Gestion du parasitisme gastro-intestinal des petits ruminants en zone tropicale humide

Maurice Mahieu

▶ **To cite this version:**

Maurice Mahieu. Gestion du parasitisme gastro-intestinal des petits ruminants en zone tropicale humide. Sciences agricoles. Université de Lorraine, 2014. Français. NNT : 2014LORR0230 . tel-01751239

HAL Id: tel-01751239
https://hal.univ-lorraine.fr/tel-01751239

Submitted on 29 Mar 2018

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

AVERTISSEMENT

Ce document est le fruit d'un long travail approuvé par le jury de soutenance et mis à disposition de l'ensemble de la communauté universitaire élargie.

Il est soumis à la propriété intellectuelle de l'auteur. Ceci implique une obligation de citation et de référencement lors de l'utilisation de ce document.

D'autre part, toute contrefaçon, plagiat, reproduction illicite encourt une poursuite pénale.

Contact : ddoc-theses-contact@univ-lorraine.fr

LIENS

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 122. 4
Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 335.2- L 335.10
http://www.cfcopies.com/V2/leg/leg_droi.php
http://www.culture.gouv.fr/culture/infos-pratiques/droits/protection.htm

Université de Lorraine

École Nationale Supérieure d'Agronomie et des Industries Alimentaires

Unité de Recherche Animal et Fonctionnalités des Produits Animaux (URAFPA)

École Doctorale Sciences et Ingénieries des Ressources, Procédés, Produits et Environnement (RP2E)

THÈSE

Présentée en vue de l'obtention du grade de

Doctorat de l'Université de Lorraine

Spécialité : Sciences Agronomiques

par Maurice MAHIEU

Gestion du parasitisme gastro-intestinal des petits ruminants en zone tropicale humide

Soutenue publiquement le 19 décembre 2014

Membres du Jury

Mme Nathalie MANDONNET, Directeur de Recherche	INRA Antilles-Guyane	Présidente du Jury
M. Christophe CHARTIER, Professeur	ONIRIS, Nantes	Rapporteur
M. Philippe JACQUIET, Professeur	ENVT, Toulouse	Rapporteur
M. Étienne ZUNDEL, Ingénieur de Recherche HC	INRA Val de Loire	Examinateur
M. Guido RYCHEN, Professeur	ENSAIA-INPL, Nancy	Examinateur (directeur de thèse)
M. Harry ARCHIMÈDE, Directeur de Recherche	INRA Antilles-Guyane	Examinateur (co-directeur de thèse)

Remerciements

Je tiens à exprimer ici toute ma gratitude à ceux, et ils sont trop nombreux pour être tous nommés, auxquels je suis redevable depuis mes débuts de zootechnicien tropical. Parmi eux, Alain Xandé, qui nous a quittés prématurément, sa complice Gisèle Alexandre, ou encore Philippe Chemineau qui ont accompagné mes débuts en Martinique ; Gilles Aumont, qui m'a donné les rudiments de parasitologie, à qui je dois aussi d'avoir obtenu un titre d'ingénieur et d'avoir ensuite intégré l'INRA ; Yves-Marie Cabidoche, lui aussi trop tôt disparu, et les collègues de l'IRD (ex-ORSTOM) en Martinique, qui m'ont initié aux subtilités des sols vertiques… et ont élargi mon champ de vision sur la complexité des éco-systèmes pastoraux.

Je n'oublie pas toutes celles et tous ceux que j'ai côtoyés de près ou de loin pendant ces années, sans la contribution desquels rien n'aurait été possible. Je tiens en particulier à marquer ma reconnaissance à mes collègues de la Plateforme Tropicale d'Expérimentation sur l'Animal, pour leur professionnalisme et l'ambiance toujours sympathique qui prévaut lors des expérimentations comme lors des discussions. Merci aux collègues de l'URZ, qu'ils soient au laboratoire, dans les services d'appui ou dans les équipes de recherche, pour avoir fait de cette unité une équipe où il fait bon travailler. Je n'oublie pas non plus mes anciens collègues de la Station d'Essais en Cultures Irriguées de Ste Anne (Conseil Général de la Martinique), auprès desquels j'ai beaucoup appris.

Je tiens à remercier tout particulièrement Harry Archimède qui a su me persuader d'entreprendre ce travail de thèse, Guido Rychen qui m'a offert l'opportunité de la soutenir à l'Université de Lorraine, et Nathalie Mandonnet, pour leur soutien amical, par beau temps comme dans la bourrasque.

Un grand merci à Étienne Zundel, Philippe Jacquiet et Christophe Chartier pour avoir accepté de participer à l'évaluation de mon travail.

Enfin je dédie ce travail à mes proches, sans qui la vie manquerait de sel et de miel.

Les travaux qui ont permis l'élaboration de cette thèse ont été rendu possibles grâce aux financements du Conseil Général de la Martinique (1978-2000) puis de l'INRA, la Région Guadeloupe et l'Union Européenne (CPER, FEDER, FEADER…).

Table des matières

Remerciements 2
Liste des tableaux 5
Liste des figures 5
Abréviations 6
Résumé 7
Abstract 7
Introduction 8
1. Impact du milieu tropical sur les nématodes parasites des petits ruminants 10
1.1. Contexte de l'élevage des petits ruminants : l'exemple de la Guadeloupe 10
1.1.1. Représentativité du milieu pédo-climatique 10
1.1.2. Les animaux 12
1.1.3. Aspects sanitaires de l'élevage des petits ruminants en Guadeloupe 13
1.2. Description des espèces parasitaires et de leur cycle biologique 15
1.2.1. Possibilités d'adaptation des NGI, niches écologiques, survie des stades libres 17
1.2.2. Autres causes de mortalité des stades libres 19
1.2.3. Stratégies de survie en périodes difficiles 20
1.3. Relations Hôte – Parasites 20
1.3.1. Résistance et résilience 22
1.3.2. Infectivité et pathogénicité 23
1.3.3. Facteurs de variation des réponses de l'hôte à l'infestation parasitaire 23
2. Approche classique du contrôle des nématodes parasites gastro-intestinaux et ses limites 25
2.1. L'approche médicamenteuse : l'utilisation des anthelminthiques de synthèse 25
2.2. Des phénomènes de résistance de plus en plus préoccupants… 26
… y compris aux Antilles Françaises 26
2.3. Aspects génétiques de la résistance des NGI aux anthelminthiques. 29
2.4. Effets secondaires des anthelminthiques 30
3. Vers la recherche de solutions 31
3.1. Renforcer les défenses des hôtes 33
3.1.1. Utilisation de vaccins 33
3.1.2. Interactions nutrition - parasitisme 34
3.1.3. Génétique et sélection sur des critères de résistance/résilience 34
3.2. Limiter le risque d'infestation 36
3.2.1. Par la gestion du pâturage 36

3.2.1.1. Le pâturage tournant 36
3.2.1.2. Les associations d'espèces herbivores 36
3.2.2. Par l'utilisation de prédateurs naturels des stades libres des NGI 40
3.2.3. Par l'utilisation des métabolites secondaires des plantes 41
3.2.4. Par l'utilisation des dérivés du cuivre 43
3.2.5. Détruire les larves sur le pâturage ? 44
3.3. Gérer les populations parasitaires pour prolonger l'efficacité des anthelminthiques 44
3.3.1. Refuge et traitements ciblés 44
3.3.2. Gérer les populations parasitaires à l'échelle de l'élevage entier 48
4. Stratégies de construction de systèmes de contrôle intégré adaptés aux tropiques humides 52
5. En perspectives 57
Références 58
Annexe 1 : suivi de l'efficacité des anthelminthiques sur le domaine INRA-PTEA (Guadeloupe) : 1999 - 2012 84
Annexe 2 : Mahieu, M., Ferré, B., Madassamy, M. et Mandonnet, N. (2014). Fifteen years later, anthelmintic resistances have dramatically spread over goat farms in Guadeloupe. Vet. Parasitol. 205 (1-2) : 379-384 88
Annexe 3 : Mahieu, M., Arquet, R., Fleury, J., Coppry, O., Marie-MagdeleineC., Boval, M., Archimède, H., Alexandre, G., Bambou, J. C. et Mandonnet, N. (2009). Contrôle intégré du parasitisme gastro-intestinal des petits ruminants en zone tropicale humide. 16ème Rencontres Recherches Ruminants, Paris (France), INRA - Institut de l'Elevage: 265-268 95
Annexe 4 : Mahieu, M. et Aumont, G. (2009). Effects of sheep and cattle alternate grazing on sheep parasitism and production. Trop. Anim. Health Prod. 41 (2): 229-239 100
Annexe 5 : Mahieu, M., Aumont, G., Michaux, Y., Alexandre, G., Archimède, H., Boval, M. et Theriez, M. (1997). L'association d'ovins et de bovins sur prairies irriguées en Martinique (F.W.I.). INRA Prod. Anim. 10 (1): 55-66 112
Annexe 6 : Mahieu, M. (2013). Effects of stocking rates on gastrointestinal nematode infection levels in a goat/cattle rotational stocking system. Vet. Parasitol. 198: 136-144 124
Annexe 7 : Mahieu, M., Arquet, R., Kandassamy, T., Mandonnet, N. et 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. Vet. Parasitol. 146 (1/2): 135-147 134
Annexe 8 : Feasibility of a "leader follower" grazing system instead of specialised paddocks with regard to integrated gastrointestinal control in small ruminant farming 148
Annexe 9 : Liste des publications 169

Liste des tableaux

Tableau 1: effectifs des chèvres et brebis adultes recensées en Guadeloupe et Martinique (source Agreste, Recensement Agricole 2010). 13
Tableau 2 : exemples de nématodes parasites gastro-intestinaux des petits ruminants des zones tropicales et subtropicales. 15
Tableau 3: compilation des études sur l'utilisation des particules d'oxyde de cuivre (COWP) pour le contrôle des nématodes gastro-intestinaux des petits ruminants. 43
Tableau 4 : performances post-sevrage (parasitisme, mortalité, digestibilité et quantités de matière organique ingérée, croissance) 50
Tableau 5 : test d'efficacité des anthelminthiques sur les populations établies avant substitution (1999), méthode "iFECRT4" préconisée par Cabaret et Berrag (2004). 85
Tableau 6 : test d'efficacité de la doramectine avant substitution (1999) : pas de lot témoin, méthode "iFECRT3" préconisée par Cabaret et Berrag (2004). 85
Tableau 7 : tests d'efficacité des anthelminthiques après réintroduction de la souche "Calixte" d'H. contortus, méthode "iFECRT4" préconisée par Cabaret et Berrag (2004). 86
Tableau 8 : tests d'efficacité des anthelminthiques après réintroduction de la souche "Meunier" de T. colubriformis, méthode "iFECRT4" préconisée par Cabaret et Berrag (2004). 87

Liste des figures

Figure 1 : répartition mondiale des ovins et caprins (source FAO). 10
Figure 2 : carte des isohyètes de la Guadeloupe (source Météo-France). Cercle rouge : station météorologique INRA-Plateforme Tropicale d'Expérimentation sur l'Animal du Moule. En insert, carte du relief. 10
Figure 3 : distribution mensuelle des températures minimales (en haut à gauche), des températures maximales (en haut à droite), de l'évapo-transpiration journalière (en bas à droite), et distribution interannuelle des précipitations mensuelles moyennes (en bas à gauche) enregistrées sur la période 1988-2013 à la station météorologique INRA-Plateforme Tropicale d'Expérimentation sur l'Animal du Moule, cercle rouge sur la figure 2 (données issues de la plateforme INRA Climatik). 11
Figure 4 : répartition mondiale des familles de sols présentes en Guadeloupe (source FAO). 12
Figure 5 : distribution géographique des élevages caprins et des effectifs (Recensement Agricole 2010). 13
Figure 6 : schéma du cycle biologique des principaux nématodes gastro-intestinaux. 16
Figure 7 : plages de température favorables au développement des principales espèces de NGI, d'après O'Connor et al (2006). 17
Figure 8 : risque d'infestation parasitaire (en z) fonction du temps de séjour et du temps de repousse. 19
Figure 9 : représentation schématique du système de contrôle intégré des NGI, d'après Mahieu et al (2009) 32
Figure 10 : représentation schématique de l'hétérogénéité spatiale des pâturages, données PTEA non publiées 39
Figure 11 : dispositif expérimental du système de pâturage "en avant" (à droite) et du système "témoin" (à gauche). TST : traitements ciblés (Famacha©) 49

Abréviations

ADL = *Acid Detergent Lignin* (correspond approximativement aux fibres lignifiées, résistant à l'hydrolyse acide, constituants indigestibles des parois végétales)

CABRICOOP = coopérative agricole des producteurs caprins et ovins de la Guadeloupe

COWP = *Copper Oxide Wire Particles* (particules d'oxyde de cuivre)

ETP = évapotranspiration potentielle (d'un couvert végétal)

FAO = *Food and Agriculture Organisation* (Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture) www.fao.org

FEC = *Faecal Egg Count* (parfois noté OPG), densité d'éléments parasitaires dans les fèces, ici œufs de NGI, exprimé en œufs par gramme de fèces frais (opg)

FECRT = *Faecal Egg Count Reduction Test* (test de réduction du nombre d'œufs de parasites excrétés, ou test de l'efficacité anthelminthique)

H. contortus = *Hæmonchus contortus*

IKARE (SANITEL) Institut Karibéen et Amazonien de l'Élevage (projet de suivi sanitaire des élevages en Guyane)

INRA = Institut National de la Recherche Agronomique

INRA-URZ = Unité de recherches Zootechniques (INRA Antilles Guyane, 97170 Petit-Bourg, Guadeloupe)

L1 ; L2 ; larves de NGI des premiers et seconds stades de développement (dans les fèces)

L3 = Larve de NGI du 3ème stade, ou larve infestante (sur le pâturage, puis ingérée par un hôte potentiel)

L4 = Larve de NGI du 4ème stade (dans la paroi du tube digestif de l'hôte)

NGI = Nématodes parasites Gastro-Intestinaux

Œ.columbianum = *Œsophagostomum columbianum*

opg = œufs (de NGI) par gramme de fèces

PCV = *packed cell volume* = hématocrite (volume occupé par les hématies, en % du volume sanguin)

PTEA = Plateforme Tropicale d'Expérimentation sur l'Animal (INRA Antilles-Guyane, 16°20'N, 61°20'W)

sp. = *species* (espèce non définie dans le genre, ex. : *Hæmonchus* sp.)

T. colubriformis = *Trichostrongylus colubriformis*

TC = tanins condensés

TST = *targeted selective treatments* = traitements ciblés

Résumé

L'élevage de petits ruminants est majoritairement représenté dans les pays tropicaux et subtropicaux. Le parasitisme par des nématodes gastro-intestinaux (NGI), transmis *via* le pâturage, est une des principales causes de pertes de production en ovins comme en caprins. Depuis le milieu du XXème siècle, la généralisation de l'emploi des anthelminthiques s'est accompagnée d'une augmentation marquée de la productivité. Cependant, la sélection et la diffusion progressive de souches parasitaires résistant aux anthelminthiques rendent cette méthode de contrôle de moins en moins efficace. Ainsi, une enquête récente en Guadeloupe montre que 100% des populations de NGI sont résistantes aux benzimidazoles et que la majorité l'est à plusieurs familles d'anthelminthiques. Nous développons, à partir des connaissances acquises sur l'épidémiologie des NGI et sur les relations entre hôtes et parasites, des systèmes de contrôle intégré des parasites. Le premier élément en est l'utilisation de méthodes de traitement ciblé, à l'échelle de l'élevage entier. Ainsi, la méthode Famacha© nous a permis, en constituant un refuge estimé à 50 à 80% des NGI, de réduire le risque de sélection de NGI résistants sans pénaliser la production. Les autres éléments ont pour objectif de diminuer le niveau global d'infestation du troupeau, en combinant des méthodes visant à renforcer les capacités de défense des animaux (alimentation adaptée, amélioration génétique…) et à diminuer le risque de rencontre hôte – parasite (gestion du pâturage, association d'espèces d'herbivores, utilisation des métabolites secondaires des plantes…). Le choix des différents éléments de contrôle intégré des NGI devra se baser sur leur faisabilité, en termes d'investissements matériels et humains, sur leur compatibilité avec le système d'élevage, et sur leur efficacité. Les développements futurs devront permettre d'évaluer les interactions entre ces éléments afin de pouvoir optimiser les choix des éleveurs.

Abstract

Most of the sheep and goats are reared in tropical and subtropical countries. Gastrointestinal nematode parasites (GIN), which are transmitted through the pastures, are among the main causes of production losses for small ruminant farmers. Since the 1940's the pharmaceutical industry has provided very efficient anthelmintics which allowed easy to run and profitable worm control. Unfortunately the systematic use of anthelmintics has resulted, within few years, in an increasing number of anthelmintic resistant (AR) nematode strains. As example, a survey in Guadeloupe (F. W. I.) revealed that all goat farms have to face at least resistances to benzimidazoles, and most of them must deal with resistances to 2 or 3 drug families. We are building up integrated systems to manage GIN infection, by seeking to slow down the spreading of AR strains of GIN and to reduce anthelmintic dependency. Firstly we propose targeted selective treatment methods (or any method allowing the survival of untreated GIN in refugia) and secondly a panel of methods to reinforce host defences (mainly through nutrition and genetic improvement) and to decrease the probability of host-parasite encounter through grazing management, association of herbivore species with different specific parasites, use of plant secondary metabolites with anthelmintic properties... The choice of methods to be combined must be based on their feasibility in terms of human and material resources, compatibility with the farming system and efficiency. Future developments would address the evaluation of interactions between components of GIN integrated systems of management, in order to optimize the farmer choices.

Introduction

L'objectif général du travail présenté ici est de faire une synthèse des connaissances sur les nématodes parasites gastro-intestinaux des petits ruminants (NGI), leurs effets sur la santé et la production de leurs hôtes, les différentes méthodes de contrôle utilisées depuis leur caractérisation, les limites de ces méthodes et les développements récents pour dépasser ces limites. Globalement, la plupart des travaux effectués sur ce thème l'ont été dans les pays "du Nord", du moins ceux pour lesquels les petits ruminants représentent un enjeu économique important : Australie et Nouvelle Zélande, Royaume Uni, Afrique du Sud pour l'essentiel, suivis par les autres pays européens et l'Amérique du Nord. L'espèce ovine (races à laine, d'origine européenne) est de loin le modèle le plus étudié, en relation avec son importance relative dans le secteur marchand des pays concernés. Les modèles ovins et caprins tropicaux ont été moins étudiés même si des équipes d'Inde, du Brésil, du Nigéria, de l'*International Livestock Research Institute* (basé au Kénya), ou encore des projets de coopération "Nord-Sud" y travaillent ou y ont travaillé.

Parmi ces équipes, l'Unité de Recherches Zootechniques (URZ) du Centre INRA Antilles Guyane, travaille à apporter des connaissances fondamentales et appliquées dans le domaine de la gestion du parasitisme des petits ruminants, en se focalisant sur le modèle caprin (et dans une moindre mesure ovin tropical) dans un contexte tropical humide. Les travaux ont débuté dès 1980 (Aumont, 1982), en collaboration avec le Centre INRA de Tours (Gruner *et al*, 1983), et ont contribué à la mise en lumière des particularités épidémiologiques des NGI des ruminants en milieu tropical humide. Ces travaux se sont développés à partir du milieu des années 1990 avec le démarrage d'un projet de recherche sur les aspects génétiques de la résistance aux NGI chez les caprins Créole de Guadeloupe. Outre les aspects de génétique quantitative (héritabilité) il comporte aussi des aspects génomiques, en relation avec le développement des outils de cette discipline, et des aspects immunologiques visant à mieux comprendre les mécanismes d'expression de la résistance génétique des caprins aux NGI. Enfin depuis une dizaine d'années se développe un programme de recherches autour de l'utilisation des ressources végétales locales pour leurs propriétés nutritionnelles et anthelminthiques.

Le cadre général des recherches menées à l'URZ était orienté, depuis le début des années 2000, vers la réduction des intrants en général, puis de plus en plus explicitement vers le développement et la mise en place d'une conception agro-écologique de l'élevage en milieu tropical. C'est dans ce cadre que j'ai abordé la problématique du parasitisme gastro-intestinal dans les systèmes d'élevage de petits ruminants au pâturage.

Dès mon entrée à l'INRA (octobre 2000), j'ai pris en charge la gestion du parasitisme gastro-intestinal dans les troupeaux de la Plateforme Tropicale d'Expérimentation sur l'Animal (INRA-PTEA), et j'ai participé à la prise en compte de ce parasitisme dans la conception des protocoles expérimentaux menés au pâturage. J'ai, d'une part, conduit des expérimentations sur des aspects particuliers (surveillance de l'efficacité des anthelminthiques sur les troupeaux expérimentaux, puis par enquête en ferme, adaptation aux caprins d'une méthode de traitement ciblé, étude des effets du chargement partiel sur le niveau d'infestation…) et d'autre part valorisé les données acquises pendant la période de collaboration entre l'URZ et la Station d'Essais en Cultures Irriguées (Conseil Général de la Martinique). J'ai, en parallèle, travaillé à la synthèse des connaissances acquises à l'URZ comme par d'autres équipes pour arriver à la conception de systèmes d'élevage de petits ruminants au pâturage intégrant la problématique parasitaire. J'ai fait le choix d'expérimenter sur le troupeau expérimental de l'INRA-PTEA, dans des conditions les plus proches possibles de celles des élevages commerciaux. Dès la phase de conception des protocoles, l'applicabilité en "vraie grandeur" a été au centre des discussions avec l'équipe

technique de PTEA. Les méthodes testées positivement sont depuis utilisées en routine sur ce même troupeau qui joue aussi un rôle important de démonstration pour les éleveurs de la région. Même si le focus est mis sur les aspects plus spécifiquement parasitaires, mon travail a mobilisé des connaissances pluridisciplinaires (zootechnie, agronomie, éthologie, écologie, etc.) acquises tout au long de mon parcours professionnel de responsable d'élevage expérimental à la Station d'Essais en Cultures Irriguées (1978-2000) puis d'ingénieur d'études à l'URZ.

Les travaux personnels publiés seront présentés succinctement (encadrés à fond jaune pâle) au fil des différents thèmes auxquels ils se rattachent, et les textes des publications sont renvoyés en annexe. Les travaux non publiés ou soumis pour publication seront signalés par un fond bleu pâle.

La liste complète de mes publications et communications est apportée en annexe 9, p. 169.

1. Impact du milieu tropical sur les nématodes parasites des petits ruminants

1.1. Contexte de l'élevage des petits ruminants : l'exemple de la Guadeloupe

L'élevage des petits ruminants est présent dans la majeure partie des pays, et en 2010 la FAO recensait environ 972 10^6 caprins et 1128 10^6 ovins dont plus de 95% des caprins et plus de 75% des ovins (figure 1, ci-dessous) étaient élevés dans les pays tropicaux ou subtropicaux (http://faostat.fao.org).

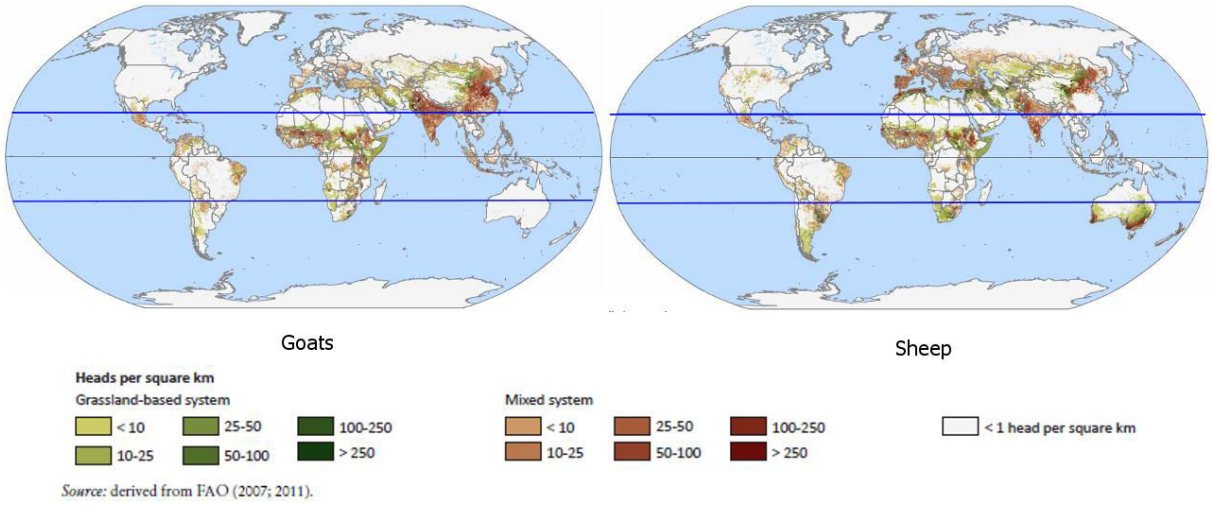


Figure 1 : ***répartition mondiale des ovins et caprins (source FAO).***

1.1.1. Représentativité du milieu pédo-climatique

La Guadeloupe (16°N, 61°W), comme la Martinique et la plupart des îles et bordures côtières de la zone intertropicale soumises aux alizés, se caractérise par un climat océanique tropical. Les pluies sont fortement influencées par la topographie (figure 2, ci-dessous), avec un minimum de précipitations en Février-Mars, et une saison plus arrosée, parfois accompagnée de phénomènes cycloniques, de Mai à Novembre.

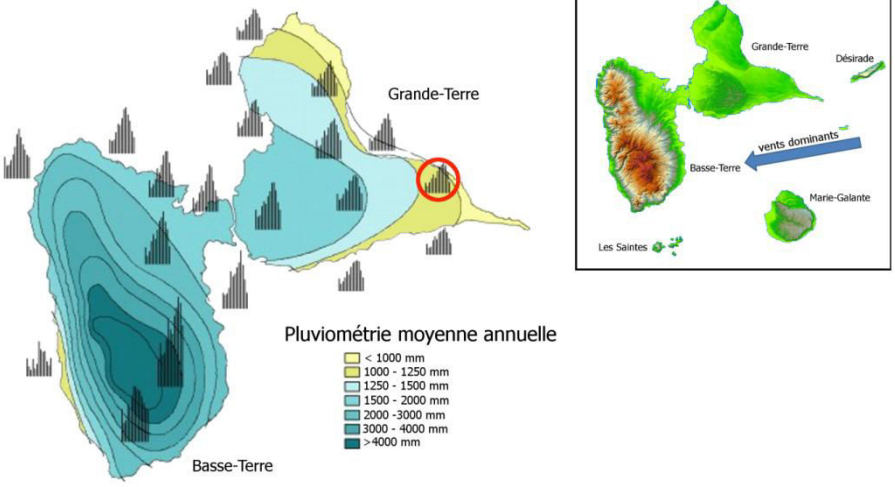


Figure 2 ***: carte des isohyètes de la Guadeloupe (source Météo-France). Cercle rouge : station météorologique INRA-Plateforme Tropicale d'Expérimentation sur l'Animal du Moule. En insert, carte du relief.***

Les températures varient peu au cours de l'année avec une amplitude quotidienne de 4 à 10°C, et une amplitude annuelle des températures moyennes mensuelles ne dépassant pas 3,2°C pour les maxima comme pour les minima (figure 3, page 11). L'humidité relative est toujours élevée (de 50% à 100% le jour, de 80% à 100% la nuit). L'évapo-transpiration potentielle moyenne (ETP) varie entre 3,6 et 4

mm/j en décembre-janvier et 6 mm/j en juin-juillet. Les sols ont une capacité de stockage de l'eau de l'ordre de 100 mm (Ozier-Lafontaine et Cabidoche, 1995), correspondant au besoin en eau des pâturages pendant environ un mois, leur consommation d'eau n'atteignant l'ETP qu'après environ trois semaines de repousse, nécessaires à la reconstitution du stock de feuilles après une fauche ou un pâturage (Cruz *et al*, 1989). La saison sèche, pendant laquelle les précipitations sont très inférieures à l'ETP et l'eau disponible dans les sols est limitante pour la croissance des fourrages, varie d'une année à l'autre avec des extrêmes allant de un à plus de 6 mois, sur la période 1988-2013, dans l'est et le nord de la Grande-Terre, où se concentrent la majorité des élevages de ruminants. Les périodes de forte sécheresse sont beaucoup plus rares et limitées dans le temps sur la majorité de la Basse-Terre, où les cumuls de précipitations annuels excèdent 2000 mm.

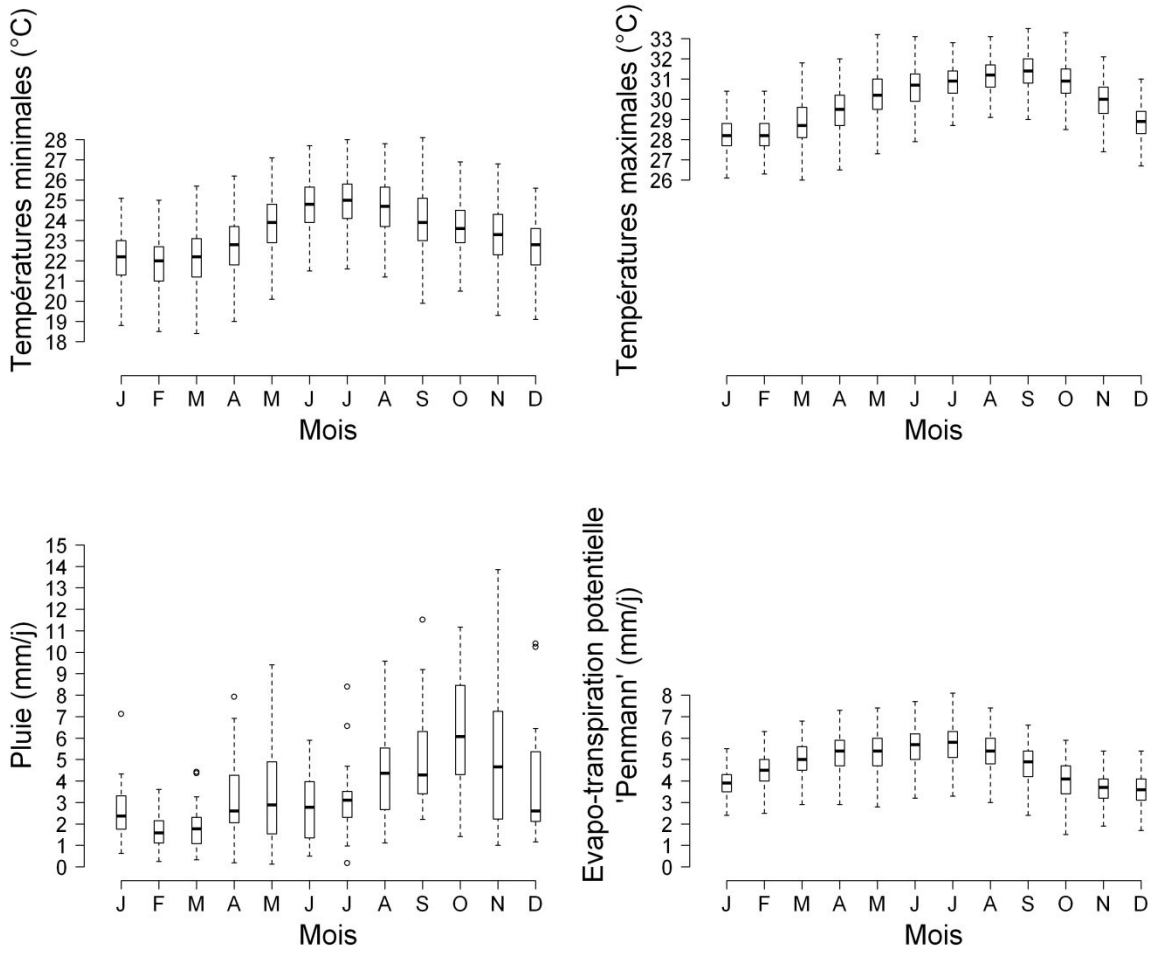


Figure 3 ***: distribution mensuelle des températures minimales (en haut à gauche), des températures maximales (en haut à droite), de l'évapo-transpiration journalière (en bas à droite), et distribution interannuelle des précipitations mensuelles moyennes (en bas à gauche) enregistrées sur la période 1988-2013 à la station météorologique INRA-Plateforme Tropicale d'Expérimentation sur l'Animal du Moule, cercle rouge sur la figure 2 (données issues de la plateforme INRA Climatik).***

Retour p. 10

Les sols des zones à saison sèche marquée sont majoritairement des vertisols (Grande-Terre, Marie-Galante), alors que l'on rencontre des nitisols et des ferrisols dans les zones plus arrosées (Basse-Terre) et des andosols sur les hauteurs hyperhumides (chaine volcanique de Basse-Terre, au dessus de 200 m d'altitude). À elles quatre ces zones sont représentatives de près de 40% des terres agricoles de la zone tropicale (figure 4, p. 12).

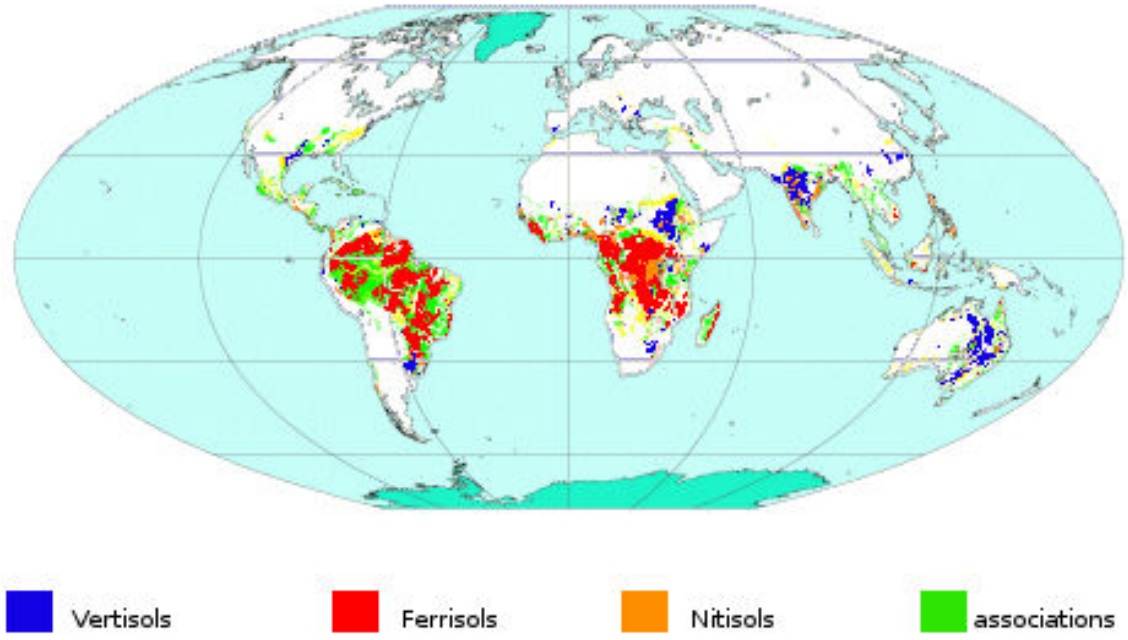


Figure 4 ***: répartition mondiale des familles de sols présentes en Guadeloupe (source FAO).***

Retour p. 11

1.1.2. Les animaux

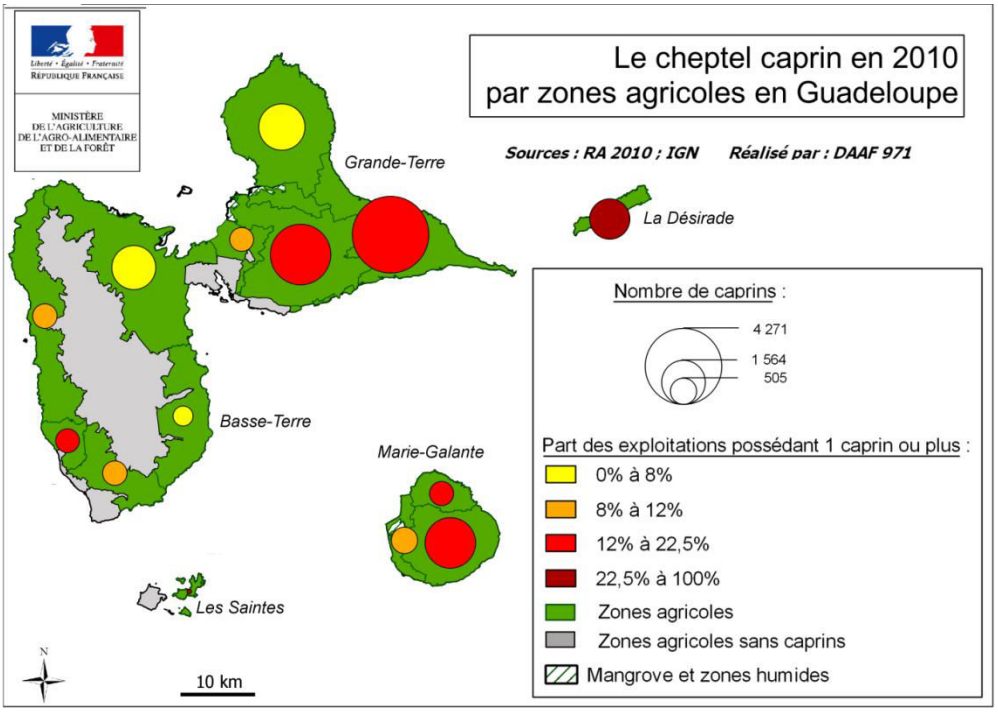
Les races ovines et caprines locales sont issues des animaux introduits pendant l'époque coloniale en provenance de la péninsule ibérique, puis des régions de départ des bateaux négriers (façade atlantique de la France) et surtout de la zone côtière de l'Afrique de l'Ouest et du Golfe de Guinée. Ces animaux ont depuis été soumis à une sélection naturelle intense par le milieu climatique et les contraintes sanitaires et alimentaires locales. Les races locales, reconnues officiellement depuis 1993 (mouton Martinik) et 1998 (chèvre Créole de Guadeloupe) sont phénotypiquement proches de leurs origines africaines. Le mouton Martinik ne porte pas de laine, est résistant à la chaleur et au parasitisme gastro-intestinal comparativement aux ovins européens (Aumont *et al*, 2003, Gruner *et al*, 2003). De même la chèvre Créole apparait génétiquement plus proche des chèvres africaines (West African Dwarf) que des chèvres européennes (Pepin et Nguyen, 1994). De nombreuses importations de reproducteurs de races "améliorées" sont encore pratiquées, bien qu'aucun suivi n'ait pu mettre en évidence un intérêt à moyen terme sur les performances zootechniques ou économiques, et que les quelques études publiées laissent entrevoir le contraire (Ayalew *et al*, 2003a, Ayalew *et al*, 2003b, Mahieu *et al*, 2004, Alexandre *et al*, 2008).

Les élevages des petits ruminants des Antilles Françaises sont majoritairement situés dans les zones les plus sèches (figure 5, p. 13). La plupart des animaux sont détenus dans des petits troupeaux (moins de 10 animaux) et seuls quelques-uns dépassent les 50 femelles reproductrices. En Martinique par exemple 3% des éleveurs réalisent 56% de la production estimée lors du Recensement Agricole de 2010 (2012b). Le même recensement (2012a) indique une forte régression du nombre de troupeaux entre 2000 et 2010. Bien que la taille moyenne des troupeaux ait augmenté de plus de 62% en caprins (de 6 à 9.7 chèvres par troupeau) et de près de 109% en ovins (de 5.9 à 12.4 brebis par troupeau), le nombre d'exploitations agricoles possédant des petits ruminants a chuté en 10 ans de près de 68% en caprins et de 78% en ovins, avec une chute de 49% du nombre total de chèvres reproductrices et de 52% des brebis (tableau 1, p. 13). Ceci est sans doute en partie dû à l'évolution globale des sociétés antillaises, de plus en plus citadines, mais aussi aux problèmes récurrents posés par les vols d'animaux

et par les attaques de chiens en divagation (Esterre, 1985), qui entraînent souvent le découragement des éleveurs et l'arrêt de l'activité d'élevage.

Tableau 1*: effectifs des chèvres et brebis adultes recensées en Guadeloupe et Martinique (source Agreste, Recensement Agricole 2010).*

	Chèvres				Brebis			
	Exploitations en ayant		Cheptel correspondant (têtes)		Exploitations en ayant		Cheptel correspondant (têtes)	
	2000	2010	2000	2010	2000	2010	2000	2010
971 - Guadeloupe	2 470	810	14 714	7 647	183	81	1 913	819
972 - Martinique	969	276	5 833	2 838	1 583	323	8 520	4 177



Retour p. 12

Figure 5 ***: distribution géographique des élevages caprins et des effectifs (Recensement Agricole 2010).***

1.1.3. Aspects sanitaires de l'élevage des petits ruminants en Guadeloupe

En dehors de ces problèmes de prédation, le statut sanitaire des cheptels est relativement bon, avec absence de la plupart des Maladies Légalement Réputées Contagieuses, à l'exception de la Fièvre Catarrhale Ovine (Petitclerc *et al*, 1991), pour laquelle la plupart des animaux sont séropositifs, sans qu'aucun cas clinique n'ait été signalé. Les parasitoses externes, relativement faciles à mettre en évidence et à soigner, sont potentiellement dangereuses mais généralement maîtrisées. Les plus préoccupantes sont les tiques et les maladies qu'elles transmettent, en particulier la cowdriose causée par *Erlichia* (*Cowdria*) *ruminantium*, transmise par la tique *Amblyomma variegatum* (Perreau *et al*, 1980, Esterre et Maitre, 1985, Camus, 1991, Matheron *et al*, 1991), ainsi que la dermatophilose (*Dermatophilus congolensis*), favorisée, si ce n'est transmise, par la même tique (Esterre et Maitre, 1985, Petitclerc *et al*, 1991, Martinez *et al*, 1993). Par contre les parasitoses gastro-intestinales, liées au pâturage, sont une constante de l'élevage des petits ruminants. Les premières études ont cherché à faire l'inventaire des espèces parasitaires du tractus digestif (Euzeby et Graber, 1973, Lebigre, 1979, Peroux, 1982, Esterre et Maitre, 1985, Petitclerc *et al*, 1991) et ont été synthétisées par Aumont *et al*

(1997). Bien qu'une vingtaine d'espèces aient été répertoriées tant chez les caprins que chez les ovins des Antilles Françaises, seules trois espèces de nématodes (*Hæmonchus contortus* (Rudolphi, 1803) dans la caillette, *Trichostrongylus colubriformis* (Giles, 1892) dans l'intestin grêle et *Œsophagostomum columbianum* (Curtice, 1890) dans le côlon), ainsi que le cestode *Moniezia expansa* (Rudolphi, 1810) de l'intestin grêle et les coccidies du genre *Eimeria* (épithéliums intestinaux) sont généralement associés en zone tropicale (Barry *et al*, 2002, Achi *et al*, 2003), où ils représentent une source majeure de pertes de production (Akerejola *et al*, 1979, Beriajaya et Stevenson, 1986, Fabiyi, 1987, Zinsstag *et al*, 1998). Une étude en station (INRA Antilles-Guyane) estime à environ 12% la mortalité entre le sevrage et 260 jours post sevrage pour les Caprins Créole, quand les animaux reçoivent un anthelminthique tous les deux mois. Sans anthelminthique, la mortalité atteint 16% (Mandonnet *et al*, 2003). Une autre étude conclut à une diminution moyenne de 1 kg du poids de la portée au sevrage pour un accroissement de l'excrétion d'œufs de 600 opg, mesurée 6 semaine après la mise-bas chez la mère (Mandonnet *et al*, 2005). Une enquête auprès des élevages caprins de Guadeloupe a permis d'estimer à environ 40% la mortalité au sevrage liée aux NGI (Aumont *et al*, 1997). Cette enquête indiquait une prévalence de 100% d'*H. contortus* en saison sèche comme en saison humide, suivi par *T. colubriformis* (prévalence 84% en saison humide, 93% en saison sèche). Ces deux espèces représentaient 80 à plus de 90% du nombre des helminthes lors des bilans parasitaires pratiqués sur des animaux de moins d'un an. *Œ.columbianum* est mieux représenté en saison humide qu'en saison sèche (prévalence 80% *vs* 26%) mais toujours en faible nombre (0,68% *vs* 0,33% du nombre d'helminthes). Au total dix espèces d'helminthes ont été rapportées pour 19 animaux étudiés en saison sèche et 16 en saison humide, en provenance de fermes privées (Aumont *et al*, 1997).

Dans des conditions d'élevage plus intensif, avec usage régulier de traitements antiparasitaires, la diversité spécifique diminue, et on n'observe plus que les nématodes *H. contortus, T. colubriformis* et *Œ.columbianum* ainsi que le cestode *Moniezia expansa* et les protozoaires *Eimeria* sp. dans les troupeaux des domaines expérimentaux de l'INRA Antilles-Guyane (Aumont *et al* , 1997).

H. contortus et *T. colubriformis* sont généralement dominants dans toute la ceinture tropicale et subtropicale (tableau 2, p. 15). Perry *et al* (2002) considèrent même qu'*Hæmonchus* est le parasite ayant le plus fort impact sur la santé des petits ruminants et sur le niveau de vie des éleveurs pauvres (Afrique, Inde…), et une étude récente en Guadeloupe estime à 81% la perte des revenus générés par l'élevage caprin, en cas de perte d'efficacité des anthelminthiques (Gunia *et al*, 2013a). Ces espèces sont aussi présentes en zone tempérée, et des populations d'*H. contortus* sont établies jusque dans le sud de la Suède (Waller *et al*, 2004b), vers 56°N, où elles peuvent poser de sérieux problèmes aux éleveurs pendant les périodes favorables à leur dissémination. Les perspectives de réchauffement climatique (*global warming*) devraient logiquement favoriser l'extension de l'aire de répartition d'*H. contortus* vers le nord et en altitude.

Tableau 2 : exemples de nématodes parasites gastro-intestinaux des petits ruminants des zones tropicales et subtropicales.

Pays	*Hæmonchus* sp.	*Trichostrongylus* sp.	*Œsophagostomum* sp.	*Cooperia sp.*	*Teladorsagia (Ostertagia)* sp.	*Chabertia* sp.	*Trichuris* sp..	*Bunostomum* sp.	Autres	Références
Brésil (Maranhão)	X	X	X	X					X	(Brito *et al*, 2009)
Brésil (Nordeste)	X	X	X	X			X		X	(Silva *et al*, 1998)
Cuba	X	X	X							(Arece Garcia *et al*, 2007)
Guadeloupe	X	X	X				X		X	(Aumont *et al*, 1997)
Martinique	X	X	X	X						(Giudici *et al*, 1999)
Mexique (Tabasco)	X		X	X			X	X		(Garduno *et al*, 2011)
Venezuela	X	X	X	X			X	X	X	(Pino *et al*, 1988)
USA (Géorgie)	X	X	X	X	X				X	(Anderson et Roberson, 1996)
USA (Louisiane)	X	X								(Miller *et al*, 1998)
Afrique du Sud	X	X	X		X					(Horak et Louw, 1977)
Burkina Faso	X	X	X				X		X	(Zinsstag *et al*, 1998)
Burkina Faso	X	X	X	X			X	X	X	(Ouattara et Dorchies, 2001)
Cameroun	X	X	X						X	(Tchoumboue *et al*, 2000)
Côte d'Ivoire	X	X	X	X			X	X	X	(Komoin-Oka *et al*, 1999)
Éthiopie	X	X	X		X	X	X			(Njau *et al*, 1990)
Éthiopie	X	X	X				X		X	(Tembely *et al*, 1997)
Gambie	X	X	X				X		X	(Zinsstag *et al*, 1998)
Kenya	X	X		X					X	(Ng'ang'a *et al*, 2004)
Maroc	X	X	X		X	X	X			(Berrag *et al*, 1995)
Nigéria	X	X	X							(Akerejola *et al*, 1979)
Ouganda	X	X	X	X			X	X	X	(Magona et Musisi, 1999)
Sénégal	X	X	X				X		X	(Zinsstag *et al*, 1998)
Tanzanie (nord)	X	X	X				X			(Njau, 1987)
Togo	X	X	X	X			X		X	(Bonfoh *et al*, 1995)
Togo	X	X	X				X		X	(Zinsstag *et al*, 1998)
Zambie	X		X				X		X	(Shamsul, 1988)
Inde (Assam)	X	X					X	X	X	(Talukdar, 1996)
Inde (Karnataka)	X	X	X	X					X	(Dhanalakshmi *et al*, 2001)
Inde (Kashmir)	X	X	X		X	X	X	X	X	(Tariq *et al*, 2010)
Inde (Mathura)	X								X	(Sharma *et al*, 2009)
Inde (Sikkim)	X	X	X					X	X	(Rahman *et al*, 2012)
Inde (Uttar Pradesh)	X		X				X	X		(Ahmad et Ansari, 1987)
Inde (West Bengal)	X		X				X		X	(Saha *et al*, 1996)
Malaisie	X	X								(Cheah et Rajamanickam, 1997)
Malaisie	X	X								(Tan *et al*, 2014)
Pakistan (Balûchistân)	X	X			X		X		X	(Kakar *et al*, 2013)
Thaïlande	X								X	(Saithanoo, 1996)
Australie	X	X	X	X	X	X		X	X	(Roeber *et al*, 2013)

Retour p. 14

1.2. Description des espèces parasitaires et de leur cycle biologique

Trois espèces de nématodes gastro-intestinaux (NGI) parasitent les petits ruminants des Antilles, et sont prépondérants dans tous les environnements chauds et humides : *Hæmonchus contortus,* de l'ordre des Strongylida, du sous-ordre des Trichostrongylina, de la famille des Hæmonchidæ (Gouÿ de Bellocq *et al*, 2001), *Trichostrongylus colubriformis* (ordre des Strongylida, sous-ordre des Trichostrongylina, famille des Trichostrongylidæ) et *Œsophagostomum columbianum* (ordre des Strongylida, sous-ordre des Strongylina, famille des Chabertiidæ). Les NGI adultes vivent dans la caillette (*H. contortus*), dans l'intestin grêle (*T. colubriformis*) ou le côlon (*Œ.columbianum*). Les œufs fécondés sont émis dans le flux des digestats et déposés au sol dans les fèces. Les œufs éclosent en environ 24 h en larves rhabditiformes de 1er stade (L1) puis de 2ème stade (L2) qui se nourrissent des microorganismes

fécaux. Au bout d'une semaine environ la L2 mue en larve strongyliforme (L3) à l'intérieur de l'exuvie de la L2 (Lapage, 1968). La L3 (ou larve infestante) ne se nourrit pas, mais quitte les fèces pour se disperser dans la strate herbacée du pâturage, où elle pourra être ingérée avec l'herbe par un hôte potentiel (figure 6, ci-dessous).

Une fois ingérées les L3 sortent de leur gaine dans le compartiment précédent le site occupé au stade adulte (rumen pour *H. contortus*, abomasum pour *T. colubriformis*, intestin grêle pour *Œ. columbianum*), puis pénètrent dans les muqueuses pour continuer leur développement en larves du 4ème stade (L4) et enfin après une dernière mue se différencient en individus mâles et femelles qui achèvent leur croissance avant de s'accoupler (Sommerville, 1957, Mapes, 1972). Pour *H. contortus* et *T. colubriformis,* les premiers œufs apparaissent dans les fèces environ 3 semaines après l'ingestion des L3 correspondantes (période prépatente). La période prépatente d'*Œ. columbianum* est de 5-6 semaines (Olivares *et al*, 2001).

Tous les stades parasitaires de *H. contortus* sont hématophages, et en cas d'infestation importante provoquent une anémie des animaux parasités pouvant aller jusqu'à l'apparition d'œdème sous mandibulaire (signe de la bouteille ou *bottle jaw*) et à la mort de l'animal.

