ParisTech
INSTITUT DES SCIENCES ET TECHNOLOGIES
PARIS INSTITUT OF TECHNOLOGY

AgroParisTech
INSTITUT DES SCIENCES ET INDUSTRIES DU VIVANT ET DE L'ENVIRONNEMENT
PARIS INSTITUTE OF TECHNOLOGY FOR LIFE, FOOD AND ENVIRONMENTAL SCIENCES

Ecole Doctorale ABIES
Agriculture Agriculture Alimentation Food Biologie Biology Environnement Environment Santé Health

Doctorat ParisTech

T H È S E

pour obtenir le grade de docteur délivré par

L'Institut des Sciences et Industries du Vivant et de l'Environnement

(AgroParisTech)

Spécialité : Génétique Animale

présentée et soutenue publiquement par

Mélanie Jaquot Gunia

le 16 mai 2012

Conception et optimisation d'un programme de sélection de petits ruminants en milieu tropical : cas du caprin Créole en Guadeloupe

Directeur de thèse : **Nathalie MANDONNET**
Co-encadrement de la thèse : **Florence PHOCAS**

Jury

M. Etienne VERRIER, Professeur, AgroParisTech	Président
Mme Johann DETILLEUX, Professeur, Université de Liège	Rapporteur
M. Bernard FAYE, Chercheur, CIRAD Montpellier	Rapporteur
M. Abel HIOL, Professeur, Université des Antilles et de la Guyane	Examinateur
Mme Florence PHOCAS, Chercheur, INRA	Examinatrice
Mme Nathalie MANDONNET, Chercheur, INRA	Examinatrice

AgroParisTech
Unité de Recherches Zootechniques
INRA Antilles-Guyane, Domaine Duclos, Prise d'eau, 97170 Petit-Bourg, Guadeloupe

A mes parents, Anne-Lise et Lucie, et Mwabasi

« L'homme de Science le sait bien, lui, que, sans la Science, l'homme ne serait qu'un stupide animal sottement occupé à s'adonner aux vains plaisirs de l'amour dans les folles prairies de l'insouciance, alors que la Science, et la Science seule, a pu, patiemment, au fil des siècles, lui apporter l'horloge pointeuse et le parcmètre automatique sans lesquels il n'est pas de bonheur terrestre possible. »

Pierre Desproges

REMERCIEMENTS

A Vincent Ducrocq, sans qui rien de tout cela n'aurait commencé…,

A Nathalie Mandonnet pour son suivi de tous les jours, son soutien, professionnel et personnel,

A Florence Phocas pour sa vision tellement « éclairante », pour tout ce suivi, malgré la distance, pour ses bons conseils,

A Harry Archimède et Maryline Boval pour leur accueil au sein de l'unité,

A Etienne Verrier pour ce suivi de longue date pour mes stages, puis cette thèse…,

Aux membres du comité de thèse, et en particulier Léo Dempfle, pour son expérience et Valérie Angeon, pour sa vision différente et tellement enrichissante de l'élevage,

A Piter Bijma et Henk Bovenhuis pour leur accueil à Wageningen,

A tous les éleveurs, auprès de qui j'ai beaucoup appris,

A Rémy Arquet, à qui j'ai du faire retourner toutes les archives de l'élevage ! Merci pour ta patience,

A Rangit Manicom, Marylène Madassamy, aux membres de la Cabricoop, à Regis Alexandre pour leur temps et leur aide,

A tous les membres de l'URZ (Audrey, Carine, David, Elin, Gisèle, Harry, Jean-Luc, Jean-Christophe, Hughes, Luber, Lucien, Marie-José, Maryline, Maurice, Mélanie, Michel, Nathalie, Suzitte, Tatiana) pour leur accueil chaleureux, leurs bons conseils, la bonne ambiance, et tout ce qui a fait que c'était un plaisir d'aller au bureau le matin (même à vélo !),

A Fabien, toujours là pour rebooster mon égo,

Aux autres thésards, passés et présents, compagnons de galère… Amal, Aurélie, Carla, Carole, Claudia, Laure, Pierre, Séverine, Nizar, Willy…,

A tous les Stagiaires, VCAT, CDD, c'est toujours un déchirement de vous voir partir,

Au personnel de l'UMR CMAEE, en particulier Damien, pour ses conseils, Thibaud et Laure, pour les pauses café et les grandes discussions sur la tique.

FINANCEMENTS ET LABORATOIRES D'ACCUEIL

Cette thèse a été financée par l'INRA, par le département Génétique Animale et par le département Physiologie Animale et Systèmes d'Elevage.
Elle a été réalisée à l'Unité de Recherches Zootechniques, à l'INRA Antilles-Guyane.
Le département Animal Breeding and Genetics de l'Université de Wageningen est remercié pour son accueil durant les mois de novembre et décembre 2010.

PARTENAIRES

GLOSSAIRE

BLUP = Best Linear Unbiased Prediction

BW= Body Weight = Poids vif

Cabri = chèvre ou caprin

Cabricoop = coopérative des éleveurs de petits ruminants en Guadeloupe

DP = Dressing Percentage = Rendement carcasse

EV = Economic Value = Pondération économique

Famacha = méthode d'évaluation du niveau de parasitisme gastro-intestinal des petits ruminants se basant sur la couleur de la muqueuse de l'œil

FAO = Food and Agriculture Organization = Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture

FEC = Fecal Eggs Count = OPG

FER = Fertility = Fertilité

F1 = première génération issue d'un croisement

FWI = French West Indies = Antilles françaises

GMQ = gain moyen quotidien

H = Objectif de sélection

ha = hectare

I = Index de sélection

IGUAVIE = Interprofession viande en Guadeloupe

INRA = Institut National de la Recherche Agronomique

OPG = œufs de strongles excrétés par grammes de fèces

PCV = Packed Cell Volume = Hématocrite

QTL = Quantitative Trait Locus

L1, L2, L3, L4 = différents stades larvaires des nématodes

LS = Litter Size = taille de portée

SD = Standard Déviation = Ecart Type

SE = Standard Error = Erreur Standard

SNP = Single Nucleotide Polymorphism

URZ = Unité de Recherches Zootechniques

TABLE DES MATIERES

Remerciements 5
Financements et laboratoires d'accueil 7
Glossaire 9

INTRODUCTION GENERALE 13

Les caprins dans le monde 15
La selection en caprin 19
Enjeux et objectifs de la these 21

ETAT DES LIEUX 25

L'elevage caprin en Guadeloupe 27
Article 1 : Les pratiques d'elevage caprin en Guadeloupe et leurs implications pour la mise en place d'un programme de selection 33
Le parasitisme interne des petits ruminants 44
L'Optimisation d'un programme de selection 54

RESULTATS 71

Article 2 : L'objectif de selection de la chevre Creole en Guadeloupe 73
Article 3 : les parametres genetiques de la chevre Creole 103
Article 4 : OPtimisation d'un programme de selection 115

DISCUSSION GENERALE ET CONCLUSION 139

Un programme de selection pour la chevre Creole 141
Les bases scientifiques du programme de selection 144
Perspectives 150

REFERENCES 153

ANNEXES 163

Diffusion des resultats 165
Formations suivies 169
Resume 171
Abstract 172

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Diagramme SWOT (Strength, Weakness, Opportunity, Threats) de la filière caprine 32
Tableau 2 : Taxonomie des principales espèces de parasites gastro-intestinaux des caprins en Guadeloupe. 44
Tableau 3 : Fréquence de l'espèce dans la communauté de vers et prévalence (nombre d'animaux présentant l'espèce) chez les caprins de Guadeloupe, localisation des vers adultes et conséquences pathologiques sur l'hôte (d'après Aumont *et al*., 1997). 44
Tableau 4 : Pondérations économiques des caractères de l'objectif de sélection obtenues avec un nombre de mères constant dans l'élevage. 74
Tableau 5 : Réponse à la sélection prédite obtenue pour un objectif de sélection et un index incluant le poids à 11 mois, la fertilité, le rendement carcasse, l'hématocrite et l'OPG à 11 mois (« Hcombined » dans l'article). 116
Tableau 6 : Etapes de la mise en place et de l'évaluation du programme de sélection 149

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Chèvre et bouc Créoles 28
Figure 2 : Programme de sélection envisagé (d'après illustration EDE-Chambre d'Agriculture) 43
Figure 3 : Schéma du cycle biologique des strongles 46
Figure 4 : Chevreau parasité (Photo Rémy Arquet, INRA UE Gardel, 2003) 48
Figure 5 : Principaux systèmes de croisement terminal (d'après A. Bouquet, 2009) 57
Figure 6 : Différents types de croisements (d'après E.Verrier, 2005) 58
Figure 7 : Organisation pyramidale de la sélection 65
Figure 8 : Différentielle de sélection phénotypique S pour une sélection par troncation (d'après Minvielle, 1990) 67

Introduction générale

LES CAPRINS DANS LE MONDE

A l'exception du chien dont la domestication remonte au Paléolithique, la chèvre a été l'un des tout premiers animaux domestiqués pour l'élevage au Néolithique, il y a 12 000 ans, dans la région qui correspond aujourd'hui à l'Est de l'Anatolie et au Nord-Ouest de l'Iran (Naderi *et al.*, 2008).

Il y avait environ 921 millions de chèvres dans le monde en 2010 (FAOstat, 2010a). Les plus grandes populations caprines se trouvent en Asie (Inde, Pakistan, moitié est de la Chine, Indonésie, ex-pays de l'URSS : Turkménistan, Ouzbékistan, Tadjikistan et Kirghizstan), au Proche-Orient, au Sahel et en Afrique de l'Est, au Mexique, dans les Caraïbes, dans le Nord de l'Amérique du Sud et au Nord-Est du Brésil (FAO, 2007). De 1990 à 2010, la population de chèvres dans le monde a augmenté de 55% (FAOstat, 2010a). Son accroissement suit celle de la population humaine dans les pays du Sud et répond à leurs besoins croissants en viande et lait (Boyazoglu *et al.*, 2005).

La plupart des caprins dans le monde sont élevés dans des systèmes d'élevage traditionnels extensifs ou semi-extensifs avec un faible niveau d'intrants. Les systèmes d'élevage intensifs, minoritaires et principalement réservés aux chèvres laitières, se trouvent en Europe et en Amérique du nord (Peacock et Sherman, 2010).

Le nombre de races caprines est mal connu, car beaucoup ne sont pas caractérisées, au Nord comme au Sud (Dubeuf et Boyazoglu, 2009). Ces derniers auteurs comptent 136 races bien identifiées, tandis que Galal (2005) rapporte un total de 115 races caprines différentes recensées par la FAO.

I Les produits fournis par les caprins

1) Fibres

Les principales fibres provenant de chèvres et utilisées dans le monde sont le cashmere, la laine mohair, et dans une moindre mesure, le poil même des caprins. Ce dernier est utilisé par certaines tribus nomades dans le désert pour produire la toile des tentes.

Le cashmere est un duvet produit par la chèvre cashmere en hiver. Cette production est originaire du nord-est de l'Inde, mais elle est désormais localisée (pour 85%) sur les plateaux

de Chine et de Mongolie, où les chèvres sont élevées dans des systèmes pastoraux extensifs. Ces deux pays produisent 4 000 tonnes de fibres « pures » (épurées des poils grossiers). Les fibres étant de plus en plus utilisées et transformées en produits finis (tissus, habits) en Chine, leur exportation vers les pays du Nord a diminué, malgré la demande importante (van der Westhuysen, 2005).

La laine mohair est produite par les chèvres Angora, et a pour origine la région d'Ankara en Turquie. Sa production est désormais localisée en Afrique du Sud (pour les deux tiers), aux Etats-Unis et au Lesotho. La fibre brute est par contre transformée dans les pays importateurs (Europe et Asie). Cette production est en déclin, elle n'atteignait plus que 6 600 tonnes en 2003 (70% de moins qu'en 1988). Les prix du mohair sont très volatils car ils dépendent du marché de la mode, et de ce fait, les agriculteurs préfèrent se tourner vers d'autres productions aux prix plus stables (van der Westhuysen, 2005).

2) Lait

La production mondiale de lait de chèvre a doublé en 20 ans, passant de 8 millions de tonnes en 1980 à 17 millions de tonnes en 2010. En 2010, 45% du lait était produit en Inde, Pakistan et Bangladesh, 19% dans les pays du Sahel et d'Afrique de l'est, 15% dans les pays méditerranéens (FAOstat, 2010b). La production en Asie et en Afrique est assurée par des races caprines mixtes (lait – viande) tandis qu'elle est le fait de races laitières spécialisées dans les pays méditerranéens (Dubeuf *et al.*, 2004). Le lait de chèvre est accessible à la majorité des populations dans le monde, mais généralement en dehors de circuits de commercialisation organisés. Le lait est le plus souvent autoconsommé ou vendu au niveau local (Dubeuf *et al.*, 2004).

3) Viande

La production mondiale de viande de chèvre a elle aussi doublé en 20 ans. En 2010, elle était de 5,1 millions de tonnes, contre 2,6 millions de tonnes en 1990. Cette production est assurée à 36% par la Chine, à 21% par l'Inde, le Pakistan et le Bangladesh, et à 14% par les pays du Sahel et d'Afrique de l'est (FAOstat, 2010b).

Bien que la demande en viande caprine augmente fortement en Asie et en Afrique, les filières de production de viande caprine sont très peu organisées et les ventes à l'international ne représentent que 0,5% de la production mondiale (Dubeuf *et al.*, 2004). L'Australie est de

loin le premier exportateur de viande caprine, avec 25 000 tonnes de viande exportée en 2009 (FAOstat, 2009). Elle est suivie par l'Inde (7000 tonnes) et la Chine (5000 tonnes). Les principaux pays importateurs sont les pays du Moyen-Orient, avec 15 000 tonnes et les Etats-Unis, avec 11 000 tonnes importées en 2009 (FAOstat, 2009).

La viande de chèvre est généralement consommée par le producteur ou vendue localement, et l'augmentation de la consommation de viande caprine en zone urbaine (due à l'augmentation de la population dans les villes) n'a pas changé radicalement l'organisation des filières dans lesquelles la vente de viande passe toujours par des circuits informels. L'inadéquation entre l'offre et la demande a conduit à l'augmentation du prix de la viande et à une dépendance croissante vis-à-vis de l'importation (Dubeuf *et al.*, 2004). Cette situation se retrouve en Guadeloupe (Alexandre *et al.*, 2008).

II Les autres services

Dans les pays du Sud, plus que dans les pays du Nord, les caprins remplissent une multitude de fonctions qui vont bien au delà de la production de viande, lait ou fibre. Les autres produits de la chèvre, telle que la peau, le poil, les cornes, le fumier, sont aussi recherchés, de même que ses nombreux services, tel que le transport, le désherbage, l'épargne, l'assurance, la sécurité, l'apport de liquidités, l'utilisation comme don ou cadeau. La chèvre joue aussi un rôle dans les rituels religieux (Peacock, 2005). Ces rôles sont importants en Guadeloupe, surtout ceux liés aux traditions (viande caprine utilisée pour le colombo de cabri, plat régional), aux cérémonies religieuses hindoues, et au plaisir d'élever des caprins.

LA SELECTION EN CAPRIN

I Sélection dans les pays du Nord

La sélection des caprins est liée à un secteur économique développé et bien organisé. La majorité des programmes de sélection en caprins se situe dans les pays du Nord. Ces programmes concernent surtout les races laitières et certaines races à viande, comme la race Boer en Afrique du Sud, aux Etats-Unis et en Australie. Les niveaux de productivité en viande et en lait des caprins est souvent meilleure dans les pays tempérés (Dubeuf et Boyazoglu, 2009).

II Sélection dans les pays du Sud

Dans les pays du Sud, où les caprins sont essentiellement utilisés pour la consommation locale, il y a peu de programmes de sélection qui se soient implantés sur le long terme. L'absence de programmes de sélection est généralement due au manque de caractérisation des races locales et au désintérêt des gouvernements, instituts de recherche et bailleurs de fonds pour les caprins (Boyazoglu et al., 2005).

Les tentatives de développement de programmes de sélection reproduisant à l'identique les modèles des pays du Nord ont souvent échoué à cause de leur inadéquation aux besoins locaux (Dubeuf et Boyazoglu, 2009). Ces programmes consistaient le plus souvent à importer dans les pays du Sud des génotypes plus productifs provenant de pays tempérés, et à les utiliser en race pure ou en croisement. Ces génotypes ne correspondaient ni aux objectifs de sélection des éleveurs, ni à leurs méthodes de gestion des troupeaux dans des systèmes traditionnels à faibles intrants (Kosgey *et al.*, 2006). La non prise en compte des caractères d'adaptation des animaux a ainsi causé l'échec de nombreux programmes de sélection (Kosgey *et al.*, 2006).

Les caractères d'adaptation des races locales étaient en effet souvent sous-estimés. Ces caractères doivent pourtant être pris en compte dans l'objectif de sélection pour offrir une amélioration génétique durable (Alexandre et Mandonnet, 2005). Les races locales sont en effet extrêmement résilientes et bien adaptées aux conditions difficiles rencontrées dans les pays tropicaux (températures extrêmes, sous-alimentation, parasitisme). Ces chèvres ont la capacité de marcher sur de longues distances et de survivre aux sécheresses (Boyazoglu *et al.*,

2005). Elles ont souvent des caractéristiques uniques particulièrement intéressantes (Baker et Gray, 2004), comme leur prolificité, fertilité, résistance à la chaleur, trypanotolérance et résistance au parasitisme (Kosgey *et al.*, 2006).

ENJEUX ET OBJECTIFS DE LA THESE

I Enjeux

Une mise en œuvre pérenne et optimale de programmes de sélection en milieu tropical nécessite la prise en compte de multiples paramètres, économiques, sociaux et écologiques.

Les enjeux liés à un programme de sélection pour la chèvre Créole en Guadeloupe sont multiples :

- l'augmentation de la production de viande pour atteindre l'autosuffisance en viande caprine sur l'île (actuellement, la production ne couvre que 13% des besoins),
- la pérennisation des organisations et infrastructures liées au programme,
- la durabilité des élevages caprins,
- la conservation et amélioration de la race Créole,
- la reconnaissance des rôles intangibles et de l'ensemble des services fournis par les caprins,
- le maintien de leur adaptation au milieu, et plus particulièrement de la résistance aux strongles gastro-intestinaux.

II Objectifs

Ce travail de thèse a pour objectif la conception et l'optimisation d'un programme de sélection pour la chèvre Créole en Guadeloupe. Il s'agit de proposer les bases pour une sélection multicaractère d'une race locale, en veillant au maintien d'un caractère d'adaptation: la résistance aux strongles gastro-intestinaux, pathologie majeure des petits ruminants en milieu tropical.

Cette étude doit fournir les outils nécessaires à l'optimisation de ce programme de sélection, qui vise à améliorer la rentabilité économique des élevages caprins Créoles. Dans cette thèse ont été développés les outils scientifiques et techniques fondant les bases du programme de sélection. En particulier, trois étapes préalables à la mise en place du programme ont été identifiées :

1) la définition de l'objectif de sélection,
2) l'estimation des paramètres génétiques associés aux caractères à améliorer et à leurs prédicteurs possibles,
3) le choix des critères de sélection à mesurer pour permettre une forte réponse sur l'objectif global de sélection tout en maintenant la bonne résistance et résilience des chèvres Créoles aux strongles gastro-intestinaux.

III Plan de la thèse

La première partie du manuscrit présente l'état des lieux des connaissances sur l'élevage caprin en Guadeloupe, le parasitisme interne des petits ruminants et l'optimisation des programmes de sélection.

La deuxième partie rassemble les résultats de la thèse sous forme d'articles scientifiques, concernant l'objectif de sélection, l'estimation des paramètres génétiques et le choix des critères de sélection permettant une réponse à la sélection optimale.

En guise de conclusion, une discussion générale remet les résultats obtenus en perspective pour une mise en place pertinente et économiquement durable du programme de sélection de la chèvre Créole en Guadeloupe.

Etat des lieux

L'ELEVAGE CAPRIN EN GUADELOUPE

I Les caprins en Guadeloupe

1) La Guadeloupe

La Guadeloupe est un Département français d'Outre Mer, situé aux Antilles (16,1°N; 61,6°O). C'est un archipel qui regroupe huit îles habitées, avec 410 000 habitants pour 1700 km², dont 450 km² de Surface Agricole Utile. L'île de Basse-Terre et l'île de Grande-Terre constituent la Guadeloupe proprement dite. Le climat est de type tropical humide. La température annuelle moyenne se situe autour de 25°C en Basse-Terre et 26°C en Grande-Terre, avec une hygrométrie autour de 77%. Les précipitations annuelles sont en moyenne de 1600 mm en Grande-Terre et 2600 mm en Basse-Terre (Chambre d'Agriculture, 2010). On distingue deux saisons : la saison sèche, aussi appelée carême, de décembre à mai et la saison des pluies, ou hivernage, de juin à novembre. La Grande-Terre connaît régulièrement la sécheresse tandis qu'en Basse-Terre le relief, perpendiculaire au flux des alizés, régule les pluies (météo France).

On compte environ 9 000 exploitations agricoles en Guadeloupe, de 4 ha en moyenne. La canne à sucre, cultivée sur le nord-est de la Basse-Terre et sur Grande-Terre, et la banane, cultivée au sud de la Basse-Terre, sont les deux productions majeures de l'île. L'élevage se trouve majoritairement sur Grande-Terre. Il y a environ 75 000 bovins (allaitants) en Guadeloupe, 23 000 caprins, 15 500 porcins et 2 500 ovins ainsi que 250 000 volailles (Agreste, 2009).

2) La chèvre Créole et les autres types raciaux présents en Guadeloupe

Après la découverte de l'île par Christophe Colomb, des animaux ibériques furent importés sur l'île au 16ème et 17ème siècle, rejoint ensuite par des animaux originaires d'Afrique et d'Asie. Ces métissages successifs ont peu à peu constitué la population de caprins Créoles, qui reste très apparentée aux races caprines d'Afrique de l'Ouest (Naves *et al.*, 2009). Ces caprins ont été utilisés indifféremment pour la production de viande, de lait et pour la traction, tout en étant soumis à la sélection naturelle. De nos jours, ils ne sont plus utilisés que pour la production de viande.

Au 20ème siècle, plusieurs tentatives d'amélioration du cheptel local ont conduit à l'introduction de races laitières européennes (Alpine et Saanen) et de races bouchères (Boer). Des caprins mixtes (lait et viande) de type Anglo-Nubien, et des chèvres de races locales françaises de race Rove ont aussi été introduits sur l'île. Les produits de croisements de type chèvre Créole * bouc Boer ou chèvre Créole * bouc Anglo-Nubien ont souvent été gardés pour le renouvellement du troupeau de femelle, et il y a rarement eu de croisement industriel avec une lignée femelle Créole conservée. On retrouve maintenant en Guadeloupe des animaux croisés, présentant souvent un type racial proche des races Boer ou Anglo-Nubiennes, mais dont les origines exactes sont inconnues.

La création récente d'un standard de la race Créole (Mandonnet *et al.*, 2010) a pour but l'identification des animaux de race Créole, et sa différenciation d'animaux provenant de croisements récents et présentant des types raciaux jugés éloignés de ceux des caprins Créole.

La chèvre Créole (Figure 1) est une chèvre de petite taille, trapue, au profil droit ou concave, et aux oreilles courtes pointées vers l'avant. Son poil est ras. De nombreuses robes sont admises, sauf celles présentant des taches ou des panachures de blanc. Les robes les plus courantes sont unicolore (noir ou brun), noir et feu, chamoisée ou sauvage. Les muqueuses et les onglons doivent être noirs.

Un chevreau Créole pèse en moyenne 1,7 kg à la naissance et 7,8 kg au sevrage. Une femelle adulte atteint 28 kg et un mâle 38 kg (Alexandre *et al.*, 1997a). Ses qualités maternelles et reproductrices en font une race très performante. Les chèvres Créole ont une bonne fertilité, elles ne sont pas saisonnées et ont une prolificité élevée de 2,3 petits par mise bas (Alexandre *et al.*, 1997a). En revanche, le taux de mortalité pré-sevrage est de 22%. Dans trois-quarts des cas, cette mortalité est due aux parasites gastro-intestinaux (Aumont *et al.*, 1997), bien que la race Créole présente une certaine résistance à ces parasites (Mandonnet *et al.*, 1997).



Figure 1 : Chèvre et bouc Créoles

II Les Systèmes d'élevage

1) Cheptel caprin en Guadeloupe

La production caprine en Guadeloupe reste très traditionnelle et familiale, peu structurée, et la majorité de la production est commercialisée en vente directe et non déclarée (ODEADOM, 2009). Par conséquent, peu de chiffres précis sont disponibles sur l'élevage caprin en Guadeloupe, la plupart étant des estimations à dire d'experts. Le nombre de caprins en Guadeloupe est estimé à 23 000 têtes en 2009 (Agreste, 2009), dont environ 9000 chèvres-mères (Chambre d'Agriculture, 2010). Cependant, les acteurs de terrain considèrent que le cheptel de caprins sur l'île serait en réalité autour de 60 000 têtes (Asselin de Beauvillle, 2002).

2) Diversité des systèmes d'élevage

Les systèmes d'élevage caprins dominants sont de type polyculture élevage. Les exploitations sont de type familiale avec production de fourrage pour l'alimentation des animaux (Naves *et al.*, 2009).

Traditionnellement, l'élevage de caprins constitue un complément d'activité pour la famille, avec quelques chèvres élevées au piquet à proximité de la maison et très peu d'investissement (Alexandre *et al.,* 2006). Ces caprins exploitent les résidus de culture, consomment l'herbe et les broussailles des bords de parcelles ou de routes. Ce sont majoritairement des animaux de race Créole, n'étant pas identifiés officiellement par une boucle, et étant abattus « sous le manguier » (en dehors des abattoirs) pour l'autoconsommation ou la vente à la ferme. Ce mode d'élevage est très présent en Guadeloupe (Alexandre et Angeon, 2010). Parallèlement, certains éleveurs se sont structurés et spécialisés. Ils ont alors rejoint les circuits de commercialisation déclarés officiellement.

3) Production de viande

En Guadeloupe, les caprins sont destinés exclusivement à la production de viande. Un kilo de viande fraiche se vend autour de 23€/kg (Chambre d'Agriculture, 2010). Ce prix élevé s'explique par la forte demande et la production locale insuffisante (Alexandre *et al.,* 2006).

En effet, en 2009, on estimait la quantité de viande de caprins et ovins produite en Guadeloupe à 216 tonnes, sachant que les caprins sont très majoritaires. Cette production couvrait seulement 13% des besoins de la population, puisque 1425 tonnes de viande congelée de caprins et ovins avaient été importées la même année (Agreste, 2009). De plus, sur les 216 tonnes de viande produite estimées, seules 13 tonnes provenaient d'animaux abattus de façon contrôlée, les 203 tonnes restantes correspondant à des abattages et à des ventes « à la ferme » ne passant pas par les circuits déclarés officiellement (ODEADOM, 2009).

4) Les rôles culturels et religieux des caprins en Guadeloupe

Les caprins occupent une place importante dans la culture guadeloupéenne.

- **Plat régional**

Le colombo de cabri, un curry de viande de chèvre, est l'un des plats emblématiques de la Guadeloupe.

- **Cérémonies hindoues**

Des boucs caprins sont sacrifiés lors de cérémonies religieuse hindoues, dérivées des pratiques religieuses des premiers émigrants tamouls, arrivés juste après l'abolition de l'esclavage. Les boucs doivent être en bonne santé et bien conformés. Les animaux croisés sont souvent préférés et les animaux identifiés par des boucles sont généralement refusés pour les cérémonies. Après la cérémonie, la viande de bouc est préparée en colombo et servie aux participants et invités.

- **Tambours**

Les peaux de caprin entrent dans la fabrication de nombreuses percussions locales. Elles servent à la fabrication de Ka, tambour traditionnel originaire d'Afrique, utilisé pour le Gwo-Ka, musique traditionnelle qui lie chant et danse au son de ce tambour. Les peaux sont aussi utilisées pour la fabrication du matalom et du tapou, deux percussions originaires d'Inde qui accompagnent les cérémonies hindoues (Alexandre *et al.*, 2006).

- **Concours de cabris tirants**

Les courses de cabris tirants sont inspirées des courses de bœufs tirants. Des boucs sont attelés à une charrette, dont le poids à tirer dépend de la catégorie. Ils ont un parcours et des obstacles à passer en un temps limité. Ce type d'animation favorise les caprins croisés, plus grands et plus puissants (Alexandre *et al.*, 2006).

III La Filière Caprine

1) Les organismes professionnels

La filière se structure autour de 3 organismes professionnels :

- **La Cabricoop**

Coopérative agricole des producteurs caprins de Guadeloupe. Elle fut créée en 1995 suite à la liquidation judiciaire de la précédente coopérative, mais ne commença à réellement fonctionner qu'en 2005. En 2011, la Cabricoop comptait une centaine d'adhérents, possédant en moyenne 25 chèvres mères. En 2010, environ 800 caprins avaient été commercialisés par l'intermédiaire de la coopérative.

- **L'IGUAVIE (interprofession guadeloupéenne de la viande et de l'élevage)**

Elle a été créée en 2004 et regroupe toutes les organisations de producteurs. Elle a pour ambition de développer l'élevage et la commercialisation de la viande locale.

- **La SICA CAP'VIANDE : société coopérative d'intérêt collectif agricole.**

Son l'objectif est de rationaliser la production de viande (toutes espèces) et d'en organiser la commercialisation.

2) Forces et faiblesses de la filière caprine

Les principales caractéristiques de la filière caprine sont résumées dans le Tableau 1.

Tableau 1 : Diagramme SWOT (Strength, Weakness, Opportunity, Threats) de la filière caprine

Forces	Faiblesses
Demande très importante en viande caprine, prix élevés	Profession peu structurée
« Facilité » d'élevage (petits animaux, reproduction rapide)	Abattages non contrôlés, caprins non identifiés
Coopérative jeune et dynamique	Manque de représentativité des éleveurs caprins
Des éleveurs aimant leur métier	Pas d'encadrement technique pour les éleveurs non adhérents à la Cabricoop
Race locale préservée	Croisements non contrôlés
Opportunités	**Menaces**
Potentiel de production présent	Manque de participation des éleveurs à la coopérative
Marge d'amélioration technique	Difficulté d'établir des projets collectifs (sécurité alimentaire, label)
	Vols
	Attaques de chiens
	Cyclones

ARTICLE 1 : LES PRATIQUES D'ELEVAGE CAPRIN EN GUADELOUPE ET LEURS IMPLICATIONS POUR LA MISE EN PLACE D'UN PROGRAMME DE SELECTION

Publié dans Animal

I Introduction et objectif

Cet article présente des résultats d'enquêtes menées auprès d'éleveurs Guadeloupéens, majoritairement adhérents à la coopérative caprine. Ces enquêtes se sont donc tournées vers des éleveurs mieux organisés que ceux présents sur le reste du territoire, et plus à même de participer à un programme de sélection.

L'objectif de ces enquêtes était de comprendre les pratiques d'élevage de ces éleveurs et d'en tirer les conséquences pour la création d'un programme de sélection. Elles avaient en particulier pour but :

- de comprendre la place de la chèvre Créole dans ces élevages par rapport aux animaux croisés
- d'identifier les caractères que les éleveurs souhaitent améliorer
- de comprendre les limitations techniques et sociales des élevages pouvant gêner la mise en place du contrôle de performance ou d'un programme de sélection
- de caractériser les différents systèmes d'élevage, d'établir une typologie des éleveurs et de la relier à la possibilité de participation des éleveurs au programme de sélection

II Résumé de l'article

La chèvre Créole est une race locale, destinée à la production de viande, qui est bien adaptée à l'environnement tropical de la Guadeloupe, île française des Caraïbes. Une enquête auprès de 47 éleveurs caprins a été menée en mai 2008 pour décrire les systèmes guadeloupéens d'élevage caprin. Ceci constituait l'étape préliminaire à l'établissement d'un programme de sélection pour la chèvre Créole.

Les éleveurs possédaient 31 chèvres en moyenne. Un petit nombre d'entre eux (4%) n'avaient que des chèvres Créoles. La plupart (62%) avaient des troupeaux mixtes de chèvres Créoles et croisées. Un tiers (34%) n'élevaient que des chèvres croisées.

Les éleveurs appréciaient la rusticité et la résistance de la chèvre Créole, mais considéraient que sa croissance était trop lente. Les caractères les plus désirés pour la sélection des caprins étaient la conformation et la croissance des mâles (77% des réponses). Ces caractères étaient aussi importants pour les femelles (30% des réponses). Les qualités maternelles étaient aussi fréquemment citées (comportement maternel 23%, reproduction 20% et production laitière 17%). La résistance aux maladies n'était quant à elle pas considérée comme un critère important (seulement 10% des réponses pour les boucs et 7% des réponses pour les chèvres).

Une typologie de 5 groupes d'éleveurs a été créée. Les éleveurs de 3 de ces groupes ont été retenus pour participer à un programme de sélection. Ces éleveurs possédaient des chèvres de race Créole et avaient exprimé un fort désir de s'impliquer dans le programme de sélection.

Les résultats de cette enquête suggèrent qu'un programme de sélection devrait se concentrer principalement sur la chèvre Créole en temps que lignée maternelle. La résistance aux maladies devra aussi être prise en compte. La chèvre Créole a en effet un rôle clé à jouer pour la durabilité des systèmes d'élevage guadeloupéens.

Animal (2010), **4:12**, pp 2099–2105 © The Animal Consortium 2010
doi:10.1017/S1751731110001412

animal

Production systems of Creole goat and their implications for a breeding programme

M. Gunia[1], N. Mandonnet[1†], R. Arquet[2], C. de la Chevrotière[1], M. Naves[1], M. Mahieu[1] and G. Alexandre[1]

[1]*Institut National de la Recherche Agronomique, Unité de Recherches Zootechniques, Domaine Duclos, 97170 Petit Bourg, Guadeloupe;* [2]*INRA, Domaine de Gardel, 97160 Le Moule, Guadeloupe*

(Received 29 January 2010; Accepted 17 May 2010; First published online 29 June 2010)

The Creole goat is a local meat breed well adapted to the tropical environment of Guadeloupe, a French island in the Caribbean. A survey of 47 goat farmers was conducted in May 2008 to describe the Guadeloupean goat farming systems. It was the preliminary step for the implementation of a breeding programme for Creole goats. Farmers had 31 does on average. A small number (4%) kept only Creole goats. Most of them (62%) had a mixed herd of Creole and crossbreds. One-third of them (34%) reared only crossbred goats. Farmers appreciate the rusticity and resistance of the Creole goat but consider its growth as too slow. The most desired traits for goat selection were conformation and growth for males (77% of the answers). These traits were also important for females (30% of the answers). Maternal qualities were also frequently cited (maternal behaviour 23%, reproduction 20% and milk production 17%). Disease resistance was not seen as an important trait (10% and 7% of the answers for bucks and does, respectively). A typology constituted of five groups of farmers was also created. Farmers of three groups were retained to participate at a selection programme. They kept Creole goats and have expressed a strong willingness to join a selection programme. The results of the survey suggest that a breeding programme should mostly focus on the Creole goat as a maternal breed. Real consideration should be given to disease resistance. The Creole goat has indeed a key role to play in the sustainability of local farming systems.

Keywords: goat, breeding programme, tropics, selection goal

Implication

The knowledge of production systems and the opinions of farmers are a prerequisite for a breeding programme. The aim of this study has led to a sustainable genetic improvement programme for the local meat goat breed in Guadeloupe. Other Caribbean islands with similar issues are also interested in such programmes. If successful, this project could be used as an example.

Introduction

There are about 850 million goats in the world (FAOSTAT, 2007). Most of them (75%) are found in the developing countries of Asia, Africa and the Near-East regions (Galal, 2005). Their number is increasing since the second part of the 20th century (Morand-Fehr *et al.*, 2004). They play an important role in the smallholders farming systems (Lebbie, 2004; Kosgey *et al.*, 2006). They participate in the subsistence of a large human population and provide tangible (cash, milk, meat, fibre and manure) and intangible benefits (prestige, saving, insurance, cultural and ceremonial purposes).

Local breeds are usually well adapted to tropical climates. However, their importance has often been underestimated (Baker and Gray, 2004; Dubeuf and Boyazoglu, 2009). Silanikove (2000) and Alexandre and Mandonnet (2005) have shown that local breeds are the most qualified to survive in a harsh environment in low input systems. These hardy multipurpose breeds fulfil intangible benefits that were not often taken into account in crossbreeding or pure breeding selection programmes (Kosgey *et al.*, 2006).

Guadeloupe, our case study, is a French island in the Caribbean with a tropical climate. The standard of living and facilities are equivalent to those in European countries. Small animals production exists as a diversification from the main cash crops (sugarcane and banana) inherited from the colonial period. Goats are reared for their meat. Nevertheless, the meat production sector is not fully organised and

† E-mail: Nathalie.Mandonnet@antilles.inra.fr

the informal sector is still predominant (Alexandre *et al*., 2006). The official census recorded 31 000 goats in 2006 but field workers have estimated this number to be closer to 60 000 (Agreste Guadeloupe, 2007). Goats are mostly produced in small familial units (six does/farm) for own consumption or for sale. Animals have also a strong cultural importance (Alexandre *et al*., 2006).

The local Creole goat comes from the natural mixing of different breeds imported from Africa, Europe and India during colonisation (Naves *et al*., 2001). This population has been naturally selected for its ability to resist a harsh environment for about three centuries. Inadequate previous development policies had led to mistakes that had slowed down the implementation of breeding programmes for this breed. The value of the Creole goat was then underestimated. Some farmers grouped in a new cooperative structure called Cabricoop are now willing to create a breeding programme. They want to improve the local goat and make this breed more competitive.

In association with extension services and a research institute (INRA), a breeding programme will be implemented to genetically improve the Creole goat. Devendra (1980) considered that identifying the production systems should be the first step of these programmes. Therefore, a survey was conducted in May 2008 to describe the goat farming systems in Guadeloupe. Special emphasis was given to the practices and opinions of farmers that are relevant for a breeding programme.

Material and methods

Sampling method and data collection

A total of 47 interviews were carried out in the entire island. It corresponded to 1.9% of Guadeloupean goat breeders. The survey aimed to describe the goat-farming system and identify farmers willing to join a Creole goat-breeding scheme. Districts with more than 2% of Guadeloupean goat farms were selected. Thereby, 19 districts out of 32 were visited. The number of interview in each district was proportional to the number of goat farms. Farmers belonging to the Cabricoop were chosen first and then the farmers controlled by extension services in 2008 were randomly picked. With this sampling method, the largest breeders were interviewed. They are also those that are most likely to participate in a breeding programme. Farmers owning only a couple of does were ignored.

An enumerator interviewed every farmer with the help of a questionnaire. It covered seven main subjects: general household characteristics; general farm information (crops, animals and labour); goat farming (breed structure, demography, selection, identification and health); housing and feeding; commercialisation, technical follow-up and advice; past and future of the farm; farmer's opinion. Information about breed choice and selection goals was specially emphasised. About 150 open and closed questions were answered during a discussion with the farmer.

Data analysis

Data were similarly organised as described by Lassalle and Patry (2007) and followed the order of the questionnaire. In the case of free or multiple-choice answers, each item was weighed according to the total number of answers given. For example, if four answers were given, each one weighed 0.25. A principal component analysis (PCA) was applied using the ADE-4 package of R software (Thioulouse *et al*., 1997; Chessel *et al*., 2004) to seven quantitative variables to identify correlations between them.

A multiple correspondence analysis was also conducted on 12 qualitative variables describing the production system. Quantitative variables were first codified to obtain qualitative variables with three modalities. In total, there were 31 modalities. The retained variables were: number of does, farm area, age of farmer, year of installation, off-farm activities, grouping of animals (by sex or age), level of study, grazing management, feeding practice, selection, selling and future herd variation (increase or decrease). Three axes were kept. They explained 36% of the total inertia. Subsequently, a Ward hierarchical classification was performed with SAS software (SAS Institute, 1999 and 2000) on the coordinates of the farms to define five groups.

Results

General characteristics of surveyed farms

The farms visited showed a great diversity of production systems, from zero grazing to extensive systems (Table 1). The number of goats varied between 11 and 450. On average, 1.4 people worked on the farm. Non-familial labour was hired only on the largest farms. Nine percent of the farmers relied solely on goat farming. Other farmers had either off-farm activities (50%) or other vegetal or animal production (Table 2). They often grew sugarcane or vegetables. Some of them reared cattle, poultry, sheep, pigs or rabbits.

The most important reason given for keeping goats was the pleasure in rearing them (Table 3). This reason was ranked higher ($P < 0.01$) than the reason related to income. Many farmers (60%) wanted to increase their goat herd. Some others wanted to increase their sheep herd, mostly Martinik sheep, a tropical hair sheep breed imported from Martinique, the neighbouring French island. The PCA showed a negative correlation between the number of sheep and the number of goats reared in the farm.

Breeds and desired traits

The Creole goat has been crossed with the imported meat breed like the Boer or Anglo-Nubian and also the milk breeds

Table 1 *General attributes of farms keeping goats in properties surveyed in Guadeloupe*

	Mean	Minimum	Maximum
Land (ha)	7.4	0.1	31
Pasture (ha)	3.9	0.1	13
Number of does	31	4	250
Total number of goats	60	11	450
Farmer's age	44	24	68

Table 2 *Crop areas and livestock numbers of farms keeping goats surveyed in Guadeloupe*

Production	Proportion of farms (%)	Mean	Minimum	Maximum
Crops (ha)				
Sugarcane	38	6.0	0.55	20
Vegetables	28	1.4	0.5	4.5
Livestock (head)				
Cattle	40	14	2	50
Poultry	34	978	3	15 000
Sheep	28	14	1	50
Pigs	19	8	1	42
Rabbits	19	22	2	80

Table 3 *Main reason given by surveyed goat breeder for keeping goats on farms in Guadeloupe*

Motivation	Frequency (%)
Pleasure	55
Cash income	19
Family tradition	13
Land use	5
Saving	3
Other	5

Table 4 *Traits identified by respondent farmers as the individual most desired characteristic in Creole and crossbred goats in a survey carried out in Guadeloupe*

Traits	Creole (%)	Crossbred (%)
Resistance, hardiness	75	13
Good meat taste	10	–
Maternal qualities	7	–
Do not need high input level (time/money)	6	–
Good conformation	1	48
Growth rate	1	24
Good market price and profitability	–	10
Behaviour (quiet)	–	3
Milk production	–	1

Table 5 *Traits identified as most desired selection characteristic for goats in a survey of farmers in Guadeloupe*

Traits	Males (%)	Females (%)
Conformation, growth	77	30
Health	10	7
Behaviour	5	2
Reproduction	5	20
Colour	3	2
Maternal behaviour	–	23
Milk production	–	17

like the Saanen and Alpines. Mating being mostly uncontrolled, it was impossible to determine the exact origin of a crossbred animal. That is why in this study these animals will only be referred to as 'crossbred'. A small number of farmers kept only Creole goats (4%) whereas one-third of them (34%) reared only crossbred goats. The majority had a mixed herd (62%) of Creole and crossbred animals. Among these farmers, 13% joined crossbred bucks to Creole goats.

