

Sommaire

40 Editorial

PATHOLOGIE INFECTIEUSE

41-46 Le concept « Une seule santé » : une réponse à l'incertitude dans la gouvernance internationale des zoonoses émergentes ? Figuié M., Peyre M. (*en français*)

47-50 Evaluation sur le terrain du transfert des anticorps maternels contre l'encéphalomyélite aviaire dans des élevages de poulets du sud-ouest du Nigeria. Oladele O.A., Onwuka C.O. (*en anglais*)

RESSOURCES ALIMENTAIRES

51-56 Performance des chèvres Naines d'Afrique de l'Ouest alimentées à partir de résidus de maïs améliorés avec des fientes de volaille séchées. Anigbogu N.M., Nwagbara N.N.N. (*en anglais*)

RESSOURCES ANIMALES

57-67 Méthodes d'enquête pour l'estimation des taux démographiques des cheptels de ruminants domestiques tropicaux. Synthèse, limites et perspectives Lesnoff M. (*en français*)

69-73 Le polymorphisme visible de populations animales domestiques, son rôle dans la création des races : une synthèse. Lauvergne J.J., Sponenberg D.P., Millar P. (*en anglais*)

Contents

40 Editorial

INFECTIOUS DISEASES

41-46 The 'One Health' concept: an answer to uncertainty in the international governance of emerging zoonotic diseases? Figuié M., Peyre M. (*in French*)

47-50 Field evaluation of avian encephalomyelitis maternal antibody transfer in chicken flocks in Southwest Nigeria. Oladele O.A., Onwuka C.O. (*in English*)

FEED RESOURCES

51-56 Performance of West African Dwarf goats fed maize offal diets supplemented with dry poultry excreta. Anigbogu N.M., Nwagbara N.N.N. (*in English*)

ANIMAL RESOURCES

57-67 Survey methods to estimate demographic rates of tropical ruminant livestock herds. Review, limits and prospects. Lesnoff M. (*in French*)

69-73 Visible polymorphisms in domesticated animal populations and their role in breed creation: A review. Lauvergne J.J., Sponenberg D.P., Millar P. (*in English*)

Sumario

40 Editorial

PATOLOGIA INFECCIOSA

41-46 El concepto “One Health”: una respuesta a la incertidumbre en la gobernanza internacional de las zoonosis emergentes? Figuié M., Peyre M. (*en francés*)

47-50 Evaluación de campo de la transferencia de anticuerpos maternos contra la encefalomiелitis aviar en parvadas de pollos en el suroeste de Nigeria. Oladele O.A., Onwuka C.O. (*en inglés*)

RECURSOS ALIMENTICIOS

51-56 Rendimiento de las cabras Enanas de África del Oeste alimentadas a base de dietas de residuos de maíz complementadas con excremento de pollo seco. Anigbogu N.M., Nwagbara N.N.N. (*en inglés*)

RECURSOS ANIMALES

57-67 Métodos de encuesta para la estimación de tasas demográficas en hatos de ganado rumiante. Síntesis, límites y prospectos. Lesnoff M. (*en francés*)

69-73 Polimorfismo visible en ciertas poblaciones animales domésticas, su papel en la creación de razas: síntesis. Lauvergne J.J., Sponenberg D.P., Millar P. (*en inglés*)

Editorial

Ce numéro introduit avec deux articles¹ une série de textes sur le thème des **systèmes d'information et outils de pilotage du secteur élevage**². Ils traitent des méthodes d'analyses démographiques, de suivi des zoonoses émergentes, des outils de gestion des crises climatiques, des systèmes d'information sur les filières ou des impacts de l'élevage sur l'environnement (numéros suivants). La Revue d'élevage et de médecine vétérinaire des pays tropicaux souhaite ainsi contribuer à éclairer une thématique transversale contribuant à améliorer les politiques d'élevage dans les pays du Sud.

En effet, malgré son importance, les dynamiques d'élevage dans les pays du Sud sont aujourd'hui très mal connues. Elles constituent d'abord un défi méthodologique lié aux caractéristiques des systèmes et filières d'élevage : petites structures, pluriactivité et faible densité des services à l'élevage caractérisent la majorité des exploitations. De plus, l'importance de l'autoconsommation et du travail familial complique l'évaluation de paramètres économiques standard. Enfin, c'est surtout la mobilité des élevages pastoraux et agropastoraux, et la complexité des droits de propriété qui rendent difficiles les recensements et la collecte de données zootechniques et sanitaires.

Le déficit actuel de connaissances sur l'élevage dans les pays du Sud est par ailleurs accentué par des situations politiques locales délicates. Les systèmes publics de collecte et de traitement de l'information quantitativement peu développés y sont en outre fragilisés.

Pourtant, les connaissances sur l'élevage ont bénéficié ces 30 dernières années de l'apport de nouveaux outils de traitement de l'information : télédétection, systèmes d'information géographique, bases de données informatisées, modélisation, et télécommunication pour la transmission des données et leur partage par mise en ligne. Ces nouveaux outils ont permis l'émergence de nouveaux dispositifs d'information, notamment en climatologie, épidémiologie et sécurité alimentaire, ainsi que des projections de production, de consommation et de marchés.

Ces dispositifs sont mis en place en partenariat avec les autorités publiques nationales et internationales, pour certains d'entre eux en associant les communautés locales ou des organisations de producteurs. Dans la majorité des cas, ils bénéficient d'un appui des agences internationales de développement ou de recherche en réponse aux défis identifiés dans les instances scientifiques et politiques mondiales.

En amont et au-delà des questions méthodologiques, il s'agit de répondre à de grands enjeux de développement : comprendre les trajectoires de transformation des économies paysannes, évaluer et prévenir les risques, et innover dans les systèmes de gouvernance. Pour tout cela il est indispensable de disposer d'informations traduisant les évolutions des conditions environnementales, sanitaires, biotechniques et socio-économiques que rencontrent les éleveurs, leurs familles et tous les acteurs des filières d'élevage.

Hubert Guerin et Guillaume Duteurtre

1. Figuié et coll., Le concept « Une seule santé » : une réponse à l'incertitude dans la gouvernance internationale des zoonoses émergentes, p. 41-46 ; Lesnoff, Méthodes d'enquête pour l'estimation des taux démographiques des cheptels de ruminants domestiques tropicaux. Synthèse, limites et perspectives, p. 57-67.

2. Ces manuscrits sont issus d'un atelier qui s'est tenu en juillet 2011 à Montpellier sur le thème des « Systèmes d'information et outils de pilotage du secteur élevage : postures et méthodes » dont les actes sont disponibles sur http://epe.cirad.fr/fr2/publi/systemes-information_2011.html.

Le concept « Une seule santé » : une réponse à l'incertitude dans la gouvernance internationale des zoonoses émergentes ?

M. Figuié¹ * M. Peyre²

Article issu de l'atelier Cirad/INRA « Systèmes d'information et outils de pilotage du secteur élevage dans les pays du Sud », Montpellier, France, 11-13 juillet 2011 (cf. l'éditorial)

Mots-clés

Zoonose – Santé animale –
Organisation internationale –
Surveillance épidémiologique –
Gestion du risque – Politique sanitaire.

Résumé

A partir de l'analyse du référentiel « Une seule santé » et de l'évolution des instruments juridiques de l'Organisation mondiale de la santé (OMS) et de l'Organisation mondiale de la santé animale (OIE), nous examinons comment ces organisations internationales intègrent la gestion de l'incertitude associée aux émergences zoonotiques récentes. Nous montrons qu'en passant d'une gestion de risques à celle d'incertitudes, ces organisations internationales étendent considérablement leur domaine d'action à travers notamment le système de notification obligatoire. Dans le même temps, elles promeuvent une gestion intersectorielle (entre santé humaine et santé animale en particulier) et un élargissement du système d'acteurs reconnus légitimes pour intervenir dans ce domaine. L'objectif antérieur d'éradication d'un nombre limité de maladies clairement identifiées laisse la place à une volonté de préparation à l'inconnu. Ce dispositif renforce le rôle de l'information pour la surveillance épidémiologique.

■ INTRODUCTION

Il est utile, comme le fait Gilbert (13), de distinguer les dangers, des risques et des menaces. Depuis le XIX^e siècle, le développement scientifique a permis une domestication des dangers par leur traduction en risque, c'est-à-dire à travers l'identification des causes, le calcul des probabilités et l'évaluation des dommages liés à ces dangers. Cependant, on constate que depuis une quarantaine d'années des dangers nouveaux sont apparus qui résistent à cette traduction en terme de risque. Ils sont qualifiés de majeurs, globaux, systémiques, émergents... Ces risques ont pour caractéristiques (a) d'être d'une ampleur sans précédent du fait des développements technologiques (cas de l'accident de la centrale de Tchernobyl par exemple), mais aussi de la globalisation des échanges et des mobilités internationales (cas du syndrome respiratoire aigu sévère [SRAS]), (b) de relever de structures causales complexes et, en conséquence, (c) d'être caractérisés par une

grande incertitude quant à l'origine et à la nature même du danger et à sa probabilité d'occurrence (on ne sait pas par exemple quelle est la probabilité que le virus de la grippe aviaire [H5N1] mute en une forme transmissible d'homme à homme qui provoquerait la pandémie grippale tant redoutée).

Ces dangers d'une nature nouvelle résistent au dispositif classique de « mise en risque », du fait notamment de leur nouveauté et de la faible quantité d'informations disponibles à leur sujet. Gilbert (13) propose alors de parler de « menaces » pour qualifier ces nouveaux risques. Ces menaces tendent à modifier le traitement classique des dangers. Gilbert (13) montre en particulier que, dans le domaine industriel, les menaces imposent d'abandonner l'illusion d'une possible maîtrise totale des activités (et du risque zéro) pour considérer l'accident comme un élément à part entière des processus. Elles amènent également (notamment du fait de la complexité des structures causales, des incertitudes, de la remise en cause de la science par certains) à un élargissement du système d'acteurs constitué autour de l'activité industrielle : élargissement dans le champ du scientifique, de l'administratif comme du politique. L'analyse a été élargie et étendue à d'autres domaines (14). Elle montre que l'incertitude englobe également une incertitude relative aux conséquences sociales et à la capacité de contrôle de ces menaces par les Etats. Ces menaces sont alors progressivement

Cirad, UMR MOISA, TA C-99 / 15, 73 rue Jean-François Breton, Montpellier, F-34398 France.

2. Cirad, UR AGIRs, Montpellier, F-34398 France.

* Auteur pour la correspondance

Tél. : +33 (0)4 67 61 75 86 ; fax : +33 (0)4 67 61 44 15

E-mail : muriel.figuie@cirad.fr

considérées autant comme le fruit de la vulnérabilité de nos sociétés que comme le résultat de l'apparition de nouveaux dangers. Elles deviennent le support de recompositions institutionnelles visant à réaffirmer la capacité des Etats à assumer leur responsabilité ; cette recomposition passe dans bien des cas par une « sanitarisée » des problèmes, la santé restant une fonction régaliennne des Etats peu contestée (3, 13).

Ce que nous souhaitons questionner dans cet article est dans quelle mesure ce recadrage repéré initialement dans le champ de l'analyse des menaces industrielles et dans le cadre d'Etats occidentaux est également à l'œuvre dans le champ des menaces sanitaires globales. Plus précisément, considérant que l'émergence sanitaire relève de la menace et que la menace relève d'une approche internationale, nous souhaitons examiner comment l'Organisation mondiale de la santé (OMS) et l'Organisation mondiale de la santé animale (OIE) ont recadré, ou non, leur référentiel et instruments d'intervention pour intégrer l'incertitude associée à ces menaces nouvelles. Nous examinons en particulier le cas des émergences zoonotiques.

■ MATERIEL ET METHODES

On reprendra comme définition des maladies émergentes la définition proposée par l'OIE : « une nouvelle infection résultant de l'évolution ou de la modification d'un agent pathogène existant, une infection connue se propageant à une nouvelle aire géographique ou à une nouvelle population, la présence d'un agent pathogène non identifié précédemment, ou encore une maladie dont le diagnostic est posé pour la première fois et ayant des répercussions significatives sur la santé animale ou sur la santé publique » (20). Les zoonoses, maladies animales transmissibles aux hommes, sont à l'origine de 75 p. 100 des maladies humaines émergentes (17).

Nous examinons les innovations produites par les émergences sanitaires globales à travers les documents officiels produits par deux des grandes organisations internationales (OI) qui se sont saisies du problème des zoonoses émergentes, l'OMS et l'OIE. Nous examinons en particulier le processus d'élaboration du référentiel commun à ces institutions, le référentiel « Une seule santé », la révision de leurs bases juridiques – le *Règlement sanitaire international* (RSI) de 2005 de l'OMS et le dernier *Code sanitaire pour les animaux terrestres* de l'OIE – et enfin les accords passés entre l'OMS, l'OIE et une autre organisation internationale fortement impliquée également sur ce thème, l'Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO). Ces documents (7-10, 18-28, 31-34) sont en grande partie disponibles sur les sites officiels de ces organisations.

■ RESULTATS

Emergences

Les émergences de nouveaux dangers justifient pour les OI un renouvellement et un renforcement de la gouvernance internationale des risques sanitaires. Les virus du SRAS et H5N1 se sont propagés à une telle rapidité à l'ensemble de la planète que s'est renforcé le consensus autour de la nécessité d'une gouvernance internationale des risques sanitaires (voir par exemple le discours de G. Bush à l'ONU en septembre 2005) (4). Mais au-delà du renforcement de l'échelle internationale, se pose également la question de la nature de l'intervention. Pour les OI traditionnellement en charge de ces questions, l'accélération du rythme des émergences sanitaires dans un monde globalisé impose un renouvellement de leur mode de traitement.

« Chaque année une nouvelle maladie fait son apparition, ce qui ne s'était jamais vu dans l'histoire [...] L'ampleur de ces menaces est beaucoup plus grande dans un monde caractérisé par une forte mobilité, l'interdépendance économique et l'interconnexion électronique [...] La vulnérabilité est universelle », déclare Margaret Chan, directrice de l'OMS (26). Pour faire face à ces défis, les OI décident de redéfinir leur référentiel d'action et adoptent, lors de la 5^e International Ministerial Conference on Avian and Pandemic Influenza (IMCAPI) en 2007 à New Delhi, un référentiel commun, le référentiel « One World, One Health » (OWOH) (34), qui, pour diverses raisons (notamment de droits d'auteur), sera par la suite nommé « One Health » ou « Une seule santé ». Et c'est lors de la 6^e IMCAPI (Sharm El Sheikh, 2008) que ces organisations commencent à élaborer un cadre stratégique nécessaire à la mise en œuvre de ce concept (7).

Ce sont encore, selon l'OMS elle-même (26), les virus du SRAS et H5N1 qui ont précipité la révision du *Règlement sanitaire international* en 2005 (22, 23, 24). Lors de l'émergence de ces deux virus, le règlement en vigueur était encore celui de 1969 et son objectif se limitait, à travers un système de notification obligatoire des Etats membres, à empêcher la propagation internationale d'un nombre limité de maladies bien connues : la peste, le choléra et la fièvre jaune. Le RSI de 1969 était donc très mal adapté pour faire face à des maladies émergentes largement méconnues. De la même manière, le code sanitaire de l'OIE en vigueur au début de l'épisode de la grippe aviaire, en se référant uniquement à deux listes de maladies animales à déclaration obligatoire, se limitait au domaine du connu, laissant peu de place à l'incertitude et au concept de risques potentiels. L'OIE reconnaît que l'expérience de la grippe aviaire a justifié une adaptation des systèmes de gouvernance à tous les niveaux face à ces « nouveaux dangers » (33).

Nous confirmons ainsi que les menaces que représentent les émergences sanitaires ont été accompagnées d'un recadrage par les OI de leur référentiel d'intervention. Si les OI semblent ainsi annoncer que rien ne pourra plus être comme avant, il nous faut cependant examiner la nature de ce recadrage. On constate qu'il se traduit par une tentative de recomposition des politiques internationales de gouvernance des risques sanitaires tant dans les processus que dans les contenus.

Recomposition des politiques internationales de gestion des problèmes sanitaires

Renforcement du niveau d'action international

Les OI, dans le contexte des émergences sanitaires, revendiquent un mandat élargi et le renforcement des dispositifs de gouvernance internationale. Ces revendications sont lisibles à travers les évolutions des instruments juridiques internationaux et en particulier les obligations de notification que ces instruments imposent aux Etats membres. En effet, les Etats membres ont obligation d'informer l'OMS ou l'OIE d'événements épidémiologiques survenant sur leur territoire. La nature de tels événements fait l'objet d'une définition très précise et s'est considérablement élargie suite aux émergences récentes, élargissant dans le même mouvement le domaine d'intervention des OI.

En effet, le *Règlement sanitaire international* de 2005 dote l'OMS d'un cadre juridique permettant de détecter et de réagir à tous les « risques et situations d'urgence pour la santé publique de portée internationale (risques infectieux et naturels mais aussi risques industriels, technologiques) » (23). Ainsi les obligations de notification des Etats membres de l'OMS sont-elles « radicalement différentes » avec le nouveau RSI (24). Elles dépassent une simple liste de maladies transmissibles pour s'étendre à tout événement

intéressant la santé publique susceptible d'avoir de graves conséquences à l'échelle internationale ou requérant une action internationale coordonnée. En outre, en 2011, l'assemblée générale de l'OMS adopte le « Cadre de préparation en cas de grippe pandémique pour l'échange des virus grippaux et l'accès aux vaccins et autres avantages » (PIP Framework en anglais) (27) ; par ce moyen, l'OMS répond aux risques de sa propre marginalisation face au développement potentiel d'accords bilatéraux entre les entreprises et les pays pour l'accès aux virus et aux vaccins (sur le modèle de l'accord passé entre le gouvernement indonésien et la multinationale pharmaceutique Baxter en 2007) et garantit un cadre multilatéral à de tels arrangements, cadre dans lequel l'OMS occupe un rôle majeur.

Si l'OMS a été créée dans le but d'améliorer la santé humaine, le mandat originel de l'OIE n'est pas son équivalent dans le secteur animal : l'OIE a été créée en 1924 pour limiter les entraves au commerce international que représente le risque de propagation des maladies infectieuses animales (21). L'OIE, en adoptant son 4^e Plan stratégique (2006-2010) en mai 2005 (19), élargit considérablement son mandat (bien plus encore que ne le fait l'OMS avec l'adoption du nouveau RSI) pour intégrer l'objectif plus vaste d'« amélioration de la santé animale dans le monde » (à noter que cet élargissement a été continu depuis 1924) (21).

Ce nouvel objectif justifie, selon le directeur de l'OIE (33), le développement de nouveaux mécanismes de prévention et de contrôle des maladies animales non seulement au niveau national mais aussi au niveau régional et mondial. Pour mieux faire face aux situations d'émergence, les obligations des Etats membres de l'OIE ne se limitent ainsi plus à la déclaration de l'apparition ou de la modification de l'épidémiologie d'une des maladies animales transmissibles présentes sur les listes des maladies à déclaration obligatoire. Elle s'étend à la notification de toutes maladies zoonotiques émergentes et/ou à fort potentiel de propagation internationale.

Elargissement des systèmes d'acteurs

Si les OI insistent sur le fait que les mesures et les politiques à adopter doivent être pilotées par les Etats, et que ceux-ci restent leurs interlocuteurs principaux et légitimes, on assiste cependant à un élargissement des interlocuteurs de ces OI. Ces dernières entendent mobiliser davantage, pour la maîtrise des urgences sanitaires, à la fois le secteur public et privé (notamment les services vétérinaires publics et l'industrie), et des partenaires qualifiés de « non traditionnels » comme les ONG environnementalistes, les zoos (28).

En outre, jusqu'à récemment, l'OMS et l'OIE considéraient uniquement dans les dispositifs d'information sanitaire sur lesquels elles assoient leur légitimité les notifications officielles des Etats membres. Mais un autre fait marquant, qualifié par l'OMS de « véritable révolution » (26) est à ce propos à souligner. Ces organisations internationales se donnent à présent la possibilité de considérer des informations quelle qu'en soit la source (même si elles en demandent dans un deuxième temps une confirmation officielle de la part des Etats) : « En s'écartant des précédentes conventions et réglementations internationales, le RSI de 2005 accomplit une véritable révolution, en ce sens qu'il reconnaît explicitement qu'en ce qui concerne les épidémies, des sources d'information non liées aux pouvoirs publics pourront souvent prendre le pas sur les notifications officielles. Ce peut être notamment le cas si un pays se révèle peu disposé à dévoiler un événement se déroulant sur son territoire » (26). L'OIE déploie la même stratégie (article 53 du Plan stratégique de l'OIE, 2006-2010). Il s'agit également pour ces OI de faire face à la multiplication des systèmes d'information, en lien notamment avec les

nouvelles technologies de l'information (par exemple ProMed, www.promedmail.org/), qui mettent en péril les fondements même de leur existence (car c'est bien la mise en commun de cette information qui est à l'origine de la création d'une organisation comme l'OIE) (21).

Redéfinition du rôle des Etats

A cet affaiblissement de l'Etat comme détenteur (et contrôleur) des sources d'information officielles s'ajoute un autre élément contribuant à affaiblir cet échelon. La nouveauté du RSI de 2005 est de renoncer à privilégier des mesures de barrières aux frontières et de contrôler aux ports et aéroports pour privilégier des mesures préventives à la source (26). Ceci ouvre potentiellement la voie à un droit d'ingérence sanitaire. Du côté de l'OIE, le directeur (31) attire l'attention sur le fait que le renforcement de la gouvernance internationale sanitaire est un « message qui s'adresse aux pays en développement et en transition. De fait, un seul pays qui serait aujourd'hui dans l'incapacité de lutter contre les foyers de maladies animales pourrait mettre en danger la planète entière ». Pour la communauté internationale, les conséquences des négligences des Etats à lutter contre les urgences sanitaires sont du même ordre que celles des actions d'organisations terroristes ayant diffusé volontairement des agents pathogènes (anthrax par exemple aux USA), justifiant ainsi de qualifier de « bioterroristes » de tels Etats négligents (15).

En outre, les OI ont renforcé leur approche régionale par le biais des communautés économiques régionales (CER). Depuis la grippe aviaire, la FAO et l'OIE ont créé ensemble des centres régionaux de santé animale, notamment sur le continent africain, renforçant la présence de l'OIE dans les régions. Il est encore tôt pour évaluer l'effet du renforcement de ce niveau de gouvernance régionale mais il est probable qu'il aura un impact sur les niveaux nationaux et sur le niveau global de gouvernance.

Référentiel « Une seule santé »

A cette recomposition des processus des politiques publiques s'ajoute une recomposition des contenus. Le renforcement du niveau international s'accompagne également d'une tentative de décloisonnement des interventions des différentes OI en réponse au défi de la coordination posé par l'expérience passée du SRAS et de la grippe aviaire. L'adoption d'un référentiel commun, le référentiel « Une seule santé » en est un signe fort.

Comme mentionné plus haut, le concept « Une seule santé » a été adopté par la communauté internationale en décembre 2007. Outre la volonté d'internationalisation de la gouvernance des risques sanitaires dont témoigne la promotion de ce référentiel, il indique également une tentative de décloisonner les approches sectorielles des questions sanitaires. A l'origine de ce concept se trouve le symposium organisé en septembre 2004 par l'ONG Wildlife Conservation Society sur les maladies actuelles et potentielles qui circulent ou seraient susceptibles de circuler entre les hommes, les animaux domestiques et la faune sauvage. A l'issue de ce symposium, les participants, parmi lesquels de nombreuses organisations internationales (entre autres OMS, FAO, OIE, IUCN) énoncent les « 12 principes de Manhattan », à la base du concept « One World, One Health » (34) et donc à l'origine du concept « Une seule santé ». Ces principes entendent souligner que la santé humaine, la santé animale et la santé de l'écosystème ne font qu'un, justifiant une approche intersectorielle et une recherche pluridisciplinaire.

Le cadre stratégique élaboré par la suite par les OI – FAO, OMS, OIE, Unicef, Banque mondiale et United Nations System Influenza Coordination (UNSIC) – pour contribuer à la mise en œuvre de ce principe (7) permet d'affirmer leur volonté de collaborer pour un traitement intersectoriel des maladies émergentes.