T. colubriformis, plus nombreux dans la partie antérieure de l'intestin grêle (duodénum), provoque une atrophie, voire une disparition partielle des microvillosités intestinales (Barker, 1974) des pertes de protéines plasmatiques, une chute de l'appétit, (Barker, 1973), parfois des diarrhées en réponse à une ingestion massive de larves par des animaux déjà immunisés (Larsen *et al*, 1994). Des études en infestation expérimentale montrent une augmentation des pertes d'azote urinaire sans modification de la digestibilité apparente de la matière organique, de l'énergie et de l'azote, entrainant une perte de poids des animaux parasités (Roseby, 1973, Roseby et Leng, 1974, Roseby, 1977). En cas de forte infestation la croissance est compromise et la mort de l'animal peut survenir rapidement.

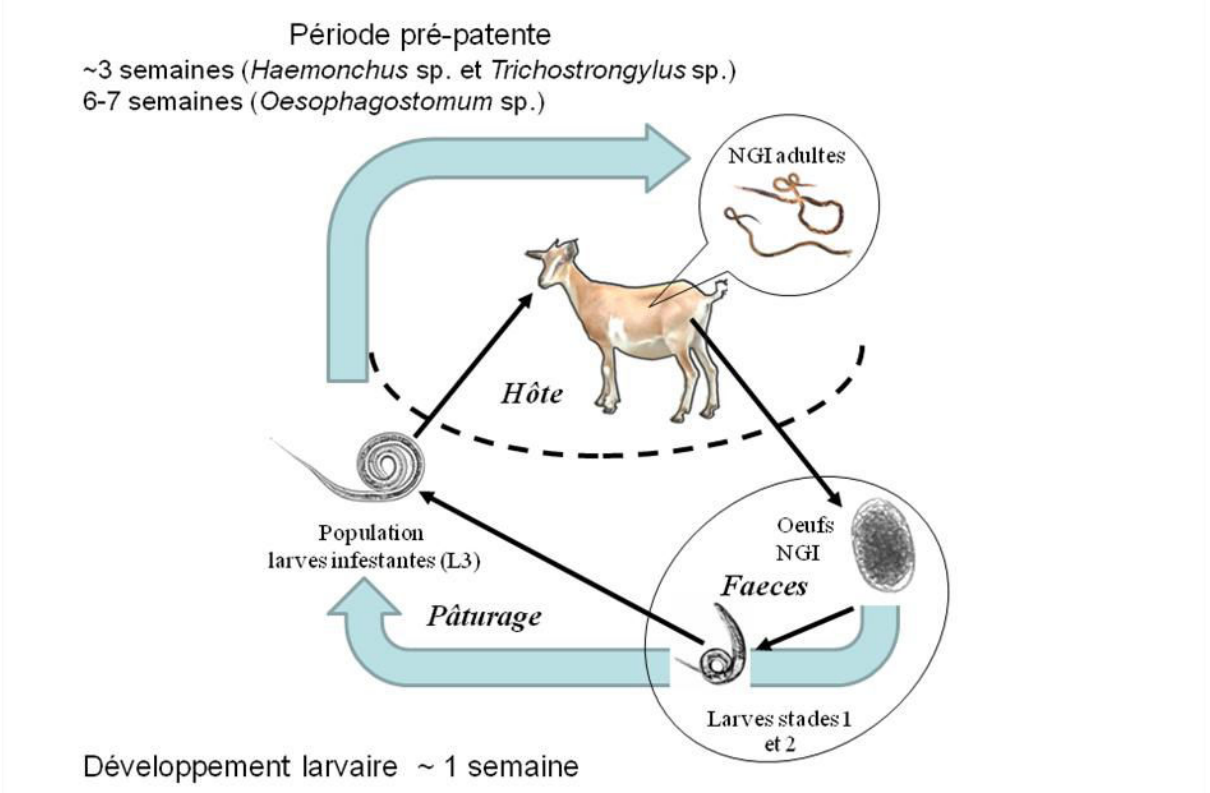


Figure 6 ***: schéma du cycle biologique des principaux nématodes gastro-intestinaux.***

Les stades parasitaires d'*Œ. columbianum* sont hématophages, mais généralement le nombre de parasites adultes est faible et les effets sur la santé de l'hôte sont limités. Cependant des infestations expérimentales ont provoqué anoxie, diarrhée et perte de poids, avec une inflammation prononcée des parois intestinales, une très forte production de mucus et la présence de nombreux nodules, bien que le nombre d'adultes retrouvés soit faible (Olivares *et al*, 2001). Les nodules de la paroi intestinale abritant les larves étant calcifiés et le nombre final d'adultes très faible (Dash, 1973, Dash, 1982), cet auteur avance l'hypothèse qu'*Œ. columbianum*, plus souvent rencontré chez des antilopes africaines (blesbok *Damaliscus pygargus dorcas* ou impala *Aepyceros melampus*) chez lesquelles le développement larvaire n'entraine pas la formation de nodules, ne serait qu'imparfaitement adapté aux petits ruminants domestiques.

1.2.1. Possibilités d'adaptation des NGI, niches écologiques, survie des stades libres

Le maintien des populations parasitaires dépend, entre autres, de la possibilité de réaliser la phase extérieure de leur cycle biologique et de pouvoir infester leur hôte. Cette phase est cruciale car les stades larvaires correspondants étant sous l'influence directe du milieu extérieur, les exigences de chaque espèce en termes de température et d'humidité détermineront les zones climatiques et les périodes de l'année pendant lesquelles leur développement larvaire sera possible. O'Connor *et al* (2006) ont fait une revue des connaissances sur l'écologie des stades libres des principaux NGI des ovins. Ainsi la plage de température de développement des œufs en larves infestantes est plus basse pour l'espèce *Teladorsagia circumcincta* que pour *T. colubriformis* et surtout *H. contortus* (figure 7, ci-dessous), ce qui pourrait expliquer pourquoi la première espèce ne s'est pas implantée aux Antilles, les températures au niveau du sol étant probablement trop élevées pour que les œufs puissent se développer. Les œufs et premiers stades larvaires d'*H. contortus* et *Œ. columbianum* sont très sensibles à la dessiccation alors que ceux de *T. colubriformis* résistent mieux (Berbigier *et al*, 1990), d'où des variations saisonnières de l'abondance relative de ces espèces dans les populations de L3 collectées sur les pâturages (Banks *et al*, 1990, Aumont *et al*, 1997).

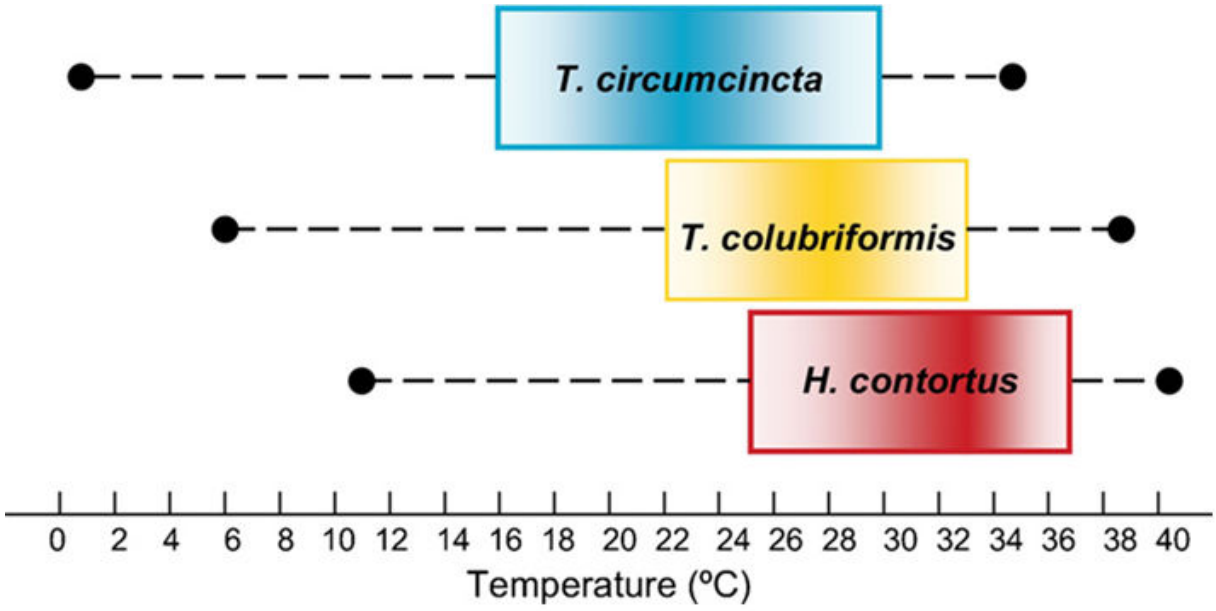


Figure 7 ***: plages de température favorables au développement des principales espèces de NGI, d'après O'Connor et al* (2006).**

Une fois le stade larve infestante (L3) atteint, les larves quittent les fèces et se dispersent sur le pâturage dès que l'humidité et la température sont suffisantes, par des mouvements apparemment aléatoires (Silangwa et Todd, 1964, Bryan et Kerr, 1989, Silva *et al*, 2008, van Dijk et Morgan, 2011, Santos *et al*, 2012, Wang *et al*, 2014). Les L3 sont beaucoup plus résistantes aux variations de température et d'humidité que les stades précédents, en partie parce qu'elles sont protégées par leur gaine, et parce qu'elles peuvent s'abriter de façon plus efficace dans la couche superficielle du sol ou dans les gaines des feuilles de graminées. Leur durée de vie peut être considérable à basse température (plusieurs mois à 4°C pour *H. contortus*), mais cette durée de vie diminue avec l'augmentation de la température, probablement parce que le L3 ne se nourrissant pas, l'augmentation induite de leur métabolisme conduit à un épuisement plus rapide de leurs réserves énergétiques (O'Connor *et al*, 2006). La survie des L3 est aussi limitée par l'intensité du rayonnement ultraviolet auquel elles sont exposées, et, en zone tempérée, des populations de L3 qui ont survécu pendant tout l'hiver déclinent très fortement à partir d'avril-mai, en relation avec l'augmentation des quantités de rayonnement UV incidentes (van Dijk *et al*, 2009). En zone tropicale humide, la durée de vie des L3 est généralement assez courte : Aumont *et al* (1989, 1991) ont, à partir d'expérimentations au pâturage, modélisé l'évolution de la taille des populations de L3 retrouvées dans la strate herbacée en fonction du temps écoulé depuis le dépôt des fèces contenant les œufs. Le modèle publié est de la forme:

$$f(t) = \left(M \Big/ \left(1 + \left(n \times exp\left(-1 \times \frac{t-a}{b} \right) \right) \right)^{1/n} \right) \times exp\left(-\mu \times (t-a)^2 \right)$$

Il combine un modèle croissance de Nedler (Debouche, 1979) et un modèle cumulatif de Weibull pour la mortalité (Dell *et al*, 1983), où *f(t)* représente la taille de la population de L3 au temps *t* écoulé depuis le dépôt des œufs (en jours), *M* la taille maximale de la population de L3 pour 1000 œufs déposés (soit le taux de développement des œufs en L3), *a* le point d'inflexion (en jours) de la courbe de croissance de la population, *n* (sans dimension) et *b* (en jours) des paramètres de forme, μ le paramètre de mortalité (en j^{-2}). Les paramètres *M*, *n*, *a*, *b* et μ ont été estimés par régression non linéaire. Ces paramètres varient suivant l'espèce de NGI et suivant les conditions environnementales : la strate herbacée épaisse d'un pâturage irrigué permet un taux de développement, donc une valeur de *M* plus élevée que si le pâturage est sec et ras, mais cet effet limitant de la sécheresse est moins marqué pour *Trichostrongylus* sp. que pour *Hæmonchus* sp. et *Œsophagostomum* sp. Le pic de la population de L3 retrouvée dans la state herbacée survient entre 2 et 3 semaines après un dépôt de fèces pendant une semaine, et le nombre de L3 devient indétectable entre 6 et 7 semaines après le dépôt des fèces, du moins au seuil de détection de la méthode de dénombrement employée, de l'ordre de 130 $L3.kgMS^{-1}$, dans les fourrages récoltés (Aumont *et al*, 1996). Des durées de survie similaires ont été rapportées par Barger *et al* (1994) aux îles Tonga, Banks *et al* (1990) aux îles Fiji ou encore Cheah et Rajamanickam (1997) en Malaisie. Aumont *et al* (1991) ont aussi calculé le risque d'infestation (densité de la population de L3) en fonction du chargement animal (en kg de poids vif par ha), de la durée de pâturage de chaque parcelle et de l'intervalle entre deux séquences de pâturage (en j), dans les conditions épidémiologiques des tropiques humides (figure 8, p. 19), ce qui permet de préciser les modalités d'un pâturage tournant. En période sèche, l'irrigation du pâturage augmenterait le risque d'infestation parasitaire d'un facteur 10 environ par rapport à un témoin non irrigué.

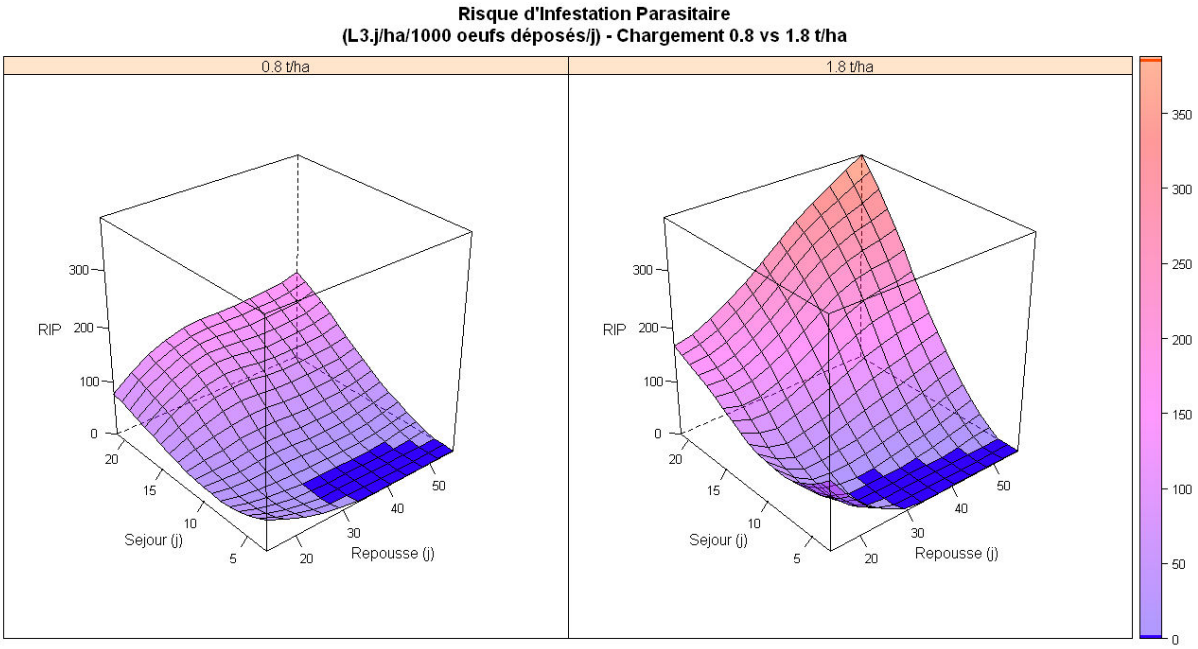


Figure 8 ***: risque d'infestation parasitaire (en z) fonction du temps de séjour et du temps de repousse.***

Retour p.18

1.2.2. Autres causes de mortalité des stades libres

Outre les facteurs limitants d'ordre climatique (température, humidité, rayonnement UV) déjà évoqués, les populations des stades libres des NGI peuvent être limitées par des facteurs biotiques, prédation ou parasitisme. Waller et Faedo (1996) ont fait une revue des facteurs biotiques connus, pour conclure que les possibilités de contrôle des NGI offertes par les virus, bactéries et protozoaires étaient quasi inexistantes, que les microarthropodes n'offraient pas non plus de perspective encourageante, et que seuls les champignons nématophages semblaient intéressants. Peloille (1981b) rapporte que 8 genres d'hyphomycètes (plus de 110 espèces) sont au moins potentiellement prédateurs de nématodes qu'ils capturent au moyen de pièges divers, et que des espèces comme *Arthrobotrys oligospora* sont capables de capturer et consommer des nématodes libres du sol, des nématodes parasites de plantes comme des larves de NGI. Certaines de ces espèces sont naturellement présentes sur les pâturages ou ont été retrouvées dans les fèces de ruminants (Peloille, 1981a, Sanyal, 2000, Khan *et al*, 2001, Qin *et al*, 2001, Hay *et al*, 2002, Kelly *et al*, 2009, Falbo *et al*, 2013). Les espèces les plus étudiées en vue de leur utilisation pour le contrôle des NGI des petits ruminants sont *Duddingtonia flagrans* (122 références pour les mots clés "*Duddingtonia flagrans* AND ("sheep" OR "goat*") dans Web of Sience Core Edition consulté le 11/08/2014), suivi par *Arthrobotrys oligospora* (35 références).

Quelques auteurs se sont intéressés aux modifications micro-environnementales provoquées par les organismes coprophages et à leur impact sur le développement larvaire des NGI, par des études au laboratoire de l'action de coléoptères de la famille des Scarabaeidae (Bergstrom *et al*, 1976), ou de vers de terre (d'Alexis *et al*, 2009). Grønvold (1987) a montré qu'en zone tempérée (Danemark), une population de vers de terre de la famille des Lumbricidae (*Aporrectodea tuberculata*, *A. rosea*, *A. caliginosa*, *A. longa*, *Lumbricus terrestris*, *Octolasion cyaneum* et *Allolobophora chlorotica*) accélère la dégradation des bouses de vache et diminue d'environ 50% la population de L3 de *Cooperia oncophora* à proximité de ces bouses. Waghorn *et al* (2002) ont confirmé partiellement ces résultats dans les conditions de Nouvelle-Zélande, sur des fèces de mouton contenant des œufs de *Teladorsagia circumcincta*. Leurs résultats indiquent que les œufs ou larves de *T. circumcincta* sont probablement détruits

lors du passage dans le tube digestif des vers de terre (*Lumbricus rubellus*, *Aporrectodea caliginosa* et *A. longa*). Cependant, si le nombre total de L3 apparait diminué de 30 à 65%, la réduction du nombre de L3 dans la strate herbacée n'est pas toujours significative. Dans la même expérimentation les auteurs ont montré que l'enfouissement des fèces à environ 5 cm de profondeur a eu un effet protecteur et a conduit à une augmentation du nombre de L3 dans la strate herbacée. Ils concluent que les coléoptères coprophages (Scarabaeidae) pourraient avoir un effet bénéfique dans le cas des espèces qui détruisent effectivement les œufs ou larves de NGI en mastiquant les balles de fèces avant enfouissement (Miller, 1961), mais que les autres espèces pourraient au contraire contribuer à la survie des larves protégées des effets des fortes températures, de la dessiccation ou du rayonnement solaire (Bryan, 1973, Bryan, 1976).

1.2.3. Stratégies de survie en périodes difficiles

Si les espèces de NGI présentes aux Antilles rencontrent des conditions permettant leur développement larvaire pendant toute l'année, il n'en est pas de même partout dans leurs aires de répartition respectives. Deux types de contraintes en particulier peuvent rendre l'éclosion des œufs et le développement en L3 impossible : les périodes sèches de longue durée telles qu'on les observe dans les climats sahéliens ou plus aride encore, et les hivers froids durant plusieurs mois. La durée de la période défavorable au développement larvaire peut approcher, voire excéder la durée de vie des NGI adultes, ce qui pourrait amener à l'élimination de l'espèce dans ces régions. La parade sélectionnée par l'évolution est la suivante : les L3 qui ont rencontré au pâturage des conditions de début de saison défavorable (sécheresse, basses températures…) avant d'être ingérées ne se développent pas complètement en adultes mais restent bloquées (hypobiose ou "*arrested development*") au state L4 (Blitz et Gibbs, 1972b, Sargison *et al*, 2007, Sissay *et al*, 2007). L'induction de l'hypobiose se traduit par des modifications dans les synthèses protéiques (Kooyman et Eysker, 1995) et l'expression des gènes correspondants chez *Trichostrongylus colubriformis* (Langrová *et al*, 2008). Les L4 passent toute la période défavorable en état d'hypobiose, sans stimuler le système immunitaire de l'hôte, et ne reprennent leur développement en adultes qu'au retour des conditions favorables au développement des stades libres (Blitz et Gibbs, 1972a, Waller *et al*, 2004b). Le signal du retour des conditions favorables est encore mal connu (Eysker, 1997), mais il est obligatoirement perceptible *in situ*, dans le tractus digestif de l'hôte, ce qui élimine les effets directs des facteurs climatiques "symétriques" de ceux qui ont induit l'hypobiose. Dans de nombreux systèmes d'élevage, en particulier en zone tempérée, les hôtes qui hivernent et sont porteurs des L4 en hypobiose sont généralement des brebis qui agnellent au pâturage au printemps. Il y a donc une confusion possible des effets des modifications hormonales et immunitaires liées à la reproduction avec les effets du changement d'alimentation au printemps. Cette hypothèse de signal d'origine alimentaire semble la plus plausible, en particulier dans les cas d'hypobiose comme mécanisme de passage de saisons sèches de durée variable. Le retour des pluies entraine le reverdissement de la végétation, donc un changement qualitatif de l'alimentation et des contenus digestifs des hôtes, indépendamment de leur statut reproductif, ce qui pourrait donner le signal déclenchant la reprise du développement des L4.

1.3. Relations Hôte – Parasites

Il est presque devenu banal de constater que la plupart des organismes vivants sont impliqués dans des relations de type "hôte - parasite" et que ces relations sont un des moteurs de l'évolution des espèces. Une interrogation (06/08/2014) de la base de données bibliographique Web of Science Core Collection (depuis 1975) avec la combinaison des mots clés "host" AND "parasit*" AND "coevolution" renvoie 2065 références, quelques-unes seulement antérieures à 1990, puis une croissance quasi linéaire de 21 références en 1991 à environ 150 en 2013. Vannier-Santos et Lenzi (2011) proposent même de remplacer les termes "hôte" et "parasite" par celui de "d'organisme cohabitant - cohabité" ("*cohabi-*

tant-cohabited being"), l'ensemble formant un seul système évolutif. La variabilité génétique de parasites comme *Hæmonchus contortus* est très élevée, avec un taux de mutation estimé à près de 10 fois celui des mammifères (Prichard, 2001) ce qui leur confère de grandes capacités d'adaptation (Otsen *et al*, 2001). Les parasites exercent une pression de sélection sur leur hôte en augmentant le risque de mortalité directe (Gulland, 1992), en modifiant la réceptivité à d'autres pathogènes (Ezenwa *et al*, 2010), en accroissant le risque de prédation (Irvine, 2006), ou en influençant leur statut social et reproductif (Ezenwa et Jolles, 2008), en interaction avec les autres variables de l'environnement (Holmes, 1995).

Cette coévolution hôtes – parasites peut aboutir à des phénomènes de spéciation parallèles, aboutissant à ce que certaines espèces de parasites soient strictement inféodées à leur espèce hôte. C'est le cas par exemple des coccidies du genre *Eimeria* dont les espèces qui colonisent les caprins (9 espèces principales) sont différentes de celles (11 espèces principales) qui peuvent coloniser les ovins (Chartier et Paraud, 2012). Des études récentes de phylogénétique suggèrent même une origine commune aux espèces de ce genre qui infestent tous les vertébrés, des poissons aux mammifères (Molnár *et al*, 2012), ce qui sous-entend une coévolution et co-spéciation sur plusieurs centaines de millions d'années. La co-spéciation semble moins aboutie dans le cas des NGI. *Trichostrongylus axei* peut ainsi infester de nombreuses espèces de mammifères herbivores, ruminants (Zaffaroni *et al*, 2000), équidés (Bucknell *et al*, 1995) et même lapins sauvages (Garcia et Valcarcel, 1999). *Hæmonchus contortus* parasite les ovins et caprins, mais aussi d'autres bovidés, des cervidés ou des antilopes africaines (McGhee *et al*, 1981, Boomker et Horak, 1992, Zaffaroni *et al*, 2000, Ezenwa, 2003). *Trichostrongylus colubriformis* peut aussi infecter d'autres espèces que les ovins et caprins (Nascimento *et al*, 2000). Ce dernier auteur souligne que l'ensemble des NGI retrouvés chez les quatre espèces de cervidés sud-américains sont les mêmes que celles qui parasitent les ruminants domestiques, et qu'aucune espèce de NGI autochtone n'a été trouvée. On peut donc penser que l'introduction des bovins, ovins et caprins depuis le début de la colonisation européenne s'est accompagnée de celle de leur cortège parasitaire qui a vu s'ouvrir de nouvelles niches écologiques chez des ruminants qui avaient évolué isolés des espèces de l'Ancien Monde depuis au moins 2,5 à 3 millions d'années (Duarte *et al*, 2008) et auraient donc divergé de leurs ancêtres communs avant que les ancêtres des parasites gastro-intestinaux ne deviennent parasites des ruminants. De même, les opportunités de contact avec de nouveaux parasites potentiels se sont multipliées au cours des années avec les mouvements de bétail comme de faune sauvage (zoos…). Dans certains cas, l'hôte secondaire peut s'infester quand il partage le même habitat que l'hôte principal, sans que la population parasitaire puisse s'installer de façon autonome : aux Antilles, *Cooperia* sp. peut passer des bovins aux ovins quand ceux-ci pâturent ensemble, alors que des ovins pâturant sur des parcelles dédiées n'hébergent qu'exceptionnellement ce genre de NGI (Giudici *et al*, 1999). Dans d'autres cas, il semble que le parasite puisse se maintenir en absence de l'hôte originel : ainsi *Œ. columbianum* se maintient dans les populations de petits ruminant en dehors de l'aire de répartition des antilopes africaines auxquelles il est probablement mieux adapté, comme le suggère Dash (1982). Toutes les espèces de NGI ne semblent donc pas avoir atteint le même degré de spécialisation vis-à-vis de leurs hôtes, et on peut évaluer la spécificité relative des parasites pour leurs hôtes potentiels, quand ils partagent le même espace (Jacquiet *et al*, 1998), du moins dans la mesure où l'identification des espèces d'un même genre est correcte (Vadlejch *et al*, 2014). Ainsi quand des ovins et des bovins pâturent les mêmes parcelles, et donc sont exposés aux mêmes parasites, *H. contortus* infesterait préférentiellement les ovins et serait plus rare chez les bovins, *H. placei* infesterait surtout les bovins, peu les ovins, et *H. similis* n'infesterait que les bovins et non les ovins (Amarante *et al*, 1997). La cohabitation de ruminants domestiques et sauvages migrateurs peut modifier les dynamiques des populations de NGI transportés par ces derniers (Morgan *et al*, 2007). Les comportements sociaux (grégaire *vs* solitaire, territorial *vs* migrateur) modulent aussi la taille et la richesse spécifique

des populations de parasites hébergés (Ezenwa, 2004a, Ezenwa *et al*, 2006). Les comportements de défécation, la capacité à détecter et éviter les zones proches des fèces, la sélection de fourrages riches en métabolites secondaires à propriétés anthelminthiques (automédication par des tanins ou autres) peuvent aussi influencer les relations entre hôtes et parasites (Ezenwa, 2004b, Hutchings *et al*, 2006, Hoste *et al*, 2010).

Parmi les moteurs de l'évolution, la domestication a sans doute joué un rôle majeur pour les systèmes hôtes - parasites. La domestication des petits ruminants aurait débuté vers 10 000 BP, au Moyen Orient (Hatziminaoglou et Boyazoglu, 2004). Elle s'est accompagnée de modifications de leur structure sociale, de leur densité et de la restriction de leurs possibilités de déplacement, de diminution de la prédation, de l'implantation dans de nouveaux environnements (des hautes montagnes aux déserts chauds et froids et aux forêts équatoriales), de modifications quantitatives et qualitatives de leur alimentation, avec la diversité des systèmes d'élevage qui se sont développés au cours des millénaires. Il en est résulté une évolution divergente d'un grand nombre de populations (races) comme autant de réponses adaptatives à des milieux et systèmes d'élevage différents. Une de ses conséquences de cette dispersion géographique des petits ruminants a probablement été l'acquisition de nouvelles espèces de parasites au contact d'autres espèces sauvages, comme par exemple l'acquisition possible d'*Œsophagostomum columbianum* d'antilopes du sud ou de l'est de l'Afrique (Dash, 1982), qui se sont ensuite répandus dans la plupart des régions où leurs stades libres peuvent se développer, à la faveur des échanges d'animaux (nomadisme, migrations, commerce, colonisation…). Dans de nombreux cas, la domestication a aussi pu déplacer l'équilibre hôtes – parasites en faveur des seconds, du fait de l'augmentation de la densité des hôtes et de leurs restrictions de mouvement (probabilité accrue de rencontre hôte – parasite), de l'augmentation de la proportion de femelles allaitantes et de jeunes sevrés (plus sensibles aux NGI), de l'augmentation de l'effort physiologique orienté vers les productions (Waller, 2005).

1.3.1. Résistance et résilience

Deux notions visent à définir l'intensité des relations hôte - parasites du point de vue de l'hôte : la résistance et la résilience ou tolérance (Raberg *et al*, 2009). La résistance se définit comme la capacité à limiter le nombre de parasites hébergés ou leur taux de reproduction. Elle est évaluée par le comptage post-mortem des vers installés après administration d'un nombre déterminé de larves infestantes, ou plus généralement sur l'animal vivant par la mesure du nombre d'œufs de parasites excrétés par gramme de fèces, dans des conditions d'infestation définies (Stoll, 1929). La comparaison des réponses d'individus soumis à la même exposition parasitaire permet de les classer par niveau de résistance, et d'envisager une sélection empirique sur ce caractère (Gregory, 1937). Les études génétiques qui permettent d'évaluer l'héritabilité de la résistance génétique, transmissible vers les descendants, se sont progressivement développées avec les capacités de calcul à partir des années 1980 (Gray, 1987, Gill, 1991, Mandonnet *et al*, 1996). La résilience se définit comme la capacité à maintenir sa production, ses paramètres physiologiques, voire à rester en vie, malgré l'infestation parasitaire. La résilience sous-entend que l'animal trouve les ressources énergétiques, protéiques, en minéraux, etc., lui permettant de compenser les conséquences du parasitisme : des animaux sous alimentés peuvent être tués par un nombre de parasites qu'ils supporteraient apparemment sans difficultés quand ils sont nourris correctement (Gulland, 1992). Dans le cas d'un parasitisme dominé par *Hæmonchus* sp., l'hématocrite (ou PCV, *packed cell volume*) est un bon indicateur de la résilience (Baker *et al*, 2003). Résistance et résilience ne semblent pas liés génétiquement (Hayward *et al*, 2014), et la sélection orientée vers des critères de production a pu se faire aux dépends de la résistance aux parasites (Rifkin et Dobson, 1979). Inversement une sélection basée uniquement sur critères de résistance permet de réduire le niveau des populations parasitaires (Bishop et Stear, 2003), par diminution du niveau de recontamination des

pâturages, sans que cela se traduise nécessairement par un gain de production (Greer, 2008). La sélection des ruminants sur leur résistance présente néanmoins l'avantage de ne pas être facilement contournée par les parasites, probablement parce qu'elle met en jeu les effets additifs de nombreux gènes, chacun n'ayant qu'un effet limité (Kemper *et al*, 2009). Une sélection sur la résilience aura peu d'impact sur le niveau d'infestation des hôtes mais seulement sur le niveau de production (Bisset et Morris, 1996).

1.3.2. Infectivité et pathogénicité

Du point de vue du parasite, on retrouve les notions symétriques d'infectivité et de pathogénicité. Les études en ce domaine sont rares et difficiles à mener, en particulier à cause des variations individuelles importantes dans les capacités de réaction des hôtes. Elles montrent cependant que l'infectivité, ou capacité à infecter un hôte, peut varier suivant la souche parasitaire (Aumont *et al*, 2003, Gatongi *et al*, 2003, Hunt *et al*, 2008), mais l'infectivité peut aussi s'exprimer différemment suivant la race de l'hôte (Aumont *et al*, 2003). La pathogénicité, aptitude à excéder les capacités de résilience de l'hôte peut aussi varier d'une souche à l'autre (Hunt *et al*, 2008), sans qu'il y ait une relation constante entre infectivité et pathogénicité (Angulo-Cubillan *et al*, 2010).

1.3.3. Facteurs de variation des réponses de l'hôte à l'infestation parasitaire

Dans les zones tropicales humides où la pression parasitaire s'exerce toute l'année du fait des conditions de milieu favorables au développement des stades libres des NGI, les races locales d'ovins comme de caprins sont plus résistantes aux NGI que les races ayant évolué dans des environnements où la pression parasitaire est plus faible (Baker, 1997, Baker *et al*, 2003, Gruner *et al*, 2003, Chiejina et Behnke, 2011, Bowdridge *et al*, 2013). Les recherches menées à l'URZ (INRA Antilles-Guyane) sur les mécanismes génétiques de résistance/sensibilité à l'infestation des caprins Créole par des NGI ont abouti à l'identification de 13 régions chromosomiques (*quantitative trait loci*, QTL) associées à des variations de réponse aux parasites (de la Chevrotiere *et al*, 2012). Des travaux similaires sur des ovins (Gutierrez-Gil *et al*, 2009, Sallé *et al*, 2012, Silva *et al*, 2012, Marshall *et al*, 2013) révèlent la complexité des mécanismes génétiques mis en œuvre par l'hôte pour limiter l'infestation parasitaire, et sa variabilité tant d'un individu à l'autre que, pour un même individu, en fonction de l'âge et du stade physiologique. Ces résultats sont cohérents avec les résultats obtenus depuis plus d'un demi-siècle sur les relations qualitatives et quantitatives entre les NGI et leurs hôtes. Même si globalement les réactions immunitaires de l'hôte induites par l'infestation sont majoritairement de type Th2 avec intervention des interleukines 4, 5 et 13), les mécanismes impliqués sont complexes (Rothwell *et al*, 1993, Kambara et McFarlane, 1996, Karanu *et al*, 1997, Schallig *et al*, 1997, Shaw *et al*, 1998, Smith *et al*, 2003, Yatsuda *et al*, 2003, Amarante *et al*, 2005, Greer *et al*, 2005, Balic *et al*, 2006, Lacroux *et al*, 2006, Miller et Horohov, 2006, Pena *et al*, 2006, Bambou *et al*, 2009) et varient en fonction de la race de l'hôte (Satyavir *et al*, 1998, Gauly *et al*, 2002, Amarante *et al*, 2005, Terefe *et al*, 2007, Gonzalez *et al*, 2011, Bowdridge *et al*, 2013), mais aussi de l'espèce parasitaire (Athanasiadou, 2012). Enfin, les mécanismes de défense contre les NGI des caprins sont sensiblement différents de ceux des ovins, ce qui se traduit par des capacités à limiter le taux d'installation des L3 et la longévité des stades adultes plus faibles et une maturation du système immunitaire plus tardive chez les premiers (Hoste *et al*, 2010). Selon les travaux de Bambou *et al* (2013b), l'éosinophilie circulante en réponse à une infestation expérimentale serait plus forte chez les caprins classés comme sensibles, contrairement à ce qui est observé chez les ovins, et les caprins classés comme résistants se caractériseraient par une infiltration de la muqueuse abomasale par des mastocytes intra-épithéliaux plus importante, ainsi qu'une production plus élevée d'immunoglobulines de type E (IgE) en réponse à la phase d'installation des L3 (De la Chevrotière *et al*, 2012).

Les capacités de limiter le taux d'installation de L3 *d'Hæmonchus* augmentent avec l'âge des agneaux, de même que leur capacité à récupérer après une infestation expérimentale (Knight et Rodgers, 1974, Mansfield *et al*, 1974), alors que les animaux les plus jeunes (2 semaines) sont incapables de monter une réponse immunitaire contre ces parasites (Watson et Gill, 1991). Des agneaux Romanov présentent des réponses similaires à celles des adultes à partir de 8 mois environ (Berezhko *et al*, 1987). De nombreux auteurs (Courtney *et al*, 1984, Gibbs et Barger, 1986, Zajac *et al*, 1988, Mandonnet *et al*, 2005, Mahieu et Aumont, 2007) ont montré que les femelles reproductrices rejetaient plus d'œufs de NGI en fin de gestation ou en début de lactation, traduisant ainsi une diminution des capacités à contrôler l'infestation (relaxation de l'immunité autour du part, ou *peri-parturient rise*). Les modifications hormonales caractéristiques de cette phase reproductive sont au moins en partie impliquées dans cette "relaxation de l'immunité" (Fleming et Conrad, 1989), mais celle-ci est aussi modulée par l'effort physiologique de la femelle en fin de gestation, lié à la taille de la portée et au volume de la production laitière qui en découle (Romjali *et al*, 1997, Mandonnet *et al*, 2005, Mahieu et Aumont, 2007), et par son niveau de couverture des besoins alimentaires (Coop et Kyriazakis, 1999, Etter *et al*, 1999, Houdijk *et al*, 2001, Houdijk, 2008). Ces auteurs ont souligné l'importance de l'alimentation protéique, nécessaire pour monter la réponse immunitaire à l'infection. Houdijk *et al* (2001) précisent que les ressources protéiques sont allouées prioritairement aux fonctions de reproduction (croissance fœtale, lactation) et que les réactions immunitaires contre une infestation par *Teladorsagia circumcincta* peuvent être estimées à près de 1 g supplémentaire de protéines métabolisables par kg de poids métabolique ($PV^{0.75}$) et par jour. Pour les animaux en croissance aussi les besoins protéiques sont augmentés en cas d'infestation parasitaire, et la réponse de l'hôte est conditionnée par la couverture de ses besoins alimentaires (Bricarello *et al*, 2005, Bambou *et al*, 2011). Liu et al (2005) estiment à 6,5-9 g/j et 0,71-1,76 MJ/j le coût d'une infestation mixte *Trichostrongylus colubriformis* - *Teladorsagia* (*Ostertagia*) *circumcincta*, pour des moutons Mérinos en croissance entre 10 et 18 mois. L'énergie métabolisable joue cependant un rôle moins clair que celui des protéines, probablement parce que l'animal mobilise facilement ses réserves lipidiques et des acides aminés non essentiels pour son métabolisme énergétique, du moins tant que le déficit protéique est modéré. La fourniture des acides aminés nécessaires aux réactions immunitaires est plus contraignante, et probablement mieux assurée par des protéines by-pass (non dégradées dans le rumen) de bonne qualité que par les protéines d'origine microbienne (Houdijk, 2012).

L'ampleur des réactions de l'hôte varie avec l'ampleur de l'infestation : le taux d'installation des larves infestantes en vers adultes décroît avec le nombre de L3 déjà ingérées et avec la taille de la population de vers adultes déjà installés (Barger *et al*, 1985), tandis que la mortalité des vers installés croît avec le nombre de L3 ingérées (Barger et Le Jambre, 1988). Ce dernier point en particulier permet de mieux appréhender le phénomène de "*self cure*" observé sur des ovins fortement parasités au pâturage : l'ingestion de grandes quantités de L3 entraîne une libération massive d'antigènes lors du dégainage, ce qui peut provoquer une réaction d'hypersensibilisation conduisant à l'expulsion des vers adultes (Stewart, 1955, Soulsby *et al*, 1959, Adams, 1983). Le taux global d'installation et l'excrétion d'œufs de NGI sont plus faibles si une même quantité totale de larves est administrée en 10 jours au lieu d'un seul jour (Bambou *et al*, 2013a). La taille des vers adultes elle-même semble influencée à la fois par le nombre de vers installés (Fleming, 1988) et par le niveau des réactions immunitaires de l'hôte (Terefe *et al*, 2007).

Enfin, d'un point de vue quantitatif, la distribution des parasites chez les hôtes comme sur leur pâturage n'est généralement pas uniforme, ni gaussienne, mais agrégée et mieux décrite par une loi négative binomiale (Boag *et al*, 1989, Grenfell *et al*, 1995, Rosa et Pugliese, 2002, Pal et Lewis, 2004) et souvent encore mieux par une loi de Weibull (Gaba *et al*, 2005).

2. Approche classique du contrôle des nématodes parasites gastro-intestinaux et ses limites

2.1. L'approche médicamenteuse : l'utilisation des anthelmin-thiques de synthèse

Les principaux nématodes parasites des petits ruminants ont été décrits entre le début et la fin du XIX^{ème} siècle (*Hæmonchus contortus* (Rudolphi, 1803), *Œsophagostomum columbianum* (Curtice, 1890), *Trichostrongylus colubriformis* (Giles, 1892)) de même que les premiers travaux publiés sur leur cycle biologique (Leuckart, 1866a, Leuckart, 1866b). Dès la fin de cette époque on trouve des écrits sur leurs effets pathogènes chez le mouton (Giles, 1892, Campbell, 1893, Penberthy, 1894, M'Fadyean, 1897). À partir du début du XX^{ème} siècle des recherches sont menées pour tester les possibilités curatives de diverses substances (Veglia, 1918, Daubney, 1930, McEwen, 1935), avec des succès très limités en raison de leur manque de spécificité et de leur toxicité pour l'animal – hôte, jusqu'à la découverte à la fin des années 1930 des propriétés anthelminthiques de la phénothiazine, à des doses inférieures au seuil de toxicité (Swales, 1939, Gordon et Written, 1940, Shorb et Habermann, 1940, Singer et Baker, 1940, Taylor et Sanderson, 1940, Collier *et al*, 1943). L'utilisation de ce nouveau médicament s'est développée très rapidement, comme par exemple aux USA : environ 400 kg (900 lb) utilisés en 1939, près de 1350 tonnes (3 000 000 lb) en 1940, toutes espèces confondues (Schwartz, 1947). Après la seconde guerre mondiale, l'effort scientifique et industriel pour produire des médicaments anthelminthiques efficaces et bon marché s'est intensifié, avec le thiabendazole (Gordon, 1961, Hebden, 1961, Muller, 1961, Gibbs et Pullin, 1963, Southcott, 1963), puis d'autres dérivés du noyau benzimidazole (mebendazole, flubendazole, fenbendazole, oxfendazole, oxibendazole, albendazole, albendazole sulfoxide, thiophanate, febantel, netobimin, triclabendazole…) ont été développés et mis sur le marché dans les années suivantes. Le tetramisole, puis le levamisole (L-tetramisole), seule forme active dérivée du noyau imidazothiazole, ainsi que le pyrantel, le morantel (tetrahydropyrimidines) et les rafoxanide, closantel, niclosamide, etc. (salicylanilides), sont testés puis commercialisés dans les années 1970 (Cornwell, 1966, Colglazier *et al*, 1971). Enfin, dans la décennie suivante, une nouvelle famille d'anthelminthiques issue cette fois des recherches sur les microorganismes du sol du genre *Streptomyces* a été développée : les lactones macrocycliques comprenant les avermectines (ivermectine, doramectine, abamectine…) commercialisées dans les années 1980 puis les mylbémicines (moxidectine) dans les années 1990 (Klei et Torbert, 1980, Bissett *et al*, 1992, Craig *et al*, 1992, Pankavich *et al*, 1992). Il a fallu ensuite attendre deux décennies pour que l'industrie pharmaceutique propose un nouvel anthelminthique, le monepantel, dérivé de l'amino-acetonitrile (Hosking *et al*, 2008, Kaminsky *et al*, 2008, Kaminsky *et al*, 2009). Bien que les progrès dans les connaissances fines des mécanismes vitaux spécifiques des helminthes laissent entrevoir la création de nouveaux médicaments (Buxton *et al*, 2014), rien ne permet de dire si et quand ils seront développés jusqu'au stade commercial.

Le mode d'action de ces différents médicaments a été plus ou moins complètement élucidé : les benzimidazoles se lient avec la β-tubuline, constituant des microtubules impliqués dans de nombreux processus cellulaires, dont les mouvements des organites cellulaires (Borgers *et al*, 1975, Sangster *et al*, 1985, Lacey et Prichard, 1986, Lacey *et al*, 1987). Les récepteurs de l'acétylcholine seraient perturbés par les tetrahydropyrimidines et le levamisole (agonistes nicotiniques), les canaux chlorure glutamate-dépendants par les lactones macrocycliques (Martin *et al*, 1996). Le plus récent monepantel agirait sur la sous-famille DEG-3 des récepteurs de l'acétylcholine (Rufener *et al*, 2010).

2.2. Des phénomènes de résistance de plus en plus préoccupants…

Le développement de l'arsenal anthelminthique de la seconde moitié du XXème siècle s'est accompagné de la généralisation de l'utilisation de ces médicaments comme moyen quasi-exclusif de lutte contre les nématodes gastro-intestinaux. Des traitements mensuels ont été recommandés et pratiqués (Singh *et al*, 1972, Schillhorn van Veen et Brinckman, 1975, Courtney *et al*, 1983, Idris *et al*, 1984, Beriajaya et Stevenson, 1986, Handayani et Gatenby, 1988, Zajac *et al*, 1992) voire à des intervalles de 3 semaines en zone tempérée (Euzeby et Gevrey, 1979, Kettle *et al*, 1983) ou plus fréquents encore (Brunsdon, 1965, Brunsdon, 1966). L'administration de formulations en mélange à des blocs de sel à lécher (Price *et al*, 1953, Emerick *et al*, 1957) ou sous forme de capsules à diffusion lente (Leathwick *et al*, 2002) a été proposée pour réduire les coûts, et conférer une protection permanente, en particulier pour les animaux élevés en pâturage extensif. Le traitement de tous les animaux était préconisé, et l'objectif visé de façon explicite ou implicite était de débarrasser les animaux de tous leurs NGI, mais aussi de réduire au minimum, voire d'éliminer totalement le risque d'infestation au cycle de pâturage suivant ("traitement préventif" et sa version anglaise "*suppressive drenching*"), en détruisant les parasites pendant leur période prépatente. Devant l'efficacité proclamée (>99%) et le large spectre d'action de la plupart de ces médicaments (NGI, cestodes, trématodes, voire ectoparasites pour l'ivermectine), très peu de travaux scientifiques sur d'autres méthodes de gestion des GIN ont été entrepris pendant les années 1960-1980, et le développement de l'élevage des petits ruminants s'est basé sur l'emploi systématique des anthelminthiques. Pourtant, dès 1957, on a isolé deux souches différentes d'*Hæmonchus* qui résistaient à la phénothiazine (Drudge *et al*, 1957), moins de 18 ans après le début de son utilisation comme anthelminthique. Kaplan (2004) a fait une revue de la littérature qui montre que les premiers cas de résistance aux anthelminthiques scientifiquement documentés ont été rapportés entre 3 ans (benzimidazoles) et 9 ans (levamisole) après la mise en marché de ces médicaments, et que ces cas de résistance touchaient de plus en plus d'élevages partout dans le monde. Moins de deux ans et 17 utilisations successives auront suffi à sélectionner, dans la même ferme néo-zélandaise, deux souches (*Teladorsagia circumcincta* et *Trichostrongylus colubriformis*) résistant au tout récemment commercialisé monepantel (Scott *et al*, 2013).

… y compris aux Antilles Françaises

Le premier cas de résistance d'*H. contortus* au fenbendazole (et aux autres médicaments de la famille des benzimidazoles) a été mis en évidence en 1985-86 en Martinique après 7 ans d'utilisation de ce produit sur un troupeau ovin, mensuellement sur les animaux de moins d'un an, tous les deux mois sur les adultes (Gruner *et al*, 1986). Sur le même troupeau (Station d'Essais en Cultures Irriguées, Conseil Général de la Martinique), *H. contortus* semble être aussi devenu résistant à l'ivermectine vers 1995, après 10 ans d'usage alterné avec le levamisole. Une enquête dans les élevages ovins de Martinique (Bastien *et al*, 1991) indiquait déjà des cas de résistance (ou de "tolérance") d'*H. contortus* aux benzimidazoles dans plus de la moitié des élevages testés (au moins 11 sur 20). En Guadeloupe, Barré *et al* (1997) diagnostiquaient également des résistances aux benzimidazoles dans la totalité des élevages caprins enquêtés, et suspectaient un premier cas de résistance à l'ivermectine. À la fin des années 1990, une dégradation brusque et persistante des performances de production post-sevrage des chevreaux mâles fait soupçonner un problème de résistance au levamisole dans les troupeaux du domaine expérimental INRA du Moule (actuellement PTEA, site de Gardel). Une batterie de tests d'efficacité des anthelminthiques (FECRT) est alors mise en œuvre par G. Aumont *et al,* suivant les recommandations de Coles et *al* (1992). La résistance à un anthelminthique est déclarée si le FECRT moyen est inférieur à 95% et la limite inférieure de l'intervalle de confiance à 95% est inférieure à 90% (Coles *et al*, 1992, Coles *et al*, 2006). Les résultats (non publiés) sont rapportés en ***annexe 1*** dans les tableaux 5 et 6, p. **85**.

En 1999, la population d'*H. contortus* apparaissait donc clairement résistante au fenbendazole et à l'albendazole même si la troisième benzimidazole testée, le netobimin, un précurseur de l'albendazole, paraissait encore très efficace.

T. colubriformis apparaissait très résistant au levamisole et à son énantiomère tetramisole, mais aussi au pyrantel (tetrahydropyrimidine). Enfin, un test sur 9 chevrettes sevrées fait conclure à une résistance de *T. colubriformis* à la doramectine (avermectine), bien que cet anthelminthique n'ait pas été utilisé auparavant. Les chevrettes utilisant des parcelles séparées de celles des jeunes boucs, leurs populations parasitaires ont pu évoluer indépendamment, ce que suggère la différence de structure spécifique entre celle des jeunes boucs (40% d'*H. contortus*, 40% de *T. colubriformis* et 30% d'*Œ. columbianum* dans les coprocultures), et celle des chevrettes (10%, 88% et 2% respectivement). Il est possible que la résistance à la doramectine ait révélé en réalité une résistance croisée à l'ivermectine utilisée depuis plusieurs années (Martínez-Valladares *et al*, 2012).

Œ. columbianum s'est révélé également résistant aux pyrantel et closantel, tandis qu'au moins un début de résistance au levamisole/tetramisole peut être soupçonné, les deux groupes d'animaux montrant des résultats proches de part et d'autre des limites conventionnelles définies par Coles *et al* (2006).

En 1999, la situation globale montrait donc un risque élevé de perte totale de contrôle, puisque le dernier anthelminthique efficace sur les trois espèces de la population de NGI des jeunes boucs (l'ivermectine) ne l'était peut-être déjà plus sur les *T. colubriformis* des chevrettes voisines. Dans cette éventualité seule la moxidectine restait utilisable, avec le risque de voir s'établir des résistances à cette dernière à court ou moyen terme, comme il a été vérifié en Guadeloupe 12 ans plus tard (Mahieu *et al*, 2014). La décision a donc été prise par G. Aumont *et al* d'éradiquer les populations de NGI présentes sur le domaine et de les substituer par des populations de NGI sensibles aux anthelminthiques. Pour cela, les animaux ont été élevés hors sol pendant 5 mois, nourris au foin et traités avec une combinaison d'anthelminthiques choisis pour leur action complémentaire sur les trois espèces de NGI. Les parcelles de pâturage ont été fauchées de manière à éliminer tout abri susceptible d'héberger des populations résiduelles de larves infestantes. Après s'être assurés de l'élimination totale des NGI des animaux comme des pâturages, la ré-infestation des pâturages s'est faite à partir d'une souche d'*H. contortus* "Calixte" collectée en Guadeloupe chez un éleveur traditionnel n'utilisant pas d'anthelminthiques, et une souche de *T. colubriformis* "Meunier" provenant d'une ferme de Touraine n'ayant pas utilisé d'anthelminthiques depuis une vingtaine d'années (fournie par J. Cabaret et *al,* INRA-Tours). Les tests d'efficacité anthelminthique pratiqués sur ces souches avant ré-infestation avaient montré une efficacité de 100% au netobimin, au levamisole, à l'ivermectine et à la moxidectine. Cependant, la souche "Calixte" s'est avérée résistante au fenbendazole (84 [91; 72] %) et à l'albendazole (91 [94; 87] %), et la souche "Meunier" également au fenbendazole (48 [78; 12] %) %) et à l'albendazole (66 [82; 40] %), 4 mois après leur introduction, la dernière confirmant une première évaluation à Tours (J. Cortet, communication personnelle).