Most of the farmers appreciated the hardiness of the Creole goat (75%) (Table 4). Creole goats were also preferred for the quality of their meat (10%), maternal qualities (7%) and low input level (6%). However, farmers practised crossbreeding for the better conformation (48%), higher growth rate (24%) and market price (10%) reached by crossbreds.

The desired traits for goat selection are given in Table 5. Conformation and growth are largely the most desired traits for males (77% of the answers). They are also important for females (answer frequency 30%). Nevertheless, maternal qualities (maternal behaviour, reproduction and milk production) were frequently cited and represented 60% of the desired traits for females. Health and disease resistance were poorly ranked.

Identification and performance recording

Although goat identification was compulsory, it was not always applied. Only 45% of farmers put ear tags on all the animals. Other farmers (38%) identified kids late (few months old) or did not put any ear tag on the bucks because it decreased their value as a ceremonial buck. No identification occurred in 17% of the farms.

An important proportion of farmers (72%) records information on their goats, mainly about reproduction and veterinary treatments. The weight of animals is also measured by 55% of them, mostly on an irregular basis, at birth, weaning, before a sale or a veterinary treatment.

Breeding practices

Two-thirds of the farmers used only one breeding buck. The male was used for 25 months ($\pm$11) in the farm for an average of 17 does ($\pm$11). Breeding bucks were rented, bought or exchanged with other farmers. Mating practices were different among farmers. Most of the time (73%), farmers brought the buck in the breeding does' herd and it stayed a limited time, on average 33 days ($\pm$27). In some cases (21%), the buck stayed permanently in the herd. Few farmers (6%) practised hand mating, and they were mostly small goat owners. Planned mating at a specific time of the year was done by 21% of the farmers. They tried to avoid kidding during the dry season (December to May) or during the heavy rains of September. First mating of females occurred at 12 months ($\pm$5.3), weaning of kids at 109 days ($\pm$34) and culling of does after 5 to 6 parities.

Culling reasons are described in Table 6. After the age (32%), the main culling reasons were poor fertility (24% of the total, 35% when the age criteria are removed), conformation and kid growth (12% of the total each, 18% when

the age criteria are removed), and to a lesser extent disease and poor maternal behaviour (7% of the total each, 10% when the age criteria are removed). The answers were consistent with the farmer's opinion about the desired traits for goat selection for females. They emphasise the importance of maternal qualities, (fertility, kid growth and milk production, maternal behaviour), which represent 45% of the culling reasons (66% of the criteria other than age).

Feed management and animal health

All goat herds grazed on natural pastures, except in two farms that practised zero-grazing. One-third of the farmers used the rotational grazing system. Goats stayed for 12 days (±10) on a paddock and then changed to 1 of the 5 (±1.7) others.

Three-quarters of the farmers gave manufactured aliments (pellets) to their goats. However, the quantities and categories of the animal to which they were given changed a lot from one farm to another. Crop residues were also used for feeding goats.

Three-quarters of the farmers drenched the whole herd against gastrointestinal nematodes (GIN) every 2 months (±1.5). Some of them were drenched fortnightly. They found it difficult to space out the treatments.

Selling

Goats were sold alive, mainly to individuals. One-year-old males were sold for consumption or rearing, and adult bucks were sold for ceremonial or reproduction purposes. They could reach very high prices, especially for heavy crossbreds (from 200€ to 2000€ per animal). Meat prices were also very high (20€/kg of meat on average). Culled goats were sold to butchers or slaughterhouses through farmer organisations. Young breeding does were rarely sold even if there was a strong demand for high-quality breeding does.

Table 6 *Principle reasons for culling does in goats herds in the farms surveyed in Guadeloupe*

Traits	Frequency (%)
Old age	32
Poor fertility (sterility, difficulty to deliver, abortion)	24
Poor conformation, weight loss	12
Slow growing kids	12
Disease	7
Poor maternal behaviour	7
Low milk production	3
Bad behaviour (fighting)	2
Low prolificacy	2

Farm typology and willingness to join a selection programme

A typology of farmers was created taking 12 variables into account. The main characteristics of each group are described in Table 7. The aim of this typology was to describe the main surveyed goat farming system.

1. Group 1 is composed of middle-sized farms. Breeders have off-farm activities. Management level is average. These farms do not have any marked characteristics.
2. Group 2 is made of big and traditional farms. Farmers are older, bigger landowners having big herds. They only work on the farm. Their management is traditional with low input. They have mainly Creole goats. They rear all goats together on the same pasture without any separation by sex.
3. Group 3 has extensive and highly diversified farms. Farmers are middle-aged. They want to increase their goat herd. Most of the land owned is devoted to pasture. Their level of diversification is very high. They grow sugarcane or vegetables and rear cattle or sheep.
4. Group 4 includes big and well-organised farms. Farmers are older and bigger landowners. They only work on the farm. They have mostly crossbred animals. Their input level is higher than in the other groups. Their management is optimal: they practise rotational grazing, separate the males and females, deliver proper health care, etc.
5. Group 5 is composed of small surface and highly specialised farms. Farmers are young. They all have off-farm activities. Their land area is very small, even if their herd is of good size. They feed their does with industrial pellets. Some of them practice zero grazing. They are specialised in animal production. Their management is optimal.

Once the typology had been made, the willingness of farmers to join a breeding programme was studied. According to their own opinion, farmers belonging to groups 1, 3 and 5 are the most interested in a selection programme and performance recording for goats, for 75%, 68% and 65%, respectively, of the farmers in each group. They represent 24 farmers in total.

Discussion

Guadeloupean goat farming

Guadeloupean farming systems were mostly based on grazing with a medium level of input. The goat farms sur-

Table 7 *Typology of farms in a survey of goat farmers in Guadeloupe*

Group	Proportion (%)	Farms description	Average number of does	Average farm size (ha)
1	32	Middle-size farms	30	5
2	11	Big and traditional farms	60	11
3	32	Extensive and highly diversified farms	20	9
4	15	Big and well-organised farms	40	11
5	11	Small surface and highly specialised farms	30	2

veyed had a small-sized herd compared to temperate countries. Animals were mostly crossbreds.

The present typology was consistent with the one made by Gau *et al*. (2000), except that the smallest farms were excluded from our study. The average number of does per farm visited (31) was higher than the average six does per farm found in official counting. It can be explained by our sampling method. We focused on the largest farms that could potentially participate in a selection programme.

A few issues can limit the development of goat farming. First of all, there is a limited amount of time and money allocated to goat rearing. Goat farming was a complementary activity for most of the farmers and was not the main source of income. Farmers reared goats more for pleasure than for money. These results were quite different from those found in other tropical countries, where insurance and income were highly ranked as reasons for keeping goats (Jaitner *et al*., 2001; Dossa *et al*., 2007; Kosgey *et al*., 2008). Second, goat stealing and wandering dog attacks discouraged farmers. Goat stealing can be linked to the very high demand for locally produced goat meat. This demand is not satisfied by the Guadeloupean production. Third, goats are in concurrence with sheep (as showed by the PCA). They both occupy the same niche and farmers tend to replace one species with the other.

Possible technical improvements

Some points could be improved to allow for more efficient production: earlier weaning date, shorter kidding interval, better feeding, etc. For example, delivering the recommended quantities of industrial pellets at the key moments (before delivery and during early lactation for does, during mating for bucks and does) and during fattening for the young males will help in more intensive production.

On-farm performance and genealogy recording are essential for the implementation of a selection programme. Some management improvement will be necessary for an easy and efficient recording mechanism. Identification of all animals of the herd will be needed. Grouping of mating and kidding will limit the number of visits of the performance recorders. Some of the farmers seem receptive to such practices, as they already have a record of some data on their flock. These farmers could easily join a selection programme.

Improved reproduction management should be advised in parallel with genetic improvement. First of all, inbreeding should be avoided. Separation of young males from the herd should happen early enough and for reproduction the buck should not be used too long. The choice of bucks and control of mating for selection will also serve this goal. The exchange, rent or purchase of bucks from other farmers or from a future selection nucleus flock should be encouraged and organised. Early first mating (BW below 16 kg) should be discouraged as it limits the growth of does.

Disease resistance does not appear to be an important trait for farmers. Health problems are involved in 7% of the culling (10% of the non-age reasons). It has been observed that GIN decrease herd productivity (Mandonnet *et al*., 2006 and Bishop and Morris, 2007). The prevalence of these nematodes reach 80% to 100% in Guadeloupe and they were responsible for 75% of the pre-weaning mortality (Aumont *et al*., 1997). A good prophylaxis and health-care policy can increase farm productivity. A well-practised rotational grazing system also allows a good compromise between GIN charge and the quality of grass (Mahieu *et al*., 2008). Mahieu *et al*. (2007) showed that a better drenching policy, for example, using the Famacha© method (Bath *et al*., 1996) could be used in addition with selection to increase the genetic resistance of goats to GIN. This method reduces the frequency and number of drenching regimes, thus limiting the anthelmintic resistance in GIN. Training of veterinaries, technicians and farmers is carried out to encourage them to reduce the number of treatments. Farmers are not yet fully aware of the ways to control parasitism without anthelmintic. They underestimate the role played by the genetic resistance of goats to GIN. They believe anthelmintic to be the only solution and lack knowledge about the long-term costs and efficacy of this method.

Position of the Creole goat

Most of the farms used crossbred animals in various proportions. One-third used only crossbred animals. Very few farms (4%) raised only Creole goats. Many farmers preferred to use a heavy crossbred buck than a Creole one. Crossbred males were sold for reproduction at higher prices than Creole males, which were judged as 'too small'. As in many other places in the tropics (Baker and Gray, 2004), farmers perceived the local breed as 'unimproved', whereas larger breeds with a higher growth rate are assumed to be more productive (Alexandre *et al*., 2008).

Nevertheless, farmers recognised as valuable the rusticity and maternal qualities of Creole does. They preferred keeping Creole does to keeping Creole bucks. Unfortunately, they did not have any defined crossbreeding strategy, with elected sire and maternal lines. So even if they kept Creole does, they tended to replace them by crossbred young females. In Martinique, the neighbouring island, farmers were looking for good Creole does but had lost most of the maternal lineage by indiscriminate crossbreeding (Alexandre *et al*., 2009). Guadeloupean farmers should become aware of the importance of pure-breeding for female renewal.

Ayalew *et al*. (2003) demonstrated that, in opposition to a common belief, crossbred goats in Ethiopia did not generate more benefits than indigenous ones. The lower input needed by Creole goats, their good adaptability and reproductive traits, linked with an improved management, and maybe a special nice market, could probably generate as much benefit as crossbred goats. Ongoing studies on the meat-productive abilities of the Creole goat indicate that there is a scope for improvement of carcass weight and conformation (Liméa *et al*., 2009). This breed could have a place for meat production, maybe in a niche market based on specific qualities of the product, in production systems that allow the expression of the potential of the breed. A special label for Creole goat meat is envisaged by professional organisations.

Creole goat selection programme

Cooperative and extension services in Guadeloupe are building a selection programme based on the local Creole goat. This survey confirms the feasibility of this development project. A nucleus of Creole goat breeders will conserve and improve the breed, whereas commercial farmers will use these goats as a maternal line for crossbreeding. This will solve problems of uncontrolled mating and loss of Creole maternal lineage.

Kosgey *et al*. (2006) assessed that failures of breeding programmes came mostly from the lack of involvement of farmers. However, in our case study, farmers were at the origin of the project. Therefore, the basis of the selection programme will be constituted by farmers of Cabricoop. They are the most organised and are already benefiting from a good technical follow-up. About 12 farmers could possibly be retained for breeding and selecting Creole goats. Their 310 does would constitute the nucleus herd. This population size is sufficient; Baker and Gray (2004) recommended a minimum of 150 females for 5 males. The selected farmers come mainly from groups 1, 3 and 5, and have expressed a strong willingness to join a selection programme. The other farmers of these groups are more interested in buying Creole does for terminal crossbreeding with Boer bucks or other genotypes. Farmers of the groups two and four are not suitable for the selection programme, unless they modify some of their practices. Farmers of group two could have been involved if they had wished to. They have the biggest herd with Creole goats. Thus, they remain very important for breed conservation. However, at present, their structure and management does not allow the implementation of an inventory and performance recording. Farmers of group four refused to use Creole goats, and kept themselves outside the programme.

Possible traits to include in a selection objective

Farmers have defined the traits they consider as important. They focused on the conformation and growth traits for males and females and on maternal qualities for females. Health was not seen as a desired trait. These results are consistent with those of Alexandre *et al*. (2009) for goats in Martinique, of Jaitner *et al*. (2001) for West African Dwarf goats in Gambia and with those of Kosgey *et al*. (2008) for small ruminants in Kenya. They differed from the preference of the Djallonké goat breeder in Benin (Dossa *et al*., 2007) who considered as equally important reproduction, behaviour, health and meat production.

Creole goats show GIN resistance characteristics (Mandonnet *et al*., 2001) that farmers underestimated. As pure exotic breeds were rare, farmers did not have any comparison, and therefore this trait was probably taken for granted. Wurzinger *et al*. (2006) observed the same situation in Ankole cattle, where farmers considered its disease resistance as given. Lack of objective data and comparison between breeds can also be an explanation. Gicheha *et al*. (2007) showed that a breeding programme including GIN resistance for Kenyan sheep could give good economic and genetic results. Selection of Creole goats on GIN resistance is possible (Mandonnet *et al*., 2006). This trait could therefore be included in the selection objective. Further discussion with professionals will take place about the cost of selection of this trait and its acceptance. Awareness of farmers on health issues should be raised, especially about the costs and unfavourable links with growth and survival.

A good balance should be found between production and fitness traits. The Creole goat should keep its good adaptation and maternal qualities and improve its growth. Further studies will be conducted to determine the selection objective. The biological traits influencing income and expenses will be identified and their economic values will be calculated.

Conclusion

By using a survey, goat farming systems were characterised. Farmers have small-sized herds and use a medium level of inputs. A typology describing the different systems in more detail was created.

The survey was also the first step in the implementation of a selection programme. The most desired characteristic for goats was determined by farmers. A precise inventory of the Creole base population and record of performance are now needed. A breeding objective with economic weighting should also be defined in order to equilibrate the relative importance given to each trait.

The development of a sustainable selection programme requires the integration of its social, economic and environmental components (Brundland, 1987). First, the programme should improve or at least maintain farm profitability . A technical follow-up linked with performance recording and a special label on the meat would be a useful tool. Second, farmers and farmer organisations should be involved from the beginning of the programme to ensure their cooperation. Third, the use and promotion of the local and well-adapted Creole goat will help maintain biodiversity and limit the risks of failure of the programme.

Acknowledgements

The authors thank the farmers, Cabricoop staff and small ruminant section of extension services for their unreserved participation and cooperation. This study was supported by 'la Région Guadeloupe' and the European Community (FEOGA).

References

Agreste Guadeloupe 2007. L'agriculture guadeloupéenne en 2006. Retrieved September 10, 2009, from http://agreste.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/D97107A03.pdf

Alexandre G, Asselin de Beauville S, Shitalou E and Zebus MF 2006. Traditional use of goat products in the Guadeloupean society. In Livestock farming systems: product quality based on local resources leading to improved sustainability (ed. R Rubino, L Sepe, A Dimitriadou and A Gibon), EAAP Publication no. 118, pp. 183–188. Wageningen Academic Publishers, Wageningen, The Netherlands.

Alexandre G and Mandonnet N 2005. Goat meat production in harsh environments. Small Ruminant Research 60, 53–66.

Alexandre G, Asselin de Beauville S, Shitalou E and Zebus MF 2008. An overview of the goat meat sector in Guadeloupe: conditions of production,

consumer preferences, cultural functions and economic implications. Livestock Research for Rural Development 20, Article #14. Retrieved September 10, 2009, from http://www.lrrd.org/lrrd20/1/alex20014.htm

Alexandre G, Leimbacher F, Maurice O, Domarin D, Naves M and Mandonnet N 2009. Goat farming systems in Martinique: management and breeding strategies. Tropical Animal Health and Production 41, 635–644.

Aumont G, Pouillot R, Simon R, Hostache G, Varo H and Barré N 1997. Parasitisme digestif des petits ruminants dans les Antilles françaises. INRA Productions Animales 10, 79–89.

Ayalew B, Rischkowsky B, King JM and Bruns E 2003. Crossbreds did not generate more net benefits than indigenous goats in Ethiopian smallholdings. Agricultural Systems 76, 1137–1156.

Baker RL and Gray GD 2004. Appropriate breeds and breeding schemes for sheep and goats in the tropics. In Worm control for small ruminants in tropical Asia (ed. RA Sani, GD Gray and RL Baker), Monograph no. 113, pp. 63–75. Australian Centre for International Agriculture Research (ACIAR), Canberra, Australia.

Bath GF, Malan FS and Van Wyk JA 1996. The 'FAMACHA' ovine anaemia guide to assist with the control of haemonchosis. Proceeding of the 7th Annual Congress of the Livestock Health and Production Group of the South African Veterinary Association, 5–7 June 1996, Port-Elizabeth, South Africa, pp. 152–156.

Bishop SC and Morris CA 2007. Genetics of disease resistance in sheep and goats. Small Ruminant Research 70, 48–59.

Brundland GH 1987. Our common future. World commission on environment and development. Oxford University Press, Oxford, UK.

Chessel D, Dufour AB and Thioulouse J 2004. The ade4 package-I: one-table methods. R News 4, 5–10.

Devendra C 1980. Potential of sheep and goats in less developed countries. Journal of Animal Science 51, 461–473.

Dubeuf JP and Boyazoglu J 2009. An international panorama of goat selection and breeds. Livestock Science 120, 225–231.

Dossa LH, Wollny C and Gauly M 2007. Smallholders' perceptions of goat farming in southern Benin and opportunities for improvement. Tropical Animal Health and Production 39, 49–57.

FAOSTAT 2007. FAOSTAT – Food and Agriculture Organization of the United Nations. Retrieved September 10, 2009, from http://faostat.fao.org/site/573/default.aspx#ancor

Galal S 2005. Biodiversity in goats. Small Ruminant Research 60, 75–81.

Gau D, Naves M, Alexandre G, Shitalou E and Mandonnet N 2000. Systèmes de production et orientations génétiques en élevage caprin en Guadeloupe. Procceedings of the 7th International Conference on Goats, 15–18 May 2000, Tours, France, pp. 368–370.

Gicheha MG, Kosgey IS, Bebe BO and Kahi AK 2007. Efficiency of alternative schemes breeding for resistance to gastrointestinal helminths in meat sheep. Small Ruminant Research 69, 167–179.

Jaitner J, Sowe J, Secka-Njie E and Dempfle L 2001. Ownership pattern and management practices of small ruminants in The Gambia – implications for a breeding programme. Small Ruminant Research 40, 101–108.

Kosgey IS, Baker RL, Udo HMJ and Van Arendonk JAM 2006. Successes and failures of small ruminant breeding programmes in the tropics: a review. Small Ruminant Research 61, 13–28.

Kosgey IS, Rowlands GJ, Van Arendonk JAM and Baker RL 2008. Small ruminant production in smallholder and pastoral/extensive farming systems in Kenya. Small Ruminant Research 77, 11–24.

Lassalle C and Patry C 2007. Management practices and socio-economic study of Gir and Jaffarabadi breeds in their native tract (Saurashtra, Gujarat, India). AgroParisTech, Paris, France.

Lebbie SHB 2004. Goats under household conditions. Small Ruminant Research 51, 131–136.

Liméa L, Gobardham J, Gravillon G, Nepos A and Alexandre G 2009. Growth and carcass traits of Creole goats under different pre-weaning, fattening and slaughter conditions. Tropical Animal Health and Production 41, 61–70.

Mahieu M, Archimède H, Fleury J, Mandonnet N and Alexandre G 2008. Intensive grazing system for small ruminants in the tropics: the French West Indies experience and perspectives. Small Ruminant Research 77, 195–207.

Mahieu M, Arquet R, Kandassamy T, Mandonnet N and Hoste H 2007. Evaluation of targeted drenching using Famacha© method in Creole goat: reduction of anthelmintic use, and effects on kid production and pasture contamination. Veterinary Parasitology 146, 135–147.

Mandonnet N, Aumont G, Fleury J, Arquet R, Varo H, Gruner L, Bouix J and Khang JVT 2001. Assessment of genetic variability of resistance to gastro-intestinal nematode parasites in Creole goats in the humid tropics. Journal of Animal Science 79, 1706–1712.

Mandonnet N, Menendez-Buxadera A, Arquet R, Mahieu M, Bachand M and Aumont G 2006. Genetic variability in resistance to gastro-intestinal strongyles during early lactation in Creole goats. Animal Science 82, 283–287.

Morand-Fehr P, Boutonnet JP, Devendra C, Dubeuf JP, Haenlein GFW, Holst P, Mowlem L and Capote J 2004. Strategy for goat farming in the 21st century. Small Ruminant Research 51, 175–183.

Naves M, Alexandre G, Leimbacher F, Mandonnet N and Menendez-Buxadera A 2001. Les ruminants domestiques de la Caraïbe: le point sur les ressources génétiques et leur exploitation. INRA Productions Animales 14, 181–192.

SAS Institute 1999–2000. SAS release 8.1. SAS Institute Inc., Cary, NC, USA.

Silanikove N 2000. The physiological basis of adaptation in goats to harsh environments. Small Ruminant Research 35, 181–193.

Thioulouse J, Chessel D, Dolédec S and Olivier JM 1997. ADE-4: a multivariate analysis and graphical display software. Statistics and Computing 7, 75–83.

Wurzinger M, Ndumu D, Baumung R, Drucker A, Okeyo AM, Semambo DK, Byamungu N and Solkner J 2006. Comparison of production systems and selection criteria of Ankole cattle by breeders in Burundi, Rwanda, Tanzania and Uganda. Tropical Animal Health and Production 38, 571–581.

III Conclusion

Ces enquêtes constituent une étape préliminaire à la mise en place d'un programme de sélection. La chèvre Créole est moins présente dans les élevages que les animaux croisés. Les éleveurs reconnaissent sa rusticité et apprécient le goût de sa viande, mais la trouvent « trop petite ». Ils préfèrent la conformation et la croissance des animaux croisés, et recherchent beaucoup plus ces aptitudes bouchères, jointes à l'amélioration des qualités maternelles chez les femelles. Le futur programme de sélection doit permettre à la fois l'utilisation des caprins Créoles en race pure, éventuellement couplé à une labellisation, et l'utilisation de chèvres Créoles en croisement industriel avec des boucs Boer pour la production de chevreaux de boucherie (Figure 2). De nombreux éleveurs sont prêts à participer au contrôle de performance et à un programme de sélection, ce qui est encourageant pour initier puis pérenniser ce dernier.

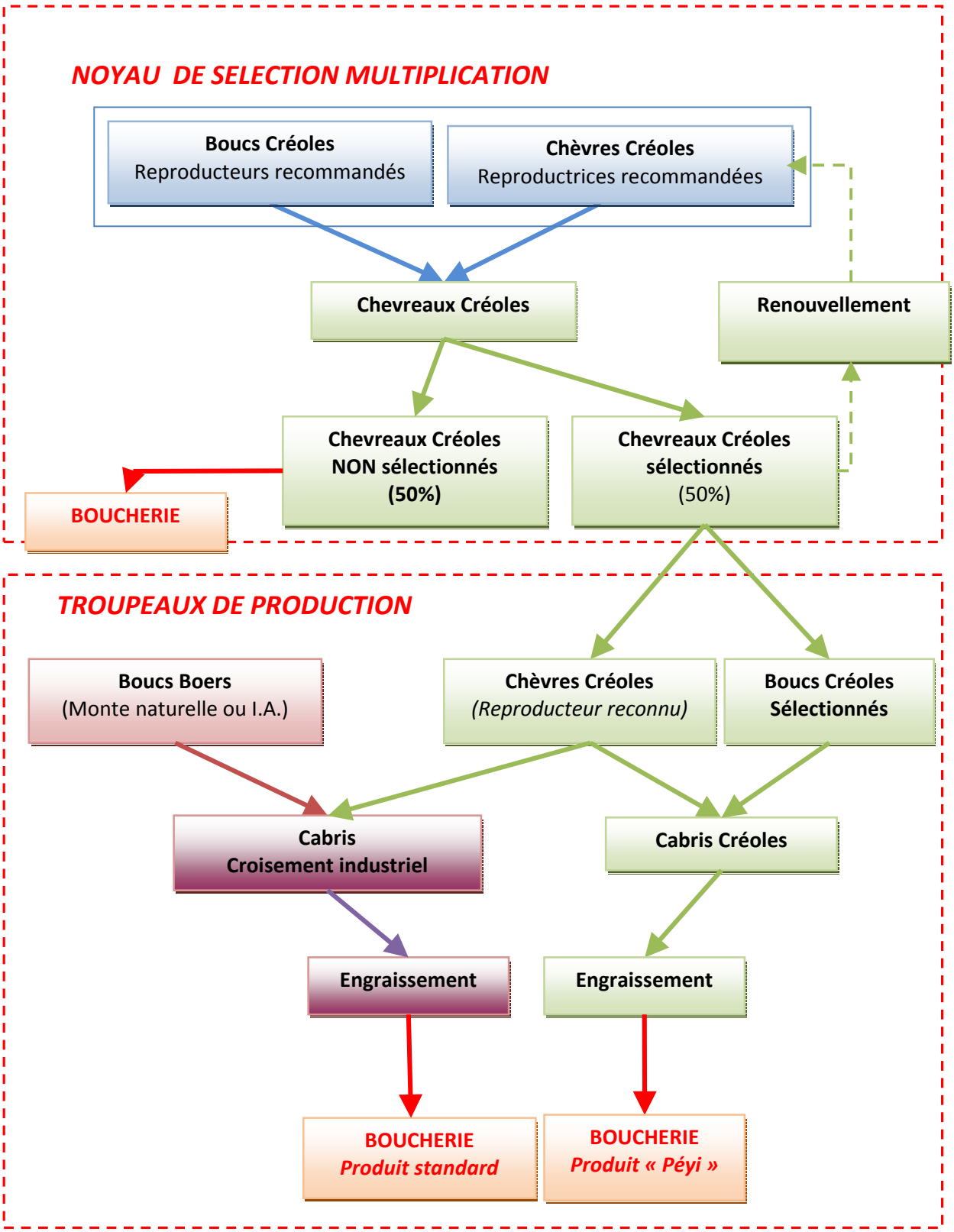


Figure 2 : Programme de sélection envisagé (d'après illustration EDE-Chambre d'Agriculture)

LE PARASITISME INTERNE DES PETITS RUMINANTS

I Les parasites gastro-intestinaux

1) Les différentes espèces de parasites gastro-intestinaux des caprins en Guadeloupe

Les principaux parasites gastro-intestinaux des caprins en Guadeloupe sont *Haemonchus contortus*, *Trichostronglyus colubriformis*, et dans une moindre mesure, *Oesophagostum columbianum* (Aumont *et al.*, 1997), qui appartiennent à l'embranchement des nématodes et à l'ordre des strongles (Tableau 2). Ce sont des parasites communs aux ovins et aux caprins (Torres-Acosta et Hoste, 2008). Ils sont présentés Tableau 3.

Tableau 2 : Taxonomie des principales espèces de parasites gastro-intestinaux des caprins en Guadeloupe.

Embranchement	*Nematoda*		
Ordre	*Strongylida*		
Super-famille	*Trichostrongyloidea*		*Strongyloidea*
Famille	*Trichostrongylidae*		*Chabertiidae*
Genre	*Haemonchus*	*Trichostronglyus*	*Oesophagostomum*
Espèce	*contortus*	*colubriformis*	*columbianum*

Tableau 3 : Fréquence de l'espèce dans la communauté de vers et prévalence (nombre d'animaux présentant l'espèce) chez les caprins de Guadeloupe, localisation des vers adultes et conséquences pathologiques sur l'hôte (d'après Aumont *et al*., 1997).

	Haemonchus contortus	***Trichostronglyus colubriformis***	***Oesophagostomum columbianum***
Fréquence saison sèche	44%	49%	0,3%
Fréquence saison humide	24%	58%	0,7%
Prévalence saison sèche	100%	84%	26%
Prévalence saison humide	100%	93%	80%
Localisation chez l'hôte	Abomasum	Intestin grêle	Gros intestin
Conséquences pathologiques	Anémie, œdème sous les joues	Lésions de l'intestin grêle, diarrhée, croissance arrêtée	Lésions du gros intestin

2) Le cycle biologique des strongles

Le cycle biologique de développement des strongles est constitué d'une phase externe libre (pâturage) et d'une phase interne, parasitaire (Figure 3). Ce cycle n'implique qu'un seul hôte (cycle monoxène).

Lors de la phase libre, les œufs de strongles sont éliminés dans les fèces de l'animal parasité. Le taux d'excrétion d'œufs de strongles est mesuré en œufs par gramme de fèces (OPG). Sur le sol, l'œuf éclot en une forme larvaire L1, qui mue ensuite en larve L2, puis en larve L3. Les larves L3 sont des larves infestantes, mobiles, qui migrent vers l'herbe et attendent d'être ingérées par des ruminants. Elles peuvent survivre sur le pâturage jusqu'à 2 mois en saison humide (Aumont *et al.*, 1997).

Lors de la phase parasitaire, les larves L3 ingérées par l'animal pénètrent dans le tractus digestif, et vont muer en stade L4 sur leur site d'implantation (caillette ou intestin suivant l'espèce parasitaire). Elles se développent ensuite en vers adultes. Après reproduction, les femelles vont pondre leurs œufs dans le tractus digestif de l'hôte ; ces œufs seront excrétés dans les fèces. Il peut se passer de 2 à 8 semaines entre l'infestation de l'animal et l'élimination des premiers œufs, c'est la période prépatente.

Le cycle peut être interrompu pendant quelques semaines ou mois si les conditions climatiques et environnementales ne sont pas favorables, c'est le phénomène d'hypobiose. Durant cette période, les larves L3 restent fixées à la paroi du tube digestif en réduisant leur métabolisme. En milieu tropical humide, ce cycle se reproduit tout au long de l'année (Aumont *et al.*, 1997) et dure 1 mois (1 semaine en phase libre, 3 semaines en phase parasitaire).

En saison chaude et humide, la présence d'une forte biomasse fourragère favorise le développement des œufs en larves. Au contraire, un fort rayonnement solaire global peut réguler les populations d'*Haemonchus* et de *Trichostrongylus* et une pluviométrie élevée peut réguler la population d'*Oesophagostomum*. Des conduites d'élevage intensives et inadaptées, avec un fort chargement, l'irrigation du pâturage, des rotations de pâturages inférieures à 28 jours de durée de repousse de l'herbe favorisent l'infestation des caprins (Alexandre *et al.*, 1997b).

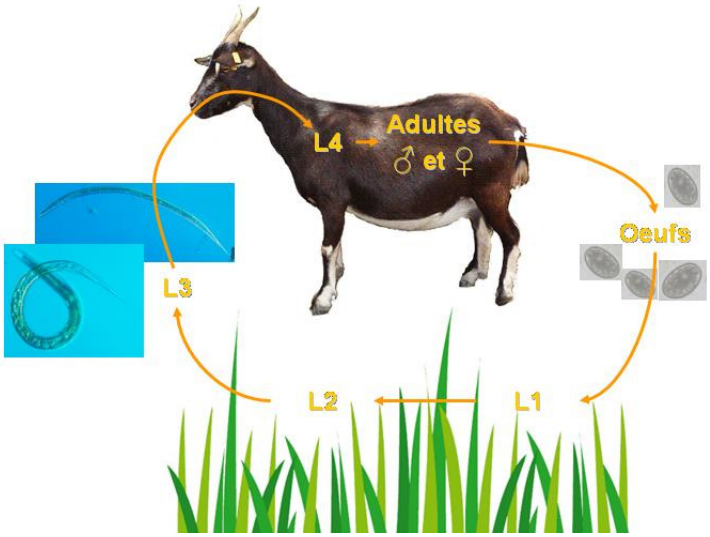


Figure 3 : Schéma du cycle biologique des strongles

II Définition de la résistance et la résilience au parasitisme interne

Pendant des dizaine de milliers d'années, les caprins et ovins ont été soumis à la sélection naturelle et ont développé une résistance naturelle aux strongles. La **résistance** est la capacité à empêcher ou limiter l'installation, la survie, le développement et la reproduction des parasites. La **résilience** est la capacité des animaux à tolérer la présence parasitaire et à maintenir leur production (Bishop et Stear, 2003).

Différents types de paramètres (parasitologiques, immunologiques, pathologiques et zootechniques) sont utilisés pour évaluer la résistance et la résilience (de la Chevrotière, 2011).

- **Les paramètres parasitologiques**

Ce sont les bilans parasitaires ou les mesures d'excrétion d'œufs. Les bilans parasitaires sont effectués directement sur le tractus digestif lors de l'autopsie des animaux. La mesure d'excrétion des œufs estime de façon indirecte le bilan parasitaire, sans avoir à abattre les animaux. Le niveau d'excrétion des œufs est exprimé en œufs par grammes de fèces (OPG). Cette mesure permet d'évaluer le pouvoir contaminateur de l'hôte (Woolaston et Baker, 1996) et est classiquement utilisée comme une mesure de la résistance des animaux. Les animaux résistants étant moins parasités, ils rejettent moins d'œufs de strongles.

- **Les paramètres immunologiques**

Ce sont par exemple les mesures sanguines d'éosinophiles (type de globule blanc attaquant les parasites de l'organisme) ou d'anticorps (immunoglobulines A et E). Ces paramètres permettent d'estimer la résistance de l'hôte à travers sa réaction immunitaire (Jackson et Miller, 2006).

- **Les paramètres pathologiques**

Ce sont par exemple l'hématocrite (pourcentage en volume de cellules sanguines par rapport au volume de sang), l'albuminémie (taux d'albumine dans le sang) ou la note Famacha (Riley et Van Wyk, 2009). Cette note est déterminée par un référentiel de couleur de la muqueuse de l'œil. Elle traduit le niveau d'anémie de l'animal. L'hématocrite et la note Famacha sont utilisés pour les infestations dues au parasite hématophage *Haemonchus* (Mahieu *et al.*, 2007). Tous les paramètres pathologiques évaluent les effets délétères de l'infestation parasitaire et reflètent la résilience de l'animal.

- **Les paramètres zootechniques**

Le Gain Moyen Quotidien (GMQ) ou le poids vif d'animaux infestés (naturellement ou artificiellement) peuvent servir de mesure de résilience si les animaux ne reçoivent aucun traitement. De même, l'âge au premier traitement ou le nombre de traitements requis (dans une situation où un traitement sélectif des animaux est appliqué) sont utilisés comme indicateurs de la résilience des animaux (Morris *et al.*, 1995; Bisset et Morris, 1996).

Les différentes mesures de résistance et résilience exposées ci-dessus sont pour la plupart corrélées entre elles (Morris *et al.*, 1995; Baker *et al.*, 2001; Mandonnet *et al.*, 2001; Riley et Van Wyk, 2009; de la Chevrotière, 2011).

III Pathologies causées par le parasitisme interne et leurs facteurs de variation

Les strongles engendrent des troubles physiopathologiques par traumatisme et spoliation (Mandonnet *et al.*, 1997). Ils agressent le tractus digestif de leur hôte en le colonisant et l'affaiblissent. Ils diminuent l'appétit, et anémient dans le cas du parasite

hématophage *H. contortus*. Les animaux fortement parasités présentent un mauvais état clinique, sont amaigris et ont le poil terne (Figure 4).

Les parasites gastro-intestinaux affectent directement la productivité des troupeaux (Mandonnet *et al.*, 2005), en causant la baisse des performances de croissance et de reproduction et la hausse de la mortalité. Dans les élevages guadeloupéens, plus de trois-quarts de la mortalité pré-sevrage peut être attribuée aux strongles (Aumont *et al.*, 1997). Chez la chèvre Créole, on considère qu'une augmentation de 1000 œufs de strongles excrétés par gramme de fèces multiplie par 4 le risque de mourir de stronglyose. Cependant, ce n'est pas une cause directe de mortalité. Certains caprins sont fortement infestés et n'en meurent pas (Mandonnet *et al.*, 2003).



Figure 4 : Chevreau parasité (Photo Rémy Arquet, INRA UE Gardel, 2003)

La sensibilité des caprins varie selon le sexe, le statut physiologique et l'âge de l'animal. Les femelles sont moins sensibles que les mâles. Ces derniers ont une probabilité de mourir suite à une infestation par les strongles 3 fois supérieure aux femelles (Mandonnet *et al.*, 2003). Cependant, les femelles sont particulièrement sensibles dans la période entourant la mise-bas, à cause du relâchement de leur système immunitaire à cette période (phénomène de « peri-parturient rise »). Leur excrétion d'œufs de strongles augmente fortement, ce qui provoque une contamination plus importante du pâturage et de leurs petits. Leur production laitière peut aussi diminuer, ce qui ralentit la croissance des chevreaux. Chez la chèvre Créole, une augmentation de l'excrétion d'œufs des mères de 600 œufs par gramme de fèces réduit d'un kilo le poids au sevrage de leurs petits (Mandonnet *et al.*, 2005). Le sevrage est une période très sensible pour les caprins, et ne doit pas intervenir trop tôt. Un kilogramme de poids en plus au sevrage diminue le risque de mourir de stronglyoses de 25% (Mandonnet *et al.*, 2003).

IV Les différents modes de lutte contre les nématodes gastro-intestinaux

1) Les anthelminthiques et leurs limites

Dans le passé, les anthelminthiques étaient utilisés très fréquemment de façon préventive pour garantir la santé des animaux et maximiser la productivité des élevages. Ce raisonnement à court terme a provoqué l'apparition de vers résistants à de nombreuses molécules (Kaplan, 2004). La résistance des strongles aux benzamidazoles a été observée dans les Antilles françaises dès les années 1980, et la résistance à l'ivermectine et au levamisole dans les années 1990 (Aumont *et al.*, 1997; Mandonnet *et al.*, 2001). Actuellement, la résistance aux benzamidazoles et lévamisole est mondiale, ce qui n'est pas encore le cas pour l'ivermectine et la moxidectine. Ces résistances acquises par les strongles sont extrêmement durables et semblent irréversibles (Kaplan, 2004). Les strongles ont été capables de développer des résistances à toutes les molécules déjà existantes, et aucune nouvelle classe d'anthelminthique n'a été commercialisée depuis 25 ans.

Des méthodes alternatives ont donc été développées pour limiter l'utilisation des anthelminthiques. Ces méthodes de lutte contre les strongles se basent sur 3 techniques : l'élimination des vers dans l'hôte, la diminution du contact entre l'hôte et les larves infestantes (L3) et l'amélioration de la résistance et résilience de l'hôte. Suivant les situations, différentes solutions peuvent être combinées pour une plus grande efficacité. La maîtrise du parasitisme gastro-intestinal ne peut se concevoir de façon durable qu'en intégrant plusieurs stratégies, selon la technicité et la conduite de l'élevage.

2) Les méthodes alternatives non-génétiques

2.1. Stratégie de traitement ciblé pour limiter l'apparition de souches vermineuses résistantes

- **Traitements ciblés**

Une meilleure gestion des traitements permet de réduire significativement l'utilisation d'anthelminthiques, notamment en plaçant en quarantaine les nouveaux animaux rejoignant le

troupeau, en évitant les traitements systématiques et les sous-dosages, en changeant régulièrement de famille de molécules et en espaçant les traitements. Réserver les traitements anthelminthiques aux seuls animaux très atteints permet de diminuer la pression de sélection sur les parasites et de conserver des strongles sensibles. La technique Famacha (van Wyk et Bath, 2002) permet de repérer de façon très simple les animaux à traiter. Cette méthode consiste à détecter l'anémie provoquée par *H. contortus* en regardant la couleur de la muqueuse de la paupière inférieure. Seuls les animaux présentant une couleur trop pâle seront traités.

- **Plantes à effet anthelminthique**

Les savoir-faire traditionnels mettent en avant l'utilisation de ressources végétales locales pour la lutte contre les parasites. De nombreuses plantes ont en effet des propriétés anthelminthiques, provenant de la présence de métabolites secondaires comme les tanins. Des essais *in vitro* et *in vivo* ont montré l'efficacité de ces plantes, bien que les composants actifs et leurs mécanismes d'action soient souvent mal connus (Torres-Acosta et Hoste, 2008). Les métabolites secondaires ayant un effet anthelminthique ont aussi des propriétés anti-nutritionnelles reconnues et identifiées, ce qui limite l'intérêt de ces plantes pour l'alimentation animale (Jackson et Miller, 2006).

Par exemple, en Guadeloupe, les feuilles de manioc ont montré leur efficacité in vivo pour limiter le développement des larves d'*H. contortus*, et in vitro pour réduire l'OPG d'agneaux infestés artificiellement. Mais donnés à des agneaux, ces feuillages ont limité leur ingestion, ce qui a entraîné un ralentissement de leur croissance (Marie-Magdeleine *et al.*, 2010a; Marie-Magdeleine *et al.*, 2010b).

2.2. Stratégies de limitation des rencontres entre le parasite et son hôte

- **Gestion du pâturage**

Le pâturage peut être géré de façon à réduire le contact entre les larves infestantes (L3) et leurs hôtes. De nombreuses techniques peuvent être appliquées. La diminution du chargement permet de réduire la densité de larves et les contacts entre hôte et larve. Le pâturage mixte, par exemple caprins/bovins, permet aussi de limiter les populations de nématodes en empêchant le parasite d'atteindre sa cible (Jackson et Miller, 2006). La rotation du pâturage permet d'éviter ou de limiter le contact des animaux avec les L3, soit en faisant sortir les animaux de la pâture avant le développement des œufs en L3 ou en ne faisant entrer les animaux sur la

pâture qu'après une forte réduction du nombre de L3, dont la survie est limitée dans le temps (Torres-Acosta et Hoste, 2008). Aux Antilles françaises, Mahieu *et al.* (2008) préconisent une durée de pâturage d'une semaine maximum sur la même parcelle, et de laisser chaque parcelle inoccupée pendant au moins 4 semaines. Ceci revient à diviser le pré en 5 à 6 parcelles, chacune étant pâturée une semaine.

Les caprins sont aussi moins susceptibles d'être infestés s'ils ont à leur disposition des broussailles et des feuillages plutôt qu'uniquement de l'herbe. Ils sont moins exposés aux larves infestantes qui restent sur l'herbe, et peuvent bénéficier des propriétés anthelminthiques des feuillages de ces plantes (Torres-Acosta et Hoste, 2008).

- **Champignons nématophages**

Cette méthode utilise des champignons ou bactéries attaquant les larves de nématodes en pâture. Dans certains cas, les spores de champignons peuvent être distribuées et ingérées par l'hôte. Si les résultats en laboratoire sont prometteurs, les résultats obtenus sur le terrain se sont révélés moins convaincants (Torres-Acosta et Hoste, 2008).

2.3. Stratégie d'amélioration de la résistance de l'hôte

- **Vaccination**

Plusieurs antigènes candidats ont été identifiés pour la fabrication d'un vaccin, notamment des antigènes provenant de la paroi intestinale d'*H. contortus*. Leur utilisation sur des moutons en condition expérimentale a permis de réduire leur OPG de plus de 80%. Cependant, aucun vaccin n'a encore atteint le stade de la commercialisation (Jackson et Miller, 2006).

- **Complémentation protéique**

La complémentation protéique permet de compenser les effets du parasitisme (Jackson et Miller, 2006) en réduisant les pertes de production et en augmentant la résistance et résilience des hôtes. C'est une solution intéressante pour certaines périodes-clé : autour de la mise-bas chez les femelles et lors de la croissance des jeunes.