Accords OMS/FAO/OIE

Cette volonté s'affirme également dans la multiplication des accords de coopération passés entre ces organisations internationales. Pour faire face au désordre initial dans les réponses de la communauté internationale à l'émergence du H5N1, les OI organisent d'abord une réflexion commune sur la grippe aviaire (8), puis sur la grippe et autres zoonoses (9), et enfin plus généralement sur les risques sanitaires à l'interface animal, homme, écosystème (10). En avril 2005, l'OIE et la FAO lancent un nouveau réseau scientifique mondial (OFFLU) pour le soutien aux services vétérinaires dans le contrôle de la grippe animale, dont le but est de renforcer la coopération entre les experts de la santé animale et ceux de la santé humaine (18). Puis en 2006, des accords sont signés entre l'OMS, l'OIE et la FAO autour de l'organisation du Global Early Warning System (GLEWS, <http://www.glews.net/>) pour la mise en commun des systèmes d'informations épidémiologiques de ces organisations. Un accord officiel entre la FAO et l'OIE, complété récemment par le cadre global pour la lutte contre les maladies transfrontalières (GF-TADs), vise à renforcer les capacités de contrôle des maladies animales de manière coordonnée à l'échelle mondiale et régionale. On a déjà cité plus haut, la création par la FAO et l'OIE des centres régionaux de santé animale.

Si les collaborations s'intensifient donc entre les OI, on remarque cependant que malgré la prétention d'intégrer la question environnementale dans la démarche « Une seule santé », cette présence reste limitée. En effet, si la puissante ONG internationale Wildlife Conservation Society est à l'origine de ce concept, la question environnementale est aujourd'hui essentiellement limitée à la prise en compte de la santé de la faune sauvage (plutôt que d'intégrer une approche plus globale des écosystèmes). Malgré ces limites, une telle approche offre de nombreuses opportunités aux ONG d'environnement qui sont à présent sollicitées par les programmes de recherche sur les maladies émergentes pour leurs compétences dans le domaine de l'écologie des espèces potentiellement réservoirs (ou parfois uniquement pour la capture et l'identification des ces espèces comme c'est le cas avec les chauves-souris) (2).

■ DISCUSSION

L'OMS et l'OIE ont construit leur légitimité sur l'éradication de la variole en 1978 pour la première et sur l'éradication de la peste bovine en 2011 (confirmée en 2012) pour la seconde (Résolution 18/2011 de la 79^e Session générale annuelle de l'OIE). En ligne de mire de leur action se trouvait l'objectif d'une diminution progressive des maladies présentes sur la liste des maladies à notification obligatoire. La situation est à présent bien différente. A la deuxième transition épidémiologique qui devait voir les maladies infectieuses remplacées par les maladies chroniques, a succédé la troisième transition, celle des maladies émergentes et réémergentes et des résistances aux antibiotiques (1, 11). Dans ce contexte, l'ambition des OI n'est plus tant de voir se réduire la liste des maladies à notification obligatoire que, comme nous l'avons exposé plus haut, de se préparer à tout événement en laissant davantage de place dans les critères de notification à la nouveauté (par exemple nouvelle souche, nouvelles caractéristiques épidémiologiques d'un agent pathogène connu) et donc de préserver un domaine d'obligation de notification volontairement très large. Il est intéressant de noter à ce propos que, lors des travaux du PIP Framework, les participants ont eu de nombreuses difficultés à se mettre d'accord sur ce qui pouvait être défini comme un virus nouveau, ceci en raison du nombre de facteurs d'émergence encore inconnus. Par

conséquent, certains cadres réglementaires définis par l'OMS et l'OIE le sont parfois sur des bases scientifiques encore instables.

A l'objectif premier d'éradication ou de contrôle de maladies connues s'ajoute celui de préparation à l'inconnu : avec l'épisode du H5N1, l'élaboration de plans nationaux de préparation à la pandémie grippale (dont on ignore toujours aujourd'hui quel en sera le virus responsable mais dont on suppose qu'il résultera d'une mutation du H5N1) devient une condition d'accès, dès 2005, à des financements de la communauté internationale. L'expérience de l'émergence du virus H1N1 en 2009 a cependant mis en lumière l'excès de prudence de ce type de système : elle a donné lieu au lancement d'une alerte mondiale de pandémie, ceci pour un virus qui finalement n'a pas entraîné de conséquences graves. L'opinion publique a jugé l'alerte disproportionnée. L'OMS s'en est défendu en justifiant de la nécessité de disposer d'un réseau sensible et de la difficulté à prévoir la dangerosité d'un pathogène, même une fois son émergence avérée (voir par exemple les réponses de l'OMS au rapporteur du Conseil de l'Europe) (6).

Et à la communication de ces OI qui mettaient antérieurement en avant des certitudes scientifiques, succède avec H5N1 la mise en avant de l'incertitude. Ainsi, dans un document de l'OMS (25) peut-on lire, page 4, « Les grandes inconnues : pourquoi ne peut-on apporter de réponses certaines aux questions qui se posent », et tout le long du texte des « peut-être », « nous ne savons pas », « là encore nous l'ignorons », « personne ne peut le dire ». Mais les OI ajoutent que cette situation d'incertitude ne doit cependant pas justifier l'inaction : le développement de recherches pour réduire ces incertitudes en même temps que le développement d'outils d'anticipation et d'intervention rapide deviennent une priorité (8, 9).

Parmi ces outils, la surveillance occupe une place majeure (7). Les OI justifient cela du fait de la complexité des facteurs d'émergence : ils sont nombreux, en interactions, variables selon les circonstances, ce qui rend difficile de prédire l'émergence (28). Cette surveillance est ainsi à la base de l'ensemble de cette nouvelle gouvernance internationale mise en place (4). Selon le coordinateur de l'UNISIC, « sans systèmes de surveillance et de déclaration efficaces, nous sommes coincés » (17).

■ CONCLUSION

Nous avons pu vérifier, à travers les résultats et réflexions présentés, l'existence de recompositions dans le processus et le contenu des politiques mises en œuvre à l'échelle internationale dans la gestion des émergences zoonotiques. Nous avons montré ainsi successivement que (a) l'émergence des virus du SRAS et H5N1 a provoqué une réaction des OI dans le sens d'une redéfinition de leur référentiel d'action, (b) ce référentiel entend promouvoir un renforcement de la gouvernance internationale des risques sanitaires et une recomposition du système d'acteurs mobilisés autour de ces questions, et (c) ce référentiel vise, d'une part, à un traitement intersectoriel des émergences et, d'autre part, à l'adoption d'un objectif d'anticipation plutôt que d'éradication.

Nous avons ainsi montré que le souci d'anticipation de ces risques potentiels repose principalement sur des outils de surveillance et une exigence de transparence qui mettent la production et la circulation de l'information sanitaire au cœur du dispositif. Ces résultats permettent de conclure que le monde des organisations internationales s'est largement saisi de la question des émergences zoonotiques et des incertitudes qui leur sont associées, en révisant les modes de gestion des risques sanitaires classiques.

Nous avons mis l'accent ici sur les OI comme des entités ayant leurs propres cultures, dynamiques, logiques et intérêts. Ce faisant

nous avons malheureusement passé sous silence les logiques nationales qui s'affrontent pour la définition et la mise en œuvre de l'action de ces organisations. Certains auteurs ont souligné comment la réponse internationale à la problématique des maladies émergentes reflète l'intérêt des pays occidentaux (25, 29). Certains pays, comme les Etats-Unis, se sont montrés *leaders* dans la diffusion de ce que King (16) appelle « *an emerging diseases world-view* ». D'autres pays ont au contraire opposé des résistances à ce qu'ils considèrent comme une menace à leur souveraineté (la Chine par exemple avec l'épisode du SRAS) ou une injuste répartition des coûts et bénéfices associés à l'émergence de maladies nouvelles (cas de l'Indonésie déjà cité à propos du partage des virus et des vaccins).

Une autre limite de cette recherche est liée au fait que les changements ne sont décrits dans le cadre de cette étude qu'à travers les discours et les instruments juridiques internationaux. Il resterait à examiner leur mise en œuvre pratique aux différentes échelles de gouvernance. On peut supposer cette mise en œuvre assez limitée à l'échelle nationale si l'on se réfère aux travaux déjà réalisés dans d'autres domaines, qui soulignent en particulier les obstacles à la mise en œuvre de politiques intersectorielles (voir par exemple dans le cas de la sécurité alimentaire la difficile collaboration entre ministères de la santé et ministères de l'agriculture dans de nombreux pays ; 12). On pourrait également examiner dans quelle mesure cette stratégie des OI vise à asseoir et à renforcer leur légitimité. Mais quelles qu'en soient les motivations et la portée réelle, nous pouvons confirmer cette redéfinition du référentiel d'action permettant d'appréhender à la fois les risques avérés et les risques potentiels. Comme dans de nombreux domaines du risque, le problème des maladies émergentes se trouve essentiellement cadré en termes de sécurité sanitaire.

Malgré une volonté d'anticipation, la question de la vulnérabilité reste peu abordée. Les facteurs d'émergence qu'avait soulignés Garrett dans son célèbre ouvrage (11), comme « la revanche de la forêt tropicale » et les résistances aux antibiotiques, ou encore « les usines à virus » auxquels Blandin et Bové comparent les fermes d'élevage hyperintensif (« Grippe A : il faut en finir avec les usines à virus », *Le Monde* 21.25.09) ne sont pas traités. Le concept « Une seule santé » et les stratégies adoptées pour sa mise en œuvre postulent l'existence d'un consensus et d'une vision commune autour de ces menaces, négligeant les différences politiques et les conflits d'intérêts : cette stratégie, selon Scoones et Forster (30), est dominée par une vision des pays du Nord, focalisée sur la sécurité sanitaire (et privilégiant un cadrage du risque épidémique en termes de foyers, de crises, d'émergence) et laissant de côté la question de l'inégalité structurelle d'accès aux ressources et d'exposition aux risques. L'accent est mis sur la surveillance dans le domaine épidémiologique comme outil majeur de la sécurité. Cette surveillance dans le domaine épidémiologique suppose une participation des éleveurs. Or, il semble que si l'adhésion des pays du Sud au projet « Une seule santé » reste à vérifier, il en va de même de celle des éleveurs, notamment ceux des pays du Sud fortement stigmatisés par ce nouveau référentiel. Ces éleveurs pourraient percevoir les dispositifs qui lui sont associés comme une tentative de plus de la part des autorités de normaliser leurs pratiques et de renforcer leur contrôle (à travers notamment des dispositifs de surveillance épidémiologique, de traçabilité). La façon dont les éleveurs des pays du Sud se sont saisis de ces enjeux devrait susciter de nouvelles recherches.

Remerciements

Cette recherche a été conduite dans le cadre du projet « Emergence et risques sanitaires » (<http://atp-emergence.cirad.fr/>) financé par

le Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement (Cirad).

BIBLIOGRAPHIE

1. BARRETT R., KUZAWA C.W., MCDADE T., ARMELAGOS G., 1998. Emerging and re-emerging infectious diseases. The third epidemiologic transition. *Annu. Rev. Anthropol.*, **27**: 227-247.
2. BINOT A., MORAND S. (in print). Implementation of the One Health strategy. Lessons learnt from community based natural resource programs for communities' empowerment and equity within an Ecohealth approach. In: Morand S., Dujardin J.-P., Lefait-Robin R., Apiwathnasorn C., Eds, Socio-ecological dimensions of infectious diseases in Southeast Asia. Singapore, National Singapore University Press.
3. BORRAZ O., 2008. Les politiques du risque. Paris, France, Presses de Sciences Po, 294 p.
4. BUSH G.W., 2005. Statement at the 2005 UN World Summit, High Level Plenary Meeting of the 60th session of the General Assembly. (www.un.org/webcast/summit2005/statements/usa050914.pdf)
5. CALAIN P., 2007. Exploring the international arena of global public health surveillance. *Health Policy Plann.*, **22**: 2-12.
6. CONSEIL DE L'EUROPE, 2010. La gestion de la pandémie H1N1 : nécessité de plus de transparence, document 12283. Flynn P., rapporteur, Rapport de la Commission des questions sociales, de la santé et de la famille. Bruxelles, Belgique, Conseil de l'Europe – Assemblée parlementaire (<http://assembly.coe.int/ASP/Doc/XrefViewHTML.asp?FileID=12463&Language=FR>)
7. FAO, OIE, OMS, UNSIC, UNICEF, WB, 2008. The strategic framework for reducing risks of infectious diseases at the animal-human-ecosystems interface. Contributing to One World, One Health. (www.fao.org/docrep/011/aj137e/aj137e00.HTM)
8. FAO, OIE, WHO, 2008. In: Joint Scientific Consultation, Avian influenza at the human-animal interface, Verona, Italy, 7-9 Oct. 2008. (www.fao.org/avianflu/en/conferences/verona_2008.html)
9. FAO, OIE, WHO, 2010. In: 2nd Joint Scientific Consultation, Influenza and other emerging zoonotic diseases at the human-animal interface, Verona, Italy, 27-29 Apr. 2010. (www.fao.org/avianflu/en/conferences/verona_2010.html)
10. FAO, OIE, WHO, 2011. Sharing responsibilities and coordinating global activities to address health risks at the animal-human-ecosystems interfaces. A tripartite concept note. The FAO-OIE-WHO Collaboration. (www.who.int/influenza/resources/documents/tripartite_concept_note_hanoi_042011_en.pdf)
11. GARRETT L., 1994. The coming plague: New emerging diseases in a world out of balance. New York, USA, Farrar, Straus and Giroux, 750 p.
12. GARRETT J., NATALICCHIO M., Eds., 2011. Working multisectorially in nutrition. Principles, practices and case studies. Washington, DC, USA, IFPRI, 229 p.
13. GILBERT C., 2002. La fin des risques ? *Quaderni*, **48** : 111-120.
14. GILBERT C., HENRY E., eds, 2010. Comment se construisent les problèmes de santé publique. Paris, France, La Découverte, 290 p.
15. KECK F., 2010. Une sentinelle sanitaire aux frontières du vivant. Les experts de la grippe aviaire à Hong Kong. *Terrain*, **54** : 26-41.
16. KING N.B., 2002. Security, disease, commerce: Ideologies of postcolonial global health. *Soc. Stud. Sci.*, **32**: 763-789.
17. NABARRO D., 2009. One World, One Health: The links between animal and human health are clearly emerging. *IAEA Bull.*, **51**: 27-31.
18. OFFLU, 2011. An OFFLU Agenda for influenza research priorities in animal species. (www.offlu.net/)
19. OIE, 2005. Fourth Strategic Plan 2006-2010. Paris, France, OIE. (www.oie.int/doc/document.php?numrec=3321403)
20. OIE, 2005. Terrestrial animal health code. Paris, France, OIE. (www.oie.int/fr/normes-internationales/code-terrestre/acces-en-ligne/)
21. OIE, 2007. A brief history of the OIE. *Bulletin* (1) : 6-18.
22. OMS, 2005. Le règlement sanitaire international. Genève, Suisse, OMS. (www.who.int/ihr/fr/)
23. OMS, 2005. Le RSI. Note d'information n° 1. Genève, Suisse, OMS. (www.who.int/ihr/about/fr/)

24. OMS, 2005. Notification et autres obligations du RSI (2005) relatives à la présentation de rapports. Note d'information n° 2. Genève, Suisse, OMS. (www.who.int/ihr/about/fr/)

25. OMS, 2005. Communication en cas de flambée épidémique. Genève, Suisse, OMS, 24 p.

26. OMS, 2007. Rapport sur la santé dans le monde 2007. Genève, Suisse, OMS, 91 p.

27. OMS, 2011. Cadre de préparation en cas de grippe pandémique pour l'échange des virus grippaux et l'accès aux vaccins et autres avantages. Genève, Suisse, OMS. (http://apps.who.int/gb/pip/pdf_files/pandemic-influenza-preparedness-fr.pdf)

28. OMS, FAO, OIE, 2004. Report of the WHO/FAO/OIE joint consultation in emerging zoonotic diseases, 3-5 May 2004.

29. SCOONES I., 2010. Avian influenza. Science, policy and politics. In: Pathway to sustainability. London, UK, Earthscan, 261 p.

30. SCOONES I., FORSTER P., 2008. The international response to highly pathogenic avian influenza: Science, policy and politics. Brighton, UK, STEPS Center, 56 p.

31. VALLAT B., 2006. Le rôle des organisations internationales dans la surveillance et la maîtrise des épizooties. *Bull. Acad. Vet. France*, **159** : 361-367.

32. VALLAT B., 2007. Protéger notre planète des maladies émergentes liées à la mondialisation. *OIE Bulletin (2)* : éditorial.

33. VALLAT B., 2009. Un monde, une seule santé. *Bulletin (2)* : éditorial.

34. WILDLIFE CONSERVATION SOCIETY, 2004. One World One Health. (www.wcs.org/conservation-challenges/wildlife-health/wildlife-humans-and-livestock/one-world-one-health.aspx)

Accepté le 05.12.2013

Summary

Figuié M., Peyre M. The 'One Health' concept: an answer to uncertainty in the international governance of emerging zoonotic diseases?

From the analysis of the system of reference 'One Health' and the development of legal instruments of the World Health Organization (WHO) and the World Organisation for Animal Health (OIE), we examine how these international organizations manage uncertainties associated with recent emerging zoonotic diseases. We show that from risk management to uncertainty management, these international organizations have greatly expanded their scope of action, in particular through the mandatory notification system. At the same time, they promote intersectoral management (especially between human and animal health) and broaden the array of actors legitimized to intervene in these issues. The previous objective of eradication of a limited number of clearly identified diseases is extended to prepare for the unknown. This model of management re-enforces the role of information for epidemiological surveillance.

Keywords: Zoonosis – Animal health – International organization – Disease surveillance – Risk management – Health policy.

Resumen

Figuié M., Peyre M. El concepto "One Health": una respuesta a la incertidumbre en la gobernanza internacional de las zoonosis emergentes?

A partir del análisis de la referencia "One Health" y de la evolución de los instrumentos jurídicos de la Organización Mundial de la Salud (OMS) y de la Organización Mundial de Sanidad Animal (OIE), examinamos cómo estas organizaciones internacionales integran la gestión de la incertidumbre asociada a las emergencias zoonóticas recientes. Mostramos que pasando de una gestión de riesgos a la de las incertidumbres, estas organizaciones internacionales extienden considerablemente su dominio de acción, notablemente a través del sistema de notificación obligatoria. Al mismo tiempo, éstas promueven una gestión inter seccional (entre salud humana y salud animal en particular) y un agrandamiento del sistema de actores reconocidos como legítimos para intervenir en este dominio. El objetivo anterior de erradicación de un número limitado de enfermedades claramente identificadas cede el lugar a una voluntad de preparación para lo desconocido. Este dispositivo refuerza el papel de la información para la supervisión epidemiológica.

Palabras clave: Zoonosis – Sanidad animal – Organización internacional – Vigilancia de enfermedades – Gestión de riesgos – Política de salud.

Field evaluation of avian encephalomyelitis maternal antibody transfer in chicken flocks in Southwest Nigeria

O.A. Oladele^{1*} C.O. Onwuka¹

Keywords

Poultry – Avian encephalomyelitis virus – Layer chicken – Broiler chicken – Hemagglutination test – Vaccination – Nigeria.

Summary

Avian encephalomyelitis (AE) is controlled by ensuring adequate level of maternal antibodies in chicks. Incessant outbreaks in chicken flocks in Southwest Nigeria in spite of vaccination of breeders prompted the assessment of AE virus antibody levels in breeder flocks and their progeny. Five prevaccinated chicken breeder flocks (A, B, C, D and E) were selected in Ibadan, Oyo State, and Mowe, Ogun State. Blood samples were collected from fifteen breeders from each flock, as well as their chicks at 1, 7 and 14 days of age and sera subjected to the passive hemagglutination test. Ranges of titers, modal titers, mean geometric titers (MGTs) and maternal antibody transfer rates were determined for each flock. MGTs ranged between 3.3 ± 0.09 and 4.8 ± 0.14 in breeder flocks, 0.8 ± 0.09 and 2.4 ± 0.21 in day-old chicks, and 2.8 ± 0.15 and 3.9 ± 0.06 in 7-day-old chicks. The highest values in all categories were observed in broiler flock D. MGTs ranged between 1.4 ± 0.18 and 2.3 ± 0.17 in 14-day-old chicks, and the highest value was found in broiler flock C. In general, significant ($p < 0.05$) declines in MGTs were recorded from breeder flocks to day-old chicks. Maternal antibody transfer rates were higher in broiler flocks C and D with 50 and 40.9%, respectively, whereas those of pullet flocks A, B and E were 24.2, 19.5 and 19.5%, respectively. Results showed that by six months post-vaccination, maternal antibody transfer was low especially in pullet flocks, resulting in low to undetectable antibody titers in day-old chicks. A modification of the vaccination schedule is therefore advised.

INTRODUCTION

Avian encephalomyelitis (AE) is an infectious viral disease of poultry, which occurs in young chickens, turkeys, pheasants, Japanese quails, pigeons, ducklings and partridges (4, 17, 19). It is characterized by clinical signs of central nervous system disorder, particularly ataxia and tremors of the head, neck and limbs from where the name epidemic tremor was derived. The clinical signs are usually accompanied by high morbidity and variable mortality. Older poultry can become infected but rarely develop clinical signs, except a drop in egg production in layers (6).

Avian encephalomyelitis virus (AEV) belongs to the Picornaviridae family and was temporarily classified as a *Hepatovirus* due to its relatedness to hepatitis A virus (6, 10). It has recently been re-classified as a *Tremovirus* (6) and only one serotype exists, i.e. AEV-1. All strains are enterotropic but some strains are more neurotropic than others, thus exhibiting varying levels of pathogenicity (6). The disease occurs worldwide including Nigeria (2), Zimbabwe (5) and Sudan (1). AE is a disease of economic concern to poultry farmers as it causes decrease in egg production in layers, decrease in hatchability, neurologic signs in chicks, and survivors are considered unprofitable (14).

Control is mainly by vaccination of breeders and layers with live or inactivated vaccine before the onset of laying to prevent vertical transmission of the virus and ensure transfer of maternal antibodies to progeny. Transfer of maternal antibodies from hens plays a crucial role in the protection of chicks against many poultry

1. Department of Veterinary Medicine, University of Ibadan, Ibadan, Nigeria.
Tel: +234 806 113 8531
E-mail: Lade.oladele@gmail.com / lade_ed@yahoo.co.uk

* Corresponding author

pathogens (16), in particular AE virus (20). Immunity develops in two to three weeks and is believed to be long lasting (18). However, incessant outbreaks of AE in poultry farms in Southwest Nigeria in spite of breeder vaccination remain a challenge. This study was therefore conducted to assess titers of AE antibodies post-vaccination in selected chicken breeder flocks and maternal antibody levels in their respective chicks. Maternal antibody transfer rates were also determined.

MATERIALS AND METHODS

Chicken flocks

Five chicken breeder flocks designated as flocks A, B, C, D and E, from two selected farms in Ibadan, Oyo State, and Mowe, Ogun State, in Nigeria, were used. Breeder flocks A, B and C were located in Ibadan whereas breeder flocks D and E were located in Mowe. Flocks A, B and E consisted of Isa Brown pullet breeders, and flocks C and D consisted of Anak broiler breeders. Parent stocks A, B, C and D were 36, 71, 36 and 45 weeks of age, respectively, and were vaccinated with AE live vaccine (Calnek 114, FATRO s.p. A-Ozzano Emilia {BO} – Italy) at 13 weeks of age, whereas parent stock E was 43 weeks of age and was vaccinated at 11 weeks. They were housed in naturally ventilated open-sided houses.

Twenty-five day-old chicks hatched from each flock were housed at a different location in an open-sided housing facility, in separate pens per flock for ease of monitoring. The chicks hatched from the batch of eggs laid on the same day the parent stocks were sampled for blood. They were fed with broiler chick starter (UAC Vital Feed®) and multivitamins (Vitalyte®) were administered till two weeks of age.

Blood collection

Fifteen chickens were randomly selected from each breeder flock and were sampled for blood (3 ml) via the jugular vein into plain vacutainer tubes. Blood samples were left slanted on the bench at room temperature and allowed to clot. Serum samples were harvested into eppendorf tubes, stored at -20°C and tested for the presence of AE antibodies within one week of collection. Blood samples were also collected from twelve of the twenty-five chicks from each flock at one-day-old terminally (intracardially), as well as at 7 and 14 days of age by jugular venipuncture.

