET J., FORGIARINI G., TOUTAIN B., TOURE I., 1997. Cartographie de la végétation pastorale pour le projet *Almy Bahaim* d'hydraulique pastorale dans le Tchad oriental. Montpellier, France, Cirad-emvt, 135 p. (rapport NE98008)

Reçu le 13.7.99, accepté le 30.3.00

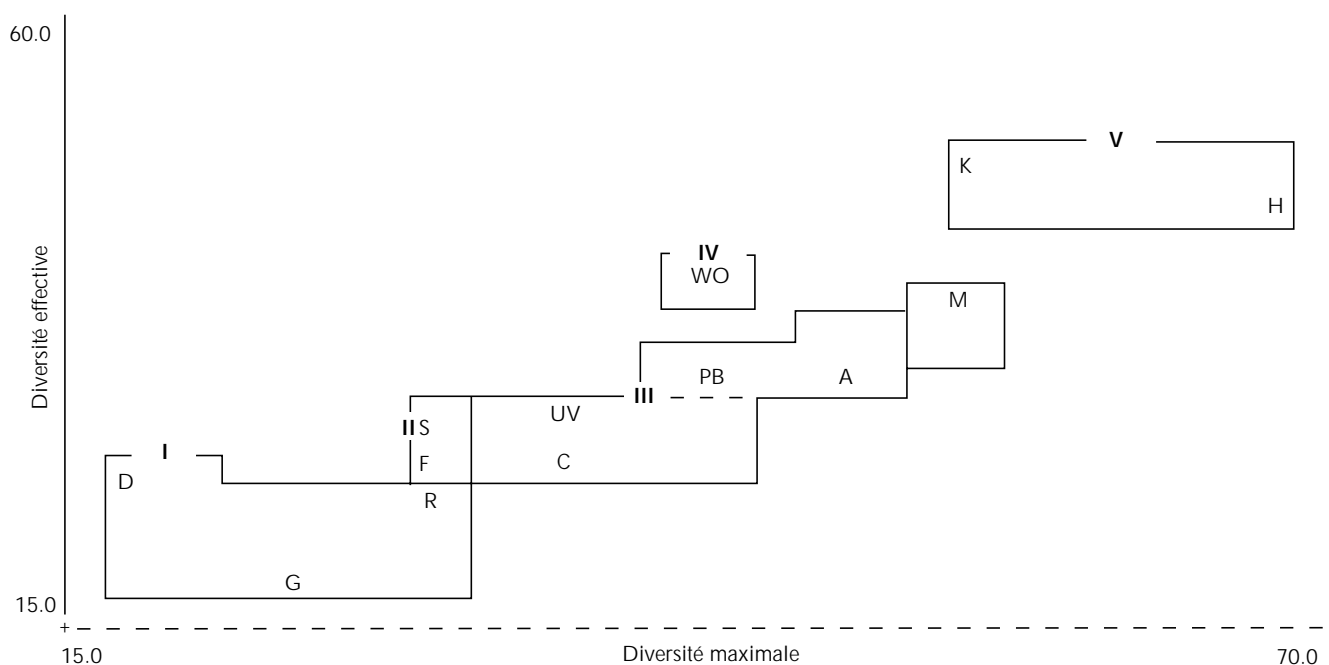


Figure 6 : diversités effectives et maximales des 16 paysages de l'est du Tchad.

Summary

Godron M., Poissonet J., Daget Ph. Evaluation of the landscape diversity in African rangelands

The diversity of a landscape can be measured by an application of the theory of information to the analysis of a panorama cut out in plans according to geomorphological facets and vegetation types. Applications are proposed on tropical Northern Africa landscapes.

Key words: Pastures - Measurement - Methods - Landscape - Tropical zone.

Resumen

Godron M., Poissonet J., Daget Ph. Evaluar la diversidad del paisaje de los pastizales africanos

La diversidad de un paisaje puede medirse mediante la aplicación de la teoría de la información a un análisis del panorama, seccionado en planes según las facetas geomorfológicas y los tipos de vegetación. Se proponen aplicaciones sobre los paisajes de Africa tropical septentrional.

Palabras clave: Pastizales - Medición - Métodos - Paisaje - Zona tropical.

Co-managing the commons: Setting the stage in Mali and Zambia

T. Hilhorst
N. Aarnink

□ Cet essai s'inscrit dans le courant actuel de la gestion participative des ressources naturelles. Le terme de *commons* (*common pool resources*) s'applique ici aux forêts, lacs, rivières, marais et pâturages.

L'ouvrage débute par un état des travaux sur les communs : le thème de la gestion partagée a été abordé par des études sociologiques, anthropologiques et économiques. La propriété collective, très répandue en Afrique, peut être compatible avec une gestion durable. L'accès libre, qui présente plus de risques environnementaux, peut être de droit ou de fait : le premier est très rare, le second résulte de circonstances précises de disparition de régimes de propriété collective ou de gestion de zones marginales.

Les politiques des dernières décennies sont évoquées. Les régimes de l'indépendance ont d'abord entériné la gestion coloniale et centralisée des ressources. Par la suite, des tentatives de privatisation aux effets globalement négatifs tant sur l'écologie que sur les productions animales ont pu être observées dans certains contextes. Depuis la fin des années quatre-vingts, la crainte mondiale de l'épuisement des ressources naturelles s'est traduite par des projets « participatifs » cherchant à impliquer les usagers dans la gestion. Les contraintes financières poussant au désengagement de l'Etat demeurent mais sont désormais assorties des thèmes de la durabilité et de l'équité.

Le co-management associerait l'équité, responsabilité dévolue à l'Etat, au souci d'autonomie et de participation reconnu aux populations locales. Les auteurs identifient les conditions préalables à ce contrat social :

- un cadre administratif et légal favorable

- un engagement et une confiance mutuels entre usagers et pouvoir
- une cohésion interne et un « capital social » local suffisants.

Un cercle vertueux s'amorcerait alors : l'implantation locale des enjeux garantirait la légitimité et la meilleure application des règles, ce qui renforcerait l'efficacité de la cogestion. A long terme, les coûts de transaction devraient diminuer et compenser le lourd investissement en temps nécessaire à la mise en place de ce co-management.

Cette réflexion est nourrie par deux études de cas. Au sud du Mali, la zone sylvopastorale de la région de Koutiala servait à de nombreux usages et usagers, résidants ou non, jusqu'à ce que la perception du risque d'épuisement des ressources incite six villages à limiter son accès. Un comité intervillageois guidé par un projet de développement a entrepris dès 1993 de créer une convention locale de gestion de la zone ; mais son élaboration en accord avec l'administration a été d'autant plus longue et difficile qu'elle ne bénéficiait pas d'un contexte politique favorable. Dans la deuxième étude, sur les rives du lac Mweru au nord-est de la Zambie, la décentralisation et la libéralisation ont stimulé la pêche. Le second auteur a participé aux négociations entre le département des Pêches et plusieurs institutions et associations locales pour réformer la gestion des ressources halieutiques. Dans ce cas, c'est l'instabilité de mesures politiques déjà anciennes de décentralisation qui serait responsable de la perte de confiance entre les usagers et l'administration, en ne créant pas les conditions d'un dialogue stable et serein. Là également apparaît la nécessité d'associer usagers, administration, techniciens et chercheurs dans l'élaboration d'une cogestion équilibrée, transparente, évolutive et novatrice.

Les premières conclusions tirées de ces cas d'étude se rattachent à la sociologie de la connaissance : comprendre l'éventail et la complexité des stratégies et des perceptions locales, y compris celles des groupes marginaux ; explorer les initiatives locales pour percevoir les interactions entre les pratiques des acteurs et le secteur agricole ou commercial...

Le deuxième groupe de conclusions se réfère plutôt à l'ingénierie sociale du développement contemporain :

- appuyer un processus d'information et de négociation dans les deux sens ; par exemple informer les instances politiques nationales des pratiques et des contraintes locales est une étape vers la légalisation ;

- distinguer les conflits locaux de ceux qui nécessitent une intervention de plus

haut niveau politique ; savoir identifier le besoin et la place d'une autorité légitime ;

- préserver les capacités d'adaptation, en évitant une codification trop stricte.

Une certaine discrimination envers des groupes sociaux minoritaires peut être nécessaire à l'élaboration d'un système de gestion. Ensuite, en cas de crise institutionnelle, un simple transfert d'autorité du haut vers le bas ne suffit pas. Enfin, le cas malien montre qu'il est délicat de créer une institution intermédiaire dont la fonction soit clairement définie pour tous.

D'autres conditions sont nécessaires à une gestion partagée :

- la conception du développement rural doit être intersectorielle pour correspondre aux réalités des pratiques ;

- une formation plus coopérative des agents doit contribuer à un environnement légal plus ouvert ;

- des médiateurs extérieurs sont souvent utiles pour faciliter la collaboration ;

- enfin des instruments d'évaluation de l'impact des actions doivent être fournis aux acteurs pour entretenir l'engagement local.

On ne peut qu'être d'accord avec ce réalisme, ce qui n'interdit pas deux remarques. D'une part le problème reste de trouver les processus pragmatiques intermédiaires entre ces conditions et les acquis finaux du partenariat. D'autre part ce modèle n'est pas discuté tant il s'inscrit parfaitement dans le mouvement dominant de la pensée du développement : souci de préservation, ingénierie écologique et sociale, *continuum* politique composent un univers cohérent où les jeux d'acteurs n'attendent apparemment que d'être décryptés. La privatisation, évacuée rapidement dès le début du document à partir d'exemples très spécifiques aurait, entre autres options, mérité une discussion plus argumentée. La position des auteurs présente peut-être le risque de négliger d'autres dynamiques moins prévisibles : biologiques, économiques, sociales ou politiques. Le management s'accommode mal des hasards, des violences et des ruptures.

Véronique ANCEY
Alexandre ICKOWICZ
Cirad-emvt

T. Hilhorst, N. Aarnink, 1999. Co-managing the commons : Setting the stage in Mali and Zambia, 80 p. KIT Press, Mauritskade 63, PO Box 95001, 1090 HA Amsterdam, The Netherlands.

Tel: +31 (0)20 5688 272; Fax: +31 (0)20 5688 286; E-mail: kitpress@kit.nl - ISBN 90-6832-835-2

Le secteur des productions animales en Afrique subsaharienne, des indépendances à 2020

I. Place de l'Afrique subsaharienne dans les échanges mondiaux et évolution du secteur élevage

G. Tacher ¹ L. Letenneur ²

Mots-clés

Production animale - Protéine animale - Consommation - Offre - Marché mondial - Afrique au sud du Sahara.

Résumé

Les productions animales de l'Afrique subsaharienne (Ass) contribuent pour une part variable, mais souvent importante, aux économies agricoles des différents pays. Elles représentent en moyenne un tiers du produit intérieur brut agricole (non compris l'élevage). L'Ass contribue pour moins de 2 p. 100 aux échanges mondiaux des produits de l'élevage. Pour les viandes, elle représente 2,2 p. 100 des importations mondiales et participe pour 1,4 p.100 aux exportations. Il existe un solde déficitaire de 400 millions de \$US dont plus de la moitié concerne les viandes blanches. Le déficit dû aux importations est également important pour les produits laitiers, surtout le lait. En revanche, le solde de l'Ass est positif pour les cuirs et peaux. L'analyse de ces flux commerciaux montre qu'ils sont conditionnés par la proximité des partenaires, les contraintes sanitaires et les règlements qui en découlent. La demande régionale en produits animaux est ensuite analysée à partir de la consommation en protéines animales au cours des trente dernières années. Elle montre une faible consommation quotidienne de 9,2 g par habitant, avec une évolution importante des produits consommés, notamment une forte augmentation des viandes de volailles et de porc. Pour les produits laitiers, si la consommation totale augmente de 2 p. 100 par an, la consommation annuelle par habitant diminue (32,2 kg en 1994). L'augmentation des productions est souvent inférieure à la croissance de la population humaine ; la production de viandes a doublé en trente ans, mais les importations ont très fortement augmenté. Pour le lait, la production est en forte hausse, mais elle reste insuffisante et nécessite des importations supérieures à 1 000 tonnes équivalent lait (teql).

■ INTRODUCTION

L'élevage contribue pour une part importante aux économies des pays de l'Afrique subsaharienne (Ass) (1, 3, 13). Au-delà de la fourniture de produits nécessaires à l'homme, il remplit plusieurs fonctions.

C'est une source d'emploi et un moyen de lutte contre la pauvreté. L'essor économique offre aux produits animaux un marché en expansion et de nouvelles possibilités pour l'élevage qui conserve un rôle essentiel en Ass dans le maintien de l'emploi en zone rurale. Il reste indispensable, surtout lorsque l'économie n'est pas assez développée. Dans des conditions écologiques voisines, une famille australienne vit bien là où, sur une même superficie au Sahel, subsistent quatre-vingts familles. Pour soulager les pâtu-

rages sahéliens, il faut donner aux trop nombreuses populations qui doivent en vivre une alternative à la migration vers les bidonvilles des métropoles africaines.

L'élevage participe au développement durable de l'agriculture (1, 5, 20), favorise la diversification de ses activités (13), diminue ainsi les risques liés à la production et contribue au maintien des emplois agricoles.

Son rôle bancaire reste indispensable tant qu'un réseau de banques fiables en milieu rural fait défaut.

La diversité considérable des fonctions de l'élevage masque son importance que l'on peut simplement souligner par deux faits :

- le PIB de l'élevage représente en Afrique subsaharienne le tiers du PIB agricole (non compris l'élevage) ;

- au plan mondial, malgré le faible volume échangé par rapport à la production, les produits animaux représentent plus du double de la valeur des échanges de céréales — qui constituent une sorte de baromètre de référence.

1. Cirad-emvt, Campus international de Baillarguet, 34398 Montpellier Cedex 5, France

2. Cirad-emvt, Campus international de Baillarguet, 34398 Montpellier Cedex 5, France ; E-mail : leon.letenneur@cirad.fr

Enfin, la demande en produits animaux est forte et le restera, même si certains prônent des régimes végétariens, ce qui est à la limite de l'indécence quand cette idée émane de pays où la moyenne de consommation de viande approche du point de saturation (environ 100 kg/hab/an).

Cette évolution de la demande témoigne du rôle de plus en plus important de l'élevage. La seule fonction de satisfaction de la demande va devenir cruciale pour de nombreux pays.

Après une période de croissance significative de la production au cours des trente dernières années (6) — très inférieure cependant à l'évolution de la consommation — les filières des produits animaux en Afrique subsaharienne ont-elles la capacité de s'adapter, dans le nouveau contexte de concurrence internationale, pour répondre à la forte croissance prévisible des marchés nationaux ou régionaux ?

Dans les lignes qui suivront, nous nous attacherons, à la lumière de l'évolution passée, de situer la place de l'Ass dans les marchés mondiaux des produits animaux, de préciser à travers les consommations et les productions les grands traits de l'offre et de la demande des trente dernières années.

Cette première partie sera suivie d'une approche par zonage des régions de production et de consommation. La compétitivité des filières des produits animaux, définie comme la capacité d'acquiescer ou de développer des parts de marché, sera analysée en prenant en compte les marchés régionaux.

Enfin, un troisième document rapportera les considérations sur les perspectives pour les deux décennies à venir et les voies possibles pour répondre à la demande croissante en produits animaux. La capacité des filières à répondre au formidable défi du prochain quart de siècle sera examinée dans le contexte régional et international : fournir dans un cadre compétitif et durable, en quantité suffisante, les protéines animales demandées par la population, sans pour autant recourir à un niveau d'importation insupportable pour les économies nationales.

Le présent document a été rédigé à partir d'une étude réalisée à la demande du ministère français des Affaires étrangères : « Etude sur la compétitivité des filières de productions animales en Afrique subsaharienne et à Madagascar » (21).

■ MATERIEL ET METHODES

L'étude a porté sur les pays de l'Afrique subsaharienne, incluant l'Afrique du Sud.

A partir de la base de données Faostat (12) et d'annuaires de l'Oaa/Fao (7, 8), des éléments ont été sélectionnés et une seconde

base de données a été constituée. Elle comprenait les productions et le commerce des animaux et de leurs produits, par pays de l'Ass. Ces données, collectées sur une période de plus de trente ans, ont été regroupées par continents. Les effectifs des populations humaines ont été intégrés pour l'Ass.

Par ailleurs, des enquêtes de consommation et de prix ont été menées dans plusieurs pays. Les données collectées sont en partie analysées dans les chiffres présentés.

Les normes suivantes ont été retenues :

- toutes les valeurs monétaires sont présentées en dollars US ;
- les données statistiques concernant les importations et les exportations, fournies par la Fao et que l'on retrouve tout au long de ce chapitre, sont comptabilisées au prix Fob (*Free on board*) pour les exportations et au prix Caf (Coût assurance fret) pour les importations ;
- outre la norme classique de tonne de produit (t), la quantité de viande est exprimée en tonne équivalent carcasse (tec) et celle des produits laitiers en tonne équivalent lait (teql).

■ LES ECHANGES MONDIAUX EN VALEUR ET L'AFRIQUE SUBSAHARIENNE

Le commerce en valeur est étudié en premier lieu car il autorise les comparaisons entre les différents produits, ce qui permet de situer les productions animales dans l'ensemble de l'économie.

Le commerce des produits animaux

Il est constitué par les échanges de toutes les viandes, des produits laitiers, des cuirs et des peaux, des œufs et des laines. Pour des raisons d'homogénéité et de simplification, l'analyse du commerce des produits animaux présentée repose sur 1994, année de référence choisie pour cette étude.

Le commerce de l'ensemble des produits animaux représente 83,3 milliards de \$US soit 1,9 p. 100 du commerce des marchandises, 14,4 p. 100 de l'ensemble des produits de l'agriculture, des pêches et des forêts et 21 p. 100 des produits de l'agriculture. C'est plus du double du commerce mondial des céréales (38,4 milliards). En dollars courants, ce commerce a augmenté de 8,4 p. 100 par an ces trente dernières années.

En 1993, les recettes tirées par les pays en développement de leurs exportations de viandes ont été de 5 milliards de \$US, dont plus de 2 milliards d'exportations d'animaux vivants. En 1994, ils ont participé à 28 p. 100 des exportations mondiales de viande alors qu'ils participaient pour 47 p. 100 à la production. En 1994, les importations mondiales des produits animaux se répartissaient de

Tableau 1

Pourcentage des valeurs des différents produits d'origine animale dans le commerce mondial et dans les importations et exportations de l'Ass (Fao 1995-1996)

	Commerce mondial	Importations Ass	Exportations Ass
Toutes viandes	59	68	71
Produits laitiers	28	30	5
Cuirs et peaux	5	0	15
Œufs	1	1	1
Laines	4	1	8
Autres produits	2	-	-

la façon suivante : viandes (49,3 milliards), produits laitiers (23,3 milliards), cuirs et peaux (4,2 milliards), laines (3,6 milliards), œufs (1,2 milliard) et autres produits (1,7 milliard). Les pourcentages sont rapportés dans le tableau I.

Le solde de ces échanges est positif pour l'Amérique du Nord (2,9 milliards), l'Amérique du Sud (2,2 milliards), l'Europe (7,7 milliards) et l'Océanie (6,9 milliards). Il est négatif pour l'Amérique Centrale (2,6 milliards), l'Asie (12,7 milliards), l'Afrique (2,4 milliards) et l'ex-URSS (21,8 milliards).

Notons que les soldes positifs et négatifs ne correspondent pas en raison des ajustements inévitables et des comptabilisations en prix Fob à l'exportation et en prix Caf à l'importation.

Dans cet ensemble, l'Ass représente 1,9 p. 100 des importations mondiales des produits animaux (soit 1,57 milliard \$US), qui concernent essentiellement les viandes et les produits laitiers. Elles se répartissent selon les pourcentages du tableau I. Les exportations de l'Ass constituent 1,2 p. 100 des exportations mondiales. Si la viande représente plus de 70 p. 100 des exportations, il faut souligner la part importante des cuirs, des peaux et de la laine. Le solde des échanges est déficitaire et s'évalue à - 0,6 milliard en 1994.

Les viandes

Les échanges de viande constituent 59 p. 100 du commerce des produits animaux. Ils sont répartis de la manière suivante (en \$US) : viande de bœuf (25,8 milliards), viande de porc (12,6 milliards), viande de volaille (6,4 milliards), viande de petits ruminants (3,5 milliards). Le commerce des viandes, dominé par l'Europe, a augmenté de 8,4 p. 100 par an de 1964 à 1994.

Son solde est excédentaire pour l'Amérique du Sud (+ 2,1 milliards), l'Europe (+ 3,3 milliards), l'Océanie (+ 4,4 milliards) et l'Amérique du Nord (+ 2,4 milliards). Il est déficitaire pour l'Amérique Centrale (- 1,1 milliard), l'Asie (- 8,8 milliards) et l'ex-URSS (- 1,7 milliard).

Globalement, le continent africain compte pour 3,1 p. 100 des importations totales de viandes et pour 0,1 p. 100 des exportations. Au nord du Sahara, les importations représentent 0,1 p. 100 des importations mondiales de viandes et les exportations sont

considérées comme nulles. Ce commerce reste marginal et déficitaire en Afrique subsaharienne et son solde s'est considérablement détérioré depuis 1974. L'Ass importe 2,2 p. 100 du total des importations mondiales, (1 064 millions \$US), ce qui représente 1,7 p. 100 de ses importations totales. Les exportations n'atteignent que 698 millions, 1,1 p. 100 des exportations totales et 1,4 p. 100 du total des exportations mondiales de viandes.

Les importations de viande bovine et de bovins atteignent à elles seules 586 millions de \$US. Les autres importations se répartissent entre la viande de petits ruminants (225 millions), de volaille (169 millions) et de porc (81 millions). Les exportations sont constituées de viande de bœuf (466 millions), de mouton (219 millions), de volaille (4,8 millions) et de porc (3,9 millions).

Ce commerce reste marginal et déficitaire en Ass et son solde s'est considérablement détérioré depuis 1974.

La figure 1 montre la dégradation rapide du solde du commerce des viandes pour toutes les espèces depuis 1974, passant en 20 ans d'un excédent voisin de 300 millions \$US à un déficit proche de 400 millions.

■ La viande bovine

Dans le monde, la viande bovine représente plus de la moitié du commerce des viandes. L'Europe constitue 55 p. 100 des exportations totales (2).

Ces exportations totales représentent 31 p. 100 du commerce des produits animaux et 52 p. 100 du commerce des viandes, pour un montant d'exportations Fob de 25,3 milliards \$US. En dollars courants, ce commerce a augmenté de 8 p. 100 par an ces trente dernières années. Il se répartit de la façon suivante : 20 p. 100 pour les bovins vivants, 59 p. 100 pour les viandes fraîches, réfrigérées ou congelées et 21 p. 100 pour les préparations de viande.

Le solde des opérations commerciales (en \$US) sur ces produits est de + 1,3 milliard en Europe, + 0,5 milliard en Amérique du Nord, + 1,4 milliard en Amérique du Sud, + 3,2 milliards en Océanie, - 0,34 milliard en Amérique Centrale, - 5,1 milliards en Asie et - 0,62 milliard en Afrique (dont - 0,25 milliard pour l'Afrique du Nord et - 0,37 pour l'Ass).

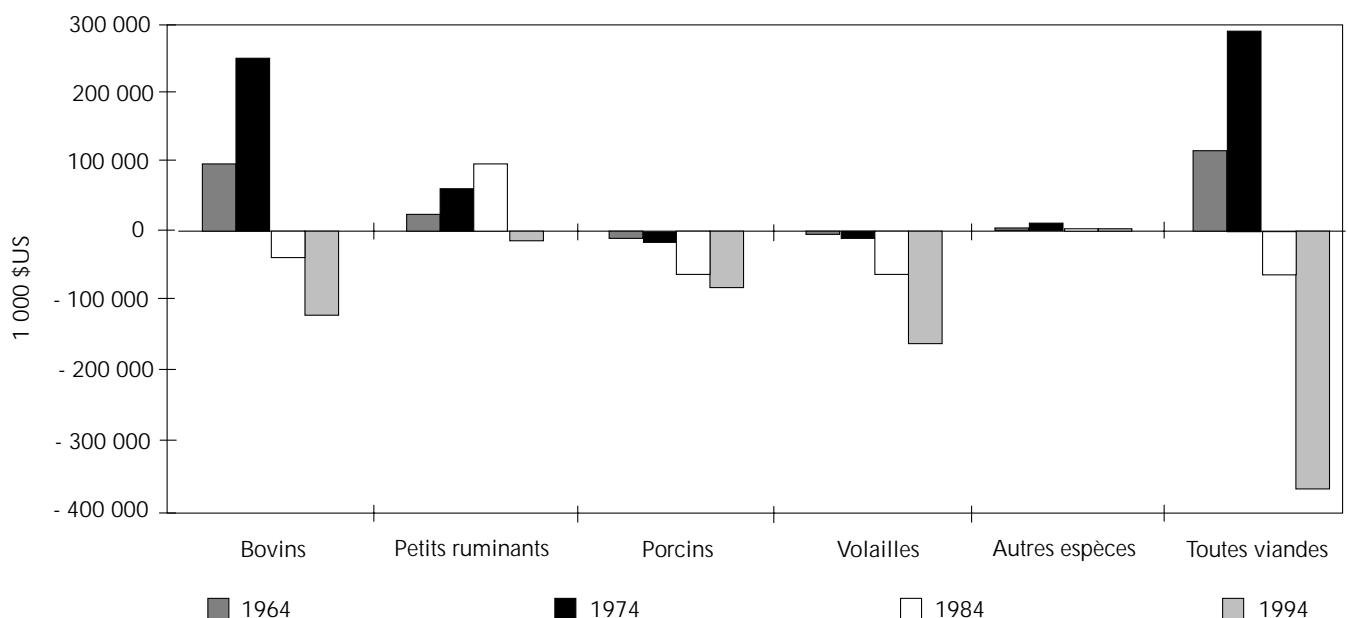


Figure 1 : évolution du solde en viandes de l'Afrique subsaharienne.

L'Ass montre un déficit en aggravation. Les importations représentent 2,3 p. 100 du commerce mondial des viandes bovines et constituent 55 p. 100 des importations de viandes. Les importations ont ainsi augmenté au rythme annuel moyen de 5,1 p. 100 depuis trente ans. Les exportations sont réalisées pour 56 p. 100 sous forme de bovins vivants, 36 p. 100 de viandes froides, réfrigérées ou congelées, et seulement 8 p. 100 sous forme de conserves et abats. La commercialisation sous forme de viande augmente depuis trente ans.

Le solde montre donc que, exportatrice nette jusque dans les années quatre-vingt, l'Ass est maintenant de plus en plus déficitaire.

■ La viande de petits ruminants

Au plan mondial, l'Océanie est le premier exportateur de viande de petits ruminants.

La viande ovine représente 3,7 p. 100 du commerce des produits animaux et 6,3 p. 100 des exportations de viandes pour un montant de 3,1 milliards \$US. En dollars courants, ce commerce a augmenté annuellement de 7,7 p. 100 pour l'exportation et de 7,5 p. 100 pour l'importation ces trente dernières années. La plupart des ovins sont commercialisés sous forme de viandes fraîches, réfrigérées ou congelées (63 p. 100) et 37 p. 100 sont commercialisés en vifs (plus que les bovins, 20 p. 100).

L'Ass occupe une place significative dans le commerce mondial de viande de petits ruminants, avec 6,2 p. 100 des importations. Ses importations constituent 21,1 p. 100 de ses importations totales de viande (la part de l'Afrique du Sud est importante). Elles ont augmenté en dollar courant au rythme annuel de 8,1 p. 100 depuis trente ans. Elles s'effectuent à 37 p. 100 sous forme de viande et à 63 p. 100 d'animaux sur pied. Les exportations représentent 31,9 p. 100 des exportations totales de viande de la zone (3 p. 100 seulement sous forme de viande).

■ La viande de porc

Au plan mondial, l'Europe est en position dominante avec 74 p. 100 des parts du marché. La viande porcine (viandes, préparations et animaux vivants) représente 15,6 p. 100 du commerce mondial des produits animaux et 26,5 p. 100 du commerce des viandes pour un montant de 13 milliards de \$US. Comparée à sa production, c'est la viande la moins échangée (la conservation de la viande n'excède pas six mois). En dollars courants, ce commerce a augmenté de 9,8 p. 100 par an ces trente dernières années.

Le solde des échanges de viande de porc est positif en Europe (+ 2,5 milliards) et en Amérique du Nord (+ 0,6 milliard). Il est déficitaire en Amérique Centrale (- 0,3 milliard) et en Asie (- 1,8 milliards). En Océanie, les exportations sont pratiquement inexistantes. L'Amérique du Sud a un solde négligeable.

En Ass, on observe une augmentation des importations et du déficit. Les importations représentent 0,6 p. 100 du commerce mondial de viande de porc. Elles ont augmenté de 8 p. 100 depuis trente ans pour constituer 7,6 p. 100 des importations de viande. Les exportations représentent 0,6 p. 100 des exportations totales de viandes. Le solde n'a pas cessé de se dégrader depuis trente ans.

■ La viande de volaille

L'Europe détient 51 p. 100 des parts du marché mondial, mais le plus grand solde exportateur revient aux États-Unis. Les exportations de viande de volaille représentent 7,6 p. 100 du commerce des produits animaux et 13,5 p. 100 du commerce des viandes pour un montant de 6,4 milliards de \$US. Le poulet constitue 90 p. 100 des viandes de volaille échangées. Le commerce se fait de plus en plus sous forme de découpes ayant plus ou moins de

valeur selon les morceaux (les États-Unis, plus gros producteurs, ne consomment généralement que du blanc). En dollars courants, ce commerce a augmenté de 11,8 p. 100 par an ces trente dernières années.

Les soldes de cette activité commerciale sont excédentaires pour l'Amérique du Nord (+ 1,3 milliard), pour l'Europe (+ 0,5 milliard) et l'Amérique du Sud (+ 0,6 milliard). Ils sont déficitaires pour l'Amérique Centrale (- 0,3 milliard) et l'Asie (- 1,1 milliard). Les échanges de viandes de volaille sont pratiquement nuls en Océanie.

En Ass, les importations ont fait un bond important. Elles représentent 2,5 p. 100 du commerce mondial de viande de volaille et comptent pour 16 p. 100 des importations locales de viande. Elles ont augmenté en moyenne de 15,8 p. 100 par an depuis trente ans (10 p. 100 par an depuis 1984). L'Ass achète le quart des exportations européennes, particulièrement des morceaux à bas prix (ailes, pattes, croupions de dinde pour 2 à 3 FF/kg). En revanche, sur cette même période, les exportations n'ont pas progressé. La production africaine est destinée à la consommation interne. Le déficit s'est ainsi considérablement creusé depuis trente ans, car la volaille est en train de devenir la première viande consommée dans la région, comme le montre la figure 2.

Le lait et les produits laitiers

Le commerce d'importation de l'ensemble des produits laitiers représentait en 1994, 23,5 milliards de \$US (10,8 milliards pour le lait et ses dérivés, 3,1 milliards pour le beurre et 9,6 milliards pour les fromages) soit 0,5 p. 100 du commerce des marchandises, 5,9 p. 100 des produits de l'agriculture et 28 p. 100 des produits animaux. En dollars courants, il a augmenté de 9,2 p. 100 par an ces trente dernières années (figure 3).

Près de la moitié des échanges mondiaux se fait sous forme de laits et dérivés (47 p. 100), puis viennent les fromages (40 p. 100) et le beurre (13 p. 100).

Le solde des échanges pour l'ensemble des produits laitiers est excédentaire en Europe (+ 4,5 milliards) et en Océanie (+ 2,3 milliards). Il est déficitaire en Asie (- 3,3 milliards) en Amérique Centrale (- 1 milliard), en Amérique du Sud (- 0,4 milliard), en Amérique du Nord (- 0,1 milliard) et en Afrique (- 1,3 milliard dont 0,4 au sud du Sahara).

En Ass, ce commerce (sur importations) représente 2,0 p. 100 du commerce mondial des produits laitiers et constitue 0,8 p. 100 des importations totales locales. Elles ont été multipliées par 5 depuis trente ans. Le lait en constitue 80 p. 100, les fromages 11 p. 100 (mais 40 p. 100 dans le monde) et le beurre 9 p. 100. L'aide alimentaire, importante pour ce type de produits, explique en partie ces résultats. Les exportations sont pratiquement nulles, elles comptent pour 0,2 p. 100 du commerce mondial et ne représentent quasiment rien par rapport aux exportations de la région. Le solde a évolué au même rythme que les importations et montre un déficit important (figure 4).

Les œufs

Le commerce des œufs représente 1,2 milliard de \$US soit 1,4 p. 100 du commerce de l'ensemble des produits animaux. En dollars courants, il a augmenté de 5,8 p. 100 par an ces trente dernières années. L'Europe domine les échanges avec 63 p. 100 des importations et 72 p. 100 des exportations mondiales.

Le solde des échanges en œufs est excédentaire pour l'Europe (+ 119 millions) et l'Amérique du Nord (+ 104 millions). Il est négatif pour l'Asie (- 136 millions), l'Amérique Centrale (- 40 millions), l'Océanie (- 1 million) et l'Afrique (- 13 millions).