La troisième voie d'amélioration de la résistance de l'hôte est la sélection génétique, présentée en détail dans la partie qui suit.

3) La sélection génétique sur la résistance ou la résilience au parasitisme

De nombreuses races locales tropicales présentent des caractéristiques de résistance et de résilience aux strongles (Baker et Gray, 2004). C'est le cas par exemple de la chèvre naine d'Afrique de l'Ouest au Niger (Chiejina et Behnke, 2011) et de la chèvre Créole en Guadeloupe (Mandonnet *et al.*, 1997). La résistance et la résilience au parasitisme sont des caractères modérément héritables (Jackson et Miller, 2006). Jusqu'à présent, la sélection sur la résilience a reçu moins d'attention que la sélection sur la résistance (Bisset et Morris, 1996).

Plusieurs gènes candidats ont été associés à la résistance chez différentes races de mouton (Jackson et Miller, 2006). Chez la chèvre Créole, 13 fragments chromosomiques (Quantitative Trait Locus, QTL) associés à la résistance au parasite ont été détectés par génome scan (de la Chevrotière, 2011). Cependant, cette information est encore difficilement valorisable pour une sélection assistée par marqueurs.

La sélection sur la résistance ou la résilience engendre de nombreux effets sur le parasite, son épidémiologie, et sur la santé et le niveau de production de l'hôte.

- **Adaptation des parasites à la résistance ou résilience de l'hôte**

L'amélioration de la résilience des animaux n'a aucune conséquence sur le parasite, qui peut compléter son cycle librement (Bishop et Stear, 2003). Par contre, l'amélioration de la résistance des animaux pourrait augmenter la pression de sélection sur les parasites. Néanmoins, aucune adaptation du parasite n'a pu être mise en évidence. Kemper *et al.* (2009) ont montré que *H. contortus* et *T. colubriformis* ne s'adaptaient pas à une exposition à long terme à des moutons sélectionnés pour leur résistance aux strongles. Il semblerait que les mécanismes de résistance des hôtes fassent appel à des stratégies complexes, impliquant de nombreux gènes à faibles effets, ce qui rend plus difficile l'adaptation des parasites à ces mécanismes. De plus, la pression de sélection sur les parasites est relativement faible, car la résistance au parasitisme n'est que partielle, et les strongles sont hébergés en grande majorité par les animaux les plus sensibles (Bishop et Stear, 2003).

- **Epidémiologie du parasite**

La sélection des animaux sur l'OPG a un fort effet sur l'épidémiologie du parasite. Les animaux résistants contaminent moins leur pâture, ce qui réduit l'infestation larvaire (Bisset *et*

al., 1997; Bishop et Stear, 2003). La sélection des animaux sur l'âge au premier traitement ou le nombre de traitements n'agit pas sur l'épidémiologie du parasite. Les animaux résilients ne présentent pas de changements d'OPG (Morris *et al.*, 1995; Bisset et Morris, 1996). Par contre, au vu des fortes corrélations génétiques négatives entre hématocrite et OPG (Baker *et al.*, 2001; Mandonnet *et al.*, 2001), la sélection d'animaux sur l'hématocrite pourrait entrainer une réduction de l'OPG.

- **Réduction ou suppression des traitements anthelminthiques**

La fréquence de traitement est réduite pour des animaux sélectionnés sur leur résistance (Woolaston et Baker, 1996; Kahn *et al.*, 2003) ou sur leur résilience (Morris *et al.*, 1995).

- **Performances de l'animal**

Les effets de la sélection sur l'OPG sur les caractères de production de l'animal sont très variables. Ils dépendent beaucoup du sens et de l'ampleur des corrélations entre OPG et caractères de production. Les résultats de la littérature dépendent des types génétiques ou de la population considérée. Dans certains cas (principalement pour les ovins en milieu tempéré), il semblerait que la réponse immunitaire puisse être excessive et engendrer des conséquences négatives sur les performances de l'hôte (Greer, 2008).

Au contraire, la sélection sur la résilience semble avoir des effets positifs marqués sur les caractères de production de l'animal (Bisset et Morris, 1996).

La sélection génétique est donc une solution intéressante pour réduire l'utilisation des anthelminthiques et améliorer la santé des animaux. Contrairement aux autres mesures qui n'offrent que des solutions à court terme, la sélection génétique offre une solution durable (Eady et al., 2003). Cependant, elle ne protège pas complètement les animaux. Les mécanismes immunitaires mettent du temps à se mettre en place, et les chèvres autour de la mise-bas présentent toujours un relâchement de leur immunité (Jackson et Miller, 2006). C'est pourquoi la sélection ne doit être conçue que dans une lutte intégrée contre le parasitisme, combinant au mieux les différentes méthodes de lutte.

L'OPTIMISATION D'UN PROGRAMME DE SELECTION

Les programmes de sélection ont pour but l'amélioration génétique des populations animales afin d'accroître l'efficacité de production des animaux dans leurs systèmes d'élevage. Les meilleurs animaux sont sélectionnés et utilisés comme parents de la génération suivante.

La mise en place d'un programme de sélection se déroule en plusieurs étapes interdépendantes (Baker et Gray, 2004) qui consistent à :

1) Analyser les systèmes d'élevage, choisir la ou les races à améliorer
2) Définir l'objectif de sélection, identifier les critères de sélection à utiliser dans l'index de sélection, obtenir ou estimer les paramètres génétiques (héritabilités et corrélations génétiques) de la race pour les caractères de l'objectif et de l'index
3) Concevoir et optimiser le programme de sélection, et donc :
    - Etablir le contrôle de performances
    - Calculer les index de valeur génétique de chaque animal
    - Mettre en place un plan d'accouplement des animaux sélectionnés
    - Mettre en place un schéma de diffusion des animaux supérieurs génétiquement
    - Evaluer régulièrement l'efficacité du programme de sélection

I Etude des systèmes d'élevage et choix des races à améliorer

L'étude des systèmes d'élevage constitue une étape essentielle préalable à la mise en place d'un programme de sélection (Groen, 2000). Les atouts et les contraintes de ceux-ci doivent être bien identifiés car ils vont conditionner l'orientation de la sélection. Dans les années 1950 à 1990, les outils développés visaient à placer les animaux contrôlés dans des situations de milieu très favorables, notamment sur le plan nutritionnel, afin de gommer les différences d'adaptation des animaux à des contraintes environnementales et de maximiser la production. Les animaux étaient donc essentiellement sélectionnés sur des caractères de production dans des environnements bien maîtrisés. De nos jours, dans une perspective de durabilité de l'élevage et de robustesse des animaux, l'adaptation des animaux à leur environnement est favorisée (Olesen *et al.*, 2000)

Avant tout programme de sélection, il convient de choisir sur quelle(s) race(s) va se porter la sélection (races locales ou importées), et si la sélection se fera en race pure ou en croisement (Groen, 2000). Dans tous les cas, il faut veiller à la conservation des races locales qui ne sont pas utilisées pour la sélection. Car si une race particulière est sélectionnée et mise en avant, d'autres, moins "compétitives", risquent d'être délaissées par les éleveurs et de disparaître. Dans les pays tropicaux, les races locales ont rarement été caractérisées de façon scientifique, ce qui a conduit à la sous-estimation de leur valeur (Baker et Gray, 2004). Ces races sont vues comme peu productives, car de petite taille et de faible croissance, alors qu'elles présentent des caractéristiques d'adaptation et de reproduction très intéressantes. Avant tout choix de races, pour une sélection en race pure ou en croisement, il convient de comparer leurs performances dans le même milieu (Wiener et Rouvier, 2009). Les résultats escomptés sont surestimés si on prend en compte la production d'une race exotique dans son milieu d'origine (par exemple tempéré) au lieu de prendre en compte la production de cette race dans le milieu où on veut l'utiliser, par exemple en milieu tropical (Simm *et al.*, 1996).

1) Race pure

En race pure, les reproducteurs proviennent de la même population. Ces races sont souvent les plus à même de produire en milieu difficile, du fait de leur adaptation de longue date à ces milieux. La sélection en race pure entraîne un progrès génétique régulier et cumulatif, visible sur le long terme. N'impliquant qu'une seule race, cette sélection est souvent plus facile à organiser que les systèmes de croisement. Néanmoins, l'amélioration simultanée de nombreux caractères différents peut être longue et difficile, et la sélection en race pure peut conduire à une forte augmentation de la consanguinité dans les populations de taille réduite, provoquant de nombreux effets délétères : dépression de consanguinité à court terme, anomalies génétiques et diminution de la variabilité génétique à plus long terme (Verrier *et al.*, 2005).

2) Croisement et effet d'hétérosis

Les systèmes de croisement consistent à exploiter la variabilité génétique entre races pour bénéficier à la fois de la complémentarité des aptitudes de chacune des races et de l'effet d'hétérosis sur certains caractères. Le croisement permet une amélioration notable visible dès la première génération. C'est la méthode la plus rapide pour obtenir un changement génétique

(Wiener et Rouvier, 2009). On valorise par exemple la complémentarité des races en utilisant une race paternelle aux aptitudes bouchères bien développées et une race maternelle aux bonnes qualités maternelles et de reproduction. Très souvent, les femelles d'une race locale sont croisées avec des mâles importés pour introduire les performances de production de cette race importée.

La vigueur hybride ou effet d'hétérosis est le fait que la performance moyenne d'un ensemble d'animaux croisés soit supérieure à la moyenne des performances des deux races parentales. Cet effet résulte principalement de la dominance qui se manifeste au niveau des loci hétérozygotes, plus nombreux chez les animaux croisés que chez les animaux de race pure (Wiener et Rouvier, 2009). Cet effet peut être particulièrement intéressant quand il élève la performance des animaux croisé au dessus de celle de la meilleure race parentale. L'hétérosis est maximum en première génération de croisement (F1) et a un effet plus marqué sur les caractères de reproduction et les aptitudes maternelles que sur les caractères de production. Pour cette raison, la production de lignées maternelles croisées est particulièrement intéressante, les mères croisées faisant bénéficier leurs petits de leurs meilleures performances maternelles (Minvielle, 1990).

Cependant, les croisements doivent être extrêmement bien organisés pour atteindre l'objectif voulu et maintenir un nombre suffisant d'animaux garantissant le renouvellement des troupeaux de race pure.

Il existe différents types de croisements, succinctement décrits ci-dessous :

- **Croisement terminal**

Il fait intervenir deux à quatre lignées différentes, produisant une génération terminale d'animaux croisés tous abattus. Ces croisements permettent de bénéficier de la complémentarité entre races et de l'hétérosis s'exprimant avant l'abattage de la dernière génération. Les organisations les plus complexes, à double étage (à 3 voies, à 4 voies, en retour, Figure 5) permettent aussi de bénéficier de l'hétérosis maternel (Wiener et Rouvier, 2009).

Les croisements terminaux les plus simples, à 2 voies, ont majoritairement été développés chez les ovins et bovins. Les lignées maternelles, de races locales, sont croisées avec des races paternelles aux meilleures aptitudes bouchères Dans ces schémas, il faut en particulier éviter que toutes les femelles produisent des animaux croisés pour garantir le renouvellement des femelles en race pure (Verrier *et al.*, 2005).

Les croisements à double étage (3, 4 voies retour) sont les systèmes prédominants dans les productions porcines et avicoles. Du fait de leur complexité, ils demandent une très bonne maitrise technique, avec le maintien et le renouvellement de plusieurs lignées en races pures.

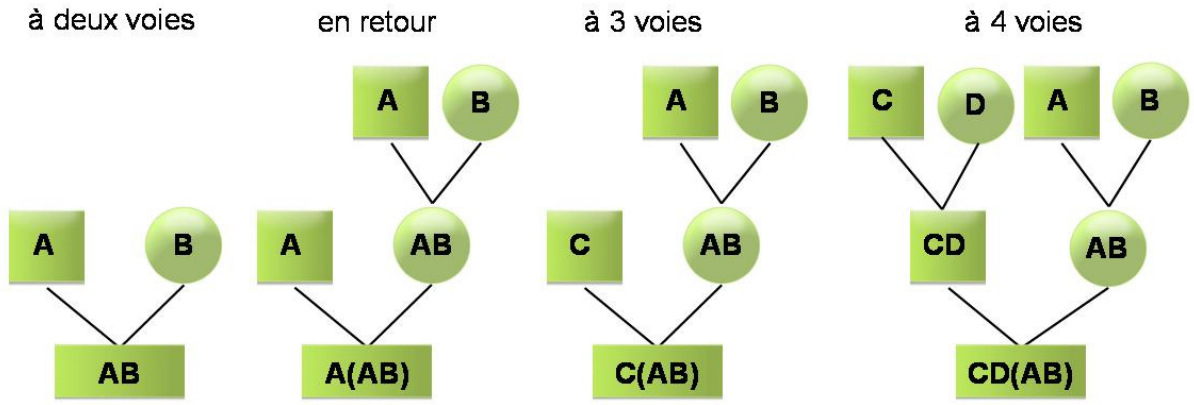


Figure 5 : Principaux systèmes de croisement terminal (d'après A. Bouquet, 2009)

Carrés = mâles, ronds = femelles.

- **Croisement alternatif ou rotatif**

Ces croisements ont pour but l'entretien d'une population de femelles croisées, bénéficiant des effets d'hétérosis (Wiener et Rouvier, 2009). Une population de femelles est croisée alternativement avec des mâles de différentes races pures (2 races de mâles dans les cas les plus simples). Les femelles issues de ces croisements sont conservées pour la reproduction et à leur tour accouplées alternativement avec des mâles de chaque race (Figure 6). Ces types de croisements sont utilisés chez les ruminants élevés en condition très extensive, de type ranching (Verrier *et al.*, 2005).

- **Croisement d'amélioration**

Il s'agit d'un croisement discontinu, qui a pour but d'introgresser certaines caractéristiques d'une race dans la race à améliorer (Verrier *et al.*, 2005). C'est donc un apport ponctuel d'animaux d'une race extérieure.

- **Création de lignées synthétiques ou composites**

L'objet des croisements de 2 races ou plus est de créer une nouvelle lignée homogène, présentant les qualités provenant des races d'origine. La façon la plus simple de procéder est

d'accoupler des représentants des deux races d'origine, et ensuite d'accoupler leurs descendants entre eux sur plusieurs générations successives (Figure 6).

- **Croisement d'absorption**

Ce croisement consiste à changer de race progressivement, sans avoir besoin d'introduire une nouvelle population de mâles et femelles. Généralement, les femelles de race locale sont accouplées ou inséminées avec des mâles de la race exotique absorbante. A chaque génération, les femelles croisées sont accouplées à des mâles de la race absorbante (Figure 6). Ce type de croisement permet de passer progressivement d'une race à une autre, sans que l'éleveur n'ait à changer brutalement son troupeau, et permet aussi de profiter de l'effet d'hétérosis lors des premières générations de croisements (Wiener et Rouvier, 2009).

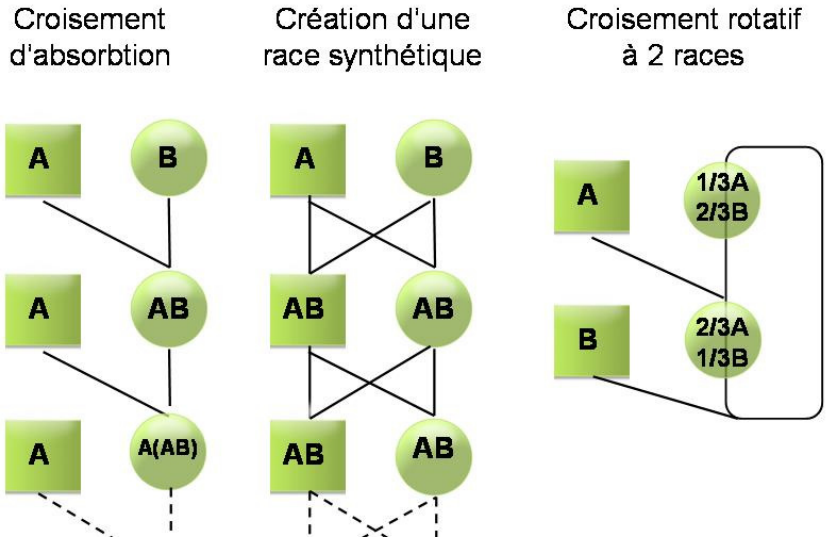


Figure 6 : Différents types de croisements (d'après E.Verrier, 2005)

Carrés = mâles, ronds = femelles.

II Objectifs de sélection et index

1) Principe général

La théorie des index de sélection a été développée par Hazel (1943) en amélioration génétique des animaux. Elle comprend deux grandes étapes : le choix de l'objectif de sélection, qui représente l'orientation désirée pour améliorer la population sélectionnée, et la détermination de l'index de sélection, qui est l'outil permettant de sélectionner les animaux (Ponzoni et Newman, 1989).

L'objectif de sélection se présente le plus souvent sous la forme d'une combinaison linéaire des valeurs génétiques additives des caractères à améliorer. Les pondérations attribuées aux caractères à améliorer traduisent l'importance relative de chaque caractère dans l'objectif de sélection. Généralement, le but premier de la sélection est de maximiser le profit de l'exploitation agricole ou de diminuer les coûts de production. Si les pondérations des caractères sont basées sur un raisonnement économique, elles rendent alors compte du gain économique espéré par l'amélioration génétique d'une unité physique des caractères (Groen *et al.*, 1997).

L'index de sélection est l'outil permettant de classer des animaux et de sélectionner les meilleurs, conformément au but défini par l'objectif de sélection. L'index se présente généralement sous la forme d'une somme pondérée des valeurs génétiques prédites des caractères mesurés (appelés critères de sélection). Les pondérations de l'index sont calculées de façon à maximiser la réponse sur l'objectif de sélection (Hazel, 1943).

Les caractères considérés dans l'index de sélection ne sont pas forcément les mêmes que ceux entrant dans la constitution de l'objectif de sélection. Dans l'objectif de sélection sont considérés tous les caractères de l'animal ayant une importance économique et une variabilité génétique certaines, même s'ils sont difficiles à mesurer. Les critères de sélection, eux, doivent être non seulement génétiquement variables, mais aussi mesurables et significativement corrélés aux caractères de l'objectif de sélection (Baker et Gray, 2004). Par exemple, l'épaisseur du lard dorsal chez les porcs est un critère de sélection qui sert d'indicateur du rendement en viande de la carcasse, et qui a l'avantage de ne pas nécessiter l'abattage de l'animal.

L'objectif de sélection **H** s'écrit :$\mathbf{H=v'.A}$
où **v'** est la transposée du vecteur des pondérations des caractères de l'objectif et **A** le vecteur de leurs valeurs génétiques additives vraies (inconnues).

Pour une sélection phénotypique, l'index de sélection I s'écrit :$\mathbf{I=b'.X}$
où **b'** est la transposée du vecteur des coefficients de pondérations des critères de sélection et **X** le vecteur des mesures phénotypiques de ces caractères.

Le vecteur b des pondérations de l'index est calculé de la façon suivante : $\mathbf{b=P^{-1}.G.v}$
où $\mathbf{P^{-1}}$ est l'inverse de la matrice de variance-covariance phénotypique des critères de sélection et **G** est la matrice de variance-covariance génétique entre les critères de sélection et les caractères de l'objectif de sélection.

Ces équations restent valables en considérant X comme un vecteur des index élémentaires prédits pour les critères de sélection, P comme la matrice de variance-covariance de ces valeurs génétiques prédites et G la matrice de variance-covariance entre valeurs génétiques prédites pour les critères de sélection et valeurs génétiques vraies considérées dans l'objectif de sélection (Phocas, 2011).

2) Les différents types de caractères et leurs caractéristiques

- **Caractères de production**

Les caractères de production sont facilement mesurables. Leur héritabilité est relativement élevée. Ils visent à améliorer la quantité de produit vendu (Simm *et al.*, 1996). Ce sont par exemple le poids (poids carcasse, poids sevrage, poids adulte), la croissance (GMQ), ou la quantité de lait.

- **Caractères de qualité des produits**

Ces critères de qualité ont été développés pour répondre aux attentes des consommateurs. Les produits présentant les qualités requises sont achetés à un meilleur prix aux éleveurs. Ces caractères peuvent être le taux de gras, le taux de muscle, la note de la carcasse, le taux de protéines ou de matière grasse du lait.

- **Caractères fonctionnels**

Les caractères fonctionnels visent à faciliter l'élevage des animaux en réduisant les coûts de production et à améliorer l'efficacité de production (Simm *et al.*, 1996). Ces caractères ont souvent une héritabilité plus faible que les caractères de production, et ne sont pas toujours facilement mesurables. Ils rassemblent des caractères de reproduction (facilité de mise-bas, fertilité, taille de portée), de santé (résistance aux maladies), de longévité, de comportement et d'adaptation (stockage de gras, adaptation au froid, à la chaleur).

3) Le choix des caractères à sélectionner

Depuis le milieu du XX^{ème} siècle, la sélection s'est majoritairement portée sur les caractères de production (Simm *et al.*, 1996). Une sélection trop intense sur ces seuls caractères a conduit à une détérioration de la santé des animaux et de leurs performances de reproduction (Groen *et al.*, 1997). En effet, les caractères fonctionnels sont souvent

négativement corrélés aux caractères de production. L'efficacité des programmes de sélection s'en trouvait donc réduite (Goddard, 1998). De nos jours, les programmes de sélection sont plus équilibrés entre amélioration des caractères de production et amélioration des caractères fonctionnels (Groen *et al.*, 1997). Ils visent aussi à intégrer de plus en plus de nouveaux critères sous-jacents aux attentes des consommateurs en termes de qualité de la viande et de bien-être animal.

4) Calcul des pondérations de l'objectif de sélection et de l'index de sélection

Pour définir l'objectif de sélection, il faut identifier les caractères zootechniques qui ont une influence économique et calculer leurs pondérations. Plusieurs méthodes existent.

- **Méthodes techniques ou « du gain désiré »**

La méthode du gain désiré consiste à contraindre les changements du caractère en fonction du résultat souhaité. La pondération du caractère est attribuée en fonction du gain génétique désiré (Itoh et Yamada, 1987). Cette méthode est moins efficace sur le plan économique (Gibson et Kennedy, 1990). Néanmoins, c'est une méthode alternative qui peut être utilisée quand on manque de données et de connaissances économiques sur certaines composantes de l'objectif (comme par exemple la résistance aux maladies) ou bien pour traduire des phénomènes économiques ou biologiques non linéaires. Historiquement, cette méthode était la plus utilisée, et l'est encore dans les espèces avicoles, car les grands groupes de sélectionneurs cherchent à garantir un certain niveau de performance sur chacun des caractères évalués (Phocas, 2011).

- **Méthodes économiques**

Les pondérations économiques sont calculées grâce à une équation de profit. L'équation de profit exprime les recettes et les coûts en fonction des caractères zootechniques. Cette équation est écrite de façon à maximiser le profit (recettes – coûts), ou minimiser les coûts par unité de produit (coûts/recettes), ou maximiser le retour sur investissement (recettes/coûts). Le profit peut être calculé à différents niveaux : au niveau de l'animal, de l'élevage, de la filière et peut être exprimé par animal, par unité de travail, par ha ou par unité de produit. Dans les modèles bioéconomiques, plusieurs équations, au lieu d'une seule, sont utilisées pour calculer le profit.

Les pondérations économiques sont calculées à partir de cette équation par dérivées partielles. L'équation est dérivée pour chaque caractère de l'animal, pris un à un, en gardant les autres caractères constants à leur valeur moyenne. La valeur de la dérivée calculée pour chaque caractère est sa pondération économique. Elle correspond au gain marginal de profit obtenu en augmentant d'une unité un caractère (Groen *et al.*, 1997).

Les pondérations économiques sont exprimées en unité monétaire par unité de caractère (par exemple € / kg, € / %). Pour les comparer, différentes méthodes de standardisation ont été développées (Kluyts *et al.*, 2003) :

- en multipliant les pondérations économiques absolues par l'écart type génétique ou phénotypique. Ces pondérations correspondent aux gains de profit obtenu pour l'amélioration d'un écart type des caractères.
- en exprimant toutes les pondérations économiques standardisées en pourcentage, en prenant comme référence la pondération d'un des caractères (la plus faible) ou bien la somme des pondérations relatives de tous les caractères.

- **Méthodes non-marchandes**

Les nouvelles priorités écologiques, sociales et éthiques ont changé la façon de construire les objectifs de sélection. De nouveaux caractères doivent être intégrés dans les objectifs de sélection pour répondre à ces attentes sociétales. Cependant, il est difficile d'attribuer une valeur monétaire à ces caractères. Pour cette raison, une approche non marchande des objectifs de sélection a été proposée par Olesen et al. (2000). Cette approche intègre le calcul de pondérations économiques traditionnelles, marchandes, et celui de pondérations non marchandes. Ainsi, un même caractère peut avoir les deux types de pondérations, et certains caractères peuvent n'avoir qu'une pondération marchande ou qu'une pondération non marchande. Les pondérations non marchandes sont plus difficiles à calculer, mais peuvent par exemple traduire le consentement à payer du consommateur, ou des considérations techniques en termes de gain génétique désiré.

III Modélisation du programme de sélection

1) Le contrôle de performances et l'évaluation des reproducteurs

Le contrôle de performances consiste à collecter les mesures concernant les critères de sélection sur les animaux en ferme ou en station de contrôle individuel ou sur descendance (testage). Les stations de contrôle regroupent un ensemble d'animaux (souvent des jeunes mâles) évalués dans des conditions de milieu similaires. Quand l'information ne peut pas être mesurée directement sur l'animal, le contrôle sur descendance permet d'évaluer l'animal sur les performances de sa progéniture (comme la production laitière des filles d'un taureau laitier).

Le contrôle de performance nécessite l'identification de tous les animaux, ce qui se fait par l'attribution d'un numéro unique et habituellement par l'apposition d'une boucle posée à l'oreille. Pour une meilleure efficacité de sélection, le pedigree des animaux doit être enregistré, de façon à prendre en compte dans le calcul des index non seulement l'information individuelle mais aussi celles des animaux apparentés. Ceci augmentera la précision de l'index, et donc la réponse à la sélection.

Une fois le contrôle de performances effectué et les index calculés, les meilleurs animaux destinés à produire la prochaine génération sont choisis et leurs accouplements planifiés.

2) Organisation du programme de sélection

Les programmes de sélection peuvent se structurer différemment suivant les fonctions opérées par les éleveurs (wan der Werf, 2000).

- **Programme de sélection sans noyau de sélection**

C'est le cas le plus simple. Il n'y qu'un seul groupe d'éleveurs, qui sont à la fois sélectionneurs et utilisateurs. Mâles et femelles sont remplacés par leurs propres descendants. Toutes les femelles sont gardées et seuls les meilleurs mâles du groupe sont sélectionnés pour la reproduction (van der Werf, 2000).

- **Programme de sélection en structure pyramidale**

Les éleveurs se scindent en au moins deux groupes : un groupe d'éleveurs sélectionneurs, chargés de produire des reproducteurs, et un groupe d'utilisateurs, qui achètent des reproducteurs aux sélectionneurs. Si les sélectionneurs ne fournissent pas suffisamment de reproducteurs aux utilisateurs, un groupe intermédiaire d'éleveurs multiplicateurs peut être créé. Ce groupe achète des reproducteurs au groupe de sélectionneurs et vend leur descendance aux utilisateurs (Figure 7).

Cette structure en pyramide est particulièrement bien adaptée aux situations de croisement en double étage qu'on trouve en porcs ou en volailles (Verrier *et al.*, 2005). Les sélectionneurs produisent des lignées mâles et femelles en race pure, les multiplicateurs les croisent, et revendent aux utilisateurs des animaux croisés.

Le groupe d'éleveurs sélectionneurs constitue le noyau de sélection. Ces éleveurs sont chargés de l'amélioration génétique de la race. Le pedigree et les performances des animaux sont enregistrés. Le remplacement des animaux se fait au sein même du groupe dans le cas d'un noyau de sélection fermé. Dans le cas d'un noyau de sélection ouvert, les meilleurs animaux provenant du groupe d'utilisateurs peuvent passer dans le noyau de sélection. Cela suppose qu'un contrôle de performance est mis en place chez les utilisateurs.

Le progrès génétique réalisé dans le noyau de sélection est diffusé aux éleveurs des autres groupes lors du transfert de reproducteurs. Ces animaux peuvent être vendus, loués, ou laissés à l'éleveur pour une durée limitée, avant d'être utilisés pour la reproduction dans un autre troupeau. Certaines biotechnologies de la reproduction, telles que l'insémination artificielle, la superovulation et le transfert d'embryons améliorent la diffusion du progrès génétique.

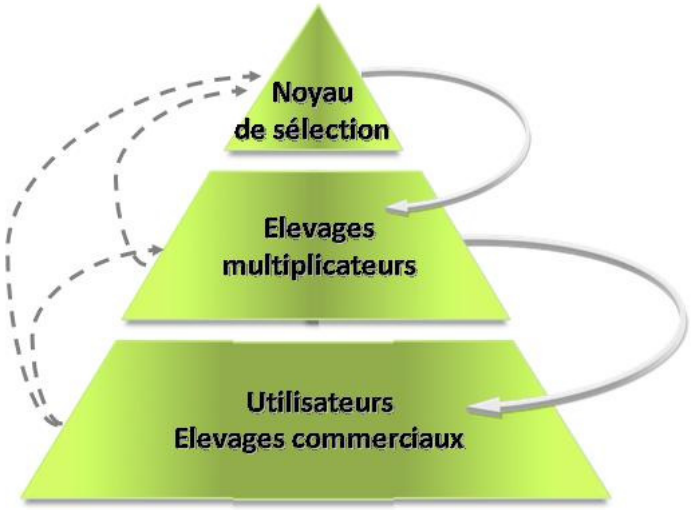


Figure 7 : Organisation pyramidale de la sélection

Flèches pleines : diffusion du progrès génétique. Flèches en pointillés : dans certains schémas uniquement (avec noyau de sélection ouvert) les meilleurs animaux des étages inférieurs peuvent rejoindre le groupe de l'étage supérieur.

3) Réponse à la sélection et optimisation du programme de sélection

L'évaluation des programmes de sélection s'effectue de façon technique et économique, en analysant la réponse à la sélection (attendue ou réalisée), le taux de consanguinité et le coût du programme. Le progrès génétique ne doit pas entrainer une hausse trop importante de la consanguinité, et doit être suffisant pour compenser les coûts de fonctionnement du programme (Phocas, 2011).

- **Progrès génétique et réponse à la sélection**

La formule classique de base du calcul du progrès génétique annuel est la suivante :

$$\Delta G = \frac{R}{L} = \frac{i.r_{IH}.\sigma_H}{L}$$

où R est la réponse à la sélection sur une génération, i est l'intensité de sélection, r_{IH} est la précision de la sélection égale au coefficient de corrélation entre l'index I et l'objectif H, σ_H est l'écart type de l'objectif de sélection et L l'intervalle de génération exprimé en année. En sélection massale (sur le phénotype) sur un seul caractère, r_{IH} est égale à la racine carrée de l'héritabilité.

Pour obtenir une réponse à la sélection importante, il faut donc avoir un intervalle de génération court, une forte variabilité génétique, une forte intensité de sélection et une bonne précision de l'index. Il est impossible d'améliorer tous ces paramètres à la fois. Par exemple, instaurer un testage sur descendance va améliorer la précision de l'index mais va en même temps augmenter l'intervalle de génération. C'est donc pour cela qu'il est nécessaire d'optimiser les programmes de sélection pour trouver un optimum sur l'ensemble des paramètres.

L'équation de base présentée ci-dessus peut être complexifiée (Rendel et Robertson, 1950) pour rendre compte de phénomènes de sélection différenciée selon les 4 voies (v) de transmission de gène : la sélection des pères pour produire des pères, des pères pour produire des mères, des mères pour produire des pères et des mères pour produire des mères.

$$\Delta G = \frac{\sum_{v=1}^{4} i_v . r_{IHv}}{\sum_{v=1}^{4} L_v} . \sigma_H$$

Pour des animaux sélectionnés sur l'objectif de sélection H, le progrès génétique annuel pour chaque caractère m de l'objectif de sélection se calcule ainsi :

$$\Delta G = \frac{i.b'.G_m}{L.\sigma_I}$$

où b' est la transposée du vecteur des coefficients de pondération des n critères de sélection de l'index I, σ_I est l'écart type de l'index I, et G est la matrice de variance-covariance génétique entre les n critères de sélection de l'index I et les m caractères de l'objectif de sélection H. G_m correspond donc à la colonne m de la matrice G.

- **Calcul de l'intensité de sélection**

La différentielle de sélection S est la supériorité des parents sélectionnés comparée à la moyenne de la population sur l'index de sélection (Figure 8).

L'intensité de sélection est la différentielle de sélection standardisée par l'écart-type de l'index I. Une intensité de sélection de 1 est donc égale à une différentielle de sélection de un écart type d'index.

$$i = \frac{S}{\sigma_i}$$

où σ_i est l'écart type de l'index.

Dans le cas d'une sélection directionnelle par troncature, sur un index distribué normalement :

$$i = \frac{z}{p}$$

où z est l'ordonnée du point de troncature Pt de la fonction de densité d'une loi normale centrée réduite, et p est le taux de sélection, à savoir le pourcentage d'animaux sélectionnés comme reproducteurs parmi la population totale.

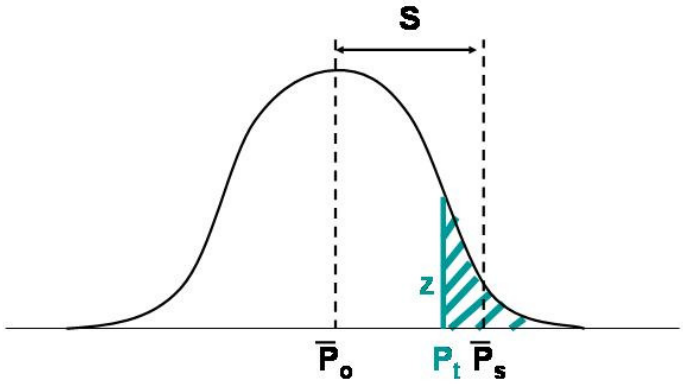


Figure 8 : Différentielle de sélection phénotypique S pour une sélection par troncation (d'après Minvielle, 1990)

$\overline{P}_o$ est la performance moyenne de la population, P_t est le seuil de troncature à partir duquel les animaux sont sélectionnés, $\overline{P}_s$ est la performance moyenne des animaux sélectionnés.

- **Consanguinité**

Une réponse à la sélection importante sur plusieurs générations est souvent associée à un taux de consanguinité important. La consanguinité est causée par l'accouplement d'individus apparentés. Une consanguinité trop importante dans une population entraîne une baisse de performance des animaux, causée par un recul de l'hétérozygotie (Wiener et Rouvier, 2009). La consanguinité peut être contrôlée en évitant l'accouplement d'animaux étroitement apparentés, et en augmentant le nombre de reproducteurs sélectionnés.

La formule générale de calcul de l'augmentation de consanguinité est la suivante :

$$\Delta F = \frac{F_t - F_{t-1}}{1 - F_{t-1}}$$

où ΔF est l'augmentation de la consanguinité et F_t la consanguinité à la génération t.

L'effectif génétique réalisé, ou taille effective de la population, N_E, est une autre façon d'exprimer l'augmentation de la consanguinité :

$$N_E = \frac{1}{2\Delta F}$$

Cependant, il est toujours difficile de prévoir les effets à long terme de la sélection en termes de consanguinité et de réponses corrélées indésirables sur certains caractères non intégrés dans le programme de sélection (Arendonk *et al.*, 2010).

IV Enjeux des programmes de sélection dans les pays tropicaux et en Guadeloupe

1) Enjeux dans les pays tropicaux

- **Besoins propres aux pays tropicaux**

Les besoins propres aux élevages des pays tropicaux doivent être considérés pour garantir le succès des programmes de sélection. Cela concerne entre autres la prise en compte des rôles intangibles des animaux qui doivent pouvoir être satisfaits par les animaux sélectionnés. Pour garantir la pérennité des élevages, l'adaptation des animaux à leur environnement (souvent difficile en milieu tropical) doit être reconnue et conservée (Alexandre et Mandonnet, 2005), d'où l'importance d'une bonne caractérisation des races locales. Les besoins des éleveurs et leurs souhaits de sélection doivent être respectés et l'impact à long terme des programmes de sélection doit être bien évalué, de façon à limiter les risques et les coûts pour l'éleveur.

- **Manque d'infrastructure**

Dans les pays du Sud, plusieurs facteurs structurels peuvent empêcher l'implantation de programmes de sélection : la difficulté d'accès au marché, le manque de débouchés commerciaux pour les animaux, le manque d'organisations professionnelles, de services d'aide à élevage, d'appui vétérinaire, l'absence d'instituts de développement et de recherche, ainsi que le manque de financement.

- **Difficultés techniques**

Ce sont par exemple la petite taille des élevages, qui rend le contrôle de performances et l'organisation du programme de sélection plus difficiles et plus coûteux, les faibles populations animales, le manque d'identification, d'enregistrement du pedigree, le bas niveau d'éducation des éleveurs… (Kosgey *et al.*, 2006).

Tous ces facteurs limitent l'implantation et le succès de programmes de sélection dans les pays tropicaux (Kosgey *et al.*, 2006).

2) Cas de la Guadeloupe

La Guadeloupe est un cas intermédiaire, qui présente des caractéristiques propres. Comme dans tous les pays tropicaux, les caractères d'adaptation sont importants. Les races locales sont donc les plus indiquées pour servir de base à la sélection. La chèvre Créole de Guadeloupe est bien caractérisée, et ses avantages sont identifiés. Elle répond à de nombreux besoins, tangibles et intangibles qu'il est important de prendre en compte.

Par contre, l'identification des animaux n'est pas toujours présente, les élevages sont souvent de petites tailles, et peu d'éleveurs font partie de réseaux ou structures professionnels. Il n'y a pas de contrôle de performances et de pedigree sur le terrain, et la plupart des données zootechniques proviennent du troupeau expérimental de l'INRA. La présence de l'INRA, le soutien de la Chambre d'Agriculture, et la motivation forte de l'association d'éleveurs Cabricoop sont néanmoins autant d'atouts pour la mise en place d'un programme de sélection.

Résultats

ARTICLE 2 : L'OBJECTIF DE SELECTION DE LA CHEVRE CREOLE EN GUADELOUPE

Accepté dans Animal (seconde lecture)

I Introduction et objectifs

Ce second article est dédié à la définition de l'objectif de sélection pour la chèvre Créole. L'objectif de sélection est la combinaison linéaire des caractères à améliorer génétiquement. Les coefficients des caractères correspondent à leur poids économique. Les caractères à sélectionner sont le poids vif, le rendement carcasse et l'OPG, qui sont mesurés à 11 mois, et la fertilité et l'hématocrite, mesurés sur les mères. Ces caractères ont été choisis à cause de leur importante pour l'éleveur et pour la rentabilité de leur élevage.

II Résumé de l'article

Pondérations économiques de caractères de production, reproduction, et résistance au parasitisme dans l'objectif de sélection de la chèvre Créole en Guadeloupe

Nous avons déterminé l'objectif de sélection de la chèvre Créole guadeloupéenne, race locale utilisée pour la production de viande.

Cet objectif de sélection cherche à assurer une réponse à la sélection équilibrée entre différents types de caractères, en incluant deux caractères de production, le poids vif et le rendement carcasse à 11 mois (l'âge de vente ou de mise à la reproduction), un caractère de reproduction, la fertilité, et deux caractères de réponse aux infestations parasitaires, l'hématocrite, caractère de résilience, et l'excrétion d'œufs de strongles par gramme de fèces (OPG), caractère de résistance. Un modèle bio-économique déterministe a été développé pour calculer les pondérations économiques de ces caractères, en se basant sur la description du profit d'un élevage caprin guadeloupéen. Les revenus de l'élevage concernent la vente d'animaux pour la viande ou la reproduction. Les principales charges sont celles liées à alimentation et aux traitements contre les parasites gastro-intestinaux.

Les pondérations économiques sont de 7,68€ par kg pour le poids vif, 1,38€ par % pour la fertilité, 3,53€ par % pour le rendement carcasse et $3*10^{-4}$€ par % pour l'hématocrite. La pondération économique de l'OPG a été calculée en comparant le profit attendu et le

niveau moyen d'OPG dans une situation d'élevage normale et dans une situation extrême, où les parasites développent une résistance aux anthelminthiques. Cette seconde situation fournit une pondération maximale de l'OPG pour un objectif de sélection « sans traitement anthelminthique », qui s'élève à -18,85€ par logarithme népérien d'œufs par gramme de fèces.

Des scénarios alternatifs ont été testés pour déterminer la robustesse des pondérations économiques aux variations de contexte économique et environnemental. Les pondérations économiques de l'hématocrite et du rendement carcasse sont restés relativement stables d'un scénario à l'autre. Nous avons aussi examiné les différentes questions soulevées par la sélection sur la résilience ou la résistance au parasitisme, notamment autour du besoin, de la faisabilité et des bénéfices d'une telle sélection.

III Points-clé

Tableau 4 : Pondérations économiques des caractères de l'objectif de sélection obtenues avec un nombre de mères constant dans l'élevage.

Caractères	Pondération économique	
	en € par unité du caractère	standardisées[1]
Poids à 11 mois (kg)	7,69	14,56
Fertilité (%)	1,38	16,9
Rendement carcasse (%)	3,53	4,32
Hématocrite (%)	$3*10^{-4}$	$4,7*10^{-4}$
OPG (ln oeufs par g)	-18,85	-7,12

[1]Pondération en €/unité du caractère multiplié par l'écart type génétique du caractère, traduit le gain de marge brute obtenu par l'amélioration d'un écart type génétique du caractère

- **Le poids et la fertilité dominent l'objectif de sélection (pondérations économiques standardisées les plus élevées).**

- **La pondération économique de l'hématocrite est extrêmement faible.**

Economic values of body weight, reproduction and parasite resistance traits for a Creole goat breeding goal

M. Gunia[1], N. Mandonnet[11], R. Arquet[2], G. Alexandre[1], J-L. Gourdine[1], M. Naves[1], V. Angeon[3] and F. Phocas[4]

[1]*Unité de Recherches Zootechniques, UR143, INRA Antilles Guyane, domaine de Duclos, 97170 Petit-Bourg, Guadeloupe, F.W.I.*

[2]*PTEA, UE1294, INRA Antilles Guyane, domaine de Gardel, 97160 Le Moule Guadeloupe, F.W.I.*

[3]*CEREGMIA, Université des Antilles et de la Guyane, Faculté de droit et d'économie, Campus de Schoelcher, BP 7209, 97275 Schoelcher Cedex, Martinique, F.W.I.*

[4]*INRA Génétique Animale et Biologie Intégrative, UMR 1313, 78352 Jouy-en-Josas, France*

Abstract

A specific breeding goal definition for Creole goats in Guadeloupe was developed. This local breed is used for meat production. To ensure a balanced selection outcome, the breeding objective included two production traits, live weight (BW11) and dressing percentage (DP) at 11 months (the mating or selling age), one reproduction trait, fertility (FER), and two traits to assess animal response to parasite infection, packed cell volume (PCV), a resilience trait, and faecal worm eggs count (FEC), a resistance trait. A deterministic bio-economic model was developed to calculate the economic values based on the description of the profit of a Guadeloupean goat farm. The farm income came from the sale of animals for meat or as reproducers. The main costs were feeding and treatments against gastro-intestinal parasites. The economic values were 7.69€ per kg for BW11, 1.38€ per % for FER, 3.53€ per % for DP and 3 10^{-4}€ per % for PCV. The economic value for FEC was derived by comparing the expected profit and average FEC in a normal situation and in an extreme situation where parasites had developed resistance to anthelmintics. This method gave a maximum weighting for FEC, which was -18.85€ per log(eggs per gram). Alternative scenarios were tested to assess the robustness of the economic values to variation in the economic and environmental

[1] E-mail : Nathalie.Mandonnet@antilles.inra.fr

context. The economic values of PCV and DP were the most stable. Issues involved in paving the way for selective breeding on resistance or resilience to parasites are discussed.