Après la réintroduction des souches "Calixte" d'*H. contortus* et "Meunier" de *T. colubriformis*, et le départ de G. Aumont début 2000, j'ai pris en charge le suivi du statut de résistance aux anthelminthiques de cette nouvelle population de NGI par réalisation de FECRT dont les résultats sont reportés dans les tableaux 7, p. **86**, et 8, p. **87**, de l'***annexe 1***. Le programme de traitement systématique bimestriel des chevreaux sevrés a été rétabli, car il était nécessaire pour pouvoir comparer les animaux au même stade de ré-infestation naturelle, dans le cadre de l'évaluation de la résistance génétique des caprins Créole pendant la période post-sevrage (programme de recherches en génétique, animé par N. Mandonnet). Nous avons dans un premier temps utilisé exclusivement le levamisole. Un premier contrôle (FECRT), réalisé 4 mois après la réintroduction des NGI a confirmé leur statut décrit au paragraphe précédent. La population comprenait 55% d'*H. contortus* et 45% de *T. colubriformis* dans les

L3 issues des coprocultures avant traitement. Aucune larve d'*Œ. columbianum* n'a été retrouvée (novembre 2000).

Un second test a été effectué en mai 2001, soit 12 mois (6 traitements anthelminthiques) après la réintroduction des NGI. La population avant traitement était alors estimée à 98% d'*H. contortus* et seulement 2% de *T. colubriformis*, de sorte que seule la première espèce a pu être testée. Elle a confirmé son statut de résistance aux benzimidazoles (à l'exception du netobimin, FECR = 99 [100; 98] %), et sa sensibilité aux levamisole, ivermectine et moxidectine.

Un troisième test effectué 25 mois après la réintroduction des NGI (soit une douzaine de traitements au levamisole) révèle un tableau totalement différent puisque la structure spécifique de la population a été inversée : 5% d'*H. contortus vs* 95% de *T. colubriformis.* Cette fois-ci, seul *T. colubriformis* a pu être testé, il s'est révélé résistant au levamisole (FECR = 48 [78 ; 12] %), a confirmé une résistance aux benzimidazoles (y compris une suspicion de résistance au netobimin, FECR = 95 [100; 86] %), et une sensibilité intacte à l'ivermectine et à la moxidectine. Nous avons alors (janvier 2003) décidé d'abandonner l'utilisation du levamisole au profit du netobimin, qui semblait encore suffisamment efficace, et aussi pour retarder au maximum le recours aux lactones macrocycliques.

Quatre ans après la réintroduction des NGI (septembre 2004), la structure de la population est à nouveau inversée (88% d'*H. contortus*, 11% de *T. colubriformis*) et on note la réinstallation spontanée de quelques *Œ. columbianum* (moins de 1% des L3 retrouvées en coproculture), probablement pas transport involontaire par des pneus de véhicules ou des chaussures, aucun animal n'ayant été introduit en provenance de l'extérieur. *H. contortus* s'avère alors résistant au netobimin, y compris à 2 fois la dose thérapeutique pour les caprins, elle-même 1,5 fois la dose thérapeutique pour les ovins (Hennessy *et al*, 1993b, Hennessy *et al*, 1993c, Hennessy *et al*, 1993a). *H. contortus* reste toutefois sensible au levamisole et aux lactones macrocycliques. Le nombre estimé de *T. colubriformis* s'est avéré trop faible pour une évaluation fiable de son statut vis-à-vis des anthelminthiques testés.

Suite à ce constat de résistance avérée des deux espèces dominantes de NGI l'une au levamisole, l'autre à toutes les benzimidazoles disponibles, nous avons décidé d'utiliser l'ivermectine. En mai 2007, soit moins de trois ans plus tard (une quinzaine d'utilisations), un nouveau test d'efficacité à abouti, malgré le faible niveau d'infestation (seuls 2 animaux avaient un FEC attribuable à *H. contortus* >150 opg), au constat d'une résistance à l'ivermectine chez *H. contortus* (FECR 27 [71 ; -31] %), et à la confirmation de la résistance au levamisole chez *T. colubriformis* (FECR = 29 [54; -3] %), les deux espèces restant pleinement sensibles à la moxidectine. La structure de la population a de nouveau évolué, avec approximativement 24% d'*H. contortus*, 76% de *T. colubriformis*, et moins de 1% d'*Œ. columbianum* dans les coprocultures avant traitement.

À partir de juin 2007, seule la moxidectine a été employée sur les troupeaux de jeunes caprins sevrés. Début 2012, la structure de la population de NGI a encore évolué et comprend environ 97% d'*H. contortus*, 1% de *T. colubriformis* et 2% d'*Œ. columbianum*. Les tests anthelminthiques réalisés lors de l'enquête dans les élevages de Guadeloupe (élevage "G") montrent une situation inchangée : forte résistance à l'ivermectine chez *H. contortus* (confirmant les conclusions de 2007), pas de résistance à la moxidectine (Mahieu *et al*, 2014).

Ces résultats sur l'évolution des populations de NGI et de leur statut de sensibilité ou de résistance suite à l'utilisation séquentielle des différents anthelminthiques, qu'ils aient été obtenus par 15 années de suivi dans notre élevage expérimental ou par des enquêtes en élevage (Barré *et al*, 1997, Mahieu *et al*, 2014), montrent bien l'échec de la conception basée principalement sur l'utilisation systématique des anthelminthiques sur l'ensemble des animaux de chaque troupeau, telle qu'elle a été promue depuis plus d'un demi-siècle.

Encadré 1 : Résistances aux anthelminthiques en Guadeloupe (Mahieu et al, 2014)

La situation locale en Guadeloupe a été évaluée par une enquête menée dans 21 élevages de petits ruminants affiliés à la CABRICOOP. Alors qu'une première enquête (Barré *et al*, 1997) avait déjà montré une résistance généralisée aux benzimidazoles, et seulement un cas de résistance suspectée à l'ivermectine, commercialisé au début des années 1990 en Guadeloupe, notre travail révèle une aggravation importante puisque: (i) tous les élevages testés présentent des résistances aux benzimidazoles, y compris au netobimin ; (ii) la majorité des élevages testés présentent des résistances au levamisole (7 sur 9) ou (iii) à l'ivermectine (14 sur 17) et que (iv) dans 2 élevages sur 9 il y a déjà une résistance à la moxidectine (le dernier anthelminthique mis sur le marché local).

La plupart des élevages présentent déjà des populations d'helminthes résistant à 2 ou 3 familles d'anthelminthiques différentes (il n'a malheureusement pas été possible de tester les 4 dans tous les élevages, faute d'animaux en nombre suffisant), et il est à craindre que les deux élevages chez lesquels nous avons détecté la résistance à la moxidectine (et à l'ivermectine) n'aient déjà plus aucun médicament efficace à leur disposition.

Annexe 2, p. 88

2.3. Aspects génétiques de la résistance des NGI aux anthelminthiques.

La comparaison des souches parasitaires sensibles et porteuses de résistance à une famille d'anthelminthiques a permis dans certains cas d'élucider les mécanismes génétiques responsables. Von Samson-Himmelstjerna *et al* (2002) ont identifié une mutation ponctuelle sur le codon 200 du gène de l'isotype 1 de la β-tubuline, chez plusieurs espèces de nématodes résistant aux benzimidazoles (*Cylicocyclus nassatus*, *Cylicocyclus insigne*, *Cylicocyclus elongatus*, *Cylicocyclus radiatus*, *Cyathostomum pateratum*, *Cyathostomum catinatum*, et *Cyathostomum coronatum*, parasites des chevaux). Des travaux plus récents sur *Strongyloides stercoralis* et *S. ratti* (Melville *et al*, 2006) et sur *Hæmonchus contortus* (Barrère *et al*, 2012) ont montré que les cas de résistance pouvaient être attribués à des mutations ponctuelles sur les codons 167, 198 et 200 du gène de l'isotype 1 de la β-tubuline.

Martin et McKenzie (1990) ont montré avec des techniques de génétique mendélienne, que la résistance au levamisole chez *Trichostrongylus colubriformis* était un caractère récessif lié au sexe. Cependant les mécanismes sous-jacents semblent complexes et restent encore largement incompris (Sarai *et al*, 2013). Chez *Hæmonchus contortus,* la(les) résistance(s) au levamisole semble(nt) multi-génique(s) et indépendante(s) du déterminisme sexuel (Sangster *et al*, 1998).

Les mécanismes de résistance aux lactones macrocycliques sont encore incomplètement compris, mais il semble qu'elles soient dues pour partie à la surexpression de gènes codant pour des P-glycoprotéines impliquées dans les mécanismes de transport transmembranaires qui permettent au nématode d'éliminer ce type de toxique (Lespine *et al*, 2012).

Dans tous les cas, l'extrême diversité génétique des NGI, en particulier d'*Hæmonchus* sp., leur confère de grandes capacités d'adaptation aux médicaments actuels et à venir (Prichard, 2001), ce qui rend nécessaire la recherche d'autres moyens de limiter leurs effets négatifs sur la production des animaux d'élevage. La structure génétique de la population de NGI est modifiée durablement par la sélection

résultant de l'usage des anthelminthiques, avec l'élimination progressive des phénotypes sensibles, donc des génotypes correspondants. Bien que Waller *et al* (1985) aient montré que l'utilisation de thiabendazole permettait de diminuer la fréquence des allèles de résistance au levamisole chez *T. colubriformis*, dans la plupart des cas il parait peu probable de voir un retour spontané à des populations de NGI totalement sensibles aux anthelminthiques en quelques mois ou années après l'arrêt de leur utilisation (Colglazier *et al*, 1974, Herlich *et al*, 1981, Hall *et al*, 1982, Borgsteede et Duyn, 1989, Leathwick, 2013).

2.4. Effets secondaires des anthelminthiques

Les anthelminthiques, comme tout médicament, diffusent dans l'organisme auxquels ils sont administrés, et ne sont excrétés que très progressivement, ainsi que leurs métabolites éventuels. En fonction des propriétés pharmacodynamiques de chaque type de matière active, les Pouvoirs Publics ont fixé les doses thérapeutiques adaptées à chaque espèce animale, voire chaque stade physiologique, et les dates limites d'emploi avant mise sur le marché des produits animaux, pour limiter l'exposition des consommateurs (ANSES, UE, 1992). Les anthelminthiques et leurs métabolites excrétés dans l'environnement peuvent aussi présenter une écotoxicité plus ou moins marquée. Les benzimidazoles et les lactones macrocycliques peuvent conduire à un ralentissement de la dégradation des fèces par les vers de terre (Yeates *et al*, 2007), ainsi qu'à une diminution des populations d'insectes coprophages (McKellar, 1997, Lumaret et Errouissi, 2002), certaines benzimidazoles ont en plus un effet fongicide marqué (Robinson *et al*, 1965) pouvant avoir un impact négatif sur les champignons saprophytes ou nématophages (Paraud *et al*, 2004, Sanyal *et al*, 2004). Ces effets écotoxiques des anthelminthiques ont dans un premier temps été jugés secondaires au vu des bénéfices pour la santé et la production des animaux d'élevage, mais compte tenu de la lenteur de leur dégradation dans l'environnement, les conséquences de leur utilisation massive et prolongée sont préoccupantes (McKellar, 1997). Ces considérations environnementales et de santé publique, et les législations qui en découlent, augmentent les coûts de développement de nouveaux anthelminthiques, tendent à en réduire l'utilisation et renforcent le besoin de rechercher des méthodes de contrôle des parasites qui soient moins dépendantes des seuls médicaments.

3. Vers la recherche de solutions

L'ampleur croissante de la sélection et de la diffusion de souches de NGI résistant aux anthelminthiques appelle à un changement complet de paradigme. L'ensemble du système d'élevage des ruminants doit être conçu en prenant en compte le parasitisme gastro-intestinal comme une composante du système, dont on doit chercher à minimiser les effets négatifs, et les anthelminthiques ne doivent plus être considérés comme le seul levier d'action, mais comme un moyen ponctuel à utiliser en dernier recours. Ce nouveau paradigme ne s'est construit que très progressivement. Une interrogation sur la base de données bibliographique Web of Science Core Edition (05/09/2014) sur les mots-clés [("*integrated control*" OR "*integrated management*") AND ("*sheep*" OR "*goat**" OR "*small ruminant**") AND ("*strongyl**" OR "*gastrointestinal parasit**" OR "*gastrointestinal nematod**" OR "*Haemonchus*" OR "*Trichostrongylus*" OR "*Teladorsagia*" OR "*Ostertagia*")] renvoie 108 références depuis 1990, elles-mêmes citées 2076 fois (dont 1905 fois en excluant les autocitations), avec une croissance linéaire pendant toute la période (de 1 à 10-15 publications par an). En fait, les premières utilisations du mot clé "*integrated control*" remontent au moins à la fin des années 1970 en Nouvelle Zélande (Vlassoff, 1978, Brunsdon, 1980) et en Australie (Morley et Donald, 1980). Ces derniers en particulier mettaient déjà l'accent sur le fait que le contrôle des parasites ne peut pas être dissocié de la gestion des troupeaux (reproduction, chargement), des pâturages, ainsi que des aspects économiques et de disponibilité en main d'œuvre, c'est-à-dire de la gestion globale de l'élevage en tant qu'entreprise ("farm management"). De fait, dès 1949, A. Russell, cité par Brunsdon (1980) en posait les bases : *"It would seem that a new approach is being made to the control of nematode parasites. The emphasis is now on pasture hygiene, achieved by combining the intelligent use of anthelmintics with controlled grazing in such a way as to protect young animals from heavy infestations and at the same time to build-up their resistance to parasitic disease. "The same principles may be applied to practically all helminth infections and as better anthelmintics become available and more knowledge of the life cycles and bionomics of the various parasites are acquired, there is every reason to hope that the tremendous losses due to parasitism of farm livestock will be greatly reduced*". Brunsdon (1980) constate l'impossible éradication de la plupart des helminthoses, et que les traitements réguliers ("préventifs") ne protègent pas toujours les hôtes contre une exposition à des niveaux élevés d'infestation des pâtures. Il passe en revue les objectifs et difficultés pour la conception et la mise en place de stratégies de contrôle intégré, dans le contexte épidémiologique des grandes zones d'élevage de Nouvelle Zélande : selon lui, il faut constituer des pâturages sains pour les animaux sensibles (les jeunes), aux moments clés de leur vie, ce qui implique l'usage stratégique des anthelminthiques pour limiter le dépôts d'œufs pendant le *peri-parturient rise* des brebis, mais aussi avant une période climatiquement favorable au développement larvaire, et une gestion adéquate des pâturages (utilisation de prairies nouvellement semées, cultures fourragères, recours aux fourrages conservés, pâturage tournant s'il est adapté au contexte épidémiologique, "dilution" par le co-pâturage ou par le pâturage successif d'animaux sensibles et d'animaux résistants). Cependant certaines des méthodes préconisées, en particulier le "*drench and move*" (traiter les animaux avant de les transférer sur une parcelle sans parasites), qui ont été largement adoptées par les éleveurs sur la base de leur efficacité à court terme, conduisent de fait à l'accélération de la sélection de parasites résistant aux anthelminthiques employés, d'autant plus que toutes les brebis sont traitées pour limiter l'infestation des jeunes avant sevrage (Leathwick *et al*, 1995).

D'autres auteurs (Barger, 1993, Waller, 1993b, Waller, 1993a) passent en revue différents moyens de contrôle des NGI mais ne semblent les envisager que comme des moyens de potentialiser l'efficacité des anthelminthiques, dont on pensait alors qu'on pourrait encore en développer régulièrement de nouveaux.

Encadré 2 : Proposition d'une ébauche de système de gestion intégrée des parasites pour l'élevage des petits ruminants aux Antilles Françaises (Mahieu et al, 2009)

La plupart des recherches et des discussions autour du contrôle intégré des NGI portent sur les grandes zones d'élevage commercial d'Australie, Nouvelle Zélande, Afrique du Sud, Europe, Amérique du Nord et du Sud, caractérisées par des climats tempérés ou subtropicaux avec à la fois des schémas de reproduction et une épidémiologie des NGI très liés à la saison.

La situation est sensiblement différente en zone tropicale humide, où ces aspects saisonniers sont beaucoup moins marqués, tant pour l'épidémiologie des NGI que pour l'organisation de la reproduction des petits ruminants. Nous avons donc développé au Centre INRA Antilles-Guyane nos propres recherches autour d'un schéma de contrôle intégré adapté au milieu tropical humide.

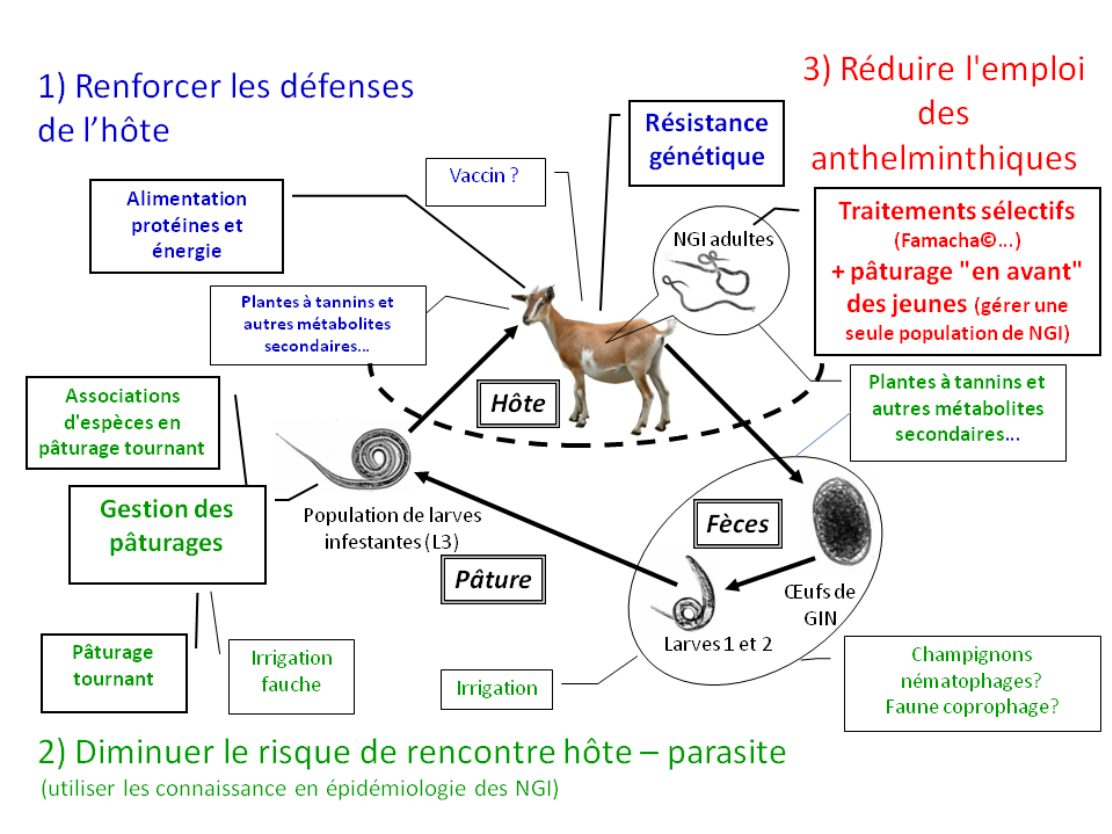


Figure 9 ***: représentation schématique du système de contrôle intégré des NGI, d'après*** **Mahieu *et al*** **(2009)**

J'ai proposé ce schéma décliné selon 3 axes : **i) renforcer les défenses des hôtes ; ii) limiter le risque d'infestation et iii) gérer les populations parasitaires pour prolonger l'efficacité des anthelmintique.**

Il vise à **déplacer l'équilibre hôte – parasite en faveur de l'hôte**, en choisissant parmi les techniques existantes celles qui nous semblent applicables dans le contexte local. Plusieurs de ces techniques ont été testées isolément dans un premier temps, puis une partie des interactions deux à deux sont abordées.

Annexe 3, p. 95

Niezen *et al* (1996) rapportent la première expérimentation en vraie grandeur visant à combiner plu-

sieurs techniques pour ne pas recourir aux anthelminthiques sur les ovins dans une perspective d'élevage "biologique" : pâturage alterné de bovins et d'ovins, utilisation de béliers sélectionnés résistants aux NGI, utilisation de fourrages à tanins. Ils constatent cependant un impact du parasitisme plus élevé que celui constaté dans les élevages recourant aux anthelminthiques, soulignent les aspects économiques et les difficultés organisationnelles, et le besoin de connaissances supplémentaires pour optimiser les résultats. Dans les années suivantes, les discussions théoriques lors de conférences indiquent l'intérêt des parasitologues pour développer des techniques de contrôle intégré (Barger, 1997, Waller, 1997, Williams, 1997, Waller, 1999), mais Miller *et al* (2004), après avoir passé en revue les différentes techniques envisagées, soulignent encore l'absence de conception globale en ce domaine. Jackson et Miller (2006) discutent aussi des problèmes liés au transfert et à l'adoption des nouvelles techniques proposées, qu'ils soient financiers ou organisationnels, ou liés à l'inconstance des résultats obtenus pour chacune prise isolément. Seule une contribution au débat se détache par une approche plus large : Ronchi et Nardone (2003) incluent le contrôle intégré du parasitisme dans une discussion sur la durabilité globale des systèmes d'élevage des petits ruminants des pays méditerranéens, dans le cadre de l'agriculture biologique.

3.1. Renforcer les défenses des hôtes

3.1.1. Utilisation de vaccins

Depuis les travaux de Jenner et de Pasteur, les vaccins apparaissent comme une solution élégante pour lutter contre les maladies infectieuses provoquées par des bactéries ou des virus, mais aussi contre d'autres organismes pathogènes. Les premières tentatives de vaccination d'ovins avec des larves d'*Hæmonchus* irradiées aux rayons X remontent à la fin des années 1950 (Soulsby, 1960) et s'appuyaient sur les connaissances du phénomène de "self cure" concomitant avec l'ingestion massive de L3 au printemps. D'autres tentatives infructueuses (avec des larves irradiées de *Trichostrongylus* et d'*Hæmonchus*) se succéderont pendant les années 1960 et 1970, qui, si elles n'aboutissent pas à un vaccin efficace, permettent de progresser dans la connaissance du système immunitaire et de sa maturation au cours du développement du jeune ovin (Urquhart *et al*, 1966a, Urquhart *et al*, 1966b, Mansfield *et al*, 1974, Gregg *et al*, 1978, Dineen et Windon, 1980). L'utilisation de diverses fractions purifiées de larves (Neilson, 1975, Neilson et Walle, 1987), ou d'antigènes issus des produits de sécrétion/excrétion d'*Hæmonchus* adulte (Eady *et al*, 2003) n'aboutirent pas non plus à des vaccins protecteurs. Au cours des années 1990, l'utilisation de fractions antigéniques des cellules intestinales d'*Hæmonchus* adulte (Jasmer et McGuire, 1991, Tavernor *et al*, 1992, Knox et Smith, 2001) aboutit à la mise au point du premier vaccin fonctionnel contre cette espèce hématophage. Ce vaccin devrait être commercialisé en Australie à partir de 2014 (Besier, 2014), après quelques années de test en condition d'élevage. Cependant, pour les autres NGI ayant un impact économique important (*Trichostrongylus*, *Teladorsagia*…), les recherches n'ont pas encore permis de dépasser le cadre expérimental (McClure, 2009, Mohamed Fawzi *et al*, 2013). La mise au point d'un vaccin polyvalent semble toujours hors de portée, en particulier au vu des différences importantes dans les relations entretenues entre chaque NGI et son hôte, et les difficultés à délivrer *in situ* des anticorps efficaces ou à améliorer les réponses des cellules immunitaires contre les parasites présents dans la lumière intestinale. La diversité des profils parasitaires en fonction des milieux d'élevage nécessiterait la mise au point de vaccins polyvalents spécifiques adaptés à chaque région, voire chaque système d'élevage. Des considérations économiques entrent aussi en ligne de compte : les firmes pharmaceutiques semblent considérer que les vaccins de ce type ne puissent pas générer des bénéfices importants puisque le seul vaccin en cours de lancement est produit par une collaboration entre un institut de recherche écossais (Moredun Research Institute) et le gouvernement de Western Australia (Besier, 2014).

L'utilisation des vaccins se justifie pleinement dans les situations où le parasitisme (à *H. contortus* en particulier) est très saisonnier et peut aboutir à une infestation massive avant que les animaux aient eu le temps de monter une réponse immunitaire efficace, comme c'est le cas dans les zones subtropicales à été chaud et humide (O'Connor *et al*, 2006). Dans le cas des élevages de petits ruminants des tropiques humides où les NGI sont présents toute l'année et où la reproduction des ovins ou caprins est elle aussi peu saisonnée, le contact hôte - parasite est toujours précoce. En conséquence, la faisabilité pratique et l'intérêt de la vaccination, même dans l'hypothèse de la mise au point d'un vaccin réellement polyvalent, restent à démontrer. Nous ne retiendrons donc pas cette technique parmi les composantes d'un système de contrôle intégré opérationnel pour les tropiques humides.

3.1.2. Interactions nutrition - parasitisme

L'importance d'une alimentation suffisante pour permettre le montage d'une réponse immunitaire efficace a été traitée plus haut dans ce document. Les travaux menés à l'INRA Antilles-Guyane abordent le sujet principalement sous l'angle de l'utilisation de fourrages à forte teneur en métabolites secondaires. Les feuilles de manioc (*Manihot esculenta*) en particulier, une ressource largement répandue dans les pays tropicaux et encore peu valorisée, sont assez riches en tanins condensés (TC, de l'ordre de 40 g/kg MS) ce qui leur confèrerait des propriétés anthelminthiques intéressantes : une comparaison d'une ration avec des feuilles de manioc à un témoin luzerne *(Medicago sativa*) iso-énergétique et iso-protéique permet une réduction de l'excrétion d'œufs de l'ordre de 40%, avec un effet additionnel de réduction d'environ 60% du taux de développement des œufs de NGI (Marie-Magdeleine *et al*, 2010d), ce qui se traduit par une diminution conséquente du potentiel de recontamination, peut être encore sous-estimée, les effets sur la viabilité ultérieure des larves n'ayant pas été évalués. L'addition de polyéthylène glycol (PEG), en neutralisant l'action des tanins, annule l'effet anthelminthique, démontrant le rôle primordial des TC. Cependant la même expérimentation montre que les feuilles de manioc ont une teneur en fibres élevée : ADL = 194 g/kg MS *vs* 109 g/kg MS pour la luzerne (van Soest *et al*, 1991), et sont moins ingérées, d'où des performances de croissance inférieures à celles obtenues avec un complément à base de luzerne. Les tanins pourraient agir sur les NGI en inhibant le dégainage des L3, et en diminuant leur motilité (von Son-de Fernex *et al*, 2012), en liaison probable avec des lésions cellulaires observées en microscopie électronique (Brunet *et al*, 2011). L'INRA Antilles-Guyane travaille également sur d'autres ressources potentielles riches en métabolites secondaires (Marie-Magdeleine, 2009, Marie-Magdeleine *et al*, 2010a, Marie-Magdeleine *et al*, 2010b, Marie-Magdeleine *et al*, 2010c, Marie-Magdeleine *et al*, 2011), mais aussi sur des procédés technologiques permettant une utilisation pratique et efficace de ces ressources comme complément pour des animaux au pâturage, permettant ainsi de les intégrer dans un programme de contrôle intégré des NGI.

D'autres aspects ont aussi été abordés, en particulier la modulation par le niveau alimentaire de l'expression de la résistance génétique aux NGI des caprins Créole (Bambou *et al*, 2011) : des chevrettes en croissance recevant un complément permettant un gain de poids de plus de 40g/j et soumis à une infestation expérimentale (10 000 L3 d'*Hæmonchus contortus*) rejettent deux fois moins d'œufs de NGI que des animaux comparables alimentés à un niveau proche de l'entretien (gain de poids <10g/j). Chez ces derniers, les animaux classés comme "génétiquement sensibles" rejettent en moyenne 1,6 fois plus d'œufs de NGI que les animaux "génétiquement résistants", mais cette différence n'apparaît plus chez les animaux complémentés. Ces résultats sont en cohérence avec le constat d'une expression de la résistance génétique aux NGI différente suivant le milieu d'élevage (Mandonnet *et al*, 1997).

3.1.3. Génétique et sélection sur des critères de résistance/résilience

Les travaux sur la résistance des caprins Créole de Guadeloupe aux NGI ont débuté il y a une vingtaine d'années (Mandonnet, 1995, Mandonnet *et al*, 1996), et ont mis en évidence une composante

génétique pour ce caractère. L'héritabilité de l'excrétion d'œufs (variable normalisée en utilisant la racine quatrième du FEC mesuré) en a été estimée à 0,37±0.06 au sevrage, 0,17±0.05 à 6 mois, et 0,33±0.06 à 10 mois d'âge (Mandonnet *et al*, 2001). Aucun effet maternel direct n'a été détecté chez les animaux âgés de 6 mois et plus. L'héritabilité de l'hématocrite (critère de résilience à *Hæmonchus*) a été estimée chez les mêmes animaux dans une plage comprise entre 0,10 et 0,33. Chez les chèvres primipares mesurées dans la 4ème semaine après mise bas, l'héritabilité de l'excrétion d'œufs de NGI (normalisé en log(FEC+15)) a été estimée à 0,15±0,04 et celle de l'hématocrite à 0,19±0,04. Une forte corrélation (0,57±0,12) a été montrée entre les estimations des réponses génétiques à l'infestation par les NGI mesurées à 11 mois (pendant la croissance post sevrage) et à la 4éme semaine après la première mise bas de la jeune femelle, ce qui permet une évaluation génétique des animaux dès l'âge de 11 mois, sur le critère de résistance au parasitisme (Mandonnet *et al*, 2006). Gunia *et al* (2011) ont, sur une base de données plus importante, évalué l'héritabilité de critères de reproduction (prolificité : 0,11±0,02 ; fertilité : 0,11±0,02), de croissance (poids à 70j : 0,20±0,03 ; poids à 11 mois : 0,32±0,03) et de résistance (FEC à 11 mois : 0,18±0,04) ou de résilience aux NGI (hématocrite à 11 mois : 0,13±0,05). Les mêmes auteurs ont aussi estimé les corrélations génétiques entre ces 6 caractères. Bien qu'encore d'une précision limitée, elles indiquent une liaison favorable entre la fertilité, les traits de croissance, et la résilience, et la faiblesse des liaisons génétiques avec la prolificité et la résistance aux NGI. En conséquence, nous pouvons citer un passage de la thèse de Mélanie Gunia : *"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."* (Gunia, 2012).

Ces connaissances sont en cours d'application avec la mise en place progressive d'un schéma de sélection des Caprins Créole de Guadeloupe, par un groupe d'éleveurs adhérents de la CABRICOOP, coopérative des éleveurs de petits ruminants de la Guadeloupe.

Des dispositifs expérimentaux sur le site de la Plateforme Tropicale d'Expérimentation sur l'Animal visent à évaluer les effets de la sélection des caprins sur le niveau moyen d'excrétion d'œufs et de recontamination des pâturages, en interaction avec d'autres éléments d'un système de contrôle intégré (principalement les modalités de gestion du pâturage, développés plus bas).

Enfin, la sélection de lignées divergentes (résistant *vs* sensible) fournit les animaux nécessaires à l'étude des mécanismes physiologiques et génétiques mis en jeu dans les relations hôte – parasites, qu'ils s'agissent de réponses cellulaires locales ou circulantes ou de production d'anticorps (Bambou *et al*, 2013b). Le génotypage et le phénotypage d'un nombre conséquent d'individus a permis de progresser dans la localisation des gènes impliqués dans le déterminisme de la résistance aux NGI (De la Chevrotière, 2011), et il est prévisible que les prochaines générations d'outils en "omic" amèneront de nouvelles connaissances en ce domaine, potentiellement utilisables dans les programmes de sélection, ce qui impactera aussi l'efficacité des systèmes de contrôle intégré du parasitisme. Ce développement de la génomique et la baisse des coûts d'utilisation seront d'autant plus utiles que si, comme il est prévisible, l'implication des éleveurs dans un programme de sélection se traduit par une amélioration générale de leurs techniques d'élevage, une meilleure alimentation des animaux risque de masquer partiellement l'expression de la résistance génétique aux NGI (Bambou *et al*, 2011) et d'en rendre difficile l'évaluation par la simple mesure du FEC à âge standard.

3.2. Limiter le risque d'infestation

3.2.1. Par la gestion du pâturage

3.2.1.1. Le pâturage tournant

Les travaux sur l'évolution quantitative des populations de larves infestantes cités plus haut (Aumont et Gruner, 1989, Aumont *et al*, 1991) montrent l'intérêt de limiter la présence des animaux à une semaine au plus et de laisser une période de repos la plus longue possible entre deux séquences de pâturage. Malheureusement la qualité du fourrage évolue négativement avec la durée de la repousse : trois semaines sont suffisantes pour reconstituer l'essentiel du stock de limbes foliaires, la croissance ultérieure se fait surtout par accumulation de tiges, les feuilles les plus âgées entrant en sénescence (Cruz *et al*, 1989), et la valeur alimentaire globale décroit avec le vieillissement (Aumont *et al*, 1995, Archimède *et al*, 2000). Si on considère que les animaux valorisent essentiellement les limbes foliaires des graminées fourragères, et que la quantité disponible évolue peu après 3 semaines de repousse, passer de 4 à 6 semaines de repos avant une nouvelle séquence de pâturage conduit à diminuer de 25 à 30% la quantité de fourrage exploitable cumulée sur l'année, malgré l'augmentation apparente de la biomasse présente à l'entrée des animaux. Le chargement et la production globale seront donc réduits si on choisit d'allonger l'intervalle entre séquences de pâturage, ce qui est cohérent avec les études en écologie sur les relations biomasse végétale – biomasse herbivore (Barnes et Sidhu, 2005). En pratique le schéma adopté (une semaine de pâturage, 4 ou 5 semaines de repousse, soit 5 à 6 parcelles équivalentes par groupe d'animaux) est un compromis entre ces impératifs d'éviter les fortes populations de larves et de valoriser au mieux la ressource fourragère. Des schémas proches ont été proposés pour des situations comparables, aux iles Tonga (Barger *et al*, 1994) ou Fidji (Banks *et al*, 1990), les différences portant sur des aspects pratiques de niveau d'investissement et d'organisation (par exemple 5 parcelles utilisées pendant une semaine vs 10 parcelles pâturées pendant 3.5 jours chacune). En dehors des zones tropicales humides, la croissance saisonnière des fourrages, l'utilisation de reports fourragers, comme la survie à long terme des L3 sur le pâturage rendent inapplicable le système de pâturage tournant tel qu'il est décrit ci-dessus. La gestion du pâturage devra être établie sur une base saisonnière et pluriannuelle qui prenne en compte les aspects épidémiologiques ainsi que la gestion des séquences fauche-pâturage pour minimiser le risque d'infestation des animaux les plus sensibles (jeunes en croissance et femelles autour du part).

3.2.1.2. Les associations d'espèces herbivores

Un deuxième moyen de diminuer la densité larvaire au pâturage, donc le risque d'infestation, découle de l'association sur les mêmes pâturages d'animaux sensibles aux parasites (par exemple des jeunes) avec des animaux peu ou pas sensibles, qu'ils appartiennent à une espèce différente ou à la même espèce (en général des adultes). Ainsi, Donald (1987) propose le pâturage alterné des agneaux sevrés avec des bovins, en prenant en compte les caractéristiques épidémiologiques des NGI des ovins, et montre que ce système permet un contrôle parasitaire équivalent à celui d'un traitement chaque deux semaines. D'autres auteurs arrivent à des conclusions similaires, sous réserve que le calendrier d'alternance entre espèces soit adapté à l'épidémiologie des stades larvaires des différents parasites (Southcott et Barger, 1975, Reinecke et Louw, 1991), et Rocha *et al* (2008) concluent que la réduction permise par la permutation tous les 96 ou 192 jours d'ovins Ile de France et de bovins permettait une réduction significative du niveau d'infestation des ovins, sans toutefois être suffisante pour se passer totalement d'anthelminthiques en raison de la sensibilité élevée de cette race aux NGI, bien qu'aucune infestation de NGI d'origine bovine n'ait été décelée.

Encadré 3 : Pâturage alterné d'ovins et de bovins (Mahieu et Aumont, 2009).

Nous avons comparé le niveau d'infestation et les performances de production de 2 troupeaux de brebis Martinik en pâturage tournant seul (1 semaine de pâturage, 4 semaines de repousse) ou en alternance avec des génisses Brahman (1 semaine de pâturage, 3 semaines de repousse), à même chargement. Les variables parasitaires (FEC et PCV) des agneaux allaités ont été en général améliorées par le pâturage alterné, ainsi que les performances de croissance, malgré l'infestation par *Cooperia* sp., NGI des bovins. Pour les brebis, très résistantes aux parasites, les différences ont été moins marquées, mais la productivité individuelle a augmenté et le taux de réforme a diminué significativement pour le troupeau en pâturage alterné. Le niveau de parasitisme des jeunes en saison humide, et les populations larvaires dénombrées au pâturage amènent à suspecter l'installation de quelques *Hæmonchus contortus* chez les bovins, qui seraient à l'origine d'une population de L3 de *H. contortus* bien supérieure à celle qui serait attendue d'après le modèle publié par Aumont *et al* (1991), compte tenu des 7 semaines écoulées entre deux passages des ovins sur la même parcelle.

Annexe 4, p. 100

D'autres auteurs ont constaté une diminution significative de l'intensité des infestations parasitaires en cas de pâturage simultané de bovins et d'ovins, même si certaines espèces parasitaires peuvent passer des bovins aux ovins et réciproquement (Arundel et Hamilton, 1975, Brelin, 1979, Jordan *et al*, 1988, Niezen *et al*, 1996, Owen, 1998, Marley *et al*, 2006, Torres *et al*, 2009), tandis que parfois l'association semble sans effet sur leur niveau d'infestation (Horak *et al*, 1999).

En pratique, le pâturage alterné est moins facile à mettre en œuvre que le pâturage simultané, si l'éleveur cherche à optimiser l'utilisation de la ressource fourragère, puisqu'en absence de report fourrager il lui faut constituer des troupeaux de bovins (ou similaire) et de petits ruminants équivalents en termes de besoins alimentaires.

Encadré 4 : Pâturage simultané d'ovins et de bovins (Mahieu et al, 1997)

Nous avons pu montrer que l'association en pâturage tournant simultané de génisses Brahman et d'agneaux Martinik mâles et femelles, dans un ratio 1/3 ovin, 2/3 bovin en termes de chargement, permettait de diminuer très sensiblement l'intensité du parasitisme mesuré sur les ovins. Six semaines après le sevrage et le début du pâturage avec les bovins, le FEC des ovins était diminué de l'ordre de 90% par rapport aux témoins pâturant seuls. Pour des animaux plus âgés, la différence s'atténuait avec une diminution globale du niveau d'infestation due à la maturation de leur système immunitaire. En moyenne environ 300 NGI adultes des espèces *Cooperia pectinata* et *C. punctata* ont été retrouvés dans l'intestin des agneaux associés aux bovins, alors que très peu ont été retrouvés infestant les agneaux pâturant seuls (Giudici *et al*, 1999).

La réponse en termes de production a été plus forte chez les mâles, plus sensibles aux parasites, avec une croissance augmentée de 16% (115 *vs* 99 g/j, $p < 0.01$) et de 6% pour les femelles (89 vs 84 g/j, $p < 0.01$). Globalement, la production à l'hectare a été augmentée de 18 à 25%, ce qui traduit une meilleure utilisation de la ressource fourragère quand on associe les deux espèces.

Annexe 5, p. 112

À notre connaissance, très peu de travaux ont traité spécifiquement la relation entre le ratio des espèces animales associées au pâturage et le niveau d'infestation par les NGI qui en résulte. Aumont *et al* (1991) ont intégré l'effet du chargement dans leur modèle d'évaluation du risque d'infestation en pâturage mono-spécifique, mais sans validation expérimentale. Waller (2006) passe en revue plusieurs publications dont certaines concluent sur une absence d'effet, d'autre sur un accroissement du niveau d'infestation avec l'augmentation du chargement, dans les limites des dispositifs expérimentaux étudiés. Cependant aucune de ces publications ne permet de prédire l'effet du chargement en petits ruminants quand on le fait varier en substituant une partie des petits ruminants par l'équivalent en bovins, jusqu'aux travaux que nous avons publiés en 2013 (encadré suivant), qui ont permis de montrer une relation puissance entre le chargement partiel en caprins et leur niveau moyen d'infestation parasitaire, relativement au témoin caprin seul.

Encadré 5 : Effets du chargement partiel en caprins sur leur niveau d'infestation, quand ils sont associés à des bovins en pâturage tournant (Mahieu, 2013)

Le suivi parasitaire de 4 groupes de chevreaux Créole sevrés pâturant à des chargements partiels (pSR) de 100% (témoin seul), 75%, 50%, 25% , le complément à 100% étant assuré par des génisses Créoles, aboutit à la relation suivante :

$$FEC_{pSRx} = FEC_{100}\, pSRx^{3.71}$$

où FEC_{pSRx} est la valeur moyenne des FEC individuels des animaux pâturant à un chargement partiel pSRx (entre 0 et 1), FEC_{100} la valeur moyenne des FEC individuels des animaux pâturant seuls (chargement partiel = 1).
De l'analyse des résultats d'infestation (FEC) en fonction du niveau de contamination des pâturages, j'ai pu estimer que ces variables sont liées par une relation puissance de la forme :

$$FEC_{index} = L3_{index}^{0.37}$$

où $L3_{index}$ correspond à la densité relative de L3 par rapport à un groupe témoin fixé à 1, et FEC_{index} correspond au niveau moyen d'infestation, relativement au groupe témoin fixé à 1. Ainsi, si une densité de L3 sur le pâturage de 1000 $L3.m^{-2}$ se traduit par un niveau d'infestation moyen FEC de 5000 opg, diviser par 100 l'exposition (10 $L3.m^{-2}$) se traduira par un niveau d'infestation moyen FEC de ($5000 \times 0.01^{0.37}$) soit 910 opg, soit une réduction effective d'un peu plus de 80%.

Annexe 6, p. 124

Cependant l'association bovins – caprins ne donne pas toujours les résultats escomptés en matière de parasitisme. Un premier dispositif était conçu pour étudier les effets de la sélection des chèvres sur le critère de résistance aux NGI (R+ et R-), sous deux niveaux de pression parasitaire générés, espérait-on, par l'association ou non à des bovins, sur la base de résultats antérieurs (Mahieu *et al*, 1997, Owen, 1998). Le suivi pendant 4 années complètes de chèvres primipares pâturant seules et de chèvres primipares associées à des bovins (ratio 40/60), en pâturage continu, n'a pas mis en évidence de différence de niveau d'infestation entre les deux groupes (Blaes *et al*, 2010), malgré de meilleures performances de production des chèvres associées aux bovins. Un second dispositif, où les chèvres reproductrices (R+ et R-) sont associées ou non à des bovins en pâturage tournant est en cours d'étude depuis 2013. Les premiers résultats portant sur 2 années (6 périodes de reproduction des chèvres, 1254 observations) montrent là encore, une absence de l'effet attendu (2196 opg en moyenne pour les chèvres associées aux bovins, contre 1873 opg pour les chèvres pâturant seules, $P > 0.10$). Ces deux résultats similaires ont été obtenus avec des chèvres adultes, alors que les résultats précédents avaient été acquis avec des agneaux sevrés (Mahieu *et al*, 1997) ou avec des chevreaux sevrés (Mahieu, 2013). Ces jeunes animaux ont été présents pendant 4 mois sur les dispositifs expérimentaux, et ils n'ont pâturé

chaque parcelle qu'en trois ou quatre occasions, avant d'être remplacés par un nouveau groupe d'animaux. À l'opposé, les chèvres adultes ont passé individuellement plusieurs mois à plusieurs années sur le même groupe de parcelles, au sein d'un troupeau pérenne. Il est donc vraisemblable que la connaissance individuelle et collective du milieu – le pâturage et son hétérogénéité (voir illustration schématique, figure 10) – soit bien plus développée chez les adultes que chez les jeunes, avec pour conséquence une exploitation préférentielle de certaines zones plus marquée pour les adultes, comme cela a été montré avec des brebis (Edwards *et al*, 1996).

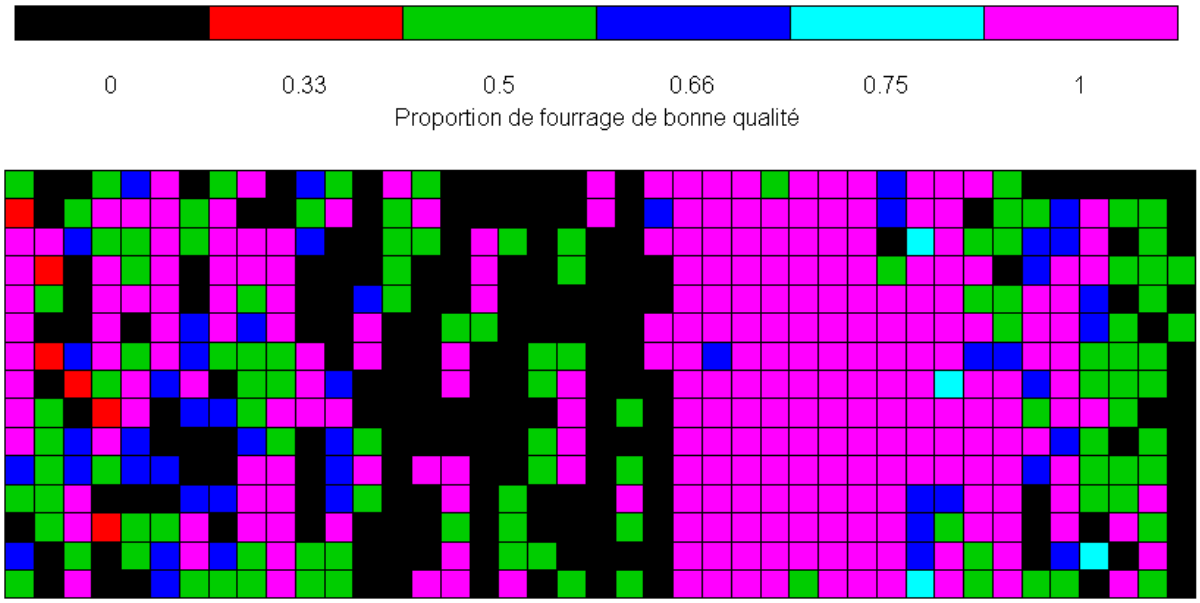


Figure 10 ***: représentation schématique de l'hétérogénéité spatiale des pâturages, données PTEA non publiées***

L'observation des troupeaux de chèvres adultes montre aussi qu'ils sont très hiérarchisés, alors que les groupes de jeunes sevrés le sont beaucoup moins. La combinaison de ces deux caractéristiques permet de formuler l'hypothèse suivante : les jeunes sevrés exploiteraient leur pâturage de manière relativement aléatoire, tandis que les adultes s'approprieraient à chaque moment les zones les plus convoitées en fonction de leur rang dans la hiérarchie ou de leurs affinités sociales (Boissy et Dumont, 2002). Un chargement partiel plus faible pourrait se traduire par la non-exploitation des zones les moins riches en fourrages recherchés, sans diminuer l'intensité de pâturage des zones les plus appréciées. L'influence d'une autre espèce associée un peu moins sélective (bovins en l'occurrence) ne modifierait pas ou peu ce comportement spatial des chèvres adultes : les performances de production des chèvres associées sont supérieures à celles des chèvres pâturant seules, ce qui traduit bien une meilleure satisfaction des besoins alimentaires (Blaes *et al*, 2010). En conséquence la notion même de chargement peut être questionnée. Classiquement on définit le chargement comme le nombre (le poids vif, le poids métabolique) d'animaux qu'un pâturage nourrit par unité de surface. L'hypothèse qui vient d'être formulée amène à considérer le chargement non plus comme une valeur moyenne, mais comme une variable décrivant la pression réelle de pâturage exercé par les animaux de chaque espèce et son hétérogénéité spatiale (chargement réel). Ce chargement réel pourrait être exprimé par une fonction des quantités de fourrage prélevées en chaque point par unité de temps, et approché par le temps de pâturage en chaque point, lors d'une séquence de pâturage. Les caprins (ou les ovins) n'ayant pas de comportement de latrines, contrairement aux équins, on peut en déduire que la répartition des fèces (dont dépend la densité larvaire) est très proche de celle du chargement réel. **Il reste à valider cette hypothèse** par l'étude du comportement spatial des caprins, associés ou non à des bovins, pendant plusieurs cycles successifs d'exploitation de pâturages hétérogènes. Idéalement une telle étude serait plus complète si on analysait en simultané l'hétérogénéité spatiale du pâturage (composition floristique et biomasse), l'hétérogénéité

de son utilisation par les animaux et la répartition de leurs défécations, leurs relations hiérarchiques et leur parasitisme gastro-intestinal.

Comme dans le cas du pâturage tournant, l'utilisation des associations d'espèces herbivores ne peut sans doute pas être transposée dans d'autres contextes sans prise en compte de la nature des pâturages, des données épidémiologiques et des caractéristiques comportementales des espèces concernées.

3.2.2. Par l'utilisation de prédateurs naturels des stades libres des NGI

L'utilisation des hyphomycètes nématophages a été testée expérimentalement dans de nombreux pays : USA (Fontenot *et al*, 2003), Suède (Waller *et al*, 2004c), Pays Bas (Eysker *et al*, 2006), Allemagne (Epe *et al*, 2009), France (Chartier et Pors, 2003, Paraud *et al*, 2006), Suisse (Faessler *et al*, 2007), Espagne (Gomez-Rincon *et al*, 2007), Mexique (Ojeda-Robertos *et al*, 2008), Brésil (Santurio *et al*, 2011), Argentine (Sagues *et al*, 2011), Malaisie (Chandrawathani *et al*, 2003, Chandrawathani *et al*, 2004), Australie (Kahn *et al*, 2007), Nouvelle Zélande (Wright *et al*, 2003), Afrique du Sud (Maingi *et al*, 2006)... Certaines études rapportent cependant une absence d'effet (Waller *et al*, 2006, Faessler *et al*, 2007), ou du moins des résultats inconstants ou insuffisants en conditions de pâturage (Knox et Faedo, 2001, Eysker *et al*, 2006, Maingi *et al*, 2006) ou encore diffèrent suivant l'espèce parasitaire (Githigia *et al*, 1997). Faessler *et al* (2007) discutent les moins bons résultats obtenus sur ovins que sur bovins, et soulignent le meilleur développement du mycélium quand les fèces d'ovins forment des tas de 100-120 g par opposition à des fèces dispersés, ce qui peut être difficile à maîtriser en pratique.

Par ailleurs, l'utilisation de champignons nématophages par des éleveurs nécessite la mise en place d'une filière industrielle de production de spores et d'incorporation de ces spores dans un aliment permettant une administration quotidienne. De tels investissements ne paraissent pas envisageables dans bon nombre de régions d'élevage, en particulier en zone tropicale, du fait du manque de solvabilité des utilisateurs potentiels, des difficultés logistiques pour accéder aux éleveurs et assurer un approvisionnement adéquat, de contraintes de conservation pour en garantir l'efficacité. La seule firme produisant des spores de *Duddingtonia flagrans* – citée entre autres par Chartier et Pors (2003) ou Waller *et al* (2006), aurait arrêté la production depuis plusieurs années (F. Jackson communication personnelle), et ce produit est actuellement (04/09/2014) absent de la liste des produits présentés sur son site web (www.chr-hansen.com/).