Passive hemagglutination test

Serum samples were subjected to passive hemagglutination assay as described by Penner and Hennessy (15). Known positive anti-serum was developed by inoculating two adult chickens from a disease-free flock belonging to the Department of Veterinary Medicine (which tested negative to AE virus antibody), with diluted AE vaccine (Calnek, Italy) equivalent to 10 doses, intramuscularly. The procedure was repeated twice within three weeks after which the chickens were sampled for serum, ten days after the second inoculation.

A suspension of turkey red blood cells (RBC) was harvested and washed three times in phosphate buffered saline (PBS). It was incubated with equal volume of 3% formalin in PBS for 20 h at 37°C (i.e. formalinization). Excess formalin was removed by repeated washing in double distilled water. The suspension of formalinized RBC was incubated with a solution of diluted tannic acid in PBS, pH 6.4, for 30 min at 56°C and subsequently washed in PBS. AEV vaccine diluted 1:10 in PBS was mixed with an equal volume of RBC suspension and incubated for 2 h at 37°C (sensitization). The suspension of sensitized RBC was centrifuged,

washed three times in PBS, and RBC were re-suspended in PBS to a final concentration of 1%.

Fifty microliters of PBS were dispensed into each well of the microtiter plate, then 50 µl of sera were dispensed into the first well in each row of wells. A double-fold serial dilution was carried out in the rows till the eleventh well from which 50 µl were discarded. Fifty microliters of 1% AE antigen sensitized RBC suspension were then added into each well. The contents of the microtiter plate were mixed gently on a microshaker and allowed to incubate at room temperature from 40 min to 1 h. The last well showing agglutination of red blood cells was recorded as the AE antibody titer of the respective serum sample.

Analysis

Range of antibody titers, modal titer (i.e. most frequently occurring titer) and mean geometric titer (MGT) of each flock of chickens were determined and recorded. Rates of maternal antibody transfer from parent stocks to chicks were also determined by expressing the mean antibody titers in chicks as percentage of the mean titer of the respective breeder flock. MGTs were compared between flocks at each sampling time and within flocks using the analysis of variance and Duncan's multiple range test.

RESULTS

Ranges of antibody titers, modal titers and mean geometric titers of flocks A, B, C, D and E are presented in Table I. In the parent stocks, modal titers were 8 in flock A, and 16 in both flocks B and E, and they were 16 and 32 simultaneously within each group in flocks C and D. MGTs of the five parent stocks ranged between 3.3 and 4.8. In the day-old chick flocks, modal titers were 2, 0, 4, 8 and 2, in flocks A, B, C, D and E, respectively, and their MGTs ranged between 0.8 and 2.4. In the 7-day-old chick flocks, the modal titer was 8 in flocks A, B, C and E, and 16 in flock D. MGTs ranged between 2.8 and 3.9 at this age. In 14-day-old chick flocks, modal titers were 8, 8, 4 and 8 in flocks A, B, C and D, respectively, and 2 and 4 simultaneously in flock E; MGTs ranged between 1.4 and 2.3.

Significant declines ($p < 0.05$) in AE antibody titers, i.e. MGTs, were observed from parent stocks to day-old chicks (Figure 1). This was followed by significant ($p < 0.05$) increases at 7 days and significant ($p < 0.05$) declines at 14 days. Rates of maternal antibody transfer from parent stocks to day-old chicks were 24.2, 19.5, 40.9, 50.0 and 19.5% in flocks A, B, C, D and E, respectively.

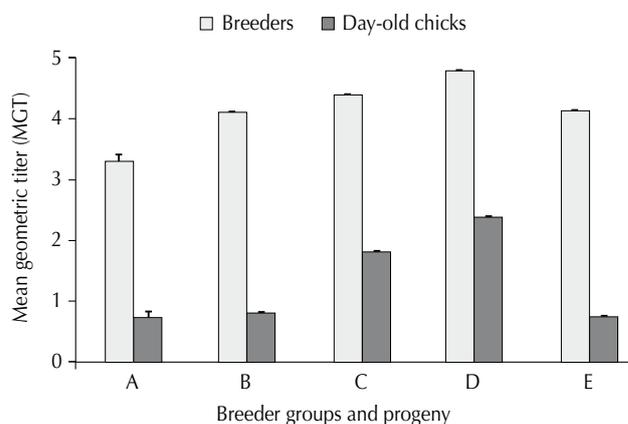


Figure 1: Avian encephalomyelitis virus maternal antibody transfer in selected breeder flocks in Southwest Nigeria.

Table 1

Avian encephalomyelitis virus antibody passive hemagglutination titers in breeder flocks and progeny

Flock Class	Range of titers	Modal titer	Mean geometric titer	Rate of maternal antibody transfer (%)	
A	Parent stock	8-16	8	3.3 ± 0.09 ^a	24.2
	Day old	0-2	2	0.8 ± 0.09 ^c	
	7 days old	0-16	8	2.9 ± 0.23 ^a	
	14 days old	0-8	8	2.2 ± 0.19 ^b	
B	Parent stock	8-32	16	4.1 ± 0.11 ^a	19.5
	Day old	0-8	0	0.8 ± 0.19 ^d	
	7 days old	4-16	8	2.9 ± 0.16 ^b	
	14 days old	0-8	8	1.8 ± 0.26 ^c	
C	Parent stock	8-64	32,16	4.4 ± 0.15 ^a	40.9
	Day old	2-4	4	1.8 ± 0.08 ^c	
	7 days old	4-16	8	2.8 ± 0.15 ^b	
	14 days old	0-8	4	2.3 ± 0.17 ^c	
D	Parent stock	16-64	32,16	4.8 ± 0.14 ^a	50.0
	Day old	0-8	8	2.4 ± 0.21 ^c	
	7 days old	8-16	16	3.9 ± 0.06 ^b	
	14 days old	0-8	8	2.0 ± 0.23 ^c	
E	Parent stock	8-32	16	4.1 ± 0.12 ^a	19.5
	Day-old	0-2	2	0.8 ± 0.09 ^c	
	7 days old	2-16	8	3.0 ± 0.17 ^b	
	14 days old	0-8	2,4	1.4 ± 0.18 ^c	

Values with different superscripts are significantly different ($p < 0.05$)

DISCUSSION

Chicks depend on maternal antibodies as the main source of immune protection until they become immunocompetent. Our objective was to evaluate the capacity of chicks from vaccinated parent stocks to withstand challenges of avian encephalomyelitis outbreaks in poultry farms in Southwest Nigeria. As a first step, we assessed the rate of maternal antibody transfer from AE vaccinated hens to their progeny. There was a decrease in modal titers from breeder stocks (8-32) to day-old chicks (0-8). Also, MGTs reduced significantly ($p < 0.05$) from range 3.3-4.8 in breeder stocks to 0.75-2.41 in day-old chicks with transfer rates ranging from 19.5 to 50%. This decrease in antibody levels from parent stocks to day-old chicks is a regular occurrence in poultry health management (7). Hamal et al. (8) reported a dam-to-chick antibody transfer of approximately 30%. In our study, transfer rates of 40.9 and 50% were obtained for the two broiler flocks C and D, respectively. By contrast, it was 24.2, 19.5 and 19.5% in the three pullet flocks A, B and E, respectively. Sharma (16) evidenced a relation between high maternal antibody transfer efficiency and high antibody level in parent stock. Thus, the two broiler parent flocks C and D, which had the highest antibody titers in this study, i.e. 4.4 ± 0.15 and 4.8 ± 0.14 , respectively, also had the highest maternal antibody transfer rates compared with the pullet parent flocks. This finding also concurred with Nemeth and Bowen (11) who reported high

West Nile virus maternal antibody titers and extended decay period in chicks whose dams had high titers.

Vaccination programs for the control of most viral diseases of chickens such as Newcastle disease and infectious bursal disease usually comprise one or two live vaccines administered early in life, as well as an inactivated (killed) vaccine administered prior to lay in order to ensure transfer of high level maternal antibody to progeny (12, 13). However, the breeder flocks investigated in this study were vaccinated only once with a live AE vaccine at either 11 or 13 weeks of age as recommended by the manufacturer and which is the usual practice in the industry (6). This schedule contrasts with multiple vaccinations used for the control of most diseases of poultry (6). It is our belief that the administration of a single live vaccine to these breeder flocks was responsible for the generally low antibody levels in parents with subsequent low to undetectable levels in day-old chicks.

The absence of detectable antibodies observed in some day-old chicks in most of the flocks is undesirable at this age as it may provide a portal of entry of infection into the flock. The higher maternal antibody titers, reflected by MGTs recorded at 7-day-old compared with day-old and 14-day-old titers, are believed to result from further release of immunoglobulins (IgY) from yolk sac into chick immediately post hatching. According to Vegad (18), the level of maternal antibodies in circulation of newly hatched chicks peaks at about 2-3 days of age and decreases thereafter to undetectable levels by 2-5 weeks of age.

The passive hemagglutination test used in this study was declared to be more sensitive than the immunodiffusion test which can detect antibodies as early as four days post-inoculation of AE virus (3). Thus, the absence of detectable antibodies in the serum of a large proportion of day-old chicks, which indicates inefficient transfer of maternal antibodies as a result of low levels in parent stocks, highlights the need to revise the vaccination schedule.

CONCLUSION

This study showed that by six months post-vaccination of breeders, AEV antibodies were low resulting in the inefficient transfer of maternal antibodies to chicks especially in pullet breeders. The administration of a secondary vaccine is therefore advised to boost the primary immune response. This should be an inactivated or killed vaccine administered prior to laying in order to prevent vertical transmission of the virus via eggs and decrease in egg production, which could occur with the use of live vaccines after the onset of lay.

REFERENCES

1. ABDELLAH E., BALLAL A., ABDELRAHIM S., 2007. Avian encephalomyelitis virus in Sudan. *Res. J. Anim. Vet. Sci.*, **2**: 9-11.
2. ADENE D.F., FABIYI S., BABARINDE Z.O., 1976. Isolation of avian encephalomyelitis virus in Nigeria. *Bull. Anim. Health. Prod. Afr.*, **24**: 9-12.
3. AHMED A.A.S., ABOU EL-AZM I.M., AYOUB N.N.K., TOUKHI B.I.M.E., 1982. Studies on the serological detection of antibodies to avian encephalomyelitis virus. *Avian Pathol.*, **11**: 253-262.
4. BODIN G., PELLERIN J.L., MILON A., GERAL M.F., BERTHELOT X., LAUTIE R., 1981. Etude de la contamination expérimentale du gibier à plumes (faisans, perdrix rouges, perdrix grises), par le virus de l'encéphalomyélite infectieuse aviaire. *Rev. Méd. Vét.*, **132**: 805-816.
5. CADMAN H.F., KELLY P.J., ZHOU R., DAVALAAR F., MASON P.R., 1994. A serosurvey using enzyme-linked immunosorbent assay for antibodies against poultry pathogens in ostriches (*Struthio camelus*) from Zimbabwe. *Avian Dis.*, **38**: 621-625.

6. CALNEK B.W., 2008. Avian encephalomyelitis. In: Saif Y.M., Fadly A.M., Glisson J.R., McDouglas L.R., Nolan L.K. Swayne D.E., Eds, Diseases of poultry, 12th Edn. Ames, IA, USA, Wiley-Blackwell, p. 430-441.

7. GHARAIBEH S., MAHMOUD K., AL-NATOUR M., 2008. Field evaluation of maternal antibody transfer to a group of pathogens in meat-type chickens. *Poult. Sci.*, **87**: 1550-1555.

8. HAMAL K.R., BURGESS S.C., PEVZNER I.Y., ERF G.F., 2006. Maternal antibody transfer from dams to their egg yolks, egg white and chicks in meat line of chickens. *Poult. Sci.*, **85**: 1364-1372.

9. ICTV, 2013. International Committee on Taxonomy of Viruses. Master species list (MSL). <http://ictvonline.org>

10. MARVIL P., KNOWLES N.J., MOCKETT A.M.A., BRITTON P., BROWN T.D.K., CAVANAGH D., 1999. Avian encephalomyelitis virus is a picornavirus and is most closely related to hepatitis A virus. *J. Gen. Virol.*, **80**: 653-662.

11. NEMETH N.M., BOWEN R.A., 2007. Dynamics of passive immunity in West Nile virus in domestic chickens (*Gallus gallus domesticus*). *Am. J. Trop. Med. Hyg.*, **76**: 310-317.

12. OIE, 2008. Terrestrial manual, chapter 2.3.12, Infectious bursal disease. Paris, France, OIE, p. 549-565.

13. OIE, 2009. Technical disease cards. Paris, France, OIE.

Résumé

Oladele O.A., Onwuka C.O. Evaluation sur le terrain du transfert des anticorps maternels contre l'encéphalomyélite aviaire dans des élevages de poulets du sud-ouest du Nigeria

L'encéphalomyélite aviaire (AE) est contrôlée par l'apport d'un niveau suffisant d'anticorps maternels chez les poussins. Des épidémies persistantes, malgré la vaccination des reproducteurs dans les élevages de poulets du sud-ouest du Nigeria, ont incité les auteurs à évaluer les taux d'anticorps contre le virus AE dans des troupeaux de reproducteurs et de leur progéniture. Cinq troupeaux de reproducteurs de poulets prévacinés (troupeaux A, B, C, D et E) ont été sélectionnés à Ibadan, Etat d'Oyo, et Mowe, Etat d'Ogun. Des échantillons sanguins ont été prélevés sur quinze reproducteurs de chaque troupeau ainsi que sur leurs poussins âgés de 1, 7 et 14 jours, et les sérums ont été soumis à l'épreuve d'hémagglutination passive. La variation des titres, la moyenne géométrique des titres (MGT) et le taux de transfert des anticorps maternels ont été déterminés pour chaque troupeau. La MGT a varié entre $3,3 \pm 0,09$ et $4,8 \pm 0,14$ dans les troupeaux de reproducteurs, $0,8 \pm 0,09$ et $2,4 \pm 0,21$ chez les poussins âgés d'un jour, et $2,8 \pm 0,15$ et $3,9 \pm 0,06$ chez les poussins âgés de 7 jours. Les valeurs les plus élevées toutes catégories confondues ont été observées dans le troupeau de poulets de chair D. La MGT a varié entre $1,4 \pm 0,18$ et $2,3 \pm 0,17$ chez les 14 poussins âgés de 14 jours, et la valeur la plus élevée a été obtenue dans le troupeau de poulets de chair C. Dans l'ensemble, la MGT des poussins d'un jour a baissé significativement ($p < 0,05$) par rapport à celle des reproducteurs. Les taux de transfert des anticorps maternels ont été plus élevés dans les troupeaux de poulets de chair C et D avec respectivement 50 et 40,9 p. 100, alors que ceux des troupeaux de poulettes A, B et E ont été respectivement de 24,2, 19,5 et 19,5 p. 100. Cette étude a montré que le transfert des anticorps maternels était faible six mois après la vaccination, en particulier dans les troupeaux de poulettes, se traduisant par des titres d'anticorps faibles ou indétectables chez les poussins âgés d'un jour. Une modification du calendrier de vaccination est donc recommandée.

Mots-clés : Volaille – Virus encéphalomyélite aviaire – Poule pondeuse – Poulet de chair – Epreuve d'hémagglutination – Vaccination – Nigeria.

14. OLUYEMI J.A., ROBERTS F.A., 2007. Avian encephalomyelitis. In: Poultry production in warm wet climates. Ibadan, Nigeria, Spectrum Books. ISBN 978-029-097-4

15. PENNER J.L., HENNESSY J.N., 1980. Passive haemagglutination technique for serotyping *Campylobacter fetus* subsp. *jejuni* on the basis of soluble heat stable antigens. *J. Clin. Microbiol.*, **12**: 732-737.

16. SHARMA J.M., 2003. The avian immune system. In: Saif Y.M., Barnes H.J., Glisson J.R., Fadly A.M., McDouglas L.R., Swayne D.E., Eds, Diseases of poultry, 11th Edn. Ames, IA, USA, Wiley-Blackwell, p. 5-16.

17. TOPLU N., ALCIGIR G., 2004. Avian encephalomyelitis in naturally infected pigeons in Turkey. *Avian Pathol.*, **33**: 381-386.

18. VEGAD J.L., 2008. Poultry diseases: A guide for farmers and poultry professionals. International Book Distributing p. 83-85. <http://ebooksfreedownload.org/2011/04/a-colour-atlas-of-poultry-diseases>

19. WELCHMAN D.B., COX W.J., GOUGH R.E., WOOD A.M., SMYTH V.J., TODD D., SPACKMAN D., 2009. Avian encephalomyelitis virus in reared pheasants: a case study. *Avian Pathol.*, **38**: 251-256.

20. WESTBURY H.A., SINKOVIC B., 1978. The pathogenesis of infectious avian encephalomyelitis. IV. The effect of maternal antibody on the development of the disease. *Aust. Vet. J.*, **54**: 81-85.

Accepté le 15.11.2013

Resumen

Oladele O.A., Onwuka C.O. Evaluación de campo de la transferencia de anticuerpos maternos contra la encefalomyelitis aviar en parvadas de pollos en el suroeste de Nigeria

La encefalomyelitis aviar (AE) se controla asegurando un nivel adecuado de anticuerpos maternos en pollitos. Brotes constantes, en parvadas de pollos en el suroeste de Nigeria, a pesar de la vacunación de los reproductores, impulsó la evaluación de los niveles de anticuerpos contra el virus AE en parvadas de reproductores y sus progenituras. Se seleccionaron cinco parvadas de pollos reproductores pre vacunados (grupos A, B, C, D y E) en Ibadan, estado de Oyo, Mowe y estado de Ogun. Se sangraron quince reproductores de cada grupo, así como sus pollitos, de 1, 7 y 14 días de edad, cuyos sueros se sometieron al test de hemoagglutinación pasiva. Se determinaron los rangos de titulación, promedios de las titulaciones geométricas (MGTs) y tasas de transferencia de los anticuerpos maternos para cada grupo. Los MGTs variaron entre $3,3 \pm 0,09$ y $4,8 \pm 0,14$ en parvadas de reproductores, $0,8 \pm 0,09$ y $2,4 \pm 0,21$ en pollitos de un día de edad y $2,8 \pm 0,15$ y $3,9 \pm 0,06$ en pollitos de 7 días de edad. Los valores más elevados de todas las categorías se observaron en el grupo D de reproductores. Los MGT variaron entre $1,4 \pm 0,18$ y $2,3 \pm 0,17$ en pollitos de 14 días de edad y el valor más elevado se encontró en el grupo C de pollos de engorde. En general, se registraron disminuciones significativas ($p < 0,05$) en MGTs en parvadas de reproductores a pollitos de un día de edad. Las tasas de transferencia de anticuerpos maternos fueron más elevadas en los grupos C y D de pollos de engorde, con 50 y 40,9%, respectivamente, mientras que los grupos de pollitas A, B y E fueron 24,2, 19,5 y 19,5%, respectivamente. El presente estudio mostró que a los seis meses post vacunación, la transferencia de anticuerpos maternos fue baja, especialmente en las parvadas de pollitas, resultando en titulaciones de anticuerpos bajas o no detectables en pollitos de un día de edad. Por lo tanto se recomienda una modificación de los esquemas de vacunación.

Palabras clave: Ave de corral – Virus encéfalomyelitis aviar – Gallina ponedora – Pollo de engorde – Prueba de hemagglutinación – Vacunación – Nigeria.

Performance of West African Dwarf goats fed maize offal diets supplemented with dry poultry excreta

N.M. Anigbogu^{1,2*} N.N.N. Nwagbara²

Keywords

Goat – Layer chicken – Excreta –
Maize – Weight gain – Feed intake –
Feed conversion efficiency –
Economic value – Nigeria.

Summary

The nutritional quality of poultry excreta in replacement of maize offal was evaluated in 16 growing West African Dwarf (WAD) goats (eight females and eight males about eight months of age) with an average liveweight of 6.5 kg. The goats were allotted to four different diets containing 0% (T1, control treatment), 10% (T2), 20% (T3) and 30% (T4) poultry excreta in maize offal based diets. Each animal was fed its assigned diet *ad libitum* for 120 days. Feed intake, daily weight gain, feed conversion ratio and fat efficiency ratio were generally higher ($p < 0.05$) in diets including poultry excreta. The feed cost per kilogram, cost per kilogram of weight gain and cost of production were generally lower ($P < 0.05$) with the inclusion of poultry excreta. The revenue, gross margin, return on investment and relative cost benefits were higher ($p < 0.05$) in diets that included poultry excreta and lowest in T1. The highest dress percentage was observed in T4 ($p > 0.05$). The leg, loin, rank, lean, shoulder, brisket cuts, fat and bone generally improved ($p < 0.05$) with the inclusion of poultry excreta in the diets. The bone:lean meat ratio increased similarly ($p > 0.05$) in all treatments, except in T3 where it was slightly higher. It is concluded that WAD goats could be sustained on poultry excreta as a component of formulated diets for increased performances in weight gain, feed conversion ratio, carcass yield, and increased economic benefits to farmers.

■ INTRODUCTION

In the southeast of Nigeria, many efforts have been made to improve the ruminant animal industry. However, the supply of major feeds, mainly roughages, has setback the enthusiastic growth of the industry both in the rural and the commercial production sectors, because of the lack of land availability to develop pasture (1, 9). The high demand for new feeds will have a major impact on the ruminant animal industry and production system. The problem is further aggravated by the fact that poultry excreta, industrial and farm wastes, which form the bulk of feed resources in the area, are poorly utilized and highly available all year round,

thus causing pollution to the environment (2, 9). Therefore, the situation encourages the possibility of using these feed resources in order to improve the production efficiency of ruminant production systems (5, 13).

Farm animals fed with excreta (i.e. coprophagy) is not new in farm animal feeding systems. Feeding swine and poultry is mostly based on manure in a multi-husbandry system of farm animal production involving feeding beef cattle, followed by swine, then by poultry (15). We became interested in the utilization of poultry excreta as a component of balanced feed for the West African Dwarf (WAD) goats mostly because of the pollution it causes to the environment, as a result of the poor waste disposal system of farm animal operations in Nigeria. Apart from this problem, it has been recognized that large amounts of nutrient with high quantity of uric acid are wasted, and their reuse is another way of creating edible protein from waste material. Poultry excreta are often disposed of uneconomically without any benefit, or left to create nuisance in the field. The amount of excreta that can be produced in seven days by various farm animals is as follows: a 2-kg hen

1. Life-Enzyme and Fine chemical Research, Michael Okpara University of Agriculture, Umudike, Umuahia, Abia State, Nigeria.

2. Department of Animal Nutrition and Forage Science, Michael Okpara University of Agriculture, Umudike, PMB 7267, Umuahia, Abia State, Nigeria.

* Corresponding author

E-mail: nmanigbogu@yahoo.com

produces 0.8 kg, a 650-kg cow produces 150 kg, and an 80-kg swine produces 40 kg (17). It is generally admitted that poultry excreta can be used as substrate for both algae and yeasts for feed-stuff, and in the production of maggots for poultry feed; however, the best option and the simplest way to use it is as a direct feed for farm animal nutrition, e.g. to feed goats, cattle and sheep, while avoiding polluting the environment.

Poultry excreta are a byproduct of the poultry industry. They are abundant in Nigeria, and could be used to reduce the gap between feed unavailability and nutrient requirements in ruminant animal production systems, if efforts are geared to explore the possibilities of its use as an alternative feed (5, 6). However, setbacks in the utilization of this waste in the farm animal feeding system include high levels in arsenic compounds, copper, salts, ashes, harmful microorganisms and drug residues which could be toxic and result in the poor productivity of farm stocks (11). It could also affect human health by poisoning if improperly used. The high levels of elements and other biochemical factors in poultry excreta could interact with proteins and minerals to form insoluble complexes. These interactions will depend on the relative properties of phenols, proteins, and poor processing, as well as minerals which could pose serious problems (3, 4).

Therefore, the use of poultry excreta in the ruminant production industry in the manufacturing of balanced diets for efficient production systems should be developed (6, 13). This may be appropriate for the biological conversion of poultry excreta into valuable feed, in order to make the enzymic hydrolysis more accessible in the ruminant farm animal feeding system. Therefore, an attempt has been made to show its effect on compounded complete diets for goat production in an intensive feeding system, through the replacement of maize offal with poultry excreta.