Keywords: breeding objective, economic value, goat, parasite resistance, fertility

Implication

This study provides the definition of the breeding goal for a local breed of goat used for meat production in the tropics. The breeding goal definition includes weight and reproduction as well as parasite resistance and resilience traits. This step of defining a breeding goal is crucial for the implementation of a breeding programme aimed at increasing goat meat production in Guadeloupe by giving priority to the indigenous breed of the island.

Introduction

About 31 000 goats (Agreste, 2006) are reared for meat production in Guadeloupe (F.W.I ,16° Lat. N., 61° Long. W). The local breed, named Creole, originates from a mixture of West African, European and Indian breeds imported to the island during colonisation. Naturally selected for its ability to thrive in a tropical environment, this breed shows good reproduction and parasite resistance performance. However, the goat population in Guadeloupe does not fulfil the local demand for goat meat since production represents only 58% of apparent consumption (Alexandre *et al.*, 2008). As an example 1.4 tonnes of goat and sheep meat were imported in 2009 (Agreste, 2009).

Therefore, farmers, extension services and the guadeloupean organisation of goat breeders, called Cabricoop, have decided to organise a breeding programme for the Creole breed, designed with INRA expertise. Selection on adaptative as well as productivity traits has been advised for tropical areas (Shrestha and Fahmy, 2007), due to the specific constraints (climate, diseases, poor feeding) of the environment. As shown by a survey (Gunia *et al.*, 2010), farmers wish to improve the meat production of the Creole breed as well as its reproductive performance. Disease resistance traits should also be included in the breeding objective, because of the high prevalence of gastro-intestinal nematodes such as *Heamonchus sp.* and *Trichostrongylus sp.* in Guadeloupe. They are responsible for more than 80% of the mortality rate before weaning (Aumont *et al.*, 1997) and 30% productivity loss in kids at slaughter age.

Defining the breeding goal is the preliminary crucial step before the setting-up of a breeding programme (Hazel, 1943, Ponzoni and Newman, 1989). The breeding goal should encompass all traits affecting profitability which is typically defined at farm level. Economic values are derived by partial differentiation of the profit function with respect to individual traits (Moav and Hill, 1966). Each economic value indicates the marginal increase in profit caused by the improvement of one physical unit of the corresponding trait of the breeding objective.

The aim of this study was threefold: firstly, derive economic values of production, reproduction and parasite resistance traits for a Creole goat breeding scheme, secondly, analyse the sensitivity of these economic values to changes in the economic and the environmental context of goat meat production and thirdly, identify the means of assisting farmers in appropriating and exploiting our findings.

Materials and Methods

Basic features of the model

A deterministic bio-economic model was developed to calculate the economic values of breeding goal traits relevant to Creole goat production. This model considered the profit of a Guadeloupean goat farm as a function of specific biological traits to be genetically improved. Deterministic models have been widely used for such aims, in goat (Bett *et al.*, 2007) or sheep (Kosgey *et al.*, 2003, Legarra *et al.*, 2007) as well as in cattle (Phocas *et al.*, 1998). The level of management modelled for the farm used in this study was above average relative to those farms registered in the Cabricoop breeding organisation. This model farm represented management and farming practices observed in most Cabricoop farms (Gunia *et al.*, 2010). Some practices described in the model (such as three kiddings in two years, selective anthelmintic treatment of does) were not found in all Cabricoop farms. Hence this goat farm model does not represent the diversity of practices in field data, but instead represents a technical level that could be reached by most of the Cabricoop farms.

Performance recording has not yet been implemented by farmers. Therefore, the herd performances and production parameters were derived from the 30-year-old database of the Creole goat experimental herd at INRA-Gardel (Alexandre *et al.*, 1997, Mahieu *et al.*, 2008). Prices used in this study were the market prices of 2010. Only variable costs (which depend on the level of animal performance) and fixed cost per animal (which does not vary with the performance level) were considered in the cost function. The fixed costs per herd were not

considered because they do not depend on the level of animal performance or the number of animals. Therefore the profit function is a gross margin of the modelled farm without accounting for any salaries, subsidies, investments or housing taxes. Because genetic improvement should not be a substitute for technical progress, the farm management is assumed to be at maximum technical efficiency to derive the economic values (Smith *et al.*, 1986). Equations of costs and income, as well as the profit function were calculated using Microsoft Excel 2002 ®.

Description of herd management

A pasture-fed herd of 30 Creole does was simulated. The flock composition and dynamics for one year are represented in Figure 1. The corresponding flock structure parameters as well as the main production parameters are given in Table 1.

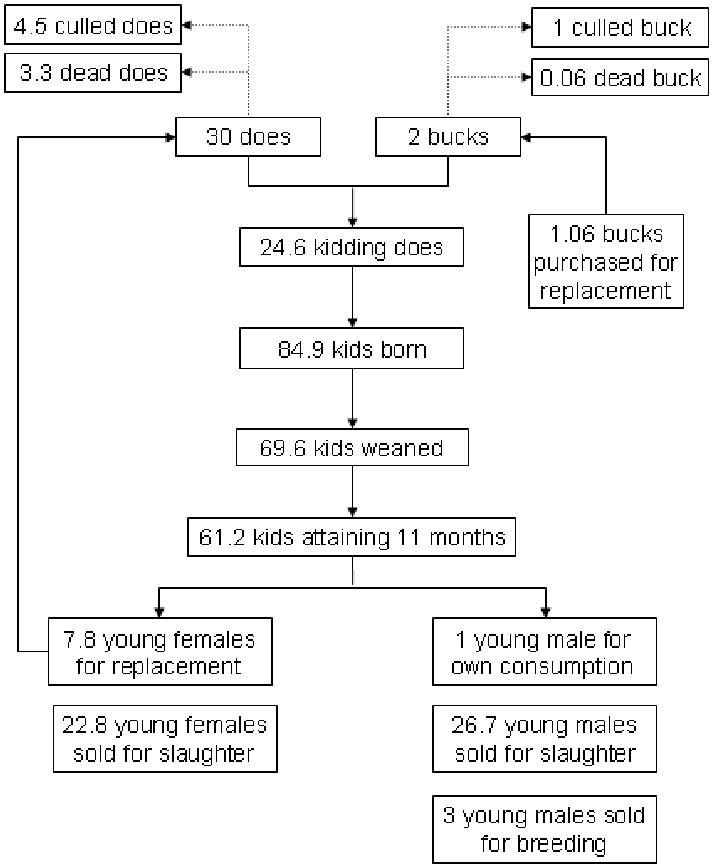


Figure 1 Flock composition of the modelled Creole goat herd for one year.

The 30 does were mated three times in two years with a ratio of 15 does mated per natural service buck. Kids were reared by their mothers, before being weaned at three months of age. Female replacement was carried out within the herd whereas new bucks were bought in from

other farms. Each year, 7.8 young females were kept to renew the doe herd. The other females and males were sold at 11 months of age (except for one male consumed by the farmer's family). Three young bucks were sold alive for breeding, whereas the others were sold for slaughter. All kids were sold at 11 months of age, whatever their weight. All goats grazed on *Dichantium sp.* pasture all year long. Commercial concentrate was given to does for two months before delivery and for three months after kidding and to kids from weaning to 11 months of age. Growth was assumed to be linear from weaning to 11 months and from 11 months to adult age.

Kids between 3 and 11 months of age and adult bucks were regularly drenched against gastro-intestinal nematodes. The main species found in Guadeloupe were *Haemonchus contortus, Trichostrongylus colubriformis* and *Oesophagostomum columbianum*. Drenching frequency was three times per year for adults and four times per year for kids. Does were drenched according to the Famacha© method (Bath *et al.*, 1996). The Famacha© method is a measurement of the ocular conjunctivae colour which allows selective drenching of only anaemic animals. In humid countries where *H. contortus*, a hematophagous nematode, is the primary parasitic pathogen this method can be applied at farm level to reduce the number of treatments administered. However, other parasites such as *T. colubriformis* cannot be monitored by this method. In Creole goats, a Famacha© score of 4 or 5 (anaemic animals) can be related to a Packed Cell Volume (PCV) below or equal to 16. With this method, 55.5% of the fertile Creole does were drenched each year and the drenched goats were dosed 1.54 times on average (Mahieu *et al.*, 2007). The does that failed to reproduce were not treated. They were less susceptible to gastro-intestinal nematodes infection than pregnant and lactating does (Mandonnet *et al.*, 2005).

All animals were sprayed fortnightly with acaricide to prevent tick borne diseases such as heartwater and dermatophilosis.

Table 1 *Flock structure and production parameters in the Creole goat farm model*

Production and management parameters	Unit	Mean
Flock structure parameters		
Fertility	%	82
Litter Size	kids	2.3
Pre-weaning mortality rate	%	18
Post-weaning mortality rate	%	12
Annual culling rate of does	%	15
Annual culling rate of bucks	%	50
Mortality rate of does	%	11
Mortality rate of bucks	%	3
Production parameters		
Weaning weight (at 90 days)	kg	8.8
Weight at 11 months	kg	17.9
Mature weight of does (at 4 years)	kg	37
Weight of buck at 3 years	kg	35.4
Average daily gain (weaning to 11 months)	g/day	37
Average daily gain (11 months to mature weight) of does	g/day	17
Average daily gain (11 months to 3 years) of bucks	g/day	23
Dressing percentage	%	40
Average daily milk yield	L/day	1.02
Milk fat content	g/kg	56
Milk protein content	g/kg	37
Proportion of does with a Packed Cell Volume ≥16	%	44.5
Faecal worm eggs count at 11 months	epg[a]	938

[a]Worm eggs per gram of faeces

Breeding goal traits

The main traits in the breeding goal and their abbreviations are reported in Table 2. In order to assure a balanced selection, the breeding objective consisted of two production traits, live weight (BW11) and dressing percentage (DP) at 11 months (the mating or selling age), and one reproduction trait: fertility (FER), which is the number of doe kiddings per mating. Two other traits were also considered to assess animal response to parasite infection. PCV, a resilience trait, is a measurement of the proportion of red cells in the blood used to diagnose anaemia caused by hematophagous parasites such as *H. contortus*. This trait was measured on

does. Faecal worm eggs count (FEC) is a measurement of the number of gastro-intestinal parasite eggs found in the faeces. This measurement was used to assess the resistance of an animal and was measured on kids at 11 months of age. Mortality was not included in the breeding objective because the estimate of the genetic variability of this trait in Creole goats was null, probably due to the very low number of dead animals in the INRA herd (Mandonnet *et al.*, 2003). Litter size (LS) was voluntarily not included in the breeding objective because in the model only the positive effects of LS could be easily taken into account, although negative effects are expected, such as increased labour for the farmer (especially if artificial milking is required) and lower kid weight.

Table 2 *Breeding goal traits for Creole goat*

Trait	Unit	Abbreviation
Live weight at 11 months (mating or selling age)	kg	BW11
Fertility : number of doe kiddings per mating	%	FER
Dressing percentage at 11 months	%	DP
Packed Cell Volume of does	%	PCV
Faecal worm eggs count at 11 months	log(epg)[a]	FEC

[a]Natural logarithm of worm eggs per gram of faeces

Income and costs equations

Profit. The farm profit was calculated as the difference between income and costs.

Profit = Income – costs (1)

The farm income came from the sale of animals: culled does and bucks sold for meat purposes as well as a few young bucks sold to other herds for breeding purposes. The farm costs were feed (grass and commercial pellets), treatments against gastro-intestinal parasites and ticks as well as identification (ear tags). Prices are reported in Table 3.

For the income and costs equations, five categories of animals were considered in the model: kidding does, non-kidding does, bucks, kids from 3 to 11 months of age (i.e. weaning to selling or mating age) and kids before weaning. The average number of animals in each category was expressed as a function of the number N_0 of mated does, according to the following equation:

$N_i = a_i \times N_0$ (2)

where $_i$ is the animal category (1 kidding does, 2 non kidding does, 3 bucks, 4 kids from 3 to 11 months of age, 5 kids before weaning), and a_i is a coefficient varying for each animal category:

a_1 = FER;

a_2 = (1- FER);

a_3= breeding buck to breeding does ratio;

N_4, the number of kids from 3 to 11 months of age, is the average of the number of kids weaned and the number of kids reaching 11 months of age.

a_4= 0.5 x [1.5 x FER x LS x (1 - pre-weaning mortality rate)

+ 1.5 x FER x LS x (1 - pre-weaning mortality rate) x (1 - post-weaning mortality rate)];

a_4= 0.5 x 1.5 x FER x LS x (1 - pre-weaning mortality rate) x (2 - post-weaning mortality rate);

N_5, the number of kids before weaning, is the average of the number of kids born and the number of kids weaned.

a_5= 0.5 x [1.5 x FER x LS + 1.5 x FER x LS x (1 - pre-weaning mortality rate)];

a_5= 0.5 x 1.5 x FER x LS x (2- pre-weaning mortality rate).

The coefficient 0.5 was used to calculate the average between the two groups of kids: weaned kids and 11-months-old kids for a_4, and kids born and weaned for a_5. The coefficient of 1.5 was used to take into account the three kiddings in two years to derive an annual profit function.

Income. The income equations were:

Income of meat = Number of animals sold for meat x Live weight x Dressing percentage x Price per kg of carcase weight (3)

Income of animals sold alive = Number of animals sold alive x Live weight x Price per kg of live weight (4)

The selling price of a goat depended on its carcase or live weight. A fixed price per kg of live weight was also considered for young males sold alive as reproducers. For animals sold for slaughter, the price per kg of carcase weight was higher for the stock class where average carcase weights are higher. Carcase quality is not presently taken into account in Guadeloupe. Carcase price is not much higher than live weight price due to the differences in marketing network: official for goats sold to the slaughter house (controlled prices with taxes and fees deducted) and informal for live goats (with free prices).

Subsidies were ignored in the income equations because of their variable amounts and questionable persistence.

Costs. The cost equations were:

Anthelmintics costs for does= N_1 x Proportion of does with PCV ≤16 x Live weight x Price of anthelmintics x Number of treatments per year (5)

Anthelmintics costs for bucks and kids = N_i x Live weight x Price of anthelmintics x Number of treatments per year; with i=3,4 (6)

Acaricide costs = N_i x Price of acaricide x Number of treatments per year; with i=0,3,4 (7)

Identification costs = N_5 x Price of ear tags (8)

The price of anthelmintics (expressed per kg of live weight) was the average of the market prices of different anthelmintics commonly used in Guadeloupe.

Feed costs were based on diets composed of *Dichantium sp* grass and commercial pellets if the grass was not sufficient to meet the animal feed requirements. Energy and protein needs as well as feed intake were calculated for each animal category. They were expressed as a function of live weight and average daily gain and were calculated by using two different systems. INRA equations (Sauvant *et al.*, 2007) were used for doe diets. The requirements and feed intake were different for does whose mating was successful and does whose mating was unsuccessful. Increased feed requirements for lactating does were attributed to the does and not to the kids. For bucks and growing kids, the equations of metabolisable energy and metabolisable protein requirements considered were based on the equations of Sahlu *et al.* (2004) for indigenous goats. Dry matter intake was calculated from the equations of Luo *et al.* (2004). For all animal categories, the amount of grass required was increased by 10% from the calculated amount to take into account refusals. The cost of grass was the maintenance cost of the pasture. It included the cost of fencing, fertilisation, irrigation and labour (Fleury J., personnal communication). The cost of pellets was the commercial price paid by Cabricoop farmers.

Table 3 *Prices in the income and costs equations of the Creole goat farm model*

	Unit	Value
Carcase price of adults	€/ kg of carcase	12.70
Carcase price of kids at 11 months	€/ kg of carcase	11.96
Price of living animals at 11 months	€/kg of live weight	10.00
Anthelmintics cost	€/ kg of live weight	0.03
Grass cost	€/ kg of dry matter	0.10
Commercial concentrate cost	€/ kg of dry matter	0.44
Acaricide cost	€/ animal	0.04
Ear tag cost	€/ kid	2.00

Derivation of the economic values of BW11, FER, DP and PCV in the base situation

The economic values were the marginal variation of annual profit per mated doe, due to the increase of one unit of the trait, while keeping the other traits constant at the population mean.

$$EVt=(P_1-P_0)/N_0 \quad (9)$$

with EVt being the economic value of trait t, P_1 the profit after an increase of one unit of the trait t and P_0 the initial profit for N_0=30 does in the base situation. The economic values of the breeding goal traits were derived by "finite differences" approximation of derivatives rather than by direct analytical derivatives of the profit function with respect to trait t, since the efficiency of this procedure has been proven by Phocas *et al.* (1998).

Standardised economic values were calculated by multiplying the economic values (expressed in euro per physical unit of the traits) by the genetic standard deviations of the traits. The unit of the traits used in this study were reported in Table 2. These genetic standard deviations were 1.89 for BW11, 12.25 for FER, 1.60 for PCV and 0.38 FEC in Creole goats (Gunia *et al.*, 2011). For DP, no data were available for Creole goats or other breeds of goat in the literature, so the genetic standard deviation (1.22) given by Greef *et al.* (2008) in sheep was used.

Derivation of the economic value for DP implies only the income equation for meat (3) because DP was not linked to any cost.

Derivation of the economic value for BW was based on the income equations (3) and (4), the feed cost equations (equations not detailed here) and the anthelmintic cost equations (5) and (6).

FER influences the number of kids, as shown in equation (2). Therefore derivation of its economic value requires account to be taken of changes in all income and costs concerning

kids. Changes in feed costs of does also need to be accounted for because the diet differs between fertile and barren does.

According to equation (5), a change in profit ΔP will occur when increasing the proportion of does with PCV ≥16 by 1%. In order to rescale this ΔP at the animal level to derive the economic value for PCV, an underlying normal distribution of PCV was assumed that allowed the derivation of the economic value for PCV by using the probability density function Φ(x) of a normal distribution:

$EV_{PCV} = \Phi(x).\ \Delta P$ (10)

$$\phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{\frac{-(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (11)$$

with μ = 24.13 being the mean of PCV distribution , σ = 4.97 its phenotypic standard deviation and x = 16 the threshold value of PCV.

Independent calculation of the economic value of FEC when anthelmintics are ineffective

No obvious relationship between FEC and costs or revenues could be determined, which made it difficult to derive the economic value of this trait. Therefore, a somewhat different method was used to independently calculate the maximum economic value of FEC when selection was focused only on this trait. The economic value of FEC was derived by considering the expected profit and average FEC in the base situation and in a situation where anthelmintics were ineffective, because parasites had developed resistance to these products.

The equation used to derive the economic value of FEC was:

$$EV_{FEC} = \frac{1}{N_0} * \frac{\delta P}{\delta FEC} = \frac{1}{N_0} * \frac{\delta P}{\delta (e^{FEC})} * \frac{\delta (e^{FEC})}{\delta FEC} \approx \frac{1}{N_0} * \frac{P_A - P_B}{e^{FEC_A} - e^{FEC_B}} * e^{FEC_B} \quad (12)$$

with EV_{FEC} being the economic value of FEC, N_0 the number of does which was fixed and equal to 30, P the profit, e^{FEC} the exponential function of FEC, A the situation with ineffective anthelmintics and B the base situation. FEC was the only trait in the breeding goal, because the change of profit was not calculated by keeping BW11, FER and PCV constant at their average level.

In the situation with ineffective anthelmintics, parasites were not controlled by any veterinary product. Mortality and FEC soared (by 55 to 60% for mortality and by almost 400% for FEC), whereas FER, LS and growth rate dropped by 1,2%, 3% and 35% respectively. Drenching was abandoned due to its inefficiency. The modified parameters in this extreme scenario are reported in Table 4. They were based on the performance records at

INRA-Gardel, in 1999, when the applied anthelmintics were no longer effective (Chevalier, 2001). Substantial loss in production had occurred during this period with a rise of mortality of 55 to 60% and a drop in average daily gain of 35% for kids during the preweaning period and the post weaning period until 11 months of age. No data were available on growth after 11 months or on mortality of mature does and bucks. We therefore assumed that they suffered the same growth reduction and mortality rise as measured in kids after weaning.

Table 4 *Flock structure and production parameters in the Creole goat farm model in the situation with ineffective anthelmintics*

Parameters	Unit	Mean
Flock structure parameters		
Fertility	%	81
Litter Size	kids	2.23
Pre-weaning mortality rate	%	29
Post-weaning mortality rate	%	19
Mortality rate of does	%	17
Mortality rate of buck	%	4.7
Production parameters		
Weaning weight	kg	8.03
Weight at 11 months	kg	13.9
Mature weight of does (at 4 years)	kg	25.3
Weight of buck at 3 years	kg	26.3
Average daily gain (weaning to 11 months)	g/day	24
Average daily gain (11 months to mature weight) of does	g/day	11
Average daily gain (11 months to 3 years) of bucks	g/day	15
Faecal worm eggs count at 11 months	epg[a]	4588

[a]Worm eggs per gram of faeces

Sensitivity analysis

After deriving the economic values in the base scenario with a fixed number of does, six alternative situations were studied to analyse the sensitivity of profit and economic values to changes in the economic context. The six situations were: fixed amount of grass, fixed amount of pellets, increased carcase price, increased pellets price, drought and expensive anthelmintic.

Fixed feed input scenarios. In the base situation previously described, the number of does was assumed to be fixed each year. Another strategy to define a breeding goal is to consider some physical or economical constraints that involve using a fixed amount of input instead of a fixed number of does. Two situations were considered: a situation with a fixed amount of grass and a situation with a fixed amount of pellets. These two situations gave a good insight into the importance of the different traits in two different feeding systems. Limitation in the amount of grass could occur when farmers cannot expand their pasture surface. On an island, this situation is highly probable. Financial difficulties (limitation in cash flow) could also prevent the farmer from increasing the quantity of pellets. In these two situations, the economic values were derived by changing the number of does after a marginal increase of a trait in order to fit the size of the quota (Groen, 1989). If the marginal increase of the trait led to an increase in the total amount of fodder (or pellets) consumed, the total number of does was reduced to keep the amount of feed at its initial level. The economic value in the fixed input situations were calculated by using the equation:

$$EV_{ft} = (P_{ft} - P_0) / N_0 \quad (13)$$

where EV_{ft} is the economic value of the trait t in the situation with fixed input f, N_0 the number of mated does in the base situation, P_{ft} the profit after an increase of one unit of the trait t and adjustment of the number of does in the situation with fixed input f, and P_0 the initial profit.

The new number of does changed to fit the quota and used in the income and costs equations for the calculation of P_{ft} was:

$$N_{ft} = \frac{QT_f}{\sum_{i=1}^{4} a_i Q_{ift}} \quad (14)$$

with N_{ft} being the new number of does after an increase of one unit of the trait t in the situation with fixed input f, QT_f the total quantity of feed f given to the whole herd in one year in the base situation before the increase of trait t, Q_{ift} the quantity of feed f given to the animal category i (I =1 to 4) in one year after increase of one unit of the trait t, and a_i the coefficient varying for each animal category i already described in equation (2).

Slow price rise. In this situation, we studied the consequences on farm profit of realistic and likely rises in carcase weight price and concentrate price. We estimated what these prices would be in 2015 by using a linear extrapolation of the prices of 2000 to 2010. Each price was increased while keeping the other prices constant. The carcase price would be raised by 2.50 €

per kg of carcase which represent an increase of 20% of the initial price. The commercial pellet price would be raised by 0.048 € per kg of DM matter which represents an increase of 10.9% of the initial price.

Extreme situations. We tested the stability of the farm profit and the economic values in two extreme situations: "drought" and "expensive anthelmintic." These two situations were realistic, even if their probability of occurrence may be low.

In the "drought" scenario, rainfall would dramatically drop in the presently driest part of the island, where most of the goat farms are situated. This situation would oblige farmers to buy hay instead of growing grass. We used the present price of hay (0.40 € / kg of Dry Matter), even though this price could increase in the case of long-lasting drought. Hay is expensive in Guadeloupe because agricultural machines are imported from Metropolitan France at high cost, their maintenance is expensive and the volumes of hay produced are limited, resulting in high production costs per hey bale.

In the "expensive anthelmintic" scenario, the present anthelmintic would no longer be used, because of a resistance developed by parasites to these products. The only possibility of treatment would be a new and expensive anthelmintic. Its price was fixed at 10 times the present price, i.e. 0.3€ per kg of live weight.

Using alternative scenarios gave us the possibility of assessing the robustness of the economic values to variation in the economic and environmental context.

Results

Income, costs and profit

Income, costs and profit in different situations are presented in Table 5. In the base situation as well as in the situation with a fixed feed input, the profit of the farm was 90.29€ per doe per year. The total profit per year for the 30-does-herd was therefore 2 709€. In the situation used to calculate the economic value of FEC, with ineffective anthelmintics, profit was reduced by 73.36€. This reduction represents a 81% loss in profit, which clearly emphasizes the cost of parasite infections. In the slow price rise situations, the change in profit varied. The rise in pellets price by 11% had a limited impact on profit, which only rose by 3.5%, whereas the rise in carcase price by 20% had a major impact on profit, which rose by 40%. Regarding extreme situations, profit strongly decreased. In the drought situation, the costs exceeded the income, and the farmer lost 96€ per doe per year. Buying hay would not be a

good solution to compensate for the lack of grass. A 44% loss in profit was observed in the situation with expensive anthelmintic.

Table 5 *Income, costs and profit (in €/doe per year) of a Creole goat farm in different situations*

Situation	Base or fixed feed input	Ineffective anthelmintics	Increased carcase price	Increased pellets price	Drought	Expensive anthelmintic
Income	193.12	98.25	229.38	193.12	193.12	193.12
Costs	102.83	81.31	102.83	106	289.06	142.72
Profit	90.29	16.93	126.55	87.12	-95.94	50.4

General consideration on economic values in alternative situations

The economic values for BW11, FER, DP and PCV in alternative situations as well as the economic value of FEC are presented in Table 6. The economic values of BW11, FER, DP and PCV were all positive in the base situation as well as in the alternative situations. The economic value of FEC was the only negative one. Using standardised economic values made it possible to compare traits. In the base situation, FER had the highest standardised economic value, followed by BW11, which clearly emphasized the importance of these two traits. The standardised economic value of FEC came in third position (in absolute value). However, this value should be considered with caution, due to the calculation method employed. It reflects more the maximum economic value of FEC than its current value in 2011. The economic value of DP was lower, whereas the economic value of PCV was very low, which is probably due to the underestimation of the costs associated to PCV. The highest economic values were observed for the scenario with increased carcase price and the lowest for the drought scenario. The economic values of BW11 and FER were very sensitive to changes of situation, which was undoubtedly due to their relationship to the modified prices and costs, whereas the economic values of DP and PCV, which were not related to the value or amount of concentrate and grass, stayed unchanged.

Table 6 *Economic values for each trait of the breeding goal for Creole goat in different situations*

Situation	Base	Ineffective anthelmintics	Fixed amount of grass	Fixed amount of pellets	Increased carcase price	Increased pellets price	Drought	Expensive anthelmintic
Economic values in trait unit[a]								
BW11 (kg)[b]	7.69	-	5.1	6.74	9.52	7.65	2.63	6.26
FER (%)	1.38	-	0.87	0.28	1.8	1.34	0.34	0.91
DP (%)	3.53	-	3.53	3.53	4.27	3.53	3.53	3.53
PCV (%)	$3\ 10^{-4}$	-	$3\ 10^{-4}$	$3\ 10^{-4}$	$3\ 10^{-4}$	$3\ 10^{-4}$	$3\ 10^{-4}$	$3\ 10^{-4}$
FEC log(epg)[c]	-	-18.85	-	-	-	-	-	-
Standardised economic values[d]								
BW11	14.56	-	9.65	12.77	18.03	14.5	4.99	11.86
FER	16.9	-	10.68	3.37	22.01	16.43	4.2	11.16
DP	4.32	-	4.32	4.32	5.23	4.32	4.32	4.32
PCV	$4.7\ 10^{-4}$	-	$4.7\ 10^{-4}$	$4.7\ 10^{-4}$	$4.7\ 10^{-4}$	$4.7\ 10^{-4}$	$4.7\ 10^{-4}$	$4.7\ 10^{-3}$
FEC	-	-7.12	-	-	-	-	-	-

[a]Economic values expressed in €/trait unit per doe per year

[b]BW11 : Live weight at 11 months, FER: Fertility, DP: Dressing percentage at 11 months, PCV : Packed Cell Volumes of does, FEC: Faecal worm eggs count measured at 11 months of age

[c]Natural logarithm of worm eggs per gram of faeces

[d]Economic values in €/trait unit per doe per year multiplied by the genetic standard deviation of the trait. The standardised economic values gave the gain in profit caused by the improvement of one genetic standard deviation of the trait

Economic values with fixed feed input

In the situations with fixed feed input, the economic values of BW11 and FER went down. In the situation with a fixed amount of pellets, the economic values of FER decreased substantially (by 80%), whereas BW11 was less affected (12% loss). In contrast, in the situation with a fixed amount of grass, the economic values of FER and BW11 decreased almost equally (by 37% for FER and by 34% for BW11).

A rise in FER of one % increased the number of pregnant and lactating does as well as the number of kids. Therefore, the total amount of grass and pellets consumed went up. The rise

in the amount of pellets given was especially high, due to the higher proportion of pregnant and suckling does which required pellets in addition to grass. The reduction in the number of does to fit the quota was therefore higher in the situation with fixed amount of pellets than in the situation with a fixed amount of grass. In the fixed amount of pellets scenario, the new profit (P_{ft}) and therefore the economic value of FER decreased more dramatically than in the fixed amount of grass scenario.

A rise in BW11 led to an increase in the average weights of kids and does, whose energy requirements increased accordingly. For kids, the amounts of both grass and pellets went up. For does, the feed intake capacity rose and allowed them to fulfil their additional energy requirements with grass instead of concentrate. The total amount of pellets consumed by does was even slightly reduced. Hence, a rise in BW11 of one kilogram had more consequences on the total amount of grass than on the total amount of pellets. The reduction in the number of does to fit the quota is therefore higher in the situation with a fixed amount of grass, which decreased the new profit (P_{ft}) and therefore the economic value of BW11 more dramatically than in the situation with a fixed amount of pellets.

Economic values with slow price rise

In the situation with carcase prices increased by 20%, the economic values of BW11, FER and DP rose by 21 to 30%. In the scenario where pellet prices increased by 11%, the economic value of FER decreased by 3%, BW11 remained almost the same and the others did not move. The economic value of BW11 was kept stable because an increase of this trait did not change significantly the total amount of pellets consumed, as explained in the previous paragraph.

Economic values in extreme situations

The extreme situations modified the economic values considerably. They all dropped, except for the economic value of PCV which was multiplied by ten in the situation with expensive anthelmintic. This economic value was still lower than the economic values of BW11 and FER, which were reduced by 18% and 34% respectively. In the drought scenario, the standardised economic values of BW11, FER and DP were all in the same range. The increased price of hay reduced the economic values of BW11 by 66% and FER by 75%, bringing them down to the same level as the economic value of DP.

Discussion

Profit and economic values under alternative situations

This research sought to use profit equations in a bio-economic model to derive the economic values of the traits of the breeding objective. As shown in a survey (Gunia *et al.*, 2010), goat breeding is a supplementary professional activity. The small size of herds (about 30 does) and the 2 709€ profit per year are not sufficient to maintain this activity alone. Extreme situations jeopardise the future of the goat breeding activity, by substantially decreasing a farmer's profit.

The differences in lag and frequency of expression of the different traits were not accounted for in our modelling by using discounting and geneflow principles (Smith, 1978). The geneflow concept is based on the number of expected improved progeny when following the genes of an improved male reproducer. However, it is our opinion that the same concept should be accounted for an improved female reproducer. By thinking this way, and because all costs and expenses are expressed by breeding doe, we believe that at a given generation of offspring, we have in average the right number of expressions for each trait. Then, the only issue is the fact that one may want to cumulate the ancestral improvement over several generations and account for a discounted rate. In this day and age of sudden economic changes and crisis, we prefer to test the robustness of the economic weights and regularly update them.

Therefore, running alternative scenarios made it possible to assess the robustness of the economic values to changes of situation. The economic values under different constraints were not equivalent in Creole goats. As summarized by Groen (1989), different economic values are obtained in different perspectives (fixed number of animals, fixed input), when the value of production factors differ between alternative uses. Three conditions allow the equivalence of the economic value in different perspectives, but were not applicable in our case. They are: one-product situation or income (or other products considered as negative costs), equilibrium in a purely competitive industry, and all cost being variable per unit of product. The fixed number of does or fixed amount of grass situations are probably the most appropriate perspectives in Guadeloupe breeding systems.

Choice of traits and comparison of their economic values

Traits included in the breeding objective were close to the traits desired by farmers, as reported in a survey (Gunia *et al.*, 2010). Creole goats are an indigenous breed, whose meat

production matters to farmers. Its maternal qualities are also important, especially for farmers using Creole does as a maternal line for crossbreeding.

Fertility had the highest standardised economic value in the base situation. This trait was the most important, even if the replacement costs were not included in the derivation of its economic value. Age was the main reason for culling and does that failed to reproduce were generally kept for one or two other cycles of reproduction before culling.

Litter size was not included in the breeding objective due to the difficulties to model the negative effects of an increase of this trait. Moreover, farmers want to maintain the high LS of Creole goats (2.3 kids per doe), without increasing it. In studies on sheep breeds used for meat production (Wolfova *et al.*, 2009, Byrne *et al.*, 2010), LS was one of the traits with the highest standardised economic value. As observed by Amer *et al.* (1999a), the economic value of LS depended on its current average level and on the intensity of the production systems. These authors modelled the proportion of singles, twins, triplets and quadruplets, as flock prolificacy increased. The economic value reduced as LS increased and proportion of triplets or quadruplet increased. They found an optimal LS of 2.2 or 2.3 lambs per ewe lambing, which is the current prolificacy level of Creole does. Therefore, evolution of LS will be monitored and in case of necessity, future selection could aim at stabilising LS by including this trait in a restricted selection index (Itoh and Yamada, 1987).

Desirability of selecting Creole goats for parasite resistance and resilience

In Guadeloupe, as in many tropical countries, gastrointestinal parasites are endemic. Their infections are responsible for high mortality rate, reduced growth rate, reduced reproductive performance and general loss of productivity (Perry *et al.*, 2002). Our results show that goat farm profit is reduced by 81% when parasite infections are no longer controlled by anthelmintics.

However, even if these results emphasize the benefits of using anthelmintics to control parasitism, these anthelmintics are not a sustainable solution. Firstly, they have a cost, which in some rare cases cannot be compensated for by reduced loss (Perry *et al.*, 2002). Secondly, residues of these products can be found in meat (Love, 1999). Thirdly, parasites develop resistance to the treatments (Kaplan, 2004). Kaplan (2004) suggested the possibility that in some places there would not be any efficient anthelmintic remaining. Non-chemical alternative approaches have been developed for more integrated parasite control for small ruminants (Jackson and Miller, 2006, Torres-Acosta and Hoste, 2008) and for Creole goats (Mahieu *et al.*, 2009). These methods include (among others) rotational grazing, improved

nutrition, selective drenching and selection of resistant or resilient animals (Baker and Gray, 2004). Selection is a long-term process with persistent effect, contrary to the other short-terms measures aimed at reducing FEC (Eady *et al.*, 2003). Resistant animals, with low FEC, can suppress the establishment of parasites or parasitic burden. Resilient animals are those capable of surviving and producing when facing a parasitic challenge. They can resist the effects of infection rather than resisting the infection itself (Bisset and Morris, 1996).

Feasibility of selecting Creole goats for parasite resistance and resilience

Faecal egg count, the density of worm eggs excreted in the faeces of the animal, is the traditional and convenient trait used to select animals resistant to parasites (Bishop and Morris, 2007). These animals contaminate the pasture less, which has a strong impact on the epidemiology of worm infection and reduces the need for treatments (Eady *et al.*, 2003). Another measurement, PCV, has also been used as a proxy for resilience (Baker *et al.*, 2001) when *H. contortus* is predominant. When animals are submitted to *H. contortus* infections, the genetic correlation between PCV and FEC is negative (Baker *et al.*, 2001, Mandonnet *et al.*, 2001). Hence, resistant animals are also resilient, at least under challenge of this parasite (Bisset and Morris, 1996).

Attempts to select sheep and goats for resistance/resilience while comparing their performance with susceptible or control lines have proven successful (Bisset and Morris, 1996, Vagenas *et al.*, 2002). Commercial programs which include resistance to nematodes in sheep have already been implemented in Australia, New Zealand (Woolaston and Baker, 1996) and the UK (Jackson and Miller, 2006). Previous studies in Creole goats have shown that it is possible to select this breed for resistance and resilience to parasites (Mandonnet *et al.*, 2001) by selecting on their FEC or PCV.

Benefits of selecting goats for resistance and resilience

Limited knowledge is available on goats in tropical countries under *H. contortus* infection. The main results produced are in sheep under infection from other parasite species. Selection of small ruminants on parasite resistance is interesting because it seems that parasites cannot develop resistance against the mechanisms that their host has developed (Kemper *et al.*, 2009). It is also the method with the strongest effect on FEC reduction (Eady *et al.*, 2003), which means reduced egg output leading to reduced pasture larval contamination, and therefore subsequent larval challenge (Bishop and Stear, 2003). The main benefits thus concern the epidemiology of the parasite. The original hypothesis was that selecting for low

FEC would increase live weight. However, this predicted increase in productivity has not often been attained (Greer, 2008). Even if gains in productivity are hypothetical, it seems reasonable to assume some reduction in the number of necessary anthelmintic treatments, as occurred in Merino sheep selected for low FEC (Kahn *et al.*, 2003). However, selecting animals on FEC would not be equivalent to drenching them, because adult worms would not be eliminated from the digestive tract.

Selection on resilience is a method that does not apply any selection pressure on parasites, which can complete their life cycle unimpeded. Therefore, resilient animals will still contaminate the pasture. However, they can better cope with the challenge in terms of productivity (Bisset and Morris, 1996). In opposition to selection on resistance, production benefits can be expected from selection on resilience. Nevertheless, it is difficult to predict the real benefit in terms of productivity, reduced number of treatments or potential change in FEC. Selection on resilience has received less attention in the literature than selection on resistance and results vary according to nematode species, traits used to assess resilience (drench requirement, growth under challenge, PCV) and more generally the environment and breeding conditions.

In Creole goats, there were no significant genetic correlations between FEC and production traits, but there were favourable genetic correlations between PCV of does and weight and fertility (Gunia *et al.*, 2011). The genetic correlation of FEC measured on kids at 11 months and PCV of does was not significantly different from zero, whereas the genetic correlations between FEC and PCV measured at the same age were strongly negative (Mandonnet *et al.*, 2001, Mandonnet *et al.*, 2006). Selecting Creole goats on FEC will obviously reduce FEC in the herd and therefore pasture contamination. Productivity benefits will probably be limited, but it seems possible that drenching requirements will be reduced. Selecting on PCV will help maintain better herd health and will probably bring some gain in production. Need of treatments will be reduced. However, it is not clear if FEC will significantly decrease. These two traits would clearly be complementary for improving resistance and resilience in goats.

Deriving economic values for parasite resistance and resilience

As stated by Kominakis and Theodoropoulos (1999), assigning an economic value to FEC is not straightforward. Previous attempts in the scientific literature for FEC in sheep relied mostly on the desired gain method (Woolaston, 1994, Kominakis and Theodoropoulos, 1999, Gicheha *et al.*, 2005), even if this method has been criticised (Gibson and Kennedy, 1990). An attempt to derive an economic value for FEC in sheep in New Zealand and Australia was

made by Amer *et al.* (1999b). This economic value takes into account a reduction in parasite epidemiology and reduced contamination in commercial flocks. It links changes in flock average FEC to changes in the adult worm burden. These changes in worm burden are related to costs of reduced body weight and fleece weight and costs of increased mortality. Economic values for FEC varied from -0.02 NZ$ and -0.03 NZ$ per 1% increase in flock average FEC in ewes and in lamb respectively for one year in New Zealand, and of -0.13 A$ to -0.04 A$ per adult and per lamb respectively in summer dry areas in Australia for one year. They are low, and even if comparison is hazardous due to currency and breeding system differences, they seem closer to the economic value of PCV found in Creole goats than to the maximum economic value attributed to FEC in Creole goats.

In this study, the economic value of FEC is derived considering an extreme situation, when parasites are resistant to anthelmintics and when infection levels are not controlled by any alternative method. This weighting is a maximum value and does not reflect the economic value at the present time. Nevertheless, it gives good insight into the long term benefits of parasite resistance when anthelmintics will no longer be effective. Selection on reduced FEC will become more and more important as the drenching frequency reduces when shifting from a preventive to a curative approach. Analysis of the data base on production traits and FEC for Creole goats during normal years (when parasites were controlled by anthelmintics) did not show any clear relationship between FEC and production traits. Effects of change in pasture contamination have not yet been evaluated for Creole goats, but it seems that an increase of FEC of one unit during the normal period does not bring any change in productivity. The high weighting of FEC is therefore the result of a non-linear phenomenon, when a sudden raise in FEC results in dramatic production loss.

The economic value of PCV only accounts for the costs of anthelmintic treatments that are still relatively inexpensive, which explains the low value obtained. Costs and performance recording of PCV may be considered more expensive than the potential benefit of improving this trait. However, this value does not take into account the potential productivity gain that could be obtained from an improvement in animal PCV.

Transferring scientific knowledge into farming practices

The two economic values for resistance and resilience raise important issues. Which point of view should be favoured (short or long term)? How could selection on these traits be implemented on-farm? Farmers are not fully aware of the importance of resistance to parasites (Gunia *et al.*, 2010) and rely strongly on anthelmintics. If their awareness of the anthelmintics

issue is not improved, they will probably not want to invest in selection on resistance or resilience.

A preliminary step could be to attribute weighting to FEC according to the desired gain method, to aim at maintaining this trait without degrading it. At first, PCV could be kept in the breeding objective, even without being recorded. Simulation will be run to control that this trait does not deteriorate.

An easier way, perhaps more understandable for farmers, could be to select animals on Famacha© mark (measurement of the ocular conjunctivae colour). This trait is moderately heritable (Riley et Van Wyk, 2009), very easy to record and highly correlated with PCV. If the Famacha© method is widely adopted by farmers (presently this method is still new and has only been adopted by a few of them), it would probably make more sense to farmers to select on a directly visible trait. This trait could be used as an indicator trait for PCV or could even replace PCV in the breeding objective. However, further research would be needed to study the feasibility of selection including this new trait in Creole goats.