L'utilisation d'invertébrés coprophages (insectes, vers de terre) ou d'oiseaux susceptibles d'accélérer la dégradation des fèces et de limiter le développement des larves de NGI se heurte à beaucoup d'obstacles qui limitent les possibilités de les intégrer à des systèmes de contrôle intégré. Les oiseaux, du moins ceux qui seraient susceptibles de disperser les fèces en recherchant leur nourriture, ainsi que les insectes coprophages, sont par nature très mobiles. S'ils sont présents dans l'environnement, leurs populations sont très difficiles à manipuler, tout au plus doit-on éviter de les détruire par un usage intensif d'anthelminthiques à effet insecticide, ou par d'autres atteintes à leurs biotopes (pesticides en général, perturbation des sites de reproduction, introduction de prédateurs ou de concurrents allogènes, etc.). Les vers de terre sont apparemment moins mobiles que les insectes. Au moins 14 espèces ont été décrites en Guadeloupe, la plupart dans des sols forestiers (Csuzdi et Pavlíček, 2009). Les deux espèces les plus communes dans les pâturages antillais sont *Polypheretima elongata* (Perrier, 1872), une espèce pantropicale fortement dominante dans les prairies sur vertisols, que l'on pense originaire du sud-est asiatique, et *Pontoscolex corethrurus* (Müller, 1857) dans les ferrisols, qui serait originaire du plateau des Guyanes. Les deux ont probablement été disséminées avec les plantes échangées depuis les débuts de la colonisation (P. Lavelle et E. Blanchart, communication personnelle), et auraient colonisé

les sols suite aux perturbations produites par le défrichement et la mise en culture des zones forestières (Decaens *et al*, 2004). Au laboratoire, l'association de l'une comme l'autre espèce avec *Perionyx excavatus* (Perrier, 1872), s'est montrée capable de consommer partiellement des fèces de caprins, entraînant une diminution du nombre de L3 récupérées dans ces fèces, relativement au témoin sans vers de terre (d'Alexis *et al*, 2009), sans qu'on puisse évaluer la participation de chaque espèce. *P. excavatus* est une espèce épigée des sols forestiers vivant dans des milieux très riches en matière organique, comme les litières forestières ou les amoncellements de déchets organiques à fort taux d'humidité (Edwards *et al*, 1998). De tels milieux sont généralement absents des pâturages, où les populations de vers épigés sont quasi inexistantes (Barois *et al*, cités par Rossi *et al*, 1997). Les populations de *P. elongata* montrent une structure spatiale agrégée indépendante des hétérogénéités pédologiques comme la texture ou la teneur en matière organique (Rossi *et al*, 1997), et cette agrégation s'accompagne d'une agrégation parallèle de la richesse spécifique et de l'abondance des communautés de microarthropodes du sol (Loranger *et al*, 1998). *In vitro*, Huerta *et al* (2005) ont montré que la vitesse de croissance et le taux de reproduction pouvait être augmenté en fournissant à *P. elongata* de la matière organique végétale broyées finement (*Mucuna pruriens* ou *Zea mays*) fraîche ou compostée, mais que les fractions fines de matière organique du sol étaient sans effet. Des mesures agronomiques comme l'apport de fumier ou de compost, toujours malaisé sur des pâturages permanents, risquent donc de n'avoir qu'un effet transitoire sur les populations de *P. elongata*. Dans l'état actuel des connaissances, l'effet potentiel de *P. elongata* sur les populations larvaires de NGI n'a pas été formellement démontré, et les méthodes susceptibles de conduire en pratique à un accroissement significatif de ses effectifs aux fins de contrôles de ces NGI sur les pâturages sont encore à découvrir et à démontrer. Introduire et installer durablement des populations de *P. excavatus* ou d'*Eudrilus eugeniae* (Kinberg, 1867), autre vers épigé utilisé dans le processus de fabrication des vermicomposts (Sierra *et al*, 2013), semble également irréaliste : il faudrait sans doute pour cela constituer sur les pâturages une litière humide permanente, comparable à celle des forêts. Laisser s'accumuler naturellement une litière serait peut-être possible en diminuant le chargement animal et en augmentant la durée de repousse, mais les résultats seraient vraisemblablement un accroissement de l'hétérogénéité des parcelles, avec des zones sous-exploitées et d'autre pâturées préférentiellement. Outre une diminution globale de la production animale, il est tout à fait possible qu'*in fine* le niveau réel d'infestation parasitaire ne soit pas diminué, du fait de cette exploitation hétérogène des animaux, et des dépôts concomitants de fèces contaminants (Mahieu, 2013). Enfin, les périodes ensoleillées entraîneront probablement un assèchement périodique de la litière, incompatible avec la survie des vers épigés. Les introduire avec du vermicompost ne permet pas non plus d'espérer leur implantation pérenne : les oiseaux comme les garde-bœufs (*Bubulcus ibis*) ou les merles antillais (*Quiscalus lugubris*) repèrent très vite les sources de nourriture révélées par les travaux agricoles, les risques de dessiccation sont identiques, et les composts se minéralisant rapidement en conditions chaudes et humides, ils disparaîtront en quelques semaines à quelques mois. L'utilisation de macro-organismes à des fins de contrôle des populations de larves infestantes de NGI n'apparait donc pas envisageable en pratique, dans l'état actuel des connaissances sur leur biologie et sur le fonctionnement des écosystèmes prairiaux.

3.2.3. Par l'utilisation des métabolites secondaires des plantes

Les plantes contenant des métabolites secondaires peuvent être utilisées à la fois pour leurs qualités nutritionnelles (alicaments) et pour leurs propriétés anthelminthiques, ou pour leurs propriétés anthelminthiques seules (plantes médicinales).

Parmi les nombreux alicaments potentiels, les fourrages à tanins condensés (TC), déjà évoquée plus haut, en diminuant la fertilité des NGI et/ou la viabilité des œufs déposés, conduisent mécaniquement à la diminution de la taille des populations de L3 au pâturage. Différentes légumineuses sont ainsi

étudiées et de plus en plus utilisées par les éleveurs, comme le sulla *Hedysarum coronarium* (Niezen *et al*, 1995, Niezen *et al*, 2002), les lotiers *Lotus corniculatus* et *L. pedunculatus* (Ramirez-Restrepo et Barry, 2005), le sainfoin *Onobrychis viciifolia* (Heckendorn *et al*, 2007, Brunet *et al*, 2011), ou encore sericea lespedeza *Lespedeza cuneata* (Shaik *et al*, 2006) parmi les fourrages herbacés. Le mode d'action des tanins condensés est encore imparfaitement élucidé : Muir (2011) met le doigt sur la complexité des relations entre les TC et l'écosystème caprin, tandis que Piluzza *et al* (2014) passent en revue les difficultés de caractérisation et de dosage, les effets positifs de protection des protéines alimentaires de la dégradation ruminale pour des teneurs en TC modérées (<50 g/kg MS) et les effets négatifs à forte concentration (>50 g/kg MS), où les TC diminuent la digestibilité ruminale et intestinale des protéines, l'ingestion de matière sèche et en conséquence les performances animales. Hoste *et al* (2010) soulignent les différences entre ovins et caprins dans leurs préférences alimentaires et dans leurs capacités à neutraliser les effets toxiques des métabolites secondaires des plantes, y compris les tanins. Plusieurs auteurs mettent aussi en avant les capacités d'automédication des caprins (Kabasa *et al*, 2000, Alonso-Díaz *et al*, 2010, Hoste *et al*, 2010). Ces différences ne sont cependant pas absolues et les ovins aussi seraient capables de montrer une préférence pour des aliments qu'ils connaissent et qui sont riches en tanins, quand ils sont infestés par des NGI (Lisonbee *et al*, 2009, Alonso-Díaz *et al*, 2010, Juhnke *et al*, 2012). D'autres métabolites secondaires des plantes montrent une activité anthelminthique. Leur identification initiale repose essentiellement sur des enquêtes ethno-vétérinaires (Schillhorn van Veen, 1997, Houzangbe-Adote, 2000, Uncini Manganelli *et al*, 2001, Diehl *et al*, 2004, Marie-Magdeleine *et al*, 2006, Grade *et al*, 2009). Un nombre croissant de plantes et de métabolites secondaires extraits de ces plantes a été étudié *in vitro* (Alawa *et al*, 2003, Ademola *et al*, 2004, Marie-Magdeleine *et al*, 2009, Ademola et Eloff, 2010, Marie-Magdeleine *et al*, 2010b, Marie-Magdeleine *et al*, 2010e, Marie-Magdeleine *et al*, 2011, Al-Rofaai *et al*, 2012, Arece *et al*, 2012, Marie-Magdeleine *et al*, 2013). Les tests *in vivo* ne permettent pas toujours de confirmer l'activité démontrée *in vitro* (Githiori *et al*, 2002, Hounzangbe-Adote *et al*, 2005, Eguale *et al*, 2007, Marie-Magdeleine *et al*, 2010a, Marie-Magdeleine *et al*, 2010d), même si en zone tempérée la chicorée *Chicorium intybus* (riche en sesquiterpène lactones, pauvre en TC) s'est montrée intéressante pour diminuer le parasitisme abomasal (Ramirez-Restrepo et Barry, 2005, Heckendorn *et al*, 2007), bien que sans effet sur les parasites de l'intestin (Athanasiadou *et al*, 2005).

Dans le cas des plantes médicinales, sans intérêt nutritionnel, il est nécessaire de faire une évaluation complète des ressources prenant en compte tant les propriétés anthelminthiques que les effets négatifs des métabolites secondaires, comme les effets antinutritionnels (diminution des quantités ingérées, de la digestibilité des aliments et des performances), ou perturbateurs de la reproduction (Ramirez-Restrepo et Barry, 2005), avant d'en préconiser l'utilisation (Githiori *et al*, 2006). L'utilisation de telles plantes médicinales peut nécessiter des traitements technologiques conséquents pour permettre leur administration sans risque à des doses efficaces.

Dans le cas de l'utilisation des fourrages à tanins comme des sources d'autres métabolites secondaires en zone tropicale humide, les limites actuelles sont souvent d'ordre agronomique : les légumineuses ne semblent pas adaptées au rythme de pâturage imposé par les contraintes liées au parasitisme et à la valorisation des graminées fourragères, et disparaissent rapidement des pâturages (Febles et Padilla, 1972, Alexandre *et al*, 1987), contrairement à ce qui est observé dans les régions subtropicales, méditerranéennes ou tempérées (Ramirez-Restrepo et Barry, 2005). Il est donc souvent nécessaire de mettre en place des cultures de légumineuses ou d'arbres fourragers produisant des TC, cultures qui ne pourront pas être pâturées par les animaux. De plus, certaines sources potentielles de TC ne sont pas utilisables en frais, comme les feuilles de manioc (du moins des variétés amères, les plus cultivées à l'échelle mondiale) qui doivent être fanées pour éliminer les hétérosides cyanogéniques toxiques (Heuzé et Tran, 2014). Il devient alors nécessaire d'utiliser des méthodes comme la fabrication de gra-

nulés de fourrage à tanins pour une bonne conservation et une utilisation facile dans les conditions d'élevage (Terrill *et al*, 2007). Des travaux en ce sens sont actuellement conduits à l'INRA Antilles-Guyane.

3.2.4. Par l'utilisation des dérivés du cuivre

Tableau 3*: compilation des études sur l'utilisation des particules d'oxyde de cuivre (COWP) pour le contrôle des nématodes gastro-intestinaux des petits ruminants.*

	Abomasum	Intestins		
	H. Contortus (*T. circumcincta*)	*T. colubriformis* (autres NGI)	stade	référence
Ovins	-96% (-56%)	0	Établissement L3	(Bang *et al*, 1990)
Caprins	-75% (0)	0 (0)	Vers adultes	(Chartier *et al*, 2000)
	-40% (0)	0 (0)	Établissement L3	
Ovins	Réduction	0	Vers adultes	(Nyman, 2000)
Ovins	Réduction modérée	0	Vers adultes	(Knox, 2002)
	Réduction forte	-	FEC	
Ovins	Réduction forte	-	FEC	(Burke *et al*, 2004)
Ovins	Réduction modérée	0	Établissement L3	(Goncalves et Echevarria, 2004)
	Réduction modérée	-	FEC	
Ovins	0	-	Établissement L3	(Waller *et al*, 2004a)
	-97% et -56%	-	Vers adultes et L4	
Ovins (brebis en fin de gestation)	Réduction modérée	-	FEC	(Burke *et al*, 2005a)
Ovins	Réduction forte	0?	FEC	(Burke *et al*, 2005b)
Caprins	-60 à -80%		FEC	(Burke et Miller, 2006a)
Ovins	Réduction forte	0	FEC	(Burke et Miller, 2006b)
Ovins	Réduction forte		FEC	(Burke *et al*, 2007a)
Caprins	Réduction	0 (0)	FEC	(Burke *et al*, 2007b)
Caprins	0	0	FEC	(Ortiz de Montellano *et al*, 2007)
	Réduction	Réduction	longueur femelles	
Caprins	-93 à -95%	-	Vers adultes	(Vatta *et al*, 2009)
	0	-	Établissement L3	
Caprins (chèvres en fin de gestation/allaitement)	Réduction	Pas de réduction	FEC	(Burke *et al*, 2010a)
Ovins (brebis en fin de gestation/allaitement)	Réduction	-	FEC	
Caprins	Réduction		FEC	(Burke *et al*, 2010b)
	Réduction (p<0.06)	Réduction (p<0.07)	Vers adultes	
	Réduction	Augmentation	% L3 dans coprocultures	
Caprins et Ovins	-86% et -67% (0 et 0)	0 et 0	Vers adultes	(Soli *et al*, 2010)
Ovins	-27 à -73%	-	Établissement L3	(Galindo-Barboza *et al*, 2011)
Caprins	-89%	0	FEC	(Spickett *et al*, 2012)
Caprins	Réduction	-	Vers adultes	(Vatta *et al*, 2012)

Les propriétés nématicides des dérivés du cuivre ont été explorées. Le sulfate de cuivre n'a pas permis de contrôler l'infestation parasitaire (Burke et Miller, 2008) et présente un risque de toxicité élevé en particulier pour les ovins : selon Lamand (1980), les apports alimentaires doivent être compris entre le seuil de carence (7 mg/kg de MS) et le seuil de toxicité (15 mg/kg de MS d'aliment), ce qui laisse peu de marge pour une utilisation thérapeutique répétée de sels de cuivre solubles. Les particules d'oxyde de cuivre (COWP), qui se dissolvent plus lentement, présentent relativement moins de risque et ont

fait l'objet d'une vingtaine de publications (13 sur ovins, 10 sur caprins), résumées dans le tableau 3. Dans la plupart des cas, le COWP ne semble efficace que sur les parasites de l'abomasum (*Hæmonchus contortus*) déjà installés (réduction du nombre de vers adultes ou du FEC), mais semble peu ou pas efficace pour empêcher l'installation des larves infestantes, et n'a apparemment que très peu d'effet sur les autres espèces parasites, du moins quand les conditions expérimentales permettent d'en juger.

Les mécanismes d'action sont mal connus, mais une hypocuprémie ne semblant pas prédisposer des ovins à un niveau de parasitisme accru (Hucker et Yong, 1986), il est probable que le cuivre agisse directement sur les parasites abomasaux, en relation avec les conditions de pH qui y règnent.

Certains auteurs ont par ailleurs remarqué que l'utilisation de COWP a entraîné une diminution significative de la croissance fœtale et du poids de naissance des ovins comme des caprins, et que la croissance des jeunes sous la mère peut aussi être diminuée (Burke *et al*, 2005a, Burke *et al*, 2010a). En conséquence l'usage du COWP ne peut guère être envisagé que dans les zones à hæmonchose saisonnière, comme les pays à été chaud et humide (Afrique du Sud, Sud Est des USA…), sur des femelles non gravides et éventuellement des jeunes sevrés en croissance.

3.2.5. Détruire les larves sur le pâturage ?

Enfin, une question revient régulièrement lors des échanges avec des éleveurs ou des techniciens : "*existe-t-il un traitement pour détruire les larves sur le pâturage ?*", sous-entendu équivalent aux applications d'insecticides ou de fongicides sur les cultures. Quelques auteurs ont évalué *in vitro* l'effet de solutions d'engrais azoté (nitrate d'ammonium, urée, ammoniaque), de chaux ou d'hypochlorite de sodium (eau de javel) sur la motilité de L3 d'*Hæmonchus* (Howell *et al*, 1999), ainsi que celle d'insecticides organophosphorés comme le diazinon ou le coumaphos (Ka-oud et Badawy, 1986). Les engrais azotés (18 g N/100 ml) et l'eau de javel (10%) réduiraient de 80 à 99,8% le pourcentage de larves mobiles. Les conditions et l'efficacité d'une application sur les pâturages n'ont cependant pas encore fait l'objet de travaux publiés. À part les engrais azotés qui sont parfois épandus par pulvérisation de solution aqueuse, il semble difficile d'envisager l'utilisation de produits comme l'eau de javel ou les pesticides organophosphorés sur les pâturages, en raison de leur impact potentiel sur les fourrages, sur la santé des animaux au pâturage, comme sur l'environnement en général.

3.3. Gérer les populations parasitaires pour prolonger l'efficacité des anthelminthiques

3.3.1. Refuge et traitements ciblés

Le phénomène inéluctable de résistance des invertébrés aux biocides était déjà bien documenté, en particulier chez les insectes suite à l'utilisation massive du DDT, comme discuté dans une revue publiée par Hoskins et Gordon (1956), sans que le phénomène similaire chez les NGI ne suscite d'inquiétude particulière, devant le foisonnement des découvertes de nouveaux anthelminthiques. Les premières réactions ont souvent été d'en rechercher la cause dans l'usage répété de la même famille d'anthelminthique accompagné d'une mauvaise application des traitements par les éleveurs, par sous-estimation du poids des animaux, matériel défectueux, etc. (Dorchies *et al*, 1990, Chartier *et al*, 1998). Bien que le sous-dosage puisse effectivement favoriser la survie de porteurs hétérozygotes d'allèles de résistance aux benzimidazoles (Silvestre *et al*, 2001), un travail d'enquête a aussi permis à Silvestre *et al* (2002) de soupçonner le rôle joué par l'introduction de parasites résistants lors de l'achat d'animaux, ainsi que les conséquences de traitements effectués avant le retour des animaux sur des pâturages quand les populations larvaires sont minimales ("treat and move"). Il a fallu une vingtaine d'années après la mise en évidence des premiers cas pour que la notion de "refuge" permettant la survie de NGI

sensibles aux anthelminthiques soit évaluée expérimentalement sur *Hæmonchus* par Martin *et al* (1981), qui ont ainsi prouvé que cette technique pouvait ralentir très fortement la diffusion de la souche résistante. D'autres auteurs ont conforté ces travaux (Martin *et al*, 1984, Michel, 1985, Leathwick *et al*, 1995, Bath *et al*, 1996, Van Wyk, 2001), sans que les pratiques des éleveurs, ni celles des prescripteurs (techniciens des organismes de développement, vétérinaires, enseignants spécialisés) ne changent. Pourtant dans certaines régions la situation était déjà critique dès les années 1990 avec des populations parasitaires résistant à presque tous si ce n'est à tous les anthelminthiques disponibles (Van Wyk *et al*, 1989, Van Wyk *et al*, 1997, Van Wyk *et al*, 1999). Une fois établie dans une population parasitaire, la résistance à un anthelminthique n'est en pratique pas réversible (Colglazier *et al*, 1974, Herlich *et al*, 1981, Hall *et al*, 1982, Borgsteede et Duyn, 1989), bien que son coût physiologique soit mesurable et puisse diminuer la valeur adaptative (*fitness*) des porteurs en absence d'exposition (Mallet et Hoste, 1995), en particulier en cas de résistance simultanée à plusieurs classes d'anthelminthiques (Leathwick, 2013). Les recommandations d'alterner les familles d'anthelminthiques pour éviter la sélection de souches parasitaires résistantes s'avèrent donc largement inopérantes dans un contexte où l'utilisation de ces médicaments reste très intensive. Les possibilités réelles de prolonger l'efficacité des anthelminthiques apparaissent subordonnées à la mise au point de techniques de traitement sélectif ciblé ("*targeted selective treatment*" ou TST) permettant de n'administrer le médicament qu'aux animaux incapables de surmonter leur parasitisme, le reste du troupeau constituant le refuge hébergeant une population de parasites qui pourront contribuer au maintien d'une majorité d'allèles de sensibilité au sein de la population. Ces TST requièrent donc un outil de diagnostic simple, peu coûteux, fiable, facile à mettre en œuvre par les éleveurs quel que soit leur niveau de formation. La première technique réellement opérationnelle pour mettre en œuvre ce concept de refuge a été développée en Afrique du Sud au début des années 1990 et est depuis connue sous le nom de méthode FAMACHA©, pour Dr François (FAfa) MAlan CHArt (Bath *et al*, 1996). La méthode FAMACHA© est basée sur une évaluation de la gravité de l'anémie comme symptôme de l'hæmonchose des ovins, grâce à l'examen visuel de la couleur de la conjonctive oculaire (en pratique l'intérieur de la paupière inférieure. Les animaux sont classés en 5 catégories, de niveau d'anémie croissante (du rose soutenu au blanc nacré). Seuls les animaux des classes (3) 4 et 5 reçoivent un traitement. Cette méthode peut être utilisée pour déterminer les animaux devant être traités dans toutes les zones et aux périodes où *Hæmonchus* est dominant et la principale cause d'anémie. Si une autre cause d'anémie est possible (infestation à *Trypanosoma* (Faye *et al*, 2002), à *Anaplasma* (Barry et Van Niekerk, 1990), carence en Fe, Cu ou Co (Lamand, 1980)…), d'autres outils de diagnostic deviennent nécessaires pour déterminer le traitement adéquat, mais en inversant le raisonnement, la méthode reste tout de même opérationnelle : les animaux ne souffrant pas d'anémie ne nécessitent pas de

Encadré 6 : Évaluation de la méthode Famacha pour le contrôle des NGI des chèvres Créole de Guadeloupe (Mahieu et al, 2007)

Cette méthode de pilotage des TST a été initialement mise au point pour les ovins. Nous l'avons validé sur caprins, par une étude sur l'ensemble du troupeau de chèvres allaitantes de l'INRA Antilles-Guyane qui a montré que l'on pouvait passer de 3 à 0.57 traitements anthelminthiques par chèvre pendant la période de 4 mois la plus critique (fin de gestation – sevrage), sans compromettre le contrôle des NGI. La population de NGI dans le refuge a été estimée à près de 80% de la population totale. La production de jeunes sevrés a diminué de 10 à 15% en poids vif, ce qui a été partiellement compensé par l'économie de médicaments (2.43 doses par chèvres) et représente finalement peu par rapport aux pertes potentielles si les résistances multiples se généralisaient (pertes de plus de 50% du potentiel de production en absence de contrôle du parasitisme).

Annexe 7, p. 134

traitement contre la ou les maladies provocant ce type de symptôme. La méthode FAMACHA© a d'ailleurs été utilisée pour diagnostiquer les trypanosomoses des bovins en Afrique de l'Ouest (Grace *et al*, 2007). Outre ce problème de détermination des causes d'anémie, en pratique la mise en œuvre de la méthode FAMACHA© sous-entend que les symptômes de parasitose évoluent assez lentement pour permettre une prise de risque minimale avec des examens à intervalle raisonnable, toutes les deux à trois semaines ou plus. Les promoteurs de la méthode en déconseillent donc l'usage chez les jeunes animaux du fait de leurs faibles capacités de résistance aux NGI pendant la première année de vie (Bath *et al*, 1996). Depuis les premiers travaux sur ovins en Afrique du Sud, la méthode FAMACHA© a été testée et validée sur ovins et sur caprins dans de nombreux pays, et une recherche sur ce seul mot-clé dans la base de données bibliographique Web Of Science Core Collection renvoie 127 références (au 04/07/2014).
L'hæmonchose est la parasitose par NGI dominante pendant les périodes chaudes et humides des climats tropicaux et subtropicaux, et même tempérés. Dans les autres cas, les parasites dominants (*Trichostrongylus* sp., *Teladorsagia* (ex-*Ostertagia*) sp.) produisent des symptômes souvent difficiles à attribuer : diminution de l'appétit, ralentissement des performances de production, amaigrissement, diarrhées, etc. et la méthode FAMACHA© est inadaptée. Plusieurs autres outils de diagnostic ont été testés pour permettre la mise en œuvre des TST.

Le premier consiste à se baser sur le comptage des œufs de NGI dans les fèces (Faecal Egg Count ou FEC) comme indicateur du niveau d'infestation pour décider du traitement individuel (Cringoli *et al*, 2009). Outre le matériel nécessaire (microscope, verrerie) cette méthode est très coûteuse en main d'œuvre (une quarantaine d'échantillons analysés par jour de travail, par un technicien entraîné), et les résultats sont difficiles à interpréter au niveau de l'individu, en raison des variations d'excrétion d'œufs au cours de l'infestation (nulle en période prépatente) ainsi que suivant les espèces de NGI. Cet outil n'a donc pas d'application pratique en routine.

Les infestations par *Teladorsagia* et *Trichostrongylus* s'accompagnent souvent de diarrhée et d'une souillure plus ou moins importante de la laine de la région anale des ovins. Un indice de diarrhée (dag score, (Larsen *et al*, 1994), DISCO (Cabaret, 2004)) peut être attribué et servir de critère pour appliquer les TST (Broughan et Wall, 2007, Ouzir *et al*, 2011). Cependant, les diarrhées peuvent aussi être provoquées par un changement brutal de régime alimentaire, en particulier à la mise à l'herbe, ou encore chez les jeunes animaux par une coccidiose aigüe (Andrews, 2013), ce qui nécessite une interprétation de cet indice en fonction du contexte. Enfin, les diarrhées seraient surtout liées à l'ingestion massive de larves infestantes (Larsen *et al*, 1994), ce qui est le cas au printemps dans les zones tempérées ou froides, avec un parasitisme très saisonnier. Ce type d'outil de diagnostic risque donc d'être moins efficace dans les zones où *Teladorsagia* et *Trichostrongylus* ont une distribution plus uniforme au cours de l'année, comme en situation tropicale d'altitude.

Pour des agneaux en croissance l'analyse "en temps réel" des performances individuelles a été proposée pour déterminer les animaux susceptibles d'être fortement infestés (Besier, 2005, Stafford *et al*, 2009). Cette méthode requiert en pratique l'identification électronique des animaux, leur pesée automatique à des intervalles rapprochés et le calcul quasi instantané du gain de poids, la comparaison à une référence et le tri automatique des animaux à traiter. L'investissement matériel et logiciel est donc important et ne peut guère être mis en œuvre que dans les élevages de grande taille.

Pour des brebis adultes, Besier *et al* (2010) proposent dans un premier temps de déterminer par comptage des œufs de NGI le pourcentage d'animaux à traiter, à chaque période de l'année. Dans un second temps, les traitements individuels sont effectués sur les animaux qui présentent les notes d'état corporel (Russel *et al*, 1969) les plus faibles, à concurrence du pourcentage déterminé pour la période. La

note d'état corporel est utilisée comme indicateur de résilience, et on considère que les animaux en meilleur état ne sont pas gravement affectés par le parasitisme et peuvent se passer de traitement.

Dans les cas où aucun outil de diagnostic individuel du niveau et de la gravité de l'infestation parasitaire n'est disponible, d'autres méthodes ont été proposées pour tenter de limiter la pression de sélection favorisant les souches parasitaires résistant aux anthelminthiques. Le concept de traitement stratégique renvoie à deux notions différentes qui peuvent conduire à des effets opposés. La première se base sur les caractéristiques épidémiologiques des GIN, comme par exemple la connaissance des variations de l'abondance des L3 sur le pâturage en fonction de la saison ou de la pluviométrie, et vise à utiliser les anthelminthiques au moment où le rapport coût/bénéfice est le plus favorable (Gordon, 1948). Aucun effet refuge n'est recherché dans ce cas. La deuxième se base sur la connaissance des différences de sensibilité des hôtes en fonction de leur stade physiologique, et vise à effectuer les traitements aux phases de forte sensibilité (O'Sullivan et Donald, 1973, Johnstone *et al*, 1979, Eysker, 1982, Brunsdon et Vlassoff, 1985, Zhou et Veen, 1986). Bien qu'à l'origine ces deux notions ne soient pas clairement séparées, la seconde peut potentiellement être utilisée pour constituer un refuge si, dans le troupeau, seuls les animaux physiologiquement les plus sensibles aux parasites sont traités. Ainsi les connaissances sur les brebis Martinique permettraient de ne traiter à la mise-bas que les brebis portant 2 agneaux et plus, les autres brebis constituant le refuge (Mahieu et Aumont, 2007). Dans un système de production intensif, où deux groupes de brebis se reproduisent tous les 8 mois, avec un décalage de 4 mois, le quart ou au plus le tiers des brebis du troupeau seulement serait traité à chaque période d'agnelage.

Les études épidémiologiques dans des troupeaux de chèvres laitières ont montré que les animaux les plus sensibles aux parasites étaient les chèvres primipares et les multipares ayant la plus forte production laitière. En ne traitant que ces deux catégories, entre le tiers et la moitié des animaux n'ont pas été traités (refuge) sans dégradation de la production du troupeau ni du niveau global de parasitisme (Hoste *et al*, 1999, Hoste *et al*, 2002a, Hoste *et al*, 2002b, Cringoli *et al*, 2009).

Quand aucune des méthodes de choix des animaux à traiter n'est disponible ou possible, ce qui est le cas avec des infestations par des espèces modérément pathogènes, il reste le traitement aléatoire d'une partie du troupeau, les autres animaux constituant un refuge pour maintenir la population de parasites sensibles aux anthelminthiques employés (Gaba *et al*, 2012). Ces auteurs ont comparé pendant 8 mois deux groupes de 8 agneaux au pâturage, soit en traitant au hasard 2 des animaux chaque mois (RT), soit en traitant chaque mois les 8 animaux (MT). La production (gain de poids) et l'infectivité du pâturage ont été similaires pour les deux groupes, bien que la moitié des animaux du groupe RT n'ait jamais reçu de traitement antiparasitaire et que la consommation totale d'anthelminthique n'ait été que de 22% de celle du groupe MT. De plus les mêmes auteurs ont modélisé l'impact des traitements sur l'évolution de la fréquence des allèles de résistance aux anthelminthiques dans la population de NGI et ont montré qu'à nombre d'animaux traités identique, la pression de sélection des allèles de résistance était un peu plus faible dans le cas des traitements aléatoires que dans celui des TST, et ceci quelque-soit la distribution des parasites chez les hôtes.

Enfin, quand les populations parasitaires (*i. e. H. contortus*) établies dans un troupeau s'avèrent résistantes à tous les anthelminthiques disponibles (Van Wyk *et al*, 1999), la dernière possibilité pourrait, après s'être assuré que les populations larvaires soient suffisamment réduites, consister à introduire sur le pâturage des petits ruminants fortement infestés avec une souche parasitaire sensible aux anthelminthiques (équivalent à un "refuge" extérieur à cet élevage), dans le but d'obtenir une nouvelle population majoritairement sensible (Van Wyk *et al*, 2001). Cette technique, théoriquement un peu plus simple à mettre en œuvre que la substitution totale des populations de NGI (rapportée plus haut), né-

cessite cependant une logistique très importante puisqu'en pratique, il faudrait remplacer un troupeau porteur de parasites multi-résistants par un troupeau peu ou prou équivalent infesté par des parasites sensibles, ce qui, après des décennies d'usage intensif des anthelminthiques, apparait extrêmement difficile à réaliser. En réalité, seule une communication de Van Wyk *et al* (2001) aborde ce sujet, et aucune information ne permet d'affirmer que cette solution ait été appliquée par les éleveurs potentiellement concernés.

3.3.2. Gérer les populations parasitaires à l'échelle de l'élevage entier

"Feasibility of a "leader-follower" grazing system instead of specialised paddocks with regard to integrated gastrointestinal control in small ruminant farming", soumis à ***Tropical Animal Health and Production*** le 26/08/2014, version révisée soumise le 24/11/2014 ***Annexe 8, p. 148***.

L'utilisation des TST sur les animaux adultes (essentiellement les troupeaux de brebis ou de chèvres reproductives) est relativement facile à mettre en œuvre du fait de l'évolution assez lente des symptômes chez des animaux matures au point de vue immunitaire. En général, un suivi des animaux hebdomadaire ou bimensuel pendant les périodes à risque (principalement autour de la mise bas), s'avère suffisant en routine, et peut même être plus espacé en saison sèche, défavorable au développement des stades larvaires des NGI. Cependant les jeunes n'acquièrent cette maturité immunitaire qu'entre 6 mois et un an, et sont particulièrement sensibles autour du sevrage, avec des risques élevés de mortalité induite par les NGI. Aussi, tant les éleveurs et techniciens que des auteurs comme Bath *et al* (1996) recommandent de ne pas utiliser les TST sur les jeunes animaux de moins d'un an. Les traitements systématiques des jeunes pendant la phase d'allaitement ne posent pas de problème particulier, ils partagent la même population de NGI que leurs mères et ne participent que très peu (5% ou moins) à la contamination des pâtures (Mahieu *et al*, 2007). Après sevrage, la situation devient très différente. Certes de nombreux éleveurs de petits ruminants élèvent les jeunes sevrés hors sol, ce qui théoriquement les mets à l'abri des NGI, mais d'autres les élèvent au pâturage, en séparant les mâles des femelles pour éviter les reproductions prématurées. Depuis des décennies il a été recommandé de faire pâturer ces jeunes sevrés sur des groupes de parcelles dédiées (dans l'exemple des Antilles Françaises, 5 parcelles pour les mâles, 5 autres pour les femelles, en pâturage tournant). Du point de vue épidémiologique, chaque groupe de parcelles et chaque troupeau de jeunes sera porteur d'une population de NGI qui n'aura que très peu d'échanges avec les autres populations, y compris celles des adultes. Dans ces conditions, l'emploi systématique des traitements anthelminthiques limitera en pratique les introductions de NGI aux seuls parasites résistant au médicament utilisé, et produira une pression de sélection maximale, avec un risque grandissant de voir émerger des populations de NGI multi-résistantes et incontrôlables, et des conséquences désastreuses sur la survie des animaux en croissance, leurs performances de production et in fine la survie économique de l'élevage.

Pour pallier ce risque, il nous paraît nécessaire de faire partager aux jeunes animaux sevrés la même population de NGI que les adultes, de façon à généraliser les effets positifs des TST à l'échelle de l'élevage entier. La manière la plus simple, si ce n'est la seule, d'atteindre cet objectif est de faire pâturer les différents groupes d'animaux sur les mêmes parcelles. En pâturage tournant, deux solutions sont envisageables : soit les adultes et les sevrés pâturent en alternance avec 4 semaines de repousse entre chaque groupe, soit ils utilisent successivement les mêmes parcelles au cours d'un même cycle de pâturage. Dans le premier cas, les besoins alimentaires totaux des troupeaux de jeunes mâles et femelles sont approximativement égaux à la moitié de celui du troupeau d'adultes, le pâturage alterné ne permettra pas une exploitation optimale de la ressource fourragère. Dans le second cas, les groupes d'animaux exploitant la même parcelle au cours du même cycle de pâturage, les jeunes sevrés pâturant

"en avant" des adultes bénéficieront d'un meilleur choix alimentaire, et la gestion de l'herbe pourra être optimisée. Nous avons évalué expérimentalement la faisabilité du pâturage "en avant" et l'impact sur la production de caprins Créole, dans un système d'élevage intensif (3 mises-bas en deux ans) sur pâturage irrigué. Pour cela nous avons comparé un système où la moitié des jeunes femelles sevrées pâturaient "en avant" d'un groupe de chèvres reproductrices, sur un même groupe de 10 parcelles équivalentes, à un système "témoin" où les chevrettes sevrées pâturaient sur 5 parcelles dédiées, alors que les chèvres adultes pâturaient sur 5 autres parcelles (figure 11, ci-dessous). Dans tous les cas de figure, le chargement animal moyen des parcelles était le même. Les NGI étaient contrôlés par traitement ciblé (méthode Famacha©) pour les adultes, ou par traitement de tous les animaux pour les jeunes sous la mère (vers l'âge de 5 semaines et au sevrage) puis tous les deux mois.

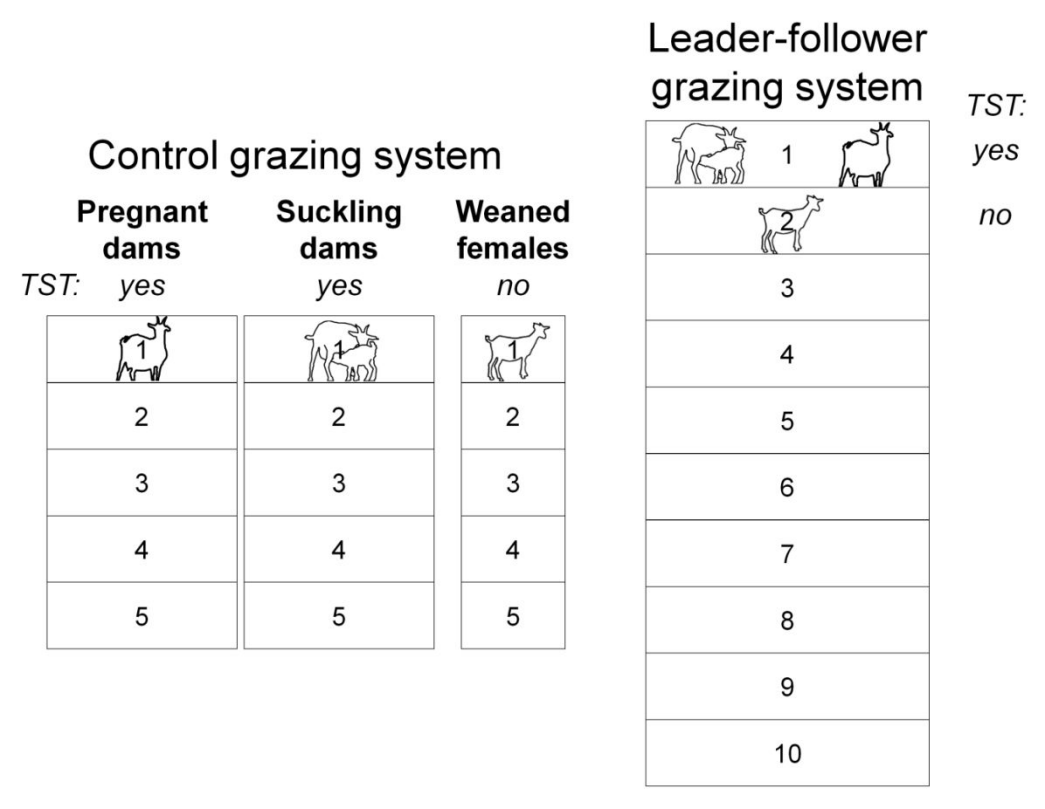


Figure 11 : ***dispositif expérimental du système de pâturage "en avant" (à droite) et du système "témoin" (à gauche). TST : traitements ciblés (Famacha©)***

Le niveau d'infestation des chèvres a été mesuré (coproscopie) chez toutes les adultes la première et la 5ème semaine de chaque période de mise bas, et celui des chevrettes sevrées a été mesuré à l'âge de 7 mois, avant leur sortie de l'expérimentation. Les mâles sevrés et les chevrettes de plus de 7 mois n'étant pas disponibles pour cette étude, nous avons fait l'hypothèse que l'efficacité alimentaire des femelles et des mâles sevrés étaient les mêmes (Anandan *et al*, 1996, Perez *et al*, 2001, Furusho-Garcia *et al*, 2004, Pal *et al*, 2004, Christodoulou *et al*, 2008, Rodriguez *et al*, 2008), de même que celle des animaux de 7-11 mois était équivalente à celles des animaux de 3-7 mois, la croissance étant linéaire pendant toute la période 3-11 mois (Alexandre, 1991). En conséquence nous avons pu simuler la production globale des deux systèmes à partir des données individuelles de fertilité, prolificité des mères, mortalité et croissance des jeunes avant sevrage, puis mortalité et croissance des jeunes après

sevrage, extrapolées à partir des mesures faites sur les chevrettes pendant la période où elles étaient disponibles. Enfin nous avons évalué en deux occasions les quantités et qualités des fourrages ingérés, sur une dizaine de chevrettes sevrées dans chaque système : la digestibilité de la matière organique (dMO) a été estimée par régression à partir du dosage de l'azote fécal MATf (Fanchone *et al*, 2010) :

$$dMO = (88.4 - (263.9/MATf))/100$$

Les quantités de matière organique ingérées MOI sont ensuite estimées à partir de la quantité totale de matière organique des fèces MOf, par la relation :

$$\mathrm{MOI} = \mathrm{MOf}\,/(1 - \mathrm{dMO})$$

Puis on en déduit la matière organique digestible ingérée par jour MOdI, ramenée au poids métabolique de l'animal :

$$\mathrm{MOdI} = \mathrm{dMO} \times \mathrm{MOI}$$

Les principaux résultats sont les suivants : performances de reproduction (fertilité 88%, prolificité 2,21) et de mortalité des jeunes à la naissance (7,6%) et au sevrage (20,9%) identiques pour les deux systèmes. Globalement, 58,9% des chèvres n'ont pas eu besoin de traitement anthelminthique pendant chaque cycle reproductif de 8 mois, et leur niveau moyen d'excrétion d'œufs a été relativement modéré (985 opg, se=56 opg), sans effet significatif du système de pâturage. L'état corporel moyen des chèvres était aussi équivalent dans les deux systèmes. Les poids de naissance étaient identiques (1,75 ± 0,007 kg), par contre la croissance des chevreaux sous la mère a ralenti un peu plus rapidement pour le système "en avant", ce qui a conduit à une production par mère significativement plus faible pour le système "en avant" (9,71 ±0,29 kg) que pour le système "témoin" (11,64 ± 0,40 kg; $P < 0.05$).

Les performances après sevrage sont résumées dans le tableau suivant :

Tableau 4 : performances post-sevrage (parasitisme, mortalité, digestibilité et quantités de matière organique ingérée, croissance)

	"en avant"	"témoin"
Nombre cumulé de femelles sevrées N	373	364
FEC ± se (opg)	1860 ± 82 [a]	966 ± 86 [b]
mortalité % (N mort/N)	4.0 [a] (15/373)	7.7 [b] (28/364)
dMO ± se	0.73 ± 0.002 [a]	0.70 ± 0.004 [b]
MOI ± se ($g.kg^{0.75}.j^{-1}$)	55.7 ± 1.6 [a]	47.6 ± 1.4 [b]
MOdI ± se ($g.kg^{0.75}.j^{-1}$)	40.4 ± 1.2 [a]	33.1 ± 0.9 [b]
Gain moyen quotidien ± se ($g.j^{-1}$)	53.4 ± 0. 9 [a]	40.8 ± 1.1 [b]

Les performances de croissance des chevrettes pâturant "en avant" sont plus élevées et leur taux de mortalité significativement plus faible que ceux des chevrettes témoin, malgré un niveau d'infestation parasitaire plus important, en relation probable avec une meilleure alimentation (près d'un quart de matière organique digestible ingérée en plus). Les chevrettes "en avant" ont bénéficié d'un choix alimentaire beaucoup plus large que les "témoins", ce qui a pu leur conférer des capacités de résilience beaucoup plus importantes.

Les simulations (5000 ré-échantillonnages par bootstrap des valeurs individuelles) nous permettent d'estimer à quelques 1010 [911 à 1086] $kg.ha^{-1}.an^{-1}$ la productivité en poids vif [intervalle de confiance à 95%] du système "en avant", légèrement supérieure à celle du système "témoin" 966 [885 à 1046] $kg.ha^{-1}.an^{-1}$.

L'évaluation précise de la taille du refuge est assez difficile. Dans une publication antérieure (Mahieu *et al*, 2007), je proposais de l'estimer comme la contribution relative des animaux n'ayant pas encore été traités, dans la contamination totale du pâturage, soit environ 80%, pour environ 63% de chèvres n'ayant pas reçu de traitement pendant les 4 mois de la période d'étude, pourcentage très proche de celui que nous avons mesuré (58,9%) en prenant en compte les cycles de reproduction complets (8 mois). Dans le cas du pâturage "en avant", les jeunes sevrés représentent globalement environ 1/3 du chargement global, et rejettent donc 1/3 des fèces du troupeau global. Du fait du traitement systématique tous les deux mois et de la durée de la période prépatente (3 semaines), les jeunes sevrés ne rejettent des œufs que pendant 5 semaines sur 8. En supposant (hypothèse pessimiste) que leur niveau moyen d'infestation en dehors de la période prépatente soit d'emblée et constamment égal à ce qui a été mesuré sur les animaux de 7 mois, leur contribution à la contamination globale serait proportionnelle à leur taux d'infestation moyen × leur chargement relatif, soit à environ (1900 × 5/8) × 1/3, alors que la contribution des adultes serait approximativement proportionnelle à 1000 × 2/3. L'ordre de grandeur de la contribution des jeunes à la contamination totale serait de 30 à 40%, ce qui ramènerait la taille du refuge à environ 50% (80% des 60 à 70% de la contribution des adultes). Une diminution de la fréquence des traitements chez les sevrés plus âgés pour tenir compte de la maturation de leur système immunitaire devrait diminuer encore la pression de sélection. Selon une synthèse de Besier *et al* (2010), le refuge permettrait d'éviter une augmentation significative de la fréquence d'allèles de résistance aux anthelminthiques dans la population de NGI dès que la proportion d'animaux non traités dépasse 10%, voire moins quand la fréquence des parasites résistants est très faible (efficacité de l'anthelminthique >99%, ce qui est encore le cas avec la moxidectine, dans la majorité des élevages). Si l'efficacité de l'anthelminthique chutait à 95%, il faudrait un refuge équivalent à environ 35% pour stabiliser la fréquence des allèles de résistance. Dans le cas présent nous pouvons donc affirmer que le pâturage "en avant" ne compromet pas l'efficacité globale des TST sur le contrôle de la fréquence des allèles de résistance aux anthelminthiques dans la population de NGI.

De plus, on peut supposer que le contexte de l'étude est relativement favorable au système "témoin", du fait de l'efficacité encore intacte de l'anthelminthique utilisé (la moxidectine) et que les performances post sevrage seraient nettement dégradées si la population de NGI était résistante à tous les anthelminthiques.

En conséquence, pour les éleveurs désireux d'élever leurs jeunes animaux au pâturage nous ne pouvons que les inciter à adopter un système de pâturage du type "en avant" permettant de gérer une seule population de NGI commune à tous les groupes d'animaux, faiblement sélectionnés par les anthelminthique grâce à l'application de traitements ciblés sur les adultes, en conservant les avantages des traitements systématiques aux moments-clé du développement des jeunes.

4. Stratégies de construction de systèmes de contrôle intégré adaptés aux tropiques humides

L'expérience acquise lors des nombreux échanges avec les éleveurs des Antilles comme de Guyane m'a appris que concevoir un système de contrôle intégré du parasitisme et en tester expérimentalement les éléments est une chose, mais que les éleveurs n'en adopteront tout ou partie qu'à l'issue d'un arbitrage entre les avantages et les inconvénients, connus ou pressentis, et les possibilités techniques, financières et organisationnelles de leur mise en œuvre.

Passer du système "classique" de contrôle des NGI basé quasi-exclusivement sur l'emploi systématique des anthelminthiques à des systèmes plus durables nécessite des investissements importants en matériel, organisation, et en formation des utilisateurs de ces méthodes. Les techniques susceptibles d'être utilisées sont diverses, tant dans leurs modalités de mise en œuvre que dans leurs bénéfices attendus. Il est donc nécessaire de les prioriser et d'en évaluer les coûts et contraintes en regard des bénéfices escomptés. Enfin, les interactions possibles entre ces différentes techniques devraient aussi être évaluées.

Dans le système "classique", l'anthelminthique est vendu avec une méthode simple, qui ne requiert que des connaissances et des savoir-faire basiques : maîtriser la technique de l'administration du médicament, être capable d'ajuster la dose à la taille de l'animal, appliquer un calendrier ou un intervalle entre traitements pour les différents groupes physiologiques. Aucune connaissance de la nature ni de l'intensité du parasitisme et de ses effets n'est réellement nécessaire, et le terme "traitement préventif", souvent employé renforce le sentiment d'avoir fait "ce qu'il faut" quand le traitement a été administré à chaque animal, suivant les prescriptions. À l'opposé, les systèmes de contrôle intégré reposent sur la connaissance *a minima* des symptômes du parasitisme, et de préférence aussi sur celle des espèces parasitaires impliquées, de leurs dynamiques de transmission dans le contexte écologique local, et de la diversité des réponses individuelles des hôtes. Ils prennent à contrepied le système de références établi, propagé depuis plus d'un demi-siècle par l'ensemble des prescripteurs en ce domaine, qu'ils appartiennent au monde de la recherche, de la formation professionnelle, du développement ou du secteur vétérinaire.

Le point crucial et prioritaire pour la transition du système "classique" vers les systèmes de contrôle intégré me semble être l'adoption de méthodes de traitement ciblé, ou du moins de toute méthode efficace pour constituer un "refuge" permettant le maintien d'une population parasitaire majoritairement sensible aux anthelminthiques encore efficaces, et préserver à moyen et long terme cette efficacité. Ce point est crucial car il nécessite un changement profond dans la façon de penser le parasitisme : alors que les traitements "classiques" pouvaient être considérés comme une assurance de ne pas subir de dommages dus aux NGI, les traitements ciblés visent à préserver une part importante de la population de NGI pour éviter une hypothétique perte d'efficacité future des médicaments. L'approche classique favorisait une vision binaire du parasitisme, l'approche intégrée nécessite la prise en compte du gradient très large des relations individuelles hôte – parasites, et à évaluer des seuils d'intervention. Au contraire d'une conception classique segmentée du système d'élevage, avec des aspects agronomiques (production fourragère…), génétiques (choix des races animales), d'organisation de la reproduction, de gestion sanitaire, etc., traités de façon indépendante, l'approche intégrée implique la prise en compte du parasitisme dans la conception même du système d'élevage, dans sa globalité comme dans ses évolutions.

Pour y avoir été confrontés, la plupart des éleveurs antillais sont maintenant conscients des problèmes causés par les résistances des NGI aux anthelminthiques. Les principes généraux de la sélection de ces parasites résistants, de même que la logique des traitements ciblés pour constituer un "refuge" sont adoptés facilement, du moins si des méthodes opérationnelles peuvent être facilement mises en œuvre. Ce fut par exemple le cas en 2011-2012 lors des discussions avec les éleveurs de Guadeloupe qui ont accompagné la mise en place, puis la restitution des résultats d'enquête sur l'efficacité des anthelminthiques (Mahieu *et al*, 2014). Le questionnaire (résultats non publié) auquel ont répondu les éleveurs enquêtés indiquait que 12 sur 21 déclaraient déjà traiter leurs animaux en fonction de l'appréciation de symptômes de parasitisme (anémie, état général…) ou du stade physiologique, et que seuls 9/21 traitaient encore systématiquement tous leurs animaux. Beaucoup des premiers évoquaient aussi la diminution des coûts liés à la diminution de la consommation d'anthelminthiques. La situation des Antilles Françaises est cependant assez favorable à l'adoption de la méthode Famacha© par les éleveurs, l'espèce dominante des NGI étant *H. contortus* et aucune autre cause d'anémie n'étant habituellement impliquée. Il en va différemment en Amérique du Sud ou en Amérique Centrale, où l'anémie peut souvent être plurifactorielle : carences ou subcarences en Cu ou Co (Lamand, 1980) sur les terrains géologiquement anciens (plateau des Guyanes…), attaques de chauves-souris "vampires" *Desmodus rotundus* (Mayen, 2003), hémoparasites comme *Trypanosoma vivax* (Vokaty *et al*, 1993, Otte *et al*, 1994, Davila *et al*, 1998), *H. contortus*. Dans ce cas, la méthode Famacha© apparait plus difficile à adopter, ce qui m'a amené, lors d'échanges avec les éleveurs et les vétérinaires qui travaillent sur les aspects sanitaires (projet IKARE-SANITEL) à proposer de l'utiliser plutôt comme un indicateur de bonne santé, permettant de détecter les animaux n'ayant besoin d'aucun traitement anthelminthique ou autre, sans préjuger du traitement à apporter aux animaux anémiés (le projet en cours semble indiquer une sérologie positive à *T. vivax* chez environ 80% des petits ruminants comme des bovins…). Si le principe de la méthode Famacha© est assez facilement compris, sa mise en œuvre effective suscite encore des réticences quant au temps passé à l'examen individuel des animaux, beaucoup d'éleveurs ne disposant pas d'équipement, même simple, permettant un accès individuel aux animaux, rapide et sans effort physique (de type cornadis, ou couloir de contention). Là encore, il y a sans doute besoin de faire passer un message nuancé auprès des éleveurs, pour une approche plus globale de la santé des animaux permettant une utilisation intelligente des outils de diagnostic, en fonction des risques potentiels. Ainsi, il vaut sans doute mieux examiner de près une chèvre un peu maigre qui a mis bas récemment trois petits, et ne pas perdre de temps à examiner une autre qui est visiblement en pleine forme, et est bien moins susceptible d'être fortement anémiée. Dans le cas particulier de troupeaux avec des effectifs importants, les animaux anémiés s'essouffleront rapidement lors de déplacements rapides, et il sera relativement aisé de séparer le troupeau en deux groupes, les animaux à traiter se trouvant dans le plus lent.