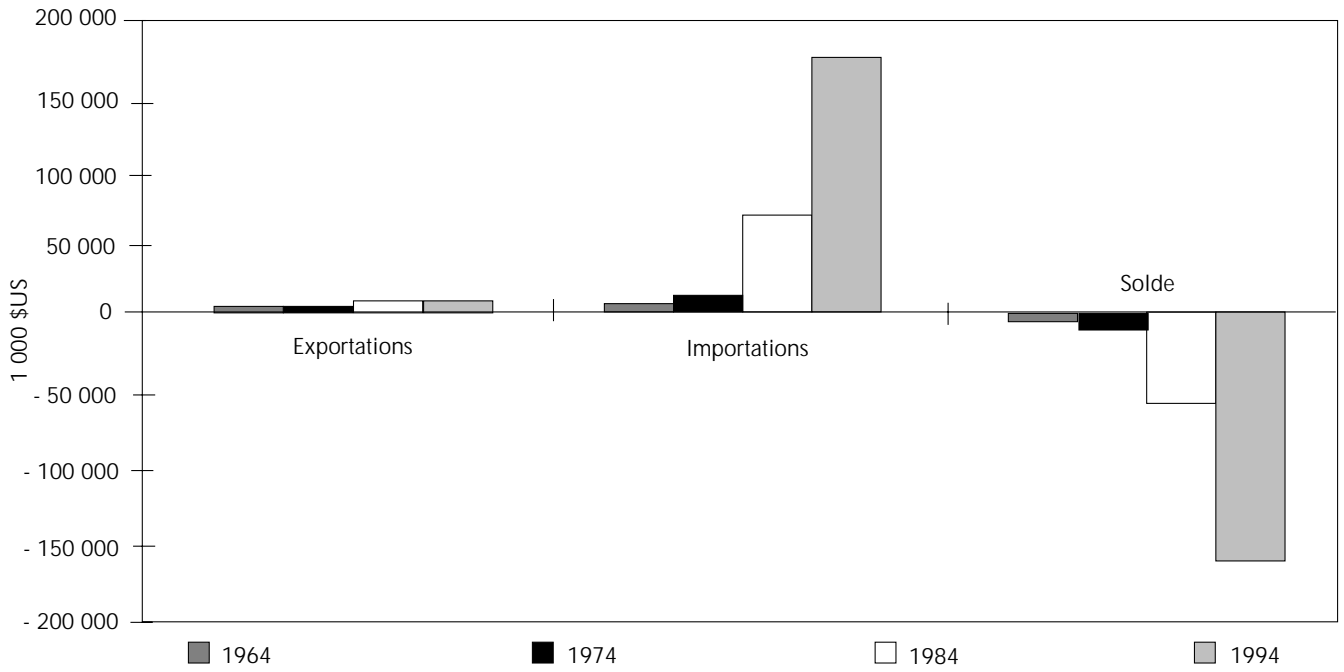


Figure 2 : échanges de viande de volaille en Ass (en \$US).

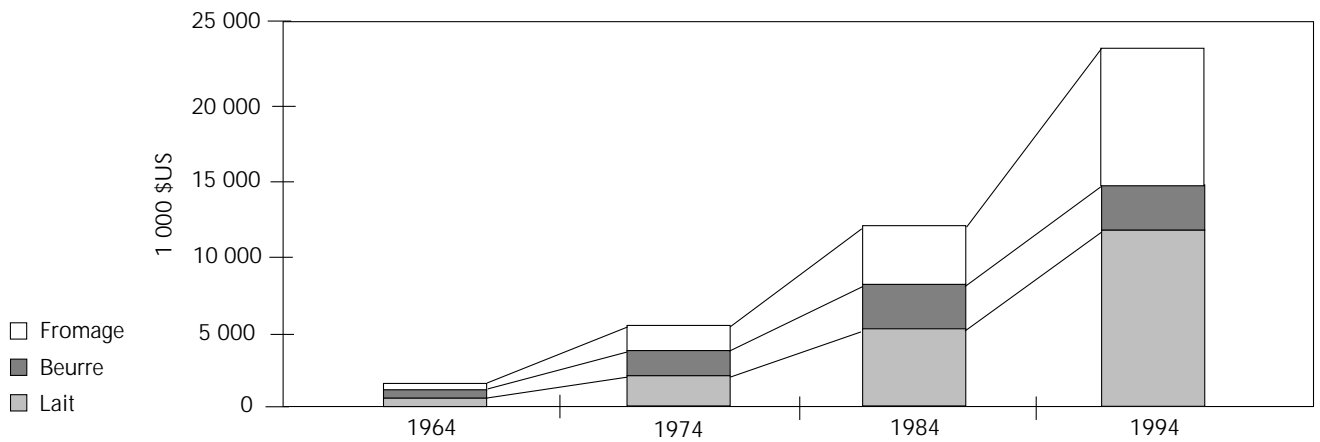


Figure 3 : commerce mondial des produits laitiers (en \$US).

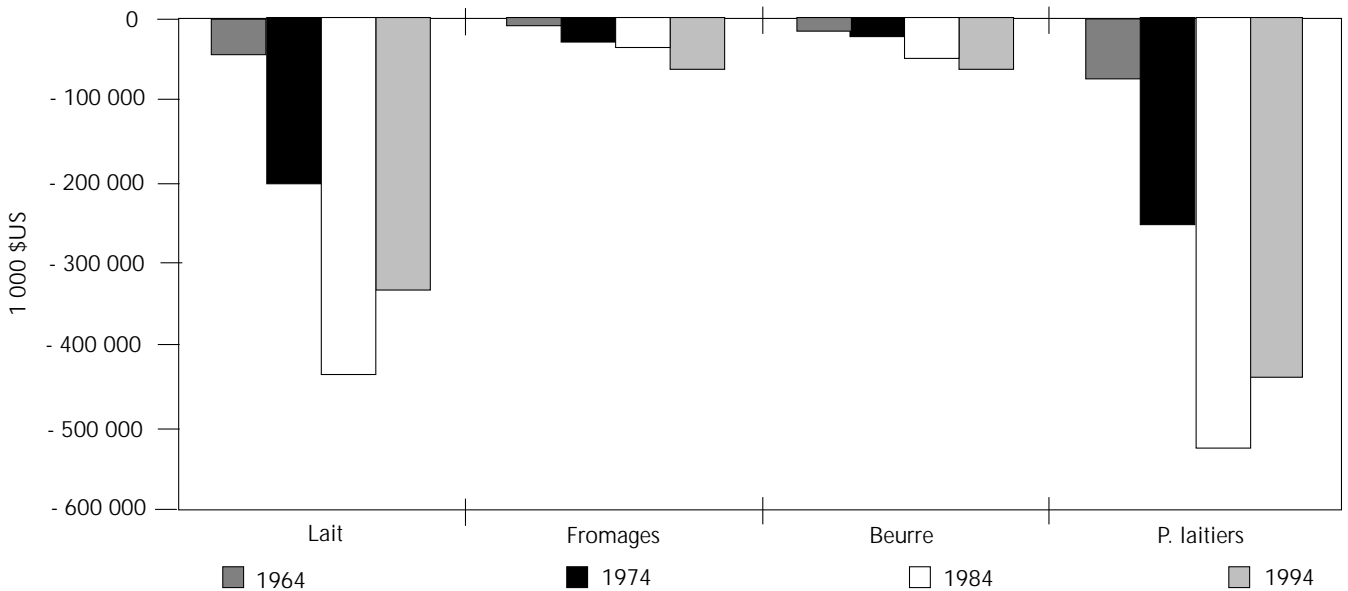


Figure 4 : évolution des soldes des échanges de produits laitiers en Ass (en \$US).

L'Afrique représente 2,3 p. 100 des importations mondiales d'œufs. L'Ass représente 1,5 p. 100 du commerce mondial avec 12 millions \$US d'importations et 9,5 millions d'exportations. Ce commerce, qui s'effectue surtout sous forme d'œufs en coquille, est principalement interne à la région.

Les laines

Le commerce mondial des laines représente 3,6 milliards de \$US soit 4 p. 100 du commerce de l'ensemble des produits animaux. L'Océanie est le plus gros exportateur (2,6 milliards). L'Asie est le plus gros importateur (1,8 milliard). L'Afrique représente 1,0 p. 100 des importations et 2,3 p. 100 des exportations mondiales de laines.

En Ass, le commerce est excédentaire de 62 millions de \$US. Les pays importateurs sont l'Afrique du Sud (6,7 millions) et Maurice (11,3 millions). Les pays exportateurs sont l'Afrique du Sud (74 millions), le Lesotho (6 millions) et le Kenya (0,4 million).

Les cuirs et les peaux

La valeur mondiale des exportations de cuirs et peaux brutes est d'environ 4,2 milliards de \$US soit 5 p. 100 du commerce de l'ensemble des produits animaux.

Les pays en développement des autres continents que l'Afrique se sont dotés d'une importante industrie de transformation, soit en produits semi-finis, soit en articles élaborés (de 1972 à 1992, la valeur des exportations de maroquinerie est passée en Inde de 61 à 1 072 millions de \$US).

L'Afrique produit 8 p. 100 des cuirs mondiaux et 14 p. 100 des peaux, mais reste marginale dans le commerce international (1,3 p. 100 des cuirs et 6,6 p. 100 des peaux). Elle en exporte pour 155 millions de \$US et en importe pour 77 millions.

L'Ass exporte des cuirs et peaux pour 147,2 millions de \$US et en importe pour 2,6 millions. Les principaux exportateurs sont l'Afrique du Sud (87,7 millions), le Kenya (15 millions), l'Ouganda (13 millions), le Zimbabwe (9 millions), le Nigeria (4 millions), le Burkina Faso, le Sénégal et le Soudan (3 millions).

Les pays développés, pour éviter la pollution provoquée par les tanneries, achètent de plus en plus de produits semi-finis de qualité (*wet-blues*), difficiles à produire. Cette exigence, jointe au fait que la consommation du cuir augmente, notamment dans les pays anglophones, fait que l'industrie du cuir est en général en difficulté en Afrique.

Les principaux flux des produits animaux sur les marchés Atlantique et Pacifique et les perspectives d'évolution

L'analyse globale des flux des produits animaux décrits ci-dessus montre le rôle majeur de l'espace dans les échanges commerciaux. C'est la proximité spatiale entre partenaires commerciaux qui explique en grande partie l'importance de leurs relations commerciales. Ainsi en 1992, 41 p. 100 des échanges mondiaux se faisaient à l'intérieur de l'Union européenne (UE) et de l'accord de libre échange Nord américain (Alena). Ces deux ensembles exportent, à l'extérieur de leur zone, seulement 6 p. 100 de la production mondiale de viande (9, 10).

Par ailleurs, les flux sont conditionnés par les contraintes sanitaires et les législations des différents pays. L'épidémie de fièvre aphteuse qui sévit encore aujourd'hui a conduit à faire une distinction entre la zone indemne (le marché Pacifique) et la zone contaminée (le marché Atlantique qui comprend l'Union européenne, l'Europe de l'Est, le Moyen Orient et l'Amérique du Sud).

Pour la défense sanitaire des élevages, les stratégies sont différentes dans les deux grandes zones de marchés. Le marché Pacifique adopte un comportement de risque zéro. Il n'importe que des produits « stérilisés » (la chaleur tue le virus aphteux et les viandes en boîte sont admises dans le sens Atlantique Pacifique). L'UE a une politique de risque minimal qui, par la viande désossée, permet des importations de pays où la fièvre aphteuse existe encore. Les nouvelles règles de l'Omc acceptent, définissent et reconnaissent désormais l'état de zone indemne (et non plus de pays indemne). Ce nouveau concept a des conséquences sur les échanges de viandes car de nombreux pays font des efforts considérables pour satisfaire à ces règles internationales.

Le prix de la viande sur le marché Atlantique est en général inférieur de 30 à 50 p. 100 à celui du marché Pacifique, surtout grâce aux subventions de l'UE ; cet écart a même atteint 90 p. 100 en 1990. Cette disparité devrait s'effacer avec le temps.

La peste bovine entraîne des difficultés similaires dans les échanges même si elle n'a pas les mêmes répercussions sur le commerce mondial car elle sévit en Afrique et en Asie, deux continents faiblement exportateurs.

L'analyse des différents échanges (21) entre et à l'intérieur des deux zones identifiées ainsi que les grands accords commerciaux régionaux et internationaux (Politique agricole commune de l'Union européenne, Acte final du cycle de l'Uruguay) (16) permettent de tirer les conséquences et les grandes lignes suivantes sur les marchés des produits animaux pour les années à venir (18, 19).

■ Les accès aux marchés

Ils seront plus faciles et plus importants à long terme.

■ Les accords commerciaux internationaux

Ils auront un faible impact sur les prix mondiaux à cause de la faiblesse des échanges par rapport à la production. Les projections des prix sont dues surtout à l'augmentation de la demande, conséquence d'une croissance économique et résultat en partie du cycle de l'Uruguay et de la réforme de la Pac. Cependant, en mettant à part les céréales et le porc, une distorsion apparaîtra entre les prix nationaux et les prix mondiaux.

■ La politique commerciale de l'Union européenne

Elle a accordé des possibilités plus grandes d'accès à son marché pour certaines viandes et pour les produits laitiers. Il faut s'attendre à un accroissement des échanges pour ces produits (principalement le bœuf sur le marché Pacifique). L'augmentation des importations concernera, pour la plus grande part, des contingents tarifaires, dans le cadre d'accords bilatéraux ou préférentiels. L'UE a soutenu l'idée d'un rééquilibrage en faisant des concessions sur les céréales, moyennant un tarif nul pour l'alimentation animale non céréalière (déjà accordée auparavant). Il y a donc eu substitution d'alimentation non céréalière à l'alimentation animale de base en céréales produites au sein de l'UE.

■ Les filières

Elles devront s'adapter. Pour la viande bovine par exemple, 500 000 tec (soit le quart des exportations actuelles hors UE) devront chercher un débouché hors subventions à partir de l'année 2000 pour éviter une énorme tension à la baisse sur le marché intérieur.

■ Les systèmes de protection classiques des marchés intérieurs

À partir de l'an 2000, les quotas, les monopoles d'importation à un organisme d'Etat, les prélèvements variables sur imports sont destinés à être remplacés par des droits de douane diminuant progressivement. Les différences de prix s'atténueront et les coûts

des transports feront privilégier les marchés de proximité et les marchés régionaux, d'autant qu'ils seront renforcés par les politiques sanitaires.

■ La variabilité des prix

La diversité des échanges et la faible importance des marchés internationaux font qu'il n'existe pas de prix mondial de référence. Les prix varient en fonction des qualités. Volailles et porcs ont des prix calqués sur ceux des céréales, qui varient peu d'un pays à l'autre — sauf de façon conjoncturelle. Les viandes de ruminants reflètent plus les coûts de production (selon l'importance des pâturages naturels). La viande est ainsi le régulateur du marché des céréales (la moitié de la viande produite provient d'une transformation des céréales, le quart des céréales produites va à la production de viande) et, plus faiblement, de celui des protéagineux. Sur le long terme, les trois marchés s'autorégulent, tandis que, sur le court terme, les ajustements proviennent du marché mondial. Avec l'Omc, cette autorégulation tendra à se réaliser à l'échelon planétaire.

A côté de cette analyse économique, l'évolution des échanges doit également tenir compte d'autres contraintes.

■ Les problèmes de santé animale

En Ass, ils constituent une entrave importante au commerce international (10, 11, 14). D'une façon générale, on retiendra les maladies de la liste A de l'Office international des épizooties (Oie) présentes en Afrique et plus particulièrement la fièvre aphteuse, la peste bovine, la péripneumonie contagieuse bovine, la peste des petits ruminants et la clavelée chez les ovins et caprins.

Les capacités des services vétérinaires nationaux pour le contrôle des mouvements transfrontaliers des troupeaux représentent également un frein au commerce international. Les pays d'importation vérifient souvent sur place la qualité et la fiabilité des contrôles.

En avril 1994 à Marrakech (Maroc), la réunion des partenaires du Gatt a créé l'Organisation mondiale du commerce (Omc), et a décidé la mise en application de l'accord Sps (sanitaire et phytosanitaire). Dans ce cadre, l'Oie a été retenu comme organisme de référence en matière de santé animale et de zoonoses, ce qui a fait l'objet d'une mise à jour de l'édition du code zoosanitaire (17).

Les récentes réunions de l'Oie ont permis l'adoption de la notion de « zone indemne » et non plus de « pays indemne ». Des experts désignés par l'Oie vérifient sur place que les normes très strictes sont respectées pendant un certain temps avant d'autoriser l'exportation. Il y a là un enjeu important pour que l'Ass puisse développer ses échanges.

Pour mieux identifier les effets du commerce mondial et de ces grands accords qui vont conditionner en partie les prix et les choix économiques des voies d'amélioration des productions animales, il est nécessaire de préciser pour l'Ass les évolutions de la demande et de l'offre actuelle.

■ L'ÉVOLUTION DE LA SATISFACTION DE LA DEMANDE EN PROTÉINES ANIMALES

La demande est prise dans son sens le plus large et comprend la demande intérieure (la consommation) et extérieure (les exportations).

La dégradation progressive de la situation alimentaire

Il existe un écart considérable des niveaux de consommation de protéines animales par habitant entre l'Afrique subsaharienne

d'une part, où la situation alimentaire s'est dégradée, le monde et l'Europe d'autre part, où cette consommation progresse respectivement de 24 p. 100 et 42 p. 100 (figure 5).

En Ass, les protéines animales d'origine terrestre consommées par habitant et par jour (9,2 g) représentent seulement 21 p. 100 des protéines totales (il faudrait y ajouter 3,3 g de poisson) :

- 5,8 g proviennent de la viande (y compris 1,3 g de gibier et d'espèces non conventionnelles) (4), soit 2,3 fois moins que dans le monde et 5,3 fois moins qu'en Europe ;

- 2,9 g sont issus de produits laitiers, soit 2,3 fois moins que dans le monde et 6,5 fois moins qu'en Europe ;

- 0,5 g proviennent d'œufs et de produits divers.

Dans le monde, cette consommation est passée de 20 à 25,8 g. La tendance est sensiblement voisine pour les divers produits animaux : viande, produits laitiers et œufs. En Europe, les protéines animales représentent plus de la moitié (57 p. 100) des apports protéiques. Il est intéressant à noter que l'apport des protéines végétales est remarquablement proche en Ass, en Europe et dans le monde : il est stable sur le long terme, compris entre 41 et 46 g. Une meilleure alimentation nécessite des protéines d'origine animale apportant des acides aminés indispensables, des oligo-éléments et des nutriments essentiels.

Aujourd'hui, l'Afrique est globalement malnutrie et sous-alimentée en produits animaux. En fonction des recommandations sur l'état de bonne santé, 200 millions d'Africains environ sont sous-alimentés (sans compter les sous-nutritions conjoncturelles lors de catastrophes qui représentent 10 à 15 p. 100 des cas). Le pourcentage de la population sous-alimentée est resté stable (autour de 35 p. 100) entre 1970 et 1990. Dans le même temps, cette proportion a baissé de 19 à 13 p. 100 en Amérique latine et de 40 à 19 p. 100 en Asie.

La consommation de viande

La figure 6 montre la forte croissance de la consommation de viande par espèce en Ass, mais la figure 7 met en évidence la dégradation de la situation par habitant.

Le rythme de progression des approvisionnements globaux n'a donc pu suivre le taux très élevé de la croissance démographique. L'évolution entre viandes rouges et viandes blanches a été fort différente de 1964 à 1994.

■ Les viandes rouges

Depuis 1964 la consommation totale de viande de bœuf a augmenté de 1,7 p. 100 par an (tableau II). En revanche, la consommation annuelle individuelle a diminué de 7,1 à 5,1 kg.

La consommation totale de viande de petits ruminants a augmenté de 2,1 p. 100 par an alors que la consommation annuelle individuelle

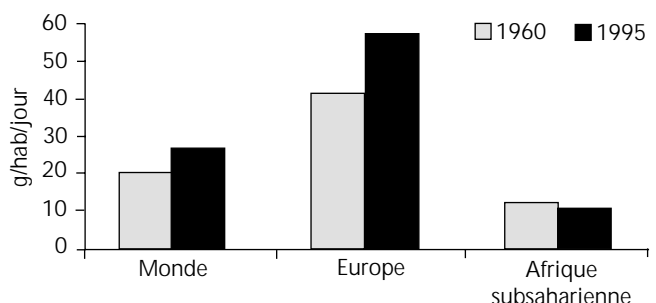


Figure 5 : consommation de protéines animales (en g/hab/jour).

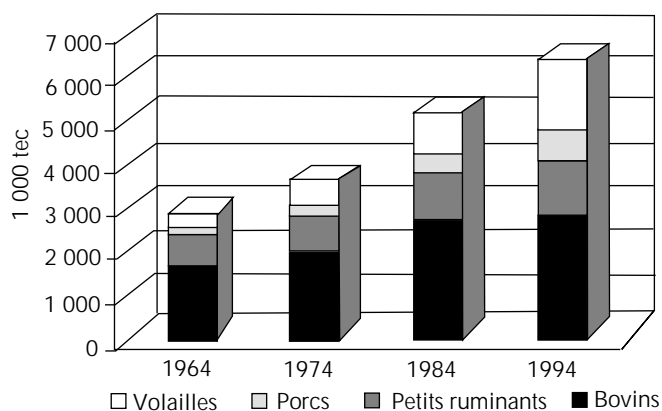


Figure 6 : évolution de la consommation totale de viande en Ass (en tec).

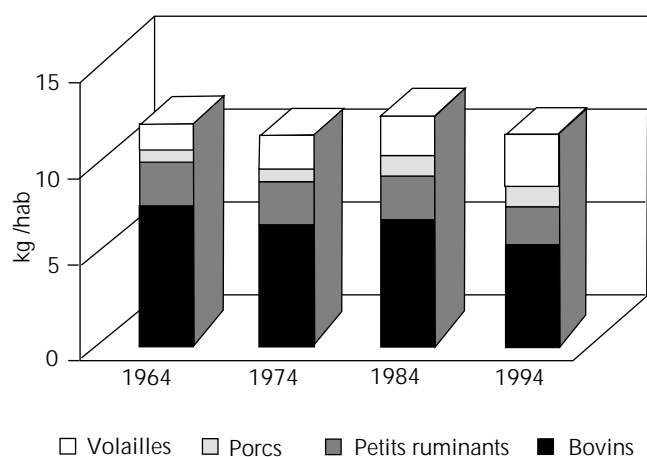


Figure 7 : évolution de la consommation de viande par habitant en Ass (en kg/hab).

est passée de 2,56 à 2,05 kg. La consommation de viande caprine (1 kg/hab/an) est très proche de celle des ovins (1,06 kg/hab/an).

Globalement, depuis trente ans, la consommation totale de viandes rouges a été multipliée par 1,7 mais a baissé de 26 p. 100 par habitant.

■ Les viandes blanches

Depuis 1964, la consommation de viande de porc a augmenté de 4,5 p. 100 par an (tableau III) et la consommation annuelle individuelle a augmenté de 0,8 à 1,3 kg.

Pour la viande de volailles, la consommation a augmenté de 5,6 p. 100 par an et la consommation annuelle individuelle est passée de 1,2 à 2,6 kg par habitant.

Globalement, depuis trente ans, la consommation totale de viandes blanches a été multipliée par 4,5 et la consommation par habitant a pratiquement doublé (+ 96 p. 100)

■ L'ensemble des viandes

Nous ne prendrons pas en compte la consommation d'autres viandes (camelins, équins, asins, faune sauvage et espèces non conventionnelles) où les imprécisions sont encore plus grandes que pour les espèces conventionnelles. Le lecteur intéressé pourra se reporter à l'étude des auteurs.

Depuis 1964, les viandes blanches se sont substituées progressivement aux viandes rouges. Elles sont ainsi passées de 17 p. 100 à 35 p. 100 de la ration. Mais globalement, la consommation individuelle de viande a baissé de 6 p. 100 (tableau IV).

La consommation des produits laitiers et des œufs

Depuis 1964 la consommation de produits laitiers a augmenté de 2 p. 100 par an (tableau V) mais la consommation annuelle individuelle a diminué sensiblement, passant de 41,2 à 32,2 kg. Elle se répartit ainsi : 71 p. 100 de lait de vache produit et 6 p. 100 de lait importé, 10 p. 100 de lait de chèvre, 7 p. 100 de lait de brebis et 6 p. 100 de lait d'autres espèces.

La consommation d'œufs a augmenté de 4,3 p. 100 par an et la consommation annuelle individuelle est passée de 1,4 à 2,1 kg par habitant.

Tableau II

Consommation totale de viande rouge *

	1964	1974	1984	1994
Bovins	1 788	2 153	2 889	2 943
Petits ruminants	643	693	946	1 184
Total viande rouge	2 431	2 846	3 835	4 127

* En 1 000 tonnes équivalent carcasse

Tableau III

Consommation totale de viande blanche *

	1964	1974	1984	1994
Porcins	203	302	406	756
Volailles	291	550	972	1 477
Total	494	852	1 378	2 233

* En 1 000 tonnes équivalent carcasse

Tableau IV

Evolution de la consommation des différents types de viandes (en % de la consommation de toutes les viandes)

Viandes	1964	1994
Bovins	61,1	46,3
Petits ruminants	22,0	18,6
Viandes rouges	83,1	64,9
Porcins	7,0	11,9
Volailles	10,0	23,2
Viandes blanches	16,9	35,1
Total viandes	100	100

Tableau V

Consommation des produits laitiers * et des œufs **

	1964	1974	1984	1994
Produits laitiers	10 331	12 459	16 660	18 610
Œufs	340	560	796	1 198

* En 1 000 tonnes équivalent lait

** En 1 000 tonnes

■ L'ÉVOLUTION DE L'OFFRE

L'offre est prise dans son sens le plus large et comprend la production nationale consommée et les importations.

D'exportatrice, l'Afrique subsaharienne est devenue importatrice. Les succès incontestables en matière de santé animale n'ont pas été suivis par une amélioration suffisante de la productivité pour satisfaire la croissance de la demande.

Les viandes

Les viandes rouges

■ Les bovins

Entre 1964 et 1994, la population humaine a augmenté de 2,8 p. 100 par an, alors que la croissance numérique annuelle moyenne des effectifs bovins n'a atteint que 1,3 p. 100 (tableau VI). Pour conserver le même niveau de consommation, hors importations, la productivité aurait dû augmenter de 1,5 p. 100 par an.

Les progrès réalisés, limités à 0,3 p. 100 par an, sont liés à l'augmentation des taux d'exploitation permis par un meilleur contrôle de la santé animale. Le poids des carcasses a baissé depuis 1984.

Avec 14,2 p. 100 des effectifs mondiaux, la production de l'Ass ne représente que 5,5 p. 100 de la production mondiale. Malgré la

baisse de la consommation individuelle de 1,1 p. 100 par an, l'Ass est passée d'une situation d'exportateur net de 27 000 tonnes en 1964 à celle d'importateur net de 20 000 tonnes en 1994.

■ Les petits ruminants

Avec 18,9 p. 100 des effectifs mondiaux, la production de l'Ass ne représente que 12 p. 100 de la production mondiale.

Les mêmes observations sont à faire (tableau VII) que pour les bovins. La moindre croissance du taux d'exploitation indique que l'effort en matière de santé animale, peu abordé pendant cette période écoulée, doit être intensifié. L'Ass est passée d'une situation d'exportateur net de 23 000 tonnes à celle d'importateur net de 8 000 tonnes

Les viandes blanches

Avec 2,4 p. 100 des effectifs mondiaux, la production de viande porcine de l'Ass ne représente que 1,0 p. 100 de la production mondiale. La production de viande de volaille représente 2,5 p. 100 de la production mondiale.

Peu de choses ont été réalisées en matière d'élevage porcin, la croissance importante de la production est surtout due à la croissance des effectifs (tableau VIII).

Pour les volailles, il est difficile de se prononcer au niveau macro-économique sur les paramètres importants qui ont fait croître la

Tableau VI

Effectifs des bovins et tonnage des carcasses produites

	1964	1974	1984	1994	Tc *
Effectifs (millions)	124,5	145,5	167,5	185,1	1,3
Taux d'exploitation (%)	10	10	11	12	0,6
Poids des carcasses (kg)	145,8	152,3	153,3	131,2	- 0,4
Productivité (kg/animal)	14,6	15,2	16,9	15,8	0,3
Production (1 000 tonnes)	1 815	2 217	2 824	2 914	1,6

Tableau VII

Effectif des petits ruminants et tonnage de carcasses produites

	1964	1974	1984	1994	Tc *
Effectifs (millions)	201,3	221	274,1	321,7	1,6
Taux d'exploitation (%)	28	82	77	75	0,3
Poids des carcasses (kg)	11,8	11,8	12,2	12,2	0,3
Productivité (kg/animal)	3,3	3,3	3,5	3,7	0,3
Production (1 000 tonnes)	666	773	968	1 177	1,9

Tableau VIII

Effectif des porcins et production de carcasses de porcins et de volailles

	1964	1974	1984	1994	Tc *
Production porcine					
Effectifs (millions)	6,2	7,9	11	21,3	4,2
Taux d'exploitation (%)	69	82	77	75	0,3
Poids des carcasses (kg)	47,8	46,6	47	45,9	- 0,1
Productivité (kg/animal)	33	30,2	36,2	34,4	0,1
Production (1 000 tonnes)	203	301	398	733	4,4
Production (1 000 tonnes)	289	543	916	1 331	5,2

* Taux de croissance moyen annuel

production. En effet, on ne dispose pas de statistiques générales sur les parts respectives de l'élevage villageois et de l'élevage modernisé et leurs évolutions. Les efforts importants réalisés en matière de production n'ont toutefois pas permis de suivre la croissance très élevée de la consommation (5,6 p. 100 par an.)

L'Ass est passée pour les porcins d'une situation équilibrée à une situation d'importateur net de 23 000 tonnes. Les importations nettes de volailles sont passées de 2 000 à 146 000 tonnes malgré le développement des productions.

L'ensemble des viandes

Malgré une augmentation de la production de 3,2 millions de tonnes (elle a plus que doublé en trente ans), la situation générale s'est fortement dégradée puisque d'une situation d'exportateur (48 000 tonnes), l'Ass doit maintenant importer 207 000 tonnes de viande (tableau IX).

Les produits laitiers et les œufs

La production de lait et de produits laitiers est estimée à 17,552 millions de tonnes (tableau X), dont 991 000 teql transformées en beurre et fromages et 16,561 millions de tonnes de produits laitiers (lait frais, lait caillé...).

La production de lait en Ass représente 3,1 p. 100 de la production mondiale, celle du beurre 7,8 p. 100, celle des fromages 3,1 p. 100 et celle des œufs 2,7 p. 100.

Malgré une augmentation de la production de 7,7 millions de tonnes, le volume des importations a été multiplié par 2,2, passant de 477 000 tonnes à 1,058 millions de teql (tableau XI).

Pour les œufs, la situation est restée stable et l'Ass est à peu près autosuffisante.

L'amélioration de l'offre

Ce bilan général de l'évolution de l'offre pourra paraître pessimiste. Cependant il ne doit pas occulter les efforts entrepris. En trente ans, les productions de viande ont plus que doublé et celles de produits laitiers ont été multipliées par 1,8. Pendant la même période, les villes, qui ont vu leur population multipliée par 4,3 (par 5,2 de 1960 à aujourd'hui), ont pu être ravitaillées et nourries sans problème majeur.

Les expériences acquises pendant cette période permettent de tirer des enseignements qui feront avancer plus rapidement les projets de développement. Leur succès repose sur plusieurs éléments :

- l'approche doit être aussi holistique que possible, avec notamment l'intégration de l'élevage à l'agriculture qui potentialise les productions de chacun ; elle ne peut être sectorielle que pour quelques spéculations particulières ;
- la nécessité d'impliquer les professionnels le plus tôt possible (15) ;
- l'intégration de la protection de l'environnement ;

Tableau IX

Evolution des soldes production/consommation des viandes*

Viandes	1964			1994		
	Consommation	Production	Importations	Consommation	Production	Importations
Bovins	1 788	1 815	- 27	2 944	2 914	30
Petits ruminants	643	666	- 23	1 185	1 177	8
Viandes rouges	2 431	2 481	- 50	4 129	4 091	38
Porcins	203	203	0	756	733	23
Volailles	291	289	2	1 477	1 331	146
Viandes blanches	494	492	2	2 233	2 064	169
Total viandes	2 925	2 973	- 48	6 362	6 155	207

* En tonnes équivalent carcasse

Tableau X

Production de produits laitiers * et d'œufs **

	1964	1974	1984	1994	Tc ***
Produits laitiers	9 954	11 301	14 367	17 552	1,9
Œufs	346	563	794	1 194	4,2

* En 1 000 tonnes équivalent lait

** En 1 000 tonnes

*** Taux de croissance moyen annuel

Tableau XI

Evolution des soldes production/consommation des produits laitiers * et des œufs **

Viandes	1964			1994		
	Consommation	Production	Importations	Consommation	Production	Importations
Produits laitiers	10 331	9 854	477	18 610	17 552	1 058
Œufs	340	326	14	1 198	1 194	4

* En 1 000 tonnes équivalent lait

** En 1 000 tonnes

- la recherche systématique de l'optimisation de la productivité du cheptel : les productions animales basées sur le gaspillage de l'espace et la cueillette sont révolues ;
- les mesures d'intensification doivent mieux intégrer les contraintes du milieu ; en recherche, le terrain prime sur les stations.

■ CONCLUSION

L'Afrique subsaharienne comprend une part importante des effectifs animaux. Toutefois, les productions animales font l'objet de peu d'échanges mondiaux. Ce fait tient à une forte consommation intérieure, à une faible productivité du cheptel et aux conditions sanitaires actuelles entraînant des barrières aux exportations.

Ces productions restent cependant insuffisantes pour fournir les apports en protéines d'origine animale nécessaires aux popula-

tions de la région. En effet, l'importante augmentation de la démographie a pour conséquence un accroissement considérable de la demande. Celle-ci est mal satisfaite et entraîne une évolution des types de viandes consommés et des modes de consommation.

Avant de proposer des voies d'amélioration utiles à l'augmentation des productions, il faut souligner que l'Ass présente une très grande diversité en ce qui concerne la répartition du cheptel, mais aussi les demandes de produits animaux liées aux concentrations humaines, à leur pouvoir d'achat et à l'accès plus ou moins facile aux produits d'origine animale. Il s'agit d'avoir une analyse géographique cohérente qui puisse amener à proposer des orientations de développement des différents élevages. Pour cela, les pays de l'Ass ont été regroupés par zones complémentaires de production et de consommation. Ce zonage sera présenté dans la deuxième partie de cette étude.