Selection of Creole goats for resistance and resilience is feasible and highly desirable. Therefore, FEC and PCV should be included the breeding goal and their weights should be high enough to prevent deterioration of these traits. In the future, selection on Famacha© mark could be implemented to encourage farmers in appropriating and exploiting our findings.

Conclusion

Our study presents a balanced breeding goal for production and reproduction as well as parasite resistance and resilience traits. Defining such a breeding goal is a crucial step in setting up a breeding programme for Creole goats. Different alternatives are proposed for the integration of resistance and resilience. With further research, selection on both resistance and resilience can be implemented in Guadeloupe and will pave the way for a tropically adaptative selective breeding of goats.

Acknowledgements

We acknowledge “la Région Guadeloupe” and the European Community (FEOGA) for the financial support provided, Donald White (ABIES doctoral school) for the English proofreading as well as Régis Alexandre (Chambre d’Agriculture), Rangit Manicom

(Iguavie), Marylene Madassamy (Cabricoop), Stephan Asselin de Beauville (Iguavie), Jérôme Fleury (INRA) for their information and advice about field data, Harry Archimède, Daniel Sauvant (INRA), for the help on feeding equations, Maurice Mahieu (INRA), Jean Marie-Felix Cherdieu d'Alexis (Veterinarian) for information about anthelmintics and integrated methods for parasite control, Fabien Stark (EPLEFPA de la Guadeloupe) and all INRA-URZ colleagues for the relevant advice and ideas given.

References

Agreste. 2006. Effectifs d'animaux. Guadeloupe. Retrieved July 10, 2011, from http://www.agreste.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/R97108D06.pdf

Agreste. 2009. Mémento agricole. Guadeloupe. Retrieved July 10, 2011, from http://www.agreste.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf_D97110C02.pdf

Alexandre G, Aumont G, Fleury J, Mainaud JC and Kandassamy T 1997. Zootechnical performances of Creole goats in Guadeloupe (French West Indies). A twenty-year survey in an experimental farm. INRA Productions Animales 10, 7-20.

Alexandre G, Asselin de Beauville S, Shitalou E and Zebus M F 2008. An overview of the goat meat sector in Guadeloupe: conditions of production, consumer preferences, cultural functions and economic implications. Livestock Research for Rural Development 20, Article 14. Retrieved August 1, 2011, from http://www.lrrd.org/lrrd20/1/alex20014.htm

Amer PR, McEwan JC, Dodds KG and Davis GH 1999a. Economic values for ewe prolificacy and lamb survival in New Zealand sheep. Livestock Production Science 58, 75-90.

Amer PR, Woolaston RR, Eady SJ and McEwan JC 1999b. Economic values for sheep internal parasite resistance traits in New Zealand and Australia. In Proceedings of the Association for the Advancement of Animal Breeding and Genetics, 13, pp 504-507.

Aumont G, Pouillot R, Simon R, Hostache G, Varo H and Barré N 1997. Digestive parasitism of small ruminants in the French West Indies. INRA Productions Animales 10, 79-89.

Baker RL and Gray GD 2004. Appropriate breeds and breeding schemes for sheep and goats in the tropics. In Worm Control for Small Ruminants in Tropical Asia. (eds Sani RA, Gray GD and Baker RL), Monograph No. 113, pp. 63-75. Australian Centre for International Agriculture Research.

Baker RL, Audho JO, Aduda EO and Thorpe W 2001. Genetic resistance to gastro-intestinal nematode parasites in Galla and Small East African goats in the sub-humid tropics. Animal Science 73, 61-70.

Bath GF, Malan FS and Van Wyk JA 1996. The "FAMACHA ©" Ovine Anaemia Guide to assist with the control of haemonchosis. In Proceedings of the 7th Annual Congress of the Livestock Health and Production Group of the South African Veterinary Association, Port Elizabeth, p. 5.

Bett RC, Kosgey IS, Bebe BO and Kahi AK 2007. Breeding goals for the Kenya Dual Purpose goat. I. Model development and application to smallholder production systems. Tropical Animal Health and Production 39, 477-492.

Bishop SC and Stear MJ 2003. Modeling of host genetics and resistance to infectious diseases: understanding and controlling nematode infections. Veterinary Parasitology 115, 147-166.

Bishop SC and Morris CA 2007. Genetics of disease resistance in sheep and goats. Small Ruminant Research 70, 48-59.

Bisset SA and Morris CA 1996. Feasibility and implications of breeding sheep for resilience to nematode challenge. International Journal for Parasitology 26, 857-868.

Byrne TJ, Amer PR, Fennessy PF, Cromie AR, Keady TWJ, Hanrahan JP, McHugh MP and Wickham BW 2010. Breeding objectives for sheep in Ireland: A bio-economic approach. Livestock Science 132, 135-144.

Chevalier M 2001. Restauration de la sensibilité au Levamisole de Trichostrongylus colubriformis par substitution de population parasitaire dans un élevage caprin de Guadeloupe F.W.I. Thèse pour le diplôme d'Etat de Docteur Vétérinaire, Ecole Nationale Vétérinaire de Nantes, France.

Eady SJ, Woolaston RR and Barger IA 2003. Comparison of genetic and nongenetic strategies for control of gastrointestinal nematodes of sheep. Livestock Production Science 81, 11-23.

Gibson JP and Kennedy BW 1990. The used of constrained selection indexes in breeding for economic merit. Theoretical and Applied Genetics 80, 801-805.

Gicheha MG, Kosgey IS, Bebe BO and Kahi AK 2005. Economic values for resistance to gastrointestinal helminths in meat sheep in Kenya. Journal of Animal Breeding and Genetics 122, 165-171.

Greeff JC, Safari E, Fogarty NM, Hopkins DL, Brien FD, Atkins KD, Mortimer SI and van der Werf JHJ 2008. Genetic parameters for carcase and meat quality traits and their relationships to liveweight and wool production in hogget Merino rams. Journal of Animal Breeding and Genetics 125, 205-215.

Greer AW 2008. Trade-offs and benefits: implications of promoting a strong immunity to gastrointestinal parasites in sheep. Parasite Immunology 30, 123-132.

Groen AF 1989. Cattle breeding goals and production circumstances. PhD, Department of Farm Management and Department of Animal Breeding, Wageningen Agricultural University, Wageningen, The Netherlands.

Gunia M, Phocas F, Arquet R, Alexandre G and Mandonnet N 2011. Genetic parameters for body weight, reproduction and parasite resistance traits in the Creole goat. Journal of Animal Science 89, 3443-3451.

Gunia M, Mandonnet N, Arquet R, de la Chevrotière C, Naves M, Mahieu M and Alexandre G 2010. Production systems of Creole goat and their implications for a breeding programme. Animal 4, 2099-2115.

Hazel LN 1943. The genetic basis for constructing selection indexes. Genetics 28, 476.

Itoh Y and Yamada Y 1987. Comparisons of selection indexes achieving predetermined proportional gains. Genetics Selection Evolution 19, 69-81.

Jackson F and Miller J 2006. Alternative approaches to control - Quo vadit? Veterinary Parasitology 139, 371-384.

Kahn LP, Knox MR, Walkden-Brown SW and Lea JM 2003. Regulation of the resistance to nematode parasites of single- and twin-bearing Merino ewes through nutrition and genetic selection. Veterinary Parasitology 114, 15-31.

Kaplan RM 2004. Drug resistance in nematodes of veterinary importance: a status report. Trends in Parasitology 20, 477-481.

Kemper KE, Elwin RL, Bishop SC, Goddard ME and Woolaston RR 2009. Haemonchus contortus and Trichostrongylus colubriformis did not adapt to long-term exposure to sheep that were genetically resistant or susceptible to nematode infections. International Journal for Parasitology 39, 607-614.

Kominakis A and Theodoropoulos G 1999. Selection of dairy sheep in Greece for parasitic nematode resistance: defining the aggregate genotype and evaluating selection schemes. Animal Science 69, 535-542.

Kosgey IS, van Arendonk JAM and Baker RL 2003. Economic values for traits of meat sheep in medium to high production potential areas of the tropics. Small Ruminant Research 50, 187-202.

Legarra A, Ramon M, Ugarte E and Perez-Guzman MD 2007. Economic weights of fertility, prolificacy, milk yield and longevity in dairy sheep. Animal 1, 193-203.

Love S 1999. Residues and worm control in sheep and goats. Wool and sheepmeat services. Annual Conference 1999, University of New England, Armidale NSW, Australia, 15-16 November, 1999., 145-147.

Luo J, Goetsch AL, Nsahlai IV, Moore JE, Galyean ML, Johnson ZB, Sahlu T, Ferrell CL and Owens FN 2004. Voluntary feed intake by lactating, Angora, growing and mature goats. Small Ruminant Research 53, 357-378.

Mahieu M, Arquet R, Kandassamy T, Mandonnet N and Hoste H 2007. Evaluation of targeted drenching using Famachal (c) method in Creole goat: Reduction of anthelmintic use, and effects on kid production and pasture contamination. Veterinary Parasitology 146, 135-147.

Mahieu M, Archimede H, Fleury J, Mandonnet N and Alexandre G 2008. Intensive grazing system for small ruminants in the Tropics: The French West Indies experience and perspectives. Small Ruminant Research 77, 195-207.

Mahieu M, Arquet R, Fleury J, Coppry O, Marie-Magdeleine C, Boval M, Archimede H, Alexandre G, Bambou JC and Mandonnet N 2009. Integrated control of gastrointestinal parasitism in grazing small ruminants in the humid tropics. 16 emes Rencontres autour des Recherches sur les Ruminants, Paris, les 2 et 3 Decembre 2009, 265-268.

Mandonnet N, Aumont G, Fleury J, Arquet R, Varo H, Gruner L, Bouix J and Khang JVT 2001. Assessment of genetic variability of resistance to gastrointestinal nematode parasites in Creole goats in the humid tropics. Journal of Animal Science 79, 1706-1712.

Mandonnet N, Ducrocq V, Arquet R and Aumont G 2003. Mortality of Creole kids during infection with gastrointestinal strongyles: A survival analysis. Journal of Animal Science 81, 2401-2408.

Mandonnet N, Bachand A, Mahieu A, Arquet R, Baudron F, Abinne-Molza L, Varo H and Aumont G 2005. Impact on productivity of peri-parturient rise in fecal egg counts in Creole goats in the humid tropics. Veterinary Parasitology 134, 249-259.

Mandonnet N, Menendez-Buxadera A, Arquet R, Mahieu M, Bachand M and Aumont G 2006. Genetic variability in resistance to gastro-intestinal strongyles during early lactation in Creole goats. Animal Science 82, 283-287.

Microsoft Corporation 2001. Microsoft Excel 2002, Redmond, WA.

Moav R and Hill WG 1966. Specialised sire and dam lines. IV. Selections within lines. Animal Production 8, 375-390.

Perry BD, Randolph TF, McDermott JJ, Sones KR and Thornton PK 2002. Investing in animal health research to alleviate poverty. ILRI (International Livestock Research Institute), Nairobi, Kenya.

Phocas F, Bloch C, Chapelle P, Becherel F, Renand G and Menissier F 1998. Developing a breeding objective for a French purebred beef cattle selection programme. Livestock Production Science 57, 49-65.

Ponzoni RW and Newman S 1989. Developing breeding objectives for Australian beef-cattle production. Animal Production 49, 35-47.

Riley DG and Van Wyk JA 2009. Genetic parameters for FAMACHA (c) score and related traits for host resistance/resilience and production at differing severities of worm challenge in a Merino flock in South Africa. Veterinary Parasitology 164, 44-52.

Sahlu T, Goetsch AL, Luo J, Nsahlai IV, Moore JE, Galyean ML, Owens FN, Ferrell CL and Johnson ZB 2004. Nutrient requirements of goats: developed equations, other considerations and future research to improve them. Small Ruminant Research 53, 191-219.

Sauvant, D, Giger-Reverdin, S, Meschy, F 2007. Alimentation des caprins. Alimentation des bovins, ovins et caprins (eds INRA), pp. 139–152. Editions Quae-INRA, Versailles, France.

Shrestha JNB and Fahmy MH 2007. Breeding goats for meat production 3. Selection and breeding strategies. Small Ruminant Research 67, 113-125.

Smith C 1978. The effect of inflation and form of investment on the estimated value of genetic improvement in farm livestock. Animal Production 26, 101-110.

Smith C, James JW and Brascamp EW 1986. On the derivation of economic weights in livestock improvement. Animal Production 43, 545-551.

Torres-Acosta JFJ and Hoste H 2008. Alternative or improved methods to limit gastro-intestinal parasitism in grazing sheep and goats. Small Ruminant Research 77, 159-173.

Vagenas D, Jackson F, Russel AJF, Merchant M, Wright IA and Bishop SC 2002. Genetic control of resistance to gastro-intestinal parasites in crossbred cashmere-producing goats: responses to selection, genetic parameters and relationships with production traits. Animal Science 74, 199-208.

Wolfova M, Wolf J and Milerski M 2009. Calculating economic values for growth and functional traits in non-dairy sheep. Journal of Animal Breeding and Genetics 126, 480-491.

Woolaston RR 1994. Preliminary evaluation of strategies to breed Merinos for resistance to roundworms. In 5th World Cong. Genet. Appl. Livest. Prod, Guelph, Canada, pp. 281-284.

Woolaston RR and Baker RL 1996. Prospects of breeding small ruminants for resistance to internal parasites. International Journal for Parasitology 26, 845-855.

ARTICLE 3 : LES PARAMETRES GENETIQUES DE LA CHEVRE CREOLE

Publié dans Journal of Animal Science

I Introduction et objectifs

L'objectif de sélection ayant été défini (article 2), nous avons estimé les paramètres génétiques associés aux caractères de l'objectif et à leurs prédicteurs possibles pour établir l'index de sélection. Nous avons donc calculé les paramètres génétiques des caractères de l'objectif suivants : poids à 11 mois, OPG à 11 mois, hématocrite et fertilité. Les paramètres génétiques du rendement carcasse n'ont pas pu être calculés pour la chèvre Créole, car ce caractère n'est pas mesuré en routine dans le troupeau expérimental de l'INRA. Par contre, les paramètres génétiques du poids à 70 jours ont été calculés, ce caractère pouvant servir de prédicteur du poids à 11 mois. De même, les paramètres génétiques de la prolificité ont été calculés, pour pouvoir ensuite prédire la réponse à la sélection indirecte sur ce caractère et donc connaître l'évolution de la prolificité attendue de la sélection mise en œuvre.

II Résumé de l'article

Paramètres génétiques des caractères de production, reproduction et résistance au parasitisme chez la chèvre Créole.

Nous avons estimé les paramètres génétiques du poids, de la reproduction et de la résistance au parasitisme de la chèvre Créole, dans le but de mettre en place un programme de sélection pour cette race.

Les caractères considérés étaient le poids à 70 jours, le poids à 11 mois, le nombre d'œufs de strongles par gramme de fèces (OPG) de tous les animaux, ainsi que l'hématocrite, la fertilité et la prolificité des femelles. Nous avons analysé une trentaine d'années de données, qui incluaient 16 450 enregistrements sur 11 970 caprins du troupeau expérimental de l'INRA en Guadeloupe (Antilles françaises).

Les héritabilités étaient faibles pour les caractères de reproduction (0,11 ± 0,02 pour la prolificité et la fertilité) et modérées pour les caractères de production (0,32 ± 0,03 pour le poids à 11 mois; 0,20 ± 0,03 pour les effets directs et 0,08 ± 0,02 pour les effets maternels du

poids à 70 jours). L'héritabilité des caractères de résistance se situait dans une gamme intermédiaire (0,13 ± 0,05 pour l'hématocrite et 0,18 ± 0,04 pour l'OPG). Les corrélations génétiques de la fertilité, de l'hématocrite, du poids à 11 mois et des effets maternels du poids à 70 jours étaient toutes positives, tandis que la prolificité et l'OPG n'étaient presque pas corrélés phénotypiquement et génétiquement entre eux.

L'ensemble des corrélations estimées entre caractères est très favorable à la mise en place d'un programme de sélection complet, car l'amélioration simultanée du poids, de la reproduction et de la résistance aux parasites est possible.

III Points-clé

- **Le jeu de corrélations génétiques entre les caractères est favorable à l'amélioration simultanée des caractères de production et des aptitudes fonctionnelles des chèvres.**

- **Les corrélations génétiques sont estimées avec une précision modérée.**

- **L'OPG est très peu corrélé aux autres caractères.**

Genetic parameters for body weight, reproduction, and parasite resistance traits in the Creole goat[1]

M. Gunia,* F. Phocas,† R. Arquet,‡ G. Alexandre,* and N. Mandonnet*[2,3]

*UR143, URZ, INRA Antilles Guyane, domaine de Duclos, 97170 Petit-Bourg, French West Indies;
†INRA Génétique Animale et Biologie Intégrative, 78352 Jouy-en-Josas, France;
and ‡UE1294, PTEA, INRA Antilles Guyane, domaine de Gardel, 97160 Le Moule, French West Indies

ABSTRACT: We estimated the genetic parameters for BW, reproduction, and parasite resistance traits to implement a breeding program for the Creole goat. The traits were preweaning BW at 70 d of age (BW70d), BW at 11 mo of age (BW11), fecal egg count at 11 mo of age (FEC11) for all animals, packed cell volumes of lactating does (PCV), and their fertility (FER) and litter size (LS). We analyzed about 30 yr of data, which included 18,450 records on 11,970 animals from the INRA experimental flock in Guadeloupe (French West Indies). Heritability estimates were low for reproduction traits (0.11 ± 0.02 for LS and FER) to moderate for production traits (0.32 ± 0.03 for BW11; 0.20 ± 0.03 and 0.08 ± 0.02 for the direct and maternal heritability estimates of BW70d, respectively). Heritability estimates for gastrointestinal nematode resistance traits were situated in an intermediate range (0.13 ± 0.05 for PCV and 0.18 ± 0.04 for FEC11). Genetic correlations between FER, PCV, BW11, and the maternal effect of BW70d were altogether positive, whereas LS and FEC11 were almost uncorrelated phenotypically and genetically. These correlations are very favorable for setting up a breeding program, making it possible to improve BW, reproduction, and parasite resistance traits simultaneously.

Key words: body weight, fertility, genetic parameter, goat, litter size, parasite resistance

©2011 American Society of Animal Science. All rights reserved.

J. Anim. Sci. 2011. 89:3443–3451
doi:10.2527/jas.2011-3872

INTRODUCTION

Goats in the tropics provide a broad range of benefits to farmers (e.g., food, income, insurance, savings). Diversity of goat breeds ensures food security and adaptability to different environments. Characterization of these breeds is required for better management and conservation of the species as well as for the implementation of breeding programs (FAO, 2007).

Recently, a farmer association, extension services, and the Research Institute in Guadeloupe have collaborated to implement a breeding program for Creole goat. This local breed has evolved under natural selection since the introduction of goats on the island during the early colonization of the 17th century. Nowadays, this breed is used for meat production, mostly in low- to medium-input farming systems. As shown by a survey (Gunia et al., 2010), growth and conformation are highly desired traits by farmers to improve the level of production of the breed, as are also the maternal abilities of females, especially for farmers using the Creole breed as a maternal line for crossbreeding with bucks of the Boer phenotype.

The importance of disease resistance has been underestimated by farmers, although different studies emphasize the negative consequences of gastrointestinal nematodes (**GIN**) on health and productivity of goats (Aumont et al., 1997; Mandonnet et al., 2005).

The INRA experimental flock provided enough reliable records to analyze the genetic parameters of the traits of interest. Therefore, this study aimed at estimating genetic parameters for BW, reproduction, and parasite resistance traits to optimize the selection index to implement in the future breeding scheme for Creole goats.

MATERIALS AND METHODS

The care and use of animals were performed according to the Certificate of Authorization to Experiment

[1]Financial support was provided by la Région Guadeloupe and the European Community (FEOGA). The authors thank the laboratory and Plateforme Tropicale d'Expérimentation sur l'Animal teams for their technical support.

[2]Corresponding author: Nathalie.mandonnet@antilles.inra.fr
[3]Present address: INRA-URZ, Domaine de Duclos, 97170 Petit Bourg, French West Indies.

Received January 13, 2011.
Accepted May 18, 2011.

Downloaded from jas.fass.org at INRA Institut National de la Recherche Agronomique on November 23, 2011

on Living Animals issued by the French Ministry of Agriculture, Fishing, and Feeding.

Flock Management

From 1980 to 2010, data were collected at the experimental flock of INRA-Gardel in Guadeloupe, a tropical island in the Caribbean. The climate is oceanic-tropical, characterized by 2 annual climatic seasons: a wet and hot season (June to November with 80 to 188 mm of rainfall/mo and a temperature of 23 to 31°C at INRA-Gardel) and a dry and fresh season (December to May with 47 to 115 mm of rainfall/mo and a temperature of 21 to 30°C). Most of the droughts and hurricanes did not significantly affect production, except for the Hugo hurricane in September 1989, which caused 50% mortality.

The average population of the flock was approximately 250 does. Does were divided into 2 flocks and were exposed to males during 1 mo for 3 kiddings in 2 yr in February, June, and October. Small groups of about 15 does were joined to a single buck. The number of kids reared per doe was artificially limited to a maximum of 2 kids, with excess kids being almost immediately sent to an artificial rearing unit. About 26% of litter size records were greater than 2. Kids were weaned at 84 ± 11 d of age on average. At 11 mo of age, about 25% of females and 7% of males were kept in the herd for kid production. They replaced the dead and culled animals. The animals in excess were sold.

Goats grazed on *Digitaria decumbens* pastures managed in a rotation system. In addition, does were fed commercial pellets during the last month of pregnancy and all the suckling period. Kids were also fed pellets from 5 wk of age until 2 wk after weaning. The quantity given and composition of the pellets varied over the 30 yr of data collection.

Animals were naturally infected by GIN when grazing on pasture. The main nematode species were *Haemonchus contortus*, *Trichostrongylus colubriformis*, and *Esophagostomum columbianum.* After weaning, kids were drenched every 2 mo with an anthelminthic to control gastrointestinal parasites. Does were drenched 3 times during a reproductive period: at the end of the pregnancy, after kidding, and before weaning. The main products used were bendzamidazole from 1980 to 1985, ivermectin from 1986 to 1990, netobimin in 1991 and 1992, levamisole and ivermectin from 1993 to 2002 (except in 1999), netobimin and levamisole in 2003 and 2004, and cydectin since 2005. Changes in products were made because of resistance in the worm population. In 1998, resistance to levamisole in the worm population led to a 50% productivity loss. In 1999, goats had to be kept inside for 6 mo and treated fortnightly with netobimin and cydectin while pastures were decontaminated. Then the resistant strain of *Trichostrongylus colubiformis* was replaced with a susceptible strain (Chevalier, 2001). Since 2002, targeted drenching of does according to the Famacha method has been progressively implemented to slow down resistance to anthelmintic in the worm population (Mahieu et al., 2007).

Data Recording and Traits Analyzed

We chose 6 traits to assess reproduction, parasite resistance, and BW performance. Reproduction traits included fertility (**FER**) and litter size (**LS**) of does. Fertility was the reproductive success of each female joined (it was either 0 for no kidding or 1 for kidding); LS was the number of offspring born per doe kidding (it varied from 1 to 7) and was considered in the analysis as a trait of the dam and not of the kid.

Packed cell volume of lactating does 6 wk after kidding (**PCV**) and fecal egg count at 11 mo of age (**FEC11**) were used to assess resistance to GIN. The PCV is a measurement of the proportion of red cells in the blood used to diagnose anemia caused by hematophagous parasites. It is more often considered as a measurement of resilience, especially in infection coming predominantly from *H. contortus* (Baker et al., 2001). For convenience, we will discuss both PCV and FEC11 as measurements of resistance. These 2 measurements were taken at 2 key moments: the periparturient increase in parasites for does and the fattening period for kids. Blood samples were taken on lactating does and analyzed using the capillary microhematocrit method to determine PCV. Fecal samples were taken on 11-mo-old kids after using an enema and analyzed with a modified McMaster method (Aumont et al., 1997) to count the number of eggs of gastrointestinal parasites found in animal feces (**FEC**).

Body weight traits included a preweaning BW adjusted at 70 d of age (**BW70d**) and a postweaning BW adjusted at 11 mo of age (**BW11**). Farmers prefer heavier goats at 11 mo, the mating or selling age, so BW11 is a highly desirable trait, whereas BW70d is used as a proxy for weaning weight (84 d ± 11). Animals were weighed every 10 d before weaning period and every 25 d thereafter. Both BW measurements were calculated by linear interpolation (Naves et al., 2001), except for BW11 when there were no records after 11 mo of age. In that case, BW11 was calculated by superior linear extrapolation when the difference between 11 mo and the last age at BW measurement was inferior to 30 d. Because many animals were sold around 11 mo of age, superior extrapolation increased the number of data available for BW11.

The setup of the data included the 6 traits (FER, LS, PCV, FEC11, BW11, BW70d) measured on the same animal when available. Thus, males and females sold at 11 mo only had records for FEC11, BW11, and BW70d.

Statistical Analyses

Summary statistics and numbers of data for each trait are presented in Table 1. The total data set in-

Downloaded from jas.fass.org at INRA Institut National de la Recherche Agronomique on November 23, 2011

cluded measurements on 11,973 animals. Some traits were measured since the creation of the flock, when others were measured only during a fixed period of time. Measurements on both BW70d and BW11 occurred on 5,222 animals. Joint measurements on BW70d, BW11, and FEC11 occurred on 2,074 animals. Only 121 of them were also measured for FER, although 4,679 other females had FER records. Because the FEC11 variable was not normally distributed, a logarithm transformation log(FEC11+15) was performed before analysis.

Variances were estimated using the REML procedure fitting an animal model with ASReml software (Gilmour et al., 2006). Preliminary analysis of single-trait models and bivariate models were run to check the consistency of phenotypic and genetic parameters across traits and models (results not shown). The final model included all 6 traits described previously: LS and FER (reproduction traits), PCV and FEC11 (parasite resistance traits), as well as BW11 and BW70d (BW traits).

Fixed effects were tested with an ANOVA by using the Proc GLM (SAS Inst. Inc., Cary, NC). They are presented in Table 2. Only the significant effects were kept. The kidding cohort of the does was the group of does kidding at the same period. They were 3 kidding periods per year for 30 yr of experiment, which gave a total of 90 modalities. Using kidding cohort allowed us to take into account the year and season of kidding. The parity-of-the-does-at-kidding effect had 10 modalities. The 9 first modalities were the number of parities of the does. The 10th modality grouped all does with more than 9 kiddings. The age-at-mating-of-the-does effect had 8 modalities. The 7 first modalities were the age of the does expressed in years. The eighth modality grouped all does aged 8 yr or more. These 3 effects concerned only does, and their significance was only tested on the 3 doe traits (FER, LS, and PCV). The birth-cohort effect was the equivalent of the kidding cohort for birth. The cohort gathers all kids born at the same period. This effect also had 90 modalities. The birth cohort × sex of the animal had 180 modalities and was a combined effect of the birth cohort (90 modalities) and the sex of the animal (2 modalities). The effect of the combination of the LS at birth, after 15 d, and artificial milking had 4 modalities. This effect grouped animals according to their LS at birth, after 15 d, and took into account if they were placed in artificial rearing unit. The effect of groups of parity of the dam had 3 modalities: the first grouped the parities 1 and 2, the second the parities 3 to 5, and the third the parities greater than 5.

All traits were analyzed using a linear model. Litter size and FER have a discrete distribution, which imply that a threshold model (Gianola and Foulley, 1983) should theoretically be preferred. However, assumption of a continuous distribution for these traits is justified for genetic evaluation and for estimates of genetic correlations with continuous traits (Kadarmideen et al., 2003). Threshold and linear models showed very little differences in genetic parameters for FER (Weller and Ron, 1992; Boichard and Manfredi, 1994) and LS (Matos et al., 1997; Olesen et al., 1994).

Therefore, for each trait $\mathbf{y_i}$ (i = 1 to 6 for FER, LS, PCV, FEC11, BW11, and BW70d, respectively), a linear mixed model fitted with repeated measurements was accounted for in the case of doe traits (LS, FER, PCV) or maternal environmental effect for the kid trait BW70d. A multivariate normal distribution was assumed for all random effects. The likelihood ratio test was used to determine the significance of variance components. The multivariate animal model was

$$\begin{bmatrix}\mathbf{y}_1\\ \mathbf{y}_2\\ \mathbf{y}_3\\ \mathbf{y}_4\\ \mathbf{y}_5\\ \mathbf{y}_6\end{bmatrix} = \begin{bmatrix}\mathbf{X}_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0\\ 0 & \mathbf{X}_2 & 0 & 0 & 0 & 0\\ 0 & 0 & \mathbf{X}_3 & 0 & \mathbf{0} & 0\\ 0 & 0 & 0 & \mathbf{X}_4 & 0 & 0\\ 0 & 0 & 0 & 0 & \mathbf{X}_5 & 0\\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \mathbf{X}_6\end{bmatrix}\begin{bmatrix}\mathbf{b}_1\\ \mathbf{b}_2\\ \mathbf{b}_3\\ \mathbf{b}_4\\ \mathbf{b}_5\\ \mathbf{b}_6\end{bmatrix} + \begin{bmatrix}\mathbf{Z}_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0\\ 0 & \mathbf{Z}_2 & 0 & 0 & 0 & 0\\ 0 & 0 & \mathbf{Z}_3 & 0 & 0 & 0\\ 0 & 0 & 0 & \mathbf{Z}_4 & \mathbf{0} & 0\\ 0 & 0 & 0 & 0 & \mathbf{Z}_5 & 0\\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \mathbf{Z}_6\end{bmatrix}\begin{bmatrix}\mathbf{a}_1\\ \mathbf{a}_2\\ \mathbf{a}_3\\ \mathbf{a}_4\\ \mathbf{a}_5\\ \mathbf{a}_6\end{bmatrix}$$
$$+ \begin{bmatrix}0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0\\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0\\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0\\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0\\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0\\ 0 & 0 & 0 & \mathbf{0} & 0 & \mathbf{S}_6\end{bmatrix}\begin{bmatrix}0\\ 0\\ 0\\ 0\\ 0\\ \mathbf{m}_6\end{bmatrix} + \begin{bmatrix}\mathbf{W}_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0\\ 0 & \mathbf{W}_2 & 0 & 0 & 0 & 0\\ 0 & 0 & \mathbf{W}_3 & 0 & 0 & 0\\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0\\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0\\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0\end{bmatrix}\begin{bmatrix}\mathbf{c}_1\\ \mathbf{c}_2\\ \mathbf{c}_3\\ 0\\ 0\\ 0\end{bmatrix} + \begin{bmatrix}\mathbf{e}_1\\ \mathbf{e}_2\\ \mathbf{e}_3\\ \mathbf{e}_4\\ \mathbf{e}_5\\ \mathbf{e}_6\end{bmatrix},$$

where $\mathbf{y}_i$ is the vector of observations available for each animal, $\mathbf{b}_i$ is the vector of fixed effects, $\mathbf{a}_i$ is the vector of random additive genetic direct effects, $\mathbf{m}_i$ is the vector of random maternal genetic effects, $\mathbf{c}_i$ is the vector of random permanent environmental effects either of the dam for kid trait, or of the individual doe for doe traits, and $\mathbf{e_i}$ is the vector of random residual effects. The $\mathbf{X}_i$, $\mathbf{Z}_i$, $\mathbf{S}_i$, and $\mathbf{W}_i$ are the corresponding incidence matrices connecting $\mathbf{y}_i$ to the effects in the model.

The variance-covariance structure of the model was as follows:

$$\mathrm{Var}\begin{bmatrix}\mathbf{a}_1\\ \mathbf{a}_2\\ \mathbf{a}_3\\ \mathbf{a}_4\\ \mathbf{a}_5\\ \mathbf{a}_6\\ \mathbf{m}_6\end{bmatrix} = \begin{bmatrix}\mathbf{A}\sigma^2 a_1 & \mathbf{A}\sigma a_{12} & \mathbf{A}\sigma a_{13} & \mathbf{A}\sigma a_{14} & \mathbf{A}\sigma a_{15} & \mathbf{A}\sigma a_{16} & \mathbf{A}\sigma am_{16}\\ \mathbf{A}\sigma a_{21} & \mathbf{A}\sigma^2 a_2 & \mathbf{A}\sigma a_{23} & \mathbf{A}\sigma a_{24} & \mathbf{A}\sigma a_{25} & \mathbf{A}\sigma a_{\mathbf{26}} & \mathbf{A}\sigma am_{26}\\ \mathbf{A}\sigma a_{31} & \mathbf{A}\sigma a_{32} & \mathbf{A}\sigma^2 a_3 & \mathbf{A}\sigma a_{34} & \mathbf{A}\sigma a_{35} & \mathbf{A}\sigma a_{36} & \mathbf{A}\sigma am_{36}\\ \mathbf{A}\sigma a_{41} & \mathbf{A}\sigma a_{42} & \mathbf{A}\sigma a_{\mathbf{43}} & \mathbf{A}\sigma^2 a_4 & \mathbf{A}\sigma a_{45} & \mathbf{A}\sigma a_{46} & \mathbf{A}\sigma am_{46}\\ \mathbf{A}\sigma a_{51} & \mathbf{A}\sigma a_{52} & \mathbf{A}\sigma a_{53} & \mathbf{A}\sigma a_{54} & \mathbf{A}\sigma^2 a_5 & \mathbf{A}\sigma a_{56} & \mathbf{A}\sigma am_{\mathbf{56}}\\ \mathbf{A}\sigma a_{61} & \mathbf{A}\sigma a_{62} & \mathbf{A}\sigma a_{63} & \mathbf{A}\sigma a_{64} & \mathbf{A}\sigma a_{65} & \mathbf{A}\sigma^2 a_6 & \mathbf{A}\sigma am_{66}\\ \mathbf{A}\sigma am_{61} & \mathbf{A}\sigma am_{62} & \mathbf{A}\sigma am_{63} & \mathbf{A}\sigma am_{64} & \mathbf{A}\sigma am_{65} & \mathbf{A}\sigma am_{66} & \mathbf{A}\sigma^2 m_6\end{bmatrix}$$

$$\mathrm{Var}\begin{bmatrix}\mathbf{c}_1\\ \mathbf{c}_2\\ \mathbf{c}_3\\ \mathbf{c}_6\end{bmatrix} = \begin{bmatrix}\mathbf{I}\sigma^2 c_1 & \mathbf{I}\sigma c_{12} & \mathbf{I}\sigma c_{13} & \mathbf{I}\sigma c_{16}\\ \mathbf{I}\sigma c_{21} & \mathbf{I}\sigma^2 c_2 & \mathbf{I}\sigma c_{23} & \mathbf{I}\sigma c_{26}\\ \mathbf{I}\sigma c_{31} & \mathbf{I}\sigma c_{32} & \mathbf{I}\sigma^2 c_3 & \mathbf{I}\sigma c_{36}\\ \mathbf{I}\sigma c_{61} & \mathbf{I}\sigma c_{62} & \mathbf{I}\sigma c_{63} & \mathbf{I}\sigma^2 c_6\end{bmatrix}$$

$$\mathrm{Var}\begin{bmatrix}\mathbf{e}_1\\ \mathbf{e}_2\\ \mathbf{e}_3\\ \mathbf{e}_4\\ \mathbf{e}_5\\ \mathbf{e}_6\end{bmatrix} = \begin{bmatrix}\mathbf{I}\sigma^2 e_1 & \mathbf{I}\sigma e_{12} & \mathbf{I}\sigma e_{13} & \mathbf{I}\sigma e_{14} & \mathbf{I}\sigma e_{15} & \mathbf{I}\sigma e_{16}\\ \mathbf{I}\sigma e_{21} & \mathbf{I}\sigma^2 e_2 & \mathbf{I}\sigma e_{23} & \mathbf{I}\sigma e_{24} & \mathbf{I}\sigma e_{25} & \mathbf{I}\sigma e_{26}\\ \mathbf{I}\sigma e_{31} & \mathbf{I}\sigma e_{32} & \mathbf{I}\sigma^2 e_3 & \mathbf{I}\sigma e_{34} & \mathbf{I}\sigma e_{35} & \mathbf{I}\sigma e_{361}\\ \mathbf{I}\sigma e_{41} & \mathbf{I}\sigma e_{42} & \mathbf{I}\sigma e_{43} & \mathbf{I}\sigma^2 e_4 & \mathbf{I}\sigma e_{45} & \mathbf{I}\sigma e_{46}\\ \mathbf{I}\sigma e_{51} & \mathbf{I}\sigma e_{52} & \mathbf{I}\sigma e_{53} & \mathbf{I}\sigma e_{54} & \mathbf{I}\sigma^2 e_5 & \mathbf{I}\sigma e_{56}\\ \mathbf{I}\sigma e_{61} & \mathbf{I}\sigma e_{62} & \mathbf{I}\sigma e_{63} & \mathbf{I}\sigma e_{64} & \mathbf{I}\sigma e_{61} & \mathbf{I}\sigma^2 e_6\end{bmatrix},$$

Downloaded from jas.fass.org at INRA Institut National de la Recherche Agronomique on November 23, 2011

Table 1. Summary of data including means and SD, number of records, as well as number of animals, sires, and dams for reproduction, parasite resistance, and BW traits in Creole goats[1]

Trait (unit)	Means ± SD	Year of record	No. of Records	No. of Animals	No. of Sires	No. of Dams
Reproduction trait						
LS, kids	2.14 ± 0.73	1980 to 2010	7,851	1,987	265	857
FER, %	0.83 ± 0.38	1997 to 2010	4,800	1,539	206	640
Parasite resistance trait						
PCV, %	24.13 ± 4.97	1998 to 2004	852	688	130	389
FEC11, log(eggs/g + 15)	6.35 ± 1.43	1995 to 2006	2,446	2,446	124	727
BW trait						
BW11, kg	17.91 ± 4.13	1992 to 2005	5,631	5,631	158	948
BW70d, kg	7.40 ± 1.79	1980 to 2010	10,943	10,943	302	1,669
Total			18,450	11,973	317	1,741

[1]LS = litter size; FER = fertility; PCV = packed cell volume; FEC11 = fecal egg counts at 11 mo; BW11 = BW at 11 mo; BW70d = BW at 70 d.

where **A** is the numerator relationship matrix across animals, **I** is the identity matrix, $\sigma^2 a_i$ and σa_{ij} are the additive genetic variance and covariance for the direct effects, $\sigma^2 m_i$ is the maternal genetic variance, $\sigma a m_{ij}$ is the covariance between direct and maternal additive effects, $\sigma^2 c_i$ and σc_{ij} are the variance and covariance for the permanent environmental effects, $\sigma^2 e_i$ and σe_{ij} are the variance and covariance for the residual effects.

RESULTS AND DISCUSSION

Basic Statistics on Raw Traits

Basic statistics are presented in Table 1. Creole breed has a large LS with 2.14 kids per doe. Other goat breeds have a similar prolificacy: the Criolla in Agrentina with 2.20 kids (Rabasa et al., 2001), the Egyptian Zaribi with 2.15 kids (Shaat and Maki-Tanila, 2009), and the Common African goat breed in Rwanda with 2.17 kids (Mourad, 1994). Highly specialized dairy goats are reported to have less prolificacy: Alpine average 1.25 kids per parturition, Nubians average 1.38 kids (Dickson-Urdaneta et al., 2000), and Polish dairy goats average 1.75 kids (Bagnicka et al., 2007).

Fertility (kidding success) in the Creole breed was greater than the pregnancy rate of 0.56 in the common African goat after AI (Mourad, 1994), but was consistent with FER in Merino sheep of 0.80 (Safari et al., 2007).

In the Creole breed, the nontransformed mean of FEC11 was 1,262 eggs per gram (±1,898). Means after the logarithm transformation are reported in Table 1. The wide range of variation of the nontransformed mean of FEC as well as the different transformations performed on FEC in other studies make comparison difficult. However, Morris et al. (1997) found a similar average FEC in the Saanen goat in New Zealand (1,136 eggs/g). The geometric mean of FEC for the Small East African goat (1,380 eggs/g) was also in accordance with our estimate (Baker et al., 2001). The PCV of Galla and Small East African goat breeds were slightly greater than those of the Creole breed (24.1) with 25 and 25.6 at 14 mo of age (Baker et al., 2001).

The BW at 11 mo for Creole goat (17.9) was more than twice the BW at 360 d in the West African Dwarf goat (8.04 kg; Bosso et al., 2007). It was also slightly greater than BW at 12 mo of the Small East African goat (14.3 kg) and very close to the BW at 12 mo of the

Table 2. Significance (*P*-values) of fixed effect for reproduction, parasite resistance, and BW traits in Creole goats[1]

Fixed effect	No. of modalities	LS	FER	PCV	FEC11	BW11	BW70d
Kidding cohort of the does	90	$P < 0.001$	$P < 0.001$	$P < 0.001$	—	—	—
Parity of the does at kidding	10	$P < 0.001$	—	$P < 0.01$	—	—	—
Age at mating of the does	8	NS[2]	$P < 0.001$	NS	—	—	—
Birth cohort	90	$P < 0.001$	$P < 0.001$	NS	—	—	—
Birth cohort × sex of the animal	180	—	—	—	$P < 0.001$	$P < 0.001$	$P < 0.001$
Combination of the litter size at birth, after 15 d and artificial milking	4	NS	NS	NS	NS	$P < 0.001$	$P < 0.001$
Groups of parity of the dam	3	NS	NS	NS	NS	$P < 0.001$	$P < 0.001$

[1]Reproduction traits: LS = litter size, FER = fertility; parasite resistance traits: PCV = packed cell volume, FEC11 = fecal egg counts at 11 mo; BW traits: BW11 = BW at 11 mo, BW70d = BW at 70 d.

[2]NS = not significant.

Downloaded from jas.fass.org at INRA Institut National de la Recherche Agronomique on November 23, 2011

Galla goat (17.0 kg). On the opposite, Creole goat BW was only one-half the yearling BW in the Boer goat (36.9 kg; Schoeman et al., 1997). The BW70d of the Creole breed (7.4 kg) was lighter than BW at 60 d in the Sicilian Girgentana goat (8.5 kg in males; Portolano et al., 2002) but within the range of estimates of 2-mo-old Galla (8.0 kg) and Small East African goat breeds (6.3 kg; Baker et al., 2001).

Heritability Estimates and Environmental Permanent Effects

Table 3 presents estimates of phenotypic, permanent environmental, and residual variances and estimates of direct and maternal heritabilities. Heritability estimates are low for reproduction traits (about 10%) to moderate for production traits (about 30%). Heritability estimates of parasite resistance traits are situated in an intermediate range, around 15%. Repeatability estimates were moderate for LS, FER, PCV, and BW70d. Permanent environmental variances were small but significant for reproduction traits and preweaning BW. However, its ratio over phenotypic variance was greater than the heritability for PCV. The estimates of direct, maternal heritability, and permanent environmental variance of the reproduction and BW traits of our study were remarkably consistent with the weighted mean of estimates in sheep from the Safari et al. (2005) literature review.

The heritability estimate of LS in the Creole breed (0.11) was also in good agreement with the estimates reported by Bagnicka et al. (2007) for Polish and Norwegian goat breeds in second kidding (0.11 and 0.13, respectively) as well as with the estimate of 0.12 reported by (Zhang et al., 2009) in the Boer goat. The heritability estimate for FER (0.11) was slightly greater than the estimate of 0.06 in the Common African goat (Mourad, 1994).