Enfin, si les jeunes sevrés sont élevés à l'herbe, il est important de comprendre que les populations parasitaires doivent être gérées à l'échelle de l'élevage dans son ensemble, ce qui peut impliquer une réorganisation du parcellaire pour pratiquer le pâturage "en avant" des groupes d'animaux sevrés sur des parcelles communes avec le troupeau d'adultes. Les coûts en matériaux de clôture et temps de mise en place ne seront consentis que si l'éleveur a une représentation claire de la biologie des NGI. Ceci est aussi vrai dans l'organisation du système de pâturage des adultes : un parcellaire mal conçu (nombre de parcelles insuffisant, surfaces ou productions trop hétérogènes) ou mal utilisé (temps de séjour trop long, temps de repousse trop court…) par méconnaissance de l'épidémiologie peut aggraver considérablement la pression parasitaire alors qu'un pâturage tournant correct participe à la maîtrise globale des NGI.

L'élevage hors-sol des jeunes sevrés est une option de plus en plus souvent adoptée par les éleveurs antillais, d'abord pour limiter les risques de prédation, et ensuite pour mieux maîtriser l'alimentation et accélérer la croissance. D'après la technicienne attachée à la coopérative des éleveurs caprins de Guadeloupe, sur une vingtaine d'adhérents suivis, 90% élèvent leurs jeunes sevrés en bâtiment. Le parasitisme par NGI est *ipso facto* maîtrisé, dès lors que les fourrages distribués ne sont pas porteurs de L3, conséquence possible de la divagation d'animaux infestés sur les parcelles de fauche. À ce titre, l'élevage hors-sol des jeunes représente un élément possible d'un système de contrôle intégré des NGI, et une alternative au système de pâturage "en avant". Le choix devra cependant prendre en compte les investissements matériels nécessaires pour assurer le bien-être des animaux, mécaniser l'affouragement, traiter les effluents, limiter le risque d'infestation par d'autres parasites comme *Eimeria* sp., sans oublier les contraintes de main d'œuvre, tous très supérieurs à ceux des systèmes pâturés.

Le renforcement des défenses de l'hôte *via* l'alimentation est *a priori* accessible à chaque éleveur. La satisfaction des besoins en énergie et protéines est généralement d'abord une préoccupation en termes de production, et les limitations dans la couverture de ces besoins peuvent être liées à une méconnaissance de ceux-ci comme à des raisons économiques. Un premier niveau de réponse consiste à inclure la prise en compte des besoins protéiques correspondant à un fonctionnement correct du système immunitaire, dans le système d'alimentation. Le second niveau consiste à introduire dans ce système d'alimentation des alicaments combinant des propriétés anthelminthiques aux propriétés nutritionnelles. Dans le contexte antillais, l'utilisation de plantes à effets anthelminthiques (métabolites secondaires) est encore au stade expérimental, même si quelques éleveurs peuvent utiliser des arbres fourragers (*Leucaena leucocephala…*) potentiellement riches en tanins, en complément d'une alimentation au pâturage essentiellement à base de graminées. La principale limitation actuelle est probablement la difficulté, pour beaucoup d'éleveurs, à disposer en continu d'une ressource facile à utiliser, peu coûteuse, et, en particulier dans le cas des ovins, facilement consommée, ce qui peut être difficile si la présentation, le goût ou l'odeur ne leur sont pas familiers (Favreau-Peigne *et al*, 2013). Dans la pratique, le développement de ces méthodes de complémentation demandera sans doute, après mise au point agronomique et technologique des méthodes de production et de conditionnement des végétaux retenus, l'installation de parcelles ou d'exploitations dédiées à leur culture, et la création d'une véritable filière de production pour répondre aux besoins. Les bénéfices attendus en termes de contrôle intégré sont potentiellement importants, mais ils restent à évaluer en situation de pâturage. Un troisième niveau pourrait être l'utilisation de plantes médicinales ou plus probablement d'extraits contenant les principes actifs, qui seraient alors assimilables à des médicaments d'origine naturelle. La principale difficulté pour les éleveurs disposant de la ressource pourrait être d'en maîtriser l'utilisation. Pour les autres, le préalable risque d'être la mise en place d'une filière de production et de transformation permettant de garantir l'efficacité et la qualité des produits proposés, dans le cadre de la réglementation.

L'utilisation de la résistance génétique aux NGI peut être envisagée à deux niveaux :

- le premier consiste à choisir une race adaptée aux contraintes du milieu d'élevage, notamment parasitaires. Les races locales, qui ont évolué souvent pendant des siècles sous ces contraintes, sont généralement mieux adaptées que des races importées de milieux très différents, et qui peuvent être fortement pénalisées. Ainsi sous un climat chaud semi-humide, les ovins Red Maasai sont à la fois plus résistants et résilients aux NGI et plus productifs que les Dorper, la différence s'estompant en milieu semi-aride avec une pression parasitaire réduite (Baker *et al*, 2004). Modifier le système d'élevage pour l'adapter aux animaux peut être envisagé, mais nécessite généralement des investissements importants dont la rentabilité doit être évaluée. Aux Antilles ou en Guyane, il est possible par exemple d'élever des chèvres laitières de race Saanen, beaucoup plus sensibles aux NGI que les Créole de Guadeloupe, dans un système hors-sol qui nécessite un bâtiment adapté, une alimentation à l'auge, un dis-

positif de gestion des effluents… De tels animaux survivraient difficilement au pâturage. L'utilisation de croisements des races locales avec des races "améliorées" censées augmenter la productivité est souvent évoquée. Leurs avantages supposés ont rarement été démontrés, et les modifications du système d'élevage (niveau d'alimentation, couverture sanitaire…) qui sont mises en œuvre pour les exprimer produiraient probablement le même résultat si elles étaient appliquées aux animaux de race locale (Ayalew *et al*, 2003b). On devrait donc évaluer les capacités de résistance aux NGI avant tout introduction d'animaux allochtones, pour ne pas perdre tout ou partie des effets des autres mesures de contrôle mises en place.

- Le second vise à augmenter la résistance génétique aux NGI des animaux d'une race donnée. Il se distingue des autres mesures de contrôle par plusieurs points : les effets sont très progressifs, et demandent un investissement soutenu sur le long terme ; il nécessite une adhésion pérenne des éleveurs sur la base d'un cahier des charges contraignant ; une organisation professionnelle forte et stable sur le long terme, permettant la mise en place des enregistrements de filiation et des mesures phénotypiques, et garantissant la qualité des reproducteurs ; des compétences scientifiques sont requises pour l'analyse des données et l'évaluation génétique permettant le choix des reproducteurs, en fonction d'objectifs de sélection multiples (critères de reproduction, de croissance, de qualité bouchère, de résistance et/ou résilience aux NGI, de résistance à d'autres pathogènes…) définis collectivement avec les éleveurs et les utilisateurs de la race. Les retombées attendues à terme sont liées à la réduction prévisible du niveau de parasitisme et des pertes liées, mais aussi à une amélioration générale des performances (Gunia *et al*, 2013b), de l'efficacité d'utilisation des ressources, et au développement d'une filière de production d'animaux reproducteurs qualifiés. Une retombée indirecte, mais perceptible à court terme, de l'implication des éleveurs dans un programme de sélection est la conséquence de l'amélioration générale des techniques d'élevage initiée par la mise en œuvre du cahier des charges, les mesures effectuées fournissant des indicateurs très utiles pour la gestion au quotidien de la reproduction, de l'alimentation, des réformes et du renouvellement des reproducteurs… L'intérêt pour les éleveurs dépasse donc largement les aspects de contrôle du parasitisme et s'inscrit dans la perspective d'une amélioration globale des systèmes d'élevage et de leur efficacité.

Les pratiques de pâturage tournant ont été préconisées (et un temps subventionnées) aux Antilles depuis les années 1970-1980 comme un moyen de mieux gérer les surfaces fourragères, faciliter l'utilisation des engrais et parfois de l'irrigation, et permettre de séparer les troupeaux en groupes de même stade physiologique (au minimum troupeau de reproductrices, de mâles sevrés et de femelles sevrées). Ce n'est qu'à partir des années 1990 que les travaux d'Aumont *et al* (1991) ont mis l'accent sur l'importance de la prise en compte des dynamiques de développement larvaires des NGI dans le mode de rotation, mais le message est resté inaudible tant que les anthelminthiques étaient des moyens de contrôle efficaces. Beaucoup d'éleveurs décident encore de leurs changements de parcelle en fonction de la quantité d'herbe présente, d'où des séjours longs (2 semaines, voire plus) en saison humide, favorables à la pousse des fourrages, et au contraire des séjours courts et des rotations accélérées en saison sèche. Dans les cas extrêmes, le manque d'entretien des clôtures fait que les animaux sont de fait en pâturage continu. Ces situations présentent un risque élevé d'infestation par NGI, et la mise en place ou la restauration d'un dispositif de pâturage tournant en fonction des contraintes parasitaires représente un élément clé d'un système de contrôle intégré du parasitisme.

Dans les zones tropicales à saison sèche, la production fourragère est saisonnée, avec généralement une pénurie alimentaire à la fin de la saison sèche. Une des solutions possible consiste à récolter les excédents fourragers de la saison humide, et les conserver pour les faire consommer en période de déficit. Ces fourrages, conservés plusieurs mois, présentent de faibles risques d'héberger des L3 viables. Intercaler une fauche dans un cycle de pâturage tournant permettrait théoriquement de dimi-

nuer considérablement la population de L3 sur la parcelle fauchée, lors du retour des animaux au cycle suivant. Pour éviter d'exposer les animaux au pic de population de L3, le système de pâturage devra au moins comporter 6 parcelles, dans les zones de caractéristiques épidémiologiques proches de celles des Antilles Françaises. Faucher toutes les parcelles au cours de cycles de pâturage successifs peut donc présenter un grand intérêt pour l'alimentation du troupeau en saison sèche, et diminuer le nombre global de L3 potentiellement ingérables. L'intérêt en tant que constituant d'un système de contrôle intégré des NGI reste cependant à évaluer expérimentalement.

L'association d'espèces herbivores est un composant potentiellement très intéressant des systèmes de contrôle intégrés du parasitisme à NGI. Les choix alimentaires et les modes de prélèvement des organes végétaux diffèrent d'une espèce à l'autre, ce qui, à chargement global identique, conduit à une diminution de la compétition pour les ressources fourragères et à une meilleure productivité totale. Les conséquences sur le parasitisme peuvent varier d'une absence d'effet (cas des chèvres adultes en pâturage simultané avec des bovins) à une réduction drastique de l'infestation dans le cas de jeunes petits ruminants pâturant avant des bovins : des associations à hauteur de 50% ou moins de caprins devraient, dans la plupart des cas, limiter le niveau d'infestation individuel à un niveau très bas, rendant inutile tout recours aux anthelminthiques (Mahieu, 2013). L'adoption de ce type d'organisation du pâturage n'est cependant envisageable que si bovins et petits ruminants sont déjà présents sur l'élevage, et si la réorganisation du parcellaire est relativement facile et peu coûteuse (les clôtures doivent être étanches aux deux espèces). Un des avantages supplémentaires en ce cas, c'est que l'éleveur n'a à gérer qu'un seul chargement global, au lieu d'être amené à ajuster séparément celui de deux systèmes indépendants. Par contre, les petits élevages de petits ruminants peuvent ne pas pouvoir rentabiliser les investissements en clôture, matériel de contention, que nécessiterait l'introduction des quelques bovins nécessaires pour diminuer significativement le parasitisme des premiers. La taille moyenne des troupeaux de petits ruminants antillais étant de l'ordre de la dizaine de femelles, beaucoup doivent se trouver dans ce cas.

Un cas un peu particulier est celui des troupeaux mixtes ovins – caprins. Ces deux espèces partagent les mêmes espèces principales de NGI (*H. contortus* et *T. colubriformis* en zone tropicale, auxquelles s'ajoute *Teladorsagia circumcincta* en climat plus tempéré), et longtemps la préconisation a été de ne pas les faire pâturer ensemble, les uns pouvant contaminer les autres, plus sensibles aux NGI. Cette assertion, cohérente avec la spécialisation des activités de production largement promue depuis le milieu du XXème siècle, ne repose à ma connaissance sur aucune démonstration expérimentale, et semble contredite par les connaissances acquises depuis sur la biologie et l'épidémiologie des NGI. À chargement identique, associer une espèce plus résistante aux NGI à une seconde plus sensible ne peut que diminuer le niveau global de contamination du pâturage, donc de ré-infestation de l'espèce sensible, si on le compare au niveau d'infestation de l'espèce la plus sensible élevée seule. Le fait qu'ovins et caprins aient un comportement alimentaire assez différent et donc partiellement complémentaire, en particulier sur des pâturages hétérogènes, ne peut là encore que plaider l'intérêt d'associer ces espèces. C'est en tout cas ce que pratiquent la plupart des éleveurs Antillo-Guyanais qui possèdent des animaux de ces deux espèces.

5. En perspectives

D'un point de vue scientifique, et en restant dans le périmètre des travaux menés à l'INRA-URZ aux Antilles, il reste dans les années qui viennent à compléter nos connaissances par :

- ✓ L'évaluation de l'intérêt d'utiliser des fourrages à tanins condensés dans les systèmes d'élevage au pâturage, ce qui comprend un aspect analytique – quel est l'effet des tanins condensés sur la fitness (capacité à achever son cycle biologique) des nématodes gastro-intestinaux, et pas seulement l'effet ponctuel mesuré in vitro – et un aspect plus systémique – quelles sont les relations entre les modalité de distribution des ressources riches en TC et la santé et la productivité des troupeaux exposés aux NGI ?
- ✓ Une meilleure compréhension des conséquences de l'hétérogénéité des pâturages sur l'épidémiologie des parasites affectant des groupes d'animaux qui connaissent leur milieu, et qui l'exploitent en fonction de ces connaissances et des interactions sociales fortes qui les caractérisent.

Dans l'état actuel des connaissances, le point commun à tous les systèmes de contrôle intégré du parasitisme gastro-intestinal est indiscutablement la mise en place de refuges (sous population de parasites non traités), visant à préserver l'efficacité des derniers médicaments anthelminthiques encore utilisables. Les méthodes de traitement ciblé disponibles, même imparfaites, doivent être adoptées le plus rapidement possible, et la responsabilité de tous les acteurs de la santé animale est engagée sur ce point.

Dans un second temps, chaque éleveur devra choisir, parmi la palette d'options possibles dans son contexte épidémiologique, celles qui seront adaptées à sa situation particulière, en considérant les contraintes économiques et organisationnelles aussi bien que les bénéfices en termes de santé animale et en termes de production.

Les critères de choix de ces différentes options sont encore imprécis dans la plupart des cas, pour n'avoir été étudiés que sur un nombre très limité de dispositifs expérimentaux, plus ou moins artificialisés, sans pouvoir couvrir toute la gamme des situations. L'étude des interactions entre différentes options ne fait que commencer, sans que l'on puisse encore faire de prédiction, d'autant que les réponses à chacune sont souvent non-linéaires, et que de nombreux facteurs de confusion peuvent interférer dans les études en situation de pâturage. L'étude de ces interactions entre les différentes méthodes de contrôle des NGI est cependant un préalable indispensable à la paramétrisation de tout modèle prédictif susceptible de faciliter l'optimisation de la gestion des parasites gastro-intestinaux, dans les systèmes d'élevage au pâturage des petits ruminants.

Références

1]- Achi, Y. L., Zinsstag, J., Yeo, N., Dea, V. et Dorchies, P. (**2003).** Epidemiology of parasites of sheep and goats from savannah area in Cote d'Ivoire. Rev. Med. Vet. **154** (3): 179-188, http://www.revmedvet.com/2003/RMV154_179_188.pdf

2]- Adams, D. B. (**1983).** Observations on the self-cure reaction and other forms of immunological responsiveness against *Haemonchus contortus* in sheep. Int. J. Parasitol. **13** (6): 571-578, http://dx.doi.org/10.1016/S0020-7519(83)80029-0

3]- Ademola, I. O., Fagbemi, B. O. et Idowu, S. O. (**2004).** Evaluation of the anthelmintic activity of *Khaya senegalensis* extract against gastrointestinal nematodes of sheep: in vitro and in vivo studies. Vet. Parasitol. **122** (2): 151-164, http://dx.doi.org/10.1016/j.vetpar.2004.04.001

4]- Ademola, I. O. et Eloff, J. N. (**2010).** *In vitro* anthelmintic activity of *Combretum molle* (R. Br. ex G. Don) (Combretaceae) against *Haemonchus contortus* ova and larvae. Vet. Parasitol. **169** (1-2): 198-203, http://dx.doi.org/10.1016/j.vetpar.2009.12.036

5]- Ahmad, M. et Ansari, J. A. (**1987).** Prevalence of gastro-intestinal nematodes of sheep and goats in Aligarh. Indian Vet. Med. J. **11** (3): 165-170, http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=US201302074813

6]- Akerejola, O. O., Veen, T. W. S. et Njoku, C. O. (**1979).** Ovine and caprine diseases in Nigeria: a review of economic losses. Bull. Anim. Health Prod. Afr. **27** (1): 65-70, http://www.cabdirect.org/abstracts/19792243130.html

7]- Al-Rofaai, A., Rahman, W. A., Sulaiman, S. F. et Yahaya, Z. S. (**2012).** *In vitro* ovicidal and larvicidal activity of methanolic leaf extract of *Manihot esculenta* (cassava) on susceptible and resistant strains of *Trichostrongylus colubriformis*. Vet. Parasitol. **190** (1–2): 127-135, http://dx.doi.org/10.1016/j.vetpar.2012.05.028

8]- Alawa, C. B. I., Adamu, A. M., Gefu, J. O., Ajanusi, O. J., Abdu, P. A., Chiezey, N. P., Alawa, J. N. et Bowman, D. D. (**2003).** *In vitro* screening of two Nigerian medicinal plants (*Vernonia amygdalina* and *Annona senegalensis*) for anthelmintic activity. Vet. Parasitol. **113** (1): 73-81, http://dx.doi.org/10.1016/S0304-4017(03)00040-2

9]- Alexandre, G., Xandé, A., Despois, P., Fleury, J. et Renard, D. (**1987**). Association graminées légumineuses pour la production de viande de chevreaux créoles : likoni A15 (*Panicum maximum*) - stylosanthes (*Stylosanthes guianensis*) à l'auge et Pangola (*Digitaria decumbens*) - Siratro (*Macroptilium artropurpureum*) au pâturage. Symposium sur l'alimentation des ruminants en zone tropicale, Pointe-à-Pitre (F.W.I)

10]- Alexandre, G. (**1991).** Elevage à l'herbe des chevreaux Créoles après le sevrage. Revue d'Elevage et de Médecine Vétérinaire des Pays Tropicaux **spécial**: 99-104, http://remvt.cirad.fr/cd/EMVT91_S.PDF

11]- Alexandre, G., Rilos, M. R.-., Naves, M. et Mandonnet, M. (**2008).** Le choix de la race pour les systèmes de production caprine en Guadeloupe, entre question technique et débat sociétal. Ethnozootechnie **85**: 111 - 124

12]- Alonso-Díaz, M. A., Torres-Acosta, J. F. J., Sandoval-Castro, C. A. et Hoste, H. (**2010).** Tannins in tropical tree fodders fed to small ruminants: A friendly foe? Small Ruminant Res. **89** (2–3): 164-173, http://dx.doi.org/10.1016/j.smallrumres.2009.12.040

13]- Amarante, A. F. T., Bagnola, J., Jr., Amarante, M. R. V. et Barbosa, M. A. (**1997).** Host specificity of sheep and cattle nematodes in Sao Paulo state, Brazil. Vet. Parasitol. **73** (1/2): 89-104, http://dx.doi.org/10.1016/S0304-4017(97)00036-8

14]- Amarante, A. F. T., Bricarello, P. A., Huntley, J. F., Mazzolin, L. P. et Gomes, J. C. (**2005).** Relationship of abomasal histology and parasite-specific immunoglobulin A with the resistance to *Haemonchus contortus* infection in three breeds of sheep. Vet. Parasitol. **128** (1-2): 99-107, http://dx.doi.org/10.1016/j.vetpar.2004.11.021

15]- Anandan, S., Sastry, V. R. B., Musalia, L. M. et Agrawal, D. K. (**1996).** Growth rate and nutrient efficiency of growing goats fed urea ammoniated neem (*Azadirachta indica*) seed kernel meal as protein supplement. Small Ruminant Res. **22** (3): 205-212, http://dx.doi.org/10.1016/S0921-4488(96)00889-9

16]- Anderson, D. L. et Roberson, E. L. (**1996).** Gastrointestinal and respiratory parasitism in Georgia goats. Agri-Practice **17** (9): 20-24

17]- Andrews, A. H. (**2013).** Some aspects of coccidiosis in sheep and goats. Small Ruminant Res. **110** (2–3): 93-95, http://dx.doi.org/10.1016/j.smallrumres.2012.11.011

18]- Angulo-Cubillan, F. J., Garcia-Coiradas, L., Alunda, J. M., Cuquerella, M. et Fuente, C. d. l. (**2010).** Biological characterization and pathogenicity of three *Haemonchus contortus* isolates in primary infections in lambs. Vet. Parasitol. **171** (1/2): 99-105, http://dx.doi.org/10.1016/j.vetpar.2010.03.004

19]- Anonyme (**2012a**). Le Recensement Agricole 2010. Recensement de l'Agriculture : Direction de l'Alimentation, de l'Agriculture et de la Forêt de la Martinique. Ministère de l'agriculture, de

l'agroalimentaire et de la forêt, DAAF 972
http://daaf972.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/ppt_RA2010_cle09c551.pdf *accédé le: 28/07/2014*
20]- Anonyme (**2012b**). Recensement agricole 2010. Données communales - Ensemble des exploitations - 2000-2010 - Principaux cheptels - nombre d'élevages et cheptel (Zip : 4,0 Mo) 20/06/2012. Ministère de l'agriculture, de l'agroalimentaire et de la forêt - Agreste
http://agreste.agriculture.gouv.fr/IMG/zip/cheptels-ensemble.zip *accédé le: 28/07/2014*
21]- ANSES Autorisation de mise sur le marché (AMM) médicaments vétérinaires. Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail
https://www.anses.fr/fr/content/autorisation-de-mise-sur-le-march%C3%A9-amm-m%C3%A9dicaments-v%C3%A9t%C3%A9rinaires *accédé le: 12/08/2014*
22]- Archimède, H., Boval, M., Alexandre, G., Xandé, A., Aumont, G. et Poncet, C. (**2000).** Effect of regrowth age on intake and digestion of *Digitaria decumbens* consumed by Black-belly sheep. Anim. Feed Sci. Technol. **87**: 153-162, http://dx.doi.org/10.1016/S0377-8401(00)00207-8
23]- Arece Garcia, J., Rodriguez-Diego, J. G., Torres-Hernandez, G., Mahieu, M., Gonzalez Garcia, E. et Gonzalez-Garduno, R. (**2007).** The epizootiology of ovine gastrointestinal strongyles in the province of Matanzas, Cuba. Small Ruminant Res. **72** (2/3): 119-126, http://dx.doi.org/10.1016/j.smallrumres.2006.09.002
24]- Arece, J., Roche, Y., López, Y. et Molina, M. (**2012).** Efecto *in vitro* del extracto acuoso de *Dichrostachys cinerea* (L.) Wight & Arn. en el desarrollo de las fases exógenas de estrongílidos gastrointestinales de ovinos. Pastos y Forrajes **35**: 301-309, http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-03942012000300006&nrm=iso
25]- Arundel, J. H. et Hamilton, D. (**1975).** The effect of mixed grazing of sheep and cattle on worm burdens in lambs. Aust. Vet. J. **51** (9): 436-9, http://dx.doi.org/10.1111/j.1751-0813.1975.tb15794.x
26]- Athanasiadou, S., Tzamaloukas, O., Kyriazakis, I., Jackson, F. et Coop, R. L. (**2005).** Testing for direct anthelmintic effects of bioactive forages against *Trichostrongylus colubriformis* in grazing sheep. Vet. Parasitol. **127** (3-4): 233-243, http://dx.doi.org/10.1016/j.vetpar.2004.09.031
27]- Athanasiadou, S. (**2012).** Nutritional deficiencies and parasitic disease: Lessons and advancements from rodent models. Vet. Parasitol. **189** (1): 97-103, http://dx.doi.org/10.1016/j.vetpar.2012.03.038
28]- Aumont, G. (**1982).** Aspects écologiques des strongyloses gastro-intestinales des ruminants en guadeloupe.Intérêt pour la mise au point du contrôle intégré du parasitisme interne. . Bulletin Agronomique CRAAG-INRA, SRCA Guadeloupe eds **1**: 71-77
29]- Aumont, G. et Gruner, L. (**1989).** Population evolution of the free-living stage of goat gastrointestinal nematodes on herbage under tropical conditions in Guadeloupe (French West Indies). Int. J. Parasitol. **19** (5): 539-546, http://dx.doi.org/10.1016/0020-7519(89)90084-2
30]- Aumont, G., Gruner, L. et Berbigier, P. (**1991).** Dynamique des populations des stades infestants de strongles gastrointestinaux des petits ruminants en milieu tropical humide. Conséquences sur la gestion des pâturages. Revue d'Elevage et de Médecine Vétérinaire des Pays Tropicaux **spécial**: 123-131, http://remvt.cirad.fr/cd/EMVT91_S.PDF
31]- Aumont, G., Caudron, I., Saminadin, G. et Xandé, A. (**1995).** Sources of variation in nutritive values of tropical forages from the Caribbean. Anim. Feed Sci. Technol. **51**: 1-13, http://dx.doi.org/10.1016/0377-8401(94)00688-6
32]- Aumont, G., Frauli, D., Simon, R., Pouillot, R., Diaw, S. et Mandonnet, N. (**1996).** Comparison of methods for counting third stage larvae of gastrointestinal nematodes of small ruminants in tropical pastures. Vet. Parasitol. **62**: 307-315, http://dx.doi.org/10.1016/0304-4017(95)00868-3
33]- Aumont, G., Pouillot, R., Simon, R., Hostache, G., Barre, N. et Varo, H. (**1997).** Parasitisme digestif des petits ruminants dans les Antilles françaises. INRA Prod. Anim. **10** (1): 79-89, http://www6.inra.fr/productions-animales/Articles-1997-Volume-10/Numero-1-1997/Parasitisme-digestif-des-petits-ruminants-dans-les-Antilles-francaises
34]- Aumont, G., Gruner, L. et Hostache, G. (**2003).** Comparison of the resistance to sympatric and allopatric isolates of *Haemonchus contortus* of Black Belly sheep in Guadeloupe (FWI) and of INRA 401 sheep in France. Vet. Parasitol. **116** (2): 139-150, http://dx.doi.org/10.1016/S0304-4017(03)00259-0
35]- Ayalew, W., King, J. M., Bruns, E. et Rischkowsky, B. (**2003a).** Economic evaluation of smallholder subsistence livestock production: lessons from an Ethiopian goat development program. Ecological Economics **45** (3): 473-485, http://dx.doi.org/10.1016/S0921-8009(03)00098-3
36]- Ayalew, W., Rischkowsky, B., King, J. M. et Bruns, E. (**2003b).** Crossbreds did not generate more net benefits than indigenous goats in Ethiopian smallholdings. Agric. Sys. **76** (3): 1137-1156, http://dx.doi.org/10.1016/S0308-521X(02)00033-1
37]- Baker, R. L. (**1997).** Genetic resistance to helminths in small ruminants in Africa. [French]. INRA Prod. Anim. **10** (1): 99-110, http://www6.inra.fr/productions-animales/content/download/4798/45505/version/1/file/Prod_Anim_1997_10_1_09.pdf

38]- Baker, R. L., Nagda, S., Rodriguez-Zas, S. L., Southey, B. R., Audho, J. O., Aduda, E. O. et Thorpe, W. (**2003).** Resistance and resilience to gastro-intestinal nematode parasites and relationships with productivity of Red Maasai, Dorper and Red Maasai x Dorper crossbred lambs in the sub-humid tropics. Anim. Sci. **76** (1): 119-136

39]- Baker, R. L., Mugambi, J. M., Audho, J. O., Carles, A. B. et Thorpe, W. (**2004).** Genotype by environment interactions for productivity and resistance to gastro-intestinal nematode parasites in Red Maasai and Dorper sheep. Anim. Sci. **79**: 343-353

40]- Balic, A., Cunningham, C. P. et Meeusen, E. N. T. (**2006).** Eosinophil interactions with *Haemonchus contortus* larvae in the ovine gastrointestinal tract. Parasite Immunol. **28** (3): 107-115, http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-3024.2006.00816.x

41]- Bambou, J. C., Gonzalez-Garcia, E., Chevrotiere, C. d. l., Arquet, R., Vachiery, N. et Mandonnet, N. (**2009).** Peripheral immune response in resistant and susceptible Creole kids experimentally infected with *Haemonchus contortus*. Small Ruminant Res. **82** (1): 34-39, http://dx.doi.org/10.1016/j.smallrumres.2009.01.008

42]- Bambou, J. C., Archimède, H., Arquet, R., Mahieu, M., Alexandre, G., González-Garcia, E. et Mandonnet, N. (**2011).** Effect of dietary supplementation on resistance to experimental infection with *Haemonchus contortus* in Creole kids. Vet. Parasitol. **178** (3-4): 279-285, http://dx.doi.org/10.1016/j.vetpar.2011.01.030

43]- Bambou, J. C., Cei, W., Camous, S., Archimede, H., Decherf, A., Philibert, L., Barbier, C., Mandonnet, N. et Gonzalez-Garcia, E. (**2013a).** Effects of single or trickle *Haemonchus contortus* experimental infection on digestibility and host responses of naive Creole kids reared indoor. Vet. Parasitol. **191** (3-4): 284-292, http://dx.doi.org/10.1016/j.vetpar.2012.09.026

44]- Bambou, J. C., Larcher, T., Cei, W., Dumoulin, P. J. et Mandonnet, N. (**2013b).** Effect of Experimental Infection with *Haemonchus contortus* on Parasitological and Local Cellular Responses in Resistant and Susceptible Young Creole Goats. Biomed Research International (Article ID 902759): 1-9, http://dx.doi.org/10.1155/2013/902759

45]- Bang, K. S., Familton, A. S. et Sykes, A. R. (**1990).** Effect of copper oxide wire particle treatment on establishment of major gastrointestinal nematodes in lambs. Res. Vet. Sci. **39** (2): 132-137

46]- Banks, D. J. D., Singh, R., Barger, I. A., Pratap, B. et Le Jambre, L. F. (**1990).** Development and survival of infective larvae of *Haemonchus contortus* and *Trichostrongylus colubriformis* on pasture in a tropical environment. Int. J. Parasitol. **20** (2): 155-160, http://dx.doi.org/10.1016/0020-7519(90)90095-5

47]- Barger, I. (**1997).** Control by management. Vet. Parasitol. **72** (3/4): 493-506, http://dx.doi.org/10.1016/S0304-4017(97)00113-1

48]- Barger, I. A., Le Jambre, L. F., Georgi, J. R. et Davies, H. I. (**1985).** Regulation of *Haemonchus contortus* populations in sheep exposed to continuous infection. Int. J. Parasitol. **15** (5): 529-533, http://dx.doi.org/10.1016/0020-7519(85)90049-9

49]- Barger, I. A. et Le Jambre, L. F. (**1988).** Regulation of *Haemonchus contortus* populations in sheep: mortality of established worms. Int. J. Parasitol. **18** (2): 269-273, http://dx.doi.org/10.1016/0020-7519(88)90067-7

50]- Barger, I. A. (**1993).** Control of gastrointestinal nematodes in Australia in the 21st-century. Vet. Parasitol. **46** (1-4): 23-32, http://dx.doi.org/10.1016/0304-4017(93)90045-O

51]- Barger, I. A., Siale, K. I., Banks, D. J. D. et Le Jambre, L. F. (**1994).** Rotational grazing for control of gastrointestinal nematodes of goats in a wet tropical environment. Vet. Parasitol. **53** (1-2): 109-116, http://dx.doi.org/10.1016/0304-4017(94)90023-X

52]- Barker, I. K. (**1973).** A study of the pathogenesis of *Trichostrongylus colubriformis* infection in lambs with observations on the contribution of gastrointestinal plasma loss. Int. J. Parasitol. **3** (6): 743-757, http://dx.doi.org/10.1016/0020-7519(73)90066-0

53]- Barker, I. K. (**1974).** The relationship of abnormal mucosal microtopography with distribution of *Trichostrongylus colubriformis* in the small intestines of lambs. Int. J. Parasitol. **4** (2): 153-163, http://dx.doi.org/10.1016/0020-7519(74)90098-8

54]- Barnes, B. et Sidhu, H. (**2005).** Plant-herbivore models, where more grass means fewer grazers. Bull. Math. Biol. **67** (1): 33-55, http://dx.doi.org/10.1016/j.bulm.2004.06.001

55]- Barré, N., Amouroux, I., Aprelon, R. et Samut, T. (**1997).** Résistance des strongles gastro-intestinaux aux anthelminthiques dans les élevages caprins en Guadeloupe (Antilles françaises). Revue Elev. Méd. vét. Pays trop. **50** (2): 105-110, http://remvt.cirad.fr/cd/EMVT97_2.PDF

56]- Barrère, V., Alvarez, L., Suarez, G., Ceballos, L., Moreno, L., Lanusse, C. et Prichard, R. K. (**2012).** Relationship between increased albendazole systemic exposure and changes in single nucleotide polymorphisms on the β-tubulin isotype 1 encoding gene in *Haemonchus contortus*. Vet. Parasitol. **186** (3–4): 344-349, http://dx.doi.org/10.1016/j.vetpar.2011.11.068

57]- Barry, A. M., Pandey, V. S., Bah, S. et Dorny, P. (**2002).** Epidemiological study of gastrointestinal helminths in goats in Central Guinea. Revue Elev. Méd. vét. Pays trop. **55** (2): 99-104, http://remvt.cirad.fr/cd/derniers_num/2002/EMVT02_099_104.pdf
58]- Barry, D. M. et Van Niekerk, C. H. (**1990).** Anaplasmosis in improved boer goats in South Africa artificially infected with *Anaplasma ovis*. Small Ruminant Res. **3** (2): 191-197, http://dx.doi.org/10.1016/0921-4488(90)90093-L
59]- Bastien, O., Kerboeuf, D., Leimbacher, F., Gevrey, J., Nicolas, J. A., Hubert, J. et Heinrich, O. (**1991).** Recherches sur les causes d'échecs thérapeutiques de la lutte contre les strongyloses gastro-intestinales des ovins en Martinique. Revue d'Elevage et de Médecine Vétérinaire des Pays Tropicaux **numéro spécial**: 117-121, http://remvt.cirad.fr/cd/EMVT91_S.PDF
60]- Bath, G. F., Malan, F. S. et Van Wyk, J. A. (**1996**). The "FAMACHA" ovine anaemia guide to assist with the control of haemonchosis. 7th annual congress of the livestock health and production group of the South African Veterinary Association, Port Elizabeth: 152-156
61]- Berbigier, P., Gruner, L., Mambrini, M. et Sophie, S. A. (**1990).** Faecal water content and egg survival of goat gastro-intestinal strongyles under dry tropical conditions in Guadeloupe. Parasitol. Res. **76** (5): 379-385, http://dx.doi.org/10.1007/BF00933544
62]- Berezhko, V. K., Akulin, N. A., Buzmakova, R. A. et Kurochkina, K. G. (**1987).** Immunoallergic reactions and a phenomenon of self-cure in experimental haemonchosis (*Haemonchus contortus*) of sheep depending on host's age. Helminthologia **24** (2): 119-131
63]- Bergstrom, R. C., Maki, L. R. et Werner, B. A. (**1976).** Small dung beetles as biological control agents: laboratory studies of beetle action on trichostrongylid eggs in sheep and cattle feces. Proceedings of the Helminthological Society of Washington **43** (2): 171-174, http://science.peru.edu/copa/ProcHelmSocWash_V43_N2_1976I.pdf
64]- Beriajaya et Stevenson, P. (**1986**). Reduced productivity in small ruminants in Indonesia as a result of gastrointestinal nematode infections. *in* Livestock production and diseases in the Tropics. Proceedings of the 5th International Conference, Kuala Lumpur, Malaysia, 18-22 August 1986., Ed. Universiti Pertanian Malaysia, Serdang Malaysia: 28-30
65]- Berrag, B., Rhalem, A., Sahibi, H. et Tahiri, Y. A. (**1995**). Parasites of goats in the north of Morocco. [French]. Parasitology research in Africa : Proceedings of an IFS Workshop, Bobo-Dioulasso, Burkina Faso, International Foundation for Science (IFS), Stockholm, Sweden: 287-306
66]- Besier, B. (**2014**). Development and production of a vaccine against *Haemonchus contortus* in sheep. Government of Western Australia, Department of Agriculture and Food https://www.agric.wa.gov.au/livestock-research-development/development-and-production-vaccine-against-haemonchus-contortus-sheep *accédé le: 22/08/2014*
67]- Besier, R. B. (**2005**). Electronic sheep handling technology for targeted treatment of *Trichostrongylus* and *Ostertagia* in Australia. 4th international worshop "Novel Approaches to the Control of Helminth Parasites of Livestock", Universidad Autonoma de Yucatan Merida, Yucatan, Mexico: 16 http://www.uady.mx/sitios/veterina/NA2005/Memorias/Posters/ELECTRONIC%20SHEEP%20HANDLING.pdf
68]- Besier, R. B., Love, R. A., Lyon, J. et van Burgel, A. J. (**2010).** A targeted selective treatment approach for effective and sustainable sheep worm management: investigations in Western Australia. Animal Production Science **50** (11-12): 1034-1042, http://dx.doi.org/10.1071/AN10123
69]- Bishop, S. C. et Stear, M. J. (**2003).** Modeling of host genetics and resistance to infectious diseases: understanding and controlling nematode infections. Vet. Parasitol. **115** (2): 147-166, http://dx.doi.org/10.1016/S0304-4017(03)00204-8
70]- Bisset, S. A. et Morris, C. A. (**1996).** Feasibility and implications of breeding sheep for resilience to nematode challenge. Int. J. Parasitol. **26** (8-9): 857-868, http://dx.doi.org/10.1016/S0020-7519(96)80056-7
71]- Bissett, S. A., Vlassoff, A., McMurtry, L. W., Elliott, D. C., Cobb, R. M., Kieran, P. J. et Wood, I. B. (**1992).** An evaluation of an oral formulation of moxidectin against selected anthelmintic-resistant and -susceptible strains of nematodes in lambs. N. Z. Vet. J. **40** (3): 97-100, http://dx.doi.org/10.1080/00480169.1992.35708
72]- Blaes, J.-L., Mandonnet, N., Arquet, R. et Mahieu, M. (**2010**). A long term experiment of integrated control of nematode parasitism in Creole goats - Proceedings of the SAPT2010 conference -. Advances in Animal Biosciences, **1**: 413-414 http://dx.doi.org/10.1017/S2040470010000403
73]- Blitz, N. M. et Gibbs, H. C. (**1972a).** Studies on the arrested development of *Haemonchus contortus* in sheep—I. The induction of arrested development. Int. J. Parasitol. **2** (1): 5-12, http://dx.doi.org/10.1016/0020-7519(72)90028-8

74]- Blitz, N. M. et Gibbs, H. C. (**1972b).** Studies on the arrested development of *Haemonchus contortus* in sheep—II. Termination of arrested development and the spring rise phenomenon. Int. J. Parasitol. **2** (1): 13-22, http://dx.doi.org/10.1016/0020-7519(72)90029-X
75]- Boag, B., Topham, P. B. et Webster, R. (**1989).** Spatial distribution on pasture of infective larvae of the gastro-intestinal nematode parasites of sheep. Int. J. Parasitol. **19** (6): 681-685, http://dx.doi.org/10.1016/0020-7519(89)90047-7
76]- Boissy, A. et Dumont, B. (**2002).** Interactions between social and feeding motivations on the grazing behaviour of herbivores: sheep more easily split into subgroups with familiar peers. Appl. Anim. Behav. Sci. **79** (3): 233-245, http://dx.doi.org/10.1016/S0168-1591(02)00152-1
77]- Bonfoh, B., Zinsstag, J., Ankers, P., Pangui, L. J. et Pfister, K. (**1995).** Epidemiology of gastrointestinal nematodes in small ruminants in the plateaux region of Togo. [French]. Revue Elev. Méd. vét. Pays trop. **48** (4): 321-326, http://remvt.cirad.fr/cd/EMVT95_4.PDF
78]- Boomker, J. et Horak, I. G. (**1992).** Parasites of South African wildlife. XIII. Helminths of grey rhebuck, *Pelea capreolus*, and of bontebok, *Damaliscus dorcas dorcas*, in the Bontebok National Park. Onderstepoort J. Vet. Res. **59** (3): 175-182
79]- Borgers, M., De Nollin, S., De Brabander, M. et Thienpont, D. (**1975).** Influence of the anthelmintic mebendazole on microtubules and intracellular organelle movement in nematode intestinal cells. Am. J. Vet. Res. **36** (08): 1153-1166, http://europepmc.org/abstract/med/1171646
80]- Borgsteede, F. H. M. et Duyn, S. P. J. (**1989).** Lack of reversion of a benzimidazole resistant strain of *Haemonchus contortus* after six years of levamisole usage. Res. Vet. Sci. **47** (2): 270-272, http://europepmc.org/abstract/med/2799086
81]- Bowdridge, S., MacKinnon, K., McCann, J. C., Zajac, A. M. et Notter, D. R. (**2013).** Hair-type sheep generate an accelerated and longer-lived humoral immune response to *Haemonchus contortus* infection. Vet. Parasitol. **196** (1–2): 172-178, http://dx.doi.org/10.1016/j.vetpar.2013.01.008
82]- Brelin, B. (**1979).** Mixed grazing with sheep and cattle compared with single grazing. Swed. J. Agric. Res. **9** (3): 113-120
83]- Bricarello, P. A., Amarante, A. F. T., Rocha, R. A., Cabral Filho, S. L., Huntley, J. F., Houdijk, J. G. M., Abdalla, A. L. et Gennari, S. M. (**2005).** Influence of dietary protein supply on resistance to experimental infections with *Haemonchus contortus* in Ile de France and Santa Ines lambs. Vet. Parasitol. **134** (1-2): 99-109, http://dx.doi.org/10.1016/j.vetpar.2005.05.068
84]- Brito, D. R. B., Santos, A. C. G., Teixeira, W. C. et Guerra, R. d. M. S. N. d. C. (**2009).** Gastrointestinal parasites in goats and sheeps from Alto Mearim and Grajau microregion, state of Maranhao, Brazil. Ciencia Animal Brasileira **10** (3): 967-974, http://www.revistas.ufg.br/index.php/vet/article/view/5444
85]- Broughan, J. M. et Wall, R. (**2007).** Faecal soiling and gastrointestinal helminth infection in lambs. Int. J. Parasitol. **37** (11): 1255-1268, http://dx.doi.org/10.1016/j.ijpara.2007.03.009
86]- Brunet, S., Fourquaux, I. et Hoste, H. (**2011).** Ultrastructural changes in the third-stage, infective larvae of ruminant nematodes treated with sainfoin (*Onobrychis viciifolia*) extract. Parasitol. Int. **60** (4): 419-424, http://dx.doi.org/10.1016/j.parint.2010.09.011
87]- Brunsdon, R. V. (**1965**). Internal parasites and sheep production. Proceedings of the Ruakura Farmers' Conference Week: 43-57.
88]- Brunsdon, R. V. (**1966).** Further studies of the effect of infestation by nematodes of the family trichostrongylidae in sheep : An evaluation of a strategic drenching programme. N. Z. Vet. J. **14** (7): 77-83, http://dx.doi.org/10.1080/00480169.1966.33639
89]- Brunsdon, R. V. (**1980).** Principles of helminth control. Vet. Parasitol. **6** (1–3): 185-215, http://dx.doi.org/10.1016/0304-4017(80)90043-6
90]- Brunsdon, R. V. et Vlassoff, A. (**1985).** Long-term parasitological consequences and production responses in ewes and lambs after a single post-parturient anthelmintic treatment of ewes. New Zealand Journal of Experimental Agriculture **13** (2): 135-140, http://dx.doi.org/10.1080/03015521.1985.10426071
91]- Bryan, R. P. (**1973).** The effects of dung beetle activity on the numbers of parasitic gastrointestinal helminth larvae recovered from pasture samples. Aust. J. Agric. Res. **24** (1): 161-168, http://dx.doi.org/10.1071/ar9730161
92]- Bryan, R. P. (**1976).** Effect of dung beetle, *Onthophagus gazella*, on ecology of infective larvae of gastrointestinal nematodes of cattle. Aust. J. Agric. Res. **27** (4): 567-574, http://dx.doi.org/10.1071/ar9760567
93]- Bryan, R. P. et Kerr, J. D. (**1989).** Factors affecting the survival and migration of the free-living stages of gastrointestinal nematode parasites of cattle in central Queensland. Vet. Parasitol. **30** (4): 315-326, http://dx.doi.org/10.1016/0304-4017(89)90101-5
94]- Bucknell, D. G., Gasser, R. B. et Beveridge, I. (**1995).** The prevalence and epidemiology of gastrointestinal parasites of horses in Victoria, Australia. Int. J. Parasitol. **25** (6): 711-724, http://dx.doi.org/10.1016/0020-7519(94)00214-9

95]- Burke, J. M., Miller, J. E., Olcott, D. D., Olcott, B. M. et Terrill, T. H. (**2004).** Effect of copper oxide wire particles dosage and feed supplement level on *Haemonchus contortus* infection in lambs. Vet. Parasitol. **123** (3-4): 235-243, http://dx.doi.org/10.1016/j.vetpar.2004.06.009

96]- Burke, J. M., Miller, J. E. et Brauer, D. K. (**2005a).** The effectiveness of copper oxide wire particles as an anthelmintic in pregnant ewes and safety to offspring. Vet. Parasitol. **131** (3-4): 291-297, http://dx.doi.org/10.1016/j.vetpar.2005.05.009

97]- Burke, J. M., Miller, J. E., Larsen, M. et Terrill, T. H. (**2005b).** Interaction between copper oxide wire particles and *Duddingtonia flagrans* in lambs. Vet. Parasitol. **134** (1-2): 141-146, http://dx.doi.org/10.1016/j.vetpar.2005.06.018

98]- Burke, J. M. et Miller, J. E. (**2006a).** Evaluation of multiple low doses of copper oxide wire particles compared with levamisole for control of *Haemonchus contortus* in lambs. Vet. Parasitol. **139** (1-3): 145-149, http://dx.doi.org/10.1016/j.vetpar.2006.02.030

99]- Burke, J. M. et Miller, J. E. (**2006b).** Control of *Haemonchus contortus* in goats with a sustained-release multi-trace element/vitamin ruminal bolus containing copper. Vet. Parasitol. **141** (1-2): 132-137, http://dx.doi.org/10.1016/j.vetpar.2006.04.014

100]- Burke, J. M., Morrical, D. et Miller, J. E. (**2007a).** Control of gastrointestinal nematodes with copper oxide wire particles in a flock of lactating Polypay ewes and offspring in Iowa, USA. Vet. Parasitol. **146** (3-4): 372-375, http://dx.doi.org/10.1016/j.vetpar.2007.03.013

101]- Burke, J. M., Terrill, T. H., Kallu, R. R., Miller, J. E. et Mosjidis, J. (**2007b).** Use of copper oxide wire particles to control gastrointestinal nematodes in goats. J. Anim. Sci. **85** (10): 2753-2761, http://www.journalofanimalscience.org/content/85/10/2753

102]- Burke, J. M. et Miller, J. E. (**2008).** Dietary copper sulfate for control of gastrointestinal nematodes in goats. Vet. Parasitol. **154** (3/4): 289-293, http://dx.doi.org/10.1016/j.vetpar.2008.03.010

103]- Burke, J. M., Orlik, S., Miller, J. E., Terrill, T. H. et Mosjidis, J. A. (**2010a).** Using copper oxide wire particles or sericea lespedeza to prevent peri-parturient gastrointestinal nematode infection in sheep and goats. Livest. Sci. **132** (1-3): 13-18, http://dx.doi.org/10.1016/j.livsci.2010.04.015

104]- Burke, J. M., Soli, F., Miller, J. E., Terrill, T. H., Wildeus, S., Shaik, S. A., Getz, W. R. et Vanguru, M. (**2010b).** Administration of copper oxide wire particles in a capsule or feed for gastrointestinal nematode control in goats. Vet. Parasitol. **168**: 346-350, http://dx.doi.org/10.1016/j.vetpar.2009.10.027

105]- Buxton, S. K., Charvet, C. L., Neveu, C., Cabaret, J., Cortet, J., Peineau, N., Abongwa, M., Courtot, E., Robertson, A. P. et Martin, R. J. (**2014).** Investigation of acetylcholine receptor diversity in a nematode parasite leads to characterization of tribendimidine- and derquantel-sensitive nAChRs. PLoS Pathog. **10** (1): e1003870, http://dx.doi.org/10.1371/journal.ppat.1003870

106]- Cabaret, J. (**2004).** Parasitisme helminthique en élevage biologique ovin : réalités et moyens de contrôle. INRA Prod. Anim. **17** (2): 145-154, http://www6.inra.fr/productions-animales/content/download/3651/37660/version/1/file/Prod_Anim_2004_17_2_06.pdf

107]- Campbell, H. (**1893).** Intestinal Parasites Belonging to the Class Nematoda: Abstract of Three Lectures delivered at the Royal College of Surgeons on February 20th, 22nd, and 24th. Br. Med. J. **1** (1679): 484, http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2402773/pdf/brmedj08916-0036.pdf

108]- Camus, E. (**1991).** La cowdriose caprine et ovine en Guadeloupe. Revue d'Elevage et de Médecine Vétérinaire des Pays Tropicaux **n° spécial** 139-143, http://remvt.cirad.fr/cd/EMVT91_S.PDF

109]- Chandrawathani, P., Jamnah, O., Waller, P. J., Larsen, M., Gillespie, A. T. et Zahari, W. M. (**2003).** Biological control of nematode parasites of small ruminants in Malaysia using the nematophagous fungus *Duddingtonia flagrans*. Vet. Parasitol. **117**: 173-183, http://dx.doi.org/10.1016/j.vetpar.2003.08.005

110]- Chandrawathani, P., Jamnah, O., Adnan, M., Waller, P. J., Larsen, M. et Gillespie, A. T. (**2004).** Field studies on the biological control of nematode parasites of sheep in the tropics, using the microfungus *Duddingtonia flagrans*. Vet. Parasitol. **120** (3): 177-187, http://dx.doi.org/10.1016/j.vetpar.2003.12.014

111]- Chartier, C., Pors, I., Hubert, J., Rocheteau, D., Benoit, C. et Bernard, N. (**1998).** Prevalence of anthelmintic resistant nematodes in sheep and goats in Western France. Small Ruminant Res. **29** (1): 33-41, http://dx.doi.org/10.1016/S0921-4488(97)00116-8

112]- Chartier, C., Etter, E., Hoste, H., Pors, I., Koch, C. et Dellac, B. (**2000).** Efficacy of copper oxide needles for the control of nematode parasites in dairy goats. Vet. Res. Commun. **24** (6): 389-399, http://dx.doi.org/10.1023/A:1006474217064

113]- Chartier, C. et Pors, I. (**2003).** Effect of the nematophagous fungus, *Duddingtonia flagrans*, on the larval development of goat parasitic nematodes: a plot study. Vet. Res. **34** (2): 221-230, http://dx.doi.org/10.1051/vetres:2002069