■ MATERIALS AND METHODS

This study was carried out at the Sheep and Goat Unit of the Teaching and Research Farm of Michael Okpara University of Agriculture, Umudike (MOUUAU), Abia State, Nigeria. Poultry excreta were collected from 10-month-old layers raised in cages as part of the poultry farm project. They were sun dried for three days and turned three times daily to obtain 85% dry matter, before being milled with a hammer-milling machine on a 1-mm sieve, then bagged for the study. Poultry excreta and maize offal as major feeds were analyzed according to AOAC (10) (Table I).

Table I
Chemical composition of maize offal and poultry excreta

	Maize offal (%)	Poultry excreta (%)
Dry matter	89.72	84.70
Nitrogen	1.70	4.29
Crude fiber	12.65	13.00
Ether extract	4.20	2.20
Nitrogen	1.71	4.29
Ash	4.30	27.00
MER/MJ/kg*	13.68	11.20

* Metabolizable energy for ruminant, in megajoules/kilogram

Sixteen WAD goats of both sexes (eight females and eight males) of 6.50 kg average body weight and aged about eight months were purchased at Isiala-Ngwa, North Local Government Area, Abia State, Nigeria. Each goat was housed separately in 1.5 m x 2.0 m well-ventilated pen with cemented floor and wood shavings as bedding materials. The animals were quarantined for 30 days and a prophylactic broad-spectrum antibiotic (long acting terramycin) was administered intramuscularly on the third day. IVOMEC was administered as a prophylactic treatment against internal and external parasites on the seventh day. Tissue Culture Rinder Pest Vaccine was also administered intra-muscularly on the fifteenth day. During this period the experimental rations were fed to the goats before the actual study began. The study lasted for 120 days. The pens were thoroughly washed and disinfected before introducing the goats.

The 16 WAD goats of the study were distributed between four dietary treatment groups of four (two females and two males). Each dietary treatment was replicated four times with one goat per replicate. The diets were referred to as T1, T2, T3 and T4 and included 0, 10, 20 and 30% poultry excreta, respectively (Table II). Chemical compositions are detailed in Table III. The goats were fed their

Table II
Composition of the experimental diets (%)

	T1	T2	T3	T4
Poultry excreta	0.0	10.0	20.0	30.0
Maize offal	30.0	20.0	10.0	00.0
Brewer's dried grain	50.0	50.0	50.0	50.0
Palm kernel cake	13.0	13.0	13.0	13.0
Molasses	5.0	5.0	5.0	5.0
Oyster shell	1.0	1.0	1.0	1.0
Salt	0.5	0.5	0.5	0.5
Vitamin premix*	0.5	0.5	0.5	0.5
Total	100.0	100.0	100.0	100.0

* HI-MIX® GROWER guaranteed added in 50 kg per ton. Description: Vitamin A, 8,000,000 IU; Vitamin D3, 2,000,000 IU; Vitamin E, 8,000 mg; Vitamin K3, 2,000 mg; Vitamin B1, 1,500 mg; Vitamin B2, 4,000 mg; Vitamin B6, 1,500 mg; Vitamin B12, 10 µg; Niacin, 15,000 mg; Pantothenic acid, 5,000 mg; Folic acid, 5,000 mg; Biotin, 20 µg; Cholinchloride, 100,000 mg; Manganese, 75,000 mg; Zinc, 45,000 mg; Iron, 20,000 mg; Copper, 4,000 mg; Iodine, 1,000 mg; Selenium, 200 mg; Cobalt, 500 mg; Antioxidant, 125,000 mg.

Table III
Analysis of the experimental diets (%)

	T1	T2	T3	T4
Poultry excreta	0.0	10.0	20.0	30.0
Dry matter	91.9	90.9	89.9	88.9
Nitrogen	2.6	2.8	3.1	3.4
Crude fiber	14.3	14.5	14.7	14.9
Ash	1.0	1.4	2.3	2.9
Ether extract	5.4	5.2	5.0	4.8
MER/MJ/kg*	8.9	8.8	8.8	8.8

* Metabolizable energy for ruminant, in megajoules/kilogram

respective diets for 120 days. Water mixed with vitamin-mix was provided *ad libitum*. Diets were fed at 3.5% of the body weight of the goats during the 30-day quarantine, after which they were fed at 5% of their body weight throughout the rest of the study, firstly at 9.00 am, then at 3.00 pm daily. Diet intake was measured by differences in body weight each time before the next feeding. The initial body weight of the experimental animals was measured at the beginning of the experiment and subsequently at weekly intervals. All the data obtained were recorded. The diets offered were adjusted weekly depending on the body weight without altering their quality, and the feed conversion ratio, feed intake and weight gain were determined (3). Economic benefits were based on the Nigerian Naira (NGN) and were calculated according to Anigbogu and Ezekwem (5). The fat efficiency ratio was calculated based on the formula:

$$\frac{\text{Gain in body weight}}{\text{Fat intake}}$$

The metabolizable energy for ruminant (in MJ/kg) was calculated as:

$$\frac{\text{Energy in feed ingredient} \times \text{Quantity of feed ingredient to be included}}{\text{Total weight of diet to formulate}}$$

The complete randomized design was used for the study and the data collected was subjected to the analysis of variance as described by Gomez and Gomez (18). When differences between treatment means were found significant, they were subjected to Duncan's new multiple range test as described by Gomez and Gomez (18).

RESULTS AND DISCUSSION

The results of the chemical analysis of poultry excreta and maize offal (Table I) showed that the nitrogen content improved by about 60.15% in favor of poultry excreta. This is similar to the result obtained by Bakshi and Fontenot (12), and Anigbogu and Ibe (8). Whereas crude fiber was higher in poultry excreta and lower in maize offal, energy was generally lower in poultry excreta than in maize offal.

Table IV shows performance characteristics of WAD goats depending on various parameters. The daily weight gain of goats was high ($p < 0.05$) in T4 (30% poultry excreta), followed by T3 (20% poultry excreta), then by T2 (10% poultry excreta) compared to that of goats in T1 (no poultry excreta but 30% maize offal). These results were similar to those of Kayouli et al. (20), and Fajesimin et al. (14). The highest daily feed intake was observed in T2 ($p < 0.05$), followed by T4, then by T3, and these intakes were much higher than that in T1 (16). The highest daily poultry excreta intake was observed in T4, followed by T3, then by T2, then by T1, revealing significant differences ($p < 0.01$) between treatments (19, 22).

The best feed conversion ratio ($p < 0.05$) (Table IV) was noted in goats fed the diets containing poultry excreta, as observed by other authors (19). The litter condition of the goats was better ($p > 0.05$) in T2, followed by T4, then by T3, then by T1, which compared favorably with results from other studies (23). The fat efficiency ratio noted in our study was generally high ($p < 0.05$) in goats fed the T2 diet, followed by T1, then by T3, then by T4 (23).

Based on the economic benefits studied, the feed cost per kilogram was lower for diets containing poultry excreta ($p < 0.05$) than for the diet with no poultry excreta (Table IV) (24). Also, the cost

per kilogram of weight gain was generally lower for diets containing poultry excreta ($p < 0.05$) than for the diet with no poultry excreta. The cost of production was lower for T4, followed by T3 ($p < 0.05$) than for T1 and T2, respectively (27). The revenue and gross margin were generally higher ($p < 0.05$) for diets containing poultry excreta than for that with no poultry excreta. The cost differential and relative cost benefit were generally better ($p < 0.05$) for poultry excreta based diets. The return on investment was higher ($p < 0.05$) for diets containing poultry excreta than for that with no poultry excreta (16, 21).

The dress percentage was generally higher ($p < 0.05$) in goats fed with poultry excreta than in those fed without poultry excreta, a result which agrees with those of other authors (7, 12). The highest ($p < 0.05$) leg cut value (3.80 kg) was observed with T4, followed by T3, then by T2, and they were much higher than that obtained with T1. A higher ($p < 0.05$) loin cut value was also obtained in goats fed poultry excreta than in those fed without poultry excreta

Table IV

Performance characteristics of West African Dwarf goats

Parameters	Treatment diets			
	T1	T2	T3	T4
Initial weight gain (kg)	6.3	6.8	6.7	6.4
Final weight gain (kg)	10.7 ^b	12.3 ^a	12.4 ^a	12.5 ^a
Daily feed intake (g)	583.0 ^b	629.0 ^a	616.0 ^a	622.0 ^a
Poultry excreta intake (g)	0.0 ^d	62.0 ^c	123.0 ^b	187.0 ^a
Daily weight gain (g)	36.0 ^b	46.0 ^a	48.0 ^a	51.0 ^a
Feed conversion ratio	16.2 ^b	13.7 ^a	12.8 ^a	12.2 ^a
Fat efficiency ratio	3.2	3.3	3.1	3.0
Litter condition	3.6	3.6	3.4	3.6
Cost benefit analysis (Nigerian Naira*)				
Feed cost/kg	23 ^c	22 ^c	20 ^b	19 ^a
Cost/kg weight gain	153 ^d	132 ^c	119 ^b	111 ^a
Cost of production	3228 ^c	3238 ^c	3085 ^b	2981 ^a
Revenue	3950 ^b	4533 ^a	4588 ^a	4616 ^a
Gross margin	721 ^d	1294 ^c	1504 ^b	1635 ^a
Cost differential	0 ^d	22 ^c	33 ^b	42 ^a
Relative cost benefit (%)	0.0 ^d	13.7 ^c	21.4 ^b	27.3 ^a
Return on investment (%)	22.3 ^d	40.0 ^c	48.8 ^b	54.8 ^a
Carcass yield and characteristics				
Dress percentage (%)	42.0	42.1	43.2	44.4
Leg cut (kg)	3.1 ^b	3.7 ^a	3.8 ^a	3.8 ^a
Loin cut (kg)	1.3 ^b	1.7 ^a	1.7 ^a	1.7 ^a
Rank cut (kg)	1.8 ^c	2.1 ^b	2.2 ^a	2.3 ^a
Shoulder cut (kg)	2.5 ^b	2.8 ^a	2.9 ^a	3.1 ^a
Brisket cut (kg)	1.5 ^b	1.8 ^a	1.8 ^a	1.8 ^a
Lean cut (kg)	6.9 ^a	8.0 ^b	8.1 ^b	8.1 ^b
Bone (kg)	2.7 ^b	3.1 ^a	3.1 ^a	3.1 ^a
Fat (kg)	0.9 ^b	1.0 ^a	1.0 ^a	1.0 ^a
Bone:meat ratio	1:2.60	1:2.60	1:2.63	1:2.60

Means within the same row with different letters are significantly different ($p < 0.05$)

* 1 € ≈ N210

(19, 21). The lean cut values were higher ($p < 0.05$) in diets containing poultry excreta than in that with no poultry excreta, and they were similar to those reported by Lal et al. (21). The rank, shoulder and brisket cut values generally improved ($p < 0.05$) with the inclusion of poultry excreta in the diets in relation to the diet without excreta (19). The fat and bone values were greatly improved ($p < 0.05$) with the incorporation of poultry excreta in the diets in relation to the diet without excreta (16). The bone:lean meat ratio was generally better ($p > 0.05$) in goats fed poultry excreta than in goats fed without excreta (25, 26).

With the intensification of poultry husbandry in Nigeria, not many poultry farmers have land where poultry waste-management can be intensified or where manure can be spread. The results of our experiments indicated further that poultry excreta if properly processed could be successfully included as a component to balance the ration of goats. In our study, we noted that fresh poultry excreta if properly processed contained about 4.29% nitrogen on dry matter basis, about half of which is derived from uric acid. This supports the argument that in ruminants such as goats digestibility of the nitrogen in poultry excreta is close to 80%, with an organic matter composition of about 65% (17, 27). It was further observed that poultry excreta are generally rich in minerals and nutrients which make some supplements unnecessary. As observed in our study, fresh poultry excreta ferment very quickly. They must be dried without delay if they are meant to be used in farm animal nutrition in order to improve productivity of goat husbandry. The drying temperature of poultry excreta should not exceed 90°C to prevent damage to the proteins and should not be below 70°C to sterilize excreta nutrients, which are then ground to facilitate removal of feathers.

With regard to the uric acid found in poultry excreta, the general performance noted in this study showed that it was properly utilized by the goats because of the beneficial microbes that reside in the reticulo-rumen (15). However, the uric acid is not easily dissolved in the rumen fluid since the ammonia is only slowly released during metabolism. It is therefore more efficiently utilized than other non-protein nitrogen feed resources. The rumen microflora takes about three weeks to adapt to the uric acid. As observed in the present study, for the WAD goats, dried poultry excreta could be used like any other protein concentrate present in feed (15, 17). Furthermore, when dried poultry excreta are included in the compounded feeding system and the ration is maintained at a normal energy level, the weight gains and other performances of the goats are satisfactory (17). Poultry excreta low energy value may have contributed to its low palatability as noted in our study; another factor could be the non-pelleting of the diets for easy acceptability by the goats, when poultry excreta were fed at higher levels as noted in Table IV. Various steps could be taken to improve palatability and general acceptability of poultry excreta as part of the formulated diets, i.e. addition of fats, sugar, molasses, and other sweeteners (6, 15). In our observation, feeding goats with poultry excreta as part of a feeding system does not affect the flavor of goat meat.

The study also revealed the general acceptability of poultry excreta by goats. Performance increased when including 10% excreta, then was stable at excreta levels up to 30%. The nitrogen level was lower in 0% (but with 30% maize offal) poultry excreta diet, which was why there was a reduction in the performance of goats fed this control diet as also reported by Ososanya (25). Results of the present work showed that, based on the composition of the diets, the feed efficiency, carcass composition, economic costs and other parameters studied were greatly improved when replacing maize offals with dry poultry excreta as feed for WAD goats. It is important to include poultry excreta (layer excreta) as part of the goat

ration in totality without forage addition (3, 5) because urbanization and industrialization drastically shrank land availability for production of pasture for ruminants and other herbivores. Poultry excreta should be processed and included as part of the complete ration not only for higher animal productivity, but also to increase economic benefits and mitigate environmental impacts, as long as they are properly used (19). However, in such intensive husbandry conditions, the use of poultry excreta needs to be studied further for enhanced productivity (3, 20).

■ CONCLUSION

Replacing maize offals with dry poultry excreta in the ration greatly improved the performance of WAD goats (19). It is therefore recommended that, when poultry excreta are cheap, they should be included at 10 to 30% levels in the formulated concentrate diets of WAD goats. The poultry excreta used in this study were obtained from layer hens raised in cages. Their nutritive value is different from that of a broiler litter, which is mixed with either straw, wood shavings, rice hulls or other wastes that are high in ligno-carbohydrate components. These wastes mixed with broiler excreta have a poor nutritive value compared to layer excreta from cages (3, 20). Therefore, studies should be conducted on broiler litter as feed for farm animals, if it is to be used as a component of a mixed diet. In this study, layer excreta were used as part of a complete mixed diet. In practice, if they are well managed, farmers could use poultry excreta of layer origin and housed in cage as total replacement to forage where there is scarcity of land to produce pasture, and where waste is abundant. However, excreta contain toxic substances, if they are not well processed or processed with poor compounds, they may affect goat production (16, 25).

Based on our observation, fresh poultry excreta if properly processed and used will contain no toxic products. Some parasites and pathogens can be disseminated in the manure, but there will be no risk if the manure is pretreated by heating; disease transmission from poultry to goat is unlikely. Similarly, there seems to be no serious problem of drug residues in poultry excreta if properly processed. Ruminants, especially sheep, are sensitive to copper. Manure from animals receiving high levels of copper in their diets should be fed with care.

REFERENCES

1. ABEKE F.O., OKON U.O., 2010. Strategy for utilizing poultry manure in dry season feeding cattle. In: Proc. 15th Conf., Animal Science Association of Nigeria, University of Uyo, Nigeria, 13-15 Sept. 2010, **15**: 594-596.
2. ABEKE F.O., OKON U.O., OSUHOH C.U., 2010. Strategy for sustainable manure utilization. In: Proc. 15th Conf., Animal Science Association of Nigeria, University of Uyo, Nigeria, 13-15 Sept. 2010, **15**: 597-599.
3. ADELEYE I.O.A., 1991. Dried poultry droppings as a source of dietary nitrogen for sheep fed corn-cobs based diets. *W. Afr. J. Biol. Appl. Chem.* (1-4): 34-37.
4. AKANGBE F.G., ADELEYE I.O.A., 2002. Effect of supplementation of poultry droppings meal on the live weight changes of West African Dwarf sheep. In: Proc. 7th Conf., Animal Science Association of Nigeria, University of Agriculture, Abeokuta Nigeria, **7**: 177.
5. ANIGBOGU N.M., EZEKWE E.P., 2011. Protein values of life-enzyme (*Zymomonas mobilis* degraded sawdust / poultry litter) cake produced and fed to West African Dwarf goats. In: 7th African Dairy Conference and Exhibition, Dar-es-Salaam, Tanzania, 25-27 May 2011. (In press).
6. ANIGBOGU N.M., EZEKWE E.P., UGWUENE M.C., 2011. Potentials of WAD goats fed life-enzyme (*Zymomonas mobilis* degraded sawdust/poultry litter) sweetened cake. *Niger. Agric. J.*, **42**: 233-239.

7. ANIGBOGU N.M., BIENSTMAN P., VAN DAMMA V., 2006. Changes in live weight at slaughter and value of wholesale weight of pure breed West African Dwarf lambs on high plan of nutrition. *J. Res. Agric.*, **36**: 78-81.
8. ANIGBOGU N.M., IBE S.N., 2005. The effect of crude-enzyme residue of sawdust / poultry litter in the nutrition of West African Dwarf goats. In: Proc. 30th Annu. Conf. Nigerian Society for Animal Production, University of Nigeria, Nsukka, 20-24 March 2005, **30**: 175-178.
9. ANIGBOGU N.M., OKOCHA C.N., 2003. Feed value and digestibility of three sources of poultry litter and untreated sawdust in sheep nutrition. In: Proc. 28th Annu. Conf. Nigerian Society for Animal Production, **28**: 283-286.
10. AOAC, 2010. Official methods of analysis. Washington, DC, USA Association of Official Analytical Chemists.
11. ARAVE C.W., DOBSON D.C., ARAMBEL M.J., PURCELL D., WALTERS J.L., 1990. Effect of poultry waste feeding on feed intake, body weight and milk yield of Holstein cows. *J. Dairy Sci.*, **73**: 129-130.
12. BAKSHI M.P.S., FONTENOT J.P., 1997. Processing and nutritive evaluation of broiler litter as livestock feed. *Anim. Feed Sci. Technol.*, **74**: 337-345.
13. ENIOLORUNDA O.O., AJEKIGBE B.A., LAMIDI O.S., 2008. Performance characteristics and nutrient utilization of growing Yankassa ram fed varying levels of corncobs treated with fermented poultry droppings. *J. Agric., Forest. Soil Sci.*, **6**: 182-190.
14. FAJESIMIN A.N., ALOKAN J.A., ARO S.O., OLOWOFESO O., FAWOLU T.S., 2008. Nutrient intake, digestibility and weight gain of West African Dwarf sheep fed rumen content poultry droppings mixed diets. In: Proc. 33rd Annu. Conf. Nigerian Society for Animal Production, Onabanjo University, Ayetoro, Nigeria, 16-20 March 2008, **33**: 579-582.
15. FAO, 1981. Rome, Italy, FAO. (Animal Production and Health Series, No 12)
16. FAWOLA T.S., FAJEMISIN A.N., 2011. Performance and micro-minerals utilization by West Africa Dwarf ram fed rumen content - poultry droppings mixed based diet. In: Proc. 36th Annu. Conf. Nigerian Society for Animal Production, University of Abuja, Nigeria, 13-16 March 2011, **36**: 533-535.
17. GOHL B., 1981. Tropical feeds. Rome, Italy, FAO, 529 p.
18. GOMEZ K.A., GOMEZ A.A., 2005. Statistical procedures for agricultural research. Los Banos, Laguna, Phillipines, International Rice Research Institution, 294 p.
19. HATIPOGLU F.S., GULAY M.S., KARAKAS F.O., OGUZ N., FIDANIC U.R., YILDIZ G., AKDENIZ J., 2006. The Effects of feeding dried poultry manure on weight gain, feed conversion ratio and some blood values in lambs. *J. Dairy Sci.*, **88** (Suppl.): 23-24.
20. KAYOULI C., DEMEYER D.I., ACCACHA M., 1993. Evaluation of poultry litter and olive cakes as alternative feed for ruminant production in Tunisia. In: Proc. Int. Conf. Increasing Livestock Production through Utilization of Local Resources, Beijing, China, 18-22 Oct. 1993, p. 420-440.
21. LAL D., SARASWART M.L., MEGI S.S., SIUGH B., 1986. Effect of energy supplement on poultry litter based ration of sheep. *Indian J. Anim. Nutr.*, **3**: 17-20.
22. MOUJAHED-RAACH A., MOUJAHED N., KAOULI C., 2001. Strategy of utilization of locally available crop residues and by-products for livestock feeding in Tunisia. *Tropicultura*, **19**: 15-20.
23. NGELE M.B., ADEGBOLA T.A., BAGORO S.E.S., 2006. Nutritive value of rice straw treated with poultry litter. In: 31st Ann. Conf. Nigerian Society for Animal Production, Bayero University, Kano, Nigeria, 12-15 March 2006, **31**: 417-420.
24. OKAGBARE G.O., AKISOYINU A.O., 1998. Comparative utilization of sewage, poultry droppings and groundnut cake rations by West African goats. *Niger. J. Anim. Prod.*, **2**: 58-62.
25. OSOSANYA T.O., 2010. Effect of varying levels of broiler litter on growth performance and nutrient digestibility of West Africa Dwarf lambs. *Nigerian J. Anim. Sci.*, **12**: 123-128.
26. OSOSANYA T.O., OLORUNNISOMO O.A., ODEDIRE J.A., 2005. Nutritive evaluation and dry matter degradability of broiler litter based diet in West African Dwarf sheep. *Trop. J. Anim. Sci.*, **8**: 75-78.
27. RANKIS D.J., 1995. Options for broiler litter. *Feed mix – Int. J. Feed, Nutr. Technol.*, **13**: 8-11.

Accepté le 02.12.2013

Résumé

Anigbogu N.M., Nwagbara N.N.N. Performance des chèvres Naines d'Afrique de l'Ouest alimentées à partir de résidus de maïs améliorés avec des fientes de volaille séchées

La qualité nutritionnelle des fientes de volaille en remplacement de résidus de maïs a été évaluée chez 16 chèvres Naines d'Afrique de l'Ouest (WAD) en croissance (huit femelles et huit mâles âgés environ de huit mois) avec un poids vif moyen de 6,5 kg. Les chèvres ont été réparties dans quatre lots contenant respectivement 0 p. 100 (L1, lot témoin), 10 p. 100 (L2), 20 p. 100 (L3) et 30 p. 100 (L4) de fientes de volaille dans des régimes à base de résidus de maïs. Chaque animal a été alimenté *ad libitum* pendant 120 jours selon le régime assigné. La prise alimentaire, le gain de poids quotidien, le taux de conversion alimentaire et l'efficacité lipidique ont été dans l'ensemble plus élevés ($p < 0,05$) dans les régimes comportant des fientes de volaille que dans L1. Le coût par kilogramme d'aliment, le coût par kilogramme de gain de poids et le coût de production ont été en général moins élevés ($p < 0,05$) avec l'incorporation de fientes de volaille dans l'alimentation. Les gains, la marge brute, le retour sur investissement et les avantages relatifs de coûts ont été plus élevés ($p < 0,05$) dans les régimes comportant les fientes de volaille. Le rendement carcasse le plus élevé a été observé dans L4 ($p > 0,05$) et le plus faible dans L1. La cuisse, le dos, le flanc, le maigre, l'épaule, l'entrecôte, la graisse et les os ont été généralement améliorés ($p < 0,05$) par l'inclusion de fientes de volaille dans l'alimentation. Le ratio os / viande maigre a augmenté de façon similaire ($p > 0,05$) dans tous les lots, sauf dans L3 où il a été légèrement plus élevé. En conclusion, les chèvres WAD peuvent être alimentées à partir de régimes comportant des fientes de volaille afin d'accroître, d'une part, les performances comme le gain de poids, le taux de conversion alimentaire, le rendement de la carcasse et, d'autre part, les avantages économiques des agriculteurs.