The heritability estimate of BW11 (0.32) was similar to the estimates of 0.30 for BW at 360 d in West African Dwarf goat (Bosso et al., 2007). The heritability estimate of BW11 was in general agreement with the range of estimates (0.13 to 0.60) for BW at 12 mo reported in the Shrestha and Fahmy (2007) review for goats. The direct and maternal heritabilities of BW70d (0.20 and 0.08, respectively) were slightly greater than the estimates reported by Schoeman et al. (1997) for weaning weight in Boer goat (0.18 and 0.05, respectively). The direct heritability in the Creole goat was also greater than the estimate for Galla and Small East African goats at 3 mo (0.16), but the maternal heritability was smaller than the estimate of 0.14 for these breeds (Baker et al., 2001). All these results suggest a relative stability of heritability estimates for growth and reproductive traits in most domestic goat and sheep breeds.

Heritability estimates of FEC11 and PCV were similar to the estimates of previous study in the Creole goat (Mandonnet et al., 2006). These 2 traits were measured at key moments. The increase in maternal nematode infection during the periparturient period is a major source of pasture larval contamination in ruminants, leading to an increase of mortality and BW loss in suckling kids (Mandonnet et al., 2005). Parasitism in fattening kids decreases farmer profit for the same reasons (mortality and BW loss). Moreover, genetic variability was the greatest 6 wk after kidding in does and 11 mo after birth in kids (Mandonnet et al., 2001, 2006). Heritability of PCV (0.13) was in good agreement with the only estimate of 0.15 in dry ewes (Vanimisetti et al., 2004). Heritability estimate of FEC in our study (0.18) was slightly greater that the estimate of 0.13 for Barbari goat with a similar model (Mandal and Sharma, 2008) and situated in between the estimate of 0.24 at 10 mo and 0.13 at 12 mo for Galla and Small East African goat breeds (Baker et al., 2001). However, our estimate was much less than the weighted mean of heritability estimates in sheep (0.27) in the literature review of Safari et al. (2005). As observed by Mandonnet et al. (2006), heritability of FEC in goats is about one-half that of sheep. Mechanisms of resistance in goats could indeed differ from those in sheep. Goats are predominantly browsers, whereas sheep are grazers. The selection pressure for parasite resistance was therefore less strong on goats (Mirkena et al., 2010), leading to less complex resistance mechanisms in goats (Bambou et al., 2009).

Table 3. Genetic parameters for reproduction, parasite resistance, and BW traits in Creole goats[1,2]

Trait	σ^2_a	σ^2_m	σ^2_c	σ^2_e	σ^2_p	h^2_a	h^2_m	c^2_c	Repeatability
LS	0.05		0.02	0.38	0.45	0.11 ± 0.02		0.05 ± 0.02	0.16
FER	0.02		0.01	0.11	0.14	0.11 ± 0.02		0.08 ± 0.02	0.19
PCV	2.56		3.00	14.47	20.03	0.13 ± 0.05		0.15 ± 0.07	0.28
FEC11	0.14			0.64	0.78	0.18 ± 0.04			
BW11	3.59			7.66	11.25	0.32 ± 0.03			
BW70d	0.48	0.20	0.10	1.53	2.39	0.20 ± 0.03	0.08 ± 0.02	0.04 ± 0.01	0.24

[1]σ^2_a = direct additive genetic variance; σ^2_m = maternal additive genetic variance; σ^2_c = permanent environmental variance of the individual doe for doe traits or of the dam for BW70d; σ^2_e = residual variance; σ^2_p = phenotypic variance; h^2_a = direct heritability; h^2_m = maternal heritability; c^2_c = permanent environmental effect either of the individual doe for doe traits or of the dam for BW70d; ± SE.

[2]Reproduction traits: LS = litter size, FER = fertility; parasite resistance traits: PCV = packed cell volume, FEC11 = fecal egg counts at 11 mo; BW traits: BW11 = BW at 11 mo, BW70d = BW at 70 d.

Downloaded from jas.fass.org at INRA Institut National de la Recherche Agronomique on November 23, 2011

Table 4. Genetic correlations (above diagonal) and phenotypic correlations (below diagonal) with their SE for reproduction, parasite resistance, and BW traits in Creole goats[1]

Item	LS	FER	PCV	FEC11	BW11	aBW70d	mBW70d
LS		0.25 ± 0.15	−0.10 ± 0.22	0.05 ± 0.15	0.23 ± 0.09	0.13 ± 0.11	−0.18 ± 0.11
FER	0.10 ± 0.02		0.45 ± 0.24	0.01 ± 0.17	0.65 ± 0.09	0.13 ± 0.13	0.90 ± 0.10
PCV	−0.13 ± 0.03	−0.24 ± 0.04		−0.21 ± 0.22	0.29 ± 0.15	0.25 ± 0.19	0.37 ± 0.20
FEC11	0.04 ± 0.08	−0.01 ± 0.07	−0.07 ± 0.11		0.10 ± 0.12	0.08 ± 0.14	0.04 ± 0.16
BW11	0.22 ± 0.03	0.18 ± 0.04	−0.10 ± 0.05	−0.12 ± 0.02		0.76 ± 0.05	0.82 ± 0.06
BW70d	0.16 ± 0.03	0.13 ± 0.03	0.03 ± 0.05	0.01 ± 0.02	0.61 ± 0.01		0.30 ± 0.12

[1]Reproduction traits: LS = litter size, FER = fertility; parasite resistance traits: PCV = packed cell volume, FEC11 = fecal egg counts at 11 mo; BW traits: BW11 = BW at 11 mo; aBW70d = direct effect of BW at 70 d; mBW70d = maternal effect of BW at 70 d.

Correlations Within Reproduction, Parasite Resistance, and BW Groups of Traits

Table 4 presents genetic and phenotypic correlations across the 6 traits.

Reproduction Traits. The phenotypic correlation between FER and LS was very low. The LS was considered a missing value when FER was equal to 0. Such assumptions had already been made and had given satisfactory results (Urioste et al., 2007). However, the low phenotypic correlation observed could be due to a bias in the estimate of environmental covariance between the 2 traits because LS had a value only when the binary trait FER was equal to 1 (success of kidding). Nevertheless, it should not affect the genetic correlation that accounts through the relationship matrix across animals of females with FER equal to 0. Even if the measured FER is a discrete trait, the EBV are continuous (Kadarmideen et al., 2003). The genetic correlation was favorable, but very moderate and not significantly different from zero. This correlation (0.25) was similar to the estimate of 0.22 in African Common goats in Rwanda (Mourad, 1994) and in Merino sheep (Safari et al., 2007) but much less than the weighted mean of 0.44 given in the literature review of Safari et al. (2005).

Parasite Resistance Traits. In our study, the genetic correlation between FEC11 measured on all kids and PCV of does 6 wk after kidding was moderately negative (−0.21), but not significantly different from 0, as was the phenotypic correlation. Considering this result, it seems that FEC11 of kids and PCV of does are 2 different traits. More records are needed to get a more accurate estimation of these correlations by reducing the large SE of their first estimates due to the small proportion of does that had both FEC11 and PCV records (only 11% of the does whose PCV was recorded also had FEC11 records). In the literature, genetic correlations between FEC and PCV measured at the same age during the postweaning period were moderately to highly negative in Galla, Small East African, and Creole goat breeds (Baker et al., 2001; Mandonnet et al., 2001). This correlation in Creole does 6 wk after kidding was also highly negative (−0.79; Mandonnet et al., 2006). These authors also found high positive genetic correlations between measurements of PCV at different ages on one hand and between measurements of FEC at different ages on the other. Mandonnet et al. (2006) estimated a reasonably high genetic correlation (0.76) between FEC measured at 11 mo in does and FEC measured 6 wk after their first kidding.

BW Traits. The different components (phenotypic, direct, and maternal genetic effects) of BW were strongly correlated to one another across time periods. The genetic correlation between BW70d and BW11 in Creole breed (0.76) was greater than the genetic correlation of 0.54 between BW at 60 and 210 d in Common African and crossbred breeds (Mourad, 1994) and similar to the genetic correlation of 0.73 in West African Dwarf goat between birth and yearling weight (Bosso et al., 2007). Nevertheless, it was slightly less than the weighted means of literature estimates of 0.85 reported by Safari et al. (2005) in sheep. The estimate of the correlation between direct and maternal genetic effects for BW70d was moderately favorable (0.30). The maternal genetic effect of BW70d can be related to the milking ability of the dam, which is due to the associate effects of her milk production and her mothering ability (Mandal et al., 2006). Therefore, the milking ability and the preweaning growth in the Creole breed evolved genetically together in a favorable direction. Our estimate is consistent with the estimates of 0.33 for Rambouillet and 0.34 for Columbia sheep (Hanford et al., 2002, 2005) and with the weighted mean of estimates of 0.34 in the literature review of Safari et al. (2005) in sheep. In their literature review in goats, Shrestha and Fahmy (2007) observed that the genetic correlation estimates between direct and maternal effects for BW were low to moderate and varied from negative to positive, without any indication of significance.

Correlations Between BW and Reproduction Traits

BW and FER. The phenotypic correlation between BW11 and FER was moderate. The genetic correlation between BW11 and FER (0.65) was on the same range as the estimate of Fogarty et al. (1994) of 0.63 in Hyfer sheep. At 11 mo, age at first mating in the INRA-Gardel flock, the heavier females had better reproductive success. Mellado et al. (2005) observed that kidding rate was greater in does with greater fat

Downloaded from jas.fass.org at INRA Institut National de la Recherche Agronomique on November 23, 2011

reserves. The heaviest BW of fertile goats could therefore be associated with greater fat reserves.

The phenotypic correlation between BW70d and FER was low. The genetic correlation between the direct effect of BW70d and FER (0.13) was not significantly different from zero. Our estimates differ from the negative genetic correlation between BW at 90 d and FER of −0.31 found by al-Shorepy and Notter (1996) in a composite breed of sheep.

The genetic correlation between the maternal effect of BW70d and FER is highly favorable (0.90). Because the maternal genetic effect on the preweaning BW is closely linked to the genetic potential for milking ability of the Creole goat, milking ability and FER can therefore be assumed to be positively correlated. This result is in opposition with what has been observed in dairy sheep such as the Lacaune breed, with a negative genetic correlation of −0.23 between milk yield and FER (David et al., 2008), and in dairy cattle with a correlation of −0.16 (Kadarmideen et al., 2003). However, our results are in accordance with the observations in beef cattle where milk production of primiparous cows had been recorded in stations (Phocas and Sapa, 2004). Depending on the orientation of selection in a breed (milk or meat) the energy allocation would differ, hampering FER in specialized milk breeds of ruminants.

BW and LS. The phenotypic and genetic correlations between BW11 and LS were moderate. The genetic correlation (0.23) was in the range of the weighted mean of literature estimates of 0.17 given by Safari et al. (2005). As observed by Constantinou (1989) and Mellado et al. (2005), heavier does at mating had a greater LS. This association may be attributed to a greater ovulation rate.

The phenotypic correlation between BW70d and LS was moderate. Nevertheless, LS was not significantly genetically correlated with the direct or maternal effects of BW70d. In many sheep breeds, whose prolificacy is low, these correlations are moderate to high (Hanford et al., 2002, 2003, 2005). However, in the highly prolific Polypay sheep, the genetic correlation between LS and the direct effect of weaning weight was less (0.24) compared with other sheep breeds; the genetic correlation between LS and the maternal effect of weaning weight was also low and negative (Hanford et al., 2006). In Polypay sheep as well as in Creole goat, mothers were not allowed to rear more than 2 newborns of the litter. Artificially removing kids in excess of 2 prevents the full expression of the maternal genetic effect on BW70d. This limitation could explain the very low genetic correlation observed between LS and milking ability.

Correlations Between Parasite Resistance Traits and Reproduction

FEC and Reproduction Traits. There is no significant genetic or phenotypic correlation between FEC11 and reproduction traits. Improving reproduction in does will not influence FEC11. This result is in accordance with Vanimisetti et al. (2004), who found that EBV for FER and prolificacy in ewes were not related to parasite resistance in lambs.

PCV and FER. The phenotypic correlation between PCV and FER was moderate and negative, whereas the genetic correlation was greater and positive. The low precision of the genetic correlation estimates could lead to this difference in trends between genetic and phenotypic correlations (Koots and Gibson, 1996).

PCV and LS. The phenotypic and genetic correlations between PCV and LS were small and negative, but not significantly different from zero. Greater number of kids would be more demanding for the mother, decreasing her capacity to cope with parasites. This effect of increased number of kids on the health of does has already been observed in sheep (Donaldson et al., 1998). However, further records are needed to increase the accuracy of our estimation and confirm this observation.

Correlations Between Parasite Resistance Traits and BW

FEC and BW. The phenotypic correlation between FEC11 and BW11 was small and negative, whereas the genetic correlation was not significantly different from zero. These results are consistent with the observation of Baker et al. (2001) in Galla and Small East African goat breeds. Previous study on Creole goats also showed no significant genetic correlations between BW and FEC for kids between weaning and 10 mo of age, with the same range of SE (Mandonnet et al., 2001). In their literature review in sheep, Safari et al. (2005) observed a low and negative genetic weighted means of correlation estimates of −0.24, meaning that an increased BW leads to a reduction in the number of GIN eggs excreted. Improving BW11 of Creole kids will probably not influence FEC11, but further studies are needed to increase the accuracy of these early estimates.

PCV and BW. The phenotypic correlation between PCV and BW70d was not significantly different from zero. The genetic correlations between PCV and the direct and maternal effects of BW70d were positive and moderate. This trend suggests that resilient mothers tend to have a better ability to contribute positively to their kid growth.

The phenotypic correlation between PCV and BW11 was small and negative (−0.10). On the other hand, the genetic correlation was moderate and positive (0.29). The difference in trends between phenotypic and genetic covariances may be due to the low precision of the genetic correlation estimates. Baker at al. (2001) found positive phenotypic and genetic correlations between BW and PCV between weaning and 14 mo of age for

Downloaded from jas.fass.org at INRA Institut National de la Recherche Agronomique on November 23, 2011

Galla and Small East African goat breeds, with an average of 0.33 for the phenotypic correlation and 0.58 for the genetic correlation.

The positive genetic correlation between PCV and BW11 would mean that heavier goats at mating are more resilient to GIN. Valderrábano et al. (2006) observed that fat mass stored by ewes in early pregnancy was associated with the expression of immunity against GIN infection around parturition. Thus, the heavier goats could be the ones with the greatest fat deposits.

Consequences for the Implementation of a Breeding Scheme

Our study provides estimates of genetic correlation for different groups of traits in goats that were not previously found in the scientific literature. The heritability estimates for reproduction and BW in Creole goats were very consistent with the estimates in sheep, and it could be interesting to verify these results in other studies in goats. Standard errors of our estimates of genetic correlations were relatively high, ranging from 0.10 to 0.25. Further recording will be needed to increase their accuracy, especially for PCV.

Genetic correlations, together with heritability and other parameter estimates provide the basis for designing a breeding program in Creole breed aimed at improving several traits. Four traits (FER, PCV, BW11, and maternal effect of BW70d) evolve favorably together, whereas LS and FEC11 appear to be almost unlinked to the other traits. The positive genetic correlations between FER, parasite resistance, BW at first mating, and milking ability of does are very favorable for an easy and efficient implementation of a breeding scheme in Creole goats. However, increase of BW will have to be monitored, to see if it leads to a greater increase of fat over lean content in the meat, because consumer preference for the quality of the meat has to be taken into account. Litter size was not strongly correlated with any of the other traits studied. Maintaining the already high prolificacy of the Creole goat while improving other traits will therefore be possible. The FEC11 could also be improved without negatively affecting the other traits.

LITERATURE CITED

al-Shorepy, S. A., and D. R. Notter. 1996. Genetic variation and covariation for ewe reproduction, lamb growth, and lamb scrotal circumference in a fall-lambing sheep flock. J. Anim. Sci. 74:1490–1498.

Aumont, G., R. Pouillot, and N. Mandonnet. 1997. Le dénombrement des éléments parasitaires: Un outil pour l'étude de la résistance génétique aux endo-parasites chez les petits ruminants Workshop final de l'ATP CIRAD-MIPA 72/94, Guadeloupe, France.

Bagnicka, E., E. Wallin, M. Lukaszewicz, and T. Adnoy. 2007. Heritability for reproduction traits in Polish and Norwegian populations of dairy goat. Small Rumin. Res. 68:256–262.

Baker, R. L., J. O. Audho, E. O. Aduda, and W. Thorpe. 2001. Genetic resistance to gastro-intestinal nematode parasites in Galla and Small East African goats in the sub-humid tropics. Anim. Sci. 73:61–70.

Bambou, J. C., E. Gonzalez-Garcia, C. de la Chevrotiere, R. Arquet, N. Vachiery, and N. Mandonnet. 2009. Peripheral immune response in resistant and susceptible Creole kids experimentally infected with *Haemonchus contortus*. Small Rumin. Res. 82:34–39.

Boichard, D., and E. Manfredi. 1994. Genetic-analysis of conception rate in French Holstein cattle. Acta Agriculturae Scandinavica Section A Anim. Sci. 44:138–145.

Bosso, N. A., M. F. Cisse, E. H. Van der Waaij, A. Fall, and J. A. M. van Arendonk. 2007. Genetic and phenotypic parameters of body weight in West African Dwarf goat and Djallonke sheep. Small Rumin. Res. 67:271–278.

Chevalier, M. 2001. Restauration de la sensibilité au Levamisole de *Trichostrongylus colubriformis* par substitution de population parasitaire dans un élevage caprin de Guadeloupe F.W.I. Thèse pour le diplôme d'Etat de Docteur Vétérinaire, Ecole Nationale Vétérinaire de Nantes, France.

Constantinou, A. 1989. Genetic and environmental relationships of body weight milk yield and litter size in Damascus goats. Small Rumin. Res. 2:163–174.

David, I., J. M. Astruc, G. Lagriffoul, E. Manfredi, C. Robert-Granie, and L. Bodin. 2008. Genetic correlation between female fertility and milk yield in Lacaune sheep. J. Dairy Sci. 91:4047–4052.

Dickson-Urdaneta, L., G. Torres-Hernandez, C. Becerril-Perez, F. Gonzalez-Cossio, M. Osorio-Arce, and O. Garcia-Betancourt. 2000. Comparison of Alpine and Nubian goats for some reproductive traits under dry tropical conditions. Small Rumin. Res. 36:91–95.

Donaldson, J., M. F. J. van Houtert, and A. R. Sykes. 1998. The effect of nutrition on the periparturient parasite status of mature ewes. Anim. Sci. 67:523–533.

FAO. 2007. Global Plan of Action for Animal Genetic Resources and the Interlaken Declaration. Accessed Dec. 10, 2010. http://www.fao.org/docrep/010/a1404e/a1404e00.htm.

Fogarty, N. M., L. D. Brash, and A. R. Gilmour. 1994. Genetic-parameters for reproduction and lamb production and their components and liveweight, fat depth and wool production in Hyfer sheep. Aust. J. Agric. Res. 45:443–457.

Gianola, D., and J. L. Foulley. 1983. Sire evaluation for ordered categorical-data with a threshold-model. Genet. Sel. Evol. 15:201–223.

Gilmour, A. R., B. J. Gogel, B. R. Cullis, and R. Thompson. 2006. ASReml User Guide Release 2.0. VSN International Ltd., Hemel Hempstead, UK.

Gunia, M., N. Mandonnet, R. Arquet, C. de la Chevrotière, M. Naves, M. Mahieu, and G. Alexandre., 2010. Production systems of Creole goat and their implications for a breeding programme. Animal 4:2099–2115.

Hanford, K. J., L. D. Van Vleck, and G. D. Snowder. 2002. Estimates of genetic parameters and genetic change for reproduction, weight, and wool characteristics of Columbia sheep. J. Anim. Sci. 80:3086–3098.

Hanford, K. J., L. D. Van Vleck, and G. D. Snowder. 2003. Estimates of genetic parameters and genetic change for reproduction, weight, and wool characteristics of Targhee sheep. J. Anim. Sci. 81:630–640.

Hanford, K. J., L. D. Van Vleck, and G. D. Snowder. 2005. Estimates of genetic parameters and genetic change for reproduction, weight, and wool characteristics of Rambouillet sheep. Small Rumin. Res. 57:175–186.

Hanford, K. J., L. D. Van Vleck, and G. D. Snowder. 2006. Estimates of genetic parameters and genetic trend for reproduction, weight, and wool characteristics of Polypay sheep. Livest. Sci. 102:72–82.

Kadarmideen, H. N., R. Thompson, M. P. Coffey, and M. A. Kossaibati. 2003. Genetic parameters and evaluations from single- and multiple-trait analysis of dairy cow fertility and milk production. Livest. Prod. Sci. 81:183–195.

Downloaded from jas.fass.org at INRA Institut National de la Recherche Agronomique on November 23, 2011

Koots, K. R., and J. P. Gibson. 1996. Realized sampling variances of estimates of genetic parameters and the difference between genetic and phenotypic correlations. Genetics 143:1409–1416.

Mahieu, M., R. Arquet, T. Kandassamy, N. Mandonnet, and H. Hoste. 2007. Evaluation of targeted drenching using Famacha method in Creole goat: Reduction of anthelmintic use, and effects on kid production and pasture contamination. Vet. Parasitol. 146:135–147.

Mandal, A., F. W. C. Neser, P. K. Rout, R. Roy, and D. R. Notter. 2006. Estimation of direct and maternal (co)variance components for pre-weaning growth traits in Muzaffarnagari sheep. Livest. Sci. 99:79–89.

Mandal, A., and D. K. Sharma. 2008. Inheritance of faecal nematode egg count in Barbari goats following natural *Haemonchus contortus* infection. Vet. Parasitol. 155:89–94.

Mandonnet, N., G. Aumont, J. Fleury, R. Arquet, H. Varo, L. Gruner, J. Bouix, and J. V. T. Khang. 2001. Assessment of genetic variability of resistance to gastrointestinal nematode parasites in Creole goats in the humid tropics. J. Anim. Sci. 79:1706–1712.

Mandonnet, N., M. Bachand, M. Mahieu, R. Arquet, F. Baudron, L. Abinne-Molza, H. Varo, and G. Aumont. 2005. Impact on productivity of peri-parturient rise in fecal egg counts in Creole goats in the humid tropics. Vet. Parasitol. 134:249–259.

Mandonnet, N., A. Menendez-Buxadera, R. Arquet, M. Mahieu, M. Bachand, and G. Aumont. 2006. Genetic variability in resistance to gastro-intestinal strongyles during early lactation in Creole goats. Anim. Sci. 82:283–287.

Matos, C. A. P., D. L. Thomas, D. Gianola, M. Perez-Enciso, and L. D. Young. 1997. Genetic analysis of discrete reproductive traits in sheep using linear and nonlinear models. 2. Goodness of fit and predictive ability. J. Anim. Sci. 75:88–94.

Mellado, M., L. Olivares, R. Lopez, and J. Mellado. 2005. Influence of lactation, liveweight and lipid reserves at mating on reproductive performance of grazing goats. J. Anim. Vet. Adv. 4:420–423.

Mirkena, T., G. Duguma, A. Haile, M. Tibbo, A. M. Okeyo, M. Wurzinger, and J. Solkner. 2010. Genetics of adaptation in domestic farm animals: A review. Livest. Sci. 132:1–12.

Morris, C. A., M. Wheeler, B. C. Hosking, T. G. Watson, A. P. Hurford, B. J. Foote, and J. F. Foote. 1997. Genetic parameters for milk yield and faecal nematode egg count in Saanen does. N. Z. J. Agric. Res. 40:523–528.

Mourad, M. 1994. Estimation of genetic and phenotypic parameters of some reproductive traits of African common goats in Rwanda. Small Rumin. Res. 15:67–71.

Naves, M., A. Menendez Buxadera, G. Alexandre, and N. Mandonnet. 2001. Etude comparative sur la méthodologie d'estimation des poids à âges types avant sevrage appliquée aux caprins Créoles producteurs de viande. Rev. Elev. Med. Vet. Pays Trop. 54:81–87.

Olesen, I., M. Perez-Enciso, D. Gianola, and D. L. Thomas. 1994. A comparison of normal and nonnormal mixed models for number of lambs born in Norwegian sheep. J. Anim. Sci. 72:1166–1173.

Phocas, F., and J. Sapa. 2004. Genetic parameters for growth, reproductive performance, calving ease and suckling performance in beef cattle heifers. Anim. Sci. 79:41–48.

Portolano, B., M. Todaro, R. Finocchiaro, and J. van Kaam. 2002. Estimation of the genetic and phenotypic variance of several growth traits of the Sicilian Girgentana goat. Small Rumin. Res. 45:247–253.

Rabasa, A. E., J. L. Fernández, and S. A. Saldaño. 2001. Reproductive parameters of a goat flock under traditional management in Rio Hondo department (Santiago del Estero–Argentina). Zootecnia Tropical 19:81–87.

Safari, E., N. M. Fogarty, and A. R. Gilmour. 2005. A review of genetic parameter estimates for wool, growth, meat and reproduction traits in sheep. Livest. Prod. Sci. 92:271–289.

Safari, E., N. M. Fogarty, A. R. Gilmour, K. D. Atkins, S. I. Mortimer, A. A. Swan, F. D. Brien, J. C. Greeff, and J. H. J. van der Werf. 2007. Genetic correlations among and between wool, growth and reproduction traits in Merino sheep. J. Anim. Breed. Genet. 124:65–72.

Schoeman, S. J., J. F. Els, and M. M. van Niekerk. 1997. Variance components of early growth traits in the Boer goat. Small Rumin. Res. 26:15–20.

Shaat, I., and A. Maki-Tanila. 2009. Variation in direct and maternal genetic effects for meat production traits in Egyptian Zaraibi goats. J. Anim. Breed. Genet. 126:198–208.

Shrestha, J. N. B., and M. H. Fahmy. 2007. Breeding goats for meat production 3. Selection and breeding strategies. Small Rumin. Res. 67:113–125.

Urioste, J. I., I. Misztal, and J. K. Bertrand. 2007. Fertility traits in spring-calving Aberdeen Angus cattle. 1. Model development and genetic parameters. J. Anim. Sci. 85:2854–2860.

Valderrábano, J., C. Gomez-Rincon, and J. Uriarte. 2006. Effect of nutritional status and fat reserves on the periparturient immune response to *Haemonchus contortus* infection in sheep. Vet. Parasitol. 141:122–131.

Vanimisetti, H. B., S. L. Andrew, A. M. Zajac, and D. R. Notter. 2004. Inheritance of fecal egg count and packed cell volume and their relationship with production traits in sheep infected with *Haemonchus contortus*. J. Anim. Sci. 82:1602–1611.

Weller, J. I., and M. Ron. 1992. Genetic-analysis of fertility traits in Israeli Holsteins by linear and threshold models. J. Dairy Sci. 75:2541–2548.

Zhang, C. Y., S. L. Chen, X. Li, D. Q. Xu, Y. Zhang, and L. G. Yang. 2009. Genetic and phenotypic parameter estimates for reproduction traits in the Boer dam. Livest. Sci. 125:60–65.

Downloaded from jas.fass.org at INRA Institut National de la Recherche Agronomique on November 23, 2011

ARTICLE 4 : OPTIMISATION D'UN PROGRAMME DE SELECTION

Soumis à Journal of Animal Science

I Introduction et objectifs

Dans cet article, nous avons utilisé les résultats des articles 2 et 3 précédents pour prédire les réponses à la sélection attendues dans le noyau de sélection, en se basant sur une organisation réaliste de ce noyau constitué par un troupeau de 300 chèvres mères avec un mâle accouplé à 15 femelles. Cet article s'intéresse plus particulièrement à la meilleure façon de considérer les caractères de résistance et de résilience au parasitisme dans le programme de sélection. La réponse globale à la sélection est comparée en testant l'inclusion de ces caractères dans l'objectif de sélection, et en étudiant aussi l'importance de la mesure de ces caractères dans l'index de sélection.

II Résumé de l'article

Etude par simulation de la sélection sur la résistance et la résilience au parasitisme chez la chèvre Créole

La chèvre Créole est une race locale utilisée pour la production de viande en Guadeloupe (Antilles françaises). Comme dans d'autres pays tropicaux, la résistance au parasitisme doit être améliorée.

Dans cette étude, nous avons comparé les réponses à la sélection attendues pour différents objectifs de sélection, incluant ou non des caractères de résistance ou résilience au parasitisme. L'objectif de sélection le plus complet incluait deux caractères de production (le poids vif et le rendement carcasse à 11 mois), un caractère de reproduction (la fertilité), un caractère de résistance (l'excrétion d'œufs par gramme de fèces, OPG), et un caractère de résilience (l'hématocrite).

Cet objectif de sélection donnait une réponse à la sélection attendue annuelle de 800 g pour le poids vif, 3,75% pour la fertilité, 0,08% pour le rendement carcasse, -0,005 ln(œufs/g) pour l'OPG et 0,28% pour l'hématocrite. Cet objectif de sélection offrait la meilleure stratégie en terme de réponse à la sélection attendue pour l'ensemble des caractères ; les réponses sont

réduites de seulement 2% pour le poids vif et 6% pour le rendement carcasse, comparées à celles obtenues en considérant un objectif de sélection sans OPG et hématocrite.

Le programme de sélection proposé pour la chèvre Créole offre un bon équilibre entre amélioration des caractères de production et d'adaptation. Un tel programme peut être intéressant pour la sélection d'autres races caprines en régions chaudes.

III Points-clé

Tableau 5 : Réponse à la sélection prédite obtenue pour un objectif de sélection et un index incluant le poids à 11 mois, la fertilité, le rendement carcasse, l'hématocrite et l'OPG à 11 mois (« Hcombined » dans l'article).

Caractères	Réponse annuelle à la sélection		
	en unité du caractère	en % de la moyenne du caractère	en écart-type génétique
Poids à 11 mois (kg)	0,798	4,5%	0,42
Fertilité (%)	3,753	4,5%	0,31
Rendement carcasse (%)	0,075	0,2%	0,06
Hématocrite (%)	0,276	1,1%	0,17
OPG (ln oeufs par g)	-0,005	-0,1%	-0,01
Prolificité (chevreaux)	0,021	1,0%	0,09

- **La réponse à la sélection la plus importante (en pourcentage de la moyenne du caractère et en écart type génétique) est obtenue pour le poids à 11 mois et la fertilité.**

- **Caractères de production, reproduction et adaptation peuvent être améliorés simultanément tout en maximisant la réponse attendue sur la marge brute des éleveurs.**

- **L'OPG doit être mesuré pour éviter de détériorer ce caractère.**

Breeding for resistance and resilience to parasites in the Creole goat: a simulation study[2,3]

M. Gunia,* F.Phocas,† J-L.Gourdine,* P. Bijma,‡ and N. Mandonnet *[4]

* INRA UR 143, French National Institute for Agricultural Research, Tropical Animal Science Unit, 97170 Petit-Bourg, Guadeloupe, F.W.I.;
†INRA UMR 1313, French National Institute for Agricultural Research, Animal Genetics and Integrative Biology, 78352 Jouy-en-Josas, France;
and ‡Animal Breeding and Genetics Group, Wageningen University, 6709PG Wageningen, The Netherlands

ABSTRACT : The Creole goat is a local breed used for meat production in Guadeloupe (French West Indies). As in other tropical countries, improvement of parasite resistance is needed. In this study, we compared predicted selection responses for alternative breeding goals, including or not parasites resistance and resilience traits. The overall breeding goal included two production traits: BW and dressing percentage (DP) at 11 mo of age, a reproduction trait: fertility (FER), a parasite resistance trait: worm fecal egg count (FEC), and a resilience trait: packed cell volume (PCV). The overall breeding goal gave an annual selection response of 800 g for BW, 3.75% for FER, 0.08% for DP, -0.005 log(eggs/g) for FEC, and 0.28% for PCV. This breeding goal offers the best breeding strategy in terms of expected selection responses, with only a 2% reduction in BW and 6% reduction in DP compared to a breeding goal without FEC and PCV. The breeding program proposed for the Creole breed offers a good balance between production and adaptation traits and may present some interest for the selection of other goat breeds in the tropics.

Keywords: goat, parasite, resilience, resistance, selection

---

[2] We gratefully acknowledge the financial support of the Guadeloupe Region and the European Union social funds. We also wish to thank Cabricoop board and technicians for their advice and Yanavy Suos for the English corrections.
[3] Disclaimer: The views expressed in this publication are the sole responsibility of the authors. The information in this document is provided as is and no guarantee or warranty is given that the information is fit for any particular purpose. The user thereof uses the information at its sole risk and liability.
[4] Corresponding author : Nathalie.Mandonnet@antilles.inra.fr

INTRODUCTION

In tropical countries, the high prevalence of gastro-intestinal parasites in sheep and goat has strong consequences on animal production and welfare. Parasites are responsible for higher mortality and delayed growth. To control parasite infection, anthelmintic products have been widely used during the last 40 yr, leading to the development of parasite strains resistant to these products (Kaplan, 2004). Alternative methods have been discussed to reduce the use of anthelmintics (Jackson and Miller, 2006), such as optimized nutrition, use of targeted selective treatment strategies and grazing management. Selection of small ruminants based on their improved resistance against parasites is one of these methods (Eady et al., 2003). Genetic selection results in long-lasting, steady and regular improvement. As in any tropical country, improvement of parasite resistance in the Creole goat breed is needed in Guadeloupe (F.W.I, latitude 16°N, longitude 61°W). This local breed, used for meat production, is reared on pasture where it is naturally infected by gastro-intestinal nematodes. Their prevalence reaches 80 to 100% and they are responsible for 80% of pre-weaning mortality (Aumont et al., 1997).

Resistance and resilience are two protection mechanisms against gastro-intestinal nematodes. Resistance is the ability to resist parasite infections by suppressing their establishment, controlling their number and regulating their life cycle. Resilience is the ability to tolerate parasites without developing clinical signs. Resilient animals maintain their performance under parasite challenge (Bisset and Morris, 1996).

Recently, a farmer association, extension services, and the Research Institute in Guadeloupe have collaborated to implement a breeding program for Creole goat. The breeding goal for Creole goat has already been derived (Gunia et al., 2012), with some uncertainty around the economic values of the resistance and resilience traits. In this study, we used deterministic prediction to compare selection responses for breeding goals integrating parasite resilience and resilience in different ways.

MATERIALS AND METHODS

Animal Care and Use Committee approval did not need to be obtained for this study as no animal was used.

Creole Goat Breeding Goal

Description of the Traits in the Breeding Program. The most complete breeding goal included production, reproduction and parasite resilience and resistance traits. The production traits were BW and dressing percentage (DP) at 11 mo of age (which is the mating or selling age). Reproduction trait was fertility (FER), which is the number of doe kiddings per mating. The resilience trait was the packed cell volume (PCV) of does, which is the measurement of the volume of red cells in the blood used to diagnose anemia caused by hematophagous parasites such as *Haemonchus contortus*. The resistance trait was the worm fecal eggs count (FEC) at 11 mo of age, which is a measurement of the number of gastro-intestinal parasite eggs found in the feces. The economic values of these traits have previously been derived (Gunia et al., 2012).

Whatever the breeding goal is, we analyzed the indirect expected selection response in litter size (LS), although this trait was not included in either the breeding goal or the selection index. No selection pressure was put on this trait because farmers were satisfied with the present level of LS (M. Gunia, unpublished data). However, we studied the expected selection response in this trait to assess its expected genetic trend, a biological and economical optimum value being hypothesized for this trait.

Alternative Breeding Goals. In this study, we compare expected selection responses for alternative breeding goals including resistance or resilience traits in different ways.

The "Hbase" breeding goal was:

$$Hbase = 7.69 \times A_{BW} + 1.38 \times A_{FER} + 3.53 \times A_{DP}$$

The "Hresilience" breeding goal was:

$$Hresilience = 7.69 \times A_{BW} + 1.38 \times A_{FER} + 3.53 \times A_{DP} + 3 \times 10^{-4} \times A_{PCV}$$

The "Hresistance" breeding goal was:

$$Hresistance = 7.69 \times A_{BW} + 1.38 \times A_{FER} + 3.53 \times A_{DP} - 18.85 \times A_{FEC}$$

The "Hcombined" breeding goal, that included resistance and resilience traits, was:

$$Hcombined = 7.69 \times A_{BW} + 1.38 \times A_{FER} + 3.53 \times A_{DP} + 3 \times 10^{-4} \times A_{PCV} - 18.85 \times A_{FEC}$$

with A_x denoting the true breeding value for trait X. The trait BW was expressed in kg, FER in %, DP in %, PCV in %, and FEC in log(eggs/g). The corresponding economic weights were given in euros per physical unit of the traits.

All traits in the considered breeding goals were recorded and included in the selection index unless stated otherwise. We studied the indirect expected selection response for traits excluded from the breeding goal, as for instance responses in PCV and FEC when selection

occurred for Hbase. Furthermore, the economic values of PCV and FEC being uncertain, we tested the sensitivity of the selection responses to changes of these economic values in the Hcombined breeding goal.

Additionally, we calculated the contribution r^2_x of each trait X to the genetic variance σ^2_H of the breeding goal H:

$$r_X^2 = \frac{EV_X^2 \times \sigma_{aX}^2}{\sigma_H^2}$$

with with EVx being the economic value of the trait X and σ^2_{ax} its genetic variance.

We also calculated the correlations between breeding goals:

$$Correlation(H_i, H_j) = \frac{EV_i^T \times Var(A_{i,j}) \times EV_j}{\sqrt{\sigma_{Hi}^2 \times \sigma_{H_j}^2}}$$

with **EVi** being the vector of economic values of the breeding goal Hi, $\mathbf{EVi}^T$ the transpose of this vector, Var($\mathbf{A}_{i,j}$) the genetic variance-covariance matrix of the traits in the breeding goals Hi and Hj, and σ^2_{Hi} the variance of the breeding goal.

Simulation Program

We used the deterministic simulation program SelAction (Rutten et al., 2002) to compare the expected selection responses of the different breeding goals. SelAction predicts selection response on pseudo-BLUP estimated breeding values and accounts for the reduction of variance due to selection (Bulmer, 1971). The program assumed random mating of the selected animals. In our study, we used SelAction with its option of overlapping generations and truncation selection.

Description of the Selection Nucleus

Organization of the Selection Nucleus. We are describing how the breeding program of Creole goat in Guadeloupe will be set up in the near future. The selection nucleus will be a dispersed nucleus, composed of different herds from about 5 motivated farmers registered in the Cabricoop breeder association. They own large herds of Creole goats and will participate in the breeding program. The total number of does will be about 300. As no performance recording would occur in the rest of the Creole goat population in the near future, we assumed that the nucleus will be closed. The best animals produced in the nucleus will be used for the

renewal of the nucleus, whereas the other animals will either be culled or sold to other farmers (females for crossbreeding with bucks of specialized meat breeds such as Boer, males for pure breeding).

Reproduction in the Nucleus. First mating takes place at 11 mo. Only natural mating occurs, with a doe to buck ratio of 15 to 1. Does are mated every 8 mo (5 mo of pregnancy and 3 mo of suckling), giving 3 litters into 2 yr. Hence, every 8 mo, a doe produce 1.6 kids that reach 11 mo. The number of kids was based on the following parameters: conception rate of 82%, litter size at birth of 2.3 kids, pre-weaning mortality of 18%, mortality between weaning and 11 mo of age of 14%. An equal number of males and females was assumed to be born per litter (Gunia et al., 2012).

Nucleus Demography. The demography of the nucleus herd is shown in Figure 1. The 300 does in the nucleus were divided into 7 age classes. There was 11% mortality between each age class. The 20 bucks in the nucleus were divided into 3 age classes. An age class was 8 mo (interval between two kiddings). Every 8 mo, 6 bucks out of 20 and 90 does out of 300 in the nucleus were selected as parent of the next generation to renew the nucleus herd. They produced 60 young males and 60 young females. All the 60 females were integrated in the nucleus herd. Among the 60 young males, only 7 of them were selected to join the nucleus herd. There were hence 1 selection stage for females and 2 for males. These assumptions resulted in an average generation interval of 21 mo. For SelAction, the 2 selection stages for males could not be modeled directly with the overlapping generation option. SelAction only considers selection of the parents in the nucleus herd. Therefore, in the program, these 2 selection steps were combined into 1 and SelAction chose the 6 bucks selected as parents among 180 bucks in the nucleus herd (60 bucks per age class).

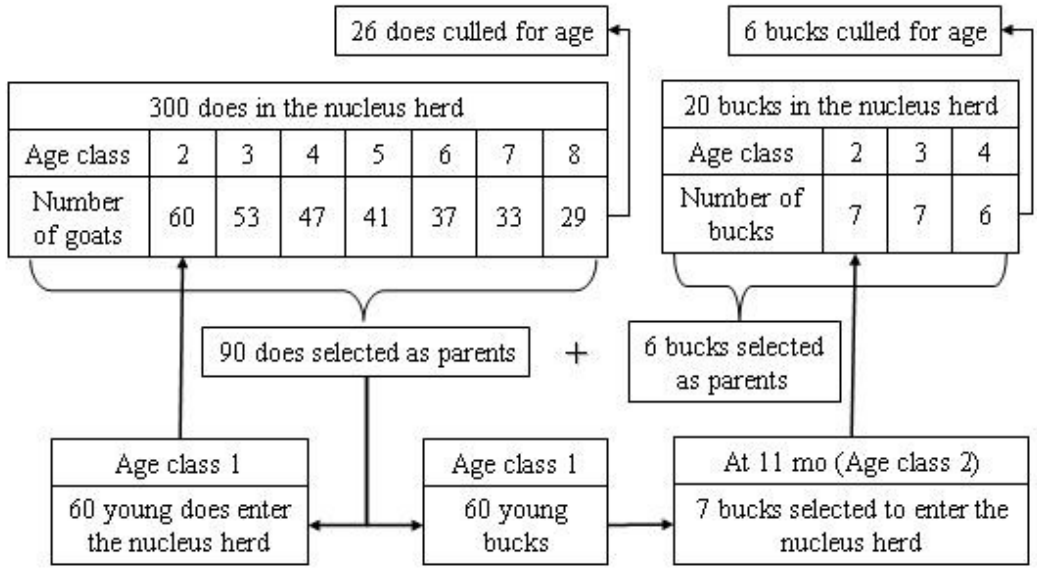


Figure 1. Dynamic and flock composition of the Creole nucleus herd for 8 mo.

Information Sources. At 11 mo of age (age class 2), BW was recorded on all animals, FEC on males only and DP on 50% of the unselected male half-sibs of the selection candidates. After delivery, at 16 mo of age (age class 3), FER and PCV were recorded on all females in the nucleus herd. BLUP information was available for all selection candidates on all traits and in all age classes.

Genetic and Phenotypic Parameters.

Original Set of Correlations. The full set of correlation, means, SD and heritability estimates used in this study (Table 1 and Table 2) came from different sources. Gunia et al. (2011) derived the genetic and phenotypic parameters of BW, FER, LS, PCV, and FEC in the Creole goat. Literature provided estimates of the parameters derived for DP in sheep breeds, because no estimates in goat breeds were found. Heritability of DP was the mean of estimates given by Safari and Forgarty (2003), Greef et al. (2008), and Ermias et al. (2006). The genetic variance of DP as well as the genetic and phenotypic correlations between BW and DP came from Greef et al. (2008). The genetic and phenotypic correlations between LS and DP were given by Safari et al. (2008). We did not find any estimates of the correlations between FER and DP, FEC and DP, and PCV and DP in the literature. We therefore assumed that the correlations between FER and DP were equal to the correlations between the number of lambs born per ewe joined and DP as given by Safari et al. (2008). For the correlations of DP with FEC or PCV, we applied the following hypotheses:

Correlation FEC-DP ≈ (correlation FEC-BW) × (correlation BW-DP)

Correlation PCV-DP ≈ (correlation PCV-BW) × (correlation BW-DP)

In both cases, the phenotypic and genetic correlations estimates were close to zero (< 0.05). We therefore set them to 0. The genetic and phenotypic (co)variances matrices were checked to ensure that they were positive definite, meaning all the eigen values were above 0.