114]- Chartier, C. et Paraud, C. (**2012).** Coccidiosis due to *Eimeria* in sheep and goats, a review. Small Ruminant Res. **103** (1): 84-92, http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921448811004366

115]- Cheah, T. S. et Rajamanickam, C. (**1997).** Epidemiology of gastro-intestinal nematodes of sheep in wet tropical conditions in Malaysia. Trop. Anim. Health Prod. **29** (3): 165-173, http://dx.doi.org/10.1007/BF02633015
116]- Chiejina, S. N. et Behnke, J. M. (**2011).** The unique resistance and resilience of the Nigerian West African Dwarf goat to gastrointestinal nematode infections. Parasites & Vectors **4**: 4-12, http://dx.doi.org/10.1186/1756-3305-4-12
117]- Christodoulou, V., Bampidis, V. A., Israilides, C. J., Robinson, P. H., Giouzelyiannis, A. et Vlyssides, A. (**2008).** Nutritional value of fermented olive wastes in growing lamb rations. Anim. Feed Sci. Technol. **141** (3-4): 375-383, http://dx.doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2007.06.026
118]- Coles, G. C., Bauer, C., Borgsteede, F. H. M., Geerts, S., Klei, T. R., Taylor, M. A. et Waller, P. J. (**1992).** World Association for the Advancement of Veterinary Parasitology (W.A.A.V.P.) methods for the detection of anthelmintic resistance in nematodes of veterinary importance. Vet. Parasitol. **44** (1-2): 35-44, http://dx.doi.org/10.1016/0304-4017(92)90141-U
119]- Coles, G. C., Jackson, F., Pomroy, W. E., Prichard, R. K., von Samson-Himmelstjerna, G., Silvestre, A., Taylor, M. A. et Vercruysse, J. (**2006).** The detection of anthelmintic resistance in nematodes of veterinary importance. Vet. Parasitol. **136** (3-4): 167-185, http://dx.doi.org/10.1016/j.vetpar.2005.11.019
120]- Colglazier, M., Kates, K. et Enzie, F. (**1971**). Activity of levamisole, pyrantel tartrate, and rafoxanide against two thiabendazoletolerant isolates of *Haemonchus contortus*, and two species of *Trichostrongylus*, in sheep. Proc. Helm. Soc. Wash, **38**: 203-205 http://bionames.org/bionames-archive/issn/0018-0130/38/203.pdf
121]- Colglazier, M. L., Kates, K. C. et Enzie, F. D. (**1974).** Cambendazole-resistant *Haemonchus contortus* strain in sheep: further experimental development. J. Parasitol. **60** (2): 289-292, http://dx.doi.org/10.2307/3278467
122]- Collier, H. B., Allen, D. E. et Swales, W. E. (**1943).** Observations on the fate of phenothiazine in domestic animals. Can. J. Res. **21d** (6): 151-159, http://dx.doi.org/10.1139/cjr43d-011
123]- Coop, R. L. et Kyriazakis, I. (**1999).** Nutrition-parasite interaction. Vet. Parasitol. **84** (3-4): 187-204, http://dx.doi.org/10.1016/S0304-4017(99)00070-9
124]- Cornwell, R. (**1966).** Controlled laboratory trials in sheep with the anthelmintic pyrantel tartrate. Vet. Rec. **79** (21): 590-595, http://dx.doi.org/10.1136/vr.79.21.590
125]- Courtney, C. H., Parker, C. F., McClure, K. E. et Herd, R. P. (**1983).** Population dynamics of *Haemonchus contortus* and *Trichostrongylus* spp. in sheep. Int. J. Parasitol. **13** (6): 557-560, http://dx.doi.org/10.1016/S0020-7519(83)80027-7
126]- Courtney, C. H., Parker, C. F., McClure, K. E. et Herd, R. P. (**1984).** A comparison of the periparturient rise in fecal egg counts of exotic and domestic ewes. Int. J. Parasitol. **14** (4): 377-381, http://dx.doi.org/10.1016/0020-7519(84)90092-4
127]- Craig, T. M., Hatfield, T. A., Pankavich, J. A. et Wang, G. T. (**1992).** Efficacy of moxidectin against an ivermectin-resistant strain of *Haemonchus contortus* in sheep. Vet. Parasitol. **41** (3-4): 329-333, http://dx.doi.org/10.1016/0304-4017(92)90090-V
128]- Cringoli, G., Rinaldi, L., Veneziano, V., Mezzino, L., Vercruysse, J. et Jackson, F. (**2009).** Evaluation of targeted selective treatments in sheep in Italy: effects on faecal worm egg count and milk production in four case studies. Vet. Parasitol. **164** (1): 36-43, http://dx.doi.org/10.1016/j.vetpar.2009.04.010
129]- Cruz, P., Alexandre, G. et Baudot, H. (**1989**). Cinétique de la croissance foliaire et stolonifere d'un peuplement de *Digitaria decumbens* au cours de la repousse. XVI International Grassland Congress, Nice, France, **1**: 499-500
130]- Csuzdi, C. S. et Pavlíček, T. (**2009).** New records of earthworms from Guadeloupe with description of a new species (Oligochaeta: Glossoscolecidae, Acanthodrilidae, Megascolecidae and Eudrilidae). Opusc. Zool. Budapest **40** (1): 9-15
131]- d'Alexis, S., Loranger-Merciris, G., Mahieu, M. et Boval, M. (**2009).** Influence of earthworms on development of the free-living stages of gastrointestinal nematodes in goat faeces. Vet. Parasitol. **163** (1/2): 171-174, http://dx.doi.org/10.1016/j.vetpar.2009.03.056
132]- Dash, K. M. (**1973).** The life cycle of *Oesophagostomum columbianum* (Curtice, 1890) in sheep. Int. J. Parasitol. **3** (No.6): 843-851, http://dx.doi.org/10.1016/0020-7519(73)90075-1
133]- Dash, K. M. (**1982).** The origin of *Oesophagostomum columbianum*. Int. J. Parasitol. **12** (1): 15-16, http://dx.doi.org/10.1016/0020-7519(82)90088-1
134]- Daubney, R. (**1930).** Miscellaneous Experiments with Anthelminthics, Chiefly Alkyl-Chlorides, in the Treatment of Nematode Infestations of Sheep. Vet. J. **86** (1): 5-30., http://www.cabdirect.org/abstracts/19306300223.html

135]- Davila, A. M. R., Ramirez, L. et Silva, R. A. M. S. (**1998).** Trypanosoma vivax in the Americas: morphometry and host range. Revue Elev. Méd. vét. Pays trop. **51** (1): 29-35, http://remvt.cirad.fr/cd/EMVT98_1.PDF
136]- de la Chevrotiere, C., Bishop, S. C., Arquet, R., Bambou, J. C., Schibler, L., Amigues, Y., Moreno, C. et Mandonnet, N. (**2012).** Detection of quantitative trait loci for resistance to gastrointestinal nematode infections in Creole goats. Anim. Genet. **43** (6): 768-775, http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2052.2012.02341.x
137]- 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, Doctorat, Université Antilles-Guyane: 162 pages
138]- De la Chevrotière, C., Bambou, J.-C., Arquet, R., Jacquiet, P. et Mandonnet, N. (**2012).** Genetic analysis of the potential role of IgA and IgE responses against Haemonchus contortus in parasite resistance of Creole goats. Vet. Parasitol. **186** (3–4): 337-343, http://dx.doi.org/10.1016/j.vetpar.2011.11.071
139]- Debouche, C. (**1979).** Présentation coordonnée de différents modèles de croissance. Revue de Statistique Appliquée **27** (4): 5-22, http://archive.numdam.org/ARCHIVE/RSA/RSA_1979__27_4/RSA_1979__27_4_5_0/RSA_1979__27_4_5_0.pdf
140]- Decaens, T., Jimenez, J. J., Barros, E., Chauvel, A., Blanchart, E., Fragoso, C. et Lavelle, P. (**2004).** Soil macrofaunal communities in permanent pastures derived from tropical forest or savanna. Agric. Ecosyst. Environ. **103** (2): 301-312, http://dx.doi.org/10.1016/j.agee.2003.12.005
141]- Dell, T. R., Robertson, J. L. et Haverty, M. I. (**1983).** Estimation of Cumulative Change of State with the Weibull Function. Bulletin of the ESA **29** (4): 38-40, http://www.ingentaconnect.com/content/esa/besa/1983/00000029/00000004/art00010
142]- Dhanalakshmi, H., Jagannath, M. S. et D'Souza, P. E. (**2001).** Gastro-intestinal parasitic infections in sheep at different farms of Karnataka. Journal of Veterinary Parasitology **15** (2):
143]- Diehl, M. S., Atindehou, K. K., Tere, H. et Betschart, B. (**2004).** Prospect for anthelminthic plants in the Ivory Coast using ethnobotanical criteria. J. Ethnopharmacol. **95** (2/3): http://dx.doi.org/10.1016/j.jep.2004.07.012
144]- Dineen, J. K. et Windon, R. G. (**1980).** The effect of sire selection on the response of lambs to vaccination with irradiated *Trichostrongylus colubriformis* larvae. Int. J. Parasitol. **10** (3): 189-196, http://dx.doi.org/10.1016/0020-7519(80)90048-X
145]- Donald, A. D., Morley, F. H. W., Axelsen, A., Donnelly, J. R. et Waller, P. J. (**1987**). Integration of grazing management and anthelmintic treatment for the control of nematode infections in young sheep *in* Temperate pastures: their production, use and management, Ed. Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization, East Melbourne, Victoria, Australia: 567-569
146]- Dorchies, P., Nicolas, J., Gevrey, J. et Mage, C. (**1990).** Vermifugation du mouton: prévenir les risques d'apparition des chimiorésistances. Rev. Med. Vet. **141** (5): 379-381
147]- Drudge, J. H., Leland, S. E., Jr. et Wyant, Z. N. (**1957).** Strain variation in the response of sheep nematodes to the action of phenothiazine. II. Studies on pure infections of *Haemonchus contortus*. Am. J. Vet. Res. **18** (67): 317-25, http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/13424923
148]- Duarte, J. M. B., González, S. et Maldonado, J. E. (**2008).** The surprising evolutionary history of South American deer. Mol. Phylogenet. Evol. **49** (1): 17-22, http://dx.doi.org/10.1016/j.ympev.2008.07.009
149]- Eady, S. J., Woolaston, R. R. et Barger, I. A. (**2003).** Comparison of genetic and nongenetic strategies for control of gastrointestinal nematodes of sheep. Livest. Prod. Sci. **81** (1): 11-23, http://dx.doi.org/10.1016/S0301-6226(02)00197-5
150]- Edwards, C. A., Dominguez, J. et Neuhauser, E. F. (**1998).** Growth and reproduction of *Perionyx excavatus* (Perr.) (Megascolecidae) as factors in organic waste management. Biol. Fertil. Soils **27** (2): 155-161, http://dx.doi.org/10.1007/s003740050414
151]- Edwards, G. R., Newman, J. A., Parsons, A. J. et Krebs, J. R. (**1996).** The use of spatial memory by grazing animals to locate food patches in spatially heterogeneous environments: An example with sheep. Appl. Anim. Behav. Sci. **50** (2): 147-160, http://dx.doi.org/10.1016/0168-1591(96)01077-5
152]- Eguale, T., Tilahun, G., Debella, A., Feleke, A. et Makonnen, E. (**2007).** In vitro and in vivo anthelmintic activity of crude extracts of *Coriandrum sativum* against *Haemonchus contortus*. J. Ethnopharmacol. **110** (3): 428-433, http://dx.doi.org/10.1016/j.jep.2006.10.003
153]- Emerick, R. J., Bemrick, W. J., Pope, A. L., Hoekstra, W. G. et Phillips, P. H. (**1957).** The Effect of Mineral and Phenothiazine Supplementation on the Resistance of Grazing Lambs to *Haemonchus Contortus* Infection. J. Anim. Sci. **16** (4): 937-942, http://www.journalofanimalscience.org/content/16/4/937.abstract

154]- Epe, C., Holst, C., Koopmann, R., Schnieder, T., Larsen, M. et von Samson-Himmelstjerna, G. (**2009).** Experiences with *Duddingtonia flagrans* administration to parasitized small ruminants. Vet. Parasitol. **159** (1): 86-90, http://dx.doi.org/10.1016/j.vetpar.2008.09.026
155]- Esterre, P. (**1985).** Epidémiologie des parasitoses digestives des bovins en Guadeloupe. Revue d'Elevage et de Medecine Veterinaire des Pays Tropicaux **38** (1): 54-63, http://remvt.cirad.fr/cd/EMVT85_1.PDF
156]- Esterre, P. et Maitre, M. J. (**1985).** Les affections parasitaires des ruminants en Guadeloupe. Revue d'Elevage et de Medecine Veterinaire des Pays Tropicaux **38** (1): 49-53, http://remvt.cirad.fr/cd/EMVT85_1.PDF
157]- Etter, E., Chartier, C., Hoste, H., Pors, I., Bouquet, W., Lefrileux, Y. et Borgida, L. P. (**1999).** The influence of nutrition on the periparturient rise in fecal egg counts in dairy goats: results from a two-year study. Rev. Med. Vet. **150** (12): 975-980, http://www.revmedvet.com/1999/RMV150_975_980.pdf
158]- Euzeby, j. et Graber, M. (**1973).** Enquête parasitologique en Guadeloupe. Bulletin Soc. Patho. Exot. **66** (4): 558-567
159]- Euzeby, J. et Gevrey, J. (**1979).** Anthelmintic prophylactic programme for sheep on non-irrigated or artificially irrigated pasture. [French]. Rev. Med. Vet. **130** (8/9): 1149-1160,
160]- Eysker, M. (**1982).** Effect of anthelmintic treatment of ewes at parturition and lambs at weaning on the build up of *Haemonchus contortus* populations in lambs in the Netherlands. Res. Vet. Sci. **33** (1): 113-117, http://europepmc.org/abstract/MED/7134638
161]- Eysker, M. (**1997).** Some aspects of inhibited development of trichostrongylids in ruminants. Vet. Parasitol. **72** (3-4): 265-272, http://dx.doi.org/10.1016/s0304-4017(97)00101-5
162]- Eysker, M., Bakker, N., van der Hall, Y. A., van Hecke, I., Kooyman, F. N. J., Van der Linden, D., Schrama, C. et Ploeger, H. W. (**2006).** The impact of daily *Duddingtonia flagrans* application to lactating ewes on gastrointestinal nematodes infections in their lambs in the Netherlands. Vet. Parasitol. **141** (1-2): 91-100, http://dx.doi.org/10.1016/j.vetpar.2006.05.005
163]- Ezenwa, V. O. (**2003).** Habitat overlap and gastrointestinal parasitism in sympatric African bovids. Parasitology **126**: 379-388, http://dx.doi.org/10.1017/S0031182002002913
164]- Ezenwa, V. O. (**2004a).** Selective defecation and selective foraging: Antiparasite behavior in wild ungulates? Ethology **110** (11): 851-862, http://dx.doi.org/10.1111/j.1439-0310.2004.01013.x
165]- Ezenwa, V. O. (**2004b).** Host social behavior and parasitic infection: a multifactorial approach. Behav. Ecol. **15** (3): 446-454, http://dx.doi.org/10.1093/beheco/arh028
166]- Ezenwa, V. O., Price, S. A., Altizer, S., Vitone, N. D. et Cook, K. C. (**2006).** Host traits and parasite species richness in even and odd-toed hoofed mammals, Artiodactyla and Perissodactyla. Oikos **115** (3): 526-536, http://dx.doi.org/10.1111/j.2006.0030-1299.15186.x
167]- Ezenwa, V. O. et Jolles, A. E. (**2008).** Horns honestly advertise parasite infection in male and female African buffalo. Anim. Behav. **75**: 2013-2021, http://dx.doi.org/10.1016/j.anbehav.2007.12.013
168]- Ezenwa, V. O., Etienne, R. S., Luikart, G., Beja-Pereira, A. et Jolles, A. E. (**2010).** Hidden Consequences of Living in a Wormy World: Nematode-Induced Immune Suppression Facilitates Tuberculosis Invasion in African Buffalo. Am. Nat. **176** (5): 613-624, http://dx.doi.org/10.1086/656496
169]- Fabiyi, J. P. (**1987).** Production losses and control of helminths in ruminants of tropical regions. Int. J. Parasitol. **17** (2): 435-442, http://dx.doi.org/10.1016/0020-7519(87)90119-6
170]- Faessler, H., Torgerson, P. R. et Hertzberg, H. (**2007).** Failure of *Duddingtonia flagrans* to reduce gastrointestinal nematode infections in dairy ewes. Vet. Parasitol. **147** (1-2): 96-102, http://dx.doi.org/10.1016/j.vetpar.2007.03.025
171]- Falbo, M., Soccol, V., Sandini, I., Vicente, V., Robl, D. et Soccol, C. (**2013).** Isolation and characterization of the nematophagous fungus *Arthrobotrys conoides*. Parasitol. Res. **112** (1): 177-185, http://dx.doi.org/10.1007/s00436-012-3123-3
172]- Fanchone, A., Archimède, H., Baumont, R. et Boval, M. (**2010).** Intake and digestibility of fresh grass fed to sheep indoors or at pasture, at two herbage allowances. Anim. Feed Sci. Technol. **157** (3/4): 151-158, http://dx.doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2010.03.002
173]- Favreau-Peigne, A., Baumont, R. et Ginane, C. (**2013).** Food sensory characteristics: their unconsidered roles in the feeding behaviour of domestic ruminants. Animal **7** (5): 806-813, http://dx.doi.org/10.1017/S1751731112002145
174]- Faye, D., Osaer, S., Goossens, B., Winghem, J. v., Dorny, P., Lejon, V., Losson, B. et Geerts, S. (**2002).** Susceptibility of trypanotolerant West African Dwarf goats and F1 crosses with the susceptible Sahelian breed to experimental *Trypanosoma congolense* infection and interactions with helminth infections and different levels of diet. Vet. Parasitol. **108** (2): 117-136, http://dx.doi.org/10.1016/S0304-4017(02)00184-X
175]- Febles, G. et Padilla, C. (**1972).** Effect of grazing on associations of graminae and tropical legumes. Revista Cubana de Ciencia Agricola **6** (3): 385-390

176]- Fleming, M. W. (**1988).** Size of inoculum dose regulates in part worm burdens, fecundity, and lengths in ovine *Haemonchus contortus* infections. J. Parasitol. **74** (6): 975-978, http://dx.doi.org/10.2307/3282218
177]- Fleming, M. W. et Conrad, S. D. (**1989).** Effects of exogenous progesterone and/or prolactin on *Haemonchus contortus* infections in ovariectomized ewes. Vet. Parasitol. **34** (1-2): 57-62, http://dx.doi.org/10.1016/0304-4017(89)90164-7
178]- Fontenot, M. E., Miller, J. E., Pena, M. T., Larsen, M. et Gillespie, A. (**2003).** Efficiency of feeding *Duddingtonia flagrans* chlamydospores to grazing ewes on reducing availability of parasitic nematode larvae on pasture. Vet. Parasitol. **118** (3-4): 203-213, http://dx.doi.org/10.1016/j.vetpar.2003.10.017
179]- Furusho-Garcia, I. F., Perez, J. R. O., Bonagurio, S., Assis, R. D., Pedreira, B. C. E. et de Souza, X. R. (**2004).** Desempenho de cordeiros Santa Inês puros e cruzas Santa Inês com Texel, Ile de France e Bergamácia. Rev. Bras. Zootec. **33** (6): 1591-1603, http://dx.doi.org/10.1590/s1516-35982004000600027
180]- Gaba, S., Ginot, V. et Cabaret, J. (**2005).** Modelling macroparasite aggregation using a nematode-sheep system: the Weibull distribution as an alternative to the Negative Binomial distribution? Parasitology **131**: 393-401, http://dx.doi.org/10.1017/S003118200500764X
181]- Gaba, S., Cabaret, J., Chylinski, C., Sauvé, C., Cortet, J. et Silvestre, A. (**2012).** Can efficient management of sheep gastro-intestinal nematodes be based on random treatment? Vet. Parasitol. **190** (1–2): 178-184, http://dx.doi.org/10.1016/j.vetpar.2012.06.011
182]- Galindo-Barboza, A. J., Torres-Acosta, J. F. J., Camara-Sarmiento, R., Sandoval-Castro, C. A., Aguilar-Caballero, A. J., Ojeda-Robertos, N. F., Reyes-Ramirez, R. et Espana-Espana, E. (**2011).** Persistence of the efficacy of copper oxide wire particles against *Haemonchus contortus* in sheep. Vet. Parasitol. **176** (2-3): 201-207, http://dx.doi.org/10.1016/j.vetpar.2010.11.012
183]- Garcia, R. et Valcarcel, F. (**1999).** Epidemiology of gastrointestinal nematodiasis in wild rabbits (*Oryctolagus cuniculus*) from central Spain. Gibier Faune Sauvage **16** (2): 159-169,
184]- Garduno, R. G., Perez, C. C., Hernandez, G. T., de Gives, P. M. et Garcia, J. A. (**2011).** Prevalence of gastrointestinal parasites in slaughtered sheep at a slaughterhouse in Tabasco, Mexico. Vet. Mex. **42** (2): 125-135, http://www.medigraphic.com/pdfs/vetmex/vm-2011/vm112c.pdf
185]- Gatongi, P. M., Njoroge, J. M., Scott, M. E., Ranjan, S., Gathuma, J. M., Munyua, W. K., Cheruiyot, H. et Prichard, R. K. (**2003).** Susceptibility to IVM in a field strain of *Haemonchus contortus* subjected to four treatments in a closed sheep-goat flock in Kenya. Vet. Parasitol. **110** (3-4): 235-240, http://dx.doi.org/10.1016/S0304-4017(02)00318-7
186]- Gauly, M., Kraus, M., Vervelde, L., Leeuwen, M. A. W. et Erhardt, G. (**2002).** Estimating genetic differences in natural resistance in Rhon and Merinoland sheep following experimental *Haemonchus contortus* infection. Vet. Parasitol. **106** (1): 55-67, http://dx.doi.org/10.1016/S0304-4017(02)00028-6
187]- Gibbs, H. et Pullin, J. (**1963).** Critical tests on thiabendazole as an anthelmintic in sheep. Can. J. Comp. Med. Vet. Sci. **27** (1): 3, http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1583604/
188]- Gibbs, H. C. et Barger, I. A. (**1986).** *Haemonchus contortus* and other trichostrongylid infections in parturient, lactating and dry ewes. Vet. Parasitol. **22** (1/2): 57-66, http://dx.doi.org/10.1016/0304-4017(86)90007-5
189]- Giles, G. M. (**1892**). On Nodular Disease of the Intestine in Sheep, Ed. Office of the Superintendent of Government Print.
190]- Gill, H. S. (**1991).** Genetic control of acquired resistance to haemonchosis in Merino lambs. Parasite Immunol. **13** (6): 617-628, http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-3024.1991.tb00557.x
191]- Githigia, S. M., Thamsborg, S. M., Larsen, M., Kyvsgaard, N. C. et Nansen, P. (**1997).** The preventive effect of the fungus *Duddingtonia flagrans* on trichostrongyle infections of lambs on pasture. Int. J. Parasitol. **27** (8): 931-939, http://dx.doi.org/10.1016/S0020-7519(97)00065-9
192]- Githiori, J. B., Hoglund, J., Waller, P. J. et Baker, R. L. (**2002).** Anthelmintic activity of preparations derived from *Myrsine africana* and *Rapanea melanophloeos* against the nematode parasite, *Haemonchus contortus*, of sheep. J. Ethnopharmacol. **80** (2/3): 187-191, http://dx.doi.org/10.1016/S0378-8741(02)00030-2
193]- Githiori, J. B., Athanasiadou, S. et Thamsborg, S. M. (**2006).** Use of plants in novel approaches for control of gastrointestinal helminths in livestock with emphasis on small ruminants. Vet. Parasitol. **139** (4): 308-320, http://dx.doi.org/10.1016/j.vetpar.2006.04.021
194]- Giudici, C., Aumont, G., Mahieu, M., Saulai, M. et Cabaret, J. (**1999).** Changes in gastro-intestinal parasites species diversity in lambs under mixed grazing on irrigated pastures in the tropics (French West Indies). Vet. Res. **30**: 573-581, http://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00902597
195]- Gomez-Rincon, C., Uriarte, J. et Valderrabano, J. (**2007).** Effect of nematophagous fungus *Duddingtonia flagrans* and energy supplementation on the epidemiology of naturally infected kids. Vet. Res. **38** (1): 141-150, http://dx.doi.org/10.1051/vetres:2006050

196]- Goncalves, I. G. d. et Echevarria, F. A. M. (**2004).** Use of copper in the control of gastrointestinal nematodes in sheep. Ciencia Rural **34** (1): 183-188, http://dx.doi.org/10.1590/s0103-84782004000100028
197]- Gonzalez, J. F., Hernandez, A., Meeusen, E. N. T., Rodriguez, F., Molina, J. M., Jaber, J. R., Raadsma, H. W. et Piedrafita, D. (**2011).** Fecundity in adult *Haemonchus contortus* parasites is correlated with abomasal tissue eosinophils and gamma delta T cells in resistant Canaria Hair Breed sheep. Vet. Parasitol. **178** (3-4): 286-292, http://dx.doi.org/10.1016/j.vetpar.2011.01.005
198]- Gordon, H. M. et Written, L. (**1940).** A field trial comparing phenothiazine, tetrachlorethylene emulsion, and copper sulphate and nicotine sulphate mixture for the treatment of trichostrongylosis. Journal of the Council for Scientific and Industrial Research. Australia. **13** (2): 81-85, http://www.cabdirect.org/abstracts/19400800097.html
199]- Gordon, H. M. (**1948).** The epidemiology of parasitic diseases, with special reference to studies with nematode parasites of sheep. Aust. Vet. J. **24** (2): 17-45, http://dx.doi.org/10.1111/j.1751-0813.1948.tb01569.x
200]- Gordon, H. M. (**1961).** Thiabendazole: a Highly Effective Anthelmintic for Sheep. Nature **191** (4796): 1409-1410, http://dx.doi.org/10.1038/1911409a0
201]- Gouÿ de Bellocq, J., Ferté, H., Depaquit, J., Justine, J.-L., Tillier, A. et Durette-Desset, M.-C. (**2001).** Phylogeny of the Trichostrongylina (Nematoda) Inferred from 28S rDNA Sequences. Mol. Phylogenet. Evol. **19** (3): 430-442, http://dx.doi.org/10.1006/mpev.2001.0925
202]- Grace, D., Himstedt, H., Sidibe, I., Randolph, T. et Clausen, P. H. (**2007).** Comparing FAMACHA(c) eye color chart and Hemoglobin Color Scale tests for detecting anemia and improving treatment of bovine trypanosomosis in West Africa. Vet. Parasitol. **147** (1-2): 26-39, http://dx.doi.org/10.1016/j.vetpar.2007.03.022
203]- Grade, J. T., Tabuti, J. R. S. et Van Damme, P. (**2009).** Four Footed Pharmacists: Indications of Self-Medicating Livestock in Karamoja, Uganda. Econ. Bot. **63** (1): 29-42, http://dx.doi.org/10.1007/s12231-008-9058-z
204]- Gray, G. D. (**1987).** Genetic resistance to haemonchosis in sheep. Parasitol. Today **3** (8): 253-255, http://dx.doi.org/10.1016/0169-4758(87)90155-4
205]- Greer, A. W., Stankiewicz, M., Jay, N. P., McAnulty, R. W. et Sykes, A. R. (**2005).** The effect of concurrent corticosteroid induced immuno-suppression and infection with the intestinal parasite *Trichostrongylus colubriformis* on food intake and utilization in both immunologically naïve and competent sheep. Anim. Sci. **80**: 89-99, http://researcharchive.lincoln.ac.nz/bitstream/10182/367/1/effect_of_concurrent.pdf
206]- Greer, A. W. (**2008).** Trade-offs and benefits: implications of promoting a strong immunity to gastrointestinal parasites in sheep. Parasite Immunol. (Oxf.) **30** (2): 123-132, http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-3024.2008.00998.x
207]- Gregg, P., Dineen, J. K., Rothwell, T. L. W. et Kelly, J. D. (**1978).** The effect of age on the response of sheep to vaccination with irradiated *Trichostrongylus colubriformis* larvae. Vet. Parasitol. **4** (1): 35-48, http://dx.doi.org/10.1016/0304-4017(78)90034-1
208]- Gregory, P. (**1937).** The possibility of establishing within breeds lines of sheep that are genetically resistant to stomach worms. J. Anim. Sci. **1937** (1): 316-324, http://www.journalofanimalscience.org/content/1937/1/316.full.pdf
209]- Grenfell, B. T., Wilson, K., Isham, V. S., Boyd, H. E. G. et Dietz, K. (**1995).** Modelling patterns of parasite aggregation in natural populations: Trichostrongylid nematode-ruminant interactions as a case study. Parasitology **111 Suppl. S**: S135-S151, http://dx.doi.org/10.1017/CBO9780511629396.014
210]- Grønvold, J. (**1987).** Field Experiment on the Ability of Earthworms (Lumbricidae) to Reduce the Transmission of Infective Larvae of *Cooperia oncophora* (Trichostrongylidae) from Cow Pats to Grass. The Journal of Parasitology **73** (6): 1133-1137, http://dx.doi.org/10.2307/3282293
211]- Gruner, L., Peroux, F. et Aumont, G. (**1983**). Epidemiology of gastro-intestinal parasitosis of kids in an intensive flock in the tropical island of Guadeloupe (French West Indies),. W.A.A.V.P., 10th Int. Conf, Perth (Australia):
212]- Gruner, L., Kerboeuf, D., Beaumont, C. et Hubert, J. (**1986).** Resistance to benzimidazole of *Haemonchus contortus utkalensis* in sheep on Martinique. Vet. Rec. **118** (10): 276
213]- Gruner, L., Aumont, G., Getachew, T., Brunel, J. C., Pery, C., Cognie, Y. et Guerin, Y. (**2003).** Experimental infection of Black Belly and INRA 401 straight and crossbred sheep with trichostrongyle nematode parasites. Vet. Parasitol. **116** (3): 239-249, http://dx.doi.org/10.1016/j.vetpar.2003.07.005
214]- Gulland, F. M. D. (**1992).** The role of nematode parasites in soay sheep (ovis-aries l) mortality during a population crash. Parasitology **105**: 493-503, http://dx.doi.org/10.1017/S0031182000074679

215]- Gunia, M., Phocas, F., Arquet, R., Alexandre, G. et Mandonnet, N. (**2011).** Genetic parameters for body weight, reproduction, and parasite resistance traits in the Creole goat. J. Anim. Sci. **89** (11): 3443-3451, http://dx.doi.org/10.2527/jas.2011-3872
216]- Gunia, M. (**2012**). Conception et optimisation d'un programme de sélection de petits ruminants en milieu tropical : cas du caprin Créole en Guadeloupe, Doctorat, AgroParisTech: 172 pages
217]- Gunia, M., Mandonnet, N., Arquet, R., Alexandre, G., Gourdine, J. L., Naves, M., Angeon, V. et Phocas, F. (**2013a).** Economic values of body weight, reproduction and parasite resistance traits for a Creole goat breeding goal. Animal **7** (1): 22-33, http://dx.doi.org/10.1017/s1751731112001413
218]- Gunia, M., Phocas, F., Gourdine, J. L., Bijma, P. et Mandonnet, N. (**2013b).** Simulated selection responses for breeding programs including resistance and resilience to parasites in Creole goats. J. Anim. Sci. **91** (2): 572-581, http://www.journalofanimalscience.org/content/91/2/572
219]- Gutierrez-Gil, B., Perez, J., Alvarez, L., Martinez-Valladares, M., de la Fuente, L. F., Bayon, Y., Meana, A., San Primitivo, F., Rojo-Vazquez, F. A. et Arranz, J. J. (**2009).** Quantitative trait loci for resistance to trichostrongylid infection in Spanish Churra sheep. Genetics Selection Evolution **41**: http://dx.doi.org/10.1186/1297-9686-41-46
220]- Hall, C. A., Ritchie, L. et Kelly, J. D. (**1982).** Effect of removing anthelmintic selection pressure on the benzimidazole resistance status of *Haemonchus contortus* and *Trichostrongylus colubriformis* in sheep. Res. Vet. Sci. **33** (1): 54-57, http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=US201302611969
221]- Handayani, S. W. et Gatenby, R. M. (**1988).** Effects of management system, legume feeding and anthelmintic treatment on the performance of lambs in North Sumatra. Trop. Anim. Health Prod. **#20** (2): 122-128, http://dx.doi.org/10.1007/BF02242241
222]- Hatziminaoglou, Y. et Boyazoglu, J. (**2004).** The goat in ancient civilisations: from the Fertile Crescent to the Aegean Sea. Small Ruminant Res. **51** (2): 123-129, http://dx.doi.org/10.1016/j.smallrumres.2003.08.006
223]- Hay, F. S., Niezen, J. H., Leathwick, D. et Skipp, R. A. (**2002).** Nematophagous fungi in pasture: colonisation of sheep faeces and their potential for control of free-living stages of gastro-intestinal nematode parasites of sheep. Aust. J. Exp. Agric. **42** (1): 7-13, http://dx.doi.org/10.1071/EA00106
224]- Hayward, A. D., Nussey, D. H., Wilson, A. J., Berenos, C., Pilkington, J. G., Watt, K. A., Pemberton, J. M. et Graham, A. L. (**2014).** Natural Selection on Individual Variation in Tolerance of Gastrointestinal Nematode Infection. PLoS Biol. **12** (7): e1001917, http://dx.doi.org/10.1371/journal.pbio.1001917
225]- Hebden, S. (**1961).** The anthelmintic activity of thiabendazole (MK 360). Aust. Vet. J. **37** (7): 264-269, http://dx.doi.org/10.1111/j.1751-0813.1961.tb03921.x
226]- Heckendorn, F., Haring, D. A., Maurer, V., Senn, M. et Hertzberg, H. (**2007).** Individual administration of three tanniferous forage plants to lambs artificially infected with *Haemonchus contortus* and *Cooperia curticei*. Vet. Parasitol. **146** (1/2): 123-134, http://dx.doi.org/10.1016/j.vetpar.2007.01.009
227]- Hennessy, D. R., Sangster, N. C., Steel, J. W. et Collins, G. H. (**1993a).** Comparative pharmacokinetic behavior of Albendazole in sheep and goats. Int. J. Parasitol. **23** (3): 321-325, http://dx.doi.org/10.1016/0020-7519(93)90006-K
228]- Hennessy, D. R., Sangster, N. C., Steel, J. W. et Collins, G. H. (**1993b).** Comparative pharmacokinetic disposition of closantel in sheep and goats. J. Vet. Pharmacol. Ther. **16** (3): 254-260, http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2885.1993.tb00172.x
229]- Hennessy, D. R., Sangster, N. C., Steel, J. W. et Collins, G. H. (**1993c).** Comparative kinetic disposition of oxfendazole in sheep and goats before and during infection with *Haemonchus contortus* and *Trichostrongylus colubriformis*. J. Vet. Pharmacol. Ther. **16** (3): 245-353, http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2885.1993.tb00171.x
230]- Herlich, H., Rew, R. S. et Colglazier, M. L. (**1981).** Inheritance of cambendazole resistance in *Haemonchus contortus*. Am. J. Vet. Res. **42** (8): 1342-1344, http://europepmc.org/abstract/MED/7294466
231]- Heuzé, V. et Tran, G. (**2014**). Cassava foliage. Feedipedia, a programme by INRA, CIRAD, AFZ and FAO. http://www.feedipedia.org/node/528 *accédé le: 20/09/2014*
232]- Holmes, J. C. (**1995).** Population regulation - a dynamic complex of interactions. Wildl. Res. **22** (1): 11-19, http://dx.doi.org/10.1071/WR9950011
233]- Horak, F., Chroust, K., Zizlavsky, J. et Zizlavska, S. (**1999).** Study of the possibilities of mixed grazing by cattle and sheep in conditions of the Czech Republic. Livest. Prod. Sci. **61** (2/3): 261-265, http://dx.doi.org/10.1016/S0301-6226(99)00075-5
234]- Horak, I. G. et Louw, J. P. (**1977).** Parasites of domestic and wild animals in South Africa. IV. Helminths in sheep on irrigated pasture on the Transvaal Highveld. Onderstepoort J. Vet. Res. **44** (4): 261-270
235]- Hosking, B. C., Stein, P. A., Mosimann, D., Seewald, W., Strehlau, G. et Kaminsky, R. (**2008).** Dose determination studies for monepantel, an amino-acetonitrile derivative, against fourth stage gastro-intestinal nematode larvae infecting sheep. Vet. Parasitol. **157** (1/2): 72-80, http://dx.doi.org/10.1016/j.vetpar.2008.07.014

236]- Hoskins, W. et Gordon, H. (**1956).** Arthropod resistance to chemicals. Annu. Rev. Entomol. **1** (1): 89-122, http://dx.doi.org/10.1146/annurev.en.01.010156.000513
237]- Hoste, H., Frileux, Y. l., Pommaret, A., Gruner, L., Quackebeke, E. v. et Koch, C. (**1999).** Gastrointestinal strongylosis in a dairy goat flock in south-eastern France. [French]. INRA Prod. Anim. **12** (5): 377-389, http://www6.inra.fr/productions-animales/content/download/4210/43057/version/1/file/Prod_Anim_1999_12_5_04.pdf
238]- Hoste, H., Chartier, C., Lefrileux, Y., Goudeau, C., Broqua, C., Pors, I., Bergeaud, J. P. et Dorchies, P. (**2002a).** Targeted application of anthelmintics to control trichostrongylosis in dairy goats: result from a 2-year survey in farms. Vet. Parasitol. **110** (1/2): 101-108, http://dx.doi.org/10.1016/S0304-4017(02)00307-2
239]- Hoste, H., Frileux, Y. l. et Pommaret, A. (**2002b).** Comparison of selective and systematic treatments to control nematode infection of the digestive tract in dairy goats. Vet. Parasitol. **106** (4): 345-355, http://dx.doi.org/10.1016/S0304-4017(02)00084-5
240]- Hoste, H., Sotiraki, S., Landau, S. Y., Jackson, F. et Beveridge, I. (**2010).** Goat–Nematode interactions: think differently. Trends Parasitol. **26** (8): 376-381, http://dx.doi.org/10.1016/j.pt.2010.04.007
241]- Houdijk, J. G. M., Jessop, N. S. et Kyriazakis, I. (**2001).** Nutrient partitioning between reproductive and immune functions in animals. Proc. Nutr. Soc. **60** (4): 515-525, http://dx.doi.org/10.1079/PNS2001114
242]- Houdijk, J. G. M. (**2008).** Influence of periparturient nutritional demand on resistance to parasites in livestock. Parasite Immunol. (Oxf.) **30** (2): 113-121, http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-3024.2008.00992.x
243]- Houdijk, J. G. M. (**2012).** Differential effects of protein and energy scarcity on resistance to nematode parasites. Small Ruminant Res. **103** (1): 41-49, http://dx.doi.org/10.1016/j.smallrumres.2011.10.017
244]- Hounzangbe-Adote, M. S., Zinsou, F. E., Hounpke, V., Moutairou, K. et Hoste, H. (**2005).** In vivo effects of Fagara leaves on sheep infected with gastrointestinal nematodes. Trop. Anim. Health Prod. **37** (3): 205-214, http://dx.doi.org/10.1023/B:TROP.0000049295.16925.3d
245]- Houzangbe-Adote, M. S. (**2000**). La pharmacopée en médecine vétérinaire au sud du Bénin (cas des ovins et caprins). *in* Des sources du savoir aux médicaments du futur - From the sources of knowledge to the medicines of the future, Ed. Origine des pharmacopées traditionnelles et élaboration des pharmacopées savantes.: 376-379
246]- Howell, J. M., Luginbuhl, J. M., Grice, M. J., Anderson, K. L., Arasu, P. et Flowers, J. R. (**1999).** Control of gastrointestinal parasite larvae of ruminant using nitrogen fertilizer, limestone and sodium hypochlorite solutions. Small Ruminant Res. **32** (3): 197-204, http://dx.doi.org/10.1016/S0921-4488(98)00186-2
247]- Hucker, D. A. et Yong, W. K. (**1986).** Effects of concurrent copper deficiency and gastro-intestinal nematodiasis on circulating copper and protein levels, liver copper and bodyweight in sheep. Vet. Parasitol. **19** (1/2): 67-76, http://dx00doi.org/10.1016/0304-4017(86)90033-6
248]- Huerta, E., Fragoso, C., Barois, I. et Lavelle, P. (**2005).** Enhancement of growth and reproduction of the tropical earthworm *Polypheretima elongata* (Megascolecidae) by addition of *Zea mays* and *Mucuna pruriens* var. utilis litter to the soil. Eur. J. Soil Biol. **41** (1–2): 45-53, http://dx.doi.org/10.1016/j.ejsobi.2005.01.002
249]- Hunt, P. W., Knox, M. R., Le Jambre, L. F., McNally, J. et Anderson, L. J. (**2008).** Genetic and phenotypic differences between isolates of *Haemonchus contortus* in Australia. Int. J. Parasitol. **38** (8–9): 885-900, http://dx.doi.org/10.1016/j.ijpara.2007.11.001
250]- Hutchings, M. R., Judge, J., Gordon, I. J., Athanasiadou, S. et Kyriazakis, I. (**2006).** Use of trade-off theory to advance understanding of herbivore-parasite interactions. Mammal. Rev. **36** (1): 1-16, http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2907.2006.00080.x
251]- Idris, U., Adam, S. E. I. et Tartour, G. (**1984).** The anthelmintic efficacy of d.l. tetramisole against *Haemonchus contortus* infection in goats. Revue Elev. Méd. vét. Pays trop. **37** (2): 165-174, http://remvt.cirad.fr/cd/EMVT84_2.PDF
252]- Irvine, R. J. (**2006).** Parasites and the dynamics of wild mammal populations. Anim. Sci. **82**: 775-781, http://dx.doi.org/10.1017/ASC2006106
253]- Jackson, F. et Miller, J. (**2006).** Alternative approaches to control--Quo vadit? Vet. Parasitol. **139** (4): 371-384, http://dx.doi.org/10.1016/j.vetpar.2006.04.025
254]- Jacquiet, P., Cabaret, J., Thiam, E. et Cheikh, D. (**1998).** Experimental and natural *Haemonchus* spp. cross infections of domestic ruminants in Sahelian West Africa. Ann. N. Y. Acad. Sci. **849**: 465-469, http://dx.doi.org/10.1111/j.1749-6632.1998.tb11098.x
255]- Jasmer, D. P. et McGuire, T. C. (**1991).** Protective immunity to a blood-feeding nematode (*Haemonchus contortus*) induced by parasite gut antigens. Infect. Immun. **59** (12): 4412-4417, http://iai.asm.org/content/59/12/4412

256]- Johnstone, I. L., Coote, B. G. et Smart, K. E. (**1979).** Effects of parasite control in the peri-parturient period on lamb birth weight and liveweight gain. Aust. J. Exp. Agric. Anim. Husb. **19** (99): 414-418,
257]- Jordan, H. E., Phillips, W. A., Morrison, R. D., Doyle, J. J. et McKenzie, K. (**1988).** A 3-year study of continuous mixed grazing of cattle and sheep: parasitism of offspring. Int. J. Parasitol. **18** (6): 779-784, http://dx.doi.org/10.1016/0020-7519(88)90119-1
258]- Juhnke, J., Miller, J., Hall, J. O., Provenza, F. D. et Villalba, J. J. (**2012).** Preference for condensed tannins by sheep in response to challenge infection with *Haemonchus contortus*. Vet. Parasitol. **188** (1–2): 104-114, http://dx.doi.org/10.1016/j.vetpar.2012.02.015
259]- Ka-oud, H. A. et Badawy, E. M. (**1986).** Evaluation of some chemicals and insecticides for the control of *Strongylus* and *Haemonchus* eggs and larvae. Veterinary Medical Journal **34** (2): 159-163
260]- Kabasa, J. D., Opuda-Asibo, J. et ter Meulen, U. (**2000).** The effect of oral administration of polyethylene glycol on faecal helminth egg counts in pregnant goats grazed on browse containing condensed tannins. Trop. Anim. Health Prod. **32** (2): 73-86, http://dx.doi.org/10.1023/A:1005274502184
261]- Kahn, L. P., Norman, T. M., Walkden-Brown, S. W., Crampton, A. et O'Connor, L. J. (**2007).** Trapping efficacy of *Duddingtonia flagrans* against *Haemonchus contortus* at temperatures existing at lambing in Australia. Vet. Parasitol. **146** (1–2): 83-89, http://dx.doi.org/10.1016/j.vetpar.2007.02.004
262]- Kakar, H., Lateef, M., Maqbool, A., Jabbar, M. A., Abbas, F., Jan, S., Razzaq, A., Kakar, E. et Shah, H. (**2013).** Prevalence and Intensity of Ovine Gastrointestinal Nematodes in Balochistan, Pakistan. Pak. J. Zool. **45** (6): 1669-1677
263]- Kambara, T. et McFarlane, R. G. (**1996).** Changes in T cell subpopulations of sheep due to age and dietary protein intake; Association with protective immunity to *Trichostrongylus colubriformis*. Vet. Immunol. Immunopathol. **51** (1-2): 127-135, http://dx.doi.org/10.1016/0165-2427(95)05513-4
264]- Kaminsky, R., Gauvry, N., Weber, S. S., Skripsky, T., Bouvier, J., Wenger, A., Schroeder, F., Desaules, Y., Hotz, R., Goebel, T., Hosking, B. C., Pautrat, F., Wieland-Berghausen, S. et Ducray, P. (**2008).** Identification of the amino-acetonitrile derivative monepantel (AAD 1566) as a new anthelmintic drug development candidate. Parasitol. Res. **103** (4): 931-939, http://dx.doi.org/10.1007/s00436-008-1080-7
265]- Kaminsky, R., Mosimann, D., Sager, H., Stein, P. et Hosking, B. (**2009).** Determination of the effective dose rate for monepantel (AAD 1566) against adult gastro-intestinal nematodes in sheep. Int. J. Parasitol. **39** (4): 443-446, http://dx.doi.org/10.1016/j.ijpara.2008.09.009
266]- Kaplan, R. M. (**2004).** Drug resistance in nematodes of veterinary importance: a status report. Trends Parasitol. **20** (10): 477-481, http://dx.doi.org/10.1016/j.pt.2004.08.001
267]- Karanu, F. N., McGuire, T. C., Davis, W. C., Besser, T. E. et Jasmer, D. P. (**1997).** CD^{4+} T lymphocytes contribute to protective immunity induced in sheep and goats by *Haemonchus contortus* gut antigens. Parasite Immunol. **19** (10): 435-445, http://dx.doi.org/10.1046/j.1365-3024.1997.d01-149.x
268]- Kelly, P., Good, B., Hanrahan, J. P., Fitzpatrick, R. et de Waal, T. (**2009).** Screening for the presence of nematophagous fungi collected from Irish sheep pastures. Vet. Parasitol. **165** (3-4): 345-349, http://dx.doi.org/10.1016/j.vetpar.2009.07.026
269]- Kemper, K. E., Elwin, R. L., Bishop, S. C., Goddard, M. E. et 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. Int. J. Parasitol. **I39** (5): 607-614, http://dx.doi.org/10.1016/j.ijpara.2008.08.013
270]- Kettle, P. R., Vlassoff, A., Reid, T. C. et Horton, C. T. (**1983).** A survey of nematode control measures used by milking goat farmers and of anthelmintic resistance on their farms. N. Z. Vet. J. **31** (8): 139-143, http://dx.doi.org/10.1080/00480169.1983.34999
271]- Khan, F. A., Swarnkar, C. P., Singh, D., Bhagwan, P. S. K. et Dubey, S. C. (**2001).** Nematophagous fungi isolated from sheep faeces: a promising biological control of *Haemonchus contortus*. Indian J. Anim. Sci. **71** (9): 834-836
272]- Klei, T. R. et Torbert, B. J. (**1980).** Efficacy of ivermectin (22,23-dihydroavermectin B1) against gastrointestinal parasites in ponies. Am. J. Vet. Res. **41** (11): http://europepmc.org/abstract/MED/6894221
273]- Knight, R. A. et Rodgers, D. (**1974).** Age resistance of lambs to single inoculation with *Haemonchus contortus*. Proceedings of the Helminthological Society of Washington **41** (1): 116
274]- Knox, D. P. et Smith, W. D. (**2001).** Vaccination against gastrointestinal nematode parasites of ruminants using gut-expressed antigens. Vet. Parasitol. **100** (1-2): 21-32, http://dx.doi.org/10.1016/S0304-4017(01)00480-0
275]- Knox, M. R. et Faedo, M. (**2001).** Biological control of field infections of nematode parasites of young sheep with *Duddingtonia flagrans* and effects of spore intake on efficacy. Vet. Parasitol. **101** (2): 155-160, http://dx.doi.org/10.1016/S0304-4017(01)00504-0
276]- Knox, M. R. (**2002).** Effectiveness of copper oxide wire particles for *Haemonchus contortus* control in sheep. Aust. Vet. J. **80** (4): 224-227, http://dx.doi.org/10.1111/j.1751-0813.2002.tb10818.x