Mots-clés : Caprin – Poule pondeuse – Excrément – Maïs – Gain de poids – Prise alimentaire – Efficacité conversion alimentaire – Valeur économique – Nigeria.

Resumen

Anigbogu N.M., Nwagbara N.N.N. Rendimiento de las cabras Enanas de África del Oeste alimentadas a base de dietas de residuos de maíz complementadas con excremento de pollo seco

Se evaluó la calidad nutricional del excremento de pollo como reemplazo de residuos de maíz en 16 cabras Enanas de África (WAD) del Oeste en crecimiento (ocho hembras y ocho machos, de alrededor ocho meses de edad), con un peso vivo promedio de 6.5 kg. Las cabras fueron asignadas cuatro dietas diferentes conteniendo 0% (T1, tratamiento control), 10% (T2), 20% (T3) y 30% (T4) de excremento de pollo en dietas a base de residuos de maíz. Cada animal se alimentó su dieta asignada *ad libitum* durante 120 días. El consumo de alimento, la ganancia de peso diario, la tasa de conversión alimenticia y la tasa de eficiencia de grasas fueron generalmente más elevadas ($p < 0,05$) en dietas incluyendo el excremento de pollo. El costo del alimento por kilo, costo por kilo de la ganancia de peso y el costo de producción fueron generalmente menores ($P < 0,05$) con la inclusión de excremento de pollo en las dietas de las cabras. El ingreso, margen bruto, retorno de inversión y costo beneficio relativo fueron más elevados ($P < 0,05$) en dietas que incluían excremento de pollo y menores en T1. El porcentaje mayor de ropaje se observó en T4 ($p < 0,05$). La pata, lomo, rango, tejido magro, hombro, corte de falda, grasa y hueso generalmente mejoraron ($p < 0,05$) con la inclusión de excremento de pollo en las dietas. La tasa hueso:tejido magro aumentó de manera similar ($p < 0,05$) en todos los tratamientos, excepto en T3, en donde fue ligeramente más elevada. Se concluye que las cabras WAD podrían ser mantenidas con excremento de pollo como componente de dietas compuestas, para aumentar los rendimientos en ganancia de peso, tasa de conversión alimenticia, rendimiento de carcasa y beneficios económicos más elevados para los finqueros.

Palabras clave: Caprino – Gallina ponedora – Excreta – Maíz – Ganancia de peso – Ingestión de piensos – Eficiencia de conversión del pienso – Valor económica – Nigeria.

Méthodes d'enquête pour l'estimation des taux démographiques des cheptels de ruminants domestiques tropicaux. Synthèse, limites et perspectives

M. Lesnoff¹

Article issu de l'atelier Cirad/INRA « Systèmes d'information et outils de pilotage du secteur élevage dans les pays du Sud », Montpellier, France, 11-13 juillet 2011 (cf. l'éditorial)

Mots-clés

Ruminant – Bétail – Dynamique des populations – Mortalité – Reproduction – Enquête – Zone tropicale.

Résumé

La démographie est un déterminant essentiel de la production des cheptels de ruminants domestiques élevés en conditions extensives tropicales. L'estimation des taux démographiques (taux de reproduction, de mortalité et d'exploitation des animaux) est nécessaire pour évaluer l'effet d'interventions zootechniques sur la production des cheptels. Cette estimation est cependant particulièrement difficile et contraignante. Les systèmes d'élevage traditionnels posent des problèmes spécifiques et importants pour la collecte des données dans les troupeaux. La présente synthèse fait le point sur les méthodes d'enquête utilisées en milieu villageois pour estimer les taux démographiques des ruminants : les suivis individuels d'animaux, les suivis de troupeaux sans identification individuelle des animaux et les enquêtes rétrospectives transversales. Des perspectives de recherche sont proposées pour améliorer les méthodes, notamment dans le cadre des suivis nécessaires pour prendre en compte la variabilité interannuelle des taux démographiques.

■ INTRODUCTION

Les ruminants domestiques élevés en conditions extensives représentent une valeur économique déterminante pour de nombreux pays du Sud, à l'échelle nationale comme à l'échelle des ménages (74). La démographie animale est un facteur majeur de la production des cheptels de ruminants domestiques (40). Chaque année, le bilan des naissances et des morts au sein des troupeaux se traduit par une production effective (animaux abattus, vendus, etc.) ou une variation du stock animal. La démographie des cheptels dépend de nombreux facteurs incluant le potentiel génétique des animaux, les pratiques d'élevage et les conditions environnementales. Ces facteurs peuvent interagir de manière plus ou moins complexe. Par exemple, une année pluvieuse peut être favorable en termes de disponible alimentaire et donc augmenter la fertilité des femelles reproductrices mais, d'un autre côté, augmenter le risque parasitaire et ainsi défavoriser la survie des animaux. Un autre exemple est qu'une bonne fertilité des femelles en année favorable n pourra se traduire, chez les bovins, par plus de veaux nés en année $n+1$ qui elle sera beaucoup moins favorable. Les modèles

démographiques sont particulièrement utiles pour intégrer ces interactions et étudier leurs effets sur la production des cheptels et des troupeaux. Différentes approches de modélisation démographique, mathématiques et informatiques ont été décrites dans la littérature pour diverses zones climatiques (tropicales vs tempérées), aussi bien pour l'élevage extensif qu'intensif. Des typologies de modèles sont régulièrement proposées (par exemple, pour les plus récentes, 1, 19, 63).

Les modèles démographiques sont composés de systèmes d'équations ou de règles informatiques contenant un ensemble de paramètres communément appelés taux démographiques, comme par exemple les taux de reproduction et de mortalité des animaux. Outre leur intérêt comme paramètres des modèles, les taux démographiques sont également considérés comme des indicateurs synthétiques du potentiel zootechnique et des pratiques de conduite des animaux (68). Lorsqu'ils ne sont pas connus par avance, les taux démographiques doivent être estimés à partir de données collectées sur le terrain. Dans les pays du Sud, contrairement aux pays du Nord, l'identification des animaux et la collecte routinière des données animales (entre autres, productions et mobilités géographiques) sont rares. Les zootechniciens travaillant dans ces pays ont été amenés à développer leurs propres dispositifs d'étude de terrain, devant faire face à de nombreuses contraintes. Les troupeaux sont souvent dispersés (divagation des animaux, pâturages

1. Cirad, UMR Systèmes d'élevage méditerranéens et tropicaux, campus international de Baillarguet, TA C-112 / A, F-34398 Montpellier Cedex 5, France.
Email : matthieu.lesnoff@cirad.fr

hors des villages) et mobiles (transhumances saisonnières, nomadisme), et donc difficiles à observer. Les éleveurs ne gardent généralement pas de traces écrites de l'histoire de vie des animaux. Par ailleurs, l'étalement des naissances sur l'ensemble de l'année (malgré des saisonnalités souvent marquées) rend difficile l'identification des différentes cohortes d'animaux présentes dans les troupeaux lors des visites de terrain et, en conséquence, l'estimation de l'âge des animaux. Cette information est cependant essentielle pour l'estimation des taux démographiques.

Après une courte synthèse des connaissances sur la notion de taux démographique, le présent article discute les trois principales méthodes d'enquête utilisées pour estimer les taux démographiques des cheptels de ruminants élevés en conditions extensives dans les zones tropicales : les suivis individuels d'animaux, les suivis de troupeaux sans identification individuelle des animaux, et les enquêtes transversales rétrospectives. Des perspectives de recherche sont également proposées pour améliorer les méthodes d'enquête.

Dans cet article, les méthodes d'enquête sont présentées dans le cadre de l'estimation de taux démographiques moyens à l'échelle de cheptels agrégeant les troupeaux d'un territoire : terroir villageois, région administrative, pays et région climatique. Cette estimation nécessite de réaliser des échantillonnages de troupeaux familiaux, définis ici par les animaux gérés par une même famille. Les techniques d'échantillonnage utilisées, en général basées sur des typologies et des stratifications préliminaires, ne sont pas propres aux taux démographiques et ne font pas l'objet du présent article.

■ TAUX DEMOGRAPHIQUES

De nombreux taux démographiques ont été proposés pour les cheptels domestiques (9, 10, 25, 30, 49, 50, 54, 57), cependant souvent sur des bases empiriques. La conception et la mise en œuvre d'une méthode d'enquêtes démographiques nécessite, en préliminaire, de définir précisément quels sont les taux ciblés dans l'étude. Ces taux dépendent eux-mêmes du modèle démographique sous-jacent.

Deux grands types de modèles démographiques sont rencontrés dans la littérature concernant l'élevage tropical (34, 40). Le premier type de modèle, le plus simple, décompose le cheptel uniquement par sexe et par classe d'âge (35, 41, 67, 72). Le second type de modèle, plus mécaniste, se distingue au niveau du cheptel femelle. Après une succession de classes d'âge, les femelles atteignent un stade de maturité sexuelle (début des chaleurs), puis le modèle représente explicitement des cycles reproductifs successifs : période de service, fécondation, gestation puis anœstrus post-partum. Après la maturité, l'âge n'est en général pas représenté directement.

Définir le type de modèle utilisé est nécessaire mais non suffisant pour définir les taux démographiques. Il faut également préciser comment sont décomposés les processus démographiques. Par exemple, pour les paramètres des modèles sexe et âge, certains auteurs (70, 75) comptabilisent les avortements (c'est-à-dire les gestations non arrivées à terme) et les mort-nés dans la mortalité naturelle, alors que d'autres séparent ces événements. Certains auteurs (76) incluent également dans la mortalité naturelle les abattages d'urgence, c'est-à-dire les abattages effectués lorsque l'animal ne peut plus se déplacer en raison d'un accident ou d'une maladie, alors que d'autres les considèrent comme des exploitations car la viande de ces animaux peut en général être valorisée. Ce type de variantes existe également pour la reproduction.

Certains auteurs (66) incluent notamment les avortements et les mort-nés dans le taux de mise bas, alors que d'autres définissent des taux spécifiques.

Les décompositions choisies pour les processus démographiques doivent être clairement exprimées au niveau des questionnaires d'enquête car, au final, ces choix ont des effets élevés sur la valeur des estimations. Par exemple, dans des troupeaux bovins au Kenya (32), un tiers de la mortalité rapportée pour les veaux entre 0 et 1 an provenait des avortements et des mort-nés. Dans des troupeaux de petits ruminants au Mali (70), 5 des 28 p. 100 de mortalité rapportée pour les jeunes entre 0 et 5 mois provenaient d'avortements.

Enfin, la conception ou le choix d'une méthode d'enquête peuvent être guidés par la définition mathématique des taux démographiques ciblés. Un taux démographique peut représenter deux paramètres mathématiques distincts, une probabilité vs un taux instantané (en anglais *hazard rate*), qui ont des formules de calcul et des interprétations différentes (40, 44, 45). Certaines méthodes d'enquête sont plus ou moins bien adaptées à l'estimation de l'un ou de l'autre paramètre.

Dans le présent article, les méthodes d'enquêtes démographiques sont discutées dans le contexte des modèles démographiques sexe et âge. Ces modèles contiennent deux types de taux démographiques (44, 45) : les taux naturels qui quantifient des performances animales (reproduction et mortalité naturelle des animaux) et les taux de gestion qui réfèrent à des événements liés directement à des décisions de l'éleveur (abattage, vente, achat, prêt et don d'animaux). Ces derniers peuvent être décomposés en taux d'exploitation (sorties d'animaux des troupeaux) et en taux d'importation (entrées d'animaux dans les troupeaux). La figure 1 montre un exemple de décomposition des processus démographiques utilisée récemment pour les enquêtes en milieu tropical (45, 46), et les taux démographiques correspondants sont listés dans le tableau I. D'autres décompositions ont été proposées par le passé (26, 49).

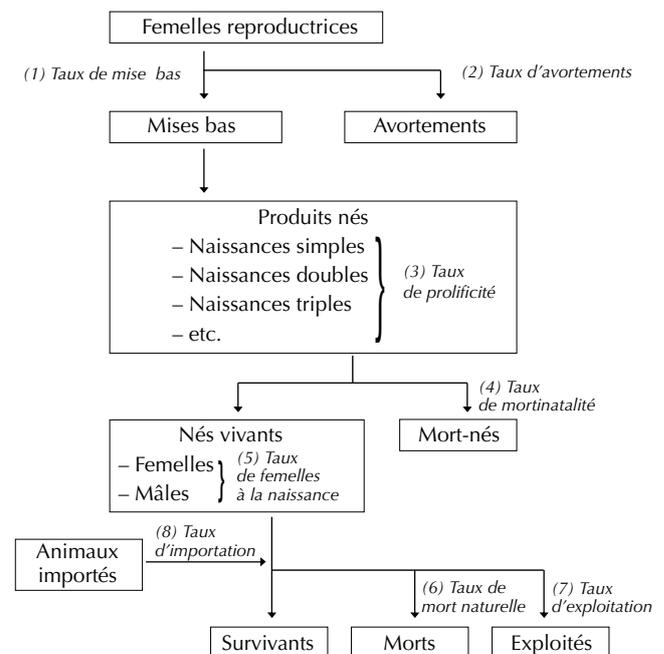


Figure 1 : schéma des événements démographiques dans les troupeaux utilisé pour définir la liste des paramètres démographiques présentés dans le tableau I. Source : Lesnoff et coll., 2007, Quae, adapté de Landais et Sissokho, 1986, Cirad-lemvt.

Tableau I

Taux démographiques utilisés comme paramètres d'entrées dans les modèles démographiques simulant la dynamique d'un cheptel par sexe et classe d'âge. Les taux sont définis par période de temps et catégorie d'animaux

Taux naturel	Définition
(1) Taux de mise bas	Probabilité ou taux instantané ^a qu'une femelle ait une mise bas
(2) Taux d'avortement ^b	Probabilité ou taux instantané qu'une femelle ait un avortement
(3) Taux de prolificité	Nb. moyen de produits (nés vivants + mort-nés) par mise bas
(4) Taux de mortinatalité ^c	Probabilité qu'un produit soit mort-né
(5) Taux de femelles à la naissance	Probabilité qu'un produit né vivant soit une femelle
(6) Taux de mort naturelle ^d	Probabilité ou taux instantané qu'un animal meure de mort naturelle durant une période de temps donnée
Taux de gestion	Définition
(7) Taux d'exploitation	Probabilité ou taux instantané qu'un animal soit exploité (abattage ^e , vente, prêt, don, etc.)
(8) Taux d'importation	Probabilité ou taux instantané qu'un animal soit importé dans le troupeau (achat, prêt, don, etc.)

Sources : Lesnoff et coll., 2007, Quae, 2011, Quae

^a Un taux instantané correspond à ce qui est appelé *hazard rate* en anglais. Les différences conceptuelles entre taux instantanés et probabilités et les formules de calcul sont détaillées dans Lesnoff et coll., 2007, Quae, 2011, Quae.

^b Un avortement est une gestation qui n'a pas été à son terme et qui a engendré un produit non viable.

^c Les mort-nés ne sont pas inclus dans la mortalité. La mortalité ne concerne que les produits nés vivants.

^d La mortalité naturelle correspond à toutes les causes de mort excépté les abattages. Les abattages d'urgence en raison d'accidents ou de maladies sont considérés comme des exploitations et non des mortalités.

^e A l'intérieur de la ferme.

■ SUIVIS INDIVIDUELS

Principes

Le suivi individuel des animaux est la méthode de référence pour collecter des informations sur les performances zootechniques (17, 29, 62, 69), notamment les données servant à l'estimation des taux démographiques. La méthode consiste à suivre pendant une ou plusieurs années un même échantillon de troupeaux dont tout ou partie des animaux sont identifiés individuellement, le plus souvent par des boucles auriculaires. Des enquêteurs spécialement formés visitent régulièrement les troupeaux, par exemple tous les quinze jours ou tous les mois. A chaque visite, ils font l'inventaire des animaux présents et notent tous les événements démographiques survenus depuis la visite précédente (mise bas, mortalité, exploitation et importation d'animaux). D'autres données peuvent également être collectées au niveau individuel (par exemple, croissance pondérale, état nutritionnel, production laitière) ou par groupe d'animaux (alimentation, soins vétérinaires). Chaque événement démographique est référencé par sa date d'occurrence, ce qui permet ensuite de calculer avec fiabilité les taux démographiques par période de temps et par catégorie d'animaux.

Applications

En Afrique subsaharienne, les suivis individuels ont été mis en œuvre dans plusieurs contextes. Avant les années 1980, la majorité des études étaient réalisées dans des stations expérimentales dans lesquelles les conditions d'élevage étaient souvent « améliorées » (par exemple par l'utilisation systématique d'intrants alimentaires ou vétérinaires). L'alimentation des animaux était plus ou moins contrôlée (pâturage et complémentation) et tous les animaux recevaient les prophylaxies et les traitements vétérinaires nécessaires à leur développement. Un des objectifs était d'évaluer le potentiel

des races locales ou des animaux issus de croisements avec des races exotiques.

Les zootechniciens se sont ensuite intéressés à des suivis individuels en dehors du milieu contrôlé, en réalisant des suivis directement auprès des éleveurs. Bien que plus difficiles à mener, ces dispositifs répondaient à une volonté de mieux connaître les performances des troupeaux dans les conditions représentatives de l'élevage traditionnel (7, 17, 33, 77). Ces performances sont en général bien inférieures à certaines atteintes dans les stations de recherche. Par exemple en Afrique de l'Ouest, des suivis individuels de ruminants ont été mis en place entre 1980 et 1995 au Niger (21, 22), au Mali (73, 77), au Sénégal (18, 24) et en Gambie (2, 58, 79).

Ces études novatrices ont permis d'améliorer considérablement les connaissances sur la productivité des troupeaux et les pratiques d'exploitation des animaux en élevage traditionnel. Plusieurs institutions internationales ont eu un rôle moteur dans cette démarche, comme le Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement (Cirad), l'International Livestock Research Institute (ILRI, anciennement International Livestock Centre for Africa ou ILCA) et l'International Trypanotolerance Centre (ITC). Deux suivis particulièrement longs ont été mis en place et maintenus au Sénégal par le Cirad en collaboration avec l'Institut sénégalais de recherche agricole (ISRA) : un suivi de treize années (1983-95) des petits ruminants (projet PPR « Pathologies et productivité des petits ruminants ») et un suivi de neuf années (1990-98) sur des bovins (projet ABT « Alimentation du bétail »).

Systèmes d'information

Les suivis individuels génèrent des données répétées sur le même animal. Ceci nécessite une organisation particulière des questionnaires et des bases informatiques pour la gestion et la valorisation

des données. Un système d'information gratuit et disponible pour les suivis individuels dans les élevages extensifs tropicaux est le logiciel Laser (<http://livtools.cirad.fr>; 27). Ce système d'information résulte d'une série de travaux de calibration des suivis réalisés sur le terrain, dont les premiers ont été effectués au nord de la Côte d'Ivoire dans les années 1970 (62), puis finalisés au Sénégal au début des années 1980. Une première version du système d'information a abouti au logiciel Panurge (17), fonctionnant sous MS-DOS et utilisé jusqu'à la fin des années 1990 dans de nombreux pays (par exemple, Burkina Faso, Côte d'Ivoire, Nouvelle-Calédonie, Sénégal). Profitant d'un nouveau travail conceptuel sur l'organisation des données collectées (28), le système d'information a été redéveloppé en Visual Basics et utilise une base de données MS Access. Il peut gérer des données de différentes natures, notamment démographiques (reproduction, mortalité, exploitation), pathologiques (symptôme, sérologie), sur la production (lait, poids vif, état corporel, entre autres), sur l'insémination artificielle et relatives à des interventions zootechniques sur les animaux. Le calcul des taux démographiques à partir de suivis individuels nécessite de nombreuses manipulations de données, souvent difficiles du fait de la nature et de la diversité des données, notamment les mesures répétées sur le même animal et le référencement des événements par des dates. Pour Laser, des routines automatiques de calcul ont été développées (44, 45) et regroupées dans un *package* de fonctions programmées avec le logiciel statistique gratuit R (www.r-project.org; 64).

D'autres systèmes d'information de suivis individuels sont disponibles mais sous forme de logiciels commerciaux payants ou initialement développés pour les élevages intensifs des pays du Nord. Certains ont cependant été utilisés pour l'élevage extensif tropical. Par exemple, l'ILRI a utilisé le système Vampp Dairy Management, un logiciel développé au Canada (www.vampp.com) pour des suivis dans des systèmes d'élevage laitier au Kenya et en Ouganda. Le système InterHerd (www.interagri.org) développé au Royaume-Uni a été utilisé dans des projets de recherche menés par l'Université de Wageningen dans les pays du Sud. Enfin, le système BeefPro (www.beefpro.net) développé en Afrique du Sud par l'Agricultural Research Council (ARC) est très utilisé en Afrique australe pour la gestion de ranchs d'élevage bovin.

■ SUIVIS DE TROUPEAUX SANS IDENTIFICATION DES ANIMAUX

Les suivis de troupeaux sans identification individuelle des animaux, appelés « suivis de troupeaux » dans la suite de l'article, sont une simplification des suivis individuels (30). Comme ces derniers, ils sont basés sur des visites régulières des troupeaux, par exemple par quinzaine, mois ou trimestre. Lors de chaque visite, l'enquêteur fait l'inventaire des animaux présents dans le troupeau, puis des événements démographiques survenus depuis la dernière visite. Cependant, les informations collectées ne sont plus référencées par numéro d'animal ni liées entre les visites : l'enquêteur n'est pas tenu de reconnaître les animaux d'une visite à l'autre. Ceci facilite la collecte de données et allège le travail de terrain qui peut être réalisé par des agents spécialement formés mais aussi par des éleveurs.

Bien que plus légers, les suivis de troupeaux présentent des difficultés méthodologiques (que nous aborderons ci-dessous dans la section discussion) qui peuvent expliquer leur utilisation encore limitée sur le terrain (3, 5, 23, 51), ainsi que l'absence d'outils génériques (questionnaires standards, systèmes d'information et routines automatiques de calcul) pour ces méthodes.

■ ENQUETES RETROSPECTIVES

Principes

Les enquêtes rétrospectives sont transversales, c'est-à-dire que les troupeaux ne sont enquêtés qu'une fois et tous à la même période de l'année (idéalement le même mois pour que les informations entre troupeaux soient comparables). Elles ont été utilisées depuis de nombreuses années en Afrique. Des premiers documents méthodologiques ont été publiés dès 1975 (66) et ces méthodes ont probablement été utilisées depuis plus longtemps (10).

Au cours de la visite, l'enquêteur reconstitue, d'après la déclaration de l'éleveur, les événements démographiques survenus dans le troupeau à plus ou moins long terme. Deux principales méthodes sont utilisées : la méthode des carrières des femelles (ou *progeny history method*, ou encore *mature breeding female history method*) et la méthode des douze derniers mois.

La méthode des carrières (10, 13, 66) semble la plus ancienne et a probablement été adaptée de techniques d'enquête sur les lignées familiales en démographie humaine. Différents protocoles sont possibles. Par exemple, dans un troupeau, il s'agit tout d'abord de reconstituer la carrière reproductrice complète d'un sous-échantillon de femelles présentes (en général cinq ou six femelles si la taille du troupeau le permet). L'enquêteur note les mises bas successives depuis la naissance jusqu'au jour de l'enquête et les âges respectifs des femelles lors des mises bas. Les femelles du sous-échantillon doivent être nées dans le troupeau (l'éleveur doit connaître leur histoire) et être suffisamment âgées pour avoir déjà mis bas. Ensuite, pour chacune des mises bas déclarées, il s'agit de décrire le devenir de chaque jeune produit : l'enquêteur demande à l'éleveur si le jeune est encore présent dans le troupeau à la date de l'enquête, sinon la cause de son absence (par exemple, mort naturelle, abattage ou vente) et l'âge de la sortie.

La méthode des carrières est censée estimer des taux démographiques représentant des moyennes sur une période rétrospective pluriannuelle pouvant s'étendre de trois à dix ans avant la date de l'enquête, selon la durée des carrières des femelles sélectionnées. Les taux de mise bas sont estimés d'après les mises bas déclarées pour les différentes femelles, et les taux de mortalité et d'exploitation d'après le devenir des jeunes issus des mises bas.