Table 1. Traits involved in Creole goat breeding program and their parameters[1]

Trait	Abbreviation	Means	Phenotypic SD	Genetic SD
BW at 11 mo, kg	BW	17.91	3.35	1.89
Fertility, %	FER	82.90	37.50	12.25
Dressing percentage at 11 mo, %	DP	40.00	2.09	1.23
Packed Cell Volume, %	PCV	24.13	4.48	1.60
Fecal Egg Count at 11 mo, log(eggs/g)	FEC	6.35	0.88	0.38
Litter Size, kids	LS	2.14	0.67	0.23

[1]Parameters were derived for Creole goat breed for all traits except DP. Standard-deviations of DP were given for sheep breeds in the literature.

Table 2. Genetic correlations (above the diagonal), phenotypic correlations (below the diagonal), heritability estimates[1] (on the diagonal) for traits[2] involved in the Creole goat breeding program

Trait	BW	FER	DP	PCV	FEC	LS
BW	**0.32 ± 0.03**	0.65 ± 0.09	0.16	0.29 ± 0.15	0.10 ± 0.12	0.23± 0.09
FER	0.18 ± 0.04	**0.11 ± 0.02**	-0.15	0.45 ± 0.24	0.01 ± 0.17	0.25 ± 0.15
DP	0.03	-0.02	**0.34**	0.00	0.00	-0.11
PCV	-0.10 ± 0.05	-0.24 ± 0.04	0.00	**0.13 ± 0.05**	-0.21 ± 0.22	-0.10 ± 0.22
FEC	-0.12 ± 0.02	-0.01 ± 0.07	0.00	-0.07 ± 0.11	**0.18 ± 0.04**	0.05 ± 0.15
LS	0.22 ± 0.03	0.10 ± 0.02	-0.02	-0.13 ± 0.03	0.04 ± 0.08	**0.11 ± 0.02**

[1]Parameters were derived for Creole goat breed for all traits except DP. Heritability and correlations estimates for DP were derived for sheep breeds in the literature.

[2]BW = BW at 11 mo (kg), FER= Fertility (%), DP = dressing percentage at 11 mo (%), PCV =Packed Cell Volume (%), FEC= Fecal Egg Count at 11 mo (log (eggs/g)), LS = Litter Size (kids).

Sensitivity Analysis of the Genetic Correlations. We performed a sensitivity analysis of some key genetic correlations: PCV-FEC, BW-PCV, BW-FEC, DP-PCV, DP-FEC in the Hcombined breeding goal. We chose to test these correlations either because of their importance for the selection responses in PCV or FEC, or because of their uncertainty (correlations with DP). We made each genetic correlation vary from -2 SE to +2 SE around its initial estimate while keeping the other correlations at a constant value. Since the SE of the correlations between DP and the other traits were not available, we made these correlations vary from -0.5 to +0.5. The new genetic variance-covariance matrices obtained were checked to ensure that they were positive definite. Whenever this was not the case, selection responses were not calculated.

RESULTS

Comparison of Breeding Goals.

We compared the economic responses of alternative breeding goals. The breeding goals were highly correlated (Table 3). The inclusion of PCV in the breeding goal did not change the variance of the breeding goal, due to the very low economic value of PCV. Therefore, all breeding goals globally showed similar expected selection responses (Table 4). The highest economic response based on Hbase occurred in the Hresilience scenario, due to the favorable genetic correlations of PCV with BW and FER. The highest economic response based on Hcombined logically occurred in the Hcombined scenario. Calculation of r^2 of each trait enabled the comparison of the proportion of variance explained by the trait in the breeding goals. For all breeding goals, we obtained similar r^2 with 33% for FER, 25% for BW, 6% for FEC, 2% for DP and 0% for PCV. These results clearly show that FER and BW dominate the breeding goals. They obtained the greatest genetic gains for traits standardized per genetic standard deviation (Figure 2) with about 800 g per yr for BW and 3.7% per yr for FER. Expected selection response for DP and LS was always positive.

We also value individual responses for PCV and FEC because of the uncertainty around the calculation of the economic values of these traits. The alternative breeding goals being very close, we prefer to select on a breeding goal that ensures favorable selection responses in both resistance and resilience traits. The expected selection response for PCV was always positive. However, differences in the direction of selection response were observed for FEC according to the breeding design. These results clearly show that FEC should be taken into

account both in the breeding goal and in the selection index in order to be improved, i.e. to obtain a decrease in FEC. The need to record FEC may be explained by the unfavorable positive genetic correlation between FEC and BW and the low genetic correlations between FEC and the other traits.

In light of these results, the Hcombined breeding goal linked to a selection index including both PCV and FEC appears to be the best breeding strategy. This scenario improves both parasite resistance and resilience. Compared to the Hbase breeding goal, expected selection response is increased by 2% for FER and lowered by only 2% for BW and 6% for DP. Therefore, the economic selection response for Hbase traits is only lowered by 0.3% in the Hcombined scenario, meaning that optimal selection on Hcombined gave almost the same economic response in the Hbase aggregate genotype than direct selection on Hbase.

Table 3. Correlations between the alternative breeding goals[1] for the Creole goat breed

	Hcombined	Hresilience	Hresistance
Hbase	0.97	1.00	0.97
Hcombined		0.97	1.00
Hresilience			0.97

[1]Hbase = breeding goal including BW, Fertility, and Dressing Percentage. Hcombined = Hbase + Packed Cell Volume + Fecal Egg Count. Hresilience = Hbase + Packed Cell Volume. Hresistance = Hbase + Fecal Egg Count.

Table 4. Expected selection responses in the nucleus herd of Creole goat for alternative breeding goals

Trait[1]	Breeding goal				
	Hbase[2]	Hcombined PCV and FEC not recorded	Hcombined	Hresilience	Hresistance
Expected selection response and correlated response per yr in trait unit					
BW	0.816	0.816	0.798	0.818	0.798
FER	3.668	3.674	3.753	3.783	3.630
DP	0.080	0.080	0.075	0.077	0.078
PCV	0.215	0.215	0.276	0.258	0.230
FEC	0.015	0.015	-0.005	0.014	-0.003
LS	0.023	0.023	0.021	0.021	0.023
Expected selection response per yr in economic units (€)					
For Hbase	11.617	11.625	11.581	11.777	11.421
For Hcombined	11.334	11.342	11.665	11.523	11.478

[1]BW = BW at 11 mo (kg), FER = Fertility (%), DP = dressing percentage at 11 mo (%), PCV =Packed Cell Volume (%), FEC = Fecal Egg Count at 11 mo (log (eggs/g)), LS = Litter Size (kids).

[2]Hbase = breeding goal including BW, FER, DP. Hcombined = Hbase + PCV + FEC. Hresilience = Hbase + PCV. Hresistance = Hbase + FEC.

Changing Weight on PCV or FEC.

We tested the sensitivity of the selection responses to changes in PCV or FEC economic values in the Hcombined breeding goal. Changing the weight on PCV (Figure 2) had more consequences on BW, FER, and FEC selection responses than on DP and LS selection responses, due to the difference in magnitude of the genetic correlations of these traits with PCV. Selection responses on BW, FER and PCV collapsed and selection response for FEC rose when considering low economic value on PCV. The maximum expected selection response for all traits (except PCV) occurred when the economic value of PCV was close to 0. A high positive weight on PCV was favorable for PCV and FEC but unfavorable for BW, FER, and DP.

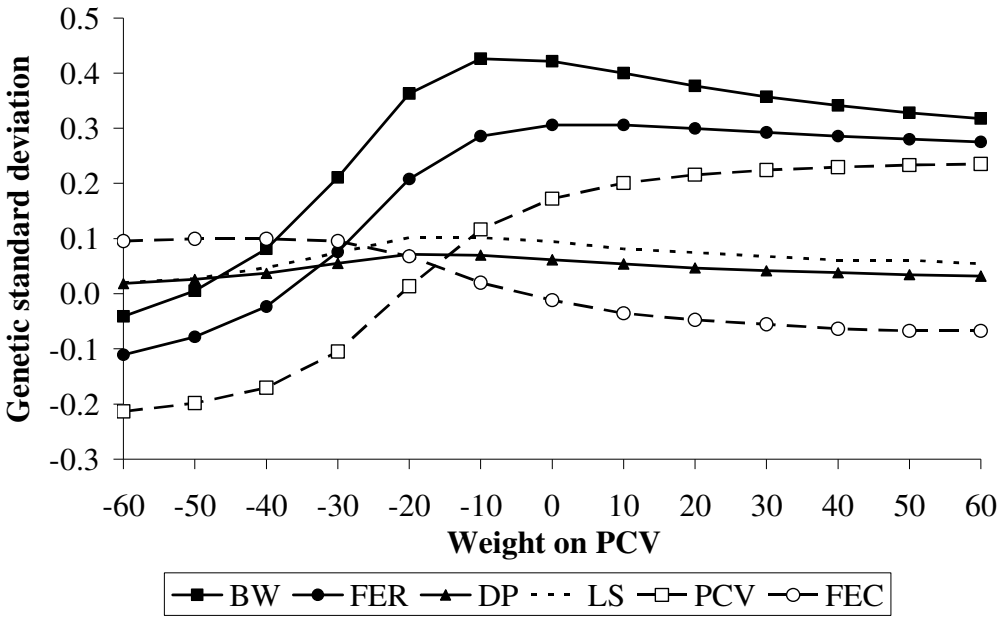


Figure 2. Expected selection responses in genetic SD according to the weight of PCV in the Hcombined breeding goal. Hcombined = $7.69 \times A_{BW} + 1.38 \times A_{FER} + 3.53 \times A_{DP} + 3 \times 10^{-4} \times A_{PCV} - 18.85 \times A_{FEC}$ where A is the true breeding value, FER = Fertility, DP = dressing percentage, LS = litter size, PCV = packed cell volume, FEC = fecal egg count.

Changing the weight on FEC in the Hcombined scenario (Figure 3) had more consequences on BW, FER, and PCV selection responses than on DP and LS. High negative weight on FEC had favorable consequences on FEC and PCV selection responses, whereas selection responses for the other traits dropped. The optimal response for all traits except FEC occurred when the economic value of FEC was close to 0. However, a weight of 0 on FEC led to an unfavorable rise in selection response for this trait. The original economic value of -18.85 had the advantage of improving FEC with almost no decrease in expected selection responses on the other traits.

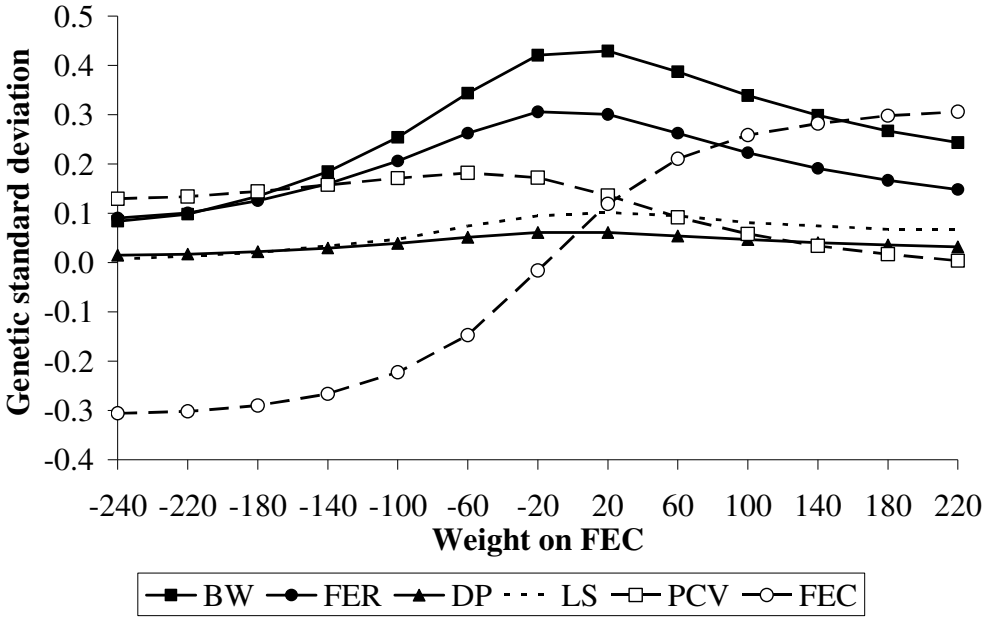


Figure 3. Expected selection responses in genetic SD according to the weight of FEC in the Hcombined breeding goal. Hcombined = $7.69 \times A_{BW} + 1.38 \times A_{FER} + 3.53 \times A_{DP} + 3 \times 10^{-4} \times A_{PCV} - 18.85 \times A_{FEC}$ where A is the true breeding value, FER = Fertility, DP = dressing percentage, LS = litter size, PCV = packed cell volume, FEC = fecal egg count.

Given the nature of these results, it would appear that the initial estimates of economic values of 3 x 10^{-4} for PCV and -18.85 for FEC were close to the optimum in terms of selection responses for all traits. Using these economic values resulted in favorable selection response for FEC and PCV with little loss in selection responses for BW, FER and LS.

Sensitivity Analysis of the Genetic Correlations

Genetic Correlation between PCV and FEC. The genetic correlation estimated between PCV and FEC was -0.21, with a SE of 0.22. The sensitivity analysis of this correlation in Hcombined scenario (Figure 4) showed very little changes in expected selection responses. The expected selection response for FEC varied less than 0.02 genetic SD. The expected selection response for PCV varied less than 0.05 genetic SD. The most favorable selection responses occurred when considering the lowest genetic correlation between PCV and FEC.

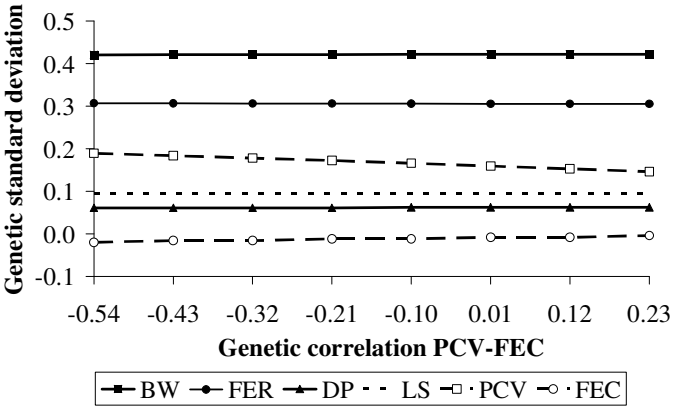


Figure 4. Expected selection responses in genetic SD according to the genetic correlation between PCV and FEC in the Hcombined breeding goal. Hcombined = $7.69 \times A_{BW} + 1.38 \times A_{FER} + 3.53 \times A_{DP} + 3 \times 10^{-4} \times A_{PCV} - 18.85 \times A_{FEC}$ where A is the true breeding value, FER = Fertility, DP = dressing percentage, LS = litter size, PCV = packed cell volume, FEC = fecal egg count.

Genetic Correlations between BW and PCV or FEC. We analyzed the sensitivity of these two correlations in the Hcombined scenario. The correlation estimated between BW and PCV was 0.29, with a SE of 0.15. Selection response was very stable for all traits except PCV (Figure 5). Expected selection response for PCV varied by 0.23 SD but always remained positive. A high correlation between BW and PCV gave a better selection response for PCV.

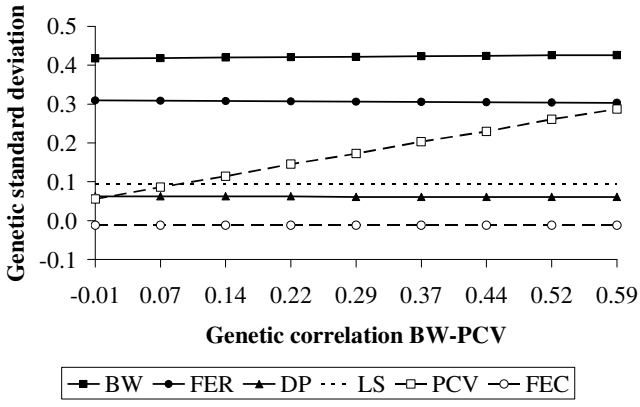


Figure 5. Expected selection responses in genetic SD according to the genetic correlation between BW and PCV in the Hcombined breeding goal. Hcombined = $7.69 \times A_{BW} + 1.38 \times A_{FER} + 3.53 \times A_{DP} + 3 \times 10^{-4} \times A_{PCV} - 18.85 \times A_{FEC}$ where A is the true breeding value, FER = Fertility, DP = dressing percentage, LS = litter size, PCV = packed cell volume, FEC = fecal egg count.

The correlation estimated between BW and FEC was 0.10, with a SE of 0.12. Expected selection response was very stable for all traits except FEC, which varied by almost 0.2 SD (Figure 6). High genetic correlation between BW and FEC led to a rise in FEC. Hence, if the true genetic correlation between BW and FEC is greater than our estimate of 0.10, resistance to parasites will deteriorate. This result clearly shows the importance of an accurate estimation of the genetic correlation between BW and FEC.

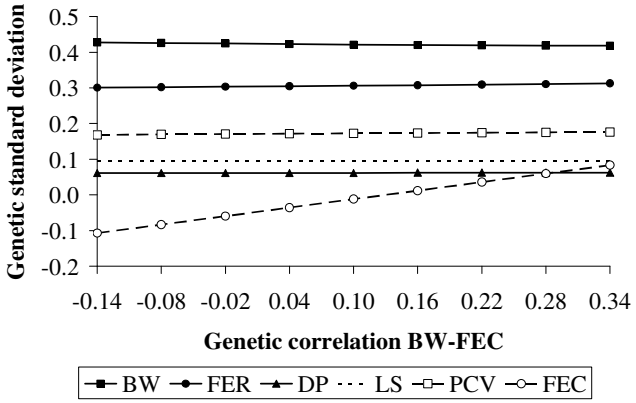


Figure 6. Expected selection responses in genetic SD according to the genetic correlation between BW and FEC in the Hcombined breeding goal. Hcombined = $7.69 \times A_{BW} + 1.38 \times A_{FER} + 3.53 \times A_{DP} + 3 \times 10^{-4} \times A_{PCV} - 18.85 \times A_{FEC}$ where A is the true breeding value, FER = Fertility, DP = dressing percentage, LS = litter size, PCV = packed cell volume, FEC = fecal egg count.

Genetic Correlations between DP and PCV or FEC. We also analyzed the sensitivity of the genetic correlations between DP and FEC, and between DP and PCV in the Hcombined scenario. Since we assumed that these genetic correlations were 0, we tested their sensibility by making them vary individually from -0.5 to 0.5 (data not shown). The selection responses were not very sensitive to these changes. In both cases, the largest changes were observed for the selection response in DP. However, these changes remained below 0.05 genetic SD.

DISCUSSION

Evaluation of the Breeding Program

Breeding Goal Choice. This research sought to use SelAction software to compare expected selection responses for alternative breeding goals including parasite resistance or resilience traits. The alternative breeding goals were highly correlated and offered similar

expected selection responses. Nevertheless, the Hcombined scenario, which included production, reproduction, parasite resistance, and resilience traits, offered the best breeding strategy in terms of expected selection responses, making it possible to improve all traits together. Compared to a breeding goal and selection index without PCV and FEC (Hbase scenario), the Hcombined breeding goal gave a higher expected selection response for FER in addition to the improvement of PCV and FEC, even if there was a little loss in expected selection responses for BW and DP. Therefore the economic response in the Hbase aggregate genotype was almost unchanged.

***Selection Responses*.** The Hcombined breeding goal brings high genetic gain for BW (about 800 g / yr) and FER (about 3.8% / yr). These two traits dominate the breeding objective. Hcombined brings also a moderate genetic gain for DP (0.08% / yr) and a slow raise in LS (0.02 kids / yr). In meat breeds of sheep, Gicheha et al. (2007) and Gizaw et al. (2009) obtained similar expected selection responses for yearling BW with 760g / yr and 704g / yr respectively. The high selection responses on BW and FER are very important for farmers and confirm that the Hcombined breeding goal fits farmers' interest (Gunia et al., 2010). The slow increase in LS is also a positive result. Farmers are indeed satisfied with the present litter size in Creole goats and do not wish to change it. The Hcombined breeding goal also gives favorable expected selection responses for PCV (0.28% / yr) and FEC (-0.005 log(eggs/g) / yr). To our knowledge, there is no study of selection response on PCV. Other authors did predict a favourable selection response for FEC in sheep when considering different breeding goals. Gicheha et al. (2007) considered breeding goals including FEC, litter size, lambing frequency, survival rate, weight, and consumable meat. Kominakis and Theodoropoulos (1999) considered a breeding goal including FEC, fat yield and number of lambs weaned. In practice, Kahn et al. (2003) and Williams et al. (2010) obtained a significant reduction in FEC for sheep actually bred for parasite resistance.

Economic Value and Genetic Correlations of Resistance and Resilience traits

Economic Value of FEC and PCV. Assigning an economic value to FEC and PCV was not straightforward. For these traits, the economic loss caused by the deterioration of these traits was not linear, which made it difficult to derive their economic values. Weights on parasite resistance traits have usually been attributed according to the desired gain method (Gicheha et al., 2005; Kominakis and Theodoropoulos, 1999). As for the Creole goat, the economic value of PCV only accounted for the cost of anthelmintic treatments, which was

very low (Gunia et al., 2012). The economic value was therefore very low and did not take into account all the consequences of parasite infection. On the other hand, the economic value of FEC accounted for production losses caused by extremely high levels of parasite infection, when parasites were no longer controlled by any treatments (e.g. in case of parasites resistant to anthelmintics). The economic value of FEC was therefore very high. As a result, we originally believed that the economic value of PCV was underestimated and the economic value of FEC was overestimated (Gunia et al., 2012). If selection responses on these two traits had been unfavorable, we would have considered the possibility of shifting from an economic perspective to one of desired gain. However this is not the case here; these economic values give optimal selection responses, with a favorable selection response on PCV and FEC and only 2 to 6% losses in BW and DP, respectively.

In contrast to our results, other authors have shown trade-offs between production and adaptation traits. The amplitude of the loss in selection response in production traits depends on the genetic correlations between traits and the level of the economic value on adaptation traits. Gizaw (2008) showed a loss in selection response of 25 to 58% in production traits to obtain the desired changes in FEC. When the genetic correlation between FEC and production trait was unfavourable and the weight on FEC was very high, Kominakis and Theodoropoulos (1999) observed dramatic losses in responses for production traits. Gicheha et al. (2005) stated that the level of disease prevalence and the type of systems (low or high input) should determine the economic value of FEC in order to adopt the best balance between production and disease resistance. Low input systems would choose a large negative economic value to ensure a reduction in FEC, whereas high input systems could handle positive and unfavorable response in FEC.

Importance of Genetic Correlations with FEC. Our results have shown that FEC should both be in the breeding goal and recorded to be improved. Contrary to PCV, the indirect selection response does not allow any progress on FEC. Gichea (2007) and Kominakis and Theodoropoulos (1999) also observed significant additional response in parasite resistance when FEC was included in the index. However, Gicheha et al. (2007) obtained favorable selection response in FEC even without recording this trait, due to favorable negative correlations between FEC and the other traits in the breeding objective. As observed by Kominakis et al. (1997), the genetic correlations between FEC and the other traits are very important. The sensitivity analysis of the genetic correlation between BW and FEC confirmed this observation. Direction of selection response for FEC varied according to the value of this correlation.

Selection on Resistance and Resilience

Consequences of Selection on Resistance and Resilience. Genetic selection on FEC reduces worm egg output (Blaes et al., 2010), which leads to reduced pasture larval contamination, and therefore subsequent larval challenge and infection (Bishop and Stear, 2003). It was originally believed that selecting for low FEC would increase live weight. However, this predicted increase in productivity has not been attained often (Greer, 2008). Even if productivity gains are hypothetical, it seems reasonable to assume some reduction in the number of anthelmintic treatments, as it occurred in Merino sheep selected for low FEC (Kahn et al., 2003). Moreover, it seems that parasites could not adapt quickly against the resistance mechanisms that their host has developed, because parasites resistance seems to be determined by many genes with relatively small effects (Kemper et al., 2009). Therefore, selection on parasite resistance is a good alternative to anthelmintic treatments.

Selection on resilience is a method that does not apply any selection pressure on parasites, which can complete their life cycle unimpeded. Resilient animals can cope better with the challenge in terms of productivity (Bisset and Morris, 1996). In opposition to selection on resistance, production benefits can be expected from selection on resilience.

Selection on resistance and resilience are clearly complementary. Selection on resistance and resilience will have long-lasting effects on animal health and welfare by reducing infection and consequences of infection. In the future, selection and other integrated methods of control will make it possible to no longer use anthelmintic treatments.

Farmer's Acceptance. The desire of farmer to participate in recording and selecting on parasite resistance and resilience is a crucial point. At present, farmers are not fully aware of the importance of these traits (Gunia et al., 2010). They mostly rely on anthelmintic products, even if parasites develop resistance to the treatments. They probably will not want to pay for increased genetic resistance.

On the other hand, this program may raise too high expectations if selection on resistance and resilience is paid for (by European subsidies). Farmers may expect that selected animals will never suffer from parasites or need any health care. Genetic selection gives slow progress and results will not be immediate. Therefore, selection for improved resistance and resilience should be completed by integrated measures to control parasites (such as pasture rotation, feeding strategies…). Farmers' awareness of the problem will have to be raised (e.g. through discussion and training) before implementing selection on parasite resistance and resilience.

Recording FEC and PCV. From a technical point of view, recording FEC and PCV is more difficult than recording weight or kidding success, because fecal and blood samples have to be taken on farm and analyzed in a laboratory.

From a short-term economical point of view, costs of recording PCV and FEC in the Hcombined scenario will be higher than the expected gain of 0.32 € per yr for the nucleus herd. Nevertheless, in the long term, recording FEC is important to avoid any unwanted side-effects of selection, such as deterioration of this trait. Genetic parasite resistance could be a critical point in the near future, especially if anthelmintic products lose their efficiency. Therefore, recording FEC (at minima) or FEC and PCV is advisable.

A Sustainable Breeding Program

Selection on Adaptation Traits. Sustainable selection should be directed to cater for unpredictable futures (Smith, 1985) and require a broader definition of breeding goals. Breeding objectives should not only aim at higher production, but also at balancing production and adaptation to specific conditions (Gizaw et al., 2011). Animal breeding only determined by short term market forces may result in unwanted side effects concerning animal adaptation, whereas societal concern is growing for animal welfare and reduction of chemical medication (Olesen et al., 2000).

Selection on resistance and resilience to parasites is important for Creole breed. This local breed has unique adaptation traits, inherited from its African origins and maintained through natural selection since the arrival of goats on the island in the 17th century (Devendra and Mc Leroy, 1982). Selection based on current economic trend for higher weight should not deteriorate these qualities acquired through centuries of natural selection. Many goat owners in Guadeloupe, mostly outside the breeders' organization, rear a couple of goats on pasture with low input. The breeding program of Creole goat should also take into account these farmers, to whom goats' hardiness is crucial.

The genetic parameters in Creole goats suggests very little trade-off between production and adaptation traits. However, if the animals produce more, they will probably increase their feed intake. The higher feed consumption could be met by technical improvements such as improved pasture management, irrigation or hay making. Farmers could also increase the quantity of commercial pellets bought. Hence, Creole goat breeder may shift to more intensive production systems or reduce the size of their herd to balance the genetic improvement of their animals. These changes may be favorable for the most organized

breeders or the ones owning large herds, who very often rear Boer or Anglo-Nubian crossbreds in addition to Creole goats (Gunia et al., 2010). These changes could be less favorable for the goat owners rearing few animals with limited inputs.

Nevertheless, the breeding program for Creole goat offers a balanced selection which emphasizes long term profit with the improvement of adaptation traits. This sustainable breeding program will preserve an unique animal genetic resource through utilization.

Future of the Breeding Program. On the basis of our results, there is every reason to believe that our breeding strategy will succeed in balancing production, reproduction and parasite resistance and resilience traits. However, inbreeding will have to be closely monitored due to the small size of the nucleus. As soon as performance recording is extended to breeders outside of the nucleus, the nucleus could open; opening the nucleus herd will favor genetic improvement while limiting inbreeding, as shown by Shepherd and Kinghorn (1992). The breeding program will also be monitored and evaluated in a few years to control the direction and magnitude of changes. The economic values of the breeding goal will then be updated. Additional data coming from performance recording will be used to reestimate the genetic parameters more accurately. Additionally, tests will be run to ensure that meat quality does not deteriorate.

The breeding program offers a balance between immediate and long term profit, with the reduction or even the end of anthelmintic products. The program will be a good example of in-situ conservation of a local breed emphasizing parasite resistance and resilience. We are presently convinced that this breeding program will be of great interest for the selection of other breeds of goat in the tropics.

LITERATURE CITED

Aumont, G., R. Pouillot, R. Simon, G. Hostache, H. Varo, and N. Barré. 1997. Digestive parasitism of small ruminants in the French West Indies. INRA Productions Animales 10: 79-89.

Bishop, S. C., and M. J. Stear. 2003. Modeling of host genetics and resistance to infectious diseases: understanding and controlling nematode infections. Vet. Parasitol. 115: 147-166.

Bisset, S. A., and C. A. Morris. 1996. Feasibility and implications of breeding sheep for resilience to nematode challenge. International Journal for Parasitology 26: 857-868.

Blaes, J.-L., N. Mandonnet, R. Arquet, and M. Mahieu. 2010. A long term experiment of integrated control of nematode parasitism in Creole goats. Advances in Animal Biosciences 1: 413-414.

Bulmer, M. G. 1971. The Effect of Selection on Genetic Variability. The American Naturalist 105 : 201-211.

Devendra, C., and G. B. Mc Leroy (Editors). 1982. Goat and sheep production in the tropics. Intermediate Tropical Agriculture Series. Longman, London, 271 pp.

Eady, S. J., R. R. Woolaston, and I. A. Barger. 2003. Comparison of genetic and nongenetic strategies for control of gastrointestinal nematodes of sheep. Livest. Prod. Sci. 81: 11-23.

Ermias, E., A. Yami, and J. E. O. Rege. 2006. Slaughter characteristics of Menz and Horro sheep. Small Rumin. Res. 64: 10-15.

Gicheha, M. G., I. S. Kosgey, B. O. Bebe, and A. K. Kahi. 2005. Economic values for resistance to gastrointestinal helminths in meat sheep in Kenya. J. Anim. Breed. Genet. 122: 165-171.

Gicheha, M. G., I. S. Kosgey, B. O. Bebe, and A. K. Kahi. 2007. Efficiency of alternative schemes breeding for resistance to gastrointestinal helminths in meat sheep. Small Rumin. Res. 69: 167-179.

Gizaw, S. 2008. Sheep resources of Ethiopia: genetic diversity and breeding strategy. PhD Diss. Wageningen Univ., The Netherlands.

Gizaw, S., H. Komen, and J. A. M. van Arendonk. 2009. Optimal village breeding schemes under smallholder sheep farming systems. Livest. Sci. 124: 82-88.

Gizaw, S., H., Komen, O., Hanote, J.A.M., van Arendonk, S., Kemp, A., Haile, O., Mwai, and T. Dessie. 2011. Characterization and conservation of indigenous sheep genetic

resources: A practical framework for developing countries. ILRI Research Report No. 27. Nairobi, Kenya.

Greeff, J. C., E. Safari, N. M. Fogarty, D. L. Hopkins, F. D. Brien, K. D. Atkins, S. I. Mortimer, and J. H. J. van der Werf. 2008. . Genetic parameters for carcass and meat quality traits and their relationships to liveweight and wool production in hogget Merino rams. J. Anim. Breed.Genet. 125: 205-215.

Greer, A. W. 2008. Trade-offs and benefits: implications of promoting a strong immunity to gastrointestinal parasites in sheep. Parasite Immunology 30: 123-132.

Gunia, M., N. Mandonnet, R. Arquet, C. de la Chevrotière, M. Naves, M. Mahieu, and G. Alexandre. 2010. Production systems of Creole goat and their implications for a breeding programme. Animal 4: 2099-2115.

Gunia, M., F. Phocas, R. Arquet, G. Alexandre, and N. Mandonnet. 2011. Genetic parameters for body weight, reproduction, and parasite resistance traits in the Creole goat. J. Anim. Sci. 89: 3443-3451.

Gunia, M., N. Mandonnet, R., Arquet, G., Alexandre, J-L., Gourdine, M., Naves, V., Angeon and F. Phocas. 2012. Economic values of production, reproduction and parasite resistance traits for the Creole goat breeding goal. Animal.

Jackson, F., and J. Miller. 2006. Alternative approaches to control - Quo vadit? Vet. Parasitol. 139: 371-384.

Kahn, L. P., M. R. Knox, S. W. Walkden-Brown, and J. M. Lea. 2003. Regulation of the resistance to nematode parasites of single- and twin-bearing Merino ewes through nutrition and genetic selection. Vet. Parasitol. 114: 15-31.

Kaplan, R. M. 2004. Drug resistance in nematodes of veterinary importance: a status report. Trends in Parasitology 20: 477-481.

Kemper, K. E., R. L. Elwin, S. C. Bishop, M. E. Goddard, and R. R. Woolaston. 2009. Haemonchus contortus and Trichostrongylus colubriformis did not adapt to long-term exposure to sheep that were genetically resistant or susceptible to nematode infections. International Journal for Parasitology 39: 607-614.

Kominakis, A., G. Nitter, D. Fewson, and E. Rogdakis. 1997. Evaluation of the efficiency of alternative selection schemes and breeding objectives in dairy sheep of Greece. Anim. Sci. 64: 453-461.

Kominakis, A., and G. Theodoropoulos. 1999. Selection of dairy sheep in Greece for parasitic nematode resistance: defining the aggregate genotype and evaluating selection schemes. Anim. Sci. 69: 535-542.

Olesen, I., A. F. Groen, and B. Gjerde. 2000. Definition of animal breeding goals for sustainable production systems. J. Anim. Sci. 78: 570-582.

Rutten, M. J. M., P. Bijma, J. A. Woolliams, and J. A. M. van Arendonk. 2002. SelAction: Software to predict selection response and rate of inbreeding in livestock breeding programs. J. Hered. 93: 456-458.

Safari, A,, and N.M. Fogarty. 2003. Genetic Parameters for Sheep Production Traits: Estimates from the Literature. Tech. Bull. No. 49. NSW Agriculture, Orange, Australia.

Safari, E., N. M. Fogarty, D. L. Hopkins, J. C. Greeff, F. D. Brien, K. D. Atkins, S. I. Mortimer, P. J. Taylor, and J. H. J. van der Werf. 2008. Genetic correlations between ewe reproduction and carcass and meat quality traits in Merino sheep. J. .Anim. Breed. Genet. 125: 397-402.

Shepherd, R. K., and B. P. Kinghorn. 1992. Optimizing multiplier open nucleus breeding schemes. Theor. Appl. Genet. 85: 372-378.

Smith, C. 1985. Scope for selecting many breeding stocks of possible economic value in the future. Anim. Prod. 41: 403-412.

Williams, A. R., J. C. Greeff, P. E. Vercoe, R. J. Dobson, and L. J. E. Karlsson. 2010. Merino ewes bred for parasite resistance reduce larval contamination onto pasture during the peri-parturient period. Animal 4: 122-127.

Discussion générale et conclusion

Ce travail de thèse avait pour but de développer les bases scientifiques et techniques nécessaires à la mise en place d'un programme de sélection efficace pour la population de chèvres Créoles de Guadeloupe. L'objectif de ce programme était d'améliorer la rentabilité économique des élevages, en veillant au maintien d'un caractère majeur d'adaptation de la chèvre Créole à son environnement tropical, la résistance aux strongles gastro-intestinaux. Il s'agissait également de fournir les outils nécessaires à l'optimisation de ce programme de sélection.

UN PROGRAMME DE SELECTION POUR LA CHEVRE CREOLE

I Place de l'éleveur

Une des causes d'échec des programmes de sélection est le manque de participation des éleveurs (Kosgey *et al.*, 2006). Ce risque est ici limité, car les éleveurs de la Cabricoop sont à l'origine du projet. Le programme de sélection se construit à travers un partenariat entre la Cabricoop, la Chambre d'Agriculture et l'INRA. Néanmoins, la motivation et l'implication de chaque éleveur sera nécessaire au bon fonctionnement du programme.

Avant tout progrès génétique visible, les conseils du technicien et la récupération de données techniques sur le troupeau permettront à l'éleveur d'améliorer ses résultats zootechniques et de voir un intérêt plus immédiat au recueil des performances que ne le permet la sélection.

Le programme de sélection a l'avantage de permettre à différents types d'éleveurs de participer (sélectionneurs en race pure, utilisateurs en croisement) en bénéficiant mutuellement de leur association au sein de la coopérative. Le renouvellement des femelles de race pure chez les éleveurs faisant du croisement industriel sera moins problématique, s'ils peuvent acheter des chevrettes Créoles sélectionnées chez d'autres éleveurs.

Le programme de sélection regroupera donc des éleveurs de la Cabricoop, parmi les mieux organisés et possédant de plus grands troupeaux (avec en moyenne 25 chèvres mères) que beaucoup de détenteurs de caprins en Guadeloupe qui n'élèvent que quelques animaux au piquet, avec très peu d'intrants, en dehors de tout réseau professionnel. Pour ces « petits » éleveurs, le maintien des qualités d'adaptation de la race Créole reste très important, même s'ils ne seront pas les premiers bénéficiaires du programme de sélection.

II Un programme de sélection en race pure Créole…

Le programme de sélection que nous proposons est orienté vers l'amélioration de la population de chèvres Créoles pour une production en race pure, même si les utilisateurs peuvent pratiquer des croisements. Différentes raisons motivent ce choix.

- La sélection de la chèvre Créole uniquement sur ses qualités maternelles (pour du croisement) aurait été mal acceptée par les éleveurs, qui recherchent des animaux de meilleures conformation et qualités bouchères. Comme souvent dans les pays tropicaux, les races locales sont considérées comme moins productives (Alexandre *et al.*, 2008) comparées aux races exotiques à plus fort gabarit. L'image de la chèvre Créole doit être améliorée, et cela doit se traduire par des changements morphologiques tangibles pour les éleveurs.

- De plus, la chèvre Créole est bien caractérisée (Alexandre *et al.*, 1997a). Ses qualités, notamment de reproduction et de résistance au parasitisme sont reconnues. Elle est adaptée à des systèmes de conduite à très faible taux d'intrants, tout en étant capable d'atteindre une productivité pondérale au sevrage importante dans des systèmes semi-intensifs (Alexandre *et al.*, 1997b). La sélection en race pure permet de maintenir les qualités d'adaptation acquises par des siècles de sélection naturelle et d'améliorer les caractères de production. Le progrès génétique, permanent et cumulatif, permet une amélioration à long terme.

- Le programme de sélection est aussi une façon de préserver et valoriser la race Créole, en la rendant plus attractive et en rassemblant les éleveurs autour d'un projet commun. Ce programme permettra à la chèvre Créole de remplir ses multiples fonctions. Car même si sa valeur patrimoniale et identitaire est reconnue, elle a été dépossédée d'une partie de ses fonctions culturelles par les animaux croisés. Ceux-ci sont préférés pour les sacrifices rituels hindous et pour les épreuves de tractions (concours de cabris tirants), car ils sont considérés comme plus « beaux » au regard de leur gabarit ou de leur couleur. Le programme de sélection a donc aussi pour objectif de rétablir l'image culturelle de la chèvre Créole (Alexandre *et al.*, 2008).

III … laissant la place aux croisements

Les croisements récents et non contrôlés de chèvres Créoles avec des boucs importés, principalement de type Boer ou Anglo-Nubien, ont produit une population de caprins croisés très hétérogène. A l'origine, beaucoup d'éleveurs avaient utilisé un bouc importé sur leur troupeau de femelles Créoles, mais les produits du croisement avaient été gardés pour le renouvellement du troupeau, et souvent utilisés à nouveau en croisement. L'origine et le pedigree de ces boucs importés n'était pas fiable, et les croisements incontrôlés qui ont suivi ont rendu impossible la détermination de l'origine de ces animaux croisés.

Une meilleure formation des éleveurs à l'importance du renouvellement des femelles en race pure et de l'abattage des produits F1 devrait engendrer une utilisation plus rationnelle des croisements. De plus, même en cas de croisements incontrôlés, la sélection de la chèvre Créole en race pure chez les éleveurs sélectionneurs garantira le maintien de la race. Si le programme est mené correctement, race pure et croisements pourront coexister à leur mutuel bénéfice.

Avec une bonne organisation, la production de viande caprine guadeloupéenne augmentera, ce qui permettra de réduire la dépendance de l'île vis-à-vis des importations de produits carnés.

LES BASES SCIENTIFIQUES DU PROGRAMME DE SELECTION

Les différentes étapes nécessaires à la réalisation du programme de sélection sont résumées dans le Tableau 6.

Dans le cadre de la thèse, trois de ces étapes ont été effectuées : 1) la définition de l'objectif de sélection ; 2) l'estimation des paramètres génétiques associés aux caractères à améliorer et à leurs prédicteurs possibles ; 3) le choix des critères de sélection à mesurer pour permettre une forte réponse sur l'objectif global de sélection tout en maintenant la bonne résistance et résilience des chèvres Créoles aux strongles gastro-intestinaux.

I L'objectif de sélection

L'objectif de sélection de la chèvre Créole rassemble les caractères ayant une influence sur la marge brute de l'élevage caprin (article 2), à savoir le poids à 11 mois, le rendement carcasse, la fertilité, l'OPG (nombre d'œufs de strongles par gramme de fèces) et l'hématocrite. Ces caractères sont pondérés selon leur importance économique établie grâce à la modélisation de la marge brute d'un atelier caprin comme une fonction des caractères à améliorer sur la population animale. L'objectif de sélection permet donc d'orienter la sélection de la race Créole de façon à améliorer la marge brute de l'éleveur. La fertilité et le poids vif dominent l'objectif de sélection (comme montré dans l'article 3). La fertilité contribue en effet pour 33% à la variance de l'objectif de sélection et le poids vif pour 25%.

La modélisation technico-économique d'un atelier caprin pour calculer les pondérations économiques a été rendue possible par le travail réalisé à l'Unité de Recherches Zootechniques et à la Plateforme Technique d'Expérimentation Animale de Gardel, avec notamment l'enregistrement en routine des performances des caprins Créoles du troupeau expérimental. Ce travail de modélisation a aussi pu être réalisé grâce aux renseignements récoltés auprès des différents acteurs de terrain (éleveurs, techniciens, vétérinaires).