BIBLIOGRAPHIE

1. WINROCK INTERNATIONAL, 1991. Assessment of animal agriculture in sub-saharan Africa. Morrilton, AR, USA, Winrock International Institute for Agricultural Development, 124 p.
2. BOUTONNET J.P., SIMIER J.P., 1995. Les viandes. Paris, France, Economica, 110 p. (Coll. Cyclope)
3. CHABEUF N., 1990. Réflexions sur les productions animales en Afrique de l'Ouest. In : Réunion préparatoire à la conf. des Ministres de l'Agriculture de l'Afrique de l'Ouest, Dakar, Sénégal, 10-14 septembre 1990. S.I., 35 p.
4. CHARDONNET P. ed., 1996. Faune sauvage africaine, la ressource oubliée, 2 vol. Luxembourg, Office des publications des Communautés européennes, 416 p., 288 p.
5. DE HAAN C., STEINFELD H., BLACKBURN H., 1977. Livestock and the environment, Finding a balance. Fressingfield, UK, WRENmedia, 113 p.
6. FAO, 1981. Agriculture : horizon 2000. Rome, Italie, Fao, 178 p. (Etudes de développement économique et social, n° 23)
7. FAO, 1995. Annuaire du commerce 1994. Rome, Italie, Fao, 385 p. (vol. 48)
8. FAO, 1996. Annuaire de la production 1995. Rome, Italie, Fao, 235 p. (vol. 49)
9. FAO, 1996. Le marché mondial de la viande : situations et perspectives 1995. Rome, Italie, Fao, n. p.
10. FAO, 1996. Rapport de la 16^e session du Groupe intergouvernemental sur la viande, Bologne, Italie, 8-10 mai 1996. Rome, Italie, Fao, 13 p.
11. FAO, 1996. Obstacles techniques à l'importation de bétail et de viande en provenance de pays en développement et progrès accomplis en ce qui concerne leur réduction en vertu des dispositions de l'Uruguay Round. In : Rapport de la 16^e session du Groupe intergouvernemental sur la viande, Bologne, Italie, 8-10 mai 1996. Rome, Italie, Fao, 8 p.
12. FAO/WAICENT. FAOSTAT Statistical databases, <http://apps.fao.org>. (consulté le 23 septembre 1997)
13. JAHNKE H.E., 1984. Systèmes de production animale et développement de l'élevage en Afrique tropicale. Kiel, Allemagne, Kieler Wissenschaftsverlag Vauk, 279 p.
14. LACROUTS M., 1969. Problème de la commercialisation du bétail en Afrique. *Revue Elev. Méd. vét. Pays trop.*, **22** : 127-144.
15. MINISTÈRE DE LA COOPÉRATION, 1996. La relance du secteur élevage dans les pays de la zone franc après dévaluation. Paris, France, ministère de la Coopération, 107 p. (Rapport d'étude)
16. OCDE, 1995. Le cycle d'Uruguay : évaluation préliminaire des conséquences de l'accord sur l'agriculture dans les pays de l'Ocde. Paris, France, Ocde, 106 p.
17. OIE, 1992. Code zoosanitaire international, 6^e éd. mise à jour en 1997. Paris, France, Office international des épizooties, 450 p.
18. ROLLAND J.P., 1994. Impact de l'accord du Gatt et de la réforme de la Pac (le cas du marché eurafricain de la viande bovine). Paris, France, Solagral, 182 p.
19. SARNIGUET J., 1990. Effets des importations de viandes du marché mondial sur les échanges de la région Afrique de l'Ouest et centrale 1970-1987. Paris, France, Solagral, n. p. (Réseau stratégies alimentaires, documents du groupe Elevage)
20. STEINFELD H., DE HAAN C., BLACKBURN H., 1977. Livestock-environment interactions. Issues and options. Fressingfield, UK, WRENmedia, 56 p.
21. TACHER G., LETENNEUR L., 1997. Étude sur la compétitivité des filières de productions animales en Afrique subsaharienne et à Madagascar. Phase 1 : rapport de synthèse. Cirad-Emtv, Montpellier, France/Bdpa-Scetagri, Paris, France, 142 p.

Reçu le 15.9.98, accepté le 21.12.99

Summary

Tacher G., Letenneur L. Livestock sector in sub-Saharan Africa, from the Independence's to 2020. I. Sub-Saharan Africa in the world exchanges and livestock sector's trend

Livestock sector represents a variable, but often important, part of the agricultural sector in different countries of sub-Saharan Africa (SSA). It is estimated to about one third of the gross domestic product in the agricultural sector (livestock not included). SSA contributes for less than 2% of the world exchanges of livestock products. SSA imports 2.2% of meat and accounts for only 1.4% of the world exports. The balance of payments deficit amounts to 400 billions US\$ and over the half concerns chicken and pork (white meat). The deficit linked to the milk products is important too. In return, the balance is positive for skin and hides. An analysis of trade flows reveals that they are strongly linked to the proximity of partners, the sanitary constraints and the system of statutes. Then the regional demand of livestock products is analyzed through the animal protein food intakes in the consumption of these last 30 years. This analysis reveals a low daily consumption (9.2 g per capita), with an important evolution of consumed products like chicken and pork. For the milk products, if the total consumption increases of 2% per year, the annual consumption per capita decreases (32.2 kg in 1994). The increase of production is less important than the demographic growth, the livestock production has doubled these last 30 years, but the imports have increased steeply. For milk, the production increases, but not enough, and the imports are superior to 1 000 tons eq. milk (teql).

Key words: Animal production - Animal protein - Consumption - Supply- World markets - Africa south of Sahara.

Resumen

Tacher G., Letenneur L. El sector de las producciones animales en Africa subsahariana, desde las independencias hasta el 2020. I. Lugar de Africa subsahariana en los intercambios mundiales y la evolución del sector de producción

El sector de las producciones animales en Africa subsahariana (Ass) contribuye en una parte variable, pero a menudo importante, a las economías agrícolas de los diferentes países. Este representa en promedio un tercio del producto interno bruto agrícola. El Ass contribuye en forma limitada en los intercambios mundiales de productos pecuarios. Esta importa 2,2% de las carnes y participa con 1,4% de las exportaciones mundiales. Existe pues un saldo deficitario de 400 millones de US\$, de los cuales más de la mitad conciernen carnes blancas. El déficit debido a las importaciones es igualmente importante para los productos lácteos, sobretudo la leche. En revancha, el saldo en Ass es positivo para los cueros y pieles. El análisis de estos flujos comerciales muestra que se encuentran condicionados por la proximidad de los socios participantes, los obstáculos sanitarios y los reglamentos ligados a éstos. Se analiza seguidamente la demanda regional en productos animales, a partir del consumo en proteínas animales durante los últimos treinta años. Esta muestra un consumo cotidiano bajo, de 9,2 g por habitante con una evolución importante de productos consumidos, principalmente un fuerte aumento en las carnes de aves y cerdo. En cuanto a los productos lácteos, si bien el consumo total aumenta de 2% por año, el consumo anual por habitante disminuye (32,2 kg en 1994). La oferta muestra el aumento de la producción, pero este aumento es a menudo inferior al crecimiento de la población humana: el crecimiento numérico anual de los bovinos es de 1,3%, la producción de carnes se ha duplicado en 30 años, pero las importaciones han aumentado fuertemente. La producción de leche se encuentra en fuerte alza, pero permanece insuficiente, requiriendo importaciones superiores a 1 000 toneladas equivalentes de leche (teql).

Palabras clave: Producción animal - Proteínas de origen animal - Consumo - Oferta - Mercados mundiales - Africa al sur del Sahara.

Estimation des paramètres génétiques de la résistance au parasitisme gastro-intestinal en élevage villageois de petits ruminants au Sénégal

V. Clément^{1*} J. Bouix¹ E. Tillard²
A. Gueye³ R.L. Baker⁴

Mots-clés

Ovin - Caprin - Méthode d'élevage - Parasites - Maladie de l'appareil digestif - Paramètres génétiques - Sénégal.

Résumé

Un protocole d'étude de la résistance génétique aux strongyloses gastro-intestinales a été mis en place sur des races locales d'ovins et de caprins du Sénégal. Des prélèvements de sang et des coproscopies ont été réalisés pendant deux ans sur des animaux de différents troupeaux de la zone de Louga en climat sahélien et de la zone de Kolda en climat soudano-guinéen. L'identité des pères étant inconnue dans ce contexte d'élevage, les apparentements étudiés étaient essentiellement les relations mère-descendant. Les caractères analysés étaient la coproscopie (trois prélèvements par an) en nombre d'œufs par gramme de fèces (Opg) et l'hématocrite (deux prélèvements par an). Dans la région de Louga, le nombre d'individus étudiés (des deux espèces) était de 377 la première année et 606 la deuxième année. Dans la zone de Kolda, l'échantillon comprenait 671 animaux la première année, 725 la deuxième année. L'héritabilité et la répétabilité ont été estimées à l'aide d'un modèle « animal », avec comme effets fixés la combinaison village*saïson*année, l'âge et le stade de lactation pour les mères, la combinaison village*saïson*année, l'âge et le sexe pour les jeunes. La répétabilité moyenne intra-année était de 0,19 pour le caractère nombre d'Opg et 0,27 pour l'hématocrite. Elle était plus faible entre années : 0,12 pour le nombre d'Opg et 0,21 pour l'hématocrite. L'estimation de l'héritabilité a présenté des difficultés, à cause de la structure des données villageoises qui ne permettait pas d'estimer directement l'environnement maternel et les effets troupeaux, respectivement en raison de généalogies insuffisantes et de faibles effectifs par élevage. Les estimations de l'héritabilité variaient entre 0 et 0,33 pour le nombre d'Opg et entre 0 et 0,38 pour l'hématocrite selon l'échantillon analysé et le modèle utilisé. Les corrélations génétiques entre caractères n'ont pas pu être estimées. En revanche, les corrélations phénotypiques ont été estimées entre le nombre d'Opg et l'hématocrite, ainsi qu'entre chacune de ces deux variables et le poids des jeunes. Les contraintes liées à une étude génétique en milieu traditionnel ont été discutées.

INTRODUCTION

Les parasites gastro-intestinaux, présents au stade larvaire sur le pâturage, sont responsables chez les ruminants de taux de mortalité élevés et d'une baisse de la productivité (chute de poids, ralentissement de la croissance, réduction de la fertilité...). Les traitements chimiques sont coûteux, néfastes pour l'environnement et, à plus long terme, sont à l'origine du développement de mécanismes de résistance chez les parasites (14, 21, 27, 33). L'élevage d'animaux

génétiquement résistants pourrait être une bonne alternative aux traitements chimiques : l'identification et la sélection d'animaux, sur la base de critères de résistance à l'infestation, est un moyen efficace de réduire les pertes causées par les parasites gastro-intestinaux (4, 9, 17, 32). Par ailleurs, certaines races tropicales s'avèrent être plus résistantes que d'autres et il est vraisemblable que ce soit une résultante de la sélection naturelle (7). Les critères couramment utilisés pour étudier la résistance au parasitisme gastro-intestinal sont de deux types. Ils permettent d'évaluer soit la résistance des hôtes face à l'installation et au développement des parasites, soit la capacité des animaux à lutter contre les conséquences d'une infestation. La première série de critères, nombre d'Opg et hématocrite, concerne la mesure du niveau d'infestation par les parasites, l'hématocrite traduisant le niveau d'anémie de l'hôte infesté par des parasites hématophages. La deuxième série de critères est relative aux variables de production de l'animal hôte

1. Inra-Saga, BP 27, 31326 Castanet-Tolosan Cedex, France. Tél : +330561 285194; Fax : + 33 05 61 28 53 53 ; E-mail : clement@germinal.toulouse.inra.fr

2. Cirad-Elevage, 97410 Saint-Pierre, La Réunion

3. Isra-Lnerv, BP 2057, Dakar Hann, Sénégal

4. Ilri, PO Box 30709, Nairobi, Kenya

* Auteur pour la correspondance

soumis à une infestation, telles que le poids vif des jeunes d'où l'on déduit la production laitière des mères.

En climat tropical, la chaleur et l'humidité sont particulièrement favorables au développement des larves et le taux de prévalence est souvent proche de 100 p. 100 (12, 22). Au Sénégal notamment, le parasitisme gastro-intestinal est une pathologie majeure chez les ruminants, d'autant plus que l'élevage est en grande majorité de type extensif et que les animaux sont en contact direct avec les parasites sur le pâturage. Dans les élevages traditionnels, le pourcentage d'animaux parasités est élevé (de 27 à 88 p. 100 en Casamance en saison des pluies) (15) et les pertes de poids vif peuvent atteindre 10 à 50 p. 100 chez les ovins (31). L'amélioration génétique des animaux pourrait être à long terme un moyen efficace de lutter contre le parasitisme gastro-intestinal dans les pays tropicaux.

L'objectif de ce travail était double. D'une part, il s'agissait d'estimer l'héritabilité et la répétabilité des caractères de résistance (nombre d'Opg et hématocrite) en infestation naturelle chez des ovins et des caprins dans un système d'élevage villageois au Sénégal. D'autre part, il s'agissait de discuter des problèmes méthodologiques rencontrés et des conditions de réussite d'une étude génétique dans un contexte d'élevage traditionnel tel que celui-ci. Des données de parasitologie ont été recueillies dans des troupeaux villageois situés en zones sahélienne et soudano-guinéenne par le projet de recherche conjoint Cirad-emvt/Isra (programme Ppr : Pathologie et productivité des petits ruminants), dans le cadre de l'Action thématique programmée : Strongyloses gastro-intestinales des petits ruminants en milieu tropical, résistance génétique et milieu d'infestation.

■ MATERIEL ET METHODES

Le contexte de l'étude

De 1983 à 1998, l'Emvt (Maisons-Alfort, France) et l'Isra (Dakar, Sénégal) ont conduit un projet de suivi individuel des ovins et des caprins du Sénégal dans leur système d'élevage (programme Ppr) dans le but d'approfondir les connaissances sur les pratiques d'élevage traditionnel, d'identifier les principales pathologies des petits ruminants et d'étudier leurs performances zootechniques. Le passage régulier des techniciens dans les troupeaux a permis de recueillir des informations démographiques, sanitaires et zootechniques sur les animaux. La volonté affirmée de ce programme de ne pas modifier la conduite de l'élevage rendait le suivi des animaux totalement dépendant de la gestion traditionnelle du troupeau par l'éleveur. De 1992 à 1994, dans le cadre de ce projet, une étude sur le parasitisme gastro-intestinal a été conduite sur des animaux qui faisaient déjà partie du suivi. Des coproscopies et des prélèvements de sang ont été réalisés au même moment chez des femelles et chez leurs jeunes. Deux régions différentes ont été étudiées : la zone de Louga au nord du Sénégal (années 1992 et 1993), et la zone de Kolda au sud (1993 et 1994).

Au Sénégal, comme dans de nombreux pays en développement, la gestion des troupeaux est dictée à tout moment par les besoins financiers et socioculturels de l'éleveur et de sa famille. Ainsi, les ventes de jeunes animaux sont importantes — soit à l'occasion d'une fête religieuse, soit parce que l'éleveur a un besoin d'argent immédiat — et fluctuantes au cours de l'année. Il était donc difficile de savoir *a priori* si les animaux sélectionnés allaient être conservés les années suivantes. C'est pour cette raison que les prélèvements ont été réalisés simultanément chez les mères et chez leurs jeunes alors que, théoriquement, il aurait fallu mesurer les

deux premières générations d'animaux au même âge, jeune ou adulte. Il était également difficile d'étudier les animaux pendant une période de temps relativement longue. Ainsi le nombre d'individus examinés pendant deux années successives a été faible.

Une autre difficulté liée au recueil de données en milieu traditionnel est la petite taille des élevages. L'effectif moyen par troupeau était de 3 animaux à Kolda et de 4 à Louga, avec des tailles de troupeaux pouvant aller de 2 à 30 animaux (figure 1).

Les caractéristiques du milieu et les pratiques d'élevage

Les deux régions étudiées sont différentes, tant du point de vue climatique que zootechnique. Sous un climat de type sahélien, la région de Louga, située au nord du Sénégal, est caractérisée par une longue saison sèche et une saison des pluies de juillet à septembre avec des précipitations de l'ordre de 200 à 300 mm. Dans cette zone, 60 élevages répartis dans 15 villages ont été choisis pour le recueil de données. L'étude a concerné 193 caprins et 184 ovins en 1992, 249 caprins et 357 ovins en 1993. La zone de Kolda située en Casamance, en climat soudano-guinéen, est caractérisée par une végétation beaucoup plus fournie (savane boisée constituée de graminées vivaces). La saison des pluies s'étale de juin à octobre avec des précipitations atteignant 950 mm. Quarante-cinq élevages répartis dans 25 villages y ont été suivis pour le recueil des données de parasitologie. Les effectifs étaient de 322 caprins et 349 ovins en 1993, 428 caprins et 297 ovins en 1994.

Les pratiques d'élevage ont été décrites par Faugère et coll. (15, 16), Moulin (25) et Moulin et coll. (26). La principale caractéristique de ces pratiques est leur grande variabilité. Selon la région, l'ethnie et le village auquel appartient l'éleveur, la conduite des troupeaux peut être très différente.

A Louga, les deux ethnies principales sont les Wolofs et les Peuls. Les ovins de cette région sont des Peul-Peul, des Touabir (race généralement réservée à l'élevage de case) ou des Waralé (croisement Peul-Peul x Touabir) ; tous les caprins sont de race sahélienne. Les Peuls sont généralement propriétaires d'ovins et de caprins, ces derniers fournissant du lait. Hors saison des cultures, les animaux sevrés sont laissés en divagation aux alentours des villages et ils ont accès aux résidus de récolte et à la végétation naturelle de type savane (graminées annuelles). La nuit, les animaux sont placés dans des parcs ou sous des abris plus ou moins sophistiqués à l'intérieur de la concession — qui regroupe l'ensemble des habitations d'une même famille. Pendant la saison des cultures, les animaux sont gardés par les enfants ou conduits en troupeaux villageois sous la responsabilité d'un berger. Les Wolofs possèdent généralement des troupeaux composés uniquement d'ovins, et pratiquent un élevage plus intensif que les Peuls : les animaux sont conduits sur parcours pendant la journée, ils bénéficient d'un apport alimentaire pendant la saison sèche et le lait fourni par les brebis est prélevé en quantité importante.

A Kolda, pendant la saison des cultures, les Peuls — qui constituent la principale ethnie de cette partie du pays — attachent leurs animaux (ovins Djallonké et chèvres guinéennes) en bordure des champs. Dès la fin des récoltes, les animaux exploitent les résidus de cultures. Au fur et à mesure que la saison sèche avance, les ovins descendent dans les bas-fonds rizicoles et les caprins se nourrissent de la végétation des sous-bois sur les plateaux. Pendant la saison des pluies, les animaux sont attachés en bordure des champs ou conduits sur parcours, mais cette possibilité est beaucoup moins fréquente et réservée aux troupeaux de plus grande taille.

La reproduction n'est pas maîtrisée et les pratiques actuelles (divagation des animaux autour des villages, conduite sur parcours en troupeaux collectifs, exploitation importante des mâles pour la viande) ne permettent pas d'identifier les paternités. Certains éleveurs louent ou achètent un mâle reproducteur pour leur troupeau, ou encore gardent un mâle du troupeau (choisi d'après sa conformation) pour la reproduction, les autres étant vendus ou castrés. Mais dans la grande majorité des cas, les mâles sont vendus pour la viande et la reproduction est alors assurée par les jeunes mâles de l'année précédente ou par un animal d'un troupeau voisin. En ce qui concerne la réforme et le remplacement des femelles, les éleveurs tiennent généralement compte de leurs performances de reproduction.

Le protocole d'étude

En raison des différences importantes entre types génétiques, systèmes de conduite et conditions climatiques, les analyses des deux régions et des deux espèces ont été conduites séparément. Les prélèvements fécaux ont été faits à trois reprises chaque année : en juillet-août (P1), en octobre-novembre (P2) et en décembre-janvier (P3). Le nombre d'Opg a été déterminé par la technique de McMaster, à partir de selles formolées pour les années 1992 et 1993, à partir de selles fraîches pour l'année 1994 (grâce à l'installation d'un laboratoire à Kolda). Les prélèvements de sang ont été réalisés lors du premier et du dernier passage dans les troupeaux : juillet-août (P1) et décembre-janvier (P3). Les animaux examinés en juillet-août l'ont été également les fois suivantes, sauf pour une minorité d'entre eux, vendus ou morts. Un petit nombre de femelles a pu être examiné pendant deux années successives. Tous les animaux étaient vaccinés contre la peste des petits ruminants et la pasteurellose. En 1994, les animaux de Kolda ont été traités à l'albendazole entre le deuxième et le troisième prélèvement.

Pour les raisons pratiques déjà évoquées, les prélèvements ont été réalisés au même moment sur les femelles et leurs produits. Cette approche sous-entend que les mécanismes de résistance sont identiques tout au long de la vie de l'animal. L'âge des jeunes animaux examinés était compris entre trois et huit mois, donc à la limite pour les animaux les plus jeunes il pouvait s'agir d'une première infestation. Or les très jeunes animaux n'ayant jamais été en contact avec des parasites ne possèdent pas encore la capacité à se défendre contre une infestation, les mécanismes de résistance se mettant en place progressivement pendant les premiers mois de leur vie à l'occasion de stimulations antigéniques par contact avec des parasites (17, 29). La vitesse à laquelle la résistance est acquise dépend du génotype de l'hôte (17). Pourtant Bishop et coll. (8) commencent à observer une variabilité génétique chez des agneaux à partir de trois mois. D'autre part, certaines études montrent que

la corrélation mère-jeune pour le nombre d'Opg serait comprise entre 0,58 (11, 24) et 0,70 (24). Ces résultats supposent que le déterminisme génétique de la résistance n'est pas totalement identique chez les jeunes et chez les adultes. Cependant, dans notre étude les distributions, les variances et les répétabilités étaient semblables chez les mères et chez les jeunes pour le caractère nombre d'Opg ; il y aurait néanmoins une petite différence, non significative, pour les variances de l'hématocrite entre mères et jeunes. D'autre part, la structure des données nous a imposé de considérer que le nombre d'Opg représentait le même caractère chez les mères et chez les jeunes de façon à bien valoriser l'information à l'aide d'un modèle animal. En réalité, le paramètre estimé par la relation mère-descendant correspondrait au produit de la corrélation génétique et de la racine carrée de chacune des héritabilités mère et jeune. Toutefois nous avons choisi de parler d'héritabilité puisque nous avons considéré que les caractères étaient les mêmes quel que soit l'âge des animaux. Compte tenu des résultats de corrélation obtenus par Bouix et coll. (11) et Morris et coll. (24), la valeur d'héritabilité obtenue dans ce travail par l'étude de la relation mère-jeune pour le caractère nombre d'Opg a été une estimation de la limite inférieure de la vraie valeur de l'héritabilité.

Les analyses statistiques

Les variables nombre d'Opg et hématocrite ont été analysées. La variable nombre d'Opg n'était pas distribuée selon une loi normale. La fonction logarithmique est souvent utilisée pour normaliser cette variable (7, 20, 29). La transformation suivante $[\log_{10}(\text{nombre d'Opg} + 25)]$ a été appliquée aux données, après avoir vérifié que la distribution ainsi obtenue n'était pas significativement différente d'une loi normale ; la valeur 25 est due au fait qu'il n'est pas possible de détecter moins de 50 Opg. Le poids des jeunes à la date du prélèvement a été estimé à partir des pesées réalisées dans le cadre du suivi des animaux dans leur milieu d'élevage (programme Ppr) et contenues dans une base de données.

Dans un premier temps, les principaux facteurs environnementaux susceptibles d'influencer les caractères étudiés ont été identifiés et testés par des analyses de variance (modèles à effets fixes) à l'aide de la procédure *Glm* du logiciel *Sas* (30). Dans une première série d'analyses, un effet troupeau hiérarchisé dans l'effet village a été considéré. Cependant, le nombre de couples mère-jeune examinés par troupeau ayant été généralement faible (figure 1), la plupart des estimations obtenues étaient biaisées, les biais ayant résulté d'une confusion entre l'effet troupeau et l'effet animal. Nous avons alors choisi le village comme unité d'élevage, bien qu'il s'agisse d'une approximation. En effet, chaque éleveur possède ses propres pratiques d'élevage et celles-ci ne sont pas forcément

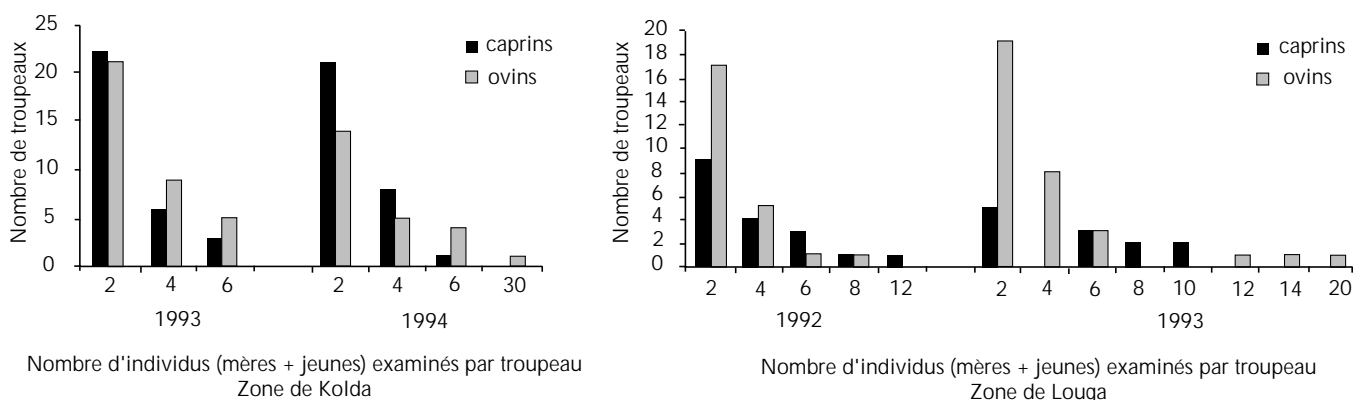


Figure 1 : effectifs par troupeau.

concordantes au sein d'un même village. La prise en compte d'un effet village en tant qu'unité d'élevage permettait néanmoins de tenir compte des caractéristiques environnementales (microclimat, type de pâturage, disponibilité en eau...) qui présentent une certaine homogénéité pour un village donné. Une meilleure correction aurait pu être apportée en regroupant les troupeaux sur des critères mode de conduite (animaux conduits sur parcours en troupeaux collectifs, animaux laissés en divagation) et pratiques d'élevage (complémentation, traite...). Toutefois ces informations n'étaient pas disponibles.

Les facteurs significatifs (testés dans les analyses de variance) ont été retenus et pris comme effets fixes dans les modèles mixtes pour les analyses ultérieures.

La répétabilité, qui mesure la ressemblance entre performances successives d'un individu, a été estimée par un modèle mixte pour les mères et les jeunes pris séparément à l'aide de la procédure Varcomp de *Sas* (30) ou simultanément à l'aide du logiciel *Vce* (28). L'estimation de la répétabilité avec ce logiciel n'étant possible que lorsque le modèle inclut une composante génétique, la procédure Varcomp a été utilisée pour les analyses concernant les mères ou les jeunes considérés séparément. Les analyses ont été faites intra et entre années. L'héritabilité a été estimée à l'aide d'un modèle animal (logiciel *Vce*). Les paternités n'étaient pas connues et les seules relations de parenté disponibles étaient les relations mère-descendants et demi-frères de mère, dans le cas de portées multiples. Les modèles mixtes utilisés pour l'analyse des caractères nombre d'Opg et hématocrite ont été les suivants :

Chez les mères :

$$Y_{ijklmn} = \mu + A_i + P_i + tpy_{jkl} + b_m + r_n + E_{ijklmn}$$

où Y_{ijklmn} est la performance de la mère i , du village j , à la saison k de l'année l , d'âge m et de stade de lactation n ;

μ est la moyenne générale de la population ;

A_i est la valeur génétique de la mère i ;

P_i est l'effet aléatoire d'environnement permanent entre les performances successives de la mère i (cet effet permet d'estimer la répétabilité des caractères) ;

tpy_{jkl} est la combinaison village*saison*année (effet fixé) ;

b_m est l'effet fixé âge ;

r_n est l'effet fixé stade de lactation ;

E_{ijklmn} est l'effet résiduel.

Chez les jeunes :

$$Y_{ijklmn} = \mu + A_i + P_i + tpy_{jkl} + b_m + s_n + E_{ijklmn}$$

où Y_{ijklmn} est la performance de l'animal i , du village j ,

à la saison k de l'année l , d'âge m et de sexe n ;

μ est la moyenne générale de la population ;

A_i est la valeur génétique de l'individu i ;

P_i est l'effet aléatoire d'environnement permanent entre les performances successives de l'individu i ;

tpy_{jkl} est la combinaison village*saison*année (effet fixé) ;

b_m est l'effet fixé âge ;

s_n est l'effet fixé sexe ;

E_{ijklmn} est la résiduelle.

Dans un premier temps, le facteur mode de naissance a été testé (dans les modèles à effets fixes), mais il a été trouvé non significatif dans les deux zones et pour les deux espèces, pour les caractères nombre d'Opg et hématocrite ; il n'a donc pas été conservé par la suite. Le nombre de villages variait entre 7 et 12 pour la zone de Louga et entre 17 et 21 pour la zone de Kolda, selon l'année et l'espèce considérées. L'effet saison correspond à la saison à laquelle ont été réalisés les trois prélèvements : début, milieu ou

fin de la saison des pluies. La combinaison village*saison*année a été codée et prise en compte séparément pour les jeunes et pour les mères. Pour les effets de l'âge, des analyses préliminaires ont été réalisées. En tenant compte des valeurs estimées obtenues, l'âge des mères a été réparti en trois classes : inférieur à 2 ans, de 2 à 5 ans, supérieur à 5 ans, de même que l'âge des jeunes : inférieur à 4 mois, de 4 à 7 mois, supérieur à 7 mois. Plusieurs auteurs (3, 13, 18) ont montré que le nombre d'Opg augmentait significativement chez les femelles à la fin de la gestation et pendant l'allaitement (phénomène appelé *periparturient rise*), consécutivement à une réduction des défenses immunitaires. Un effet stade de lactation a alors été ajouté dans le modèle. Il comprend trois niveaux, selon la durée de l'intervalle de temps entre le prélèvement et la mise bas qui le précède : femelles en début de lactation pour un intervalle inférieur à 2,5 mois, femelles en fin de lactation pour un intervalle compris entre 2,5 et 4,5 mois, et femelles non lactantes pour un intervalle supérieur à 5 mois. Chez les jeunes, le modèle comprend un effet sexe.

Les analyses (modèles mixtes) ont été réalisées pour chaque prélèvement (P_1 , P_2 , P_3), pour plusieurs prélèvements simultanément ($P_1 + P_2$, $P_1 + P_3$, $P_1 + P_2 + P_3$), puis pour des prélèvements différents chez les mères et chez les jeunes (M_1/J_2 , M_2/J_1 , M_1/J_3 , M_3/J_1 , M_2/J_3 , M_3/J_2), de façon à étudier la robustesse de la relation entre les mères et les jeunes à des prélèvements différents. L'effet fixé prélèvement et l'effet aléatoire d'environnement permanent présentés dans les modèles mixtes ci-dessus concernaient les échantillons de données regroupant plusieurs prélèvements.

En plus du modèle précédent qui comprenait les effets fixes décrits précédemment, un effet animal et un effet d'environnement permanent (modèle 1), deux modèles mixtes supplémentaires ont été testés pour les échantillons contenant plusieurs prélèvements. Ces deux modèles comprenaient un effet aléatoire, de façon à essayer d'évaluer l'importance d'effets environnementaux ignorés en l'absence d'effet fixé troupeau. L'un était un effet aléatoire d'environnement commun pour le couple mère-jeune pour un prélèvement donné (modèle 2). L'autre était un effet aléatoire d'environnement commun entre les animaux appartenant au même troupeau pour un prélèvement donné (modèle 3).

Les corrélations génétiques et phénotypiques entre caractères n'ont pas pu être estimées correctement avec *Vce*. Les corrélations phénotypiques ont été obtenues à partir des résidus d'une analyse de variance à l'aide de la procédure *Corr* de *Sas* (30). Les facteurs pris en compte dans l'analyse de variance étaient ceux cités précédemment. Un facteur mode de naissance a été ajouté pour le poids des jeunes, car il avait un effet significatif sur ce caractère.

■ RESULTATS

Prévalence des parasites et niveau d'infestation

Les œufs de parasites identifiés dans les coproscopies étaient en majorité des œufs de strongles. Des cultures fécales ont montré que parmi les strongles, les principaux genres étaient *Haemonchus* (40 p. 100) avec une prédominance d'*Haemonchus contortus* (espèce hématophage), *Trichostrongylus* (32 p. 100) et *Aesophagostomum* (15 p. 100).

Les moyennes et les variances résiduelles ont été estimées à l'aide d'analyses de variance pour chaque prélèvement chez les mères et chez les jeunes. Les facteurs considérés étaient le village, l'âge et le sexe pour les jeunes, le village, l'âge et le stade de lactation pour les mères. Ces moyennes et ces variances sont présentées dans les tableaux I et II.