La méthode des douze derniers mois (25) fournit des taux uniquement pour l'année précédant l'enquête. Sur le terrain, la méthode consiste à faire l'inventaire des animaux présents dans le troupeau au moment de l'enquête et à en estimer l'âge, puis à noter tous les événements démographiques (mise bas, mortalité, exploitation et importation) survenus par sexe et classe d'âge dans le troupeau lors des douze derniers mois.

Bien que toutes les deux basées sur le déclaratif de l'éleveur, les méthodes des carrières et des douze derniers mois sont différentes des enquêtes rétrospectives appelées participatives (ou *participative rural appraisals* ou PRA ; 8). Les méthodes démographiques sont quantitatives et beaucoup de données sont collectées au niveau de l'animal, par exemple lors de l'inventaire des événements démographiques. Les PRA sont basées sur des entretiens auprès de groupes d'éleveurs (par exemple des comités villageois) fournissant des réponses collectives souvent semi-quantitatives ou qualitatives. L'analyse des données PRA nécessite ensuite la mise en œuvre de techniques d'ordination.

Applications

Les enquêtes rétrospectives ont été principalement utilisées comme des outils de diagnostic rapide pour dégager les grandes

caractéristiques démographiques de cheptels, à destination d'institutions de recherche ou de décideurs cherchant à donner des priorités dans les actions à mener (49). Depuis la fin des années 1980, les institutions de recherche ont été régulièrement sollicitées par les services techniques de l'élevage des pays du Sud pour réaliser des évaluations nationales de la démographie des cheptels de ruminants. Par exemple, des enquêtes carrière nationales ont été menées au Tchad, au Cameroun et en République centrafricaine (11, 56, 61). Plus récemment (2007), une enquête utilisant la méthode des douze derniers mois a été menée par les services de l'élevage du Niger. Ce type d'étude se situe davantage dans le domaine de l'expertise que de la recherche. L'objectif attendu pour les pays est de disposer d'estimations moyennes de la productivité et de l'exploitation du cheptel pour faciliter l'élaboration des rapports statistiques annuels sur les productions animales nationales. En pratique, l'atteinte de cet objectif s'avère cependant très difficile (38).

Plus rarement, les enquêtes rétrospectives sont utilisées pour des objectifs de recherche, aussi bien la méthode des carrières (12, 15, 52) que celle des douze derniers mois (5, 48). Par exemple en 2010, des enquêtes douze derniers mois ont été menées dans quatre pays d'Afrique de l'Ouest (Gambie, Guinée, Mali et Sénégal) dans le cadre d'un projet sur la gestion durable des races locales de ruminants (www.progebe.net). Cependant, la majorité des résultats d'enquêtes rétrospectives est publiée sous forme de littérature grise (53). Ceci est principalement dû à la forte incertitude attachée aux données collectées (cf. la section « Avantages et limites des méthodes »).

Systèmes d'information

Comme pour les suivis de troupeaux, la mise en œuvre des méthodes rétrospectives souffre d'un manque de formalisation et d'outils génériques mis à disposition des utilisateurs. La méthode des douze derniers mois a cependant fait l'objet d'une formalisation récente. Des travaux menés dans plusieurs projets de recherche financés par la Coopération belge (DGCD au Niger) et la Commission européenne (Niger, Burkina Faso) entre 2006 et 2010 ont permis d'élaborer l'outil 12MO (<http://livtools.cirad.fr>; 39, 46, 47) en collaboration avec différents instituts de recherche (Cirad, ILRI, Icrisat, Agrhymet) et services techniques (ministères de l'élevage du Niger et du Burkina Faso). La méthode 12MO propose une chaîne complète allant du protocole de terrain au calcul des paramètres démographiques. L'outil comprend un protocole d'enquête et deux questionnaires standards (Q1 et Q2) devant être remplis pour chaque troupeau enquêté : Q1 Inventaire et description des animaux présents et, pour les femelles, reproduction des femelles lors des douze derniers mois, et Q2 Entrées et sorties lors des douze derniers mois. Une base de données au format MS Access et une interface permettent les saisies et la gestion des données. Un *package* de fonctions développé avec le logiciel R (www.r-project.org) permet le calcul automatisé des taux démographiques à partir de la base de données. Cet outil 12MO a déjà été utilisé dans plusieurs pays d'Afrique subsaharienne, au niveau de terroirs villageois, de points d'eau pastoraux et à l'échelle nationale.

■ AVANTAGES ET LIMITES DES METHODES

Suivis individuels

Les suivis individuels apportent des données précises et fiables, en raison des inventaires réguliers des animaux et des événements démographiques au sein des troupeaux mais aussi de la relation de confiance qui s'établit avec l'éleveur. Les données étant collectées

par date, les taux démographiques peuvent être estimés à n'importe quelle échelle de temps, par exemple par quinzaine ou par mois pour les variations saisonnières ou par année pour les variations interannuelles (36, 43). Les suivis individuels sont recommandés pour établir des référentiels techniques sur la productivité des troupeaux ou, dans des démarches d'expérimentation, pour estimer l'effet et le coût/bénéfice d'interventions diverses (entre autres, vaccination, déparasitage, complémentation). Ils ont cependant plusieurs limites. Ils sont assez lourds à mettre en place et à maintenir dans la durée. La constitution de l'échantillon des troupeaux suivis demande souvent de nombreuses négociations préliminaires avec les éleveurs. Il faut ensuite inventorier et boucler tous les animaux des troupeaux de l'échantillon et mettre en place le système de recueil des informations. Cette étape est particulièrement laborieuse pour les superviseurs des enquêtes et les enquêteurs. Souvent coûteux en moyens humains et financiers, les suivis individuels peuvent difficilement être étendus à de grandes régions ou à l'échelle d'un pays. A notre connaissance, seul le projet PPR sur les petits ruminants au Sénégal (18, 69) a réussi à appréhender la diversité des taux démographiques à l'échelle nationale, en mettant en place des suivis dans trois sites géographiques répartis suivant un gradient agroclimatique nord-sud.

Les suivis individuels posent également des difficultés lorsque les troupeaux sont très mobiles, notamment dans le cas des éleveurs nomades. Les troupeaux se dispersent dans les zones pastorales sans accès routier ni plan de route prédéterminé. Il peut devenir alors pratiquement impossible de les localiser et d'effectuer des visites suffisamment régulières, même si cette contrainte doit être modulée en raison du développement du téléphone mobile et de la bonne couverture réseau dans certains pays. Les suivis individuels réalisés sur des élevages réellement nomades ont ainsi été très rares. Un tel suivi a été réalisé sur des troupeaux camélins au Niger (59) avec beaucoup de difficultés pratiques (M. Saley, ministère des Ressources animales du Niger, *commun. pers.*). Les transhumances saisonnières observées dans les milieux agropastoraux posent moins de difficultés (73) car les informations individuelles sur les animaux peuvent en général être reconstruites au retour des troupeaux avec des biais acceptables (et, dans les cas favorables de transhumances de faible amplitude, les enquêteurs peuvent contacter les éleveurs et visiter les troupeaux sur les lieux de transhumance).

Enfin, les suivis individuels ne peuvent répondre à l'évaluation *a posteriori* de l'impact de phénomènes imprévisibles comme les chocs climatiques ou épidémiques, sauf dans le cas particulier où le choc survient en cours du suivi.

Suivis de troupeaux

Les suivis de troupeaux se heurtent à beaucoup de contraintes rencontrées dans les suivis individuels, notamment pour les systèmes d'élevage nomade. Ils sont cependant plus légers à mettre en place sur le terrain et à pérenniser car les enquêteurs n'ont pas à marquer les animaux en début de suivi, ni à les identifier individuellement lors des visites. En contrepartie, la méthode est soumise à deux difficultés méthodologiques.

La première difficulté est l'estimation de l'âge des animaux présents dans le troupeau, qui doit être effectuée à chaque visite (ce que n'a pas à faire l'enquêteur dans un suivi individuel car, les animaux étant identifiés, la date de naissance de chaque animal est connue et peut être utilisée pour calculer l'âge de l'animal à tout moment). L'âge des animaux est estimé à dire d'éleveur, ce qui crée des biais dans la structure par âge du troupeau et donc, ultérieurement, dans les estimations des taux démographiques par classe d'âge. Par ailleurs, cette étape peut devenir coûteuse en

temps d'enquête avec pour conséquence une possible lassitude de l'éleveur (à chaque visite, l'enquêteur doit requestionner l'éleveur sur les âges des animaux).

La seconde difficulté concerne l'enquête des troupeaux pratiquant des transhumances saisonnières. Pendant ces transhumances qui peuvent durer de deux à six mois, voire plus, le troupeau peut disparaître totalement de la zone d'enquête. Dans ce cas, lorsque les animaux sont identifiés individuellement, l'enquêteur peut essayer, au retour du troupeau, de reconstituer et dater tous les événements démographiques survenus depuis le début de la transhumance. Pratiquement aucune information n'est perdue. Mais pour les suivis de troupeaux, ce travail de reconstitution est beaucoup plus difficile. L'élaboration de questionnaires à la fois simples et permettant une estimation correcte des taux démographiques à partir de suivis de troupeaux transhumants est une question encore non résolue.

Enquêtes rétrospectives

De durée en général inférieure à deux mois, les enquêtes rétrospectives sont plus légères que les suivis et peuvent être réalisées plus facilement sur le terrain, notamment lors de stages d'étudiants. Ne demandant qu'une seule visite par troupeau, elles peuvent s'appliquer à tous les systèmes d'élevage, y compris les éleveurs nomades enquêtés au niveau de points de concentration, comme les campements ou les points d'eau. Elles peuvent également être étendues à de grandes zones, jusqu'à l'échelle nationale. Enfin, des enquêtes peuvent être lancées suffisamment rapidement pour quantifier les pertes animales, suite à l'occurrence de chocs inattendus (notamment avec la méthode des douze derniers mois).

La limite principale des enquêtes rétrospectives est qu'elles fournissent des résultats beaucoup plus incertains que les suivis. Elles sont en effet fortement soumises à des biais d'enquête engendrés par les défauts de mémoire (oublis d'événements démographiques, biais sur les âges estimés, etc.) ou les fausses déclarations des éleveurs, mais aussi à des biais de calcul provenant de la manière dont sont agrégées les données dans les enquêtes (37, 39).

La méthode la plus sensible au biais d'enquête est la méthode des carrières. Lors de l'entretien, l'éleveur doit remonter loin dans l'histoire de la femelle et de sa progéniture pour se remémorer les mises bas et le devenir des jeunes produits (par exemple, jusqu'à dix ans ou plus pour la carrière d'une vache). Si les réponses peuvent être fiables pour les systèmes nomades dans lesquels les éleveurs vivent en permanence avec les troupeaux, elles sont souvent moins fiables pour d'autres systèmes utilisant des bergers temporaires. Dans les régions agricoles, par exemple, il existe une rotation assez rapide des bergers et la personne enquêtée est souvent dans l'impossibilité de connaître l'histoire complète des femelles présentes dans le troupeau. Certains biais d'enquête peuvent être partiellement évités en limitant le nombre d'enquêteurs, ce qui permet une meilleure formation avant les enquêtes et une supervision plus poussée sur le terrain. Ceci est cependant difficile dans les études de grande envergure, avec des équipes d'enquêteurs de formation et de qualité hétérogène. En général, les biais sont loin d'être négligeables, surtout pour les taux de mortalité et d'exploitation estimés d'après le devenir des jeunes produits. Par exemple, une enquête carrière réalisée au Niger (12) rapporte pour les petits ruminants sahéliens des taux de mortalité et d'exploitation (tous âges confondus) respectivement de 1-2 et 8 p. 100. Ces estimations sont très éloignées des valeurs de référence (respectivement > 10 et > 30 p. 100), connues par ailleurs pour ces espèces en zone sahélienne. La sous-estimation des taux de mortalité et d'exploitation semble être une caractéristique récurrente de la méthode des carrières (20, 56, 60).

La méthode des douze derniers mois est moins soumise aux biais d'enquête car l'effort de mémoire demandé à l'éleveur est moins important. Cependant, la méthode peut être sensible aux formules d'estimations utilisées pour calculer les taux démographiques, notamment pour les petits ruminants (problèmes non détaillés ici ; 39, 46). Elle est également sensible à la date choisie pour l'enquête en raison de la saisonnalité des événements démographiques (43). Enfin, une limite importante de la méthode est que les taux estimés ne concernent que l'année précédant l'enquête, excepté pour le taux de mise bas dont une estimation sur le plus long terme peut être obtenue d'après la corrélation entre l'âge et la parité des femelles, collectés lors de l'inventaire des animaux du troupeau (46). Les taux démographiques des cheptels tropicaux étant très variables d'une année à l'autre, les estimations obtenues d'après une enquête transversale sur les douze derniers mois ne sont en général pas conformes aux performances moyennes des troupeaux sur le long terme.

■ PERSPECTIVES METHODOLOGIQUES

Conception des méthodes d'enquête

Beaucoup de travaux restent à mener pour concevoir et améliorer les méthodes d'enquêtes démographiques en milieu tropical. Il semble utopique d'envisager à court terme un système pérenne d'identification généralisée des animaux dans les pays, même si des initiatives spécifiques pourraient émerger pour certains types d'élevages comme les éleveurs laitiers périurbains (certains utilisent déjà des cahiers de suivis individuels). Les zootechniciens seront donc confrontés pour longtemps à la nécessité de mettre en place des dispositifs d'enquête sur le terrain pour obtenir des données fiables. Les méthodes finalisées et documentées sont encore trop peu nombreuses, aussi bien au niveau des protocoles (questionnaires) que des systèmes d'information (bases de données et interfaces de saisie) disponibles. Cela peut entraîner des démarches empiriques sur le terrain qui desservent la qualité des données. Améliorer la standardisation des méthodes et leur documentation permettrait aux utilisateurs d'avoir une meilleure connaissance des résultats attendus et au final un meilleur usage des enquêtes démographiques.

Précision statistique des estimations

L'estimation des taux démographiques dans une zone d'étude nécessite l'échantillonnage de troupeaux. Cet échantillonnage crée une incertitude statistique dont il faut connaître l'étendue (précision des estimations). En élevage tropical, comme pour les pays du Nord, l'échantillonnage des troupeaux peut s'appuyer sur les techniques classiques de tirage aléatoire, notamment l'échantillonnage stratifié et par degré (le degré pouvant être notamment un district, un village ou un troupeau). Une caractéristique du milieu tropical est cependant l'absence de base d'échantillonnage qui entraîne deux difficultés : la réalisation des tirages aléatoires et l'extrapolation à l'échelle du territoire des taux moyens estimés au niveau de l'échantillon. Ces deux points sont fortement associés aux questions d'inventaire des troupeaux et des animaux dans les territoires, nécessitant elles-mêmes de nombreux travaux de recherche et dépassant le cadre de cet article.

Quelle que soit la méthode d'échantillonnage, il est nécessaire de connaître l'effet de la taille des échantillons (nombre de troupeaux et d'animaux enquêtés) sur la précision des estimations des taux démographiques. A notre connaissance, cette question n'a pas été étudiée de manière systématique dans le contexte de l'élevage tropical, malgré son importance pour effectuer des recommandations lors de la mise en place des dispositifs d'enquête sur le terrain.

Les modèles statistiques utilisés pour estimer des probabilités p ou des taux instantanés h sont en général des modèles linéaires généralisés. L'hypothèse usuelle de ces modèles est que les données suivent une distribution binomiale pour p et une distribution de Poisson pour h . Ces distributions supposent l'indépendance des animaux présents dans l'échantillon.

Dans les enquêtes démographiques, cependant, cette hypothèse est en général invalide. Les animaux sont échantillonnés par degré, et ces degrés peuvent créer des corrélations entre animaux échantillonnés. Par exemple, en raison de facteurs externes divers, les animaux d'un même troupeau sont en général plus semblables (par rapport à la variable étudiée) que les animaux de troupeaux différents. Dans ce cas, l'échantillonnage des animaux par troupeau entraîne des corrélations intra-troupeaux qui créent une « surdispersion » des données par rapport à l'hypothèse d'indépendance (14, 55, 65). Cette surdispersion a pour conséquence de diminuer l'efficacité statistique des échantillonnages : il faut alors augmenter le nombre de troupeaux et d'animaux échantillonnés pour avoir une précision statistique acceptable.

Dans le cadre des méthodes discutées dans cette synthèse, l'étude de cette efficacité statistique des plans d'échantillonnage pourrait être réfléchiée en deux étapes. Il s'agirait tout d'abord de rassembler un ensemble suffisamment large de bases de données démographiques sur l'élevage tropical (par exemple, celles disponibles dans les institutions internationales), puis de les utiliser pour estimer les gammes de variation des moyennes des taux démographiques et des paramètres de surdispersion. Sur la base des résultats obtenus, il s'agirait ensuite à l'aide de modèles statistiques adaptés aux données surdispersées de simuler aléatoirement des données démographiques et d'estimer les variations de précision des estimations en fonction de la taille des échantillons (16, 78).

Besoins en suivis

Une difficulté majeure pour la recherche en élevage tropical, outre la capitalisation et la valorisation insuffisantes des données collectées sur les performances animales (31, 34), est le manque d'information quantitative longitudinale. La compréhension et la modélisation des interactions entre les facteurs environnementaux (climat, maladies, etc.), les ressources en pâturage et les performances zootechniques des troupeaux nécessitent par exemple de disposer de séries temporelles permettant d'estimer les variations saisonnières et interannuelles des paramètres de production animale, dont les taux démographiques. Ces données sont aujourd'hui quasi inexistantes pour les systèmes d'élevage traditionnels tropicaux.

Malgré leur grand intérêt, les dispositifs de suivis tels que ceux mis en place en Afrique de l'Ouest (Sénégal, Mali) au milieu des années 1980 n'ont pas été renouvelés. Les institutions scientifiques et les bailleurs de fonds ont globalement orienté les efforts de recherche vers l'élaboration de modèles conceptuels, mathématiques ou informatiques de plus en plus performants et complexes, dont les paramètres sont fixés à dire d'expert ou estimés d'après des enquêtes légères. La plupart des études sur les taux démographiques menées dans les systèmes d'élevage tropicaux depuis 15 ans ont ainsi été réalisées à partir d'enquêtes transversales rétrospectives ou participatives, fournissant des données peu fiables et constituant souvent des photographies ne tenant pas compte de la variabilité interannuelle. Cette tendance a été renforcée à la fin des années 1990 en pensant que l'apport de nouvelles technologies, comme les modèles mathématiques et informatiques, données satellitaires, accès aux bases de données internationales sur le web, allait permettre de limiter massivement les besoins en collecte de données sur le terrain.

Aujourd'hui, le niveau d'incertitude sur la dynamique et la productivité des troupeaux des pays du Sud montre que cette démarche n'a pas atteint ses objectifs. Elle a plutôt limité nos capacités actuelles de diagnostic et de prospective sur les systèmes d'élevage. Par exemple, une analyse de sensibilité sur la dynamique post-sécheresse des cheptels bovins sahéliens (41) a récemment montré que le taux de mise bas des vaches était un paramètre clé de la résilience démographique des troupeaux après des pertes animales importantes. Un taux de mise bas de 0,45/vache/an ou de 0,65/vache/an modifie fortement la compréhension que l'on peut avoir de la capacité du cheptel à se reconstruire. Or, les données disponibles au Sahel sont insuffisantes pour privilégier l'une des deux valeurs, en dehors d'une appréciation à dire d'expert. Dans des régions plus humides, deux autres études récentes ont abouti aux mêmes conclusions, avec des taux de mise bas de 0,34/vache/an en Ethiopie (42) et de 0,51/vache/an au Mali (4). Dans les deux cas, les données ont été collectées lors de suivis de courte durée (18 mois en Ethiopie et 12 mois au Mali). Face à la forte variabilité interannuelle du taux de mise bas et en l'absence de résultats moyens à long terme disponibles dans la littérature, il n'a pas été possible de déterminer si ces estimations étaient conformes aux performances moyennes des troupeaux dans ces zones ou si elles correspondaient à des extrêmes. Une dernière illustration concerne l'impact sur les productions animales des systèmes d'élevage d'Afrique de l'Ouest, des actions sanitaires menées par les Etats depuis quinze ans (contrôle des maladies) ou des plans de recommandation sur les pratiques d'alimentation des troupeaux. Les hypothèses avancées sont souvent optimistes mais aucune donnée précise et objective n'est aujourd'hui disponible pour les valider ou les infirmer.

Il paraît ainsi essentiel pour la recherche agronomique en zone tropicale de relancer des dispositifs pérennes permettant d'établir de nouveaux référentiels biotechniques sur les troupeaux dans les systèmes d'élevage traditionnels. Les institutions de recherches internationales ou occidentales travaillant dans les pays du Sud ont une responsabilité importante et un rôle majeur à jouer dans ce défi futur. Diverses voies peuvent favoriser la mise en place de dispositifs longitudinaux. Tout d'abord, il est important de convaincre les décideurs et les bailleurs de fond de l'intérêt de ces dispositifs. Ceci peut être notamment réalisé en montrant les limites qu'engendre sur nos modèles prospectifs l'incertitude existant autour des taux démographiques, dans le même esprit que l'illustration proposée pour la dynamique post-sécheresse d'un cheptel (41). Ensuite, il convient d'intégrer davantage les enquêtes démographiques dans des dispositifs observatoires associant d'autres disciplines, notamment l'épidémiologie, l'économie, l'agronomie et la sociologie. Enfin, il semble capital de proposer des innovations qui permettent d'alléger les collectes de données longitudinales sur le terrain. Ceci nécessite de mener des recherches méthodologiques. Sans être exhaustif, cette synthèse propose dans les lignes qui suivent des pistes pour identifier certaines de ces innovations.

Durée des suivis

Rares sont les projets de recherche qui pourront maintenir en continu des suivis de plus de dix années comme celui du projet PPR au Sénégal (18). La question se pose alors de la durée minimale des suivis pour l'estimation des taux démographiques, par exemple pour établir des référentiels biotechniques. L'effet de cette durée sur le biais et la précision des estimations dépend de la variabilité interannuelle des taux démographiques, qui dépend elle-même des données environnementales et des systèmes d'élevage considérés. Des études simulant aléatoirement des sous-échantillonnages d'années à partir de bases de données longitudinales existantes (par exemple les données PPR et ABT)

pourraient apporter des premiers éléments de réponse et des recommandations.

Simplification des suivis individuels

Sous-échantillonnage d'animaux dans les troupeaux

Dans le protocole usuel des suivis individuels, tous les animaux d'un troupeau échantillonné sont identifiés et suivis, y compris les animaux nés ou importés dans le troupeau au cours du suivi. Ce suivi exhaustif est coûteux en temps lors des visites d'élevages. Le travail peut être allégé si seulement quelques animaux par troupeau (quatre ou cinq) sont identifiés et suivis. Ceci permettrait, par exemple, d'augmenter l'effectif de troupeaux échantillonnés, ce qui est particulièrement intéressant pour estimer des variabilités entre troupeaux ou entre zones géographiques.

L'échantillonnage des animaux au sein des troupeaux pose cependant des questions méthodologiques. Parmi d'autres, comment échantillonner les animaux suivis au sein du troupeau (par exemple, de manière aléatoire, de manière raisonnée en suivant des quotas par rapport à des structures sexe-âge estimées par ailleurs), combien échantillonner d'animaux par troupeau (effets sur la précision des estimations), comment renouveler l'échantillon pour remplacer les animaux suivis sortis du troupeau (morts, vendus, etc.) ou comment estimer les taux d'importation avec un tel protocole sont des questions ouvertes. Comme pour l'effet de la durée d'enquête sur les estimations, certaines des questions posées peuvent être explorées en simulant aléatoirement des sous-échantillonnages d'animaux à partir de bases de données de suivis individuels existantes.