277]- Komoin-Oka, C., Zinsstag, J., Pandey, V. S., Fofana, F. et N'Depo, A. (**1999).** Epidemiology of parasites of sheep in the southern forest zone of Cote d'Ivoire. [French]. Revue Elev. Méd. vét. Pays trop. **52** (1): 39-46, http://remvt.cirad.fr/cd/EMVT99_1.PDF
278]- Kooyman, F. N. J. et Eysker, M. (**1995).** Analysis of proteins related to conditioning for arrested development and differentiation in *Haemonchus contortus* by 2-dimensional gel-electrophoresis. Int. J. Parasitol. **25** (5): 561-568, http://dx.doi.org/10.1016/0020-7519(94)00161-g
279]- Lacey, E. et Prichard, R. K. (**1986).** Interactions of benzimidazoles (BZ) with tubulin from BZ-sensitive and BZ-resistant isolates of *Haemonchus contortus*. Mol. Biochem. Parasitol. **19** (2): 171-181, http://dx.doi.org/10.1016/0166-6851(86)90122-2
280]- Lacey, E., Snowdon, K. L., Eagleson, G. K. et Smith, E. F. (**1987).** Further investigations of the primary mechanism of benzimidazole resistance in *Haemonchus contortus*. Int. J. Parasitol. **17** (8): 1421-1429, http://dx.doi.org/10.1016/0020-7519(87)90077-4
281]- Lacroux, C., Nguyen, T. H. C., Andreoletti, O., Prevot, F., Grisez, C., Bergeaud, J. P., Gruner, L., Brunel, J. C., François, D., Dorchies, P. et Jacquiet, P. (**2006).** *Haemonchus contortus* (Nematoda: Trichostrongylidae) infection in lambs elicits an unequivocal Th2 immune response. Vet. Res. **37** (4): 607-622, http://dx.doi.org/10.1051/vetres:2006022
282]- Lamand, M. (**1980**). Oligoéléments. *in* Alimentation des Ruminants, Ed. R. Jarrige, INRA, Paris, 4: 143-159
283]- Langrová, I., Zouhar, M., Vadlejch, J., Borovský, M., Jankovská, I. et Lytvynets, A. (**2008).** *Trichostrongylus colubriformis* rDNA polymorphism associated with arrested development. Parasitol. Res. **103** (2): 401-403, http://dx.doi.org/10.1007/s00436-008-0987-3
284]- Lapage, G. (**1968**). Veterinary Parasitology (second edition), Ed. Oliver & Boyd, Edinburgh and London (UK): 1182 pages
285]- Larsen, J. W. A., Anderson, N., Vizard, A. L., Anderson, G. A. et Hoste, H. (**1994).** Diarrhoea in Merino ewes during winter: association with trichostrongylid larvae. Aust. Vet. J. **71** (11): 365-372, http://dx.doi.org/10.1111/j.1751-0813.1994.tb00930.x
286]- Leathwick, D. M., Vlassoff, A. et Barlow, N. D. (**1995).** A model for nematodiasis in New Zealand lambs: The effect of drenching regime and grazing management on the development of anthelmintic resistance. Int. J. Parasitol. **25** (12): 1479-1490, http://dx.doi.org/10.1016/0020-7519(95)00059-3
287]- Leathwick, D. M., Miller, C. M., Atkinson, D. S., Brown, A. E., Green, R. S. et Sutherland, I. A. (**2002).** Production and immunological responses associated with controlled-release-capsule vs. 5-drench preventive anthelmintic programmes for parasite control in lambs. N. Z. Vet. J. **50** (2): 70-76, http://dx.doi.org/10.1080/00480169.2002.36253
288]- Leathwick, D. M. (**2013).** Managing anthelmintic resistance - Parasite fitness, drug use strategy and the potential for reversion towards susceptibility. Vet. Parasitol. **198** (1-2): 145-153, http://dx.doi.org/10.1016/j.vetpar.2013.08.022
289]- Lebigre, C. (**1979**). L'élevage caprin à la Guadeloupe, Thèse de Docteur Vétérinaire, Sciences Vétérinaires, Ecole Nationale Vétérinaire de Maisons Alfort: 179 pages
290]- Lespine, A., Menez, C., Bourguinat, C. et Prichard, R. K. (**2012).** P-glycoproteins and other multidrug resistance transporters in the pharmacology of anthelmintics: Prospects for reversing transport-dependent anthelmintic resistance. International Journal for Parasitology-Drugs and Drug Resistance **2**: 58-75, http://dx.doi.org/10.1016/j.ijpddr.2011.10.001
291]- Leuckart, R. (**1866a).** XXXVIII.—On the developmental history of the Nematode worms. J. Nat. Hist. **17** (101): 331-347, http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00222936608679546
292]- Leuckart, R. (**1866b).** XLIX.—On the developmental history of the Nematode Worms. J. Nat. Hist. **17** (102): 447-464, http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00222936608679575
293]- Lisonbee, L. D., Villalba, J. J., Provenza, F. D. et Hall, J. O. (**2009).** Tannins and self-medication: Implications for sustainable parasite control in herbivores. Behav. Process. **82** (2): 184-189, http://dx.doi.org/10.1016/j.beproc.2009.06.009
294]- Liu, S. M., Smith, T. L., Karlsson, L. J. E., Palmer, D. G. et Besier, R. B. (**2005).** The costs for protein and energy requirements by nematode infection and resistance in Merino sheep. Livest. Prod. Sci. **97** (2-3): 131-139, http://dx.doi.org/10.1016/j.livprodsci.2005.03.007
295]- Loranger, G., Ponge, J. F., Blanchart, E. et Lavelle, P. (**1998).** Impact of earthworms on the diversity of microarthropods in a vertisol (Martinique). Biol. Fertil. Soils **27** (1): 21-26, http://dx.doi.org/10.1007/s003740050394
296]- Lumaret, J. P. et Errouissi, F. (**2002).** Use of anthelmintics in herbivores and evaluation of risks for the non target fauna of pastures. Vet. Res. **33** (5): 547-562, http://dx.doi.org/10.1051/vetres:2002038
297]- M'Fadyean, J. (**1897).** Parasitic Gastro-Enteritis in Sheep and Lambs. Journal of Comparative Pathology and Therapeutics **10** (0): 48-IN1, http://dx.doi.org/10.1016/S0368-1742(97)80003-3

298]- Magona, J. W. et Musisi, G. (**1999).** Prevalence and infection levels of gastro-intestinal nematodes in Ugandan goats in different agroclimatic zones. Bull. Anim. Health Prod. Afr. **47** (2)
299]- Mahieu, M., Aumont, G., Michaux, Y., Alexandre, G., Archimède, H., Boval, M. et Theriez, M. (**1997).** L'association d'ovins et de bovins sur prairies irriguees en Martinique (F.W.I.). INRA Prod. Anim. **10** (1): 55-66, http://www6.inra.fr/productions-animales/Articles-1997-Volume-10/Numero-1-1997/L-association-d-ovins-et-de-bovins-sur-prairies-irriguees-en-Martinique
300]- Mahieu, M., Cognie, Y. et Chemineau, P. (**2004).** Ovulation Rate, Litter Size and Prenatal Losses in Hair Sheep of French West Indies. Reprod. Nutr. Dev. **44**: 333-339, http://dx.doi.org/10.1051/rnd:2004038
301]- Mahieu, M., Arquet, R., Kandassamy, T., Mandonnet, N. et Hoste, H. (**2007).** Evaluation of targeted drenching using Famacha(c) method in Creole goat: reduction of anthelmintic use, and effects on kid production and pasture contamination. Vet. Parasitol. **146** (1/2): 135-147, http://dx.doi.org/10.1016/j.vetpar.2007.02.003
302]- Mahieu, M. et Aumont, G. (**2007).** Periparturient rise in Martinik Hair Sheep and perspectives for gastrointestinal nematode control. Trop. Anim. Health Prod. **39** (6): 387-390, http://dx.doi.org/10.1007/s11250-007-9029-x
303]- Mahieu, M., Arquet, R., Fleury, J., Coppry, O., Marie-MagdeleineC., Boval, M., Archimède, H., Alexandre, G., Bambou, J. C. et Mandonnet, N. (**2009**). Contrôle intégré du parasitisme gastro-intestinal des petits ruminants en zone tropicale humide. 16ème Rencontres Recherches Ruminants, Paris (France), INRA - Institut de l'Elevage: 265-268 http://www.journees3r.fr/IMG/pdf/2009_08_03_Mahieu.pdf
304]- Mahieu, M. et Aumont, G. (**2009).** Effects of sheep and cattle alternate grazing on sheep parasitism and production. Trop. Anim. Health Prod. **41** (2): 229-239, http://dx.doi.org/10.1007/s11250-008-9180-z
305]- Mahieu, M. (**2013).** Effects of stocking rates on gastrointestinal nematode infection levels in a goat/cattle rotational stocking system. Vet. Parasitol. **198**: 136-144, http://dx.doi.org/10.1016/j.vetpar.2013.08.029
306]- Mahieu, M., Ferré, B., Madassamy, M. et Mandonnet, N. (**2014).** Fifteen years later, anthelmintic resistances have dramatically spread over goat farms in Guadeloupe. Vet. Parasitol. **205** (1-2): 379-384, http://dx.doi.org/10.1016/j.vetpar.2014.07.029
307]- Maingi, N., Krecek, R. C. et Van Biljon, N. (**2006).** Control of gastrointestinal nematodes in goats on pastures in South Africa using nematophagous fungi *Duddingtonia flagrans* and selective anthelmintic treatments. Vet. Parasitol. **138** (3-4): 328-336, http://dx.doi.org/10.1016/j.vetpar.2006.02.006
308]- Mallet, S. et Hoste, H. (**1995).** Physiology of two strains of *Trichostrongylus colubriformis* resistant and susceptible to thiabendazole and mucosal response of experimentally infected rabbits. Int. J. Parasitol. **25** (1): 23-27, http://dx.doi.org/10.1016/0020-7519(94)00080-8
309]- Mandonnet, N. (**1995**). Etude de la variabilité génétique de la résistance des petits ruminants aux strongles gastro-intestinaux. Recherche sur les critères et objectifs de sélection, Thèse de doctorat de l'Université Paris XI: 115 pages
310]- Mandonnet, N., Aumont, G., Fleury, J., Gruner, L., Bouix, J. et Vu Tien Khang, J. (**1996**). Genetic variability in resistance of creole goat to natural infection with Trichostrongylids in Guadeloupe (F.W.I.). *in* Vector- borne pathogens: international trade and tropical animal diseases, Ed. E. Camus *et al*, Annals of the New York Academy of Sciences, **791**: 421-431
311]- Mandonnet, N., Aumont, G., Fleury, J., Gruner, L., Bouix, J., Vu Tien Khang, J. et Varo, H. (**1997).** Résistance aux strongles gastro-intestinaux des caprins. Influence de différents environnements tropicaux sur l'expression du potentiel génétique de résistance. Rapport de la commission ovine et Caprine de l'INRA, mai 1995. INRA Prod. Anim. **10** (1): 91-98, http://www6.inra.fr/productions-animales/content/download/4797/45502/version/1/file/Prod_Anim_1997_10_1_08.pdf
312]- Mandonnet, N., Aumont, G., Arquet, R., Varo, H., Gruner, L., Bouix, J. et Vu Tien Khang, J. (**2001).** Assessment of genetic variability of resistance to gastrointestinal nematode parasites in Creole goats in the humid tropics. J. Anim. Sci. **79** (7): 1706-1712, http://www.journalofanimalscience.org/content/79/7/1706
313]- Mandonnet, N., Ducrocq, V., Arquet, R. et Aumont, G. (**2003).** Mortality of Creole kids during infection with gastro-intestinal strongyles: a survival analysis. J. Anim. Sci. **81**: 2401-2408, http://www.journalofanimalscience.org/content/81/10/2401
314]- Mandonnet, N., Bachand, M., Mahieu, M., Arquet, R., Baudron, F., Abinne-Molza, L., Varo, H. et Aumont, G. (**2005).** Impact on productivity of peri-parturient rise in fecal egg counts in Creole goats in the humid tropics. Vet. Parasitol. **134**: 249-259, http://dx.doi.org/10.1016/j.vetpar.2005.07.019
315]- Mandonnet, N., Menendez-Buxadera, A., Arquet, R., Mahieu, M., Bachand, M. et Aumont, G. (**2006).** Genetic variability in resistance to gastrointestinal strongyles during early lactation in Creole goats. Anim. Sci. **82** (3): 283-287, http://dx.doi.org/10.1079/ASC200640
316]- Mansfield, M. E., Ozerol, N. H., Courter, M., Green, C. et Levine, N. D. (**1974).** Immunization in sheep orally vaccinated against *Haemonchus contortus*. Am. J. Vet. Res. **35** (No.11): 1423-1428

317]- Mapes, C. J. (**1972).** Bile and bile salts and exsheathment of the intestinal nematodes *Trichostrongylus colubriformis* and *Nematodirus battus*. Int. J. Parasitol. **2** (4): 433-438, http://dx.doi.org/10.1016/0020-7519(72)90088-4
318]- Marie-Magdeleine, C., Joseph, H., Mahieu, M., Hoste, H. et Archimède, H. (**2006**). Ressources végétales anthelminthiques potentiellement disponibles pour la médecine vétérinaire dans la Caraibe. 7èmes Journées de l'AMADEPA, Lamentin, Martinique
319]- Marie-Magdeleine, C. (**2009**). Etude de ressources végétales tropicales pour un usage anthelminthique en élevage de ruminants, Doctorat Sciences agronomiques, Université des Antilles et de la Guyane: 255 pages
320]- Marie-Magdeleine, C., Hoste, H., Mahieu, M., Varo, H. et Archimède, H. (**2009).** In vitro effects of *Cucurbita moschata* seed extracts on *Haemonchus contortus*. Vet. Parasitol. **161** (1-2): 99-105, http://dx.doi.org/10.1016/j.vetpar.2008.12.008
321]- Marie-Magdeleine, C., Boval, M., Philibert, L., Bordes, A. et Archimède, H. (**2010a).** Effect of banana foliage (*Musa x paradisiaca*) on nutrition, parasite infection and growth of lambs. Livestock Science **131** (2/3): 234-239, http://dx.doi.org/10.1016/j.livsci.2010.04.006
322]- Marie-Magdeleine, C., Mahieu, M., D'Alexis, S., Philibert, L. et Archimède, H. (**2010b).** In vitro effects of *Tabernaemontana citrifolia* extracts on *Haemonchus contortus*. Res. Vet. Sci. **89** (1): 88-92, http://dx.doi.org/10.1016/j.rvsc.2010.01.002
323]- Marie-Magdeleine, C., Mahieu, M., Lastel, M.-L. et Archimède, H. (**2010c**). In vitro evaluation of the nematicidal value of *Artocarpus altilis* (Parkinson) var. seminifera and non seminifera and *Terminalia cattapa* L. against *Haemonchus contortus* - Proceedings of the SAPT2010 conference -. Advances in Animal Biosciences, **1**: 440-441 http://dx.doi.org/10.1017/S2040470010000646
324]- Marie-Magdeleine, C., Mahieu, M., Philibert, L., Despois, P. et Archimède, H. (**2010d).** Effect of cassava (*Manihot esculenta*) foliage on nutrition, parasite infection and growth of lambs. Small Ruminant Res. **93** (1): 10-18, http://dx.doi.org/10.1016/j.smallrumres.2010.04.024
325]- Marie-Magdeleine, C., Udino, L., Philibert, L., Bocage, B. et Archimède, H. (**2010e).** In vitro effects of Cassava (*Manihot esculenta*) leaf extracts on four development stages of Haemonchus contortus. Vet. Parasitol. **173** (1-2): 85-92, http://dx.doi.org/10.1016/j.vetpar.2010.06.017
326]- Marie-Magdeleine, C., Mahieu, M. et Archimede, H. (**2011**). Pumpkin (*Cucurbita moschata* Duchesne ex Poir.) Seeds as an Anthelmintic Agent? *in* Nuts & Seeds in Health and Disease Prevention (1st ed.), Ed. V. R. Preedy *et al*, Elsevier, Academic Press, London, Burlington, San Diego: 933-939
327]- Marie-Magdeleine, C., Udino, L., Philibert, L., Bocage, B. et Archimède, H. (**2013**). In vitro effects of *Musa x paradisiaca* (banana tree) leaf and stem on *Haemonchus contortus*. Na07/CAPARA - NOVEL APPROACHES to THE CONTROL of HELMINTH PARASITES of LIVESTOCK, 7th meeting, Toulouse: https://colloque.inra.fr/na07/
328]- Marley, C. L., Fraser, M. D., Davies, D. A., Rees, M. E., Vale, J. E. et Forbes, A. B. (**2006).** The effect of mixed or sequential grazing of cattle and sheep on the faecal egg counts and growth rates of weaned lambs when treated with anthelmintics. Vet. Parasitol. **142** (1-2): 134-141, http://dx.doi.org/10.1016/j.vetpar.2006.06.030
329]- Marshall, K., Mugambi, J. M., Nagda, S., Sonstegard, T. S., Van Tassell, C. P., Baker, R. L. et Gibson, J. P. (**2013).** Quantitative trait loci for resistance to *Haemonchus contortus* artificial challenge in Red Maasai and Dorper sheep of East Africa. Anim. Genet. **44** (3): 285-295, http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2052.2012.02401.x
330]- Martin, P. J., Le Jambre, L. F. et Claxton, J. H. (**1981).** The impact of refugia on the development of thiabendazole resistance in *Haemonchus contortus*. Int. J. Parasitol. **11** (1): 35-41, http://dx.doi.org/10.1016/0020-7519(81)90023-0
331]- Martin, P. J., Anderson, N., Lwin, T., Nelson, G. et Morgan, T. E. (**1984).** The association between frequency of thiabendazole treatment and the development of resistance in field isolates of *Ostertagia* spp. of sheep. Int. J. Parasitol. **14** (2): 177-181, http://dx.doi.org/10.1016/0020-7519(84)90046-8
332]- Martin, P. J. et McKenzie, J. A. (**1990).** Levamisole resistance in *Trichostrongylus colubriformis*: a sex-linked recessive character. Int. J. Parasitol. **20** (7): 867-872, http://dx.doi.org/10.1016/0020-7519(90)90024-H
333]- Martin, R. J., Valkanov, M. A., Dale, V. M. E., Robertson, A. P. et Murray, I. (**1996).** Electrophysiology of *Ascaris* muscle and anti-nematodal drug action. Parasitology **113**: S137-S156, http://dx.doi.org/10.1017/S0031182000077945
334]- Martínez-Valladares, M., Famularo, M. R., Fernández-Pato, N., Cordero-Pérez, C., Castañón-Ordóñez, L. et Rojo-Vázquez, F. A. (**2012).** Characterization of a multidrug resistant *Teladorsagia circumcincta* isolate from Spain. Parasitol. Res. **110** (5): 2083-2087, http://dx.doi.org/10.1007/s00436-011-2753-1

335]- Martinez, D., Mari, B., Aumont, G. et Vidalenc, T. (**1993).** Development of a single dilution ELISA to detect antibody to *Dermatophilus congolensis* in goat and cattle sera. Vet. Microbiol. **34**: 47-62, http://dx.doi.org/10.1016/0378-1135(93)90006-S
336]- Matheron, G., Camus, E., Barre, N. et Gogue, J. (**1991).** Résistance à la Cowdriose des chèvres Créoles en Guadeloupe. Bilan en 1988. Revue d'Elevage et de Médecine Vétérinaire des Pays Tropicaux **spécial**: 145-153, http://remvt.cirad.fr/cd/EMVT91_S.PDF
337]- Mayen, F. (**2003).** Haematophagous bats in Brazil, their role in rabies transmission, impact on public health, livestock industry and alternatives to an indiscriminate reduction of bat population. Journal of Veterinary Medicine, Series B **50** (10): 469-472, http://dx.doi.org/10.1046/j.1439-0450.2003.00713.x
338]- McClure, S. J. (**2009).** Mucosal delivery of native and recombinant protein vaccines against *Trichostrongylus colubriformis*. Int. J. Parasitol. **39** (5): 599-606, http://dx.doi.org/10.1016/j.ijpara.2008.09.010
339]- McEwen, A. D. (**1935).** The Control of Parasitic Gastritis and Enteritis in Sheep by Treatment with Copper Sulphate and Nicotine Sulphate. Journal of Comparative Pathology and Therapeutics **48** (0): 218-235, http://dx.doi.org/10.1016/S0368-1742(35)80021-0
340]- McGhee, M. B., Nettles, V. F., Rollor, E. A., III, Prestwood, A. K. et Davidson, W. R. (**1981).** Studies on cross-transmission and pathogenicity of *Haemonchus contortus* in white-tailed deer, domestic cattle and sheep. J. Wildl. Dis. **17** (3): 353-364, http://dx.doi.org/10.7589/0090-3558-17.3.353
341]- McKellar, Q. A. (**1997).** Ecotoxicology and residues of anthelmintic compounds. Vet. Parasitol. **72** (3-4): 413-435, http://dx.doi.org/10.1016/S0304-4017(97)00108-8
342]- Melville, L. A., Sykes, A. M. et McCarthy, J. S. (**2006).** The beta-tubulin genes of two *Strongyloides* species. Exp. Parasitol. **112** (3): 144-151, http://dx.doi.org/10.1016/j.exppara.2005.10.003
343]- Michel, J. F. (**1985).** Strategies for the use of anthelmintics in livestock and their implications for the development of drug resistance. Parasitology **90** (4): 621-628, http://dx.doi.org/10.1017/S0031182000052276
344]- Miller, A. (**1961).** The mouth parts and digestive tract of adult dung beetles (Coleoptera: Scarabaeidae), with reference to the ingestion of helminth eggs. The Journal of parasitology **47**: 735-44, http://dx.doi.org/10.2307/3275463
345]- Miller, J. E., Bahirathan, M., Lemarie, S. L., Hembry, F. G., Kearney, M. T. et Barras, S. R. (**1998).** Epidemiology of gastrointestinal nematode parasitism in Suffolk and Gulf Coast Native sheep with special emphasis on relative susceptibility to *Haemonchus contortus* infection. Vet. Parasitol. **74** (1): 55-74, http://dx.doi.org/10.1016/S0304-4017(97)00094-0
346]- Miller, J. E., Waller, P. J., Thamsborg, S. M., Larsen, M., Knox, M. R., Peter, R., Molento, M. B., Beriajaya et Hood, B. (**2004).** Novel approaches to control of parasites - a workshop. Vet. Parasitol. **125** (1-2): 59-68, http://dx.doi.org/10.1016/j.vetpar.2004.05.005
347]- Miller, J. E. et Horohov, D. W. (**2006).** Immunological aspects of nematode parasite control in sheep. J. Anim. Sci. **84** (13_suppl): E124-E132, http://www.journalofanimalscience.org/content/84/13_suppl/E124.short
348]- Mohamed Fawzi, E., Cruz Bustos, T., Gómez Samblas, M., González-González, G., Solano, J., González-Sánchez, M. E., De Pablos, L. M., Corral-Caridad, M. J., Cuquerella, M., Osuna, A. et Alunda, J. M. (**2013).** Intranasal Immunization of Lambs with Serine/Threonine Phosphatase 2A against Gastrointestinal Nematodes. Clin. Vaccine Immunol. **20** (9): 1352-1359, http://dx.doi.org/10.1128/cvi.00336-13
349]- Molnár, K., Ostoros, G., Dunams-Morel, D. et Rosenthal, B. M. (**2012).** *Eimeria* that infect fish are diverse and are related to, but distinct from, those that infect terrestrial vertebrates. Infect. Genet. Evol. **12** (8): 1810-1815, http://dx.doi.org/10.1016/j.meegid.2012.06.017
350]- Morgan, E. R., Medley, G. F., Torgerson, P. R., Shaikenov, B. S. et Milner-Gulland, E. J. (**2007).** Parasite transmission in a migratory multiple host system. Ecol. Model. **200** (3-4): 511-520, http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2006.09.002
351]- Morley, F. et Donald, A. (**1980).** Farm management and systems of helminth control. Vet. Parasitol. **6** (1): 105-134, http://dx.doi.org/10.1016/0304-4017(80)90040-0
352]- Muir, J. P. (**2011).** The multi-faceted role of condensed tannins in the goat ecosystem. Small Ruminant Res. **98** (1-3): 115-120, http://dx.doi.org/10.1016/j.smallrumres.2011.03.028
353]- Muller, G. (**1961).** Helminth research in South Africa. IV. Field trials on thiabendazole (MK 360) as an anthelmintic for sheep; with a note on the assessment of diagnostic methods. J. S. Afr. Vet. Med. Assoc. **32** (2): 175-180
354]- Nascimento, A. A., Bonuti, M. R., Mapeli, E. B., Tebaldi, J. H., Arantes, I. G. et Zettermann, C. D. (**2000).** Natural Trichostrongylidae Cram, 1927 infections in deer (Mammalia: Cervidae) from the States of Mato Grosso do Sul and Sao Paulo. Braz. J. Vet. Res. Anim. Sci. **37** (1/6): http://www.revistas.usp.br/bjvras/article/view/5837/pdf

355]- Neilson, J. T. M. (**1975).** Failure to vaccinate lambs against *Haemonchus contortus* with functional metabolic antigens identified by immunoelectrophoresis. Int. J. Parasitol. **5** (No.4): 427-430, http://dx.doi.org/10.1016/0020-7519(75)90009-0
356]- Neilson, J. T. M. et Walle, M. J. (**1987).** Partial protection of lambs against *Haemonchus contortus* by vaccination with a fractionated preparation of the parasite. Vet. Parasitol. **23** (3-4): 211-221, http://dx.doi.org/10.1016/0304-4017(87)90007-0
357]- Ng'ang'a, C. J., Maingi, N., Munyua, W. K. et Kanyari, P. W. N. (**2004).** Epidemiology of gastrointestinal helminths infections in Dorper sheep in a semi-arid area of Kenya. Onderstepoort J. Vet. Res. **71** (3): 219-226, http://www.ojvr.org/index.php/ojvr/article/viewFile/263/243
358]- Niezen, J. H., Waghorn, T. S., Charleston, W. A. G. et Waghorn, G. C. (**1995).** Growth and gastrointestinal nematode parasitism in lambs grazing either lucerne (*Medicago sativa*) or sulla (*Hedysarum coronarium*) which contains condensed tannins. J. Agric. Sci. **125** (2): 281-289, http://dx.doi.org/10.1017/S0021859600084422
359]- Niezen, J. H., Charleston, W. A. G., Hodgson, J., Mackay, A. D. et Leathwick, D. M. (**1996).** Controlling internal parasites in grazing ruminants without recourse to anthelmintics: approaches, experiences and prospects. Int. J. Parasitol. **26** (8/9): 983-992, http://dx.doi.org/10.1016/S0020-7519(96)80076-2
360]- Niezen, J. H., Charleston, W. A. G., Robertson, H. A., Shelton, D., Waghorn, G. C. et Green, R. (**2002).** The effect of feeding sulla (*Hedysarum coronarium*) or lucerne (*Medicago sativa*) on lamb parasite burdens and development of immunity to gastrointestinal nematodes. Vet. Parasitol. **105** (3): 229-245, http://dx.doi.org/10.1016/S0304-4017(02)00014-6
361]- Njau, B. C. (**1987).** Gastrointestinal nematodes of small ruminants at King'ori in northern Tanzania. Bull. Anim. Health Prod. Afr. **35** (4): 298-303
362]- Njau, B. C., Scholtens, R. G. et Kasali, O. (**1990).** Parasites of sheep at the International Livestock Centre for Africa Debre Berhan Station, Ethiopia. Prev. Vet. Med. **9** (4): 267-277, http://dx.doi.org/10.1016/0167-5877(90)90072-P
363]- Nyman, H. (**2000).** Alternative methods of treating gastrointestinal nematodes in sheep, using *Duddingtonia flagrans* and copper wire particles. Minor Field Studies - International Office, Swedish University of Agricultural SciencesSveriges Lantbruksuniversitet (Swedish University of Agricultural Sciences) International Office, Uppsala, Sweden: **99**: 54
364]- O'Connor, L. J., Walkden-Brown, S. W. et Kahn, L. P. (**2006).** Ecology of the free-living stages of major trichostrongylid parasites of sheep. Vet. Parasitol. **142** (1-2): 1-15, http://dx.doi.org/10.1016/j.vetpar.2006.08.035
365]- O'Sullivan, B. M. et Donald, A. D. (**1973).** Responses to infection with *Haemonchus contortus* and *Trichostrongylus colubriformis* in ewes of different reproductive status. Int. J. Parasitol. **3** (No.4): 521-530, http://dx.doi.org/10.1016/0020-7519(73)90049-0
366]- Ojeda-Robertos, N. F., Torres-Acosta, J. F. d. J., Aguilar-Caballero, A. J., Ayala-Burgos, A., Cob-Galera, L. A., Sandoval-Castro, C. A., Barrientos-Medina, R. C. et Mendoza de Gives, P. (**2008).** Assessing the efficacy of *Duddingtonia flagrans* chlamydospores per gram of faeces to control *Haemonchus contortus* larvae. Vet. Parasitol. **158** (4): 329-335, http://dx.doi.org/10.1016/j.vetpar.2008.08.022
367]- Olivares, J. L., Rodriguez Diego, J. G., Herrera, H., Cortes, S. et Gonzalez, O. (**2001).** Experimental *Oesophagostomum columbianum* infection in ovines. Revista de Salud Animal **23** (2): 118-122
368]- Ortiz de Montellano, C. M., Vargas-Magana, J. J., Aguilar-Caballero, A. J., Sandoval-Castro, C. A., Cob-Galera, L., May-Martinez, M., Miranda-Soberanis, R., Hoste, H., Camara Sarmiento, R. et Torres-Acosta, J. F. J. (**2007).** Combining the effects of supplementary feeding and copper oxide needles for the control of gastrointestinal nematodes in browsing goats. Vet. Parasitol. **146** (1/2): 66-76, http://dx.doi.org/10.1016/j.vetpar.2007.02.012
369]- Otsen, M., Hoekstra, R., Plas, M. E., Buntjer, J. B., Lenstra, J. A. et Roos, M. H. (**2001).** Amplified fragment length polymorphism analysis of genetic diversity of *Haemonchus contortus* during selection for drug resistance. Int. J. Parasitol. **31** (10): 1138-1143, http://dx.doi.org/10.1016/S0020-7519(01)00225-9
370]- Otte, M. J., Abuabara, J. Y. et Wells, E. A. (**1994).** Trypanosoma vivax in Colombia: Epidemiology and production losses. Trop. Anim. Health Prod. **26** (3): 146-156, http://dx.doi.org/10.1007/BF02241071
371]- Ouattara, L. et Dorchies, P. (**2001).** Gastro-intestinal helminths of sheep and goats in subhumid and sahelian areas of Burkina Faso. [French]. Rev. Med. Vet. **152** (2): 165-170, http://www.revmedvet.com/2001/RMV152_165_170.pdf
372]- Ouzir, M., Berrag, B., Benjouad, A. et Cabaret, J. (**2011).** Use of pathophysiological indicators for individual decision of anthelmintic treatment of ewes against gastro-intestinal nematodes in Morocco. Vet. Parasitol. **180** (3-4): 372-377, http://dx.doi.org/10.1016/j.vetpar.2011.03.018
373]- Owen, I. L. (**1998).** Mixed grazing of sheep and cattle in the highlands of Papua New Guinea and its effect on worm burdens of sheep. Science in New Guinea **24** (1): 11-22

374]- Ozier-Lafontaine, H. et Cabidoche, Y. M. (**1995).** THERESA: II. Thickness variations of vertisols for indicating water status in soil and plants. Agric. Water Manag. **28** (2): 149-161, http://dx.doi.org/10.1016/0378-3774(95)01165-F
375]- Pal, D. T., Singh, A. S., Vupru, K. et Bujarbaruah, K. M. (**2004).** Growth performance and nutrient utilization in male and female Mithun calves on green forage-based diet. Trop. Anim. Health Prod. **36** (7): 655-661, http://dx.doi.org/10.1023/b:trop.0000042858.64001.31
376]- Pal, P. et Lewis, J. W. (**2004).** Parasite aggregations in host populations using a reformulated negative binomial model. J. Helminthol. **78** (1): 57-61, http://dx.doi.org/10.1079/JOH2003214
377]- Pankavich, J. A., Berger, H. et Simkins, K. L. (**1992).** Efficacy of moxidectin, nemadectin and ivermectin against an ivermectin-resistant strain of *Haemonchus contortus* in sheep. Vet. Rec. **130** (12): 241-243, http://dx.doi.org/10.1136/vr.130.12.241
378]- Paraud, C., Pors, I. et Chartier, C. (**2004).** Activity of *Duddingtonia flagrans* on *Trichostrongylus colubriformis* larvae in goat feces and interaction with a benzimidazole treatment. Small Ruminant Res. **55** (1-3): 199-207, http://dx.doi.org/10.1016/j.smallrumres.2003.12.005
379]- Paraud, C., Pors, I., Chicard, C. et Chartier, C. (**2006).** Comparative efficacy of the nematode-trapping fungus *Duddingtonia flagrans* against *Haemonchus contortus* , *Teladorsagia circumcincta* and *Trichostrongylus colubriformis* in goat faeces: influence of the duration and of the temperature of coproculture. Parasitol. Res. **98** (3): 207-213, http://dx.doi.org/10.1007/s00436-005-0028-4
380]- Peloille, M. (**1981a).** Nematode-trapping Hyphomycetes: the phenomenon of predation; ecology; use in biological control. Literature review. Agronomie (Paris) **1** (4): 331-337, http://dx.doi.org/10.1051/agro:19810411
381]- Peloille, M. (**1981b).** Hyphomycetes predatory on nematodes in a Limousin pasture. Entomophaga **26** (1): 91-98, http://dx.doi.org/10.1007/BF02371837
382]- Pena, M. T., Miller, J. E. et Horohov, D. W. (**2006).** Effect of CD4+ T lymphocyte depletion on resistance of Gulf Coast Native lambs to *Haemonchus contortus* infection. Vet. Parasitol. **138** (3-4): 240-246, http://dx.doi.org/10.1016/j.vetpar.2005.12.026
383]- Penberthy, J. (**1894).** Parasitic gastro-enteritis, diarrhœa, and anæmia of cattle. Journal of Comparative Pathology and Therapeutics **7** (0): 249-263, http://dx.doi.org/10.1016/S0368-1742(94)80054-2
384]- Pepin, L. et Nguyen, T. C. (**1994).** Blood-groups and protein polymorphisms in 5 goat breeds (capra-hircus). Anim. Genet. **25** (5): 333-336, http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2052.1994.tb00367.x
385]- Perez, P., Maino, M., Morales, M. S. et Soto, A. (**2001).** Effect of goat milk and milk substitutes and sex on productive parameters and carcass composition of Creole kids. Small Ruminant Res. **42** (1): 87-93, http://dx.doi.org/10.1016/S0921-4488(01)00233-4
386]- Peroux, F. (**1982**). Epidémiologie des parasitoses gastro-intestinales des caprins en Guadeloupe, Thèse de Docteur Vétérinaire ; N° 41, Sciences Vétérinaires, Ecole Nationale Vétérinaire de Maisons Alfort: 75 pages
387]- Perreau, P., Morel, P. C., Barre, N. et Durand, P. (**1980).** Existence de la cowdriose (heartwater) à *Cowdria ruminantium* chez les ruminants des Antilles Françaises(la Guadeloupe) et des Mascareignes (La Réunion et l'île Maurice). Revue d'Elevage et de Medecine Veterinaire des Pays Tropicaux **33** (1): 21-22, http://remvt.cirad.fr/cd/EMVT80_1.PDF
388]- Perry, B. D., Randolph, T. F., McDermott, J. J., Sones, K. R. et Thornton, P. K. (**2002**). Investing in animal health research to alleviate poverty. ILRI (International Livestock Research Institute), Nairobi, Kenya, 148 pages, https://cgspace.cgiar.org/handle/10568/2308
389]- Petitclerc, M., Lefevre, P. C., Calvez, D., Couderc, P., Liabeuf, J. M. et Camus, E. (**1991).** Quelques aspects de la pathologie des petits ruminants en Guadeloupe et en Martinique. Revue Elev. Méd. vét. Pays trop. **N° spécial Compte rendu 1ères Journées de la Recherche Ovine et Caprine aux Antilles-Guyane, 9-10 Octobre 1988**: 113-116, http://remvt.cirad.fr/cd/EMVT91_S.PDF
390]- Piluzza, G., Sulas, L. et Bullitta, S. (**2014).** Tannins in forage plants and their role in animal husbandry and environmental sustainability: a review. Grass Forage Sci. **69** (1): 32-48, http://dx.doi.org/10.1111/gfs.12053
391]- Pino, L. A., Morales, G., Perdomo, L. et Aldana, E. (**1988).** The epidemiology of gastrointestinal nematodes of sheep in arid zones of Venezuela. [Spanish]. Turrialba **38** (1): 13-18, http://orton.catie.ac.cr/REPDOC/A0787E/A0787E01.PDF
392]- Price, D. A., Hardy, W. T. et Boughton, I. B. (**1953).** Phenothiazine-salt mixture for control of *Haemonchus contortus* in range sheep. J. Am. Vet. Med. Assoc. **123** (917): 132-135
393]- Prichard, R. K. (**2001).** Genetic variability following selection of *Haemonchus contortus* with anthelmintics. Trends Parasitol. **17** (9): 445-453, http://dx.doi.org/10.1016/S1471-4922(01)01983-3
394]- Qin, Z., Miao, Z., Li, M., Liu, X. et Wang, J. (**2001).** Isolation and identification of nematophagous fungi from faeces of cattle for the biocontrol of parasitic nematodes. Chinese Journal of Veterinary Science **21** (1): 58-59

395]- Raberg, L., Graham, A. L. et Read, A. F. (**2009).** Decomposing health: tolerance and resistance to parasites in animals. Philos. Trans. R. Soc. B-Biol. Sci. **364** (1513): 37-49, http://dx.doi.org/10.1098/rstb.2008.0184
396]- Rahman, H., Pal, P., Bandyopadhyay, S. et Chatlod, L. R. (**2012).** Epidemiology of gastrointestinal parasitism in goats in Sikkim. Indian J. Anim. Sci. **82** (4): 355-358, http://epubs.icar.org.in/ejournal/index.php/IJAnS/article/view/15254
397]- Ramirez-Restrepo, C. A. et Barry, T. N. (**2005).** Alternative temperate forages containing secondary compounds for improving sustainable productivity in grazing ruminants. Anim. Feed Sci. Technol. **120** (3-4): 179-201, http://dx.doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2005.01.015
398]- Reinecke, R. K. et Louw, J. P. (**1991).** Disinfestation of irrigated sheep pastures by alternating grazing with cattle. J. S. Afr. Vet. Assoc. **62** (4): 156-157
399]- Rifkin, G. G. et Dobson, C. (**1979).** Predicting resistance of sheep to *Haemonchus contortus* infections. Vet. Parasitol. **5** (4): 365-378, http://dx.doi.org/10.1016/0304-4017(79)90027-X
400]- Robinson, H. J., Stoerk, H. C. et Graessle, O. E. (**1965).** Studies on the toxicologic and pharmacologic properties of thiabendazole. Toxicol. Appl. Pharmacol. **7** (1): 53-63, http://dx.doi.org/10.1016/0041-008X(65)90074-8
401]- Rocha, R. A., Bresciani, K. D. S., Barros, T. F. M., Fernandes, L. H., Silva, M. B. et Amarante, A. F. T. (**2008).** Sheep and cattle grazing alternately: Nematode parasitism and pasture decontamination. Small Ruminant Res. **75** (2-3): 135-143, http://dx.doi.org/10.1016/j.smallrumres.2007.09.001
402]- Rodriguez, A. B., Bodas, R., Prieto, N., Landa, R., Mantecon, A. R. et Giraldez, F. J. (**2008).** Effect of sex and feeding system on feed intake, growth, and meat and carcass characteristics of fattening Assaf lambs. Livest. Sci. **116** (1-3): 118-125, http://dx.doi.org/10.1016/j.livsci.2007.09.016
403]- Roeber, F., Jex, A. R. et Gasser, R. B. (**2013).** Impact of gastrointestinal parasitic nematodes of sheep, and the role of advanced molecular tools for exploring epidemiology and drug resistance - an Australian perspective. Parasites & Vectors **6**: http://dx.doi.org/10.1186/1756-3305-6-153
404]- Romjali, E., Dorny, P., Batubara, A., Pandey, V. S. et Gatenby, R. M. (**1997).** Peri-parturient rise in faecal strongyle egg counts of different genotypes of sheep in North Sumatra, Indonesia. Vet. Parasitol. **68** (1/2): 191-196, http://dx.doi.org/10.1016/S0304-4017(96)01008-4
405]- Ronchi, B. et Nardone, A. (**2003).** Contribution of organic farming to increase sustainability of Mediterranean small ruminants livestock systems. Livest. Prod. Sci. **80** (1-2): 17-31, http://dx.doi.org/10.1016/S0301-6226(02)00316-0
406]- Rosa, R. et Pugliese, A. (**2002).** Aggregation, stability, and oscillations in different models for host-macroparasite interactions. Theor. Popul. Biol. **61** (3): 319-334, http://dx.doi.org/10.1006/tpbi.2002.1575
407]- Roseby, F. B. (**1973).** Effects of *Trichostrongylus colubriformis* (Nematoda) on the nutrition and metabolism of sheep. 1. Feed intake, digestion, and utilization. Aust. J. Agric. Res. **24** (6): 947-953
408]- Roseby, F. B. et Leng, R. A. (**1974).** Effects of *Trichostrongylus colubriformis* (Nematoda) on the nutrition and metabolism of sheep. 2. Metabolism of urea. Aust. J. Agric. Res. **25** (2): 363-367
409]- Roseby, F. B. (**1977).** Effects of *Trichostrongylus colubriformis* (Nematoda) on the nutrition and metabolism of sheep. 3. Digesta flow and fermentation. Aust. J. Agric. Res. **28** (1): 155-164
410]- Rossi, J. P., Lavelle, P. et Albrecht, A. (**1997).** Relationships between spatial pattern of the endogeic earthworm *Polypheretima elongata* and soil heterogeneity. Soil Biol. Biochem. **29** (3/4): 485-488, http://dx.doi.org/10.1016/S0038-0717(96)00105-8
411]- Rothwell, T. L. W., Windon, R. G., Horsburgh, B. A. et Anderson, B. H. (**1993).** Relationship between eosinophilia and responsiveness to infection with *Trichostrongylus colubriformis* in sheep. Int. J. Parasitol. **23** (2): 203-211, http://dx.doi.org/10.1016/0020-7519(93)90142-L
412]- Rufener, L., Baur, R., Kaminsky, R., Maser, P. et Sigel, E. (**2010).** Monepantel Allosterically Activates DEG-3/DES-2 Channels of the Gastrointestinal Nematode *Haemonchus contortus*. Mol. Pharmacol. **78** (5): 895-902, http://dx.doi.org/10.1124/mol.110.066498
413]- Russel, A. J. F., Doney, J. M. et Gunn, R. G. (**1969).** Subjective assessment of body fat in live sheep. The Journal of Agricultural Science **72** (03): 451-454, http://dx.doi.org/10.1017/S0021859600024874
414]- Sagues, M. F., Fuse, L. A., Fernandez, A. S., Iglesias, L. E., Moreno, F. C. et Saumell, C. A. (**2011).** Efficacy of an energy block containing *Duddingtonia flagrans* in the control of gastrointestinal nematodes of sheep. Parasitol. Res. **109** (3): 707-713, http://dx.doi.org/10.1007/s00436-011-2302-y
415]- Saha, S. B., Pramanik, S. et Mukherjee, G. S. (**1996).** Prevalence of gastrointestinal nematodes of goats in West Bengal. International Journal of Animal Sciences **11** (1): 51-52
416]- Saithanoo, S. (**1996**). Internal parasites in goats in southern Thailand. Sustainable parasite control in small ruminants: an international workshop sponsored by ACIAR Bogor, Indonesia, **Australian Centre for International Agricultural Research (ACIAR), Canberra, Australia**: 122

417]- Sallé, G., Jacquiet, P., Gruner, L., Cortet, J., Sauve, C., Prevot, F., Grisez, C., Bergeaud, J. P., Schibler, L., Tircazes, A., Francois, D., Pery, C., Bouvier, F., Thouly, J. C., Brunel, J. C., Legarra, A., Elsen, J. M., Bouix, J., Rupp, R. et Moreno, C. R. (**2012).** A genome scan for QTL affecting resistance to *Haemonchus contortus* in sheep. J. Anim. Sci. **90** (13): 4690-4705, http://dx.doi.org/10.2527/jas.2012-5121
418]- Sangster, N. C., Prichard, R. K. et Lacey, E. (**1985).** Tubulin and benzimidazole-resistance in *Trichostrongylus colubriformis* (Nematoda). J. Parasitol. **71** (5): 645-651, http://dx.doi.org/10.2307/3281438
419]- Sangster, N. C., Redwin, J. M. et Bjorn, H. (**1998).** Inheritance of levamisole and benzimidazole resistance in an isolate of *Haemonchus contortus*. Int. J. Parasitol. **28** (3): 503-510, http://dx.doi.org/10.1016/S0020-7519(97)00194-X
420]- Santos, M. C., Silva, B. F. et Amarante, A. F. T. (**2012).** Environmental factors influencing the transmission of *Haemonchus contortus*. Vet. Parasitol. **188** (3–4): 277-284, http://dx.doi.org/10.1016/j.vetpar.2012.03.056
421]- Santurio, J. M., Zanette, R. A., Da Silva, A. S., Fanfa, V. R., Farret, M. H., Ragagnin, L., Heckttheuer, P. A. et Monteiro, S. G. (**2011).** A suitable model for the utilization of *Duddingtonia flagrans* fungus in small-flock-size sheep farms. Exp. Parasitol. **127** (4): 727-731, http://dx.doi.org/10.1016/j.exppara.2011.01.013
422]- Sanyal, P. K. (**2000).** Screening for Indian isolates of predacious fungi for use in biological control against nematode parasites of ruminants. Vet. Res. Commun. **24** (1): 55-62, http://dx.doi.org/10.1023/A:1006377422078
423]- Sanyal, P. K., Chauhan, J. B. et Mukhopadhyaya, P. N. (**2004).** Implications of fungicidal effects of benzimidazole compounds on *Duddingtonia flagrans* in integrated nematode parasite management in livestock. Vet. Res. Commun. **28** (5): 375-385, http://dx.doi.org/10.1023/B:VERC.0000034997.50332.77
424]- Sarai, R. S., Kopp, S. R., Coleman, G. T. et Kotze, A. C. (**2013).** Acetylcholine receptor subunit and P-glycoprotein transcription patterns in levamisole-susceptible and -resistant *Haemonchus contortus*. International Journal for Parasitology: Drugs and Drug Resistance **3** (0): 51-58, http://dx.doi.org/10.1016/j.ijpddr.2013.01.002
425]- Sargison, N. D., Wilson, D. J., Bartley, D. J. et Penny, C. D. (**2007).** Haemonchosis and teladorsagiosis in a Scottish sheep flock putatively associated with the overwintering of hypobiotic fourth stage larvae. Vet. Parasitol. **147** (3-4): 326-331, http://dx.doi.org/10.1016/j.vetpar.2007.04.011
426]- Satyavir, S., Yadav, C. L. et Sadana, J. R. (**1998).** Breed variations in immunological and histopathological responses of sheep to *Haemonchus contortus* infection. Journal of Veterinary Parasitology **12** (1): 21-24
427]- Schallig, H. D. F. H., Leeuwen, M. A. W. et Cornelissen, A. W. C. A. (**1997).** Protective immunity induced by vaccination with two *Haemonchus contortus* excretory secretory proteins in sheep. Parasite Immunol. **19** (10): 447-453, http://dx.doi.org/10.1046/j.1365-3024.1997.d01-148.x
428]- Schillhorn van Veen, T. W. et Brinckman, W. L. (**1975).** An evaluation of anthelmintic drenching schemes for lambs on wet season grazing. Samaru Agricultural Newsletter **17**: 70-74
429]- Schillhorn van Veen, T. W. (**1997).** Sense or nonsense? Traditional methods of animal parasitic disease control. Vet. Parasitol. **71** (2-3): 177-194, http://dx.doi.org/10.1016/S0304-4017(97)00031-9
430]- Schwartz, B. (**1947).** Drugs to control parasites. Yearbook of the United States Department of Agriculture.: 71-80., http://www.cabdirect.org/abstracts/19470800350.html
431]- Scott, I., Pomroy, W. E., Kenyon, P. R., Smith, G., Adlington, B. et Moss, A. (**2013).** Lack of efficacy of monepantel against *Teladorsagia circumcincta* and *Trichostrongylus colubriformis*. Vet. Parasitol. **198** (1-2): 166-171, http://dx.doi.org/10.1016/j.vetpar.2013.07.037
432]- Shaik, S. A., Terrill, T. H., Miller, J. E., Kouakou, B., Kannan, G., Kaplan, R. M., Burke, J. M. et Mosjidis, J. A. (**2006).** Sericea lespedeza hay as a natural deworming agent against gastrointestinal nematode infection in goats. Vet. Parasitol. **139** (1-3): 150-157, http://dx.doi.org/10.1016/j.vetpar.2006.02.020
433]- Shamsul, I. (**1988).** Helminthiasis of sheep in Zambia. Livestock Adviser **13** (6): 41-45
434]- Sharma, D. K., Nimisha, A., Ajoy, M., Pooja, N. et Saket, B. (**2009**). Coccidia and gastrointestinal nematode infections in semi-intensively managed Jakhrana goats of semi-arid region of India. 9th International Goat Conference, Queretaro, Mexico, 31 August-4 September 2008., Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Autonoma de Yucatan: 135-139
435]- Shaw, R. J., Gatehouse, T. K. et McNeill, M. M. (**1998).** Serum IgE responses during primary and challenge infections of sheep with *Trichostrongylus colubriformis*. Int. J. Parasitol. **28** (2): 293-302, http://dx.doi.org/10.1016/S0020-7519(97)00164-1
436]- Shorb, D. et Habermann, R. T. (**1940).** Effect of phenothiazine on the development of roundworm larvae in the faeces. Veterinary Medicine **35** (8): 454-457

437]- Sierra, J., Desfontaines, L., Faverial, J., Loranger-Merciris, G. et Boval, M. (**2013).** Composting and vermicomposting of cattle manure and green wastes under tropical conditions: carbon and nutrient balances and end-product quality. Soil Research **51** (2): 142-151, http://dx.doi.org/10.1071/sr13031
438]- Silangwa, S. M. et Todd, A. C. (**1964).** Vertical migration of Trichostrongylid larvae on grasses. The Journal of Parasitology **50** (2): 278-285
439]- Silva, B. F., Amarante, M. R. V., Kadri, S. M., Carrijo-Mauad, J. R. et Amarante, A. F. T. (**2008).** Vertical migration of *Haemonchus contortus* third stage larvae on *Brachiaria decumbens* grass. Vet. Parasitol. **158** (1/2): 85-92, http://dx.doi.org/10.1016/j.vetpar.2008.08.009
440]- Silva, M. V. B., Sonstegard, T. S., Hanotte, O., Mugambi, J. M., Garcia, J. F., Nagda, S., Gibson, J. P., Iraqi, F. A., McClintock, A. E., Kemp, S. J., Boettcher, P. J., Malek, M., Van Tassell, C. P. et Baker, R. L. (**2012).** Identification of quantitative trait loci affecting resistance to gastrointestinal parasites in a double backcross population of Red Maasai and Dorper sheep. Anim. Genet. **43** (1): 63-71, http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2052.2011.02202.x
441]- Silva, W. W., Bevilaqua, C. M. L. et Costa, A. L. (**1998).** Natural evolution of gastrointestinal nematodes in goats (*Capra hircus*) in the semi-arid ecosystem of the Paraiba backwoods, northeastern Brazil. Vet. Parasitol. **80** (1): 47-52, http://dx.doi.org/10.1016/S0304-4017(98)00188-5
442]- Silvestre, A., Cabaret, J. et Humbert, J. F. (**2001).** Effect of benzimidazole under-dosing on the resistant allele frequency in *Teladorsagia circumcincta* (Nematoda). Parasitology **123**: 103-111, http://dx.doi.org/10.1017/S0031182001008009
443]- Silvestre, A., Leignel, V., Berrag, B., Gasnier, N., Humbert, J. F., Chartier, C. et Cabaret, J. (**2002).** Sheep and goat nematode resistance to anthelmintics: pro and cons among breeding management factors. Vet. Res. **33** (5): 465-480, http://dx.doi.org/10.1051/vetres:2002033
444]- Singer, A. J. et Baker, D. W. (**1940).** Phenothiazine as an anthelmintic for intestinal nematode parasitisms in sheep. Cornell Vet. **30** (3): 375-382, http://www.cabdirect.org/abstracts/19400800852.html
445]- Singh, D. R., McIntyre, K. H. et Mua, A. (**1972).** The effects of drenching and rotational grazing on gastro-intestinal parasites in sheep. Fiji Agricultural Journal **34** (1): 11-14
446]- Sissay, M. M., Uggla, A. et Waller, P. J. (**2007).** Epidemiology and seasonal dynamics of gastrointestinal nematode infections of sheep in a semi-arid region of eastern Ethiopia. Vet. Parasitol. **143** (3-4): 311-321, http://dx.doi.org/10.1016/j.verpar.2006.08.026
447]- Smith, W. D., Skuce, P. J., Newlands, G. F. J., Smith, S. K. et Pettit, D. (**2003).** Aspartyl proteases from the intestinal brush border of *Haemonchus contortus* as protective antigens for sheep. Parasite Immunol. **25** (11-12): 521-530, http://dx.doi.org/10.1111/j.0141-9838.2004.00667.x
448]- Soli, F., Terrill, T. H., Shaik, S. A., Getz, W. R., Miller, J. E., Vanguru, M. et Burke, J. M. (**2010).** Efficacy of copper oxide wire particles against gastrointestinal nematodes in sheep and goats. Vet. Parasitol. **168** (1-2): 93-96, http://dx.doi.org/10.1016/j.vetpar.2009.10.004
449]- Sommerville, R. I. (**1957).** The exsheathing mechanism of nematode infective larvae. Exp. Parasitol. **6** (1): 18-30, http://dx.doi.org/10.1016/0014-4894(57)90004-8
450]- Soulsby, E. (**1960).** Immunity to helminths-recent advances. Vet. Rec. **72**: 322-328, http://www.cabdirect.org/abstracts/19612201544.html
451]- Soulsby, E. J., Sommerville, R. I. et Stewart, D. F. (**1959).** Antigenic stimulus of exsheathing fluid in self-cure of sheep infested with *Haemonchus contortus*. Nature **183** (4660): 553-4, http://dx.doi.org/10.1038/183553b0
452]- Southcott, W. (**1963).** Ovicidal effect of thiabendazole and its activity against immature helminths of sheep. Aust. Vet. J. **39** (12): 452-458, http://dx.doi.org/10.1111/j.1751-0813.1963.tb04195.x
453]- Southcott, W. H. et Barger, I. A. (**1975).** Control of nematode parasites by grazing management—II. Decontamination of sheep and cattle pastures by varying periods of grazing with the alternate host. Int. J. Parasitol. **5** (1): 45-48, http://dx.doi.org/10.1016/0020-7519(75)90096-X
454]- Spickett, A., de Villiers, J. F., Boomker, J., Githiori, J. B., Medley, G. F., Stenson, M. O., Waller, P. J., Calitz, F. J. et Vatta, A. F. (**2012).** Tactical treatment with copper oxide wire particles and symptomatic levamisole treatment using the FAMACHA (c) system in indigenous goats in South Africa. Vet. Parasitol. **184** (1): 48-58, http://dx.doi.org/10.1016/j.vetpar.2011.08.003
455]- Stafford, K. A., Morgan, E. R. et Coles, G. C. (**2009).** Weight-based targeted selective treatment of gastrointestinal nematodes in a commercial sheep flock. Vet. Parasitol. **164** (1): 59-65, http://dx.doi.org/10.1016/j.vetpar.2009.04.009
456]- Stewart, D. F. (**1955).** 'Self-Cure' in Nematode Infestations of Sheep. Nature (Lond.) **176**: 1273-1274, http://dx.doi.org/10.1038/1761273b0
457]- Stoll, N. R. (**1929).** Studies with the strongyloid nematode, *Haemonchus contortus*: i. Acquired resistance of hosts under natural reinfection conditions out-of-doors. Am. J. Epidemiol. **10** (2): 384-418, http://aje.oxfordjournals.org/content/10/2/384.short