La modélisation de l'atelier caprin a été néanmoins limitée par deux facteurs principaux : le manque de données technico-économiques recueillies chez les éleveurs et le manque de connaissance de certains mécanismes biologiques. La mise en place du contrôle de

performances devrait néanmoins permettre de recueillir plus de données de terrain, qui amélioreront le modèle. Quant aux mécanismes biologiques, beaucoup sont peu connus chez la chèvre Créole. Un grand nombre d'études, au moins en France, concerne les ovins viandes ou les caprins laitiers, et ne prennent pas en compte les performances ou besoins d'une race caprine destinée à la production de viande. Ces mécanismes concernent en particulier les besoins alimentaires, les mécanismes de croissance (notamment la croissance compensatrice, les effets maternels, la production laitière et la croissance des jeunes). De nombreuses zones d'ombre subsistent concernant le parasitisme interne, pourtant très étudié chez la chèvre Créole. Les mécanismes de résilience au parasitisme, les relations entre niveau de parasitisme et pertes économiques ne sont pas parfaitement connues. La littérature scientifique aborde ces questions chez les ovins plus que chez les caprins, et la recherche reste plus axée sur la résistance au parasitisme que sur la résilience.

De ce fait, il a été difficile d'attribuer une pondération économique à la résistance et à la résilience au parasitisme, car les relations entre ces caractères et les pertes économiques que leur détérioration engendre sont difficilement quantifiables. Les relations entre niveau de parasitisme (mesuré par l'OPG) et les performances de l'animal ne sont pas linéaires. Les niveaux normaux d'infestation des chèvres Créoles se situent autour de 1000 OPG (avec un écart type de même valeur). Des variations de l'ordre d'un écart-type de l'OPG des animaux n'ont pas de conséquences sur leurs performances (en termes de poids, croissance, reproduction, mortalité). Par conséquent, une pondération de l'OPG, calculée à des niveaux d'infestations usuels, serait nulle. Pourtant, des niveaux d'infestation extrêmement élevés (de l'ordre de 4500 OPG), ont des conséquences dramatiques sur les performances des animaux (augmentation de la mortalité de 60%, pertes de croissance de 35%). De tels niveaux d'infestation se retrouvent quand l'efficacité des anthelminthiques diminue et que les populations de nématodes gastro-intestinaux ne sont plus contrôlées. Il a donc été nécessaire de prendre en compte ces phénomènes pour ne pas sous-estimer l'importance de la résistance au parasitisme (article 2).

De même, les relations entre résilience, production et performances économiques des élevages sont méconnues, la résilience ayant reçu moins d'attention que la résistance. De ce fait, la pondération de l'hématocrite pour la chèvre Créole ne traduit que l'augmentation de la fréquence de traitements anthelminthiques.

II Les paramètres génétiques

Grâce aux données récoltées à l'unité expérimentale de Gardel depuis plus de 30 ans, les paramètres génétiques des principaux caractères utilisés dans l'objectif et l'index de sélection ont pu être estimés pour la race Créole (article 3). Ces paramètres sont nécessaires tant pour les calculs de l'index de sélection qui permet de maximiser la réponse à la sélection sur l'objectif, que pour la prédiction du progrès génétique, et pour la mise en œuvre d'une évaluation génétique des reproducteurs caprins sur les critères de sélection. Ils participent également à la caractérisation des chèvres Créoles, dont les paramètres génétiques diffèrent de ceux des chèvres laitières spécialisées présentes en métropole.

Cependant, les corrélations n'ont pu être estimées qu'avec une faible précision. Les coefficients de variation des corrélations entre caractères de production et de reproduction varient de 7 à 100%. Les coefficients de variation des corrélations avec l'hématocrite varient de 50 à plus de 200%, et les ceux des corrélations avec l'OPG sont tous supérieurs à 100%. Dans quelques années, une meilleure précision des estimations de corrélations génétiques sera possible avec l'augmentation du nombre de performances dans la base de données, notamment pour les corrélations avec l'OPG ou l'hématocrite. Par ailleurs, aucune donnée n'était disponible pour estimer les paramètres génétiques du rendement en carcasse. La mesure du rendement carcasse sera utile pour l'estimation de paramètres génétiques de ce caractère pour la chèvre Créole, et donc pour inclure au mieux cette mesure dans le programme de sélection.

III L'intégration de la résistance et résilience au parasitisme dans le programme de sélection

Intégrer la résistance ou la résilience au parasitisme dans l'objectif et l'index de sélection du programme d'amélioration génétique de la chèvre Créole constitue un exercice délicat pour plusieurs raisons :

- les mécanismes de la résistance, et surtout de la résilience, ne sont que partiellement connus, en particulier en caprins ;
- il peut y avoir un optimum à définir entre amélioration de la production et maintien de la capacité d'adaptation des animaux à leur environnement ;
- les pondérations économiques de l'OPG et l'hématocrite sont difficiles à calculer ;

- ces caractères sont plus coûteux à mesurer que les caractères traditionnels, comme par exemple la croissance ;
- les éleveurs sont peu sensibilisés aux problèmes de parasitisme.

Néanmoins, les mécanismes de résistance au parasitisme chez les chèvres Créoles sont très étudiés et sont de mieux en mieux connus (Bambou *et al.*, 2008; Bambou *et al.*, 2009 ; de la Chevrotière, 2011). Différentes méthodes de calculs ont été utilisées et ont permis d'estimer les pondérations économiques des caractères d'OPG des jeunes et d'hématocrite des mères (article 2).

Les premières simulations de programme de sélection (article 4) ont permis de tester l'inclusion de caractères de résistance (OPG) ou de résilience (hématocrite) dans l'objectif de sélection, et d'évaluer la réponse à la sélection prédite sur ces caractères, qu'ils soient mesurés ou pas. L'amélioration de la résistance n'a pas d'impact majeur sur les caractères de production, tandis que l'amélioration de la résilience a un effet favorable. Contrairement à certains exemples relevés en races ovines, comme par exemple pour les moutons Menz et Wollo en Ethiopie (Gizaw, 2008), il est possible d'améliorer les caractères de production et d'adaptation sans avoir à faire de compromis. Par contre, comme les simulations l'ont montré (article 4), l'inclusion de l'OPG dans l'objectif de sélection et la mesure de ce caractère sont essentielles afin de ne pas détériorer la résistance au parasitisme. A l'opposé, grâce à un jeu de corrélations favorables, l'hématocrite des mères est amélioré même sans mesurer ce caractère.

IV L'optimisation du programme de sélection

D'autres simulations doivent être menées avant la mise en place effective du programme de sélection, de façon à optimiser le programme d'un point de vue technique, sur le court terme, tout en limitant au maximum l'augmentation du taux de consanguinité et garantir la pérennité du noyau de sélection de la chèvre Créole. Les limitations du logiciel de simulation « SelAction » (Rutten *et al.*, 2002) n'ont permis ni d'intégrer le Poids à Age Type à 70 jours dans l'index de sélection en raison de la non prise en compte des effets maternels, ni d'évaluer avec précision ce que donnerait une sélection en 2 étapes : sélection des jeunes sur leurs aptitudes bouchères dans un premier temps, puis sélection des femelles sur les

caractères de reproduction et hématocrite dans un 2ème temps. De même, le taux de consanguinité n'était pas calculé pour ce type de schéma en générations chevauchantes.

Il sera intéressant de tester d'autres tailles et organisations du noyau de sélection (avec un effectif de mâles et de femelles variant). Dans l'organisation du programme de sélection présenté dans l'article 4, nous avons considéré qu'il y aurait 300 femelles, avec 1 mâle pour 15 femelles (ratio pratiqué classiquement dans les élevages). La taille du noyau de sélection dans les simulations pourra être ajustée une fois connu avec plus de précision le nombre de femelles Créoles présentes chez les éleveurs sélectionneurs. Tester un changement du nombre de femelles par bouc aidera à choisir le meilleur compromis entre réponse à la sélection et augmentation du taux de consanguinité.

Il faudra aussi étudier les modalités de diffusion du progrès génétique auprès des utilisateurs, voir si un groupe d'éleveurs multiplicateurs sera nécessaire pour la diffusion de femelles Créoles pour le croisement, et estimer quelles pourraient être les évolutions génétiques dans ces groupes.

Mais surtout, en préalable à toute mise en place coûteuse d'un programme de sélection, une analyse économique de la rentabilité du programme de sélection, des coûts de contrôle de performance et des gains économiques attendus doit être conduite pour permettre de choisir le meilleur scénario sur le plan technico-économique. Dans cette visée, les réflexions conduites entre l'INRA, la Cabricoop et la Chambre d'Agriculture autour de la mise en place d'une station de testage sur les jeunes mâles, notamment pour mesurer la résistance au parasitisme en conditions contrôlées, doivent être poursuivies.

Tableau 6 : Etapes de la mise en place et de l'évaluation du programme de sélection

Mise en place du programme	
Etapes réalisées	Etapes restantes
- Caractérisation de la race Créole (Mandonnet *et al*., 2010) - Identification des animaux Créoles dans les troupeaux - Repérage des éleveurs intéressés - Définition de l'objectif de sélection (article 2) - Calculs de paramètres génétiques (article 3)	- Mettre en place le contrôle de performance pour les caractères de production et reproduction, et si possible un suivi technico-économique des élevages - Récupérer les mesures de rendement carcasse auprès de l'abattoir - Définir si l'hématocrite et l'OPG seront mesurés, et selon quelles modalités (en ferme ou en station de testage) - Définir l'organisation pratique : place de chaque éleveur dans la pyramide de sélection, modalités de transferts des animaux, proportions d'animaux sélectionnés, diffusés ou abattus dans le noyau de sélection - Indexer tous les animaux - Définir les plans d'accouplement
Evaluation et amélioration du programme	
- Ajuster et améliorer l'organisation du programme de sélection - Etendre le contrôle de performance aux utilisateurs et ouvrir le noyau de sélection - Contrôler le progrès génétique obtenu - Contrôler le taux de consanguinité - Mettre à jour les pondérations économiques (*a minima*), améliorer le modèle de calcul de ces pondérations - Réestimer les paramètres génétiques des caractères à améliorer quand le nombre de données aura augmenté	

PERSPECTIVES

I Utilisation d'un signe de qualité

L'utilisation d'une marque ou d'un signe de qualité pour la viande d'animaux Créoles permettrait une meilleure reconnaissance et une valorisation financière de l'élevage en race pure. Différentes solutions sont envisageables, pour mettre en valeur la race, le goût de la viande (reconnu comme très typique par les consommateurs) et l'origine :

- une mention de la race sur la barquette ;
- une mention valorisante de type produit pays/péyi, qui indique que toutes les étapes de la production au conditionnement ont été réalisées en Guadeloupe, mais qui peut s'appliquer aussi aux caprins issus de croisements ;
- une marque collective (par exemple créée par l'IGUAVIE, l'interprofession viande) ;
- une certification de conformité pour valoriser des caractéristiques spécifiques du produit ;
- une appellation d'origine contrôlée ou une indication géographique protégée, pour valoriser la combinaison du terroir et de la production de chèvres Créoles ;
- un label rouge, pour valoriser la qualité organoleptique de la viande des caprins Créoles.

Les premières solutions citées sont plus faciles et plus rapides à mettre en place que les dernières et pourraient être instaurées en même temps que le programme de sélection.

Des études complémentaires permettraient de mieux caractériser la typicité de goût de la viande de caprins Créoles, et de veiller à ce que la sélection ne la détériore pas.

II Meilleure prise en compte de la résistance au parasitisme

On peut aussi imaginer que les notes de couleurs de la muqueuse de l'œil (méthode Famacha©), indiquant l'anémie, serviront de mesure de résilience. Ce critère est simple à mesurer, et son intérêt plus facilement compréhensible par l'éleveur. Il pourrait constituer à terme un meilleur critère de sélection que l'hématocrite. De plus, la note Famacha, utilisée pour cibler les animaux à traiter, est un outil de gestion intégrée du parasitisme qui complète bien la sélection génétique des animaux sur la résistance et la résilience.

III Vers une sélection assistée par marqueurs ou sélection génomique ?

La sélection traditionnelle (performances et pedigree) améliore lentement les caractères peu héritables comme la fertilité, mesurables seulement après la mort de l'animal tel que le rendement carcasse, ou difficiles à mesurer comme la résistance ou résilience aux strongles (Goddard et Hayes, 2009). L'identification de marqueurs ou de gènes liés à ces caractères permettrait de les sélectionner plus facilement.

Chez la chèvre Créole, un travail de primo-détection de QTL a permis d'identifier avec des marqueurs microsatellites, 13 régions du génome ayant un effet sur les critères de résistance (de la Chevrotiere *et al.*, 2011).

Une puce génomique de 54000 marqueurs Single Nucleotide Polymorphisme (SNP) a été conçue tout récemment par le consortium IGGC (http://www.goatgenome.org/). Cette puce est informative pour la population de chèvres Créoles car des boucs Créoles ont contribué au choix du panel de marqueurs. L'utilisation de cette puce SNP en 2012 sur 300 chevreaux Créoles divergents (résistants et sensibles) devrait permettre de localiser plus finement les gènes impliqués dans la résistance au parasitisme, et d'utiliser ces résultats pour mettre en place une sélection assistée par marqueurs. L'avantage majeur d'une telle sélection est la possibilité de sélectionner des animaux sur la résistance au parasitisme sans avoir à la mesurer sur les candidats à la sélection et donc sans avoir à soumettre les potentiels reproducteurs à une infestation.

Cependant, il existe encore de nombreuses limites à la mise en place d'une telle sélection chez la chèvre Créole, liés notamment au coût du génotypage élevé par rapport au prix d'un reproducteur caprin.

A plus long terme, une sélection génomique pourrait être envisagée. Néanmoins, une telle sélection nécessiterait de pouvoir génotyper et phénotyper une population de référence de taille suffisamment importante, et le renouvellement régulier de ces investissements pour ajuster les équations de prédiction de la valeur génétique des animaux.

Références

Agreste Guadeloupe (2009). L'agriculture guadeloupéenne en 2007. http://www.agreste.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/D97109A01.pdf [consulté le 12 décembre 2011]

Agreste Guadeloupe (2010). Mémento agricole, Résultats 2009. http://www.agreste.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf_D97110C02.pdf [consulté le 12 décembre 2011]

Alexandre G., Mandonnet N. (2005) Goat meat production in harsh environments. *Small Ruminant Research* 60, 53-66.

Alexandre G., Angeon V. (2010) Schémas de pensées et projets collectifs autour des races locales : Le cas du cabri Créole aux Antilles. *Ethnozootechnie* 87, 143-149.

Alexandre G., Asselin de Beauville S., Shitalou E., Zebus M.F. (2008) An overview of the goat meat sector in Guadeloupe: conditions of production, consumer preferences, cultural functions and economic implications. In *Livestock Research for Rural Development*, Vol. 20.

Alexandre G., Aumont G., Fleury J., Mainaud J.C., Kandassamy T. (1997a) Performances zootechniques de la chèvre Créole allaitante de Guadeloupe. Bilan de 20 ans dans un élevage expérimental de l'INRA. *INRA Productions Animales* 10, 7-20.

Alexandre G., Aumont G., Fleury J., Coppry O., Mulciba P., Nepos A. (1997b) Production semi-intensive au pâturage de caprins à viande en zone tropicale humide : le cas des cabris Créoles sur pangola. *INRA Productions Animales* 10, 43-53.

Alexandre G., Asselin de Beauville S., Shitalou E., Zebus M.F. (2006) Traditional use of goat products in the Guadeloupean society. Livestock farming systems: product quality based on local resources leading to improved sustainability (ed. R Rubino, L Sepe, A Dimitriadou and A Gibon), EAAP Publication 118, 183–188. Wageningen Academic Publishers, Wageningen, The Netherlands.

Asselin de Beauville S. (2002) Diagnostic de la filière caprine en Guadeloupe. These de Master of Science Développement Agricole Tropical. CNEARC ESAT, Montpellier, France.

Aumont G., Pouillot R., Simon R., Hostache G., Varo H., Barré N. (1997) Parasitisme digestif des petits ruminants dans les Antilles françaises. *INRA Productions Animales* 10, 79-89.

Baker R.L., Gray G.D. (2004) Appropriate breeds and breeding schemes for sheep and goats in the tropics. *Worm control for small ruminants in tropical Asia*, 63-95.

Baker R.L., Audho J.O., Aduda E.O., Thorpe W. (2001) Genetic resistance to gastro-intestinal nematode parasites in Galla and Small East African goats in the sub-humid tropics. *Animal Science* 73, 61-70.

Bambou J.C., de la Chevrotiere C., Varo H., Arquet R., Kooyman F.N.J., Mandonnet N. (2008) Serum antibody responses in Creole kids experimentally infected with Haemonchus contortus. *Veterinary Parasitology* 158, 311-318.

Bambou J.C., Gonzalez-Garcia E., de la Chevrotiere C., Arquet R., Vachiery N., Mandonnet N. (2009) Peripheral immune response in resistant and susceptible Creole kids experimentally infected with Haemonchus contortus. *Small Ruminant Research* 82, 34-39.

Bijma P., Dekkers J., van Arendonk J. (2005) Genetic Improvement of Livestock. Lecture Notes, Wageningen University.

Bishop S.C., Stear M.J. (2003) Modeling of host genetics and resistance to infectious diseases: understanding and controlling nematode infections. *Veterinary Parasitology* 115, 147-166.

Bisset S.A., Morris C.A. (1996) Feasibility and implications of breeding sheep for resilience to nematode challenge. *International Journal for Parasitology* 26, 857-868.

Bisset S.A., Vlassoff A., West C.J., Morrison L. (1997) Epidemiology of nematodosis in Romney lambs selectively bred for resistance or susceptibility to nematode infection. *Veterinary Parasitology* 70, 255-269.

Bouquet A. (2009) Amélioration de l'efficacité des programmes de sélection des bovines allaitants: de nouveaux modèles d'évaluation génétique. Thèse de doctorat, AgroParisTech.http://hal.archives-ouvertes.fr/docs/00/50/13/69/PDF/ These_ABouquet_14janv2010.pdf [consulté le 1 février 2011].

Boyazoglu J., Hatziminologlou I., Morand-Fehr P. (2005) The role of the goat in society: Past, present and perspectives for the future. *Small Ruminant Research* 60, 13-23.

Chambre d'agriculture Guadeloupe (2010). Mémo économique et social. L'agriculture en Guadeloupe.

Chiejina S.N., Behnke J.M. (2011) The unique resistance and resilience of the Nigerian West African Dwarf goat to gastrointestinal nematode infections. *Parasites & Vectors* 4.

de la Chevrotière C. (2011) Analyse de la variabilité génétique de la résistance aux strongles gastro-intestinaux chez la chèvre Créole à des fins de sélection et de compréhension des mécanismes. Thèse de doctorat, Université des Antilles et de la Guyane.

de la Chevrotière C., Moreno C., Jaquiet P., Mandonnet N. (2011) La sélection génétique pour la maîtrise des strongyloses gastro-intestinales des petits ruminants. *INRA Productions Animales* 24, 221-233.

Dubeuf J.P., Boyazoglu J. (2009) An international panorama of goat selection and breeds. *Livestock Science* 120, 225-231.

Dubeuf J.P., Morand-Fehr P., Rubino R. (2004) Situation, changes and future of goat industry around the world. *Small Ruminant Research* 51, 165-173.

Eady S.J., Woolaston R.R., Barger I.A. (2003) Comparison of genetic and nongenetic strategies for control of gastrointestinal nematodes of sheep. *Livestock Production Science* 81, 11-23.

FAO (2007). Wint G.R.W. et Robinson T.P. Gridded livestock of the world 2007, Rome.

FAOstat(2009) http://faostat.fao.org/site/342/default.aspx [consulté le 1 février 2011].

FAOstat (2010a) http://faostat.fao.org/site/573/default.aspx#ancor [consulté le 1 février 2011].

FAOstat (2010b) http://faostat.fao.org/site/569/DesktopDefault.aspx?PageID=569#ancor [consulté le 1 février 2011].

Gau D., Naves M., Alexandre G., Shitalou E., Mandonnet N. (2000) Systèmes de production et orientations génétiques en élevage caprin en Guadeloupe. *Proceedings of the 7th International Conference on Goats*, Tours, France, 15–18 May 2000, 368–370.

Galal S. (2005) Biodiversity in goats. *Small Ruminant Research* 60, 75-81.

Gibson J.P., Kennedy B.W. (1990) The use of constrained selection indexes in breeding for economic merit. *Theoretical and Applied Genetics* 80, 801-805.

Gizaw GebreMichael S. (2008) Sheep Resources of Ethipia : Genetic diversity and breeeding strategy. PhD thesis, Wageningen University, The Netherlands.

Goddard M.E. (1998) Consensus and debate in the definition of breeding objectives. *Journal of Dairy Science* 81, 6-18.

Goddard M.E., Hayes B.J. (2009) Mapping genes for complex traits in domestic animals and their use in breeding programmes. *Nature Reviews Genetics* 10, 381-391.

Greer A.W. (2008) Trade-offs and benefits: implications of promoting a strong immunity to gastrointestinal parasites in sheep. *Parasite Immunology* 30, 123-132.

Groen A.F. (2000) Breeding goal definition. In Galal S., Boyazoglu J., Hammond K. (Eds.), Developing breeding strategies for lower input animal production environments, ICAR Technical series 3, Rome, 25-104.

Groen A.F., Steine T., Colleau J.J., Pedersen J., Pribyl J., Reinsch N. (1997) Economic values in dairy cattle breeding, with special reference to functional traits. Report of an EAAP working group. *Livestock Production Science* 49, 1-21.

Harris D.L., Newman S. (1994) Breeding for profit : synergism between genetic improvement and livestock production (a review). *Journal of Animal Science* 72, 2178-2200.

Hazel L.N. (1943) The genetic basis for constructing selection indexes. *Genetics* 28, 476.

Henderson C.R. (1963) Selection index and expected genetic advance. In Statistical genetics and plant breeding, NAS-NRC 982, Washington DC, 141-163.

Itoh Y., Yamada Y. (1987) Comparisons of selection indexes achieving predetermined proportional gains. *Genetics Selection Evolution* 19, 69-81.

Jackson F., Miller J. (2006) Alternative approaches to control - Quo vadit? *Veterinary Parasitology* 139, 371-384.

Kahn L.P., Knox M.R., Walkden-Brown S.W., Lea J.M. (2003) Regulation of the resistance to nematode parasites of single- and twin-bearing Merino ewes through nutrition and genetic selection. *Veterinary Parasitology* 114, 15-31.

Kaplan R.M. (2004) Drug resistance in nematodes of veterinary importance: a status report. *Trends in Parasitology* 20, 477-481.

Kemper K.E., Elwin R.L., Bishop S.C., Goddard M.E., Woolaston R.R. (2009) Haemonchus contortus and Trichostrongylus colubriformis did not adapt to long-term exposure to sheep that were genetically resistant or susceptible to nematode infections. *International Journal for Parasitology* 39, 607-614.

Kluyts J.F., Neser F.W.C., Bradfield M.J. (2003) Development of breeding objectives for beef cattle breeding: Derivation of economic values. *South African Journal of Animal Science* 33, 142-158.

Kosgey I.S., Baker R.L., Udo H.M.J., Van Arendonk J.A.M. (2006) Successes and failures of small ruminant breeding programmes in the tropics: a review. *Small Ruminant Research* 61, 13-28.

Mahieu M., Arquet R., Kandassamy T., Mandonnet N., Hoste H. (2007) Evaluation of targeted drenching using Famachal (c) method in Creole goat: Reduction of anthelmintic use, and effects on kid production and pasture contamination. *Veterinary Parasitology* 146, 135-147.

Mahieu M., Archimede H., Fleury J., Mandonnet N., Alexandre G. (2008) Intensive grazing system for small ruminants in the Tropics: The French West Indies experience and perspectives. *Small Ruminant Research* 77, 195-207.

Mandonnet N., Ducrocq V., Arquet R., Aumont G. (2003) Mortality of Creole kids during infection with gastrointestinal strongyles: A survival analysis. *Journal of Animal Science* 81, 2401-2408.

Mandonnet N., Aumont G., Fleury J., Gruner L., Bouix J., Khang J.V.T., Varo H. (1997) Résistance aux strongles gastro-intestinaux des caprins. Influence de différents environnements tropicaux sur l'expression du potentiel génétique de résistance. *INRA Productions Animales* 10, 91-98.

Mandonnet N., Aumont G., Fleury J., Arquet R., Varo H., Gruner L., Bouix J., Khang J.V.T. (2001) Assessment of genetic variability of resistance to gastrointestinal nematode parasites in Creole goats in the humid tropics. *Journal of Animal Science* 79, 1706-1712.

Mandonnet N., Bachand A., Mahieu A., Arquet R., Baudron F., Abinne-Molza L., Varo H., Aumont G. (2005) Impact on productivity of peri-parturient rise in fecal egg counts in Creole goats in the humid tropics. *Veterinary Parasitology* 134, 249-259.

Mandonnet N., Naves M., Gunia M., Arquet R., Alexandre G. (2010) An evaluation grid to characterize phenotypical traits in Creole goat of Guadeloupe. *10th International Conference on goats, Recife*, Brazil, 19 - 23 September 2010.

Marie-Magdeleine C., Mahieu M., Philibert L., Despois P., Archimede H. (2010a) Effect of cassava (Manihot esculenta) foliage on nutrition, parasite infection and growth of lambs. *Small Ruminant Research* 93, 10-18.

Marie-Magdeleine C., Udino L., Philibert L., Bocage B., Archimede H. (2010b) In vitro effects of Cassava (Manihot esculenta) leaf extracts on four development stages of Haemonchus contortus. *Veterinary Parasitology* 173, 85-92.

Minvielle F. (1990) Principes d'amélioration génétique des animaux domestiques. INRA, Presses de l'université de Laval.

Morris C.A., Watson T.G., Bisset S.A., Vlassoff A., Douch P.G.C. (1995) Breeding sheep in New Zealand for resistance or resilience to nematode parasites. In Gray, G.D., Woolaston, R.R., Eaton, B.T. (Eds), Breeding for resistance to infectious diseases in small ruminants, ACIAR Monograph 34, Canberra, Australia, 77-98.

Naderi S., Rezaei H.R., Pompanon F., Blum M.G.B., Negrini R., Naghash H.R., Balkiz O., Mashkour M., Gaggiotti O.E., Ajmone-Marsan P., Kence A., Vigne J.D., Taberlet P. (2008) The goat domestication process inferred from large-scale mitochondrial DNA analysis of wild and domestic individuals. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 105, 17659-17664.

Naves M., Leimbacher F., Alexandre G., Jaquot M., Fontaine O., Mandonnet N. (2009) State of the art and perspectives of genetic improvement programmes in ruminant species in the French Overseas Departments. 16 emes Rencontres autour des Recherches sur les Ruminants, Paris, les 2 et 3 Decembre 2009.

ODEADOM (2009) Filières Diversification animales. Office de Développement de l'Economie Agricole d'Outre-Mer. http://www.odeadom.fr/wp-content/uploads/2009/02/plaquette-productions-animales-bat-06_02_2009.pdf [consulté le 12 décembre 2011]

ODEADOM (2010) Rapport d'activité 2009. Office de Développement de l'Economie Agricole d'Outre-Mer. http://www.odeadom.fr/wp-content/themes/odeadom/ressources/activites-2009.pdf [consulté le 12 décembre 2011]

Olesen I., Groen A.F., Gjerde B. (2000) Definition of animal breeding goals for sustainable production systems. *Journal of Animal Science* 78, 570-582.

Peacock C. (2005) Goats - A pathway out of poverty. *Small Ruminant Research* 60, 179-186.

Peacock C., Sherman D.M. (2010) Sustainable goat production-Some global perspectives. *Small Ruminant Research* 89, 70-80.

Phocas F. (2011) L'optimisation des programmes de sélection. *INRA Productions Animales* 24, 339-254.

Ponzoni R.W., Newman S. (1989) Developing breeding objectives for Australian beef-cattle production. *Animal Production* 49, 35-47.

Rendel J.M., Robertson A. (1950) Estimation of genetic gain in milk yield by selection in a close herd of dairy cattle. *Journal of Genetics* 50, 1-8.

Riley D.G., Van Wyk J.A. (2009) Genetic parameters for FAMACHA (c) score and related traits for host resistance/resilience and production at differing severities of worm challenge in a Merino flock in South Africa. *Veterinary Parasitology* 164, 44-52.

Rutten M.J.M., Bijma P., Woolliams J.A., van Arendonk J.A.M. (2002) SelAction: Software to predict selection response and rate of inbreeding in livestock breeding programs. *Journal of Heredity* 93, 456-458.

Simm G., Conington J., Bishop S.C., Dwyer C.M., Pattinson S. (1996) Genetic selection for extensive conditions. *Applied Animal Behaviour Science* 49, 47-59.

Torres-Acosta J.F.J., Hoste H. (2008) Alternative or improved methods to limit gastro-intestinal parasitism in grazing sheep and goats. *Small Ruminant Research* 77, 159-173.

van Arendonk J., Bijma P., Bovenhuis H., Crooijmans R., van der Lende T. (2010) Animal Breeding and Genetics. Lecture Notes, Wageningen University.

van der Werf J. (2000) Livestock straight-breeding system structures for the sustainable intensification of extensive grazing systems. Breeding goal definition. In Galal S., Boyazoglu J., Hammond K. (Eds.), Developing breeding strategies for lower input animal production environments, ICAR Technical series 3, Rome, 25-104.

van der Westhuysen J.M. (2005) Mariketing goat fibres. *Small Ruminant Research* 60, 215-218.

van Wyk J.A., Bath G.F. (2002) The FAMACHA((c)) system for managing haemonchosis in sheep and goats by clinically identifying individual animals for treatment. *Veterinary Research* 33, 509-529.

Verrier E., Rognon X., Loywyck V. (2005) Amélioration génétique des animaux domestiques. Institut National Agronomique Paris-Grignon.

Wiener G., Rouvier R. (2009) L'amélioration génétique animale. Editions Quae, CTA, Presse agronomique de Gembloux.

Woolaston R.R., Baker R.L. (1996) Prospects of breeding small ruminants for resistance to internal parasites. *International Journal for Parasitology* 26, 845-855.

Annexes

DIFFUSION DES RESULTATS

I Publications scientifiques

Gunia M., Mandonnet N., Arquet R., de la Chevrotière C., Naves M., Mahieu M., Alexandre G. (2010) Production systems of Creole goat and their implications for a breeding programme. *Animal* 4, 2099-2115

Gunia M., Phocas F., Arquet R., Alexandre G., Mandonnet N. (2011) Genetic parameters for body weight, reproduction, and parasite resistance traits in the Creole goat. *Journal of Animal Science* 89, 3443-3451.

.Gunia M., Mandonnet N., Arquet R., Alexandre G., Gourdine J.-L., Naves M., Angeon V., Phocas F. (2012) Economic values of body weight, reproduction and parasite resistance traits for a Creole goat breeding goal. *Accepté dans Animal*.

Gunia M., Phocas F., Gourdine J-L.l., Bijma P., Mandonnet N. (2012) Breeding for resistance and resilience to parasites in the Creole goat: a simulation study. *Soumis à Journal of Animal Science.*

II Chapitre d'ouvrages

Gunia M., Zerjal T., Mandonnet N., Verrier E. (2011) Facteurs génétiques de la rusticité et sélection animale. In : Hubert B. (dir.), La rusticité: l'animal, la race, le système d'élevage? Pastum hors-série, Association Française de Pastoralisme, Agropolis international et Cardère éditeur, 25-30

III Communications orales

Jaquot M., Mandonnet N., Arquet R., Naves M., Mahieu M., Alexandre G (2009) Production systems of Creole goat in Guadeloupe and farmers'selection traits. *Book of Abstracts of the 60th Annual Meeting of the European Association for Animal Production,* http://www.istitutospallanzani.it/doc/382.pdf [consulté le 3 janvier 2012]

Gunia M., Bijma P., Phocas F., Mandonnet N. (2011) Selection for resilience and resistance to parasitism in Creole goat. *Book of Abstract of the 62nd Annual Meeting of the European Federation of Animal Science*, http://www.eaap.org/Stavanger/Stavanger_Book_of_Abstracts.pdf [consulté le 3 janvier 2012]

Gunia M., Mandonnet N., Arquet R., Gourdine J-L., Angeon V., Phocas F. (2011) Modélisation d'un atelier de caprins Créoles en Guadeloupe pour l'amélioration génétique. *48ème colloque ASRDLF,* Schoelcher, Martinique, 6-8 Juillet 2011, 8 p.

De la Chevrotière C., Bambou J-C., Arquet R., Jaquot M., Mandonnet N. (2009) La sélection génétique pour la maîtrise des stronglyoses: cas particulier de la chèvre Créole de Guadeloupe. *16èmes Rencontres autour des Recherches sur les Ruminants,* http://www.journees3r.fr/IMG/pdf/2009_08_04_chevrotiere.pdf [consulté le 3 janvier 2012]

Bambou J. C., De La Chevrotière C., Gunia M., Arquet R., Mandonnet N. (2010) Genetic correlation between resistance to strongyle natural infection and resistance to Haemonchus contortus experimental infection in Creole goats. *10th International Conference on goats*, Recife, Brazil, 19-23 Septembre 2010, 3 p.

De la Chevrotière C., Gunia M., Menendez-Buxadera A., Bambou J. C., Mandonnet N. (2010) Genetic parameters of a gastrointestinal resistant trait in Creole goats during post-weaning period using a random regression model. *9th WCGALP,* http://www.kongressband.de/wcgalp2010/assets/pdf/0586.pdf [consulté le 3 janvier 2012]

Mandonnet N., Naves M., Gunia M., Arquet R., Alexandre G. (2010) An evaluation grid to characterize phenotypical traits in Creole goat of Guadeloupe. *10th International Conference on goats*, Recife, Brazil, 19-23 Septembre 2010, 1 p.

Naves M., Arquet R., Farant A., Quenais F.X., Gunia M., Alexandre G., Mandonnet N. (2010) Management of local genetic resources by in situ and ex situ methods for research and breeding purpose: the case study of the local Creole goat of Guadeloupe. *10th International Conference on goats*, Recife, Brazil, 19-23 Septembre 2010, 1 p.

Naves M., Leimbacher F., Alexandre G., Jaquot M., Fontaine O., Mandonnet N. (2009) Etat des lieux et perspectives de programmes d'amélioration génétique des ruminants dans les départements d'Outre Mer. *16èmes Rencontres autour des Recherches sur les Ruminants,* http://www.journees3r.fr/IMG/pdf/2009_09_01_Naves.pdf [consulté le 3 janvier 2012]

IV Supports de communication réalisés (posters)

Gunia M., Mandonnet N., Alexandre G., Naves M., Phocas F. (2010) Contribution of research to a breeding programme for Creole goats in Guadeloupe. *Proceedings of the SAPT2010 conference, Advances in Animal Biosciences*, 1, 401-402, http://journals.cambridge.org/action/displayFulltext?type=1&fid=7922050&jid=ABS&volumeId=1&issueId=02&aid=7922049 [consulté le 3 janvier 2012]

Gunia M., Mandonnet N., Alexandre G., Naves M., Phocas F. (2010) Genetic parameters of litter size in Creole goats and their implication for a breeding programme including adaptation traits. *Proceedings of the SAPT2010 conference, Advances in Animal Biosciences*, 1, 402-403. http://journals.cambridge.org/action/displayFulltext?type=1&fid=7922052&jid=ABS&volumeId=1&issueId=02&aid=7922051 [consulté le 3 janvier 2012]

Gunia M., Phocas F., de la Chevrotière C., Bambou J., Mandonnet N. (2010) Genetic parameters of resistance and growth traits for a breeding programme in Creole goats. *9th WCGALP*, http://www.kongressband.de/wcgalp2010/assets/pdf/0378.pdf [consulté le 3 janvier 2012]

FORMATIONS SUIVIES

I Formation initiale

Novembre 2008, Diplôme d'ingénieur agronome à AgroParisTech

II Formations pendant la thèse

- **Cours scientifiques et techniques**

- Novembre-Décembre 2010, *90h,* Amélioration génétique des animaux d'élevage, Université de Wagenigen, Pays-Bas

- Septembre 2010, *25h,* Application du modèle de régression aléatoire en génétique animale, INRA Antilles-Guyane, Petit-Bourg

- **Formation aux logiciels**

- Novembre 2011, 14h, Formation statistique au logiciel R, INRA Antilles-Guyane, Petit-Bourg

- Mai-Juin 2009, 18h, Initiation à l'analyse statistique à partir du logiciel SAS et du logiciel R, INRA Antilles-Guyane, Petit-Bourg

- **Langues et Techniques de communication**

- Novembre 2011, 4h, Ecriture d'articles scientifiques en anglais, CIRAD, Petit-Bourg

- Juin 2010, 4h, Techniques de vulgarisation, INRA Antilles-Guyane, Petit-Bourg, Jaeglé Consultants conseil et formation en communication

- Octobre 2010-Septembre 2011, 21h, Write Right Niveau 1- Rédaction et structuration de l'article scientifique, par correspondance, Accompagnement Linguistique et Pédagogique Actif

- **Management et relation interpersonnelle**

- Juin-Octobre 2010, 20h, Gestion d'événement en mode projet dans le cadre d'un congrès - Animation de réunion, INRA Antilles-Guyane, Petit-Bourg, GIP DAIFI département ingénierie du département de la Guadeloupe

- **Conférence**

- Aout-Septembre 2011, 32h, 62ème congrès annuel de l'EAAP, Stavanger, Norvège

- **Séminaire**

- Janvier 2012, 30h, Ecole-chercheurs "Gestion génomique des ressources génétiques animales en régions chaudes », CIRAD et INRA, le Gosier, Guadeloupe

- **Enseignement**

- Mars-Juin 20009, 12h, Travaux Pratiques en Biologie Cellulaire, Université des Antilles et de la Guyane, Pointe-à-Pitre

- **Formations transversales**

- Mai et Octobre 2011 30h Formation de Sauveteur Secouriste du Travail, INRA Antilles-Guyane, Petit-Bourg

- **Ouverture scientifique et culturelle**

- Février 2011, 3h, Formation au risque sismique, INRA Antilles-Guyane, Petit-Bourg, Charlotte Reimonenq Consultante Sécurité Prévention

RESUME

Conception et optimisation d'un programme de sélection de petits ruminants en milieu tropical : cas du caprin Créole en Guadeloupe

Ce travail de thèse a pour but de fournir les bases scientifiques et techniques nécessaires au développement d'un programme de sélection en milieu tropical appliqué à une race caprine locale de Guadeloupe.

La chèvre Créole est une chèvre de petite taille, aux bonnes aptitudes maternelles, issue du métissage de chèvres d'Afrique et d'Europe de l'ouest. Cette chèvre rustique est bien adaptée au climat tropical et présente une certaine tolérance aux parasites internes. Les éleveurs guadeloupéens l'utilisent pour la production de viande. En 2008, un projet de programme de sélection pour la chèvre Créole a démarré, projet qui réunit la coopérative caprine Cabricoop, la chambre d'agriculture et l'INRA. Les différentes étapes nécessaires à la conception et à l'optimisation de ce programme sont présentées dans ce travail de thèse.

En termes d'objectif de sélection, des enquêtes auprès des éleveurs de la Cabricoop ont montré l'importance que les éleveurs attribuent tant à la croissance de leurs animaux qu'aux qualités maternelles des femelles. Afin de quantifier cette importance sur des bases économiques explicites, la modélisation des différentes composantes de la marge brute d'un atelier caprin a permis de déterminer les pondérations économiques des différents caractères à inclure dans l'objectif de sélection de la race. L'objectif de sélection intègre des caractères de production (poids et rendement carcasse à 11 mois), de reproduction (fertilité) et de résistance (OPG = nombre d'œufs de strongles par gramme de fèces) et résilience (hématocrite) au parasitisme. Quel que soit le scénario envisagé en termes de quantité ou coût des intrants, le poids et la fertilité sont les deux composantes pour lesquelles une amélioration d'un écart type génétique de caractère amène le bénéfice escompté le plus grand. Les pondérations standardisées et cumulées de ces deux caractères expliquent entre 70 et 90% du total des pondérations économiques standardisées des caractères inclus dans l'objectif.

A l'exception du rendement carcasse, les paramètres phénotypiques et génétiques des différents caractères inclus dans l'objectif de sélection ont été estimés pour la chèvre Créole à partir des données recueillies à l'unité expérimentale de Gardel. L'héritabilité est modérée pour le poids (0,32), faible pour la fertilité (0,11) et intermédiaire pour l'hématocrite (0,13) et l'OPG (0,18). Les corrélations génétiques estimées entre les caractères sont soit très faibles ou plutôt favorables.

Les simulations de réponses à la sélection pour un noyau de sélection de 300 mères Créoles ont montré qu'il était possible d'améliorer à la fois le poids, le rendement carcasse, la fertilité, l'hématocrite et l'OPG. Améliorer résistance et résilience au parasitisme ne diminue que très légèrement la réponse à la sélection espérée sur les caractères de production. Il est donc possible de concilier des objectifs de production, de reproduction et d'adaptation au milieu pour la chèvre Créole en Guadeloupe.

Ce travail de thèse a donc fourni les bases pour le développement d'un programme de sélection durable, pour une race locale, en milieu tropical.

Mot-clés: objectif de sélection, critère de sélection, programme de sélection, chèvre, tropiques, parasitisme, résistance aux strongles gastro-intestinaux.

ABSTRACT

Design and optimisation of breeding schemes for small ruminants in the tropics: a case study of the Creole goat breed in Guadeloupe.

This thesis aims at providing the scientific and technical basis needed for the setting up of a breeding programme applied to an indigenous guadeloupean breed of goat in the tropics.

The local Creole breed of goat in Guadeloupe is a small-sized breed with good maternal qualities. This hardy breed comes from the natural mixing of breeds from Africa and Europe. It is well adapted to tropical climates and tolerates internal parasites. Guadeloupean farmers use Creole breed for meat production. Since 2008, the breeder's association Cabricoop, extension services and INRA collaborate to implement a breeding programme for Creole goat. This thesis presents the different steps needed for the design and optimisation of this programme.

Concerning the breeding objective, a survey of Cabricoop farmers has shown the importance given to growth and maternal qualities in goats. In order to quantify this importance on sound economic basis, we modelled the components of the goat farm profit and derive the economic values of the different traits included in the breeding objective. We derived the economic values for production (body weight and dressing percentage at 11 months of age) and reproduction traits (fertility) as well as parasites resistance and resilience traits (FEC= number of worm eggs in the faeces and PCV= packed cell volume). Whatever the quantity or cost of input, the increase of one genetic standard deviation of body weight or fertility traits generated the highest profit. The standardised economic values of these traits explained 70 to 90% of the sum of the standardised economic values of all traits in the breeding objective.

Genetic parameters of all traits except dressing percentage were derived for Creole goat. Heritability was moderate for body weight (0.32), low for fertility (0.11) and intermediate for PCV (0.13) and OPG (0.18). Genetic correlations were either low or favourable.

Simulations of selection responses for a closed nucleus herd of 300 Creole does show that it is possible to improve weight, dressing percentage, fertility, PCV, and FEC simultaneously. Improving resistance and resilience to parasites decreases slightly the expected selection response on production traits without much trade-off. It is therefore possible to conciliate production, reproduction, and adaptation objectives for Creole goat in Guadeloupe.

This thesis has provided the basis for the implementation of a sustainable breeding programme for a local breed in a tropical environment.

Keywords: breeding goal, selection criterion, breeding programme, goat, tropics, parasites, resistance to gastro-intestinal nematodes