Identification des animaux

Les suivis individuels mis en place en Afrique subsaharienne ont pratiquement tous nécessité la pose de boucles auriculaires numérotées. Ce système est efficace et robuste mais a des limitations opérationnelles. Les enquêteurs sont obligés de lire les boucles sur chaque animal (qu'il faut immobiliser) et de les retranscrire sur leurs fiches d'enquête. Ces numéros sont ensuite enregistrés dans la base de données centralisant les informations par des opérateurs de saisie. Toute cette chaîne d'opérations est coûteuse en temps et engendre des erreurs de transcription. Ces erreurs sont détectées automatiquement dans la base de données par des routines informatiques mais leur correction est laborieuse (il faut renvoyer une fiche de correction sur le terrain). Un autre problème est la perte des boucles. Les animaux concernés doivent être rebouclés, ce qui implique des changements de numéros de boucle, source d'erreurs supplémentaires. Enfin, l'identification par boucle auriculaire ne fournit aucune information sur la mobilité géographique des troupeaux et des animaux, à moins de mettre en place un protocole lourd utilisant des enquêteurs itinérants (71).

Une alternative au bouclage auriculaire est l'identification électronique, notamment à l'aide d'un bolus intestinal (6). Placé dans le tube digestif des animaux par voie orale, le bolus est sans danger et peu de rejets sont observés (6). La puce électronique contenue dans le bolus peut stocker différentes informations sur l'animal, comme l'identification et l'état physiologique, et peut être lue électroniquement à l'aide d'un récepteur manuel placé quelques secondes à côté de l'animal ou de pistolets viseurs. Cette technologie est de plus en plus utilisée en Europe. Pour les élevages extensifs tropicaux, elle permettrait de faciliter la collecte des données sur le terrain lors des visites de suivis individuels.

Son opérationnalité dans des milieux où les animaux sont soumis à des stress récurrents (maladie, sous-alimentation, déplacement pour le pâturage ou abreuvement) reste cependant à évaluer et il

est nécessaire dans ce contexte de planifier des tests en conditions villageoises. Par ailleurs, les protocoles de transfert des données du bolus vers les systèmes d'information existants sont à standardiser avant de pouvoir diffuser ces technologies auprès d'utilisateurs comme les institutions de recherche et les organisations non gouvernementales.

Alternatives aux suivis individuels

S'ils sont la référence, les suivis individuels peuvent être des opérations lourdes. Comme indiqué précédemment, les suivis de troupeaux (sans identification des animaux) peuvent être une bonne alternative aux suivis individuels, mais un travail de standardisation des méthodes est à mener. Une autre alternative serait de remplacer les suivis par la réplique d'enquêtes rétrospectives au cours du temps.

La méthode des douze derniers mois pourrait notamment être répliquée chaque année à la même période, sur un même échantillon de troupeaux ou sur un échantillon partiellement ou totalement renouvelé chaque année. L'outil I2MO (46) présenté dans cet article semble par exemple intéressant pour estimer la variabilité interannuelle des taux démographiques.

Bien que les méthodes rétrospectives soient très souvent utilisées au détriment des suivis pour des raisons de coût, leur réplique longitudinale n'a cependant pas encore été testée en Afrique subsaharienne. La pertinence de l'approche nécessite par ailleurs une meilleure validation des méthodes rétrospectives. Quelques études ont discuté des biais théoriques de la méthode des douze derniers mois (37, 39) mais les biais d'enquêtes issus des déclarations des éleveurs n'ont jamais été estimés. Ceci limite la capacité d'interprétation des résultats de ce type d'enquête. Des protocoles de validation peuvent être proposés. Il s'agirait par exemple de mettre en place des suivis sur trois ou quatre ans (individuels ou de troupeaux) servant de référence et, au cours de ces suivis, de mener des enquêtes rétrospectives ponctuelles sur les troupeaux (ou d'autres troupeaux similaires : même zone et mêmes caractéristiques) pour enfin comparer les estimations obtenues avec les deux méthodes.

■ CONCLUSION

L'estimation des taux démographiques (reproduction, mortalité et exploitation des animaux) est nécessaire pour évaluer les productions issues des cheptels tropicaux, mais elle est particulièrement difficile et contraignante. Les systèmes d'élevage traditionnels posent des problèmes spécifiques pour la collecte des données démographiques au sein des troupeaux. Il n'existe malheureusement pas de méthode miracle. Face à la variabilité interannuelle élevée des performances démographiques, il est important de favoriser les suivis pluriannuels. Les suivis individuels, méthode de référence, sont recommandés lorsqu'ils peuvent être mis en œuvre. Les méthodes rétrospectives sont plus légères mais fournissent des résultats pouvant être biaisés, qui doivent être utilisés avec précaution. Les taux démographiques des systèmes d'élevage mobiles sont particulièrement difficiles à évaluer en raison des coûts liés à la mobilité des animaux. Pour les systèmes d'élevage sédentaires, les suivis de troupeaux (sans identification des animaux) paraissent être un bon intermédiaire entre les suivis individuels et les enquêtes rétrospectives, mais la méthode souffre d'un manque d'outils standardisés. Il est important de mener des recherches méthodologiques pour améliorer l'ensemble de ces méthodes d'enquête.

Remerciements

Ce travail a été mené partiellement dans le cadre du projet « Elevage, climat et société » (Eclis) financé par l'Agence nationale de la recherche (ANR, France). L'auteur remercie les quatre lecteurs anonymes dont les commentaires ont permis d'améliorer significativement cet article.

BIBLIOGRAPHIE

1. AGABRIEL J., INGRAND S., 2004. Modelling the performance of the beef cow to build a herd functioning simulator. *Anim. Res.*, **53**: 347-361.
2. ANKERS P., ITTY P., ZINSSTAG J., TRAWALLY S., PFISTER K., 1998. Biannual anthelmintic treatments in village Djallonke sheep in the Gambia: effects on productivity and profitability. *Prev. Vet. Med.*, **34**: 215-225.
3. AWA D.N., NJOYA A., NGOTAMA A.C., 2000. Economics of prophylaxis against *peste des petits ruminants* and gastrointestinal helminthosis in small ruminants in North Cameroun. *Trop. Anim. Health Prod.*, **32**: 391-403.
4. BA A., LESNOFF M., MOULIN C.H., 2011. Demographic dynamics and off-take of cattle herds in south Mali. *Trop. Anim. Health Prod.*, **43**: 1101-1109.
5. BEBE B.O., UDO H.M.J., ROWLANDS G.J., THORPE W., 2003. Smallholder dairy systems in the Kenya highlands: cattle population dynamics under increasing intensification. *Livest. Prod. Sci.*, **82**: 211-221.
6. CAJA G., GHIRARDI J.J., HERNANDEZ-JOYER M., MILAN M.J., BOCQUIER F., 2006. Use of electronic boluses for the traceability of ruminants: state of the art, implementation and evaluation in sheep and cattle. In : *Rencontres Recherches Ruminants*, Paris, France, 8-9 déc. 2006, p. 163-166.
7. CAMUS E., LANDAIS E., POIVEY J.P., 1981. Genetic structure of sedentary cattle in the North of Ivory Coast. Future prospects of cattle production following the spread of zebu crossing. *Rev. Elev. Méd. Vét. Trop.*, **34**: 187-198. [in French with English abstract]
8. CATLEY A., ALDERS R.G., WOOD J.L.N., 2012. Participatory epidemiology: Approaches, methods, experiences. *Vet. J.*, **191**: 151-160.
9. CIRAD-IEMVT, 1972. Définition des paramètres zootechniques concernant la reproduction, l'économie des troupeaux, l'économie du bétail de boucherie en élevage bovin, ovin, caprin. Maisons-Alfort, France, Cirad-lemvt.
10. CIRAD-IEMVT, 1989. Les enquêtes sur la productivité du bétail. Maisons-Alfort, France, Cirad-lemvt. (Fiche technique n° 5)
11. CIRAD-IEMVT, 1988. Résultats de l'enquête sur la situation de l'élevage bovin, ovin et caprin au Tchad. Maisons-Alfort, France, Cirad-lemvt.
12. COLIN DE VERDIERE P., 1994. Etude comparée de trois systèmes agro-pastoraux dans la région de Filingue (Niger). Les conséquences de la sédentarisation de l'élevage pastoral au Sahel. Stuttgart, Allemagne, Université d'Hohenheim / Maisons-Alfort, France, Cirad-EMVT.
13. DESTA L., COPPOCK D.L., 2002. Cattle population dynamics in the southern Ethiopian rangelands, 1980-97. *J. Range Manage.*, **55**: 439-451.
14. DIGGLE P.J., LIANG K.Y., ZEGER S.L., 1994. Analysis of longitudinal data. Oxford, UK, Oxford Science.
15. DUMAS R., 1980. Contribution to the study of small ruminants in Chad. *Rev. Elev. Méd. Vét. Trop.*, **33**: 215-233. [in French with English abstract]
16. DURAN PACHECO G., HATTENDORF J., COLFORD JR J.M., MAUSEZAHN D., SMITH T., 2009. Performance of analytical methods for overdispersed counts in cluster randomized trials: Sample size, degree of clustering and imbalance. *Stat. Med.*, **28**: 2989-3011.
17. FAUGERE O., FAUGERE B., 1986. Flock monitoring and control of individual performances of small ruminants bred in an African traditional environment. Methodology features. *Rev. Elev. Méd. Vét. Trop.*, **39**: 29-40. [in French with English abstract]
18. FAUGERE O., MERLIN P., FAUGERE B., 1991. Méthodologie d'évaluation de la santé et de la productivité des petits ruminants en Afrique : l'exemple du Sénégal. *Rev. Sci. Tech. Off. Int. Epizoot.*, **10** : 103-130.
19. GOUTTENOIRE L., COURNUOT S., INGRAND S., 2011. Modelling as a tool to redesign livestock farming systems: a literature review. *Animal*, **5**: 1957-1971.
20. HASSAN W.A., 2000. Biological productivity of sheep and goats under agrosilvo-pastoral systems in the Zamfara Reserve in north-western Nigeria. Göttingen, Germany, Cuvillier Verlag.
21. HAUMESSER J.B., 1975. Some aspects of reproduction in the reddish brown goats of Maradi. Comparison with other tropical or sub-tropical breeds. *Rev. Elev. Méd. Vét. Trop.*, **28**: 225-234. [in French with English abstract]
22. HAUMESSER J.B., GERBALDI P., 1980. Husbandry and breeding ability of Nigerian Uda sheep. *Rev. Elev. Méd. Vét. Trop.*, **33**: 205-213. [in French with English abstract]
23. HUTTNER K., LEIDL K., PFEIFFER D., KASAMBARA D., JERE F.B.D., 2001. The effect of a community-based animal health service programme on livestock mortality, off-take and selected husbandry applications. A field study in northern Malawi. *Livest. Prod. Sci.*, **72**: 263-278.
24. ICKOWICZ A., MBAYE M., 2001. Sudanian forest and cattle feeding in Senegal: potential and limits. *Bois For. Trop.*, **270**: 47-61.
25. ILCA, 1990. Livestock systems research manual. Working Paper 1, Vol. 1. Addis Ababa, Ethiopia, ILCA.
26. ILRI, 2000. Handbook of livestock statistics for developing countries. Socio-economics and Policy Research Working Paper 26. Nairobi, Kenya, ILRI.
27. JUANES X., LANCELOT R., 1999. LASER : logiciel d'aide au suivi d'élevages de ruminants. Montpellier, France, Cirad.
28. LANCELOT R., FAYE B., JUANES X., NDIAYE M., PEROCHON L., TILLARD E., 1998. The Baobab database: a tool for modeling small ruminants production and health in traditional farming systems in Senegal. *Rev. Elev. Méd. Vét. Trop.*, **51**: 135-146. [in French with English abstract]
29. LANDAIS E., FAUGERE O., 1986. Un modèle illustré de système d'investigation pour l'étude pluridisciplinaire des systèmes d'élevage en milieu traditionnel. *Cah. Rech. Dév.*, **25** : 75-94.
30. LANDAIS E., SISSOKHO M.M., 1986. Bases méthodologiques du contrôle des performances animales pour l'analyse zootechnique et démographique : collecte des données et choix des variables. Méthodes pour la recherche sur les systèmes d'élevage en Afrique intertropicale. Maisons-Alfort, France, Cirad-lemvt, p. 433-485. (Etudes et synthèses n° 20)
31. DE LEEUW P.N., MCDERMOTT J.J., LEBBIE S.H.B., 1995. Monitoring of livestock health and production in sub-Saharan Africa. *Prev. Vet. Med.*, **25**: 195-212.
32. DE LEEUW P.N., SEMENYE P.P., PEACOCK C.P., GRANDIN B.E., 1991. Productivity of cattle and smallstock. In: Bekure S., De Leeuw P.N., Grandin B.E., Neate P.J.H., eds., *Maasai herding. An analysis of the livestock production system of Masai pastoralists in eastern Kajiado District, Kenya*. Addis Ababa, Ethiopia, ILCA, p. 127-140.
33. DE LEEUW P.N., WILSON R.T., 1987. Comparative productivity of indigenous cattle under traditional management in sub-Saharan Africa. *Q. J. Int. Agric.*, **26**: 377-390.
34. LESNOFF M., 2011. Démographie et zootechnie tropicales : un lien par les modèles matriciels appliqués aux cheptels de ruminants dans les élevages extensifs. Mémoire de thèse. Habilitation à diriger des recherches, Université Montpellier II / Cirad, Montpellier, France.
35. LESNOFF M., 1999. Dynamics of a sheep population in a Sahelian area (Ndiagne district in Senegal): A periodic matrix model. *Agric. Syst.*, **61**: 207-221.
36. LESNOFF M., 2000. Etude de la dynamique et de la productivité des populations domestiques tropicales par les modèles matriciels en temps discret : les populations d'ovins au Sénégal. Thèse Doct., Université Montpellier II, Montpellier, France, 270 p.
37. LESNOFF M., 2008. Evaluation of 12-month interval methods for estimating animal-times at risk in a traditional African livestock farming system. *Prev. Vet. Med.*, **85**: 9-16.
38. LESNOFF M., 2009. Projet ENST. Renforcement des capacités opérationnelles du MRA sur les enquêtes en élevage. Montpellier, France, Cirad.

39. LESNOFF M., 2009. Reliability of a 12-month period retrospective survey method for estimating parturition and mortality rates in a traditional African livestock farming system. *Rev. Elev. Méd. Vét. Trop.*, **62**: 49-57.
40. LESNOFF M., 2013. Simulating dynamics and productions of tropical livestock populations - mimage: An R package for discrete time matrix models. Montpellier, France, CIRAD, <http://livtools.cirad.fr>.
41. LESNOFF M., CORNIAUX C., HIERNAUX P., 2012. Sensitivity analysis of the recovery dynamics of a cattle population following drought in the Sahel region. *Ecol. Model.*, **232**: 28-39.
42. LESNOFF M., DIEDHIOU M., LAVAL G., BONNET P., WORKALEMAHU A., KIFLE D., 2002. Demographic parameters of a domestic cattle in a contagious-bovine-pleuropneumonia infected area of Ethiopian highlands. *Rev. Elev. Méd. Vét. Trop.*, **55**: 139-147.
43. LESNOFF M., LANCELOT R., 2009. Evaluation of crude annual parturition rate estimates in a small-holder African ruminant farming system. *Animal*, **3**: 1347-1353.
44. LESNOFF M., LANCELOT R., MOULIN C.H., 2007. Calcul des taux démographiques dans les cheptels de ruminants domestiques tropicaux : approche en temps discret. Montpellier, France, Quae, www.quae.com.
45. LESNOFF M., LANCELOT R., MOULIN C.H., MESSAD S., JUANES X., SAHUT C., 2011. Calculation of demographic parameters in tropical livestock herds - A discrete time approach with LASER animal-based monitoring data. Montpellier, France, Quae, www.quae.com.
46. LESNOFF M., MESSAD S., JUANES X., 2010. 12MO: A cross-sectional retrospective method for estimating livestock demographic parameters in tropical small-holder farming systems. Montpellier, France, CIRAD, <http://livtools.cirad.fr>.
47. LESNOFF M., SALEY M., ADAMOU K., N'DJAJA OUAGA H., AYANTUNDE A., GERARD B., 2008. 12MO: A retrospective method for estimating demographic parameters in tropical ruminant livestock populations. Montpellier, France, CIRAD.
48. LESNOFF M., SALEY M., ADAMOU K., N'DJAJA H., 2007. Enquête démographique 2006 sur le cheptel domestique au Niger : sites du Fakara, de Gabi et de Zermou. Rapport préliminaire. Nairobi, Kenya, ILRI.
49. 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. (Coll. Précis d'élevage)
50. LIENARD G., LEGENDRE J., 1974. Productivité en veaux des troupeaux de vaches allaitantes. *Bull. Tech. Centre Rech. Zootech. Vét. Theix* (n° spécial) : 47-67.
51. MADANI T., HUBERT B., VISSAC B., CASABIANCA F., 2002. Analysis of cattle husbandry and farming systems changes in an Algerian sylvopastoral area. *Rev. Elev. Méd. Vét. Trop.*, **55**: 197-209. [in French with English abstract]
52. MARICHATOU H., MAMANE L., BANOIN M., BARIL G., 2002. Zootechnical performances of goats in Niger: Comparative study of the Maradi Russet goat with the Black-Coat goat in Maradi area. *Rev. Elev. Méd. Vét. Trop.*, **55**: 79-84. [in French with English abstract]
53. MARSHALL K., EJLERTSEN M., POOLE J., 2011. Sustainable management of globally significant endemic ruminant livestock in West Africa (PROBGEBE): Estimate of livestock demographic parameters in the Gambia. Nairobi, Kenya, ILRI. (Research Report 28)
54. MARZIN J., LIENARD G., 1984. Productivité en agneaux des troupeaux ovins. Réflexions sur le choix d'une méthode d'analyse. *Bull. Tech. Centre Rech. Zootech. Vét. Theix*, **56**: 69-90.
55. MCCULLOCH C.E., SEARLE S.R., NEUHAUS J.M., 2008. Generalized, linear, and mixed models. New York, USA, Wiley, 424 p.
56. MEYER C., ROMIER G., LESNOFF M., LE MASSON A., MESSAD S., FAYE B., 1997. Enquête sur l'élevage du bétail de République centrafricaine. Montpellier, France, Cirad-EMVT.
57. MUKASA-MUGERWA E., 1989. A review of reproductive performance of female *Bos indicus* (zebu) cattle. Addis Ababa, Ethiopia, ILCA. (Monograph No 6)
58. OSAER S., GOOSSENS B., JEFFCOATE I., HOLMES P., 1998. Effects of *Trypanosoma congolense* and nutritional supplements in Djallonke ewes on live weight during pregnancy, post partum weight, haematology parameters and lamb performance. *Res. Vet. Sci.*, **80**: 215-230.
59. PACHOLEK X., LANCELOT R., LESNOFF M., MESSAD S., 2000. Growth performance of camel calves raised in the pastoral zone of Niger. *Rev. Elev. Méd. Vét. Trop.*, **53**: 189-197 [in French with English abstract]
60. PEACOCK C.P., 1983. A rapid appraisal of goat and sheep flock demography in East and West Africa: method, results and application to livestock research and development. Addis Ababa, Ethiopia, ILCA. (Working Document 28)
61. PLANCHENAULT D., 1992. Enquête sur la productivité du bétail camerounais. Rapport final. Maisons-Alfort, France, Cirad-Iemvt.
62. POIVEY J.P., SEITZ J.L., LANDAIS E., 1981. Purposes and methodological aspects of a computerized individual monitoring system applied to small holders' cattle in the North of Ivory Coast. *Rev. Elev. Méd. Vét. Trop.*, **34**: 199-210. [in French with English abstract]
63. PUILLET L., SAUVANT D., TICHIT M., 2010. Intérêts et limites de la prise en compte de la variabilité individuelle dans les modèles de fonctionnement du troupeau. *Prod. Anim.*, **23**: 255-268.
64. R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2011. R: A language and environment for statistical computing. Vienna, Austria, R Foundation for Statistical Computing.
65. SEARLE S.R., CASELLA G., MCCULLOCH C.E., 1992. Variance components. New York, USA, Wiley.
66. SEDES, 1975. Etude de la structure et de la dynamique des troupeaux bovins : méthodologie pratique. Paris, France, ministère de la Coopération.
67. TACHER G., 1975. Notes sur la démographie bovine au Sahel. I. Représentation et projection théorique du troupeau par un modèle mathématique. *Rev. Elev. Méd. Vét. Trop.*, **28**: 547-569.
68. TICHIT M., INGRAND S., MOULIN C.H., COURNOT S., LASSEUR J., DEDIEU B., 2004. Analyse de la diversité des trajectoires productives des femelles reproductrices : intérêt pour la modélisation du fonctionnement du troupeau en élevage allaitant. *Prod. Anim.*, **17**: 123-132.
69. TILLARD E., MOULIN C.H., FAUGERE O., FAUGERE B., 1997. Le suivi individuel des petits ruminants au Sénégal : un mode d'étude des troupeaux en milieu villageois. *Prod. Anim.*, **10**: 67-78.
70. TRAORE A., WILSON R.T., 1988. Livestock production in Central Mali: environmental and pathological factors affecting morbidity and mortality of ruminants in the agro-pastoral system. *Prev. Vet. Med.*, **6**: 63-75.
71. TURNER M.D., HIERNIAUX P., 2002. The use of herders' accounts to map livestock activities across agropastoral landscape in semi-arid Africa. *Land. Ecol.*, **17**: 367-385.
72. UPTON M., 1993. Livestock productivity assessment and modelling. *Agric. Syst.*, **43**: 459-472.
73. WAGENAAR K.T., DIALLO A., SAYERS A.R., 1986. Productivity of transhumant Fulani cattle in the inner Niger delta of Mali. Ababa, Ethiopia, ILCA. (Research Report 13)
74. WILSON R.T., 1989. Livestock production in central Mali: economic characters and productivity indices for Sudanese Fulani cattle in the agro-pastoral system. *Trop. Agric. (Trinidad)*, **66**: 49-53.
75. WILSON R.T., 1988. Small ruminant production systems in tropical Africa. *Small Rumin. Res.*, **1**: 305-325.
76. WILSON R.T., CLARKE S.E., 1976. Studies on the livestock of Southern Darfur, Sudan. II: Production traits in cattle. *Trop. Anim. Health Prod.*, **8**: 47-51.
77. WILSON R.T., LIGHT D., 1986. Livestock production in central Mali: economic characters and productivity indices for traditionally managed goats and sheep. *J. Anim. Sci.*, **62**: 567-575.
78. ZHANG H., LU N., FENG C., THURSTON S.W., XIA Y., ZHU L., TU X.M., 2011. On fitting generalized linear mixed-effects models for binary responses using different statistical packages. *Stat. Med.*, **30**: 2562-2572.
79. ZINSSTAG J., ANKERS P., ITTY P., NJIE M., KAUFMANN J., PANDEY V.S., PFISTER K., 1997. Effect of strategic gastrointestinal nematode control on fertility and mortality of N'Dama cattle in the Gambia. *Vet. Par.*, **73**: 105-117.

Summary

Lesnoff M. Survey methods to estimate demographic rates of tropical ruminant livestock herds. Review, limits and prospects

Demography is a key determinant of the production of ruminant livestock herds raised under extensive tropical conditions. Estimation of demographic rates (reproduction, mortality and offtake) is necessary to assess the impacts of husbandry or health interventions on herd production. This estimation is however particularly difficult and constraining. Traditional livestock systems pose major specific problems when attempting to collect data from herds. This paper reviews survey methods used in villages to estimate demographic rates of ruminants, i.e. individual animal-based monitoring, herd monitoring without individual identification of animals, and retrospective cross-sectional surveys. Research perspectives are proposed to improve methods, especially in the context of longitudinal surveys that include interannual variability of demographic rates.

Keywords: Ruminant – Livestock – Population dynamics – Mortality – Reproduction – Survey – Tropical zone.

Resumen

Lesnoff M. Métodos de encuesta para la estimación de tasas demográficas en hatos de ganado rumiante. Síntesis, límites y prospectos

La demografía es un determinante clave de la producción de hatos de ganado rumiante criado bajo condiciones tropicales extensivas. La estimación de tasas demográficas (reproducción, mortalidad y consumo) es necesaria para asesorar los impactos de la ganadería o de las intervenciones sanitarias sobre la producción del hato. Sin embargo, esta estimación es particularmente difícil y restrictiva. Los sistemas de ganadería tradicionales presentan importantes problemas específicos durante los intentos de recolección de información en los hatos. El presente artículo revisa los métodos de encuesta utilizados en los pueblos para estimar las tasas demográficas de los rumiantes, por ejemplo, seguimiento basado en el animal individual, seguimiento de hato sin identificación individual de los animales y encuestas transversales retrospectivas. Se proponen perspectivas de investigación para mejorar los métodos, especialmente en el contexto de encuestas individuales, incluyendo la variabilidad entre años de las tasas demográficas.