Tableau I

Estimation des moyennes et des variances résiduelles obtenues à l'aide d'une analyse de variance (modèle à effets fixés) pour les caractères \log_{10} (nombre d'Opg + 25) et hématocrite pour chaque prélèvement chez les mères et les jeunes de la zone de suivi de Louga. Les effets du modèle sont le village, l'âge et le sexe pour les jeunes, le village, l'âge et le stade de lactation pour les mères

		Caprins 1992	Caprins 1993	Ovins 1992	Ovins 1993
Mères					
Nombre d'Opg (1)	Effectif	105	130	96	184
	Moyenne	2,01	2,18	2,05	2,18
	Variance	0,20	0,26	0,34	0,30
	R ²	0,12	0,24	0,14	0,12
Nombre d'Opg (2)	Effectif	94	60	92	128
	Moyenne	2,31	1,86	2,31	1,91
	Variance	0,21	0,16	0,28	0,20
	R ²	0,06	0,24	0,06	0,35
Nombre d'Opg (3)	Effectif	54	58	70	116
	Moyenne	2,66	1,79	2,41	1,75
	Variance	0,33	0,13	0,40	0,12
	R ²	0,23	0,28	0,28	0,37
Hématocrite (1)	Effectif	104	128	96	183
	Moyenne	27,3	30,0	27,4	31,5
	Variance	20,3	27,5	12,9	14,9
	R ²	0,21	0,08	0,30	0,36
Hématocrite (3)	Effectif	62	59	80	117
	Moyenne	28,8	32,8	28,5	31,8
	Variance	19,9	29,9	26,8	19,1
	R ²	0,28	0,38	0,18	0,27
Jeunes					
Nombre d'Opg (1)	Effectif	88	119	88	173
	Moyenne	2,14	2,59	1,96	2,39
	Variance	0,30	0,31	0,33	0,38
	R ²	0,26	0,21	0,28	0,27
Nombre d'Opg (2)	Effectif	82	85	81	138
	Moyenne	2,62	2,01	2,52	2,30
	Variance	0,27	0,18	0,35	0,41
	R ²	0,12	0,41	0,38	0,26
Nombre d'Opg (3)	Effectif	63	66	68	112
	Moyenne	2,77	1,64	2,85	1,71
	Variance	0,34	0,11	0,41	0,14
	R ²	0,37	0,28	0,20	0,15
Hématocrite (1)	Effectif	88	117	86	173
	Moyenne	28,0	32,0	29,4	33,3
	Variance	41,9	33,9	33,9	19,4
	R ²	0,31	0,29	0,18	0,34
Hématocrite (3)	Effectif	62	63	69	111
	Moyenne	27,7	32,4	28,3	33,1
	Variance	39,3	25,2	39,2	22,0
	R ²	0,47	0,53	0,18	0,27

1, 2, 3 : numéro du prélèvement ; R² : coefficient de détermination

La moyenne des valeurs du \log_{10} (nombre d'Opg + 25) sur les deux zones de suivi était de 2,35 chez les jeunes et 2,15 chez les mères, ce qui correspondait respectivement à 200 et 120 Opg. En moyenne, les taux d'infestation étaient semblables pour les deux espèces, mais légèrement supérieurs à Kolda. Les valeurs des coproscopies (en nombre d'Opg) variaient beaucoup selon l'échantillon considéré. Elles allaient de 20 à 1 200, avec une valeur

très forte de 1 600 Opg pour le deuxième prélèvement chez les agneaux de Kolda en 1994. Par rapport aux deux premiers prélèvements, le troisième prélèvement de Kolda en 1994, qui faisait suite au déparasitage, montrait un niveau d'infestation plus faible.

Pour les mesures d'infestation, les variances des mères et des jeunes étaient proches ; elles étaient légèrement différentes pour l'hématocrite, bien que ce ne soit pas significatif avec un test de

Tableau II

Estimation des moyennes et des variances résiduelles obtenues à l'aide d'une analyse de variance (modèle à effets fixés) pour les caractères \log_{10} (nombre d'Opg + 25) et hématoците pour chaque prélèvement chez les mères et les jeunes de la zone de suivi de Kolda. Les effets du modèle sont le village, l'âge et le sexe pour les jeunes, le village, l'âge et le stade de lactation pour les mères

		Caprins 1993	Caprins 1994	Ovins 1993	Ovins 1994
Mères					
Nombre d'Opg (1)	Effectif	199	178	207	233
	Moyenne	1,85	2,60	1,92	2,27
	Variance	0,16	0,23	0,19	0,32
	R ²	0,39	0,33	0,23	0,29
Nombre d'Opg (2)	Effectif	139	104	152	166
	Moyenne	2,05	2,87	2,04	2,67
	Variance	0,20	0,23	0,19	0,24
	R ²	0,18	0,30	0,23	0,24
Nombre d'Opg (3)	Effectif	99	71	112	136
	Moyenne	2,04	2,01	2,03	2,12
	Variance	0,15	0,14	0,18	0,18
	R ²	0,50	0,40	0,32	0,38
Hématocrite (1)	Effectif	197	175	201	230
	Moyenne	34,2	33,0	32,4	31,1
	Variance	21,0	45,9	17,9	32,8
	R ²	0,34	0,31	0,28	0,12
Hématocrite (3)	Effectif	98	66	118	125
	Moyenne	29,8	35,3	28,7	30,4
	Variance	33,6	20,5	14,9	16,8
	R ²	0,37	0,45	0,34	0,22
Jeunes					
Nombre d'Opg (1)	Effectif	123	119	142	195
	Moyenne	2,14	2,59	2,09	2,56
	Variance	0,26	0,25	0,25	0,32
	R ²	0,27	0,38	0,33	0,20
Nombre d'Opg (2)	Effectif	108	106	129	170
	Moyenne	2,39	3,21	2,39	3,09
	Variance	0,32	0,22	0,24	0,23
	R ²	0,20	0,20	0,40	0,31
Nombre d'Opg (3)	Effectif	90	92	102	155
	Moyenne	2,14	1,89	2,21	2,25
	Variance	0,15	0,15	0,19	0,18
	R ²	0,25	0,31	0,28	0,34
Hématocrite (1)	Effectif	123	114	143	189
	Moyenne	38,3	39,1	34,8	34,1
	Variance	37,9	45,8	17,1	25,9
	R ²	0,32	0,30	0,31	0,23
Hématocrite (3)	Effectif	88	88	100	148
	Moyenne	27,7	32,4	27,7	30,1
	Variance	39,3	25,2	16,8	19,8
	R ²	0,47	0,53	0,41	0,36

1, 2, 3 : numéro du prélèvement ; R² : coefficient de détermination

Bartlett. La variance résiduelle en nombre d'Opg (variable transformée) était comprise entre 0,11 et 0,41. Au troisième prélèvement de la zone de Kolda, les variances étaient un peu plus faibles (de 0,14 à 0,19) aussi bien chez les mères que chez les jeunes, ce qui peut s'expliquer par le traitement antiparasitaire appliqué entre le deuxième et le troisième prélèvement. Les variances de l'hématocrite étaient comprises entre 12,9 et 45,9. Aucun effet du déparasitage effectué juste avant le troisième prélèvement de Kolda n'a pu être mis en évidence pour ce caractère.

Facteurs de variation des critères de résistance

Les facteurs environnementaux testés avaient généralement une influence assez forte sur les caractères de résistance. Les coefficients de détermination (R²) des modèles d'analyse étaient compris entre 0,20 et 0,30. Le facteur village était toujours significatif pour les deux variables testées. La saison avait un effet significatif sur le nombre d'Opg. A Kolda, le niveau maximum d'infestation a été observé au deuxième prélèvement, c'est-à-dire en octobre-

novembre. A Louga, le profil était différent selon l'année étudiée. En 1992, le niveau d'infestation mesuré en Opg augmentait au fur et à mesure de la saison des pluies, alors qu'en 1993 il était très élevé en début de saison des pluies puis diminuait pour les prélèvements suivants. Cette variation du nombre d'Opg pour l'année 1993 peut être expliquée par des précipitations relativement importantes dès le début de la saison des pluies.

En ce qui concerne le sexe, le nombre d'Opg était plus élevé et l'hématocrite plus faible chez les mâles que chez les femelles. L'âge des jeunes avait une influence sur la résistance au parasitisme : les animaux les plus jeunes étaient les plus infestés (plus grand nombre d'Opg), mais ils présentaient un taux de globules rouges dans le sang plus élevé. Chez les mères, le même résultat a été obtenu : les femelles de moins de deux ans avaient un nombre d'Opg et une valeur de l'hématocrite plus élevés. Le stade de lactation avait une incidence sur le niveau d'infestation mesuré en nombre d'Opg — d'autant plus élevé que le prélèvement avait été

réalisé peu de temps après une gestation — mais n'en avait pas sur l'hématocrite, le facteur stade de lactation étant généralement non significatif pour ce critère.

Estimation de la répétabilité

Les répétabilités intra et entre années sont présentées dans les tableaux III pour le nombre d'Opg et IV pour l'hématocrite. Les répétabilités étaient généralement plus fortes à Louga qu'à Kolda. Lorsqu'elles étaient estimées simultanément chez les mères et les jeunes, les répétabilités intra-années variaient de 0,07 à 0,33 pour le nombre d'Opg et de 0,14 à 0,52 pour l'hématocrite, la moyenne des valeurs s'établissant respectivement à 0,19 et à 0,27. Les valeurs obtenues pour les mères et les jeunes n'étaient pas très différentes. Elles étaient plus faibles entre années — de 0,11 à 0,16 pour le nombre d'Opg, de 0,20 à 0,30 pour l'hématocrite — mais avec des effectifs plus réduits.

Tableau III

Estimation des répétabilités intra et entre années (modèles mixtes) du \log_{10} (nombre d'Opg + 25) pour les mères et les jeunes des zones de suivi de Louga et de Kolda. Analyses faites pour chacune des deux années d'études et pour deux années simultanément, avec le logiciel Sas (30) pour les mères et les jeunes séparément et avec le logiciel Vce (28) pour les mères et les jeunes simultanément

	Louga caprins		Louga ovins		Kolda Caprins		Kolda ovins	
	1992	1993	1992	1993	1993	1994	1993	1994
Mères								
Répétabilité intra-années	0,29	0,03	0,23	0,21	0,18	0,20	0,17	0,19
Répétabilité entre années	0,10		0,04		0,16		0,10	
Jeunes								
Répétabilité intra-années	0,25	0,02	0,23	0,41	0,09	0,07	0,11	0,15
Mères + Jeunes								
Répétabilité intra-années	0,28	0,07	0,18	0,33	0,09	0,23	0,13	0,22
Répétabilité entre années	0,16		0,16		0,14		0,11	

Tableau IV

Estimation des répétabilités intra et entre années (modèles mixtes) de l'hématocrite pour les mères et les jeunes des zones de suivi de Louga et de Kolda. Analyses faites pour chacune des deux années d'études et pour deux années simultanément, avec le logiciel Sas (30) pour les mères et les jeunes séparément et avec le logiciel Vce (28) pour les mères et les jeunes simultanément

	Louga caprins		Louga ovins		Kolda Caprins		Kolda ovins	
	1992	1993	1992	1993	1993	1994	1993	1994
Mères								
Répétabilité intra-années	0,50	0,23	0,38	0,25	0,23	0	0,18	0,35
Répétabilité entre années	0,14		0,02		0,21		0,23	
Jeunes								
Répétabilité intra-années	0,34	0,26	0,60	0,27	0,08	0,04	0,24	0,13
Mères + Jeunes								
Répétabilité intra-années	0,44	0,30	0,52	0,23	0,28	0,14	0,19	0,34
Répétabilité entre années	0,30		0,31		0,20		0,26	

Estimation de l'héritabilité

Les héritabilités estimées sont présentées dans les tableaux V et VI. Les estimations étaient très variables selon l'échantillon étudié. Elles pouvaient atteindre des valeurs relativement élevées lorsqu'elles concernaient un seul prélèvement, jusqu'à 0,94 pour les coproscopies en nombre d'Opg et 1,00 pour l'hématocrite. L'ajout d'un ou deux prélèvements supplémentaires a entraîné une diminution de l'héritabilité. La prise en compte de prélèvements différents chez la mère et le jeune a conduit à des héritabilités proches de zéro. D'après ces résultats, la ressemblance entre individus est plus élevée intra-prélèvement qu'entre prélèvements. Il semblerait exister une ressemblance d'origine environnementale entre la mère et son jeune liée au milieu qu'ils partagent, ou au contraire une dissemblance entre prélèvements réalisés à des époques différentes due à des effets environnementaux mal ajustés.

La ressemblance intra-prélèvement ou la dissemblance entre prélèvements pourrait être la conséquence d'une mauvaise prise en compte des facteurs de milieu, et notamment de l'effet troupeau. Pour vérifier ces hypothèses, deux modèles supplémentaires ont été testés : en plus des effets animal et environnement permanent (modèle 1), le modèle 2 comprenait un effet d'environnement commun à la mère et à ses jeunes (Env-com) et le modèle 3 un effet troupeau*prélèvement (troup*P).

Les effets Env-com et troup*P étaient généralement non nuls (tableau VII) et leur prise en compte dans le modèle a entraîné une diminution de la variance génétique (l'héritabilité était alors proche de zéro), ce qui allait dans le sens de l'hypothèse posée. Ces effets variaient entre 0,03 et 0,25 pour le nombre d'Opg et entre 0 et 0,38 pour l'hématocrite. Pour la plupart des échantillons analysés, la répétabilité se maintenait quel que soit le modèle utilisé.

Tableau V

Estimation de l'héritabilité et de la répétabilité (modèles mixtes) du \log_{10} (nombre d'Opg + 25) pour différents échantillons de données

Echantillons	Paramètres	Louga caprins		Louga ovins		Kolda Caprins		Kolda ovins	
		1992	1993	1992	1993	1993	1994	1993	1994
P1	h^2	0,57	0	0,31	0,20	0,06	0,38	0,27	0,52
P2	h^2	0,29	0,26	0	0,43	0,54	0,26	0	0
P3	h^2	0	0,03	0	0,34	0,16	0,94	0,26	0,76
M1/J2	h^2	0,45	0	0,08	0	0,05	0	0	0
M2/J1	h^2	0,05	0	0,03	0,18	0	0,10	0	0,33
M1/J3	h^2	0	0,08	0	0,03	0,36	0,36	0	0
M3/J1	h^2	0	0	0	0,05	0,25	0,56	0	0,21
M2/J3	h^2	0,09	0,40	0	0,44	0	0,32	0,56	0,31
M3/J2	h^2	0	0,45	0	0,06	0,02	0,10	0	0,48
P1+P2	h^2	0,32	0	0,14	0,18	0,10	0,17	0	0,28
	R	0,43	0,07	0,14	0,35	0,15	0,21	0,14	0,37
P1+P2+P3	h^2	0	0,05	0	0,14	0,09	0,12	0	0,22
	R	0,28	0,07	0,18	0,33	0,09	0,23	0,13	0,22

Tableau VI

Estimation de l'héritabilité et de la répétabilité (modèles mixtes) de l'hématocrite pour différents échantillons de données

Echantillons	Paramètres	Louga caprins		Louga ovins		Kolda Caprins		Kolda ovins	
		1992	1993	1992	1993	1993	1994	1993	1994
P1	h^2	0,05	0,65	0,02	0,36	0,11	0,76	0,23	0,42
P3	h^2	0,26	0,40	0	0,72	1,00	0	0,62	1,00
M1/J3	h^2	0,45	0	0	0,40	0	0,29	0,49	0,12
M3/J1	h^2	0	0,19	0	0,03	0,08	0	0,83	0,32
P1+P3	h^2	0,16	0,30	0	0,23	0,05	0,14	0,19	0,34
	R	0,44	0,30	0,52	0,23	0,28	0,14	0,19	0,34

P : prélèvement (mères + jeunes) ; 1, 2, 3 : numéro du prélèvement ; M : prélèvement chez les mères ; J : prélèvement chez les jeunes ; h^2 : héritabilité ; R : répétabilité

Tableau VII

Estimation des paramètres génétiques (modèles mixtes) du \log_{10} (nombre d'Opg + 25) et de l'hématocrite pour différents modèles d'analyse (échantillon P1 + P2 + P3 pour le nombre d'Opg et P1 + P3 pour l'hématocrite)

Echantillons	Paramètres	Louga caprins		Louga ovins		Kolda Caprins		Kolda ovins	
		1992	1993	1992	1993	1993	1994	1993	1994
Nombre d'Opg									
Modèle 1	h^2	0	0,05	0	0,14	0,09	0,12	0	0,22
	R	0,28	0,07	0,18	0,33	0,09	0,23	0,13	0,22
Modèle 2	h^2	0	0	0	0,03	0	0	0	0,15
	R	0,30	0,07	0,18	0,34	0,10	0,25	0,14	0,20
	Env-com	0,25	0,05	0,09	0,14	0,18	0,23	0,06	0,12
Modèle 3	h^2	0	0	0	0,10	0,07	0,05	0	0,09
	R	0,28	0,07	0,15	0,32	0,09	0,27	0,14	0,18
	Troup*P	0,09	0,12	0,11	0,07	0,03	0,16	0,07	0,24
Hématocrite									
Modèle 1	h^2	0,16	0,30	0	0,23	0,05	0,14	0,19	0,34
	R	0,44	0,30	0,52	0,23	0,28	0,14	0,19	0,34
Modèle 2	h^2	0,16	0	0	0,20	0,05	0	0,19	0,31
	R	0,44	0,26	0,52	0,20	0,28	0,13	0,19	0,31
	Env-com	0	0,26	0	0,13	0	0,19	0	0,07
Modèle 3	h^2	0	0	0	0,17	0	0,10	0,09	0,02
	R	0,35	0,09	0,51	0,17	0,25	0,10	0,09	0,20
	Troup*P	0,21	0,38	0,06	0,13	0,13	0,08	0,12	0,36

Modèle 1 : un effet aléatoire animal + un effet d'environnement permanent

Modèle 2 : modèle 1 + un effet d'environnement commun entre la mère et son jeune pour un prélèvement donné (Env-com)

Modèle 3 : modèle 1 + un effet aléatoire d'environnement commun entre les individus d'un même troupeau pour un prélèvement donné (troup*P)

h^2 : héritabilité

R : répétabilité

Env-com : part de variance due à l'effet d'environnement commun entre mère et jeune

Troup*P : part de variance due à l'effet d'environnement commun entre animaux d'un même troupeau

Estimation des corrélations phénotypiques

Les corrélations phénotypiques entre caractères sont présentées dans les tableaux VIII et IX. Il existe une relation négative entre les caractères nombre d'Opg et hématocrite, excepté chez les mères pour le prélèvement qui a suivi le traitement anthelmintique (corrélation nulle au troisième prélèvement de Kolda en 1994). La corrélation était plus négative chez les jeunes (- 0,47 à - 0,10) que chez les mères (- 0,33 à 0,03). La corrélation entre les caractères nombre d'Opg et poids était très variable. Lorsque les analyses étaient faites sur un seul prélèvement, la taille de l'échantillon était très faible (12 individus pour le troisième prélèvement de Kolda en 1994). Pour une analyse sur deux années (en considérant tous les prélèvements), la corrélation variait entre - 0,35 et - 0,01. La corrélation entre l'hématocrite et le poids était positive et relativement élevée : de 0,07 à 0,36.

■ DISCUSSION

Estimation de la répétabilité

Les valeurs estimées de la répétabilité intra-années étaient plus élevées à Louga qu'à Kolda. La zone de Kolda est relativement humide et par conséquent les variations du taux d'infestation peuvent être plus importantes que dans la zone de Louga, située en climat sahélien, où le niveau d'infestation est vraisemblablement plus constant au cours de l'année. Globalement, les répétabilités étaient concordantes avec celles trouvées dans la bibliographie. Celles-ci varient entre 0,20 et 0,40 pour le nombre d'Opg (19) et entre 0,05 et 0,40 pour l'hématocrite (5). Elles peuvent parfois être beaucoup plus faibles, comme le montrent les résultats de Baker et coll. (6) selon lesquels les répétabilités sont de 0,22 pour l'hématocrite et 0,01 pour le nombre d'Opg. Sur les données du Sénégal, les critères analysés présentaient une répétabilité faible d'une année sur

Tableau VIII

Estimation des corrélations phénotypiques (modèles à effets fixés) entre le nombre d'Opg et l'hématocrite pour différents prélèvements chez les mères et chez les jeunes

Echantillon	Louga caprins		Louga ovins		Kolda Caprins		Kolda ovins	
	1992	1993	1992	1993	1993	1994	1993	1994
Mères								
P1	- 0,08	- 0,33	- 0,08	- 0,20	- 0,01	- 0,21	- 0,17	- 0,01
P3	- 0,30	0	- 0,13	- 0,08	- 0,26	- 0,02	- 0,21	0,03
P1 + P3	- 0,24		- 0,16		0,02		- 0,04	
Jeunes								
P1	- 0,47	- 0,12	- 0,29	- 0,19	- 0,25	- 0,04	- 0,27	- 0,22
P3	- 0,17	0,17	- 0,46	0,12	0,21	- 0,19	- 0,12	- 0,10
P1 + P3	- 0,24		- 0,25		- 0,13		- 0,21	

Tableau IX

Estimation des corrélations phénotypiques (modèles à effets fixés) entre le poids et les deux autres caractères (nombre d'Opg et hématocrite) pour différents prélèvements chez les jeunes

Echantillon	Louga caprins		Louga ovins		Kolda Caprins		Kolda ovins	
	1992	1993	1992	1993	1993	1994	1993	1994
Poids - Nombre d'Opg								
P1	- 0,20	0,03	0,02	- 0,03	- 0,19	- 0,05	- 0,28	- 0,31
P2	0	0,25	- 0,24	- 0,17	- 0,02	- 0,21	- 0,32	- 0,33
P3	- 0,04	0,14	- 0,20	0,03	0,04	0,79	0,04	- 0,28
P1 + P2 + P3	- 0,08		- 0,12		- 0,01		- 0,35	
Poids - Hématocrite								
P1	0,31	0,07	0,31	0,17	0,04	0,10	0,16	0,19
P3	0,16	0,59	0,50	0,33	0,01	0,12	0,14	0,21
P1 + P3	0,28		0,36		0,07		0,21	

l'autre, mais les effectifs des mères présentes deux années successives étaient faibles. D'autre part, les variations climatiques entre deux années successives peuvent être importantes, ce qui se répercute sur le parasitisme.

Estimation de l'héritabilité

Les valeurs d'héritabilité pouvaient être très élevées lorsqu'elles étaient estimées à partir d'un seul prélèvement, elles étaient proches de zéro lorsque les analyses étaient réalisées sur des prélèvements différents chez la mère et le jeune. D'autre part, les modèles incluant les effets aléatoires Env-com ou troupeau*P ont montré qu'il existait un effet d'environnement commun pour un prélèvement donné entre les individus sur le pâturage. D'après ces résultats, il semble exister des effets d'origine non génétique qui viennent soit augmenter, soit masquer la variabilité génétique. Dans le cas de l'analyse de mesures effectuées au même moment (P1, P2 ou P3) avec un modèle à effets fixés et un effet animal (modèle 1), la ressemblance entre individus pour les critères de résistance était à la fois d'origine génétique (relation mère-jeune) et d'origine environnementale (zones de pâturages communes au couple mère-jeune ou aux individus d'un même troupeau). Dans le

cas de mesures réalisées à des moments différents, les covariances entre performances des mères et des jeunes incluaient des effets troupeau*saison inconnus et *a priori* beaucoup plus importants que les différences entre animaux. Dans le cas de mesures réalisées à plusieurs périodes (P1 + P2 + P3) avec un modèle à effets fixés et un effet animal (modèle 1), la même pondération a été attribuée à des mesures effectuées au même moment (M1J1, M2J2, M3J3) et à des mesures effectuées à des moments différents (M1J2, M2J1, M1J3...), alors que dans le premier cas il existait une covariation environnementale supplémentaire entre mères et jeunes. Sur l'échantillon P1 + P2 + P3, la prise en compte d'un effet d'environnement commun (Env-com du modèle 2 ou troupeau*P du modèle 3) a permis d'éliminer la variabilité d'origine environnementale pour un prélèvement donné, mais a eu aussi pour conséquence de retrancher de la variabilité génétique pour un prélèvement donné. D'une manière générale, pour une estimation de paramètres génétiques basée sur la covariance entre performances de la mère et des descendants, la non-prise en compte de l'effet troupeau au moment de la mesure s'est traduite par une surestimation de la ressemblance pour des couples de mesures effectuées au même moment : il devait exister une certaine similitude entre les environnements simultanés des deux groupes d'animaux. L'héritabilité était alors

surestimée car la variance génétique estimée incluait une part de variance environnementale. A l'inverse, lorsqu'un effet d'environnement commun était pris en compte, cet effet englobait une partie de la variance génétique et l'héritabilité était sous-estimée.

La très petite taille des troupeaux interdisait la prise en compte, sous forme d'effet fixé, de leur impact sur les performances, car il n'était pas possible de distinguer correctement l'effet du milieu de l'effet des quelques individus composant le troupeau. Il n'était donc pas possible de considérer d'entrée cet effet troupeau en tant qu'effet fixé, ni même en tant qu'effet aléatoire, puisque dans cette dernière situation la majorité de la variance génétique aurait été éliminée.

Compte tenu des résultats, il est alors difficile de savoir lequel des deux effets (Env-com ou troupeau*P) reflète le mieux la situation. Dans le cas de petits troupeaux (avec deux ou trois couples mère-jeune), il y a peu de différence entre les effets troupeau*P et Env-com. Il n'y a pas d'exemple dans la bibliographie d'un tel effet d'environnement commun. L'étude de Bishop et coll. (8) s'en approche, puisqu'un effet maternel entre les descendants d'une même portée est inclus dans les modèles d'analyse. Cet effet intervient de façon importante dans la variation du nombre d'œufs excrétés et il tend à diminuer au fur et à mesure que les jeunes grandissent. L'influence de la mère agirait à plusieurs niveaux (8). Tout d'abord, la richesse du colostrum maternel fourni les premiers jours après la naissance influence non seulement la capacité du jeune à résister pendant les premiers mois de sa vie, mais aussi le développement de mécanismes de résistance. Ensuite, le choix des zones de pâturage par la mère et son comportement agissent sur la charge parasitaire à laquelle le jeune va être exposé. Enfin, de la production laitière de la mère va dépendre l'état général du jeune et ainsi sa capacité à se défendre contre une infestation. Pour l'étude des données du Sénégal, l'absence des paternités rendait impossible la prise en compte d'un effet maternel. Cependant, il aurait été utile de disposer d'informations supplémentaires sur la répartition spatiale des animaux au pâturage, pour savoir notamment si les animaux d'un troupeau restent groupés entre eux lorsqu'ils sont laissés en divagation pendant la journée ou si le couple mère-jeune est prédominant.

Les héritabilités estimées dans ce travail étaient pour certaines du même ordre de grandeur que celles obtenus dans d'autres études. Par exemple, Baker et coll. (7) et Baker (4), obtiennent des héritabilités comprises entre 0,01 et 0,35 chez différentes races ovines kenyanes et éthiopiennes. Il n'a pas été possible de mettre en évidence des différences entre les paramètres génétiques des caprins et des ovins, la variabilité des résultats étant trop importante.

Dans toutes les situations étudiées dans ce travail, l'héritabilité a été sous-estimée. En effet, la variance de l'effet aléatoire troupeau*P ou la variance de l'effet Env-com entre mère et jeune ont été prises en compte, lors du calcul de l'héritabilité, au niveau de la variance phénotypique (dénominateur) mais pas au niveau de la variance génétique (numérateur), alors que ces effets incluent une part de variabilité d'origine génétique. D'autre part, en raison de la valeur 0,60 donnée par Bouix et coll. (11) et Morris et coll. (24) pour la corrélation génétique entre résistance des mères et des jeunes, les estimations d'héritabilité trouvées étaient une estimation minorée (vraisemblablement de 40 p. 100) des vraies valeurs.

Estimation des corrélations phénotypiques

Le nombre d'Opg et l'hématocrite étaient négativement corrélés, avec des valeurs moyennes de l'ordre de - 0,11 chez les jeunes et - 0,21 chez les mères. Ce résultat concorde avec le fait que le parasite hématophage *Haemonchus contortus* est prédominant sur le pâturage. Chez de jeunes chevreaux Créole de Guadeloupe, Man-

donnet et coll. (23) ont estimé des corrélations phénotypiques de l'ordre de - 0,29 entre les mêmes caractères de résistance pour une infestation par *Haemonchus contortus* et *Trichostrongylus colubriformis*.

Le poids, bien que corrigé pour les effets fixés du modèle (troupeau*année*saison, âge, sexe et mode de naissance), était négativement corrélé avec le nombre d'Opg (- 0,14 en moyenne) et positivement avec l'hématocrite (0,23 en moyenne). Ces résultats indiquent que le parasitisme intervient comme un facteur de réduction de la croissance, ou inversement que les animaux les plus lourds, et donc les mieux nourris, résistent mieux à l'infestation. Ces estimations sont concordantes avec celles de Mandonnet et coll. (23) qui estiment des corrélations phénotypiques de - 0,09 et - 0,06 entre le poids et le nombre d'œufs excrétés, et une corrélation de 0,36 entre le poids et l'hématocrite.

Fiabilité des critères de résistance

Le critère nombre d'Opg n'était pas toujours bien corrélé avec la charge parasitaire. La méthode de conservation ainsi que la répartition des œufs dans les voies digestives peuvent être des sources d'erreur au moment du dénombrement. Aumont et coll. (2) ont montré que la conservation des fèces dans une solution de formaldéhyde pouvait entraîner une sous-estimation du nombre d'œufs de parasites, les animaux peu infestés ne pouvant alors être dissociés des animaux non infestés. La répartition de la ponte dans les voies digestives n'est pas toujours homogène et si les fèces sont prélevées en quantité insuffisante, le nombre d'œufs dénombrés ne sera pas révélateur du niveau d'infestation de l'animal. Enfin, la troisième source d'imprécision du nombre d'Opg peut intervenir après une première infestation lors d'un *self-cure*. Ce phénomène est caractérisé par une expulsion massive de parasites, le nombre d'Opg étant élevé alors que la charge parasitaire est faible (1). Malgré tout, le caractère nombre d'Opg garde une certaine validité si l'on considère la constance des valeurs d'héritabilité et de répétabilité publiées. En tout état de cause, ce caractère est une mesure directe de la contamination des pâturages par les animaux.

Le critère hématocrite peut avoir d'autres sources de variation que le parasitisme. Des facteurs saisonniers (alimentation, état physiologique, etc.) ou la présence de maladies telles que la trypanosomose peuvent agir sur le taux d'hématocrite et ainsi se confondre avec l'infestation par des parasites hématophages.

■ CONCLUSION

Ce travail a mis en évidence un certain nombre de difficultés relatives à la mesure de la variabilité génétique de la résistance au parasitisme gastro-intestinal chez des petits ruminants en milieu difficile. Le partitionnement des données en petites unités, comme c'était le cas ici pour les troupeaux, est un obstacle majeur à une estimation correcte des paramètres génétiques. Avec une telle structure de données, la prise en compte d'un effet troupeau ne permet pas de dissocier de façon satisfaisante la variabilité environnementale créée par l'effet du troupeau et la variabilité génétique. Les estimations auraient été plus fiables si le recueil des données avait été réalisé sur des troupeaux de plus grande taille (pour un même nombre d'animaux examinés), ou à défaut, si des informations complémentaires sur les pratiques d'élevage et sur le comportement des animaux au pâturage avaient été disponibles. La connaissance du mode de conduite — divagation et/ou conduite sur pâturage en troupeaux villageois —, et de la répartition spatiale des animaux — notamment du couple mère-jeune — aurait permis de redéfinir une unité d'élevage plus cohérente et homogène que le regroupement des troupeaux d'un même village. Par ailleurs, le

recueil de données chez des femelles et chez leurs descendants au même âge aurait permis de s'affranchir du problème de l'inégalité des variances pour l'hématocrite et de lever les doutes sur la différence entre les caractères de résistance des jeunes et des adultes, mais cette approche est plus délicate à envisager dans un tel milieu.

Les résultats obtenus dans cette étude indiquent qu'il existe une variabilité individuelle importante et qu'il semble exister une variabilité génétique de la résistance des petits ruminants aux parasites gastro-intestinaux chez les races sénégalaises, même si elle est difficile à estimer dans de telles conditions. Si une action de sélection devait être envisagée, il serait nécessaire d'approfondir ces résultats et de s'intéresser à des unités d'élevage plus grandes pour réaliser une évaluation génétique. La sélection pour la résistance au parasitisme gastro-intestinal dans les pays tropicaux permettrait d'intégrer dans les schémas d'amélioration génétique des races rustiques les qualités d'adaptation des animaux qui constituent un facteur essentiel en milieux difficiles (10).

BIBLIOGRAPHIE

- ALLONBY E.W., URQUHART G.M., 1975. The epidemiology of pathogenic significance of *Haemonchosis* in a Merino flock in East Africa. *Vet. Parasitol.*, **1**: 129-143.
- AUMONT G., BARRE N., DUAW S., OUATHARA L., POUILLON R., TILLARD E., VASSILIADES G., 1995. Preservation of faecal samples and laboratory sources of variation in faecal strongyles egg counts of small ruminants from tropical regions. In: International Conference, Novel approaches to the control of Helminth parasites of livestock, UNECSIRO, Armidale, Australie, 18-21 April 1995, p. 19.
- AUMONT G., MANDONNET N., MAHIEU M., VARO H., 1997. Le periparturient rise chez les caprins et les ovins de Guadeloupe et de Martinique (F.W.I.), résultats préliminaires. Réunion Atp Mipa, Strongyloses gastro-intestinales des petits ruminants en milieu tropical, Petit Bourg, Guadeloupe, 16-20 juin 1997.
- BAKER R.L., 1999. A review of genetic resistance to gastrointestinal nematode parasites in sheep and goats in the tropics and evidence for resistance in some sheep and goat breeds in sub-humid coastal Kenya. *Anim. Genet. Res. Inf.*, **24**: 13-30.
- BAKER R.L., LAHLOU KASSI A., REGE J.E.O., REYNOLDS L., BEKELE T., MUKASSA-MUGERWA E., REY B., 1992. A review of genetic resistance to endoparasites in small ruminants and an outline of ILCA's research programme in this area. In: Proc. 10th Scientific Workshop of the Small Ruminants Collaborative Research Support Programme, Nairobi, Kenya, 26-27 February 1992, p. 79-104.
- BAKER R.L., MWAMACHI D.M., AUDHO J.O., ADUDA E.O., THORPE W., 1998. Genetic resistance to gastrointestinal nematode parasites in Red Maasai, Dorper and Red Maasai x Dorper ewes in the sub-humid tropics. *Anim. Sci. (soumis)*.
- BAKER R.L., REGE J.E.O., TEMBELY S., MUKASSA-MUGERWA E., ANINDO D., MWAMACHI D.M., THORPE W., LAHLOU-KASSI A., 1998. Genetic resistance to gastrointestinal nematode parasites in some indigenous breeds of sheep and goats in East Africa. Proc. 6th Wld Congr. Genet. Appl. Livest. Prod., **XXV**: 269-272.
- BISHOP S.C., BAIRDEN K., MCKELLAR Q.A., PARK M., STEAR M.J., 1996. Genetic parameters for faecal egg count following mixed, natural, predominantly *Ostertagia circumcincta* infection in relationships with live weight in young lambs. *Anim. Sci.*, **63**: 423-428.
- BISSET S.A., MORRIS C.A., 1996. Feasibility and implications of breeding sheep for resilience to nematode challenge. *Int. J. Parasitol.*, **26** (8-9): 857-868.
- BOUIX J., 1992. Adaptation des ovins aux conditions de milieu difficiles. *Inra Prod. Anim.*, hors série : Eléments de génétique quantitative et applications aux populations animales, p. 179-184.
- BOUIX J., KRUPINSKI J., RZEPECKI R., NOWOSAD B., SKRZYŻALA I., ROBORZYNSKI M., FUDALEWICZ-NIEMCZYK W., SKALSKA M., MALCZEWSKI A., GRUNER L., 1998. Genetic resistance to gastrointestinal nematode parasites in a polish long-wool sheep. *Int. J. Parasitol.*, **28**: 1797-1804.
- CHARTIER C., BUSHU M., LUBINGO M., 1990. Principaux helminthes des petits ruminants en Ituri (Haut-Zaïre). *Ann. Soc. Belge Méd. Trop.*, **70**: 65-75.
- COURTNEY C.H., GESSNER R., SHOLTZ S.R., LOGGINS P.E., 1986. The periparturient rise in faecal egg counts in three strains of Florida native ewes and its value in predicting resistance of lambs to *Haemonchus contortus*. *Int. J. Parasitol.*, **16** (3): 185-189.
- DE VANEY J.A., CRAIG T.M., ROWE L.D., 1992. Resistance to ivermectine by *Haemonchus contortus* in goats and calves. *Int. J. Parasitol.*, **22** (3): 369-376.
- FAUGERE O., DOCKES A.C., PERROT C., FAUGERE B., 1990a. L'élevage traditionnel des petits ruminants au Sénégal. I. Pratiques de conduite et d'exploitation des animaux chez les éleveurs de la région de Kolda. *Rev. Elev. Méd. vét. Pays trop.*, **43**: 249-259.
- FAUGERE O., DOCKES A.C., PERROT C., FAUGERE B., 1990b. L'élevage traditionnel des petits ruminants au Sénégal. II. Pratiques de conduite et d'exploitation des animaux chez les éleveurs de la région de Louga. *Rev. Elev. Méd. vét. Pays trop.*, **43**: 261-273.
- GRUNER L., 1991. Breeding for helminth resistance in sheep and goats. In: Owen J.B., Axford R.F.E., eds. Breeding for Disease Resistance in Farm Animals, Oxford, UK, CAB International, p. 187-200.
- GRUNER L., BOUIX J., CABARET J., BOULARD C., CORTET J., SAUVE C., MOLENAT G., CALAMEL M., 1992. Effect of genetic type, lactation and management on helminth infection of ewes in an intensive grazing system on irrigated pasture. *Int. J. Parasitol.*, **22** (7): 919-925.
- GRUNER L., BOUIX J., VU TIEN KHANG J., 1997. La résistance génétique aux parasitoses internes : exemples de travaux engagés en France et en Pologne. *Point Vét.*, **28**: 1-7. (n° spécial)
- GRUNER L., MANDONNET N., BOUIX J., VU TIEN KHANG J., CABARET J., HOSTE H., KERBOEUF D., BARNOUIN J., 1994. Worm population characteristics and pathological changes in lambs after a single or trickle infection with *Teladorsagia circumcincta*. *Int. J. Parasitol.*, **24** (3): 347-356.
- MAINGI N., 1991. Resistance to thiabendazole, fenbendazole and levamisole in *Haemonchus contortus* and *Trichostrongylus* species in sheep on a Kenyan farm. *Vet. Parasitol.*, **39**: 285-291.
- MANDONNET N., 1995. Analyse de la variabilité génétique de la résistance aux strongyles gastro-intestinaux chez les petits ruminants. Eléments pour la définition d'objectifs et de critères de sélection en milieu tempéré ou tropical. Thèse Doct. Sci., Université Paris-Sud, France, 115 p.
- MANDONNET N., AUMONT G., FLEURY J., GRUNER L., BOUIX J., VU TIEN KHANG J., 1996. Genetic variability in resistance of Creole goats to natural infection with *Trichostrongylids* in Guadeloupe. In: Camus E., House J.A., Uilenberg G. (eds). Vector-borne pathogens: international trade and tropical animal disease, New-York, USA, The New-York Academy of Science, p. 421-431.
- MORRIS C.A., BISSET S.A., VLASSOFF A., WEST C.J., WHEELER M., 1998. Faecal nematode egg counts in lactating ewes from Romney flocks selectively bred for divergence in lamb faecal egg count. *Anim. Sci.*, **67**: 283-288.
- MOULIN C.H., 1993. Performances animales et pratiques d'élevage en Afrique sahélienne. La diversité du fonctionnement des troupeaux de petits ruminants dans la communauté rurale de Ndiagne (Sénégal). Thèse Doct. Sci., Ina Paris-Grignon, France, 259 p.
- MOULIN C.H., FAUGERE O., FAUGERE B., 1994. L'élevage traditionnel des petits ruminants au Sénégal. III. Pratiques de conduite et d'exploitation des animaux chez les éleveurs de la communauté rurale de Kaymor (Siné-Saloum, Sénégal). *Rev. Elev. Méd. vét. Pays trop.*, **47**: 223-234.
- NDAMUKONG K.J.N., SEWELL M.M.H., 1992. Resistance to benzimidazole anthelmintics by trichostrongyles in sheep and goats in North-West Cameroon. *Vet. Parasitol.*, **41**: 335-339.
- NEUMAIER A., GROENVELD E., 1998. Restricted maximum likelihood of covariances in sparse linear model. *Genet. Sel. Evol.*, **30**: 3-26.
- ROMJALI E., PANDEY V.S., GATENBY R.M., DOLOKSARIBU M., SAKUL H., WILSON A., VERHULST A., 1997. Genetic resistance of different genotypes of sheep to natural infections with gastrointestinal nematodes. *Anim. Sci.*, **64**: 97-104.
- STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM, 1990. SAS User's guide: statistics. Cary, NC, USA, SAS Institute, 1028 p.

31. TILLARD E., 1991. Prophylaxies chez les petits ruminants au Sénégal : évaluation technico-économique de leurs effets en milieu villageois. *Iemvt/Inra/Envva/Mhnh*, 1 : 212.
32. WOOLASTON R.R., 1992. Selection of Merino sheep for increased and decreased resistance to *Haemonchus contortus*: peri-parturient effects on faecal egg counts. *Int. J. Parasitol.*, 22 (7): 947-953.

33. YADAV C.L., UPPAL R.P., KALRA S., 1993. An outbreak of Haemonchosis associated with anthelmintic resistance in sheep. *Int. J. Parasitol.*, 23 (3): 411-413.

Reçu le 7-6-1999, accepté le 16-11-99

Summary

Clément V., Bouix J., Tillard E., Gueye A., Baker R.L. Genetic parameters estimation of resistance to gastrointestinal parasitism in traditional husbandry system of small ruminants in Senegal

A protocol has been carried out in order to study the genetic resistance to gastrointestinal parasites on Senegalese breeds of sheep and goats. Faecal and blood samples have been collected on animals from different flocks of two areas of Senegal: the area of Louga located in a sahelian climate, and the area of Kolda located in a sudano-guinean climate. Sires identity was unknown in the husbandry system and pedigree were primarily based on dam-offspring relation. Traits analysed were faecal egg count (FEC) and packed cell volume (PCV). The study was conducted during two years: 1992-1993 for animals of Louga and 1993-1994 for animals of Kolda, with three samplings each year for FEC, two for PCV during rainy season. In Louga area, 193 goats and 184 sheep were collected the first year, 249 goats and 357 sheep were collected the second year, which corresponded to 60 flocks distributed in 15 villages. In Kolda area, the number of animals sampled was 322 goats and 349 sheep the first year, 297 goats and 428 sheep the second year. These animals were coming from 80 flocks distributed in 25 villages. Factors of variation of performances have been fitted in analysis models: village*season*year, age and lactation level for dams, village* season*year, age and sex for young. The heritability and the repeatability have been estimated using an "animal model". The mean of the repeatability within year is 0.19 for FEC and 0.27 for PCV. Values of repeatability were smaller between years: 0.12 for FEC and 0.21 for PCV. The estimation of heritability was difficult: data structure didn't allow to fit directly maternal environment and flocks effects, because of insufficient pedigree and small size of the flocks, respectively. Values of heritability estimated varied from 0 to 0.33 for FEC and from 0 to 0.38 for PCV, depending on sample analysed and model used. It was not possible to estimate genetic correlation between traits. However phenotypic correlations have been estimated between FEC and PCV, and between each one of these variables and the liveweight of the young. Constraints related to genetic study in traditional husbandry system have been discussed.

Key words: Sheep - Goat - Animal husbandry methods - Parasites - Digestive system diseases - Genetic parameter - Senegal.

Resumen

Clément V., Bouix J., Tillard E., Gueye A., Baker R.L. Estimación de los parámetros genéticos de la resistencia al parasitismo gastrointestinal en un medio de crianza aldeano de pequeños rumiantes en Senegal.

Se estableció un protocolo, con el objetivo de estudiar la resistencia genética a las estrongilosis gastrointestinales de las razas locales de ovinos y caprinos de Senegal. Se llevaron a cabo tomas de sangre y coproscopias, en animales pertenecientes a diferentes hatos, en dos regiones de Senegal: la zona de Louga, con clima sahelino y la zona de Kolda, con clima sudano guineense. En este contexto de crianza, la identidad de los padres fue conocida, las relaciones de parentesco estudiadas fueron esencialmente la de madre-descendiente. Los caracteres estudiados fueron la coproscopia en número de huevos por gramo de heces y el hematocrito. La duración del estudio fue de dos años: 1992-1993 para los animales de Louga y 1993-1994 para los animales de Kolda, a razón de tres muestras por año para la coproscopia y de dos para el hematocrito, repartidas durante la estación de lluvias. En la región de Louga, el número de individuos de los que se obtuvo una muestra fue de 193 para los caprinos y de 184 para los ovinos durante el primer año, 249 para los caprinos y 357 para los ovinos durante el segundo año, lo que corresponde a una muestra de 60 establecimientos repartidos en 15 aldeas. En la zona de Kolda, el estudio concernió 322 caprinos y 349 ovinos durante el primer año, 297 caprinos y 428 ovinos durante el segundo año. Estos animales provenían de 80 hatos repartidos en 25 aldeas. Los factores de variación de los rendimientos tomados en cuenta en los modelos de análisis fueron: la combinación aldea*estación* año, la edad y el estadio de lactación de las madres, la combinación aldea*estación*año, la edad y el sexo para los jóvenes. La heredabilidad y la repetibilidad se estimaron gracias a un modelo "animal". La repetibilidad media intra-año fue de 0,19 para el carácter número de huevos por gramo de heces y de 0,27 para el hematocrito. Esta fue más baja entre años, del orden de 0,12 para el número de huevos por gramos de heces y de 0,21 para el hematocrito. La estimación de la heredabilidad presentó dificultades, debido a la estructura de los datos aldeanos, los cuales no permitían una estimación directa el medio materno y de los efectos de hato, a causa de genealogías insuficientes y a un número bajo de efectivos por establecimiento, respectivamente. Las estimaciones de la heredabilidad variaron entre 0 y 0,33 para el número de huevos por gramo de heces y entre 0 y 0,38 para el hematocrito, según la muestra analizada y el modelo utilizado. No fue posible obtener correlaciones genéticas entre los caracteres. En revanche, las correlaciones fenotípicas fueron estimadas entre el número de huevos por gramo de heces y el hematocrito, así como entre cada una de estas dos variables y el peso de los jóvenes. Se discuten los obstáculos ligados a un estudio genético en medio tradicional.

Palabras clave: Ovino - Caprino - Metodos de crianza - Parasitos - Enfermedades del sistema del sistema digestivo - Parámetro genético - Senegal.

Commercialisation d'un produit agricole dans un contexte économique « de transition » : la filière viande porcine de Nam Thanh à Hai Phong

K. Le Goulven¹ J.P. Boutonnet¹ J.M. Codron¹

Mots-clés

Porcin - Viande - Circuit de commercialisation - Vietnam.

Résumé

En 1988, le gouvernement vietnamien a opté pour une politique de « rénovation » qui a conduit le pays d'une économie centralisée socialiste à une économie libérale. Les fermes d'Etat et la collectivisation se sont effacées pour laisser place à un paysage agricole où les terres sont attribuées aux paysans et où l'exploitation individuelle est reconnue à part entière. L'élevage traditionnel des porcs a subsisté mais les modalités de sa commercialisation sont devenues différentes et sont en pleine recomposition. Nous montrons comment, sans aucune politique sectorielle spécifique incitant à une forme particulière d'échange, les acteurs s'organisent pour que le porc, puis la viande porcine, soient acheminés du producteur jusqu'au consommateur. Cet article met en évidence l'importance de l'accès à l'information et au crédit dans un environnement incertain où la consommation dans les grandes villes tend de plus en plus vers une viande maigre. Il montre aussi comment certains acteurs utilisent ces paramètres pour devenir les agents clés de cette filière. Dans un contexte « libéral » (sans intervention directe de l'Etat), le marché parfait ne s'impose pas naturellement. Les modalités de l'évolution de l'organisation précédemment décrite sont analysées en fin d'article.

■ INTRODUCTION

L'adoption de la politique dite « de rénovation » en 1988 marque l'engagement du Vietnam dans un processus de libéralisation. Dès le début des années 90, les terres sont distribuées et la propriété individuelle agricole comme la commercialisation privée des produits agricoles sont reconnues. Aujourd'hui, le rôle de l'Etat se limite au monopole d'exportation des produits agricoles. Sur le marché domestique des produits carnés, les entreprises d'Etat ont cessé toute activité. Aucun service public n'assure l'abattage et les contrôles fiscaux et sanitaires ne sont pas très nombreux. Les mécanismes d'intermédiation (groupements de producteurs, syndicats, foires, marchés de gros...) garantissant le fonctionnement des échanges marchands sont également absents.

Le porc représente 75 p. 100 des productions animales dans un pays où l'agriculture reste encore la principale source d'emploi (tableau I). En 1996, 16,9 millions de porcs ont été produits soit

1 076 000 tonnes de poids vif (tableau II). Ces chiffres fixent à 10,3 kg de carcasse/personne/an la consommation moyenne de viande porcine pour le pays (les exportations sont aujourd'hui négligeables).

Dans le nord du Vietnam, 80 p. 100 des éleveurs n'engraissent qu'un ou deux animaux (tableau III). Pour ces producteurs, l'engraissement des porcs permet de valoriser les résidus de la riziculture et de l'alimentation du foyer. La composition des rations alimentaires moyennes des porcs à l'engrais révèle la forte prédominance du son et des brisures de riz (tableau IV) qui constituent jusqu'à 80 p. 100 de leur alimentation.

L'autoconsommation et la vente à la ferme n'étant pas très développées, 80 à 90 p. 100 des porcs engraisés sont commercialisés (16). Un circuit court permet d'approvisionner les étals des marchés ruraux où la consommation de viande est faible (5 kg/personne/an) (8), pour une cuisine au saindoux et une préférence pour les morceaux gras. Un circuit long et beaucoup plus complexe approvisionne quotidiennement les marchés urbains où la consommation est plus importante qu'à la campagne (jusqu'à 35 kg/personne/an) (11) et s'occidentalise (viande maigre, huile végétale).

1. Inra/Esr, 2, place Viala, 34060 Montpellier Cedex 2, France

Tableau I
Les principaux indicateurs économiques du Vietnam

	Unités	1990	1995
Population	millions d'habitants	65,2	72,9
PIB en prix courants	milliards de dong VN	41 700	218 000
	milliards de \$ US	8,02	19,82
Croissance réelle du PIB	%	5,1	9,5
PIB par tête	1 000 dong VN	639,5	2 990,4
	\$	121,1	268
Inflation des prix à la consommation	%	67,0	18
Dette extérieure convertible	millions de \$ US	3,6	n/a
Taux de change	dong VN : \$ US	5 200	11 300

Secteurs	Parts du PIB		Distribution de population active (1993)	
	1980 (%)	1994 (%)	1 000 personnes	Part (%)
Agriculture	42,7	32,3	23 853	72,9
Industrie	26,3	25,3	3 522	10,8
Service	31,0	42,4	5 341	16,3
Total	100,0	100,0	32 716	100,0

Source : Van Potten et coll., 1996

Tableau II

Répartition de la production de porcs au Vietnam en 1996

Régions	Effectif (1 000 têtes)	Production (1 000 ton. poids vif)	Part des régions (%)
Montagnes du nord	4 326	191	17,8
Delta du Fleuve Rouge	3 695	281	26,1
Côte centrale nord	2 685	142	13,2
Côte centrale sud	1 799	98	9,1
Plateaux du centre	873	43	4,0
Plaine orientale	1 001	88	8,2
Delta du Mékong	2 542	232	21,6
Vietnam	16 921	1 076	100,0

Source : General Statistical Office, 1996

Tableau III

Nombre de porcs par foyer producteur au Vietnam en 1994

Nombre de porcs	Nombre d'éleveurs (milliers)	%
1	3 434	44,6
2	2 931	38,0
3-5	1 169	15,0
> 5	167	2,4

Source : Le Ba Lich, 1996

Une forte incertitude sur la qualité des animaux (rendement de carcasse, teneur en gras des carcasses...) pèse donc sur les commerçants devant sélectionner des porcs vifs chez les paysans et revendre des carcasses en ville. Dans un contexte où l'Etat et les organisations d'intermédiation classiques des marchés sont absents, comment les marchands de porcs s'organisent-ils pour gérer cette incertitude ? La structure de commercialisation décrite peut-elle être qualifiée de performante ? Quelles hypothèses peut-on faire sur son évolution ?

Tableau IV

Composition de la ration moyenne des porcs à l'engrais dans le nord du Vietnam

Région	Aliments (en % de la matière sèche)				
	Maïs	Patate douce	Manioc	Son de riz	Brisures de riz
Montagnes du nord	5	3	5	65	21
Delta du Fleuve Rouge	9	8	1	47	35
Zone côtière du nord	4	11	7	62	16
Vietnam	7	6	6	48	33

Source : communication personnelle, Institut de l'élevage de Ha Noi, mai 1997

■ MATERIEL ET METHODES

Pour répondre à ces questions, des enquêtes ont été conduites en 1996 auprès des acteurs impliqués dans les circuits de commercialisation qui conduisent les porcs d'un district rural à forte production agricole (Nam Thanh, Hai Hung) vers un district urbain à forte concentration industrielle (Le Chan, Hai Phong), districts localisés dans le delta du Fleuve Rouge qui concentre 26 p. 100 de la production nationale de porc (tableau II). Des questionnaires ouverts ont été utilisés pour enquêter auprès de 10 producteurs et de l'ensemble des marchands de porcs et apparentés (au total 16 rabatteurs, informateurs et collecteurs) de 10 des 13 communes du premier district. En ce qui concerne la partie urbaine de la filière (second district), 63 acteurs ont été interrogés dont 6 abatteurs, 7 détaillantes et 50 consommateurs. Ces 63 acteurs ont été choisis au hasard ; des questionnaires ouverts ont été utilisés, sauf pour les consommateurs (questionnaires fermés). Ici, nous abordons principalement la commercialisation et nous nous concentrons sur les données fournies par les marchands et les abatteurs. Les données collectées étaient pour la plupart qualitatives et traitaient de l'organisation de l'activité, de son financement, de l'accessibilité aux différents réseaux, de la formation des prix et des méthodes de commercialisation du produit.

■ RESULTATS

Mise en marché des porcs à la campagne

Les éleveurs de porcs de Nam Thanh ont la possibilité de vendre, en moyenne deux fois par an, leurs porcs aux bouchers (filière courte) ou aux collecteurs (filière longue) (figure 1). Dans les deux cas, le prix (en *dongs* par kilo vif) est négocié entre l'acheteur et le vendeur. Après accord, l'animal est pesé et vendu. Le prix dépend de la qualité de l'animal (sanitaire, rendement de carcasse, teneur

en gras de la carcasse) estimée par l'acheteur. Le tableau V met en évidence les différences de prix à l'achat entre les porcs gras et maigres. Ce différentiel de prix se retrouve à la vente de la viande au détail : entre Nam Thanh et Le Chan les prix peuvent doubler (tableau VI). Nous nous intéressons dans le reste de l'analyse à l'organisation de la filière longue vers Le Chan.

Les collecteurs sont les opérateurs qui font le lien entre la campagne et la ville. Ils achètent des porcs vifs (deux à dix par jour) aux éleveurs ruraux et revendent des carcasses aux détaillantes

Tableau V

Prix d'achat du porc au paysan en fonction de la qualité (en dongs/kg)

	Porc bien conformé	Porc mal conformé	Porc bien conformé mais mal castré
Porc gras (épaisseur estimée du gras dorsal importante), 80 kg PV	10 000	9 500	9 000
Porc maigre (épaisseur estimée du gras dorsal faible), 80 kg PV	11 000	9 800	9 200
Porc gras, 50 kg PV	9 500	-	-
Porc maigre, 50 kg PV	10 500	-	-

Source : enquêtes Katell Le Goulven, mai 1996, Nam Thanh

PV = poids vif

Tableau VI

Différences de prix de vente de la viande de porc au détail à Nam Thanh et à Le Chan

	Prix au détail à la campagne : Nam Thanh (en dongs/kg)	Prix au détail en ville : Le Chan (en dongs/kg)	Différence ville-campagne (%)
jambon	20 000	22 000	+ 10
longe	13 000	30 000	+ 131
côtes	12 000	16 000	+ 34
tripes	11 000	20 000	+ 82
tête	12 000	13 000	+ 8
épaule	17 000	20 000	+ 18
cœur	35 000	45 000	+ 28
foie	15 000	15 000	-
gras	5 000	11 000	+ 120

Source : enquêtes Katell Le Goulven, mai et juin 1996, Nam Thanh et Le Chan

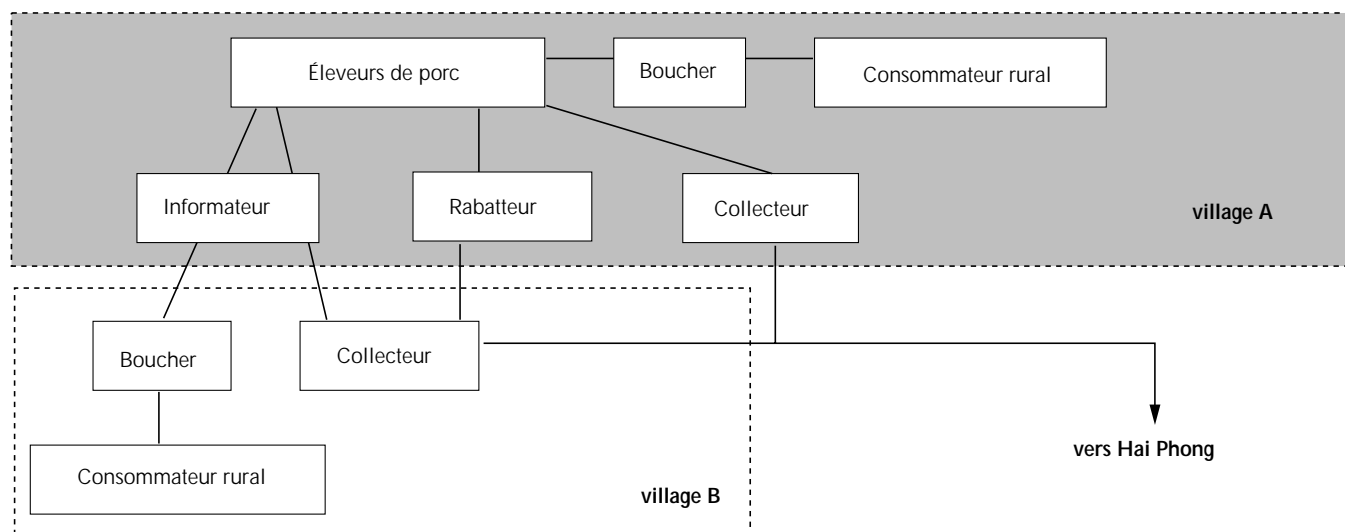


Figure 1 : les acteurs impliqués dans l'achat des porcs aux paysans (source : enquêtes Katell Le Goulven, 1996)

urbaines. De ce fait, leur objectif est de s'approvisionner en porcs maigres et de bon rendement poids carcasse/poids vif. Ces marchands, originaires de la campagne, s'approvisionnent dans leur commune de résidence dont ils connaissent la production et les producteurs. Cette relation de proximité, si elle est associée à une relation de confiance, peut permettre aux collecteurs de bénéficier de délais de paiement. Ainsi, 80 p. 100 des collecteurs rencontrés paient les porcs aux paysans après avoir les avoir livrés à l'abatteur, soit un jour après l'achat effectif lorsque la transaction a lieu dans leur village d'origine.

Pour étendre leur aire de collecte à d'autres communes, les collecteurs ont recours à des intermédiaires : les informateurs et les rabatteurs. La fonction des informateurs est de constituer progressivement une « banque de données » sur les différents élevages de leur commune afin de commercialiser cette information. Les informateurs renseignent les collecteurs sur la localisation des animaux prêts à la vente ainsi que sur les caractéristiques des systèmes de production et le passé des ventes des éleveurs de leurs villages. Ils sont rémunérés grâce à une commission par porc vendu versée par le collecteur (5 000 dongs¹ par porc). Les rabatteurs sont des informateurs dont les services s'élargissent à l'achat et au transport des animaux. Ils travaillent pour un seul collecteur qui, chaque jour, leur passe des commandes et leur avance l'argent nécessaire à l'achat et au transport des animaux. Les rabatteurs sont rémunérés par une commission par porc, une prime étant allouée pour les animaux jugés les plus maigres par le collecteur (commission + prime = 8 000 dongs en moyenne, soit 1 p. 100 de la valeur finale du produit).

Informateurs et rabatteurs opèrent un tri entre les porcs maigres et les porcs gras au moment de la vente : les porcs maigres approvisionnent les villes et les porcs gras restent au village. Bien que la spécialisation des élevages ne soit donc pas flagrante, on note que les paysans qui alimentent leurs animaux avec les résidus de fabrication d'alcool de riz ou de pâtes de soja (entre 2 et 5 p. 100 des élevages) (5) produisent en général des porcs plus maigres que les autres. Leurs porcs sont acheminés vers les zones urbaines. Les informateurs et les rabatteurs pallient donc l'absence de foires ou de groupements de producteurs gérant classiquement le regroupement, le tri, l'allotement et la circulation de l'information sur les animaux prêts à la vente. Ces intermédiaires permettent aussi aux collecteurs de bénéficier des différés de paiement d'un jour dont ils bénéficient dans leurs propres villages.

Lorsque les deux parties impliquées dans la première transaction sont anonymes, les coûts de transaction sont élevés et résultent d'une double asymétrie d'information : l'éleveur ne connaît pas les fluctuations de prix sur le marché final et son pouvoir de négociation s'en trouve affecté lors du marchandage précédant la vente ; le collecteur ne sait pas si l'animal a été malade au cours de son engraissement, il ne connaît pas le type de ration qui lui a été donné ni l'historique de production de chaque éleveur. Réduire ces asymétries d'information permettrait de mieux apprécier la qualité des animaux achetés et de limiter les comportements opportunistes pouvant en résulter. L'opportunisme repose sur une révélation incomplète, déformée ou falsifiée de l'information possédée par les acteurs sur leurs actions, sur le produit ou sur les prix. A titre d'illustration, certains éleveurs nourrissent leurs porcs juste avant la vente pour accroître leur poids vif. Cette pratique augmente les risques de mort de l'animal au cours du transport et donc les pertes potentielles pour l'acheteur. De même, une révélation incomplète des caractéristiques du produit par l'éleveur (ou des prix urbains par l'acheteur) réduit les gains de l'acheteur (ou de l'éleveur).

1. En 1996, 1 000 dongs = 0,5 FF = 0,076 Euros

Les risques d'opportunisme augmentent les coûts de transaction, en l'occurrence les coûts de négociation et de supervision du contrat d'achat ou de vente. Pour les théoriciens des coûts de transaction, l'opportunisme incite donc très fréquemment à l'internalisation de la transaction (17).

Les enquêtes ont montré que ce n'est pas la stratégie d'intégration qui était retenue par les acteurs pour réduire les coûts de transaction. La faible taille des exploitations et donc la faible fréquence des transactions entre parties (deux fois par an en moyenne) font que les contrats de longue durée ne sont pas adaptés. Les collecteurs possèdent d'abord une compétence professionnelle qui, comme pour tout maquignon, leur permet d'évaluer *de visu* le rendement et la qualité de la carcasse d'un porc vif. Le savoir-faire est initialement transmis par les parents ou les proches, c'est ensuite l'apprentissage (12) qui forge la qualité d'expert.

Outre les capacités d'expertise, nous avons vu que les acheteurs se constituaient une « banque de données » sur les systèmes de production et sur l'historique des ventes des éleveurs de leur voisinage. On comprend que l'importance des coûts de collecte d'information sur les élevages et les éleveurs limite cette connaissance spécifique au village de résidence de l'acheteur. C'est pour cette raison qu'il a recours à des intermédiaires lorsque son aire de collecte s'élargit.

La proximité sociale des résidents d'un même village permet aussi de réduire les situations d'opportunisme du fait des relations de confiance et de réputation qui existent entre voisins. Les informateurs comme les rabatteurs sont les relais de cette proximité lorsque leurs services sont loués par un collecteur étranger au village et un éleveur.

Cependant, le groupe que constituent les collecteurs et la solidarité qui existe entre ces gens de métier leur confèrent un certain pouvoir vis-à-vis des éleveurs. Les collecteurs constituent un réseau d'intérêt commun, s'étendant sur cinq à dix communes, au sein duquel l'information sur les prix circule et tend à s'uniformiser. Par opposition, les enquêtes montrent que l'aire d'information de l'éleveur (notamment sur le prix pratiqué au détail) se limite à sa commune de résidence.

La solidarité du groupe des collecteurs se retrouve dans le transport où l'entraide est importante. Les collecteurs transportant seuls les animaux vers Hai Phong sont rares (10 p. 100). La majorité des collecteurs se groupent à deux ou trois pour louer un camion (et ainsi réaliser des économies d'échelle) ou pour transporter les animaux à moto afin de s'entraider si une moto tombe en panne.

Abattage et distribution dans la ville de Hai Phong

L'anonymat des collecteurs et l'éclatement de la distribution en viande de porc sur les marchés de la ville poussent les collecteurs à travailler avec des intermédiaires facilitant la rencontre de l'offre et de la demande.

Ces intermédiaires, les abatteurs, sont des prestataires de service : ils fournissent le gîte et le couvert aux collecteurs, organisent le stockage et l'abattage des animaux et la rencontre entre les collecteurs et les détaillantes. Ce sont des opérateurs privés qui ont une relation contractuelle avec les collecteurs qui leur sont affiliés. Ils n'achètent pas les animaux mais favorisent leur commercialisation et prélèvent une commission proportionnelle au poids de carcasse écoulé. Un collecteur ne travaille qu'avec un abatteur qui est, en revanche, approvisionné par plusieurs collecteurs d'origines géographiques diverses.

Les abattoirs visités traitaient en moyenne 20 porcs par jour. Le plus gros abattoir du district de Le Chan et de la ville de Hai

Phong fournissait 50 carcasses par jour en moyenne, avec des pics de 100 carcasses les jours de forte consommation. Les coûts fixes de l'abattage sont nuls puisque la tuerie ne nécessite aucun investissement particulier : les porcs sont abattus dans les cours des abatteurs, à même le sol et les seuls instruments utilisés sont des couteaux de bouchers.

Compte tenu de l'absence de chaîne de froid et du climat chaud et humide, les carcasses ne peuvent être stockées. Les détaillantes se rendent chez l'abatteur vers trois ou quatre heures du matin et choisissent les animaux qu'elles souhaitent acheter dans le stock en vif. Le prix de vente est négocié à partir de l'animal vif et le paiement est réalisé sur la base d'un prix au kilo de carcasse. La négociation sur le prix a lieu entre l'abatteur et la détaillante. Le collecteur, même s'il n'est pas reparti vers la campagne, délègue le marchandage à l'abatteur.

Les transactions marchandes entre les collecteurs et les détaillantes sont personnalisées via l'abatteur qui entretient avec les deux parties de fortes relations de dépendance. En effet, les approvisionnements par les collecteurs sont contractualisés oralement (commandes renégociées quotidiennement en fonction de l'évolution de l'offre et de la demande, prix fixé à l'avance) et l'abatteur octroie des avances sur paiement (d'un jour ou deux) qui permettent aux fournisseurs de repartir collecter avant que les animaux ne soient tous vendus. D'autre part les détaillantes qui s'approvisionnent régulièrement auprès d'un abatteur bénéficient d'un différé de paiement, sans taux d'intérêt, de un à trois jours.