Palabras clave: Rumiante – Ganado – Dinámica de poblaciones – Mortalidad – Reproducción – Encuesta – Zona tropical.

Visible polymorphisms in domesticated animal populations and their role in breed creation: A review

J.J. Lauvergne^{1*} D.P. Sponenberg² P. Millar¹

Keywords

Domestic animal – Wild animal – Livestock breed – Genetic polymorphism – Population genetics – Allele frequency.

Summary

Many populations within domesticated animal species have readily observable visible polymorphisms in traits such as color, coat type and horns, among others. These polymorphic populations have commonly been referred to as nonuniform, traditional or primary. The visible polymorphisms are due to several alleles which are segregating at different loci, often in a state of equilibrium as defined by the principles of population genetics. The most usual assumptions surrounding these polymorphic populations are that they belong to an infinite population which is under random mating (panmixia). These two conditions have generally been confirmed by field studies. It is believed that in several animal species these polymorphic populations occurred after domestication and served as a reservoir from which breeders have been developing standardized or fixed breeds (in association with breeding companies or through recognition by official bodies). Polymorphic populations also exist in wild species but they are rare, and obvious polymorphisms are usually only observed in domesticated species which are run in large flocks or herds and in which the control of mating is minimal, namely in some species managed under extensive conditions. The genetic loci which control the visible polymorphisms are mainly coat color loci. Many of these are allelic series which have been well characterized in terms of homology, beginning in the early days of Mendelian genetics as a science. These homologies have since been confirmed by molecular genetic investigations.

■ INTRODUCTION

After their domestication, farm animals have experienced the forces of both genetic selection and isolation of populations, and, since Darwin (6, 7) and Isidore Geoffroy Saint-Hilaire (9), it has been broadly acknowledged that their visible variability has increased when compared to their wild ancestors, and visible polymorphism is a common aspect of most domesticated species.

1. COGOVICA/COGNOSAG (Committee on Genetic Nomenclature of Sheep and Goats), 147 C/3 avenue JB Clément, 92140 Clamart, France.

2. Virginia-Maryland Regional College of Veterinary Medicine, Virginia Tech, Blacksburg, VA, USA.

* Corresponding author

E-mail: jean.lauvergne@sfr.fr

The occurrence of polymorphism in domesticated animal populations is variable and relates to the underlying genetic structure of populations. Isolation and selection have led to the development of subpopulations which could be named 'recognized breeds', 'fixed breeds' or 'standardized breeds' after the classification of Mason (22) gathering the three following categories:

- 'breeds having a breed society or a herd book';
- 'breeds recognized as such' by the government or other official body;
- 'other uniform true breeding populations'.

In the definitions of breeds Mason also includes 'nonuniform populations', or geographical terms meaning 'cattle of such or such a place' or even 'breeds of such and such a place'. More recently the

nonuniform populations of Mason were named 'traditional' and then 'primary' by Lauvergne (14, 15) suggesting they were at the origin of the so-called 'standardized breeds', i.e. 'true breeding populations'.

The present paper builds on a previous paper (16) by giving more details of the usefulness of visible polymorphisms in documenting population genetics, as well as their useful role in analyzing the populations within a species and the species in which they are described. This paper also discusses the general categories of loci involved in these investigations.

■ VISIBLE POLYMORPHISMS IN TERMS OF POPULATION GENETICS

The rediscovery of Mendelism in 1900 was followed by a first analysis of visible alleles in mammals using the house mouse as a model (5). In terms of population genetics, which relates to the gradual evolution of gene frequencies and was originated by Hardy (11) and Weinberg (33), nonuniform (or traditional or primary) populations are simply those in which the frequencies of two or more alleles have reached a state of equilibrium at one or several loci (5).

Hardy and Weinberg showed that the frequencies of alleles A and a , respectively p and q (with $q = 1 - p$), keep the same values at the next generation in populations where there is random mating, a population of an infinite number, and provided that no selection pressure is made on the various genotypes.

Their work neither explains how these frequencies of equilibrium have been reached nor how the population responds when generations are not separate, or when the various genotypes are submitted to different selection pressures. Other authors have investigated the effects of these situations on allelic frequencies (29) such as Wright (1889-1988), Fisher (1890-1962) and Haldane (1892-1964) having especially tried to fulfill the gaps of separated generations and lack of fitness coefficients.

The contributions of these authors have been expressed in mathematical terms by L'Héritier (13) taking into account selection pressure by allocating fitness coefficients σ_1 , σ_2 and σ_3 to genotypes AA , Aa and aa , respectively, always in the case of bi-allelism, and using a differential equation to shift from the discontinuous to the continuous circumstance as follows:

The frequency increase Δp of p at a given generation to reach p' at the next one is given by:

$$\Delta p = p' - p = pq \frac{(\sigma_1 - \sigma_2)p + (\sigma_2 - \sigma_3)q}{\sigma_1 p^2 + 2\sigma_2 pq + \sigma_3 q^2} \quad [1]$$

Then, if one replaces in [1] by the extremely small dp and adds the extremely small dt in the second member of the equation, one obtains the following differential equation:

$$dp = pq \frac{(\sigma_1 - \sigma_2)p + (\sigma_2 - \sigma_3)q}{\sigma_1 p^2 + 2\sigma_2 pq + \sigma_3 q^2} dt \quad [2]$$

The solution of which gives p as a function of fitness coefficients and time.

It is possible to solve this equation by knowing the values of fitness coefficients. Haldane and other authors in many theoretical papers then demonstrated that, depending on the values of coefficients of fitness, one can reach values of p and q when time t goes to infinity:

– 0 and 1 or 1 and 0, respectively, meaning that finally only one allele is present in the population and the other has been eliminated, or

– intermediary between 0 and 1, meaning that both alleles are kept in the population and therefore the population is polymorphic at this locus.

Even if it is only rarely possible to estimate the fitness coefficients it is often possible to measure gene frequencies in polymorphic populations. In these populations it is usually assumed that gene frequencies have reached the state of equilibrium. This assumption, combined with the assumption that in the past the population was infinite and randomly mating can result in a relationship between the equilibrium value p_e of p and the fitness coefficients in making the differential dp equal to zero as follows and as suggested by L'Héritier (13):

$$(\sigma_1 - \sigma_2)p + (1 - p)(\sigma_2 - \sigma_3) = 0$$

then

$$p(\sigma_1 - \sigma_2) + (\sigma_2 - \sigma_3) - (\sigma_2 - \sigma_3)p = 0$$

and

$$p[(\sigma_1 - \sigma_2) - (\sigma_2 - \sigma_3)] = -(\sigma_2 - \sigma_3)$$

giving:

$$p_e = (\sigma_2 - \sigma_3) / (2\sigma_2 - \sigma_1 - \sigma_3) \quad [3]$$

Equation [3] requires $0 < p_e < 1$, i.e. a superiority of the heterozygote, at least over one of the homozygotes, $(\sigma_2 - \sigma_3) > 0$, and also over the mean of the heterozygotes, a kind of heterosis effect which assures the survival of both alleles in the population.

■ VISIBLE GENETIC VARIABILITY IN THE WILD

The advantage in terms of variability of the domesticated state over the wild state is confirmed by several authors and summarized by Bösiger (4) and Wills (33) who have shown the existence of polymorphism for visible traits such as coat or plumage color, shell color, etc. in several species but these species are only a handful compared to all the animal species as soon as they are domesticated. Visible polymorphism is characteristic of many domesticated species, and the specific distribution of polymorphisms in a species can be a reflection of the past history of selection by both humans and the natural environment.

■ FROM THE WILD TO NONUNIFORM POPULATIONS AND STANDARDIZED BREEDS

According to Darwin, most of the proof of this increase of variability after domestication comes from the existence of several different true breeding breeds, each of which is uniform but different from the others. This arrangement of variation into different populations is most obvious in species such as the domesticated dog and pigeon according to Darwin (7).

In general, every pure breed is made up by pairing together similar animals, leading to populations which are homozygous for several alleles. A first step to create these phenotypically uniform breeds usually could have been a selection from within populations in which many different alleles of several different loci are segregating. In this light, the nonuniform populations of Mason could likely be the polymorphic populations from which fixed or

standardized breeds descended, as suggested by Lauvergne et al. (18) who called them 'traditional' then 'primary' (14, 15). De Alba (8) suggests a similar trajectory by stating that many of the phenotypic (and therefore genotypic) variants pre-date the standardized breeds we know today and are therefore each present in multiple of these breeds without necessarily implying an ancestral or other relationship. But in Darwin's days, nonuniform populations had not yet been described.

The above developed equations are only valid under the assumption of random mating and when the population size is infinite. These conditions could have been approached in domesticated species in the past and they could then help to explain the great number of nonuniform populations listed by Mason in several domesticated species (22–25).

Another possible explanation for a number of these variable populations is that past control of mating by breeders was not very complete so that selection failed to produce uniform populations. Alternatively, in some populations, variation in and of itself may have been favored by breeders, so that rare variants experienced positive selection and were therefore not allowed to drift to extinction. This can easily happen when variation helps pastoralists to identify quickly animals in the field and aids in their monitoring and management. Additionally, throughout most of history domesticated species were not strictly split into genetic pools that were fully isolated from one another. More commonly, they experienced migrations from one to another. These factors all provide a theoretical explanation for the persistence of visible polymorphisms induced by series of allelomorphs and maintained in a single population, and any one of them alone or in various combinations can easily account for the existence and persistence of polymorphic populations.

The superiority of heterozygotes which is sufficient to reach an equilibrium in domesticated species could be induced by the state of domestication itself even in the absence of breeder selection.

■ DOMESTICATED SPECIES SHOWING POLYMORPHIC STRAINS

By chronological order the domesticated species in which visible polymorphisms have been described in terms of alleles with visible effects in segregation are cattle (3, 34), sheep (1, 28, 46), cat (30), goat (12), pig (17) and llama (19).

Cattle, sheep goat and pig, along with ass, buffalo and horse, are the farm animal species for which polymorphic breeds are described by Mason in the successive editions of his dictionary of livestock breeds. Another two ruminant species to be added to that number are llama (19) and reindeer (20) as well as two carnivore species, cat (30) and dog in which some commercial breeds are still multisegregating, e.g. the Siberian Husky.

Species which have been domesticated to become laboratory animals, such as several rodent species, have not developed visibly polymorphic strains. An exception is the guinea pig, also known as cuy, which was initially domesticated as a food source in the Andes (26).

Species kept enclosed such as mink or rabbit have generally not developed populations with visible polymorphisms, although some rabbit breeds do allow considerable variation in color. In both rabbits and fur-bearing species the polymorphism for color is directly related to a commercial value and therefore has fitness value in selection.

■ LOCI SEGREGATING IN POLYMORPHIC STRAINS

The loci in segregation in the above-listed farm species with polymorphic breeds or populations (e.g. cattle, sheep, goat) mainly include loci controlling coat color. Coat color loci account for at least 80% of loci controlling visible polymorphisms, followed by those controlling the architecture of coat and by those controlling appendages such as tail or ears and horns as analyzed by Nicholas (27) in the dog. This distribution is correlated with the proportion of viable visible alleles which are identified in domesticated species.

■ THE CASE OF COAT COLOR LOCI

For the studies on polymorphic domestic populations, coat color loci deserve a special attention because, after the rediscovery of Mendelian laws, they constitute the category of loci with visible effect which has been the most widely analyzed due to the ease of observation. This is well illustrated by the series of papers by Wright in 1917 and 1918 (35–45) comparing ten species of mammals and proposing the principle of interspecies homology between coat color loci.

The principle of homology between these loci was made more explicit by Haldane (10) who expressed it in terms of genes producing the same somatic effect in different species. He considered that the genes had undergone several parallel effects into more or less corresponding multiple allelomorphs series, exhibiting similar linkages in different species. He gave evidence of homology for the loci *C*, *A* and *E* in six species of rodents and three species of carnivore.

A quarter of century later, Little (21) used the same type of evidence: similar linkage relations between two or more loci, similar pleiotropic effect of genes, similarity of multiple allelic series adding similar morphogenesis and function of melanoblasts. These all served to demonstrate homology for the following nine loci: *A*, *B*, *C*, *D*, *E*, *P S*, *Si* and *W* among 23 species of rodents and 14 species of carnivores. An extension of the principle of homology between color loci to more than 60 species of many orders of mammals was carried out by Searle (31).

Currently, as recently summarized (16), after the immense progress of molecular genetics, the homology of loci between species is widely acknowledged and well-proven. This has been accomplished by the analysis of homologous DNA sequences and other genetic tests. Nevertheless, among the polymorphic populations of farm animals named nonuniform or traditional or primary, a few loci among the numerous coat color loci are kept in segregation, probably because they are able to produce viable mutants. Moreover, as pointed out by Bennett and Lamoreux (02) the nomenclature of these popular loci which traces back to the early days is still kept besides the molecular one: *A* (Agouti), *B* (Brown), *C* (Albinos), *D* (Dilute), *E* (Extension), *S* (Spotting) and *W* (dominant White) as a kind of bridge between two states of the genetic knowledge.

REFERENCES

- ADALSTEINSSON S., 1970. Colour inheritance in Icelandic sheep and relation between colour, fertility and fertilization. *J. Agr. Res. Icel.*, **2**: 3-135.
- BENNETT D., LAMOREUX M.L., 2003. The colour loci of mice, a genetic century. *Cell Res.*, **16**: 333-344.
- BERGE S., 1949. Inheritance of dun, brown and brindle colour in cattle. *Heredity*, **5**: 195-204.

4. BOSIGER E., 1967. La signification évolutive du polygénétypisme des populations naturelles. *Ann. Biol.*, **6** : 445-464.
5. CUENOT L., 1902. La loi de Mendel et l'hérédité de la pigmentation chez les souris. *Arch. Zool. Exp. Génét.* 3e Sér., **10** : 27-30.
6. DARWIN C., 1859. On the origins of species by means of natural selection. London, UK, John Murray.
7. DARWIN C., 1868. The variation of animals and plants under domestication, 2 vol. London, UK, John Murray.
8. DE ALBA M., 2011. Libro de los bovinos criollos de América. México ciudad, México, Biblioteca Básica de Agricultura.
9. GEOFFROY-SAINT-HILAIRE I., 1861. Acclimatation et domestication des animaux utiles. Paris, France, La maison rustique, 534 p. [Réédition, 1986, section II, Variations subies par les animaux sous l'influence de la domesticité, p. 221-237]
10. HALDANE J.B.S., 1927. The comparative genetics of colour in rodents and carnivora. *Biol. Rev.*, **2**: 199-212.
11. HARDY G.H., 1908. Mendelian proportions in a mixed population. *Science*, **28**: 49-50.
12. HAUGEN E., 1960. Tvekjønn hos geit. [Hermaphroditism in goats]. *Meld. Norg. LandbruksHøgsk.*, **39**: 1-32.
13. L'HERITIER P., 1954. Traité de génétique. Tome II, La génétique des populations. Paris, France, PUF, p. 407-480.
14. LAUVERGNE J.J., 1982. Genética en poblaciones animales después de la domesticación: consecuencias para la conservación de las razas. [Genetics in animal populations after domestication: the consequences for breeds conservation]. In: Proc. 2^{do} Congr. mund. genet. applic. prod. ganad., Madrid, España, **6**: 77-87.
15. LAUVERGNE J.J., 1993. Breed development and breed differentiation. In: Simon D., Buchenauer D., Eds, Data collection, conservation and use of farm animal genetic resources, Proc. CEC Workshop and Training Course, Hannover, Germany, 7-9 Dec. 1992, p. 53-64.
16. LAUVERGNE J.J., 2010. A brief history of mammalian coat colour genetics. *CAB Rev.*, **5**: 5.
17. LAUVERGNE J.J., MALYNICZ G.L., QUARTERMAIN A.R., 1982. Coat colour variants of village pigs in Papua New Guinea. *Ann. Génét. Sél. anim.*, **14**: 49-62.
18. LAUVERGNE J.J., MILLAR P., MEUTCHIEYE F., BOUCHEL D., 2011. Visible genetic polymorphisms in domesticated animal species. *CAB Rev.*, **6**: 4.
19. LAUVERGNE J.J., MARTINEZ Z., AYALA C., RODRIGUEZ T., 1999. SUPREME-project: Identification of a primary population of domesticated South American camelids in the provinces of Quijarro and Nor Lipez (Department of Potosi, Bolivia) using the phenotypic variations of coat colour. In: Gerken M., Renieri C., Bramsmann S., Eds, 3rd Eur. Symp. South American Camelids, Göttingen, Germany, 27-29 May 1999.
20. LAUVERGNE J.J., NIEMINEN M., 2011. Genetic polymorphism of adult reindeer coat colour in a herding cooperative in Finnish Lapland. *Rangifer*, **31**: 155-159.
21. LITTLE C.C., 1951. Coat colour genes in rodents and carnivores. *Quart. Rev. Biol.*, **33**: 103-137.
22. MASON I.L., 1951. A world dictionary of breeds, types and varieties of livestock. Technical Communication No 8. Slough, UK, Commonwealth Bureau of Animal Breeding and Genetics, p. 15-19.
23. MASON I.L., 1969. A world dictionary of livestock breeds, types and varieties. Technical communication N° 8 (revised). Slough, UK, Commonwealth Bureau of Animal Breeding and Genetics, 268 p.
24. MASON I.L., 1988. A world dictionary of breeds, types and varieties of livestock, 3rd Edn. Wallingford Oxon, UK, CAB International, 348 p.
25. MASON I.L., 1996. A world dictionary of breeds, types and varieties of livestock, 4th Edn. Wallingford Oxon, UK, CAB International, 273 p.
26. MULLER-HAYE B., 1984. 32. Guinea-pig or cuy. In: Mason I.L., Ed., Evolution of domesticated animals. London, UK, Longman, p. 252-257.
27. NICHOLAS F.W., 2001. Genetics of morphological traits and inherited disorders. In: Ruvinsky A., Sampson J., Eds, The genetics of the dog. Wallingford Oxon, UK, CAB International, p. 87-116.
28. PALSSON H., 1944. Fjölbreytni litareinkenna íslenska sauðfjárins. [Variation in the colouration of Icelandic sheep]. *Náttúrufræðingurinn*, **14**: 74-83.
29. PROVINE W.B., 1971. The origins of theoretical population genetics. Chicago, IL, USA, University of Chicago Press, p. 201.
30. SEARLE A.G., 1949. Gene frequencies in London cats. *J. Genet.*, **49**: 214-220.
31. SEARLE A.G., 1968. Comparative genetics of coat colour in mammals. London, UK, Academic Press, p. 308.
32. WEINBERG W., 1908. Über die Nachweis der Vererbung beim Menschen. *Jahresb. Verein. Vaterl. Naturk. Württemb.*, **64**: 368-382.
33. WILLS C., 1981. Genetic variability. Oxford, UK, Clarendon Press, p. 312.
34. WILSON J., 1909. The colours of Highland cattle. *Sci. Proc. R. Dublin Soc.*, **12**: 66-76.
35. WRIGHT S., 1917. Color inheritance in mammals. *J. Hered.*, **8**: 224-235.
36. WRIGHT S., 1917. Color inheritance in mammals. II. The Mouse. *J. Hered.*, **8**: 373-378.
37. WRIGHT S., 1917. Color inheritance in mammals. III. The Rat. *J. Hered.*, **8**: 426-430.
38. WRIGHT S., 1917. Color inheritance in mammal. IV. The Rabbit. *J. Hered.*, **8**: 473-475.
39. WRIGHT S., 1917. Color inheritance in mammals. V. The Guinea Pig. *J. Hered.*, **8**: 476-480.
40. WRIGHT S., 1917. Color inheritance in mammals. VI. Cattle. *J. Hered.*, **8**: 521-527.
41. WRIGHT S., 1917. Color inheritance in mammals. VII. The Horse. *J. Hered.*, **8**: 561-564.
42. WRIGHT S., 1918. Color inheritance in mammals. VIII. The Swine. *J. Hered.*, **9**: 33-38.
43. WRIGHT S., 1918. Color inheritance in mammals. IX. The Dog. *J. Hered.*, **9**: 87-90.
44. WRIGHT S., 1918. Color inheritance in mammals. X. The Cat. *J. Hered.*, **9**: 139-144.
45. WRIGHT S., 1918. Color inheritance in mammals. XI. Man. *J. Hered.*, **9**: 227-240.
46. ZOPHONIASOON P., 1934. Nogle Bemaerkninger om enkelte Arvelighedsforhold hos de islandske Faar. *Nord. Jordbruksforsk.*, **16**: 217-223.

Accepté le 2.12.2013

Résumé

Lauvergne J.J., Sponenberg D.P., Millar P. Le polymorphisme visible de populations animales domestiques, son rôle dans la création des races : une synthèse

De nombreuses populations d'espèces animales domestiques présentent un polymorphisme visible très marqué pour la couleur, le type de pelage, le cornage et autres caractères. Ces populations polymorphes ont été appelées non uniformes, traditionnelles ou primaires. Le polymorphisme est dû à la présence, à certains locus, de plusieurs allèles en ségrégation dont les fréquences ont atteint une valeur d'équilibre entre 0 et 1 selon les lois de la génétique des populations. L'hypothèse la plus couramment admise est que ces populations appartiennent à des populations de taille infinie qui se reproduisent en panmixie, deux conditions qui ont en général été vérifiées par des études de terrain. On pense que ces populations polymorphes apparaissent chez certaines espèces animales après leur domestication et servent de réservoir de variabilité dans lesquels puisent les éleveurs pour créer les races standardisées ou fixées (avec une société d'élevage ou reconnues par un organisme). Des populations polymorphes existent aussi chez les espèces sauvages mais elles sont plutôt rares alors qu'elles sont couramment observées à l'état domestique, au moins chez les espèces qui sont conduites en troupeaux et où le contrôle des accouplements n'est pas très strict, en particulier chez certaines espèces de ruminants conduites en élevage extensif. Certains locus de coloration du pelage constituent l'essentiel des locus à effet visible en ségrégation dans les populations polymorphes. Ces locus présentent des séries alléliques homologues entre espèces dont l'identification qui remonte aux premières décennies de la génétique mendélienne a depuis été confirmée par la génétique moléculaire.

Mots-clés : Animal domestique – Animal sauvage – Race d'animal d'élevage – Polymorphisme génétique – Génétiques des populations – Fréquence allélique.

Resumen

Lauvergne J.J., Sponenberg D.P., Millar P. Polimorfismo visible en ciertas poblaciones animales domésticas, su papel en la creación de razas: síntesis

Numerosas poblaciones de especies animales domésticas presentan un polimorfismo visible muy marcado en el color, tipo de pelaje, cuernos y otros caracteres. Estas poblaciones polimorfas han sido llamadas no uniformes, tradicionales o primarias. El polimorfismo es debido a la presencia de ciertos locus en varios alelos segregados cuyas frecuencias han alcanzado un valor de equilibrio entre 0 y 1 según las leyes de la genética de poblaciones. La hipótesis más frecuentemente aceptada es que estas poblaciones pertenecen a poblaciones de tamaño infinito que se reproducen en panmixia, dos condiciones que por lo general han sido verificadas mediante estudios de campo. Se piensa que estas poblaciones polimorfas aparecen en ciertas especies animales después de la domesticación y sirven de reservorio de variabilidad en los cuales se sirven los criadores para crear razas estándar o fijas (con una sociedad de cría, reconocidas por un organismo o simplemente fijas). Las poblaciones polimorfas existen también en especies silvestres, pero son por lo general raras, mientras que son frecuentemente observadas en los estadios domésticos, al menos en las especies que son conducidas en hatos y donde el control de apareamiento no es muy estricto, particularmente en ciertas especies de rumiantes criados en cría extensiva. Ciertos locus de coloración del pelaje constituyen lo esencial de los locus con efecto visible en segregación de las poblaciones polimorfas. Estos locus presentan series de alelos homólogos entre las especies cuya identificación, que data desde las primeras décadas de la genética mendeliana ha, desde entonces, sido confirmada por la genética molecular.

Palabras clave: Animal doméstico – Animal salvaje – Raza de ganado – Polimorfismo genético – Genética de poblaciones – Frecuencia alélica.