Les pratiques de contractualisation à l'amont et de fidélisation à l'aval reposent sur le fait que l'abatteur constitue la base financière et le centre d'information de la filière.

En effet, dans une économie où l'accès au crédit et aux liquidités pour les petits entrepreneurs privés est difficile (11), les ressources monétaires de l'abatteur sont fondamentales pour que des

échanges différés dans le temps se réalisent. Les avances faites aux collecteurs leur permettent de payer les éleveurs un jour après l'achat et les différés accordés aux détaillantes sont remboursés une fois la viande vendue aux consommateurs. L'abatteur, se trouvant à l'interface de l'offre et de la demande, utilise les informations provenant des différentes aires d'approvisionnement et des différents marchés urbains pour fixer le prix des carcasses au quotidien. Ces connaissances font de l'abatteur un médiateur qui régule le marché en fonction des calendriers de production des provinces limitrophes et des évolutions de la consommation sur les marchés de la ville. La régulation du marché en ville se fait aussi par l'ouverture occasionnelle de petits abattoirs (moins de cinq porcs tués par jour) lors des pointes de consommation (comme pour le Têt² par exemple).

Les flux physiques se caractérisent par une concentration des produits au niveau des acteurs (les informateurs et les abatteurs) qui ne possèdent à aucun moment de droits de propriété sur les animaux vendus. Les flux de liquidités et d'information placent l'abatteur au centre de la chaîne de commercialisation (figure 2). Les collecteurs qui assument le risque commercial dans la filière ne maîtrisent que faiblement l'information et les liquidités de leur fonds de roulement.

L'analyse des parts du produit brut final vendu de chacun des acteurs de la filière (tableau VII) ne révèle pas de captage de rentes importantes par l'abatteur ni par le collecteur, contrairement à ce que la description des transactions et de leurs déterminants pourrait laisser présager. La répartition du produit brut final entre commerçants ne reflète pas les risques qu'ils encourent (sur la qualité pour le collecteur, sur les quantités commandées pour l'abatteur) ; elle correspond à un exemple où chacune des parties est bénéficiaire et où la qualité (sanitaire, rendement de carcasse, teneur en gras) est appréciée et rémunérée conformément aux critères en vigueur.

■ DISCUSSION

La répartition des marges de la commercialisation n'est guère différente de celle qu'Abbott (1) décrit pour la commercialisation des porcs vers Lima en 1972 (75 p. 100 pour l'éleveur, 12 p. 100 pour le marchand et le grossiste, 13 p. 100 pour le détaillant) ou vers les villes françaises dans les années 80 (4). Ces résultats s'inscrivent donc en faux contre la théorie classique qui associe intermédiation et inefficacité des échanges marchands. L'analyse rejoint celles effectuées sur la commercialisation du bétail et de la viande en Afrique de l'Ouest par le Centre de recherches sur le développement économique (Cred) de l'Université du Michigan (2) où le système de commercialisation, bien que traditionnel, fait preuve d'une remarquable capacité d'adaptation aux changements d'ordre conjoncturel (sécheresse sahélienne et restructuration du commerce international affectant le marché burkinabé dans les années soixante-dix) malgré les lacunes de l'infrastructure physique et institutionnelle. Les systèmes décrits dans les deux cas favorisent une adaptation rapide aux fluctuations du marché (réajustement quotidien des prix et des commandes par les abatteurs) et donc une bonne transmission des signaux envoyés par l'offre et la demande. La spécialisation des intermédiaires n'affecte pas le caractère concurrentiel du marché où les prix et les marges semblent traduire les coûts de commercialisation et les risques encourus.

L'adaptabilité et « l'efficacité » du système commercial analysé persistent-elles lorsque des scénarios évolutifs sont dressés ?

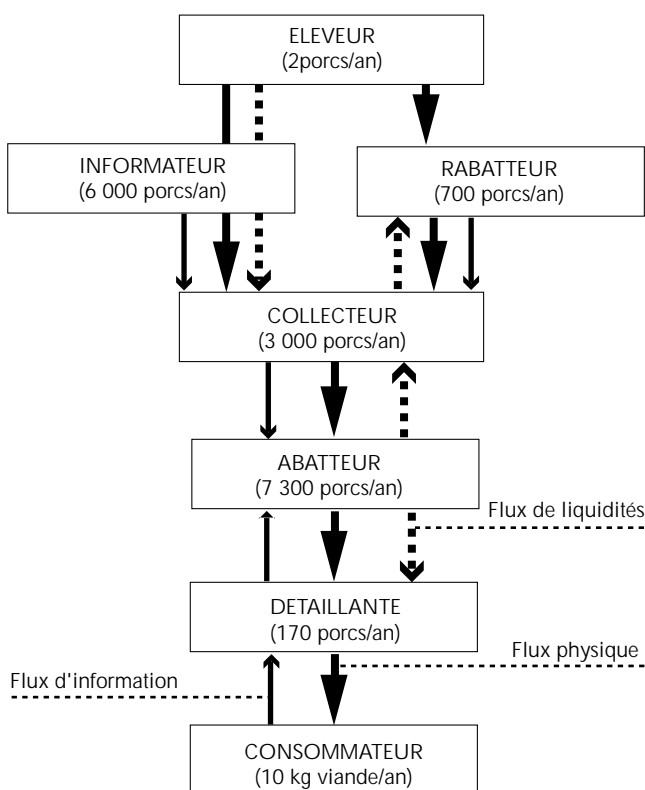


Figure 2 : les flux de produit, d'information et de crédit dans la filière porc entre Nam Thanh et Hai Phong (source : enquêtes Katell Le Goulven, 1996)

2. Fête du Nouvel An

Tableau VII

Marges et coûts dans la commercialisation des porcs et de la viande entre Nam Thanh et Hai Phong

Valeur d'un porc en milliers de dong (porc de 80 kg, carcasse de 60 kg)	
Part de l'éleveur	760
commission du rabatteur	10
marge du collecteur	54
Total, marge de gros	64
Valeur de l'animal entrée abattoir	824
marge de l'abatteur	80
Valeur de gros de l'animal	904
Valeur de gros de la carcasse	700
marge de la détaillante de viande	170
Valeur finale de la viande au détail	870
Valeur de gros des abats	204
marge de la détaillante d'abats	14
Valeur finale des abats au détail	218
Valeur finale des produits	1 088

	% de la valeur finale de l'animal	Marges brutes annuelles en milliers de dong
Part de l'éleveur	70	1 520
Part du rabatteur	1	7 000
Part du collecteur	5	162 000
Part de l'abatteur	7	584 000
Part des détaillantes	17	31 280

Source : enquêtes Katell Le Goulven, juin 1996

Les différentes voies d'évolution envisageables

La volonté actuelle des autorités de la ville de Hai Phong comme de celles d'autres villes du nord du Vietnam est de favoriser la concentration de l'abattage afin (a) de faciliter le contrôle sanitaire de la viande aujourd'hui très peu efficace, (b) de favoriser la collecte des taxes d'abattage (en 1996 seuls 3 p. 100 de ces taxes étaient collectées à Le Chan) (11) et (c) d'engager un plan de gestion des eaux usées sortant des abattoirs. Au moment de nos enquêtes, ce processus de concentration était d'ores et déjà amorcé par la délivrance d'une autorisation de construction d'un bâtiment d'abattage d'une capacité de 200 à 300 porcs par jour à la périphérie du district de Le Chan et donc de la ville. Cette capacité correspond à la consommation totale du district.

L'unique bénéficiaire de cette autorisation est le plus gros abatteur de la ville (50 porcs par jour) qui possède des appuis politiques et des moyens de pression importants. Du fait de sa tendance monopolistique, la réalisation de ce projet aurait les conséquences suivantes :

- extension du recours à une autorité autre que l'Etat. Des agents de sécurité privés sont rémunérés par l'abatteur pour permettre aux droits de propriété individuels sur les marchandises d'être respectés et aux termes des contrats relationnels oraux d'être appliqués. On retrouve ce type d'autorité privée dans les pays « en transition », lorsque l'Etat n'assure pas sa fonction régalienne de base garantissant la sécurité des biens et des personnes ;
- création de barrières à l'entrée du fait des investissements techniques (300 millions de dong) et relationnels nécessaires à de nouvelles implantations ;

- perte du caractère concurrentiel du mécanisme de formation des prix. En 1996 le district de Le Chan³ comptait 110 abattoirs (dont cinq traitaient plus de 20 porcs par jour et un plus de 50) qui approvisionnaient, avec plus de 300 porcs par jour, 300 détaillantes réparties dans tout le district. La création d'un abattoir permettant de couvrir l'ensemble des besoins du district détruit cette forme de concurrence et rend l'unique abatteur *price-maker*.

La création de barrières à l'entrée, la concentration des parts de marchés et la réduction du nombre d'acteurs font tendre l'organisation de l'abattage vers une structure monopolistique et un prix unique (concurrence imparfaite). L'accroissement de la marge de l'abatteur ainsi engendré pourrait-il permettre de couvrir celui des coûts fixes ? Cette augmentation de marge ne peut être couverte que par (a) une augmentation des prix au détail et/ou (b) une diminution des prix d'achat aux éleveurs. Les enquêtes conduites auprès des consommateurs de Le Chan montrent que l'hypothèse (a) les pousserait à reporter leurs achats vers d'autres produits comme le poisson, les œufs (11). L'hypothèse (b) se pose comme un frein à l'intensification des élevages du delta.

En effet, l'hypothèse (b) conduit à s'interroger sur la capacité des éleveurs vietnamiens du delta du Fleuve Rouge à produire plus. Un accroissement important du cheptel rompt le système autarcique d'engraissement à base de résidus rizicoles et conduit les producteurs à acheter au moins une partie des rations animales. Un tel

3. 135 000 habitants (27 900 foyers) répartis dans 15 arrondissements

essor n'est pas profitable aux petites structures productives⁴. Pour les plus grosses, l'accroissement du cheptel s'accompagne d'investissements réels lourds pour la trésorerie (accroissement du temps de travail, bâtiment à construire, avances monétaires à entreprendre pour l'achat des intrants). Compte tenu de la faible accessibilité des paysans vietnamiens au crédit et des maigres fonds de roulement dont disposent les foyers ruraux (10), l'intensification de l'élevage ne semble pas généralisable à l'ensemble des foyers agricoles. Une politique de crédit rural adaptée aux petits et moyens producteurs pourrait donc permettre la spécialisation de certains élevages.

Le rôle des agriculteurs et les conditions de leur insertion dans la filière viande porcine peut aussi évoluer vers un regroupement et une intégration du stade de la production à celui du transport. On verrait alors se développer une organisation proche de celles des coopératives agricoles que l'on trouve en France. Un regroupement permettrait aux producteurs de réaliser des économies d'échelle sur l'achat d'intrants, d'aliment industriel concentré notamment. En intégrant la collecte, les producteurs pourraient aussi bénéficier des économies d'échelle sur le transport. Face à l'hétérogénéité des systèmes d'élevage porcins, une telle structure pose le problème de la rémunération de la qualité des animaux.

Cette émergence peut être, comme dans d'autres pays, favorisée par une politique sectorielle reconnaissant institutionnellement les coopératives agricoles et favorisant la standardisation des modes de rémunération des producteurs.

■ CONCLUSION

La filière porc analysée entre un district rural et un district urbain du delta du Fleuve Rouge est dominée par des acteurs privés depuis la « Rénovation ». Elle met en relation une production traditionnelle atomisée et une offre de viande dispersée sur les étals des grands centres urbains de consommation. Le propos de notre recherche était de décrire et de comprendre les mécanismes de coordination entre les acteurs de la filière.

Les transactions marchandes étudiées s'insèrent dans des relations sociales (proximité villageoise) ou socioprofessionnelles (réseau de collecteurs) qui facilitent leur réalisation. Le fonctionnement de la chaîne de transactions repose sur une gestion centralisée de l'information et des liquidités qui confère un pouvoir de négociation à certains acteurs, aux abatteurs notamment. Comment cette organisation de la commercialisation évoluerait-elle si les institutions formelles de marché qui font aujourd'hui défaut étaient mises en place ?

L'intensification de l'élevage n'est possible que si une véritable politique de crédit agricole permet aux éleveurs de financer l'achat des intrants et si des structures institutionnelles formelles (groupements, coopératives) leur permettent de négocier des prix de vente adaptés. L'industrialisation de la filière implique une réorganisation de l'abattage et le développement d'un contrôle sanitaire effectif qui s'accompagnent de coûts ne pouvant être absorbés, outre par les économies d'échelle, que par une augmentation des

prix à la consommation. Il faut dès lors s'interroger sur la capacité des revenus des ménages à absorber une telle hausse. Il convient finalement d'analyser, en s'appuyant sur d'autres exemples (notamment sur le développement de l'élevage à la périphérie d'Ho Chi Minh-ville), pourquoi et comment l'intensification de la production et/ou la concentration de l'abattage ont pu avoir lieu dans d'autres régions. Ces études comparatives permettraient de mieux comprendre les trajectoires et les perspectives d'évolution de la filière porc dans le nord du Vietnam. Autant de pistes qui font l'objet de travaux de recherche en cours.

Remerciements

Nous remercions les trois lecteurs anonymes pour leurs remarques constructives.

BIBLIOGRAPHIE

1. ABBOTT J.C., 1987. L'amélioration de la commercialisation dans le monde en développement. Rome, Italie, Fao, 252 p. (coll. Développement économique et social)
2. ARIZA-NINO E.J., HERMAN L., MAKINEN M., STEEDMAN C., 1981. La commercialisation du bétail et de la viande en Afrique de l'Ouest. 1 : Rapport de synthèse Haute-Volta, Cred, Ann Arbor, MI, Usa, Université du Michigan, 258 p.
3. AUBARD B., 1992. Engraissement des porcs en milieu familial dans le delta du Fleuve Rouge. Montpellier, France, Cnearc, 110 p.
4. BOUTONNET J.P., SIMIER J.P., 1995. Les viandes. Paris, France, Economica, 112 p. (coll. Cyclope).
5. DO DUC HAN, 1997. Etude de la filière porcine dans quelques régions. Rapport interne du Gret, Ha Noi, Vietnam, VTD 59, 5 p.
6. FAO, 1992. Vietnam Meat Industry, Market Development study. Final Report, Wellington, New Zealand, Lincoln International Ltd, 31 p.
7. GENERAL STATISTICAL OFFICE, 1996. Impetus and present situation of Vietnam society and economy after ten years of Doi moi. Ha Noi, Vietnam, Statistical Publishing House, 477 p.
8. KROWOLSKI N., 1993. Manger au Village : du quotidien au festif. Synthèse d'enquêtes, Ha Noi, Vietnam, 13 p.
9. LE BA LICH, 1996. Livestock production of Vietnam in the passing year and development orientation toward 2000. National Seminar on Animal Sciences and Development to year 2000, Ha Noi, Vietnam, Animal Husbandry Association of Vietnam, 23 p.
10. LE GOULVEN K., 1995. Différenciation socio-économique des exploitations agricoles. Dans quelles mesures les paysans les plus démunis ont-ils accès au crédit. Montpellier, France, Cnearc, 65 p.
11. LE GOULVEN K., 1996. Les formes de coordination de la filière de viande porcine dans le delta du Fleuve Rouge. Montpellier, France, Ensa/Gret/Pfr, 140 p.
12. NELSON R.R., WINTER S.G., 1982. An evolutionary theory of economic change. Cambridge, MA, USA, Harvard University Press, 413 p.
13. RONNAS P., 1992. Employment generation through private entrepreneurship in Vietnam. SIDA-ILO, New Delhi, India, 163 p.
14. VAN POTTEN A.J., JONKER J.M.E., VAN DIJK, J.B., 1996. Food and agribusiness in Vietnam, Utrecht, The Netherlands, Rabobank International, 53 p.
15. VIETNAM INVESTMENT REVIEW, 1996. New law calls for a return to the cooperative spirit. *VIR*, 13: 1-12.
16. VU TRONG BINH, 1995. Le système de production porcine du delta du Fleuve Rouge. In : Les nouveaux paysans du delta du Fleuve Rouge. Ha Noi, Vietnam, Etudes Vietnamiennes, p. 125-143.
17. WILLIANSO, O.E., 1985. The economic institutions of capitalism. New York, NY, USA, The Free Press, 450 p.
18. WORLD BANK, 1994. Vietnam agricultural marketing study. N° 13133 VN, Country Department I, East Asia and Pacific Regional Office, Washington, DC, USA, p. 43-54.

4. La marge d'un éleveur engraisant un animal de 10 à 80 kg est de 760 000 dongs dans le cas où la ration est composée de sous-produits autofournis et de 250 000 dongs s'il achète les aliments. Ces calculs sont effectués sur la base des données techniques fournies par Aubard (3) et d'un prix de 2 000 dongs/kg pour le son de riz et 6 000 dongs/kg pour l'aliment industriel concentré. Pour un éleveur mettant deux porcs sur le marché deux fois par an, doubler la marge réalisée correspond à quadrupler la production (la production initiale apporte une marge de 3 040 000 dongs (4 x 760 000), un quadruplement de la production apporte une marge de 6 040 000 dongs (4 x 760 000 + 12 x 250 000))

Summary

Le Goulven K., Boutonnet J.P., Codron J.M. Marketing an agricultural production in a "transition" economy: pork marketing chain from Nam Thanh to Hai Phong (Vietnam)

In 1988, the Vietnamese government opted for a «renovation» policy leading the country from a centralized economy to a liberal one. State farms and collectivization were wiped out, giving way to a new agricultural landscape where land is allocated to peasants and where individual farming is fully-recognized. Traditional hog raising has subsisted but the way of marketing is getting in complete recomposition. We show how, without any subsector specific policy, people are getting organized when marketing hogs from the farm to the consumer. This article brings to the fore the importance of access to information and credit in a context full of uncertainty where urban consumption tends more and more towards lean meat. It underlines the fact that some traders use information and credit to become key-actors of the subsector. Therefore, we highlight that in a liberal context (without any State intervention), perfect market doesn't emerge spontaneously. Finally, we discuss potential future trajectories for the Vietnamese swine industry.

Key words: Pork - Swine - Marketing channels - Vietnam.

Resumen

Le Goulven K., Boutonnet J.P., Codron J.M. Comercialización de un producto agrícola en un contexto económico « de transición »: la filial de carne de cerdo de Nam Thanh a Hai Phong (Vietnam)

En 1988 el gobierno vietnamita optó por una política de renovación, que condujo al país de una economía centralizada socialista hacia una economía liberal. Las fincas del Estado y la colectividad desaparecieron, dando lugar a un paisaje agrícola en el que las tierras se atribuyen a los campesinos y en donde la explotación individual es totalmente reconocida. La crianza tradicional de los cerdos subsistió, pero las modalidades de su comercialización han cambiado y se encuentran en plena recomposición. Mostramos como, sin ninguna política sectorial específica que incite a una forma particular de intercambio, los actores se organizan para que el cerdo y luego la carne de cerdo, sean conducidos desde el productor hasta el consumidor. El presente artículo demuestra la importancia del acceso a la información y al crédito en un medio inseguro, en el que el consumo en las grandes ciudades se orienta progresivamente hacia carnes magras. Demuestra también como ciertos actores utilizan estos parámetros para convertirse en los agentes clave de esta filial. En un contexto «liberal» (sin intervención directa del Estado), el mercado perfecto no se impone naturalmente. Al final del artículo se analizan las modalidades de la evolución de la organización descrita previamente.

Palabras clave: Carne - Cerdo - Corrientes de mercadeo - Vietnam.

Heartwater and the economics of livestock production on large scale commercial and smallholder farms in Zimbabwe

T. Chamboko¹ A.W. Mukhebi² C.J. O'Callaghan³
 T.F. Peter¹ R.L. Kruska² G.F. Medley³
 S.M. Mahan¹ B.D. Perry^{2*}

Key words

Livestock - Heartwater - Economics - Productivity - Gross margin - Profitability - Performance - Zimbabwe.

Summary

In order to assess the economic impact of heartwater (*Cowdria ruminantium* infection) and model the impact of improved vaccines against the disease, a field study was conducted to provide data on livestock productivity indicators in Zimbabwe. Cross-sectional studies were performed in the two main agro-ecological regions, lowveld and highveld, where heartwater was thought to be endemically stable and epidemic, respectively. These studies were designed to provide data on livestock productivity and profitability, and other key production indicators from the smallholder (SH) and large scale commercial (LSC) production systems, and from beef, dairy, sheep and goat enterprises. The results show that the profitability of LSC beef farms, as indicated by overall positive gross margins, was similar ($p > 0.05$) irrespective of location and whether or not heartwater cases were reported. Only LSC dairies that reported heartwater cases demonstrated a negative gross margin, though this was not significantly different from dairy farms that did not report heartwater, or from the beef farms. The highveld and lowveld SH areas, which were both assumed to be endemically stable for heartwater, displayed positive gross margins, though the margin was significantly ($p < 0.001$) higher in the highveld than in the lowveld. This study indicates that losses associated with heartwater are minimal under endemic stability and in epidemic areas where tick control is effectively implemented. Furthermore, the profitability of livestock production, in both the LSC and SH production sectors, could be increased if more cost effective methods of tick and tick-borne disease control (which is one of the major costs of production) are made available.

INTRODUCTION

Heartwater (*Cowdria ruminantium* infection), an economically important tick-borne disease of cattle, sheep and goats and *Amblyomma hebraeum*, the most widespread vector for the disease in Zimbabwe, were previously considered to be restricted to the southern lowveld of the country (15), where less effective tick control has resulted in the development of endemic stability for heartwater on many farms (16). Heartwater and its vectors have now become established in the highveld (16, 21, 22), which has

become an epidemic, or "transitional", zone where infection is spreading. This spread is believed to threaten the viability of livestock enterprises due to the mortality and the high costs of control and treatment (3). Heartwater in Zimbabwe has historically been controlled through intensive application of acaricides to livestock in order to limit transmission of infection (15, 16). However the high cost of acaricides to farmers and the government (which provides a highly subsidized dipping service to smallholder farmers) has necessitated a re-assessment of the acaricide application policy and the consideration of alternative control strategies such as vaccination and the exploitation of endemic stability (8, 14, 19). The term "endemic stability" refers to a climax relationship between vector, host and pathogen, under which pathogen transmission rates and population immunity are high, widespread immunity prevails and clinical disease is minimal (15, 17, 20).

In order to study the epidemiology of the disease, its economic impact, and to model the potential costs and impact of alternative control measures (13, 18), accurate data were required on the

1. UF/USAID/SADC Heartwater Research Project, PO Box CY 551, Causeway, Harare, Zimbabwe

2. International Livestock Research Institute (ILRI), PO Box 30709, Nairobi, Kenya

3. Department of Biological Sciences, University of Warwick, Coventry CV4 7AL, United Kingdom

* Corresponding Author

Tel: +254 2 630743; Fax: +254 2 631499; E-mail: b.perry@cgiar.org

effect of the disease under different epidemiological states (endemically stable and epidemic) on livestock productivity in different farming systems and agro-ecological zones of Zimbabwe. The results of studies to acquire such data are presented here.

■ MATERIALS AND METHODS

Design of field studies

Cross-sectional field studies were carried out to collect heartwater disease and livestock production data representing: (a) the major agro-ecological regions in Zimbabwe, lowveld and highveld where heartwater was believed to be endemically stable and epidemic, respectively; (b) the major livestock production systems, smallholder (SH) and large scale commercial (LSC) farms; (c) the major livestock products in the LSC sector, i.e. beef, dairy and small ruminants (sheep and goats). A detailed description of these regions and production systems has been reported previously (3).

Data collection

Field cross-sectional studies within the lowveld were carried out in selected representative areas of Insiza and West Nicholson districts of Matabeleland South Province, and Zvishavane district of Midlands Province. These areas were considered to be representative of farming systems in the endemically stable lowveld. Studies in the highveld were performed in Harare and Chikomba districts of Mashonaland East Province and in Chegutu district of Mashonaland West Province (figure 1), which were considered to be representative of production systems in the heartwater epidemic highveld zone. The selected SH and LSC areas are listed in table I. In the SH areas, farmers were selected for participation in the study from lists maintained by government district veterinary offices (DVOs). The farm lists were stratified on the basis of the dip tank they attended and a two-stage random sample of dip tanks and farms was made. In the lowveld LSC areas, 60 questionnaires were randomly distributed at farmers' union meetings. In the highveld, 40 LSC farms were purposively selected from lists of farms kept by the DVOs and the Commercial Farmers' Union. The selection criteria for LSC farms in the highveld included reported heartwater status, i.e. properties where heartwater had been reported and those which were reported to be free.

In the SH areas, farm interviews were conducted with the assistance of trained enumerators, using a pre-tested questionnaire. For the LSC farms, pre-study sensitization meetings were held with the local farmers' union on the objectives of the study. In the lowveld, LSC farmers filled-in the questionnaires independently, while in the highveld, interviews were conducted by the study investigators. In both the LSC highveld and the SH areas, the number of farms selected was dependent on logistical considerations, i.e. the practical maximum combination of study sites and farms that could be visited during the course of the study. The potential power of this sample design could not be estimated *a priori*, since little information concerning prevalence estimates and no information on distribution of management practices existed.

Data were collected at all sites on a set of key livestock production indicators. In the LSC farms, production indicators included livestock herd/flock size, livestock production levels such as milk yield, off-take rates, on-farm slaughters and calving rates, livestock inputs and costs, and other livestock output and prices. On SH farms, livestock production indicators included herd/flock

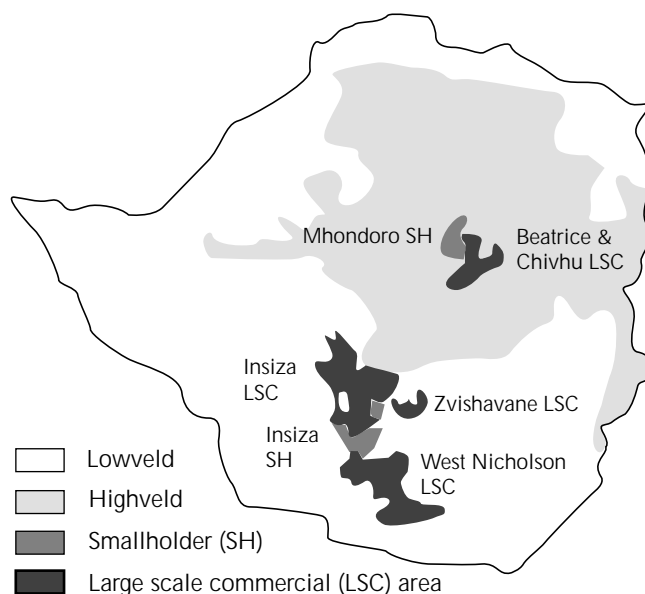


Figure 1: Map of Zimbabwe showing the lowveld and highveld agro-ecological zones and the location of study sites for the survey on the economics of livestock production.

size, livestock output which included milk yield, manure production, draft power, livestock sales and livestock inputs and costs and other output, such as hides. Data were also collected on heartwater control strategies and costs, total mortality (including heartwater) and suspected heartwater-specific mortality and morbidity. These have been reported elsewhere (3).

The data collected in all study sites was for the 1994-1995 agricultural season, which ran from September or October 1994 to the same months of 1995. The study in the lowveld was conducted between April and June 1995 in the SH system, and between August and December 1995 in the LSC system. The study in the highveld was carried out between November 1995 and June 1996 in the LSC system and during May and June 1996 in the SH system.

Data Analyses

The data were analyzed using the SPSS PC Release 5.0 (SPSS Inc., 1992). Owing to the frequent violation of the assumption of normality essential to most parametric statistics, distribution free non-parametric methods were employed in the analysis of continuous measures. The Kruskal-Wallis one-way analysis of variance was used to test for differences where more than two production systems were involved, while differences between two groups were analyzed using the Mann-Whitney U-test.

In both LSC and SH farms, gross margin analysis was performed. A gross margin is an indicator of the gross profitability and productivity of farm enterprises competing for farm or household resources. The gross margin was obtained by subtracting the total variable costs for each farm or household from gross output. The gross output or income was calculated from the total value of outputs sold and consumed by the farm or household (7). Livestock inputs, which included dips, veterinary drugs and medicines, feed, labour, and machinery operating costs, were aggregated to give the total variable costs of production of the livestock enterprise. The cost of inputs used in the analyses was the expenditure by farmers on various input items purchased or hired. In SH areas, labour hired to herd livestock was included in

the calculations, while in LSC farms, all labour is hired and was included. The output prices used were obtained from the value of output sold. In both SH and LSC farms, the resultant gross margin was divided by the number of animals owned or on the farm to give the gross margin in Z\$¹ per head.

In both the LSC and SH areas, the farms were divided into various categories for this analysis. Firstly, farms were categorized on the basis of agro-ecological region (lowveld or highveld). Secondly, within the heartwater endemic lowveld, LSC farms were designated as reporting heartwater deaths (H farms) or not reporting heartwater deaths (NH farms) during the study period. In the heartwater transitional highveld region, LSC farms were grouped into properties where heartwater had been confirmed (H farms) and farms where heartwater had not been reported or confirmed (NH farms). Finally, LSC farms were also grouped on the basis of the major livestock products, i.e. beef, dairy, sheep and goats. Within the SH areas, households were grouped only on the basis of agro-ecological zone and livestock products, cattle, sheep and goats. Categorization on the basis of heartwater state was not done because of (a) inadequate disease knowledge and diagnostic facilities for identification of heartwater cases, and (b) a high degree of homogeneity between households in the intensity of tick-borne disease control, and thus probable disease state (3).

■ RESULTS

Study participation

In SH areas, a total of 250 lowveld and 60 highveld households were successfully interviewed by enumerators (table I). In lowveld SH study areas, a total of 288 households were selected initially from stock registers, which are updated twice annually. Data collection began 3-4 months after selection and some selected

households (13%) could not be found, possibly because they had moved from the respective areas since the last register update. Such households were not replaced due to the high initial sample size selected. In the highveld SH study area, the target sample size was maintained at 60 households by selecting replacements from the sampling frame, if household were not found at the start of data collection. Forty seven percent of the initial sample in the SH highveld had to be replaced.

In the LSC sector, 13 fully completed questionnaires were received from farmers in the lowveld (22% response rate) and 35 (88% response rate) highveld LSC farmers were successfully interviewed by the study investigators.

Cattle herd composition

Cattle were the main livestock enterprise on all lowveld and highveld LSC and SH study farms. In the LSC sector, the proportion of mature cows in herds differed between production systems ($p = 0.02$), 37% on lowveld beef farms, 45% on highveld beef farms and 52% on highveld dairies (table II). In SH areas, cows comprised 38% of lowveld herds, compared to 27% in highveld herds ($p < 0.001$), while oxen comprised 13% in the lowveld compared to 30% in the highveld ($p < 0.001$). The results of the proportion of other cattle types are given in table II.

Economic performance of enterprises

Large scale commercial cattle

Tables III and IV provide the values of livestock production indicators estimated on the lowveld and highveld LSC beef farms. Cattle sales and slaughters were the main outputs from the farms. The off-take rate, defined as the percentage of the herd sold, was similar ($p = 0.32$) on lowveld H (13.8%) and NH farms (13.5%). The off-take rates on highveld H (23%) and NH beef farms (25%) were similar, and significantly ($p = 0.02$) higher than in the lowveld. On-farm slaughter (0.4%) and cattle purchases (approximately 1%, $p = 0.58$) were similar in the lowveld and in the highveld, irrespective of reported heartwater status. The gross

1. Exchange in 1995 was approximately Z\$ 10 = US\$ 1

Table I

The design of cross-sectional field economics studies

Agro-ecological region	Production system	Sample size	Total farms completed
Highveld	Smallholder		
	Mhondoro Communal Land	60	60
	Large Scale Commercial (LSC)		
	Beatrice-Chivhu LSC area		
	- Beef	28	25
	- Dairy	12	10
	Total LSC	40	35
Lowveld	Smallholder		
	Insiza Communal Land	104	85
	Godhwayo Communal Land	104	86
	Nkankezi Resettlement farms	40	40
	Godhwayo Small Scale Commercial farms	40	39
	Total smallholder	288	250
	Large Scale Commercial		
	Insiza-Zvishavane-West Nicholson LSC areas		
	- Beef	60	13

Table II

Cattle herd composition (%) on large-scale commercial and smallholder farms in the lowveld and highveld, Zimbabwe, 1995

Agro-ecological region	Large scale commercial farms			Smallholder farms	
	Lowveld	Highveld		Lowveld	Highveld
Production system	Beef	Beef	Dairy	Mixed	Mixed
Age group	herd (%)				
Bulls	2	2	2	2	8
Cows	37	45	52	38	27
Heifers	19	17	25	16	16
Steers	22	17	0.2	10	10
Male Calves	12	13	10	10	4
Female Calves	12	12	14	10	6
Oxen	0	0	0	13	30

Table III

Production parameters of lowveld LSC cattle producing farms Zimbabwe, 1995

Heartwater state	Reporting heartwater deaths	Not reporting heartwater deaths
Number of responding farms	n = 7	n = 6
Mean farm size (ha)	29708 (50441)*	2514 (1476)
Mean number of cattle	4402 (7768)	693 (764)
Calving rate (%)	66	55
Sales		
No. of farms selling	n = 7	n = 6
Mean number sold	608 (934)	93 (101)
Mean sale price (Z\$/head)	2579 (904)	2764 (473)
Herd sold (%)	13.81	13.46
On-farm slaughters		
No. of farms slaughtering	n = 3	n = 0
Mean number slaughtered	28 (26)	0
Mean slaughter value (Z\$/head)	2340 (550)	0
Herd slaughtered (%)	0.28	0
Purchases		
No. of farms purchasing	n = 5	n = 1
Mean number purchased	11 (6)	6
Mean purchase price (Z\$/head)	5465 (2088)	n.r.***
Herd purchased (%)	0.18	0.14
Total input and output		
Total variable costs (Z\$/head)	326 (283)	203 (170)
Total dipping as % of total variable costs	9.29	15.35
Gross output (Z\$/head)	423 (235)	260 (276)
Gross margin (Z\$/head)	97 (268)	57 (259)

* Numbers in brackets are the standard deviations

** Exchange in 1995 was approximately Z\$ 10 = US\$ 1

*** Not reported in the questionnaire

margins on lowveld H and NH beef farms were Z\$ 97 and Z\$ 57/head (range: -Z\$ 236 to +Z\$ 460), respectively ($p = 1.0$). The gross output on lowveld H farms was Z\$ 423/head compared to Z\$ 260/head on NH farms ($p = 0.25$), and the total variable costs were Z\$ 326/head and Z\$ 203/head, respectively ($p = 0.25$). The large difference in the output and costs reported could probably be due to under or over-reporting by some farmers. The cost of dipping cattle constituted approximately 15% and 9% of these costs on lowveld H and NH farms, respectively ($p = 0.12$). In the highveld the gross margin of H beef farms (Z\$ 367/head) was not significantly different ($p = 0.50$, range: -Z\$ 614 to +Z\$ 1,682) from that of NH beef farms (Z\$ 561/head), and this profitability was not higher than in the lowveld ($p = 0.05$). The cost of dipping on highveld H and NH farms constituted approximately 12% and

10% of these costs, respectively ($p = 0.20$), which was similar to the costs in the lowveld ($p = 0.06$).

There were no lowveld LSC dairy farms in this study. On the highveld LSC dairy farms, cows in milk constituted 40% of the herd (table IV). The bulk of the milk produced was sold off-farm. With the exception of total dipping costs, all production indicators reported were similar on H and NH dairy farms ($p > 0.05$). As a proportion of total variable costs, dipping costs were higher ($p = 0.02$) on H (2.9%) than on NH (1.6%) dairy farms.

The gross profitability, as shown by the gross margin, was Z\$ 1,505/head on NH dairy farms, but was negative on H dairies, an indication that costs were higher than the income realized. The proportion of variable costs spent on dipping on H dairies were significantly ($p < 0.001$) greater than on lowveld and highveld beef farms.

Table IV

Production parameters of highveld LSC cattle producing farms
Zimbabwe, 1995

Production system	Beef		Dairy	
	Heartwater farms	Non-heartwater	Heartwater farms	Non-heartwater
Heartwater state				
Number of responding farms	n = 20	n = 5	n = 4	n = 6
Mean farm size (ha)	1729 (940)	1129 (229)	1737 (811)	933 (431)
Mean number of cattle	517 (298)	431 (77)	647 (353)	429 (204)
Milk Production				
Mean number of cows in milk	-	-	253 (135)	179 (79)
Mean lactation period (days)	-	-	287 (40)	271 (34)
Mean milk produced/cow/year (litres)	-	-	4306 (528)	4474 (821)
Mean milk sold/cow/year (litres)	-	-	3782 (982)	3388 (796)
Price of milk sold (Z\$/litres)	-	-	1.71 (0.21)	1.88 (0.12)
Calving rate (%)	72	77	91	79
Sales				
No. of farms selling	n = 20	n = 5	n = 2	n = 5
Mean number sold	124 (79)	106 (48)	19 (16)	87 (52)
Herd sold (%)	22.8	24.5	1.43	16.87
Mean sale price (Z\$/head)	2909 (701)	3609 (435)	2800 (283)	2067 (609)
On-farm slaughters				
No. of farms slaughtering	n = 14	n = 3	n = 3	n = 5
Mean number slaughtered	7 (10)	3 (1)	35 (58)	5 (3)
Herd slaughtered (%): mean	0.96	0.37	4.02	1.05
Mean slaughter value (Z\$/head)	2857 (580)	2452 (1091)	2460 (598)	2570 (328)
Purchases				
No. of farms purchasing	n = 10	n = 4	n = 0	n = 0
Mean number purchased	30 (66)	18 (22)	0	0
Herd purchased (%): mean	2.9	3.3	0	0
Mean purchase price (Z\$/head)	5726 (2701)	7357 (3555)	0	0
Total input and output				
Total variable costs (Z\$/head)	393 (314)	316 (180)	4198 (3126)	2461 (982)
Total dipping as % of total variable costs	9.8	11.9	2.9	1.6
Gross output (Z\$/head)	760 (514)	877 (445)	3770 (1955)	3966 (906)
Gross margin (Z\$/head)	367 (577)	561 (540)	-428 (4548)	1505 (652)

Large scale commercial sheep and goats

Sheep and goats were kept by few LSC farms in both the lowveld ($n = 4$) and highveld ($n = 12$) (table V). The average number of sheep on LSC farms was significantly ($p = 0.04$) higher in the lowveld (245) than in the highveld (95). One farmer in the lowveld sold 5% of the flock while four farmers in the highveld sold an average of 32% of the flock. Three farmers in the lowveld slaughtered an average of 26% of the flock compared to five farmers in the highveld who slaughtered an average of 9% of the flock. Prices realized from sheep sales in the highveld (Z\$ 513/head) were more than three times the prices realized from sheep sales in the lowveld (Z\$ 166/head). However, despite this, the estimated gross margin was similar ($p = 0.31$) in the lowveld (Z\$ 10) and the highveld (Z\$ 9).

None of the lowveld study farms kept goats. The average number of goats reported by the four highveld farms with goats was 129 (table V). Three farms reported goat sales of an average of 28.4% of the flock per year, while two farms reported on-farm slaughters of 5.8% per year. Only one farm reported selling goat skins, and one farm reported goat purchases. The overall performance of LSC goats was estimated to be Z\$ 41/head.

Smallholder cattle

Owing to the lack of knowledge of livestock diseases among the respondents in SH areas, the results are not reported by heartwater state. Rather, the results are reported in terms of different agro-ecological zones, lowveld and highveld. Table VI gives a summary of some of the production indicators of lowveld and highveld SH farms. Smallholder farms produce many products from the cattle enterprise, which include milk, manure, hides, draft power and sales of live animals. Milk production was lower ($p < 0.001$) in the lowveld (112 litres/year) than in the highveld (217 litres/year). Milk production refers to the amount of milk available to the household. The amount of milk sucked by the calf was not estimated in this study. A greater proportion of the milk produced was sold in the lowveld (7.9%) than in the highveld (3.3%) ($p = 0.04$). The average price was, however, higher in the highveld than in the lowveld ($p < 0.001$). For manure production, an average ox-drawn

cart (size, 180 cm x 110 cm x 40 cm) was estimated to carry 320 kg of dry manure, and this was used to estimate quantity of manure produced by all livestock. The average dry manure per head produced by cattle per year was 691 kg in the lowveld compared to 371 kg in the highveld ($p = 0.03$). Traction output (draft power) was estimated as the amount of land cultivated per animal per year. This was estimated to be 1.47 ha in the highveld and 2.95 ha in the lowveld ($p < 0.001$). Hides or skins from livestock found dead or slaughtered were either used by the household or sold. Sale of skins were reported in both the lowveld and highveld and average prices were Z\$ 32 and Z\$ 26, respectively.

The off-take rate (defined as the percentage of the herd sold) for cattle was slightly, though significantly ($p = 0.02$), higher (3.9%) in highveld SH areas than in the lowveld (3.2%). Overall, the economic performance was positive in SH areas, and the gross margin was significantly ($p < 0.001$) higher in the highveld (Z\$ 348/head) than in the lowveld (Z\$ 102/head).

Smallholder sheep and goats

Goats were kept by 87% of SH households in the lowveld and by 52% of households in the highveld (table VII). The average number of goats was significantly ($p < 0.001$) higher in the lowveld (13/household) than in the highveld (5/household). The contribution of goats to the SH households include meat, cash income from sales, milk, manure and skins. The average proportion of the flock consumed was approximately 14% in the lowveld and 16% in the highveld ($p = 0.89$). Goat milk production and utilization was reported only in the lowveld (89 litres/head/year) and this was all utilized by the households. Approximately 5% and 12% of the flock were sold in the lowveld and highveld, respectively ($p = 0.01$). Most skins were used by the household and few were sold. Goat manure was produced in both the lowveld and highveld, 156 kg/head and 28 kg/head, respectively ($p < 0.001$), and most of this (100% in the highveld and 80% in the lowveld) was used by the households. Overall, the gross margin in SH goats was positive, Z\$ 40/head in the lowveld and Z\$ 44/head in the highveld, respectively ($p = 0.63$).

Table V

Production parameters of LSC sheep and goat producing farms, Zimbabwe, 1995

Agro-ecological region	Lowveld	Highveld	Lowveld	Highveld
Sheep			Goats	
No. of farms with sheep	$n = 4$	$n = 8$	No. of farms with goats	$n = 0$
Mean farm size (ha)	13703 (18020)	1964 (1080)	Mean farm size (ha)	-
Mean number of sheep	245 (122)	95 (81)	Mean number of goats on farm	-
Sheep sales			Goat sales	
No. of farms selling	$n = 1$	$n = 4$	No. of farms selling	-
Mean sale price (Z\$/head)	166	513 (202)	Mean sale price (Z\$/head)	-
Flock sold (%)	5.42	32.24	Flock sold (%)	-
Sheep slaughters and purchases			Goat slaughters and purchases	
No. of farms slaughtering	$n = 3$	$n = 5$	No. of farms slaughtering	-
Flock slaughtered (%)	25.77	8.52	Flock slaughtered (%)	-
Flock purchased (%)	0	0.13	Flock purchased (%)	-
Sheep total input and output			Goat input and output	
Total variable costs (Z\$/head)	45 (16)	144 (119)	Total variable costs (Z\$/head)	-
Gross output (Z\$/head)	55 (39)	152 (159)	Gross output (Z\$/head)	-
Gross margin (Z\$/head)	10 (30)	8 (77)	Gross margin (Z\$/head)	-

Table VI

Production parameters of cattle owning smallholder households, Zimbabwe, 1995

Agro-ecological region	Lowveld	Highveld
Number of cattle owners	n = 217	n = 60
Mean number of cattle owned	9 (10)	10 (8)
Milk production		
No. of hhs* milking	n = 186	n = 49
Mean number of cows milked	2 (1)	3 (2)
Milk production/cow/year (litre)	112 (176)	217 (170)
Total milk sold/cow/year	2 (11)	5 (20)
Price of milk/litre (Z\$)	1.75 (0.7)	4.22 (1.02)
Manure production		
No. of hhs reporting manure production	n = 114	n = 53
Manure produced/year (kg/head)	691 (1215)	371 (443)
No. of hhs selling manure	n = 29	n = 3
Total manure sold/year (kg/head)	174 (203)	41 (11)
Price of manure/kg (Z\$)	0.06 (0.03)	0.13 (0.11)
Traction output/animal/year (ha)	2.95 (3.2)	1.47 (0.59)
Hides		
No. of hhs reporting hides	n = 24	n = 19
No. of hides home used	1 (0.4)	2 (0.8)
No. of hhs selling hides	n = 23	n = 14
No. of hides sold	2 (1.4)	2 (1.1)
Price/hide (Z\$)	32 (22)	26 (18)
Sales		
No. of hhs selling	n = 37	n = 17
Mean number sold	2 (2)	1 (1)
Mean sale price (Z\$/head)	2004 (1087)	1316 (443)
Herd sold (%)	3.23	3.87
Purchases		
No. of hhs purchasing	n = 20	n = 6
Mean number purchased	2 (1)	2 (2)
Mean purchase price (Z\$/head)	1810 (1070)	1367 (273)
Herd purchased (%)	2.15	1.61
Consumed		
No. of hhs consuming	n = 16	n = 23
Mean number consumed	1 (0.3)	1 (0.8)
Herd consumed (%)	0.89	5.16
Total input and output		
Total variable costs (Z\$/head)	113 (507)	61 (131)
Gross output (Z\$/head)	215 (350)	409 (292)
Gross margin (Z\$/head)	102 (600)	348 (312)

* Households

Sheep were reared by 19% of households in the lowveld and by 3% of households in the highveld. The average number of sheep in both the lowveld and highveld was similar, 9 per household (table VIII). Like goats, the contribution of sheep to output included meat, cash income from sales, manure and skins. An average of 3% of each sheep flock was sold by nine of the 47 sheep-rearing households in the lowveld, while neither of the two sheep-rearing households in the highveld reported any sales. Approximately 10% and 18% of each flock was consumed by

the household in the lowveld and highveld, respectively ($p = 0.17$). Production of sheep manure was reported by very few farmers in both the highveld (2) and lowveld (18) and production amounted to 48 kg/head/year and 209 kg/head/year, respectively. Lowveld SH households sold approximately 9% of their sheep manure at an average price of 2 cts/kg. The overall performance of sheep in SH areas, as estimated by the calculated gross margin, was Z\$ 2/head in the lowveld and Z\$ 37/head in the highveld ($p = 0.06$).

Table VII

Production parameters of goat owning smallholder households, Zimbabwe, 1995

Agro-ecological region	Lowveld	Highveld
No. of goat owners	n = 218	n = 31
Mean number of goats owned	13 (11)	5 (3)
Milk production		
No. of hhs rep. milk production	n = 28	n = 0
Mean number of goats milked	7 (5)	0
Total milk produced/head/year (all home used) (litres)	89 (101)	0
Manure production		
No. of hhs producing manure	n = 100	n = 23
Total manure produced (kg/head)	156 (211)	28 (25)
No. of hhs selling manure	n = 17	n = 0
Mean manure sold (kg/head)	31 (119)	0
Price of manure/kg (Z\$)	0.04 (0.03)	0
Skins		
No. of hhs reporting skins	n = 128	n = 16
Mean number home used	2 (2)	2 (1)
No. of hhs selling skins	n = 26	n = 2
Mean number of skins sold	2 (1)	1 (0)
Mean sale price/skin (Z\$)	7 (9)	3 (0)
Sales		
No. of hhs selling	n = 64	n = 15
Mean number sold	2 (1)	1 (1)
Flock sold (%)	4.8	12.4
Mean sale price (Z\$/head)	122 (46)	140 (30)
Purchases		
No. of hhs purchasing	n = 31	n = 5
Mean number purchased	3 (2)	2 (1)
Flock purchased (%)	2.8	5.9
Consumed		
No. of hhs consuming	n = 144	n = 18
Mean number consumed	3 (2)	1 (1)
Flock consumed (%)	13.8	15.7
Total input and output		
Total variable costs (Z\$/head)	15 (51)	17 (36)
Gross output (Z\$/head)	55 (124)	60 (75)
Gross margin (Z\$/head)	40 (113)	44 (91)

Table VIII

Production parameters of sheep owning smallholder households, Zimbabwe, 1995

Agro-ecological region	Lowveld	Highveld
No. of sheep owners	n = 47	n = 2
Mean number of sheep owned (SD)	9 (7)	9 (1)
Manure production		
No. of hhs producing manure	n = 18	n = 2
Total manure produced (kg/head)	209 (147)	48 (45)
No. of hhs selling manure	n = 1	n = 0
Total manure sold (kg/head)	18 (75)	0
Price of manure/kg (Z\$)	0.02	0
Skins		
No. of hhs reporting skins	n = 18	n = 2
Mean number home used	2 (1)	2 (1)
No. of hhs selling skins	n = 3	n = 0
Mean number sold	3 (1)	0
Price/skin (Z\$)	6 (3)	0
Sales		
No. of hhs selling	n = 9	n = 0
Mean number sold	2 (1)	0
Flock sold (%)	3.2	0
Mean sale price (Z\$/head)	137 (83)	0
Purchases		
No. of hhs purchasing	n = 2	n = 0
Mean number purchased	4 (1)	0
Flock purchased (%)	1.8	0
Purchase price (Z\$/head)	137 (83)	0
Consumed		
No. of hhs consuming	n = 20	n = 2
Mean number consumed	2 (1)	2 (1)
Flock consumed (%)	9.5	17.6
Total input and output		
Total variable costs (Z\$/head)	10 (24)	1 (1)
Gross output (Z\$/head)	12 (19)	38 (19)
Gross margin (Z\$/head)	2 (32)	37 (18)

Farm Management Report was for 1991-1992 season) and the Commercial Farmers' Union (4). This study is the first to attempt to include heartwater epidemiological state in assessing important livestock production indicators both within and between regions and production systems.

The herd composition in both the LSC and SH farms varied both within and between agro-ecological locations and production systems. The higher composition of breeding cows on the highveld LSC beef farms than in the lowveld was likely due to the trend towards intensive, high turn-over production with pen-feeding of weaners for sale at approximately 2 years of age (6). In the lowveld, production is less intensive and animals are finished and sold at 3.5 years of age. In highveld SH areas, oxen comprised a larger proportion of each herd than in the lowveld, partly due to the greater requirement for draft power for crop-growing in the highveld (5).

DISCUSSION

This study has used gross margin analysis to provide a comprehensive assessment of the economic productivity and profitability of the major livestock production systems in Zimbabwe. The study has also assessed how different broad categorizations of heartwater epidemiological states (endemically stable, epidemic, heartwater and non-heartwater) may influence the economic performance of livestock enterprises. Previous studies on the performance and productivity of SH and LSC production systems in Zimbabwe, respectively, have been performed by the Farm Management Research Section in the then Ministry of Lands, Agriculture and Water Development (12) (last

The results demonstrate that cattle enterprises in both the lowveld and highveld, and within the SH and LSC sectors, were productive and profitable, as shown by the overall positive gross margins estimated. Sheep and goat producing enterprises in both the SH and LSC sector also displayed positive overall gross margins. Overall, large scale commercial beef farms had similar performance in the lowveld heartwater endemically stable, and also in the highveld epidemic zone, respectively, irrespective of whether or not they reported heartwater during the study period. The gross margin on heartwater-reporting dairies, however, was negative, though not significantly different from that in the highveld beef and NH dairy farms. There were few differences in livestock indicators on all LSC farms. These included the apparently slightly higher calving rate on LSC dairy farms. This might be partly attributed to the use of artificial insemination by some dairy farmers. Additionally, cattle off-take rates were higher on highveld and lowveld beef farms than on highveld dairy farms, where cattle sales are usually confined to cull cows and male calves. The further higher off-take rate on highveld beef farms is partly because most of the animals reared are not finished on the farm, but are sold for subsequent pen fattening off-farm, mainly by crop producing farms (6). In the lowveld, cattle are reared and finished off on the farm. The similarity in production indicators on LSC farms, irrespective of heartwater state, suggests that minimal productivity losses are associated with endemic stability and that, within the epidemic zone, heartwater losses on outbreak farms have been limited by intensive control. The epidemic phase on most H farms in the highveld occurred prior to the start of this study and, the subsequent imposition of intensive control measures (dipping) would have resulted in few losses during the study period. As intensive acaricide use is common on most farms in the highveld due to the threat of other tick-borne diseases, i.e. anaplasmosis and babesiosis (*Anaplasma marginale* and *Babesia bigemina*, both transmitted by *Boophilus decoloratus*), and theileriosis (*Theileria parva* transmitted by *Rhipicephalus appendiculatus*), the impact of heartwater and its control on livestock productivity could not be fully established by comparison between the "heartwater" and "heartwater-free" farms in this region. The impact of heartwater control, costs and alternative strategies to control the disease in Zimbabwe has been reported (3, 13). Overall, the cost of heartwater which affects gross profitability of livestock includes the cost of tick control, mortality and morbidity. The impact of tick control and mortality losses were considered while morbidity was not estimated.

The lower profitability observed in dairies was not unexpected due to intensive nature of dairy production and the high susceptibility of exotic dairy breeds to diseases. In addition, dairies had high costs of tick and tick-borne disease control and were located within a heartwater transitional zone (16, 21, 22) where heartwater and other tick-borne diseases were a major threat. Dairy farms experiencing heartwater were likely to have intensified their tick control. This is supported by the observation that the proportion of total costs attributed to acaricides and other related dipping expenses, which is one of the major costs of production, was higher on H dairies than on NH dairies. Suspected heartwater losses due to morbidity and mortality have been reported elsewhere (3, 13).

In the LSC sector, sheep and goats were kept commercially and for on-farm consumption. A greater proportion of sheep on LSC farms were sold in highveld than in the lowveld, possibly due to the proximity of the major sheep abattoir, located on the outskirts of the capital city, Harare. The city also provides the major market and prices realized from sheep sales in the highveld (Z\$ 513/head) were substantially greater than those realized from sales in the lowveld (Z\$ 166/head). Like sheep, goats on LSC farms were kept for commercial purposes and for on-farm consumption. Four of the highveld LSC study farms and none of lowveld farms had kept goats, an indication that goats are a more important enterprise in the highveld.

In SH areas, profitability was significantly higher in the highveld than in the lowveld. Several reasons could be advanced for this difference. Firstly, due to proximity of major markets, higher prices could be realized for the sale of some of the livestock in the highveld (goat sale price: Z\$ 140/head in the highveld compared to Z\$ 122/head in the lowveld). Secondly, some of the livestock outputs, such as draft power and manure, which were included in the calculation of gross output to give the true economic value of livestock in SH production systems (23), had a higher value in the highveld than in the lowveld (price of cattle manure: Z\$ 0.13/kg and Z\$ 0.06/kg, respectively) due to the better potential for crop production in agro-ecological zones I-III (1). Lastly, SH farmers in the highveld experienced lower average costs of production than in the lowveld.

In SH areas, the economic value of cattle include the various functions of livestock (2, 23). The main livestock production output indicators measured included milk, manure, draft power, skins and hides. Milk was produced primarily for home consumption, with surplus sold to other local SH households. The amount of milk sold was significantly lower in the highveld than in the lowveld, however, higher milk prices were realized in the highveld (Z\$ 4.22/kg and Z\$ 1.75, respectively). Manure forms one of the most important inputs to crop production in SH systems (5). The amount of manure produced was significantly higher in the lowveld than in the highveld, and this can be attributed to several reasons, including the number of times cattle are penned at night and the length of grazing time (23).

The main source of income for the lowveld SH households is livestock sales due to the limited potential for crop production in the lowveld (2). In the highveld, a higher proportion of total household income is derived from the crop enterprises due to the higher crop production potential of this region. The high livestock sales and consumption figures reported in both the lowveld and highveld demonstrates that livestock provide a ready source of cash and protein.

In SH areas, goats and sheep were kept by more households in the lowveld than in the highveld. The contribution of small ruminants to the economy of SH households included cash income from sales, meat, manure, milk and skins. The outputs from these enterprises are supplementary and of relatively low importance compared to cattle. Goat milk production and utilization was only reported in the lowveld, possibly due to the higher average number of goats kept per household. Very few households kept sheep in the highveld, possibly because of the relative profitability of this species. The gross margin for sheep was generally lower than that reported for goats in both the lowveld and highveld.

There were several limitations to this study. Firstly, there are limitations associated with bias common to cross-sectional studies, such as recall, participation and selection biases. In addition, epidemiological distinctions between LSC farms reporting or not reporting heartwater were based on passively collected data and on farmer knowledge. Due to the difficulty of diagnosing heartwater in the field, particularly in the lowveld under extensive ranching conditions, cases may have gone unnoticed or have been misdiagnosed during the one year study period. However, in the absence of simple and reliable field tests for heartwater, there is little alternative to farmer diagnosis for assessing the disease. The results and heartwater states presented, therefore, give the farmers perception of the impact of the disease. There was also a poor response in the lowveld. The poor response in the lowveld may have been because questionnaires were distributed at a time when farmers were particularly sensitive to the release of financial data on their farms. In the lowveld, questionnaires were distributed randomly and it is likely that those farmers with a history of heartwater problems would have responded, as suggested in a previous cross-sectional survey of heartwater losses in Zimbabwe (11).

While this study attempted to assess livestock productivity on the basis of performance indicators based on costs and returns, there are several limitations that may arise in the use of such indicators. The limitations of costs and benefits analysis in livestock disease analysis have been reported (9, 10). The performance indicators are also influenced by other factors such as land tenure and management practices. In Zimbabwe, SH and LSC have distinct land tenure systems, communal and freehold, respectively. Management practices are highly advanced in the LSC compared to the SH areas. The results of the study should therefore be interpreted cautiously since not all factors could be considered in this study. Besides these limitations, the study has attempted to show the impact of epidemiological states and productivity of livestock enterprises in different regions and production systems in Zimbabwe.

In conclusion beef, sheep and goat enterprises overall were profitable in both the lowveld and highveld areas as shown by the positive estimated gross margins. The minimal differences observed in production indicators and profitability between farms

irrespective of reported heartwater suggests that endemic stability was not associated with high production losses and that heartwater was intensively controlled within the epidemic highveld region. Nevertheless, the profitability of livestock production can be increased if more cost effective methods of tick control (which is one of the major costs of production), such as those based on endemic stability and immunization, are made available.

Acknowledgments

This study was conducted through a grant from USAID, no. LAG-1328-G-00-3030-00, awarded to the University of Florida. The authors acknowledge the support of the Zimbabwe Department of Veterinary Services, especially the collaboration from L. Maphosa, C. Nyamangara, E. Matema and C. Ncube. We thank the enumerators who played an important role in the respective smallholder study sites, and Judith Ngwanga for entering the data. The authors would like to thank all livestock farmers without whose cooperation the study would not have been possible.

REFERENCES

1. BARRETT J.C., 1992. The economic role of cattle in communal farming systems in Zimbabwe. London, UK, Natural Resources Institute, 35 p. (ODI Pastoral Development Paper 32b)
2. CHAMBOKO T., 1993. Cattle marketing in the communal areas of Zimbabwe: Factors influencing cattle marketing behaviour. MPhil Thesis, Department of Agricultural Economics and Extension, University of Zimbabwe, Harare, Zimbabwe, 177p.
3. CHAMBOKO T., MUKHEBI A.W., O'CALLAGHAN C.J., PETER T.F., KRUSKA R.L., MEDLEY G.F., MAHAN S.M., PERRY B.D., 1999. The control of heartwater on large scale commercial and smallholder farms in Zimbabwe. *Prev. Vet. Med.*, **139**: 191-210.
4. COMMERCIAL FARMERS' UNION, 1995. Cattle Producers Association estimated 1995/96 costs of production for breeding for slaughter at 3.5 years off grass-Highveld. CFU,Econ. **95**: 23. Harare, Zimbabwe, Commercial Farmers Union, 2 p.
5. GFA, 1987. Study of the economic and social determinants of livestock production in the communal areas. Harare, Zimbabwe, Ministry of Lands, Agriculture and Rural Resettlement, 177 p.
6. HOLNESS D.H. ed., 1988. The Beef Production Manual. Harare, Zimbabwe, The Cattle Producers Association, 328 p. (revised edn.)
7. JOHNSON D.T., 1982. The business of farming. A guide to farm business management in the tropics (reprint. 1983). London and Baingstoke, UK, Macmillan Press Ltd, 362 p.
8. LAKER C.D., MUKHEBI A.W., MELTZER M.I., PERRY B.D., 1994. Assessment of the economic impact of alternative heartwater control technologies in Zimbabwe. Heartwater Research Project. Harare, Zimbabwe, Central Veterinary Laboratory, 68 p. (Report to Director)
9. MCINERNEY J.P., 1991. Cost-benefit analyses of livestock disease: a simplified look at its economic foundations. In: Proceedings of the VIth Int. Symposium on Veterinary Epidemiology and Economics, Ottawa, Canada, 1991.
10. MCINERNEY J.P., HOWE K.S., SCHEPERS J.A., 1992. A framework for the economic analysis of disease in farm livestock. *Prev. Vet. Med.*, **13**: 137-154.
11. MELTZER M.I., PERRY B.D., DONARCHIE P.L., 1996. Mortality percentages related to heartwater and the economic impact of heartwater disease on large scale commercial farms in Zimbabwe. *Prev. Vet. Med.*, **26**: 187-199.
12. MLAWD, 1993. The IVth annual report of farm management data for communal area farm units, 1991-92 farming season. Harare, Zimbabwe, Ministry of Lands, Agriculture and Water Development, Economics Division, 55 p.
13. MUKHEBI A.W., CHAMBOKO T., O'CALLAGHAN C.J., PETER T.F., KRUSKA R.L., MEDLEY G.F., MAHAN S.M. PERRY B.D., 1999. An assessment of the economic impact of heartwater and its control in Zimbabwe. *Prev. Vet. Med.*, **39**: 173-189.
14. NORVAL R.A.I., 1983. Arguments against intensive dipping. *Zim. Vet. J.*, **14**: 19-25.
15. NORVAL, R.A.I., PERRY B.D., HARGREAVES S.K., 1992. Tick and tick-borne disease control in Zimbabwe: What might the future hold. *Zim.Vet. J.*, **23**: 1-15.
16. NORVAL R.A.I., PERRY B.D., MELTZER M.I., KRUSKA R.L., BOOTH T.H., 1994. Factors affecting the distributions of the ticks *Amblyomma hebraeum* and *A.variegatum* in Zimbabwe: Implications of reduced acaricide usage. *Exp. and Appl. Acarol.*, **18**: 383-407.
17. O'CALLAGHAN C. J., MEDLEY G.F., PETER T.F., PERRY B. D., 1998. Investigating the epidemiology of heartwater (*Cowdria ruminantium* infection) by means of a transmission dynamics model. *Parasitol.*, **117**: 49-61.
18. PERRY B.D., CHAMBOKO T., MAHAN S.M., MEDLEY G.F., MUKHEBI A.W., O'CALLAGHAN C.J., PETER T., 1997. A study of the effect of heartwater and its control on livestock productivity in Zimbabwe. In: Int. Symp. on Vet. Epidemiology and Economics, Paris, France, 8-11 July, 1997. Paris, France, Fondation Marcel Merieux, **2**: paper 10-03.
19. PERRY B.D., MUKHEBI A.W., NORVAL R.A.I., BARRETT J.C., 1990. A preliminary assessment of current and alternative tick and tick-borne disease control strategies in Zimbabwe. Harare, Zimbabwe, Department of Veterinary Services, 41 p. (Report to the Director of Veterinary Services)
20. PERRY B.D., YOUNG A.S., 1995. The past and future roles of epidemiology and economics in the control of tick-borne diseases of livestock in Africa: The case of theileriosis. *Prev. Vet. Med.*, **25**: 107-120.
21. PETER T.F., PERRY B.D., O'CALLAGHAN C.J., MEDLEY G.F., SHUMBA W., MADZIMA W., BURRIDGE M.J., MAHAN S.M., 1998a. The distribution of heartwater in the highveld of Zimbabwe, 1980-1997. *Ondersteport J. of Vet. Res.*, **65**: 177-187.
22. PETER T.F., PERRY B.D., O'CALLAGHAN C.J., MEDLEY G.F., SHUMBA W., MADZIMA W., BURRIDGE M.J., MAHAN S.M., 1998b. Distribution of the vectors of heartwater, *Amblyomma hebraeum* and *Amblyomma variegatum* (Acari: Ixodidae) in Zimbabwe. *Exp. and Appl. Acarol.*, **22**: 725-740.
23. SCOONES I., 1992. The economic value of livestock in the communal areas of southern Zimbabwe. *Agric. Syst.*, **39**: 39-359.

Reçu le 26.5.98, accepté le 12.1.00

Résumé

T. Chamboko, A.W. Mukhebi, C.J. O'Callaghan, T.F. Peter, R.L. Kruska, G.F. Medley, S.M. Mahan, B.D. Perry.
La cowdriose et l'économie de la production animale dans les fermes commerciales et traditionnelles au Zimbabwe

Afin d'évaluer l'impact économique de la cowdriose (infection par *Cowdria ruminantium*) et de créer un modèle pour l'impact des vaccins améliorés contre cette maladie, une étude sur le terrain a été conduite pour fournir des données sur les indicateurs de productivité du bétail au Zimbabwe. Des études transversales ont été réalisées dans les deux principales régions agro-écologiques, *lowveld* et *highveld*, où la cowdriose est supposée être endémique stable et épidémique, respectivement. Ces études ont été conçues pour fournir des données sur la productivité et la rentabilité du bétail et des principaux indicateurs de production dans le secteur traditionnel et commercial (pour des entreprises productrices de viande bovine, de lait, d'ovins, de caprins). Les résultats prouvent que la rentabilité des fermes commerciales de viande bovine, comme l'indiquent les marges brutes globalement positives, était identique ($p > 0.05$), indépendamment de la présence et de la localisation de la cowdriose. Seules les fermes laitières commerciales qui ont enregistré des cas de cowdriose ont montré une marge brute négative, bien que ce ne soit pas sensiblement différent des exploitations laitières qui n'ont pas enregistré de cowdriose ou des fermes de viande bovine. Le secteur traditionnel dans les *highveld* et *lowveld* a affiché des marges brutes positives, bien que la marge ait été significativement ($p < 0.001$) plus élevée dans le *highveld* que dans le *lowveld*. Cette étude indique que les pertes associées à la cowdriose sont minimales lorsque la maladie est endémique stable ou épidémique avec un contrôle efficace des tiques. De plus, la rentabilité de la production animale, dans les secteurs commercial et traditionnel, pourrait être améliorée si des méthodes plus rentables pour le contrôle des tiques et des maladies transmises par les tiques (qui représentent un des principaux coûts de production) étaient disponibles.

Mots-clés : Bétail - Cowdriose - Economie - Productivité - Marge brute - Rentabilité - Performance - Zimbabwe.

Resumen

T. Chamboko, A.W. Mukhebi, C.J. O'Callaghan, T.F. Peter, R.L. Kruska, G.F. Medley, S.M. Mahan, B.D. Perry.
La cowdriosis y la economía de la producción animal a gran escala comercial y en pequeñas fincas en Zimbabwe

Con el fin de asesorar el impacto económico de la cowdriosis (infección por *Cowdria ruminantium*) y de modelar el impacto de vacunas mejoradas contra la enfermedad, se condujo un trabajo de campo, cuyo fin fue de proveer datos sobre indicadores de la productividad animal en Zimbabwe. Se realizaron estudios cruzados en dos regiones agroecológicas principales *lowveld* y *highveld*, en donde la cowdriosis se consideraba endémicamente estable y epidémica, respectivamente. Estos estudios fueron diseñados para proveer datos sobre la productividad y la rentabilidad animal, así como indicadores clave de producción del pequeño productor (SH) y de los sistemas de producción comercial a gran escala (LSC), en establecimientos de carne, leche, ovinos y caprinos. Los resultados muestran que la rentabilidad de las fincas LSC de carne, como indican los márgenes brutos positivos, fueron similares ($p > 0.05$), independientemente de la localización y de la presencia o no de reportes de casos de cowdriosis. Solamente las lecherías LSC que reportaron casos de cowdriosis mostraron un margen bruto negativo, sin embargo éste no fue significativamente diferente de las lecherías que no reportaron cowdriosis o de las fincas de carne. Las SH en áreas de *highveld* y *lowveld*, ambas supuestamente endémicamente estables para cowdriosis, mostraron márgenes brutos positivos, aunque el margen fue significativamente ($p < 0,001$) más elevado en el *highveld* que en el *lowveld*. El presente estudio indica que las pérdidas asociadas con la cowdriosis fueron mínimas bajo condiciones endémicas estables y en áreas epidémicas en donde el control de la garrapata se implementó eficientemente. Aún más, la rentabilidad de la producción animal, tanto en sectores de producción SH como LSC, podría aumentarse mediante la implementación de métodos más eficientes de control de la garrapata y de enfermedades transmitidas por la garrapata (lo cuál representa uno de los mayores costos de producción).

Palabras clave: Ganado - Cowdriosis - Economía - Productividad - Beneficio bruto - Rentabilidad - Desempeño - Zimbabwe.

Les Poaceae du Niger

P. Poilecot

Les éditions des Conservatoire et Jardin botaniques de la ville de Genève poursuivent la publication de la série des « Mémoires de botanique systématique » dans leur collection Boissiera, ouverte il y a maintenant un demi-siècle ! Bel exemple de continuité que ces éditions sont presque les seules à donner, en tout cas en langue française. Le dernier volume de Pierre Poilecot, coédité par le Cjb, le Cirad et l'Uicn est consacré aux Poaceae du Niger.

Il n'y a plus guère de botanistes de qualité susceptibles de rédiger en français, le Président de la Société de Botanique le déplorait encore récemment ; heureusement pour la science, des botanistes sérieux existent encore en Grande-Bretagne et aux Etats-Unis... et la plupart de leurs références en anglais se trouvent dans nos bibliothèques, mais pas toutes. C'est alors un vrai bonheur d'avoir un tel volume en français ! Que l'auteur en soit remercié.

L'ouvrage s'ouvre par une préface du professeur Théodore Monod, ce qui en souligne l'intérêt ! Il est subdivisé en sept chapitres présentant d'abord les régions phytogéographiques du Niger et leurs pâturages, puis les particularités morphologiques des graminées, leur phénologie, les modes de dissémination de leurs semences et leur valeur en tant que ressource. Le dernier chapitre expose successivement leurs types biologiques et leurs affinités biogéographiques avant d'aborder les clés des tribus et des genres ; le reste du chapitre VII, soit 567 pages, réunit les clés de détermination des espèces et des fiches monographiques par espèce. Enfin une série d'annexes présentent notamment les lexiques en langue vernaculaire : *peul, haussa, arabe, tamacheq, zarma, bérébéri*. Le mode de découpage adopté est quelque peu surprenant, d'autant qu'il semble que quelques paragraphes se soient perdus (à la fin du chapitre VI).

Les espèces sont classées selon l'ordre des tribus et des genres. Pour chaque tribu, l'auteur donne le nom de son auteur, les références des définitions *princeps* puis une description des éléments communs aux espèces qui la

constituent. Cette description d'une dizaine de lignes est précise et complète. Pour les genres, il donne d'abord une série de références générales en cinq ou six lignes, puis une description du genre en 10 à 20 lignes et enfin une clé permettant de différencier les espèces qui y sont regroupées.

On arrive ainsi au coeur de l'œuvre de P. Poilecot : la description des espèces. Là, il semble que le botaniste le plus difficile n'ait rien à redire, et c'est tout juste si le pastoraliste ou le biogéographe trouvent matière à chipoter un peu ! La description commence par quelques lignes de références, avec la localisation du type (indication précise et si rarement donnée qu'on se demande si cet ouvrage n'est pas le premier à le faire). Ensuite figurent une série de synonymes, pour la plupart localisés dans la bibliographie et une série de « noms vernaculaires ». Arrivent alors les « caractéristiques » qui sont en fait une description précise et fouillée de la morphologie extérieure de la plante, de ses fleurs et de ses caryopses. Les points suivants concernent l'« écologie » où l'auteur précise la nature des milieux où l'espèce traitée végète et donne une indication schématique des cortèges floristiques qui l'accompagnent dans ces milieux. Viennent ensuite la « répartition géographique » qui indique la distribution de l'espèce dans l'ensemble de l'Afrique — distribution souvent éclairée par une carte — puis l'« utilisation » où, en quelques lignes, il indique son intérêt fourrager et la ou les manières dont les populations l'utilisent.

Voyons maintenant quelques points faibles. Si les indications écologiques sont intéressantes, celles qui concernent les cortèges floristiques sont quelque peu squelettiques. Il aurait été tout à fait captivant de trouver à cet endroit le nom de l'association phytosociologique. Pour la répartition géographique, l'auteur nous donne une vingtaine de cartes représentant les localités d'où proviennent les échantillons d'herbier de l'espèce traitée, avec quelques commentaires qui auraient été mieux à leur place dans le corps du paragraphe correspondant. Ces cartes sont inutiles, on les trouve ailleurs, par exemple dans les *Distributionnes plantarum africanarum* ; en revanche nous aurions été très intéressés par la distribution des espèces au sein même du Niger...

Chacune de ces brèves monographies est illustrée par une planche très finement dessinée par l'auteur — aussi bon illustrateur que fin botaniste ! Elle représente le port de la plante, puis des détails concernant la ligule et son insertion sur la gaine, les glumes inférieures et supérieures, la lemme, le caryopse et les fleurs. Bref, rien d'important ne

manque pour une bonne compréhension des descriptions données, sauf... une échelle ; les indications du texte peuvent suffire si le lecteur accepte d'aller et venir en tournant les pages. Par ailleurs, savoir qu'une espèce peut « atteindre 40 cm de hauteur » donne une indication sur ses meilleures performances en milieu favorable, mais ne dit rien sur sa taille habituelle — mais cette petite restriction reste un détail. On peut regretter aussi que les planches ne soient pas systématiquement en regard du texte correspondant. De plus ces monographies, si fines et fouillées soient-elles, restent « vues de l'extérieur » ; elles sont strictement morphologiques. Certes, le paragraphe « Valeur fourragère des espèces » à la fin du chapitre VI donne une idée de la composition chimique moyenne, mais on n'apprend rien sur les nombres chromosomiques des espèces, ni sur les structures internes dont on connaît pourtant l'importance, tant en taxinomie que pour expliquer certaines utilisations, ou encore pour justifier le comportement des animaux vis-à-vis des espèces.

Mais ne versons pas dans la manie de certains membres de jury de thèse qui disent sans craindre le ridicule « vous avez fait un excellent travail, mais il aurait été encore meilleur si vous aviez travaillé plus » ... Nous avons là un ouvrage de référence fort complet, d'une qualité rare, superbement illustré et de plus en français ! Un certain nombre d'espèces appartiennent aux biochores saharo-sahélien ou saharosindien, quelques unes au biochore soudano-zambésien ; en raison de son orographie, l'élément afro-montagnard est aussi représenté ; de plus, des infiltrations méditerranéennes enrichissent encore la flore graminéenne. Plus que le Niger, c'est toute une partie de l'Afrique qui se trouve traitée. Avec « Les Poaceae de Côte d'Ivoire » que P. Poilecot nous avait proposé il y a quelques années, nous disposons maintenant d'une bonne approche des Graminées d'Afrique de l'Ouest, surtout si l'on y ajoute « Les Graminées du Cameroun » de A. van der Zon. Cet ensemble modernise et actualise le remarquable travail antérieur des flores des équipes anglophones et rend l'agrostologie, si redoutée des non-spécialistes, accessible aux botanistes francophones.

Philippe DAGET, Bernard TOUTAIN
Cirad-emvt

Poilecot P., 1999. Les Poaceae du Niger, 766 p. Coédition Conservatoire et jardin botaniques de Genève, Uicn, Cirad. (Coll. Boissiera, Vol. 56). BP 60, Chambésy, 1292 CH.
E-mail : editions@cjb.unige.ch - ISBN 2-8277-0072-7.
Cirad, avenue Agropolis, 34398 Montpellier Cedex 5, France. ISBN 2-87614-342-9.

■ Index 1999 des auteurs

- Abbas B.
n° 3-4 p. 245-247
- Abdelsalam E.B.
n° 3-4 p. 181-183
- Abreu U.G.P.
n° 1 p. 9-12, n° 2 p. 129-132
- Adene D.F.
n° 3-4 p. 185-188
- Al-Ani F.K.
n° 3-4 p. 233-237
- Al-Qudah K.
n° 3-4 p. 233-237
- Al-Rawashdeh O.F.
n° 3-4 p. 233-237
- Alassane O.
n° 1 p. 47-53
- Ali O.A.
n° 3-4 p. 181-183
- Amaro A.
n° 3-4 p. 171-179
- Anene B.M.
n° 2 p. 123-128, n° 3-4 p. 185-188
- Anika S.M.
n° 2 p. 129-132
- Awa D.N.
n° 2 p. 93-98
- Baba S.S.
n° 2 p. 85-91
- Bah G.S.
n° 1 p. 77-80
- Baker R.L.
n° 3-4 p. 291-304
- Barlet J.P.
n° 1 p. 71-76
- Bayemi H.
n° 2 p. 103-106
- Bengaly Z.
n° 3-4 p. 215-222, n° 3-4 p. 223-232
- Benouhoud M.
n° 1 p. 71-76
- Bouix J.
n° 3-4 p. 291-304
- Borne F.
n° 1 p. 19-21
- Bourzat D.
n° 2 p. 155-162
- Boutonnet J.P.
n° 3-4 p. 305-312
- Cardinale E.
n° 1 p. 5-8, n° 3-4 p. 189-193
- Catelli E.
n° 2 p. 107-112
- Chamboko T.
n° 3-4, p. 313-323
- Chukwu C.C.
n° 2 p. 129-131
- Clément V.
n° 3-4 p. 291-304
- Codron J.M.
n° 3-4, p. 305-312
- Coxam V.
n° 1 p. 71-76
- Cuisance D.
n° 1 p. 19-21, n° 3-4 p. 215-222
- Daget Ph.
n° 3-4 p. 263-266, n° 3-4 p. 267-269,
n° 3-4 p. 270-271, n° 3-4 p. 272-277
- Davicco M.J.
n° 1 p. 71-76
- Dávila A.M.R.
n° 1 p. 9-12, n° 1 p. 35-38,
n° 2 p. 99-101, n° 2 p. 119-122
- Dayon J.F.
n° 1 p. 5-8
- Dede P.M.
n° 3-4 p. 239-243

- De La Rocque S.
n° 1 p. 19-21, n° 1 p. 25-33,
n° 3-4 p. 215-222, n° 3-4 p. 223-232
- Derouiche A.F.
n° 1 p. 71-76
- Desquesnes M.
n° 3-4 p. 223-232
- Diop M.
n° 2 p. 133-145, n° 3-4 p. 249-254
- Dorchies Ph.
n° 1 p. 47-53, n° 2 p. 113-116
- Doucouré A.
n° 3-4 p. 249-254
- Doyen B.
n° 1 p. 5-8
- Ekue F.N.
n° 2 p. 93-98, n° 3-4 p. 195-201,
n° 3-4 p. 202-208, n° 3-4 p. 209-213
- Elfaki M.G.
n° 3-4 p. 245-247
- El Khasmi M.
n° 1 p. 71-76
- Enoh M.B.
n° 1 p. 55-62, n° 1 p. 65-70
- Ezeokonkwo R.C.
n° 2 p. 123-128
- Fakae B.B.
n° 2 p. 117-118
- Fall S.T.
n° 2 p. 133-145, n° 3-4 p. 249-254
- Faye M.
n° 1 p. 5-8
- Fofana F.
n° 1 p. 39-46
- Gadale O.I.
n° 2 p. 107-112
- Garba D.
n° 1 p. 47-53, n° 2 p. 113-116
- Geoffroy B.
n° 1 p. 19-21
- Godron M.
n° 3-4 p. 272-277
- Golsia R.
n° 3-4 p. 171-179
- Grosclaude F.
n° 2 p. 155-162
- Gueye A.
n° 3-4 p. 291-304
- Hamadou B.
n° 3-4 p. 171-179
- Haroun E.M.
n° 3-4 p. 245-247
- Ickowicz A.
n° 3-4 p. 263-266, n° 3-4 p. 267-269
- Idriss A.
n° 2 p. 155-162
- Igbokwe I.O.
n° 1 p. 77-80
- Iversson L.B.
n° 1 p. 9-12
- Jansen A.M.
n° 2 p. 119-122
- Kaboré-Zoungrana C.
n° 2 p. 147-153
- Kaboret Y.
n° 1 p. 5-8
- Kane P.
n° 3-4 p. 189-193
- Komoin-Oka C.
n° 1 p. 39-46
- Kruska R.L.
n° 3-4 p. 313-323
- Laloë D.
n° 2 p. 155-162
- Le Goulven K.
n° 3-4 p. 305-312
- Letenneur L.
n° 3-4 p. 279-290
- Maadjou N.
n° 1 p. 55-62
- Mahan S.M.
n° 3-4 p. 313-323
- Mahmoud O.M.
n° 3-4 p. 245-247

- Mbah D.A.
n° 1 p. 65-70
- Mbah E.S.
n° 2 p. 123-128
- Mbaye M.
n° 3-4 p. 263-266
- Medley G.F.
n° 3-4 p. 313-323
- Messine O.
n° 1 p. 55-62, n° 1 p. 65-70
- Michel J.F.
n° 1 p. 25-33, n° 3-4 p. 215-222,
n° 3-4 p. 223-232
- Michel V.
n° 1 p. 25-33
- Millogo L.
n° 3-4 p. 223-232
- Moazami-Goudarzi K.
n° 2 p. 155-162
- Moisan A.
n° 3-4 p. 189-193
- MoPoi N.
n° 2 p. 103-106
- Moumouni R.
n° 1 p. 47-53
- Mukhebi A.W.
n° 3-4 p. 313-323
- Musongong G.A.
n° 2 p. 117-118
- N'DePo A.
n° 1 p. 39-46
- Ndi C.
n° 2 p. 103-106
- Nfi A.
n° 2 p. 103-106
- Ngo Tama A.C.
n° 2 p. 93-98
- Nianogo A.J.
n° 3-4 p. 255-262
- Njakoi H.
n° 2 p. 103-106
- Njakoi M.
n° 2 p. 103-106
- Njoya A.
n° 2 p. 93-98
- Njwe R.
n° 2 p. 103-106
- O'Callaghan C.J.
n° 3-4 p. 313-323
- Ogbuanya C.E.
n° 2 p. 123-128
- Onuoha E.A.
n° 3-4 p. 185-188
- Orajaka L.J.E.
n° 3-4 p. 185-188
- Ortiz A.G.
n° 1 p. 35-38
- Pandey V.S.
n° 1 p. 39-46
- Pene G.
n° 1 p. 5-8
- Pereira S.R.
n° 1 p. 35-38
- Perry B.D.
n° 3-4 p. 313-323
- Peter T.F.
n° 3-4 p. 313-323
- Petiteau L.
n° 1 p. 19-21
- PingPoh D.P.
n° 1 p. 55-62
- Poglayan G.
n° 2 p. 107-112
- Poissonet J.
n° 3-4 p. 272-277
- Ramirez L.
n° 1 p. 35-38, n° 2 p. 99-101,
n° 2 p. 119-122
- Riad F.
n° 1 p. 71-76
- Richard D.
n° 1 p. 25-33
- Roua B.
n° 1 p. 47-53
- Safwate A.
n° 1 p. 71-76

- Sali-Django
n° 2 p. 103-106
- Sana Y.
n° 2 p. 147-153
- Savadogo M.
n° 3-4 p. 255-262
- Sawadogo G.
n° 2 p. 133-145, n° 3-4 p. 249-254
- Sharif L.A.
n° 3-4 p. 233-237
- Sidibé I.
n° 3-4 p. 215-222, n° 3-4 p. 223-232
- Silva R.A.M.S.
n° 1 p. 9-12, n° 1 p. 35-38,
n° 2 p. 99-101, n° 2 p. 119-122
- Solano P.
n° 3-4 p. 215-222, n° 3-4 p. 223-232
- Souvenir Zafindrajaona P.
n° 2 p. 155-162
- Souza S.S.
n° 1 p. 35-38
- Tall F.
n° 3-4 p. 189-193
- Tacher G.
n° 3-4 p. 279-290
- Tawah C.L.
n° 1 p. 65-70
- Tchoumboue
n° 2 p. 103-106
- Terregino C.
n° 2 p. 107-112
- Thiaucourt F.
n° 3-4 p. 171-179
- Tibayrenc R.
n° 1 p. 47-53, n° 2 p. 113-115
- Tillard E.
n° 3-4 p. 291-304
- Toguyeni A.
n° 2 p. 147-153
- Tonelli A.
n° 2 p. 107-112
- Touré I.
n° 1 p. 25-33
- Trajano V.
n° 2 p. 119-122
- Van der Vloedt A.M.V.
n° 1 p. 13-18
- Van Keulen H.
n° 3-4 p. 255-262
- Victorio A.M.
n° 2 p. 119-122
- Vreysen M.J.B.
n° 1 p. 13-18
- Wilkinson P.J.
n° 3-4 p. 195-201, n° 3-4 p. 202-208,
n° 3-4 p. 209-213
- Yaya A.
n° 3-4 p. 171-179
- Yonkeu S.
n° 1 p. 55-62
- Zemmelink G.
n° 3-4 p. 255-262
- Zeuh V.
n° 2 p. 155-162
- Zinsstag J.
n° 1 p. 39-46

■ Index 1999 des mots clés

- ACANTHOCEPHALA
n° 2 p. 107-112
- ACIDE NUCLEIQUE
n° 2 p. 85-91
- ADENOMATOSE PULMONAIRE
n° 3-4 p. 181-183
- AGRICULTURE
n° 3-4 p. 223-232
- AILE
n° 1 p. 19-21
- ANALYSE
n° 3-4 p. 195-201, n° 3-4 p. 209-213
- ANDROPOGON GAYANUS
n° 2 p. 147-153
- ANDROPOGON PSEUDAPRICUS
n° 2 p. 147-153
- ANE
n° 2 p. 113-115
- ANEMIE INFECTIEUSE DU CHEVAL
n° 1 p. 9-12, n° 2 p. 99-101
- ANIMAL DOMESTIQUE
n° 3-4 p. 202-208
- ANIMAL NOUVEAU-NE
n° 1 p. 71-76
- ANIMAL REPRODUCTEUR
n° 1 p. 5-8
- ANIMAL SAUVAGE
n° 2 p. 99-101
- ANTHELMINTHIQUE
n° 1 p. 47-53, n° 2 p. 103-106
- ANTIGENE
n° 2 p. 85-91
- ASPERGILLUS FUMIGATUS
n° 3-4 p. 245-247
- AVORTEMENT
n° 3-4 p. 239-243
- BETAÏL
n° 3-4 p. 313-323
- BIOCHIMIE
n° 1 p. 35-38, n° 2 p. 155-162
- BIOMETRIE
n° 1 p. 19-21
- BOS INDICUS
n° 2 p. 155-162
- BOS TAURUS
n° 2 p. 155-162
- BOVIN
n° 1 p. 25-33, n° 2 p. 133-145,
n° 2 p. 155-162, n° 3-4 p. 215-222,
n° 3-4 p. 223-232
- BOVIN HOLSTEIN
n° 1 p. 65-70
- BOVIN KOURI
n° 2 p. 155-162
- BOVIN LAITIER
n° 1 p. 35-38
- BOVIN MONTBELIARD
n° 1 p. 65-70
- BRACHIARIA LATA
n° 2 p. 147-153
- BRACHIARIA RUZIZIENSIS
n° 1 p. 55-62
- CAPACITE DE CHARGE
n° 3-4 p. 255-262
- CAPRIN
n° 3-4 p. 291-303
- CARCINOME
n° 3-4 p. 181-183
- CELLULASE
n° 1 p. 55-62
- CEREALE
n° 3-4 p. 255-262
- CESTODA
n° 2 p. 107-112
- CHAMEAU
n° 1 p. 71-76, n° 3-4 p. 233-237
- CHEVAL
n° 1 p. 9-12, n° 2 p. 99-101

- CHEVRE
n° 3-4 p. 245-247
- CHIEN
n° 2 p. 85-91, n° 2 p. 123-128,
n° 2 p. 129-131
- CIRCUIT DE COMMERCIALISATION
n° 3-4 p. 305-312
- COCCIDIOSE
n° 2 p. 117-118
- COMPLEMENTATION
n° 2 p. 133-145, n° 3-4 p. 249-254
- COMPOSITION CHIMIQUE
n° 1 p. 55-62
- CONSOMMATION
n° 3-4 p. 279-290
- CONSOMMATION ALIMENTAIRE
n° 3-4 p. 255-262
- CONTROLE DE MALADIE
n° 1 p. 39-46
- COWDRIOSE
n° 3-4 p. 313-323
- CROISEMENT
n° 1 p. 65-70
- CROISSANCE
n° 1 p. 65-70
- DENSITE
n° 1 p. 25-33, n° 3-4 p. 263-266,
n° 3-4 p. 267-269, n° 3-4 p. 270-271
- DIGESTIBILITE
n° 1 p. 55-62, n° 2 p. 147-153
- DISTRIBUTION SPATIALE
n° 1 p. 25-33
- ECHANTILLONAGE
n° 3-4 p. 263-266, n° 3-4 p. 267-269,
n° 3-4 p. 270-271
- ECONOMIE
n° 3-4 p. 313-323
- EFFICACITE
n° 2 p. 103-106, n° 3-4 p. 171-179
- EIMERIA STIEDAI
n° 2 p. 117-118
- ELEVAGE EN LIBERTE
n° 2 p. 107-112
- ELEVAGE INTENSIF
n° 2 p. 107-112, n° 3-4 p. 189-193
- ENCEPHALITE
n° 1 p. 5-8, n° 3-4 p. 245-247
- ENCEPHALOMYELITE EQUINE
n° 1 p. 9-12
- ENVIRONNEMENT
n° 3-4 p. 223-232
- EPIDEMIOLOGIE
n° 1 p. 25-33, n° 3-4 p. 223-232,
n° 3-4 p. 233-237
- EQUIDAE
n° 1 p. 9-12
- ERYTHROCYTE
n° 1 p. 77-80
- FERTILITE
n° 3-4 p. 239-243
- FÆTUS
n° 1 p. 71-76
- FOIE
n° 2 p. 117-118
- FORET TROPICALE
n° 1 p. 39-46
- GENOME
n° 3-4 p. 195-201, n° 3-4 p. 209-213
- GENOTYPE
n° 1 p. 65-70
- GLOSSINA
n° 1 p. 19-21, n° 3-4 p. 223-232
- GLOSSINA PALPALIS GAMBIENSIS
n° 1 p. 13-18
- GLOSSINA PALPALIS PALPALIS
n° 1 p. 13-18, n° 3-4 p. 239-243
- GLOSSINIDAE
n° 1 p. 19-21
- GLUTATHION
n° 1 p. 77-80
- HELMINTHE
n° 1 p. 39-46, n° 2 p. 107-112
- HEMATOCRITE
n° 3-4 p. 215-224
- HYBRIDATION
n° 2 p. 85-91

- HYBRIDE**
n° 1 p. 13-18
- IMMUNODIAGNOSTIC**
n° 3-4 p. 185-188
- IMMUNOHISTOCHEMIE**
n° 2 p. 85-91
- INFECTION EXPERIMENTALE**
n° 2 p. 123-128
- KHAYA ANTHOTHECA**
n° 2 p. 103-106
- LAPIN**
n° 2 p. 117-118
- LEGUMINEUSE**
n° 3-4 p. 255-262
- LOGICIEL**
n° 1 p. 19-21
- MALADIE DE L'APPAREIL DIGESTIF**
n° 3-4 p. 291-303
- MALADIE DE NEWCASTLE**
n° 3-4 p. 185-187, n° 3-4 p. 189-193
- MALADIE RESPIRATOIRE**
n° 1 p. 9-12
- MARCHE MONDIAL**
n° 3-4 p. 279-290
- MARGE BRUTE**
n° 3-4 p. 313-323
- MICROSATELLITE**
n° 2 p. 155-162
- MEDICAMENT**
n° 2 p. 129-131, n° 3-4 p. 239-243
- MENSURATION**
n° 1 p. 19-21
- MESURE**
n° 3-4 p. 263-266, n° 3-4 p. 267-269,
n° 3-4 p. 270-271, n° 3-4 p. 272-277
- METHODE**
n° 3-4 p. 263-266, n° 3-4 p. 267-269,
n° 3-4 p. 270-271, n° 3-4 p. 272-277
- METHODE D'ELEVAGE**
n° 3-4 p. 225-232, n° 3-4 p. 291-303
- MODELE**
n° 1 p. 25-33
- MOELLE OSSEUSE**
n° 3-4 p. 209-213
- MORBIDITE**
n° 1 p. 47-53, n° 2 p. 117-118,
n° 3-4 p. 185-188, n° 3-4 p. 215-222
- MORPHOLOGIE**
n° 1 p. 13-18
- MORTALITE**
n° 3-4 p. 249-254
- MYCOSE**
n° 3-4 p. 245-247
- NASUA NASUA**
n° 2 p. 119-122
- NEMATODA**
n° 2 p. 107-112
- OESTRUS OVIS**
n° 1 p. 47-53
- OFFRE**
n° 3-4 p. 279-290
- ORYCTOLAGUS CUNICULUS**
n° 2 p. 117-118
- OVIN**
n° 1 p. 47-53, n° 1 p. 77-80,
n° 3-4 p. 181-183, n° 3-4 p. 291-303
- OVIN DJALLONKE**
n° 1 p. 39-46, n° 2 p. 147-153
- PANICUM ANABAPTISTUM**
n° 2 p. 147-153
- PARAMETRES GENETIQUES**
n° 3-4 p. 291-303
- PARASITES**
n° 3-4 p. 291-303, n° 3-4 p. 291-303
- PARASITOLOGIE**
n° 3-4 p. 215-222
- PATURAGE**
n° 2 p. 133-145, n° 3-4 p. 263-266,
n° 3-4 p. 267-269, n° 3-4 p. 270-271,
n° 3-4 p. 272-277
- PAYSAGE**
n° 3-4 p. 272-277
- PENNISETUM PEDICELLATUM**
n° 2 p. 147-153
- PERIPNEUMONIE CONTAGIEUSE BOVINE**
n° 3-4 p. 171-179
- PERFORMANCE**
n° 3-4 p. 239-243, n° 3-4 p. 313-323

- PERFORMANCE DE REPRODUCTION
n° 3-4 p. 239-243
- PESTE PORCINE AFRICAINE
n° 2 p. 93-98
- PHOSPHATE NATUREL
n° 2 p. 133-145, n° 3-4 p. 249-254
- PHYLOGENIE
n° 2 p. 155-162
- PLANTE LIGNEUSE
n° 3-4 p. 263-266, n° 3-4 p. 267-269,
n° 3-4 p. 270-271
- POIDS AU SEVRAGE
n° 1 p. 65-70
- POLYMORPHISME BIOCHIMIQUE
n° 2 p. 155-162
- POUVOIR PATHOGENE
n° 3-4 p. 202-208
- PORCIN
n° 2 p. 93-98, n° 3-4 p. 195-201,
n° 3-4 p. 202-208, n° 3-4 p. 209-213
- POULE PONDEUSE
n° 3-4 p. 189-193
- POULET
n° 2 p. 107-112, n° 3-4 p. 185-188
- POULETTE
n° 1 p. 5-8
- POUMON
n° 3-4 p. 181-183
- PRAIRIE NATURELLE
n° 1 p. 55-62
- PRISE ALIMENTAIRE
n° 2 p. 147-153
- PRODUCTION ANIMALE
n° 3-4 p. 279-290
- PRODUCTIVITE
n° 3-4 p. 313-323
- PROTEINE ANIMALE
n° 3-4 p. 279-290
- RECENSEMENT
n° 3-4 p. 270-271
- RENDEMENT
n° 1 p. 55-62
- RENTABILITE
n° 3-4 p. 313-323
- REPRODUCTION
n° 3-4 p. 249-254
- RESIDU DE RECOLTE
n° 3-4 p. 255-262
- RESISTANCE AUX PRODUITS
CHIMIQUES
n° 2 p. 129-131
- RHINOESTRUS USBEKISTANICUS
n° 2 p. 113-115
- RUMINANT
n° 3-4 p. 255-262
- SAISON
n° 3-4 p. 185-188
- SANG
n° 1 p. 35-38, n° 2 p. 119-122,
n° 3-4 p. 233-237
- SANTE
n° 2 p. 93-98
- SOLANUM ACULEASTRUM
n° 2 p. 103-106
- SOURIS
n° 2 p. 123-128
- STYLOSANTHES GUIANENSIS
n° 1 p. 55-62
- SURVIE
n° 3-4 p. 239-243
- SYNDROME DE CHUTE DE PONTE
n° 1 p. 5-8
- SYSTEME D'INFORMATION
n° 1 p. 25-33
- SYSTEME GENITAL
n° 1 p. 13-18
- TERMINALIA GLAUDESCENS
n° 2 p. 103-106
- TEST ELISA
n° 2 p. 93-98, n° 3-4 p. 215-222
- THYROXINE
n° 1 p. 71-76
- TRANSMISSION DES MALADIES
n° 1 p. 9-12

- TRIIODOTHYRONINE
n° 1 p. 71-76
- TRYPANOCIDE
n° 2 p. 123-128
- TRYPANOSOMA BRUCEI
n° 2 p. 123-128, n° 3-4 p. 215-222
- TRYPANOSOMA CONGOLENSIS
n° 2 p. 129-131, n° 3-4 p. 215-222
- TRYPANOSOMA EVANSI
n° 2 p. 119-122, n° 3-4 p. 233-237
- TRYPANOSOMA VIVAX
n° 1 p. 35-38, n° 3-4 p. 215-222
- TRYPANOSOMOSE
n° 1 p. 25-33, n° 3-4 p. 223-232,
n° 3-4 p. 239-243
- TUBE DIGESTIF
n° 2 p. 107-112
- VACCIN VIVANT
n° 3-4 p. 171-179
- VACCINATION
n° 1 p. 5-8, n° 3-4 p. 189-193
- VACHE LAITIERE
n° 3-4 p. 249-254
- VALEUR NUTRITIVE
n° 2 p. 147-153
- VEAU
n° 2 p. 103-106
- VEGETATION
n° 3-4 p. 263-266, n° 3-4 p. 267-269,
n° 3-4 p. 270-271
- VERNONIA AMYGLADINA
n° 2 p. 103-106
- VIANDE PORCINE
n° 3-4 p. 305-312
- VIROSE
n° 1 p. 9-12
- VIRUS DE LA PESTE PORCINE
AFRICAIN
n° 3-4 p. 195-201, n° 3-4 p. 202-208,
n° 3-4 p. 209-213
- VIRUS DE LA RAGE
n° 2 p. 85-91
- VOLAILLE
n° 1 p. 5-8, n° 2 p. 107-112
- ZEBU GOBRA
n° 2 p. 133-145, n° 3-4 p. 249-254
- ZEBU GUDALI
n° 1 p. 65-70
- ZONE AGROCLIMATIQUE
n° 3-4 p. 255-262
- ZONE TROPICALE
n° 3-4 p. 263-266, n° 3-4 p. 267-269,
n° 3-4 p. 270-271, n° 3-4 p. 272-277

■ Index 1999 géographique

- ADAMAOUA
n° 1 p. 55-62
- AFRIQUE AU SUD DU SAHARA
n° 3-4 p. 279-290
- AFRIQUE OCCIDENTALE
n° 2 p. 155-162
- ARABIE SAOUDITE
n° 3-4 p. 245-247
- BRESIL
n° 1 p. 9-12, n° 1 p. 35-38,
n° 2 p. 99-101, n° 2 p. 119-122
- BURKINA FASO
n° 1 p. 25-33, n° 2 p. 147-153,
n° 3-4 p. 215-222, n° 3-4 p. 223-232,
n° 3-4 p. 255-262
- CAMEROUN
n° 1 p. 55-62, n° 1 p. 65-70,
n° 2 p. 93-98, n° 2 p. 103-106,
n° 3-4 p. 171-179, n° 3-4 p. 195-201,
n° 3-4 p. 202-208, n° 3-4 p. 209-213
- COTE D'IVOIRE
n° 1 p. 39-46

JAMAHIRIYA ARABE LIBYENNE

n° 3-4 p. 181-183

JORDANIE

n° 3-4 p. 233-237

LAC TCHAD

n° 2 p. 155-162

MAROC

n° 1 p. 71-76

NIGER

n° 1 p. 47-53, n° 2 p. 113-115

NIGERIA

n° 1 p. 77-80, n° 2 p. 85-91,
n° 2 p. 117-118, n° 2 p. 123-128,
n° 2 p. 129-131, n° 3-4 p. 185-188
n° 3-4 p. 239-243

PANTANAL

n° 1 p. 9-12, n° 1 p. 35-38,
n° 2 p. 99-101, n° 2 p. 119-122

SAHEL

n° 2 p. 133-145, n° 3-4 p. 249-254

SENEGAL

n° 1 p. 5-8, n° 2 p. 133-145,
n° 3-4 p. 189-193, n° 3-4 p. 249-254,
n° 3-4 p. 291-303

SOMALIE

n° 2 p. 107-112

VIETNAM

n° 3-4 p. 305-312

ZIMBABWE

n° 3-4 p. 313-323