458]- Swales, W. E. (**1939).** Tests of Phenothiazine as Anthelmintic: On a Means of Administration and the Indicated Uses for the Control of Parasitic Diseases of Sheep. Can. J. Comp. Med. **3** (7): 188, http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1702159/pdf/cjcompmed00007-0022.pdf
459]- Talukdar, S. K. (**1996).** Prevalence of helminthic infections of goats in Assam. Journal of Veterinary Parasitology **10** (1): 83-86
460]- Tan, T. K., Panchadcharam, C., Low, V. L., Lee, S. C., Ngui, R., Sharma, R. S. K. et Lim, Y. A. L. (**2014).** Co-infection of *Haemonchus contortus* and *Trichostrongylus* spp. among livestock in Malaysia as revealed by amplification and sequencing of the internal transcribed spacer II DNA region. BMC Vet. Res. **10**: http://dx.doi.org/10.1186/1746-6148-10-38
461]- Tariq, K. A., Chishti, M. Z. et Ahmad, F. (**2010).** Gastro-intestinal nematode infections in goats relative to season, host sex and age from the Kashmir valley, India. J. Helminthol. **84** (1): 93-97, http://dx.doi.org/10.1017/S0022149X09990113
462]- Tavernor, A. S., Smith, T. S., Langford, C. F., Munn, E. A. et Graham, M. (**1992).** Vaccination of young Dorset lambs against haemonchosis. Parasite Immunol. **14** (6): 645-655, http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-3024.1992.tb00036.x
463]- Taylor, E. et Sanderson, K. (**1940).** Phenothiazine-a remarkably efficient anthelmintic. Vet. Rec. **52** (36): 635-647, http://www.cabdirect.org/abstracts/19400800357.html
464]- Tchoumboue, J., Awah-Ndukum, J. J. et Tong, J. C. (**2000).** A survey of gastrointestinal parasites in sheep and goats of Western Highlands of Cameroon. Bull. Anim. Health Prod. Afr. **48** (4): http://www.cabdirect.org/abstracts/20023180103.html
465]- Tembely, S., Lahlou-Kassi, A., Rege, J. E. O., Sovani, S., Diedhiou, M. L. et Baker, R. L. (**1997).** The epidemiology of nematode infections in sheep in a cool tropical environment. Vet. Parasitol. **70** (1/3): 129-141, http://dx.doi.org/10.1016/S0304-4017(96)01144-2
466]- Terefe, G., Lacroux, C., Andreoletti, O., Grisez, C., Prevot, F., Bergeaud, J. P., Penicaud, J., Rouillon, V., Gruner, L., Brunel, J. C., Francois, D., Bouix, J., Dorchies, P. et Jacquiet, P. (**2007).** Immune response to *Haemonchus contortus* infection in susceptible (INRA 401) and resistant (Barbados Black Belly) breeds of lambs. Parasite Immunol. **29** (8): 415-424, http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-3024.2007.00958.x
467]- Terrill, T. H., Mosjidis, J. A., Moore, D. A., Shaik, S. A., Miller, J. E., Burke, J. M., Muir, J. P. et Wolfe, R. (**2007).** Effect of pelleting on efficacy of sericea lespedeza hay as a natural dewormer in goats. Vet. Parasitol. **146** (1/2): 117-122, http://dx.doi.org/10.1016/j.vetpar.2007.02.005
468]- Torres, S., McManus, C., do Amarante, A. F. T., Verdolin, V. et Louvandini, H. (**2009).** Ruminant nematodes in pasture under different grazing systems with sheep and cattle. Pesqu. Agropecu. Bras. **44** (9): 1191-1197, http://www.scielo.br/pdf/pab/v44n9/v44n9a18.pdf
469]- UE (**1992**). Directive 92/18/CEE de la Commission, du 20 mars 1992, modifiant l'annexe de la directive 81/852/CEE du Conseil relative au rapprochement des législations des Etats membres concernant les normes et protocoles analytiques, toxico- pharmacologiques et cliniques en matière d'essais de médicaments vétérinaires JO L 97 du 10.4.1992, p. 1–23 http://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/?uri=CELEX%3A31992L0018 *accédé le: 12/08/2014*
470]- Uncini Manganelli, R. E., Camangi, F. et Tomei, P. E. (**2001).** Curing animals with plants: traditional usage in Tuscany (Italy). J. Ethnopharmacol. **78** (2-3): 171-191, http://dx.doi.org/10.1016/S0378-8741(01)00341-5
471]- Urquhart, G. M., Jarrett, W. F., Jennings, F. W., McIntyre, W. I. et Mulligan, W. (**1966a).** Immunity to *Haemonchus contortus* infection: relationship between age and successful vaccination with irradiated larvae. Am. J. Vet. Res. **27** (121): 1645-1648
472]- Urquhart, G. M., Jarrett, W. F., Jennings, F. W., McIntyre, W. I., Mulligan, W. et Sharp, N. C. (**1966b).** Immunity to *Haemonchus contortus* infection. Failure of x-irradiated larvae to immunize young lambs. Am. J. Vet. Res. **27** (121): 1641-1643
473]- Vadlejch, J., Lukešová, D., Vašek, J., Vejl, P., Sedlák, P., Čadková, Z., Langrová, I., Jankovská, I. et Salaba, O. (**2014).** Comparative morphological and molecular identification of *Haemonchus* species in sheep. Helminthologia **51** (2): 130-140, http://dx.doi.org/10.2478/s11687-014-0220-0
474]- van Dijk, J., Louw, M. D. E. d., Kalis, L. P. A. et Morgan, E. R. (**2009).** Ultraviolet light increases mortality of nematode larvae and can explain patterns of larval availability at pasture. Int. J. Parasitol. **39** (10): 1151-1156, http://dx.doi.org/10.1016/j.ijpara.2009.03.004
475]- van Dijk, J. et Morgan, E. R. (**2011).** The influence of water on the migration of infective trichostrongyloid larvae onto grass. Parasitology **138** (6): 780-788, http://dx.doi.org/10.1017/s0031182011000308
476]- van Soest, P. J., Robertson, J. B. et Lewis, B. A. (**1991).** Methods of dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. J. Dairy Sci. **74** (10): 3583-3597, http://dx.doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(91)78551-2

477]- Van Wyk, J. A., Malan, F. S., Gerber, H. M. et Alves, R. M. R. (**1989).** The problem of escalating resistance of *Haemonchus contortus* to the modern anthelmintics in South Africa. Onderstepoort J. Vet. Res. **56** (1): 41-49
478]- Van Wyk, J. A., Malan, F. S. et Randles, J. L. (**1997).** How long before resistance makes it impossible to control some field strains of *Haemonchus contortus* in South Africa with any of the modern anthelmintics. Vet. Parasitol. **70** (1/3): 111-122, http://dx.doi.org/10.1016/S0304-4017(96)01147-8
479]- Van Wyk, J. A., Stenson, M. O., Merwe, J. S., Vorster, R. J. et Viljoen, P. G. (**1999).** Anthelmintic resistance in South Africa: surveys indicate an extremely serious situation in sheep and goat farming. Onderstepoort J. Vet. Res. **66** (4): 273-284
480]- Van Wyk, J. A. (**2001).** Refugia - overlooked as perhaps the most potent factor concerning the development of anthelmintic resistance. Onderstepoort J. Vet. Res. **68** (1): 55-67
481]- Van Wyk, J. A., Wijk, E. F., Stensonb, S. O. et Barnard, S. H. (**2001**). Anthelmintic resistance reverted by dilution with a susceptible strain of Haemonchus contortus in the field: preliminary report. 5th International Sheep Veterinary Conference, University of Stellenbosch , South Africa, Bayer AG, Leverkusen, Germany
482]- Vannier-Santos, M. A. et Lenzi, H. L. (**2011).** Parasites or cohabitants: cruel omnipresent usurpers or creative "éminences grises"? Journal of Parasitology Research **1**, http://www.hindawi.com/journals/jpr/aip/214174.pdf
483]- Vatta, A. F., Waller, P. J., Githiori, J. B. et Medley, G. F. (**2009).** The potential to control *Haemonchus contortus* in indigenous South African goats with copper oxide wire particles. Vet. Parasitol. **162** (3-4): 306-313, http://dx.doi.org/10.1016/j.vetpar.2009.03.005
484]- Vatta, A. F., Waller, P. J., Githiori, J. B. et Medley, G. F. (**2012).** Persistence of the efficacy of copper oxide wire particles against *Haemonchus contortus* in grazing South African goats. Vet. Parasitol. **190** (1–2): 159-166, http://dx.doi.org/10.1016/j.vetpar.2012.06.018
485]- Veglia, F. (**1918).** Chemotherapy of Haemonchosis in Sheep. Union of South Africa, Dept. of Agriculture. 5th and 6th Repts. of the Director of Veterinary Research: 377-482, http://www.cabdirect.org/abstracts/19206300017.html
486]- Vlassoff, A. (**1978**). Integrated control of gastro-intestinal nematodes of sheep. 2nd Australasian Conference on grassland invertebrate ecology Palmerston North, New Zealand, **P.D. Hasselberg, Government Printer, Wellington, New Zealand**: 188-191
487]- Vokaty, S., McPherson, V. O. M., Camus, E. et Applewhaite, L. (**1993).** Ovine trypanosomosis: a seroepidemiological survey in coastal Guyana. Revue Elev. Méd. vét. Pays trop. **46** (1/2): 57-59, http://remvt.cirad.fr/cd/EMVT93_1-2.PDF
488]- von Samson-Himmelstjerna, G., Pape, M., von Witzendorff, C. et Schnieder, T. (**2002).** Allele-specific PCR for the beta-tubulin codon 200 TTC/TAC polymorphism using single adult and larval small strongyle (Cyathostominae) stages. J. Parasitol. **88** (2): 254-257, http://dx.doi.org/10.2307/3285570
489]- von Son-de Fernex, E., Alonso-Díaz, M. A., Valles-de la Mora, B. et Capetillo-Leal, C. M. (**2012).** In vitro anthelmintic activity of five tropical legumes on the exsheathment and motility of *Haemonchus contortus* infective larvae. Exp. Parasitol. **131** (4): 413-418, http://dx.doi.org/10.1016/j.exppara.2012.05.010
490]- Waghorn, T. S., Leathwick, D. M., Chen, L. Y., Gray, R. A. J. et Skipp, R. A. (**2002).** Influence of nematophagous fungi, earthworms and dung burial on development of the free-living stages of *Ostertagia* (*Teladorsagia*) *circumcincta* in New Zealand. Vet. Parasitol. **104** (2): 119-129, http://dx.doi.org/10.1016/S0304-4017(01)00629-X
491]- Waller, P. J., Dobson, R. J., Donald, A. D., Griffiths, D. A. et Smith, E. F. (**1985).** Selection studies on anthelmintic resistant and susceptible populations of *Trichostrongylus colubriformis* of sheep. Int. J. Parasitol. **15** (6): 669-676, http://dx.doi.org/10.1016/0020-7519(85)90014-1
492]- Waller, P. J. (**1993a).** Control strategies to prevent resistance. Vet. Parasitol. **46** (1-4): 133-142, http://dx.doi.org/10.1016/0304-4017(93)90054-Q
493]- Waller, P. J. (**1993b).** Towards sustainable nematode parasite control of livestock. Vet. Parasitol. **48** (1-4): 295-309, http://dx.doi.org/10.1016/0304-4017(93)90164-I
494]- Waller, P. J. et Faedo, M. (**1996).** The prospects for biological control of the free-living stages of nematode parasites of livestock. Int. J. Parasitol. **26** (8/9): 915-925, http://dx.doi.org/10.1016/S0020-7519(96)80064-6
495]- Waller, P. J. (**1997).** Nematode parasite control of livestock in the tropics/subtropics: the need for novel approaches. Int. J. Parasitol. **27** (10): 1193-1201, http://dx.doi.org/10.1016/S0020-7519(97)00117-3
496]- Waller, P. J. (**1999).** International approaches to the concept of integrated control of nematode parasites of livestock. Int. J. Parasitol. **29** (1): 155-164, http://dx.doi.org/10.1016/S0020-7519(98)00178-7

497]- Waller, P. J., Bernes, G., Rudby-Martin, L., Ljungstrom, B. L. et Rydzik, A. (**2004a).** Evaluation of copper supplementation to control parasite infections of sheep in Sweden. Svensk Veterinartidning **56** (14): 11-16
498]- Waller, P. J., Rudby-Martin, L., Ljungstrom, B. L. et Rydzik, A. (**2004b).** The epidemiology of abomasal nematodes of sheep in Sweden, with particular reference to over-winter survival strategies. Vet. Parasitol. **122** (3): 207-220, http://dx.doi.org/10.1016/j.vetpar.2004.04.007
499]- Waller, P. J., Schwan, O., Ljungstrom, B. L., Rydzik, A. et Yeates, G. W. (**2004c).** Evaluation of biological control of sheep parasites using *Duddingtonia flagrans* under commercial farming conditions on the island of Gotland, Sweden. Vet. Parasitol. **126** (3): 299-315, http://dx.doi.org/10.1016/j.vetpar.2004.08.008
500]- Waller, P. J. (**2005**). Domestication of ruminant livestock and the impact of nematode parasites: possible implications for the reindeer industry. 11th Arctic Ungulate Conference, Saariselka, Finland. 24-28 August, 2003: 39-50
501]- Waller, P. J. (**2006).** Sustainable nematode parasite control strategies for ruminant livestock by grazing management and biological control. Anim. Feed Sci. Technol. **126** (3-4): 277-289, http://dx.doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2005.08.007
502]- Waller, P. J., Ljungstrom, B. L., Schwan, O., Martin, L. R., Morrison, D. A. et Rydzik, A. (**2006).** Biological control of sheep parasites using *Duddingtonia flagrans*: Trials on commercial farms in Sweden. Acta Vet. Scand. **47** (1): 23-32, http://dx.doi.org/10.1186/1751-0147-47-23
503]- Wang, T., van Wyk, J. A., Morrison, A. et Morgan, E. R. (**2014).** Moisture requirements for the migration of *Haemonchus contortus* third stage larvae out of faeces. Vet. Parasitol. **204** (3–4): 258-264, http://dx.doi.org/10.1016/j.vetpar.2014.05.014
504]- Watson, D. L. et Gill, H. S. (**1991).** Post natal ontogeny of immunological responsiveness in Merino sheep. Res. Vet. Sci. **51** (1): 88-93, http://dx.doi.org/10.1016/0034-5288(91)90037-O
505]- Williams, J. C. (**1997).** Anthelmintic treatment strategies: current status and future. Vet. Parasitol. **72** (3-4): 461-470, http://dx.doi.org/10.1016/S0304-4017(97)00111-8
506]- Wright, D. A., McAnulty, R. W., Noonan, M. J. et Stankiewicz, M. (**2003).** The effect of *Duddingtonia flagrans* on trichostrongyle infections of Saanen goats on pasture. Vet. Parasitol. **118** (1-2): 61-69, http://dx.doi.org/10.1016/j.vetpar.2003.10.005
507]- www.chr-hansen.com/ search : "*Duddingtonia*". http://www.chr-hansen.com/products.html *accédé le: 04/09/2014*
508]- Yatsuda, A. P., Krijgsveld, J., Cornelissen, A. W. C. A., Heck, A. J. R. et Vries, E. d. (**2003).** Comprehensive analysis of the secreted proteins of the parasite *Haemonchus contortus* reveals extensive sequence variation and differential immune recognition. J. Biol. Chem. **278** (19): 16941-16951, http://www.jbc.org/content/early/2003/02/07/jbc.M212453200/suppl/DC1
509]- Yeates, G. W., Skipp, R. A., Gray, R. A. J., Chen, L. Y. et Waghorn, T. S. (**2007).** Impact on soil fauna of sheep faeces containing a range of parasite control agents. Appl. Soil Ecol. **35** (2): 380-389, http://dx.doi.org/10.1016/j.apsoil.2006.07.003
510]- Zaffaroni, E., Manfredi, M. T., Citterio, C., Sala, M., Piccolo, G. et Lanfranchi, P. (**2000).** Host specificity of abomasal nematodes in free ranging alpine ruminants. Vet. Parasitol. **90** (3): 221-230, http://dx.doi.org/10.1016/S0304-4017(00)00240-5
511]- Zajac, A. M., Herd, R. P. et McClure, K. E. (**1988).** Trichostrongylid parasite populations in pregnant or lactating and unmated Florida Native and Dorset/Rambouillet ewes. Int. J. Parasitol. **18** (7): 981-985, http://dx.doi.org/10.1016/0020-7519(88)90181-6
512]- Zajac, A. M., Thatcher, C. D., Notter, D., Hansen, J. W. et Umberger, S. (**1992).** Comparison of anthelmintic control programs for sheep in Virginia. J. Am. Vet. Med. Assoc. **201** (3): 449-453,
513]- Zhou, Y. C. et Veen, T. W. S. (**1986).** Control of trichostrongylid pasture infestation in spring by the periparturient anthelmintic treatment of housed ewes prior to or at the time of turn out. Vet. Parasitol. **19** (1/2): 157-161, http://dx.doi.org/10.1016/0304-4017(86)90044-0
514]- Zinsstag, J., Ankers, P., Ndao, M., Bonfoh, B. et Pfister, K. (**1998).** Multiparasitism, production and economics in domestic animals in sub-Saharan West Africa. Parasitol. Today **14** (2): 46-49, http://dx.doi.org/10.1016/S0169-4758(97)01183-6

Annexe 1 : suivi de l'efficacité des anthelminthiques sur le domaine INRA-PTEA (Guadeloupe) : 1999 - 2012

Tests d'efficacité des anthelminthiques (FECRT) sur les souches parasitaires du domaine expérimental INRA-Gardel (actuellement INRA-PTEA) : une réduction moyenne inférieure à 95% et une limite inférieure de l'intervalle de confiance inférieure à 90% indiquent une résistance à l'anthelminthique correspondant (statut = R). Si une seule condition est remplie (statut = r), il y a suspicion de résistance (Coles et al, 2006). Les intervalles de confiance du taux de réduction ont été estimés par bootstrap (2000 ré-échantillonnages) suivant la méthode "iFECRT4" préconisée par Cabaret et Berrag (2004). Seuls les animaux avec un FEC > 150 opg ont été utilisés pour les calculs. **Retour p. 26**

Tableau 5 ***: test d'efficacité des anthelminthiques sur les populations établies avant substitution (1999), méthode "iFECRT4" préconisée par Cabaret et Berrag (2004).***

Genre	Traitement	Dose (mg/kg)	N	FEC (min-max) Avant traitement	**Réduction (%) [IC95]**	**Statut**
Hæmonchus	Fenbendazole	7.5	11	1422 (677 ; 2909)	-16 [53 ; -120]	R
	Albendazole	30	12	1345 (596 ; 2611)	66 [83 ; 42]	R
	Netobimin	30	12	1673 (507 ; 3999)	100 [100 ; 100]	S
	Tetramisole	22.5	12	1343 (589 ; 3157)	98 [99 ; 97]	S
	Levamisole	12	13	2029 (532 ; 4056)	100 [100 ; 99]	S
	Pyrantel	33	8	1877 (528 ; 3727)	98 [99 ; 96]	S
	Closantel	15	12	1999 (677 ; 4390)	95 [97 ; 91]	S
	Ivermectine	0.3	11	2172 (743 ; 5662)	100 [100 ; 100]	S
	Moxidectine	0.3	12	2457 (632 ; 5011)	100 [100 ; 99]	S
	Témoin	-	16	2317 (692 ; 7223)		
Trichostrongylus	Fenbendazole	7.5	11	2247 (748 ; 3950)	97 [98 ; 94]	S
	Albendazole	30	12	2421 (1089 ; 4933)	99 [100 ; 97]	S
	Netobimin	30	12	1510 (386 ; 4515)	100 [100 ; 100]	S
	Tetramisole	22.5	12	1708 (748 ; 3856)	-15 [44 ; -113]	R
	Levamisole	12	13	1452 (365 ; 3832)	-256 [-82 ; -549]	R
	Pyrantel	33	8	2004 (451 ; 4154)	-84 [17 ; -263]	R
	Closantel	15	12	1633 (573 ; 3903)	-36 [25 ; -126]	R
	Ivermectine	0.3	12	2241 (361 ; 4159)	100 [100 ; 100]	S
	Moxidectine	0.3	12	2153 (511 ; 4180)	100 [100 ; 100]	S
	Témoin	-	16	1405 (462 ; 3585)		
Œsophagostomum	Fenbendazole	7.5	11	1599 (653 ; 3091)	100 [100 ; 99]	S
	Albendazole	30	12	961 (329 ; 1875)	100 [100 ; 100]	S
	Netobimin	30	12	1720 (635 ; 5247)	100 [100 ; 100]	S
	Tetramisole	22.5	12	2053 (632 ; 5444)	95[98 ; 91]	S
	Levamisole	12	13	2526 (376 - 13875)	93 [96 ; 88]	R
	Pyrantel	33	8	1801 (406 ; 7134)	51 [75 ; 14]	R
	Closantel	15	12	952 (288 ; 2033)	-20 [31 ; -99]	R
	Ivermectine	0.3	11	962 (311 ; 1617)	100 [100 ; 100]	S
	Moxidectine	0.3	12	428 (151 ; 876)	100 [100 ; 100]	S
	Témoin	-	15	1394 (403 ; 3669)		

Tableau 6 ***: test d'efficacité de la doramectine avant substitution (1999) : pas de lot témoin, méthode "iFECRT3" préconisée par Cabaret et Berrag (2004).***

Genre	Traitement	Dose (mg/kg)	N	FEC (min-max) Avant traitement	**Réduction (%) [IC95]**	**Statut**
Hæmonchus	Doramectine	0.3	8	343 (171 ; 740)	100 [100 ; 100]	S
Trichostrongylus	Doramectine	0.3	10	2587 (204 ; 4619)	84 [96 ; 66]	R
Œsophagostomum	Doramectine	0.3	1	2999	100 -	S?

Tableau 7 ***: tests d'efficacité des anthelminthiques après réintroduction de la souche "Calixte" d'H. contortus, méthode "iFECRT4" préconisée par Cabaret et Berrag (2004).***

Genre	Date	Traitement	Dose (mg/kg)	N	FEC (min-max) Avant traitement	**Réduction (%) [IC95]**	**Statut**
Hæmonchus							
	nov-00	Albendazole	30	29	5153 (171 ; 24967)	91 [94 ; 87]	**R**
	nov-00	Fenbendazole	7.5	30	5003 (268 ; 22744)	84 [91 ; 72]	**R**
	nov-00	Netobimin	11.25	30	3769 (151 ; 16461)	99 [100 ; 98]	S
	nov-00	Levamisole	11.25	32	5544 (162 ; 17525)	99 [100 ; 98]	S
	nov-00	Ivermectine	0.3	30	5298 (159 ; 16123)	100 [100 ; 100]	S
	nov-00	Moxidectine	0.3	30	4597 (292 ; 15203)	100 [100 ; 100]	S
	nov-00	Témoin	-	38	5510 (140 ; 19779)	-	-
	mai-01	Fenbendazole	7.5	29	5166 (302-22744)	83 [90 ; 71]	**R**
	mai-01	Albendazole	30	27	5522 (676 ; 24967)	91 [94 ; 88]	**R**
	mai-01	Netobimin	30	29	3894 (301 ; 16461)	99 [100 ; 98]	S
	mai-01	Levamisole	22.5	29	6096 (373 ; 17525)	100 [100 ; 99]	S
	mai-01	Ivermectine	0.3	28	5663 (334 ; 16123)	100 [100 ; 100]	S
	mai-01	Moxidectine	0.3	28	4904 (300 ; 15203)	100 [100 ; 99]	S
	mai-01	Témoin	-	36	5808 (369 ; 19779)	-	
	sept-04	Netobimin	7.5	21	1923 (229 ; 8731)	63 [89 ; 14]	**R**
	sept-04	Netobimin	15	21	1597 (164 ; 7724)	82 [95 ; 56]	**R**
	sept-04	Netobimin	22.5	19	1355 (281 ; 3574)	65 [93 ; -4]	**R**
	sept-04	Levamisole	11.25	20	1216 (316 ; 4158)	100 [100 ; 99]	S
	sept-04	Ivermectine	0.3	19	1535 (266 ; 6370)	99 [100 ; 97]	S
	sept-04	Témoin	-	20	1835 (330 ; 8609)	-	-
	mai-07	Levamisole	11.25	4	287 (207 ; 383)	96 [98 ; 94]	S
	mai-07	Ivermectine	0.3	2	301 (269 ; 333)	27 [71 ; -31]	R
	mai-07	Moxidectine	0.3	3	320 (206 ; 403)	100 [100 ; 100]	S
	mai-07	Témoin	-	8	166 (81 ; 373)	-	-
	janv-12	Netobimin	11.25	7	4156 (1420 ; 9918)	74 [92 ; 37]	**R**
	janv-12	Levamisole	11.25	7	5495 (193 ; 11058)	97 [100 ; 90]	S
	janv-12	Ivermectine	0.3	7	5359 (430 ; 13111)	-312 [19 ; -1015]	**R**
	janv-12	Moxidectine	0.3	10	10166 (337 ; 49258)	98 [100 ; 93]	S
	janv-12	Témoin	-	10	7956 (384 ; 20183)	-	-

Retour p. 27

Tableau 8 ***: tests d'efficacité des anthelminthiques après réintroduction de la souche "Meunier" de T. colubriformis, méthode "iFECRT4" préconisée par Cabaret et Berrag (2004).***

Genre	Date	Traitement	Dose (mg/kg)	N	FEC (min-max) Avant traitement	**Réduction (%) [IC95]**	**Statut**
Trichostrongylus							
	nov-00	Albendazole	30	8	234 (151 ; 490)	66 [82 ; 40]	**R**
	nov-00	Fenbendazole	7.5	7	227 (164 ; 446)	48 [78 ; 12]	**R**
	nov-00	Levamisole	11.25	8	265 (174 ; 344)	100 [100 ; 100]	S
	nov-00	Ivermectine	0.3	7	238 (154 ; 317)	100 [100 ; 100]	S
	nov-00	Moxidectine	0.3	8	214 (164 ; 299)	100 [100 ; 100]	S
	nov-00	Témoin	-	38	108 (3 ; 388)	-	-
	janv-03	Albendazole	30	28	990 (222 ; 3246)	69 [78 ; 59]	**R**
	janv-03	Fenbendazole	7.5	28	854 (224 ; 1528)	17 [36 ; -5]	**R**
	janv-03	Netobimin	11.25	29	906 (260 ; 2684)	95 [100 ; 86]	r
	janv-03	Levamisole	11.25	30	980 (260 ; 2528)	54 [67 ; 37]	**R**
	janv-03	Ivermectine	0.3	30	990 (164 ; 2472)	100 [100 ; 100]	S
	janv-03	Moxidectine	0.3	30	889 (283 ; 3582)	100 [100 ; 100]	S
	janv-03	Témoin	-	47	989 (275 ; 2033)	-	-
	sept-04	Netobimin	7.5	10	448 (227 ; 1173)	97 [99 ; 94]	S
	sept-04	Netobimin	15	10	377 (151 ; 1038)	99 [100 ; 99]	S
	sept-04	Netobimin	22.5	10	273 (152 ; 480)	99 [100 ; 97]	S
	sept-04	Levamisole	11.25	8	297 (153 ; 558)	67 [95 ; 2]	**R**
	sept-04	Ivermectine	0.3	10	316 (155 ; 856)	100 [100 ; 100]	S
	sept-04	Témoin	-	20	247 (44 ; 1157)	-	-
	mai-07	Levamisole	11.25	7	622 (169 ; 1200)	29 [54 ; -3]	**R**
	mai-07	Ivermectine	0.3	5	624 (321 ; 1044)	100 [100 ; 99]	S
	mai-07	Moxidectine	0.3	8	565 (158 ; 1262)	100 [100 ; 100]	S
	mai-07	Témoin	-	8	518 (255 ; 1167)	-	-

Retour p. 27

Annexe 2 : Mahieu, M., Ferré, B., Madassamy, M. et Mandonnet, N. (2014). **Fifteen years later, anthelmintic resistances have dramatically spread over goat farms in Guadeloupe. Vet. Parasitol. 205 (1-2) : 379-384**

Retour p. 29

Veterinary Parasitology 205 (2014) 379–384

Contents lists available at ScienceDirect

Veterinary Parasitology

journal homepage: www.elsevier.com/locate/vetpar

Short Communication

Fifteen years later, anthelmintic resistances have dramatically spread over goat farms in Guadeloupe

Maurice Mahieu[a,*], Benjamin Ferré[a,b], Marylène Madassamy[b], Nathalie Mandonnet[a]

[a] INRA, UR143 Recherches Zootechniques, Domaine Duclos, F-97170 Petit bourg, Guadeloupe, France
[b] Cabricoop, Rond Point Destrellan, F-97122 Baie mahault, Guadeloupe, France

ARTICLE INFO

Article history:
Received 30 April 2014
Received in revised form 17 July 2014
Accepted 27 July 2014

Keywords:
Anthelmintic resistance
Goat
Haemonchus sp.
Trichostrongylus sp.

ABSTRACT

Faecal egg count reduction tests (FECRTs) were performed on 21 goat farms in Guadeloupe (FWI). Anthelmintic resistance (AR) to netobimin (benzimidazole) was found in all 15 herds in which it was tested. AR to ivermectin (avermectin) and levamisole (imidazothiazole) were also very largely spread (14 out of 17 farms and 7 out of 9 farms, respectively). AR to the final moxidectin (milbemycin) released was already present in 2 out of 9 farms in which it was tested. *Haemonchus* was the dominant genus of gastrointestinal nematodes and was more frequently found to be resistant to netobimin, ivermectin and moxidectin than *Trichostrongylus*, the latter appeared to be more often resistant to levamisole. A first survey 15 years ago revealed only AR to benzimidazoles and one suspected case of AR to ivermectin.

© 2014 Elsevier B.V. All rights reserved.

1. Introduction

Gastrointestinal nematode (GIN) parasitism is probably the most common disease in the small ruminant industry in the entire humid tropics. Since the 1970s in the French West Indies, the implementation of various programmes for the development of sheep or goat production has been reliant on, among others, the systematic use of anthelmintic drugs. In many countries, such drenching policies have resulted in the selection of anthelmintic resistant (AR) strains of parasites, as reviewed by Kaplan (2004) and others (Jabbar et al., 2006; Papadopoulos et al., 2012; Torres-Acosta et al., 2012).

The overall goat population of Guadeloupe (16° N, 61° W) was officially estimated to be about 16,000 heads in 2010, mainly in the driest part of the island (2010 agricultural census, available at https://stats.agriculture.gouv.fr/disar/). As in many other Caribbean islands, most of the estimated 1000 goat farmers own less than 10 heads and almost all the goat keepers have other sources of income. About 90 farmers are members of the cooperative of small ruminant farmers (Cabricoop), with only a few of them owning more than 100 goat heads. The different anthelmintic families were successively introduced in Guadeloupe. The first ones were the benzimidazoles: since the 1970s mainly thiabendazole followed by fenbendazole, mebendazole and albendazole and lastly netobimin, an albendazole precursor which was only used occasionally for cost reasons. Levamisole (imidazothiazole) was cheap and widely used since the 1980s; ivermectin (avermectin) was the lead anthelmintic since the 1990s; and moxidectin (milbemycin) was the final to be released in Guadeloupe, during the last decade. A first survey of AR status in goat farms was carried out in 1994–1996 (Barré et al., 1997) and revealed that resistances to benzimidazoles were already

* Corresponding author. Tel.: +33 590 590 25 54 26; fax: +33 590 590 25 59 36.
E-mail address: maurice.mahieu@antilles.inra.fr (M. Mahieu).

http://dx.doi.org/10.1016/j.vetpar.2014.07.029
0304-4017/© 2014 Elsevier B.V. All rights reserved.

wide spread in Guadeloupe and that AR to ivermectin was suspected in at least 1 of 16 farms.

The objectives of the present survey were: (i) to provide farmers, vets and extension officers with information about the efficacy of the drugs currently used in each farm and about the drugs used in the past years; and (ii) to update the AR status in goat farms in Guadeloupe 15 years after the first survey (Barré et al., 1997).

2. Materials and methods

The survey was carried out during late 2011 in farms involved in the programme of development of the Cabricoop. Twenty one farms were chosen in agreement with farmers and according to the availability of animals weighing more than 12 kg (aged over 3 months), in order to test 1–4 different drugs on 10 animals each, with a control group. The farms were spread over the main climatic zones and roughly according to goat density.

The farm visits were planned at least 4 weeks after the last drench to allow a free natural infection of animals before testing the drug efficacy by performing a faecal egg count reduction test (FECRT) following the WAAVP recommendations (Coles et al., 2006).

Four anthelmintics (oral formulation) were chosen in agreement with the farmers and veterinary practitioners, according to their present and past utilisation in farms, namely netobimin (Hapadex® 50 mg/ml, Schering-Plough Santé Animale 49500 Sergé, France), which is considered as representative of the whole benzimidazole class, levamisole (Biaminthic® 5%, Laboratoires Biové 62510 Arques, France), ivermectin (Oramec®, Merial 29 Avenue Tony Garnier 69007 Lyon, France) and moxidectin (Cydectine® 0.1%, Pfizer Olot S.L.U. Ctra. Camprodon s/n "La Riba" 17813 Vall de Bianya, Girona, Spain). At the farm level, priority was given to the current anthelmintic, then to either ivermectin or levamisole, and lastly to netobimin.

The individual drug doses were calculated according to the goat live weight which was estimated by measuring the heart (or chest) girth (growing goats) or the heart and paunch girth (adult goats) with a tape measure (Mahieu et al., 2011). Goats were given 1.5 times the sheep dose in order to take into account the specificity of goat pharmacokinetics (Hennessy et al., 1993a,b,c; Sangster et al., 1991; Sanyal, 1996). All of the anthelmintic were given orally: 0.23 ml Hapadex® (11.25 mg netobimin) per kg live weight (kg LW); 0.23 ml Biaminthic® (11.25 mg levamisole) per kg LW; 0.38 ml Oramec® (0.3 mg ivermectin) per kg LW; and 0.30 ml Cydectine® (0.3 mg moxidectin) per kg LW.

For practical reasons, the animals were randomly allocated to experimental groups, weighed and dosed and faecal samples were collected during the first visit of the farm (d0). The second faecal samples were collected 14 days later (d14) according to the WAAVP recommendations (Coles et al., 2006).

The faecal samples (ideally about 10–15 g, sometimes less than 5 g in the field conditions) were taken from the rectum (latex gloves) and kept in plastic tubes to avoid contamination and immediately transported to the laboratory for processing. The faecal samples were kept at ambient temperature until processing to avoid species-related bias in egg hatch and larval development (O'Connor et al., 2006). The individual subsamples for FEC (about 4–5 g each) were precisely weighed (±0.01 g), crushed as soon as possible in 20–30 ml of tap water and stored at 4 °C to stop egg development. GIN eggs were counted within two days using a modified McMaster method. After centrifugation (15 min, 2800 rpm), the sediment was thoroughly mixed with 35 ml of saturated NaCl solution ($d = 1.19$) and centrifuged again to eliminate faecal particles. The homogenised supernatant was then sampled to fill the two cells of a McMaster slide, and GIN eggs were counted under a microscope (40×). The actual sample weight was used for the calculations and each egg counted represented about 30 epg. The remaining faeces were pooled according to the FECRT design and cultured at ambient temperature for 7 days. The GIN infective larva were recovered with a Baerman apparatus, identified at the genus level and counted according to Van Wyk et al. (2004). The FEC attributed to each GIN genus was calculated by using the estimate of the contribution of this genus to the overall infective larvae population.

Only animals with pre-treatment FEC over 150 epg were kept for analysis (Coles et al., 2006).

FEC reduction values were estimated from Cabaret and Berrag (2004), by adapting the individual "iFECRT4" calculation method from Dash et al. (1988) to groups with an unequal number of individuals:

$$\mathrm{FECR}j = 100 \times \left(1 - \left\{ \left(\frac{\frac{1}{nj}\sum_{i=1}^{nj} \mathrm{FEC}ij\mathrm{d}14/\mathrm{FEC}ij\mathrm{d}0}{\frac{1}{nc}\sum_{i=1}^{nc} \mathrm{FEC}i\mathrm{cd}14/\mathrm{FEC}i\mathrm{cd}0} \right) \right\} \right)$$

where ij (nj) represents the ith (number of) individual(s) in the jth treatment, ic (nc) the ith (number of) individual(s) in the control group, d0 and d14 the pre- and post-treatment days of sampling. The 95% confidence interval of FEC$R j$ was empirically obtained by a 2000 bootstrap re-sampling of the individuals of both drenched and control groups, for each farm. For the three farms without a control group, the corresponding term of the equation was set to 1 and the calculation was the same than the individual "iFECRT3" calculation method in Cabaret and Berrag (2004), derived from Kochapakdee et al. (1995).

AR was declared when the FECR mean was below 95% and the lower bound of the confidence interval was below 90%. AR was suspected when only one of these conditions is true (Coles et al., 2006).

We used the *R* statistical software (R Development Core Team, 2014) for all calculations.

All of the animal handling and sampling operations complied with the European Union rules.

3. Results and discussion

The small size of the goat farms, the organisation of farm visits and animal handling constraints did not always allow 10 individuals per group; therefore the number of individuals was reported for each group. Overall 482 individuals (79%) with a FEC over 150 epg were kept for FECR

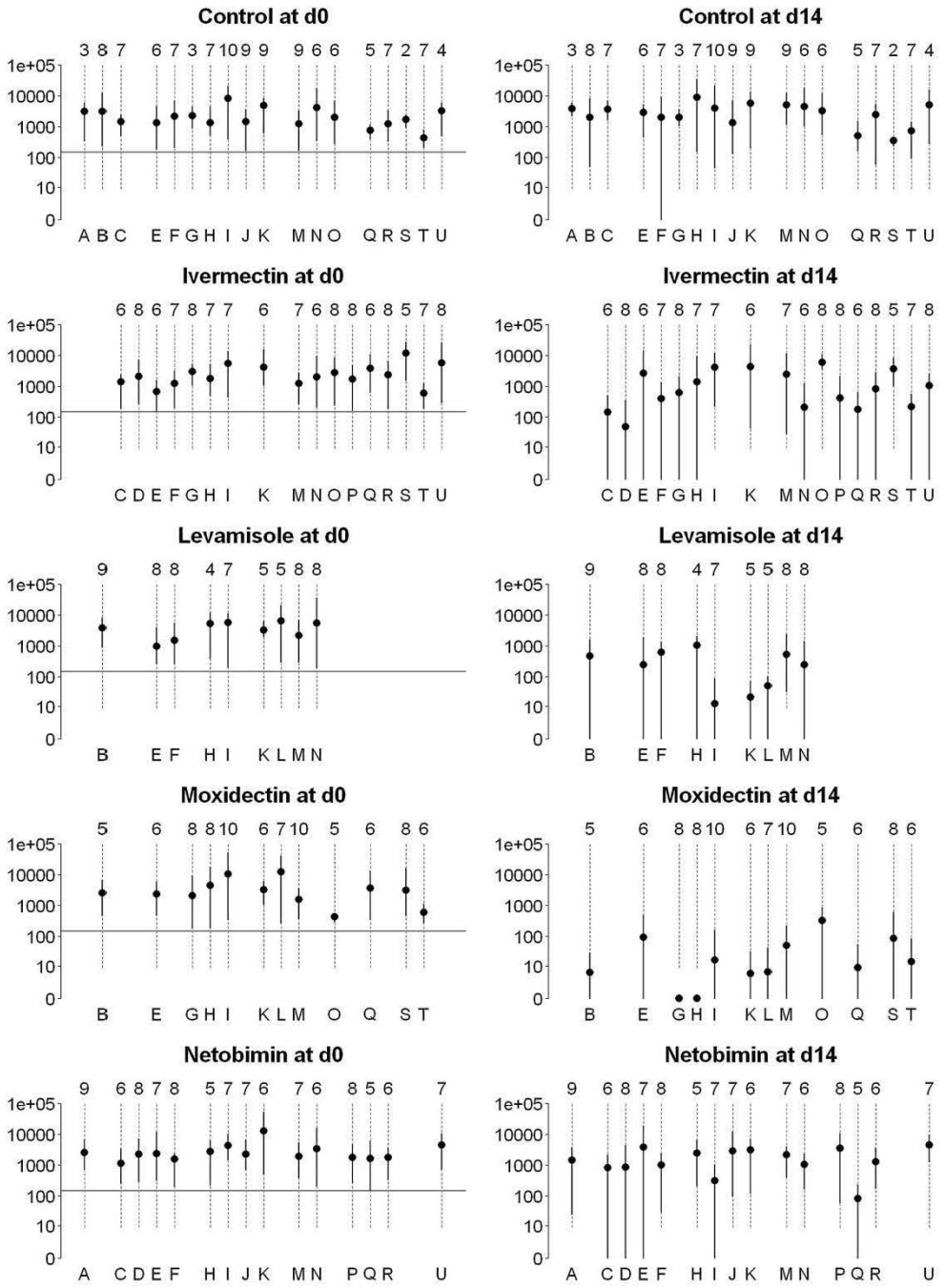


Fig. 1. Vertically. FEC means and ranges (eggs per gram, log scale on vertical axes) before (d0) and after treatment (d14). Farms (A–U, upper case letters) reported on horizontal axes. The grey vertical dashed lines indicate that the anthelmintic was tested in the corresponding farm. The figures topping these lines show the number of individuals used for each calculation. The horizontal solid lines (d0 graphs) indicate the threshold for using individuals in the FECR calculations (150 epg).

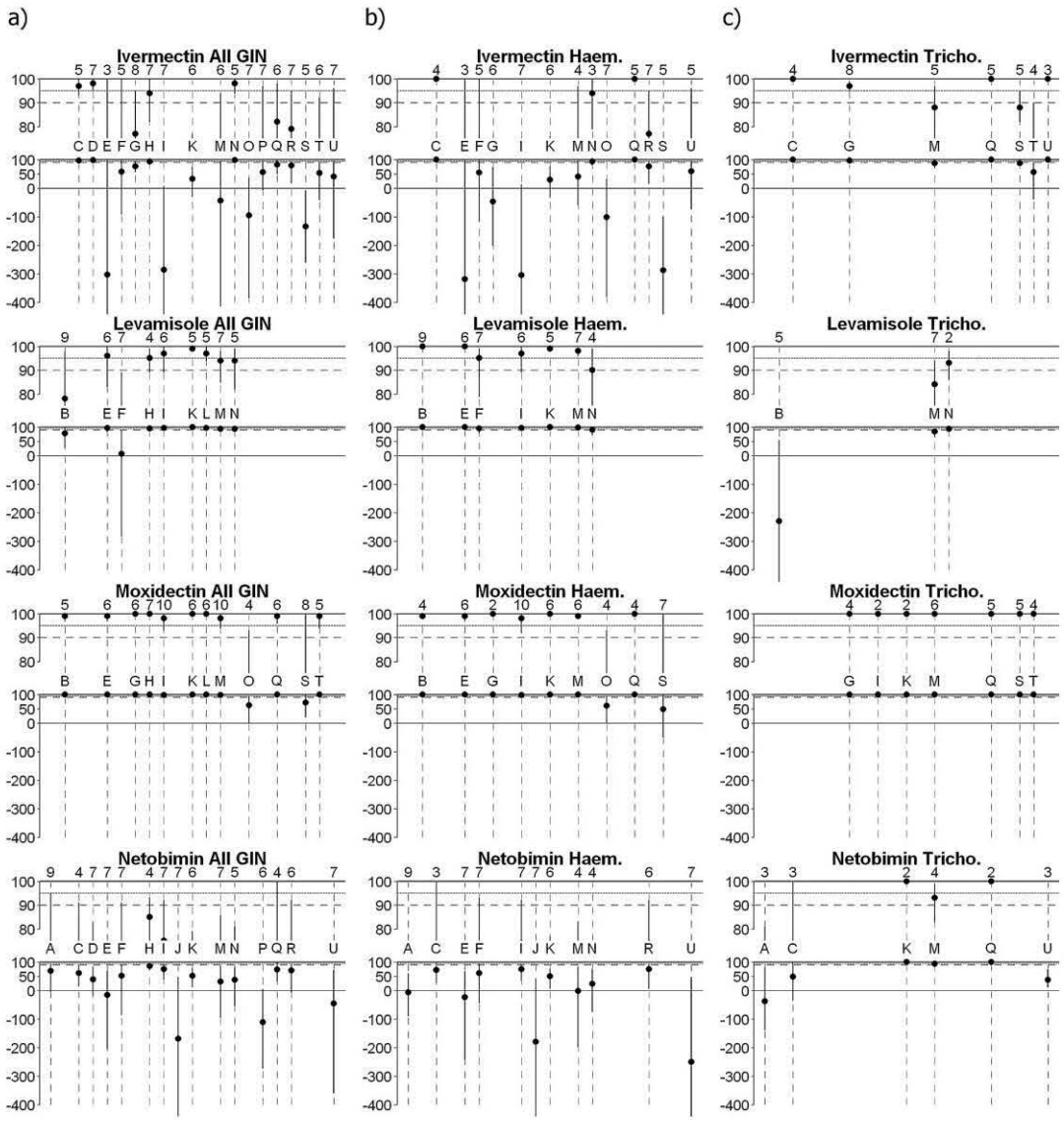


Fig. 2. Vertically. FECR results of the four anthelmintics tested on: (a) all GIN species; (b) *Haemonchus* sp. and (c) *Trichostrongylus* sp. For each data set, two graphs are displayed: the first with FECR values (vertical axes) ranging (75; 100%), and the second (below) with FECR values ranging (−400; 100%); farms (A–U, upper case letters) on horizontal axes. FECR means (dot) and confidence intervals (vertical solid lines) are shown. The dotted and dashed horizontal lines show the anthelmintic resistance thresholds (Coles et al., 2006). FECR lower bounds of the FECR confidence interval below −400% are not represented. The grey vertical dashed lines indicate that the anthelmintic was tested in the corresponding farm. The figures topping these lines show the number of individuals used for each calculation.

calculations. The means and range of FECs are reported in Fig. 1. Three farmers ("D", "L" and "P") refused to leave animals undrenched, so there was no control group for these farms. The FECRT results for each farm are displayed in Fig. 2a). On the one hand, AR to netobimin was revealed in all 15 herds in which it was tested, often with an unexpected increase in the post-treatment FEC producing negative estimates of FECR. The levamisole was found fully efficient in only 2 from 9 farms and the ivermectin in only 3 from 17, with negative estimates of FECR being reported

again. On the other hand, GIN appeared to be resistant to the most recently released moxidectin in 2 of 12 herds, both with AR to ivermectin (farms "O" and "S").

After estimating the *Haemonchus* sp. contribution to the individual FEC by using the count of *Haemonchus* L3 resulting from the faecal cultures, only 364 individuals (59%) with over 150 epg were used for calculations. Although the number of individuals was low, this GIN genus seemed to be involved in most of the cases of anthelmintic resistance to netobimin, ivermectin and moxidectin (Fig. 2b). *Haemonchus* still seemed susceptible to levamisole in 4 out of the 7 herds tested, but it was resistant in farm "N" and the presence of some resistant parasites was suspected in two other farms ("F" and "I").

Trichostrongylus sp. was on average less dominant than *Haemonchus*; therefore only 210 individuals (34%) were available for calculation. Fig. 2c) shows resistance to levamisole in all 3 farms in which it was tested, to netobimin in 4 out of 6 and to ivermectin in 3 out of 7. The moxidectin still seemed to be fully efficient against *Trichostrongylus* sp. The result of the farm "E" was not conclusive (only one goat).

Oesophagostomum sp., the third GIN genus in Guadeloupe, was less abundant with 136 individuals (22%) available for calculation, so it seemed to be resistant to levamisole in one farm (9 individuals, FECR = 86[57–98]%) and probably also in a second farm (only 4 individuals, FECR = 93[81–99]%) out of the three farm in which levamisole was tested against this species. The other drugs seemed to be fully effective against *Oesophagostomum* sp., at least in the herds in which it was abundant enough to allow the FECRT calculations.

In some farms, the AR to drugs which have been used for a long time is very large, with a FECR lower confidence limit and even with mean values below zero, suggesting a boost effect of the drug on resistant parasite egg production. At least two mechanisms may be evoked for explaining this boost effect: (i) the drug removed all susceptible GINs, allowing resistant larvae and immature GINs to resume their development and finally increase the total worm burden (Sutherland et al., 2002); and (ii) anthelmintics are known to bind with molecular targets, i.e. β-tubulin for benzimidazoles (Sangster et al., 1985). However it is possible that unknown side effects may be revealed in the AR GINs, for example a hormone-like effect on the worm fecundity. Whatever the mechanism, such drugs are obviously no longer effective and must be withdrawn from the farm medicine cabinets.

In some other cases, despite the presence of AR phenotypes in the GIN population, the residual efficacy of the drugs (say above 75%) allows their use, provided that targeted selective treatment (TST) strategies are implemented for preserving this efficacy (Kenyon et al., 2009). FECRT provides very useful information to farmers on the efficiency of the available drugs.

This survey revealed a very large spread of AR GIN strains in Guadeloupian goat farms. While only benzimidazole resistant strains were clearly detected about 15 years ago (Barré et al., 1997), we found ARs to the four anthelmintic groups, including the first cases of resistance to moxidectin in the French West Indies. Most farms now have multi-resistant parasite populations, and an increasing number of them have already had to deal with parasitism without fully efficient drug. This survey appeared to be a good introduction for changing farmer practices to the implementation of integrated control systems. The FECRT principle was well understood and the collective discussion following the survey helped farmers to become aware of: (i) the inevitability of worsening the AR if the current drenching policies are to be continued; (ii) the risk of AR for all of the still effective and even forthcoming drugs; and (iii) the need to implement integrated control policies (Mahieu et al., 2009).

These TST strategies are particularly necessary in view of the presence of GIN species with different responses to anthelmintics. For example, and despite the limitations of the survey, it suggests that in Guadeloupe goat farms *Haemonchus* is more frequently resistant to ivermectin and even to moxidectin, and probably less frequently to Levamisole, than *Trichostrongylus*. In such cases, continuing suppressive drenching while replacing a drug family with another may only result in shifting the GIN population from one dominant species to another one that is more resistant or more prone to become resistant to the "new" drug, without any medium-term benefit for the animal health and productivity. On the other hand, AR probably does not provide any selective advantage in the absence of challenge, so the use of TST would probably have little impact on GIN species ratios. This may have great practical consequences, since *Haemonchus* is naturally the dominant GIN in small ruminants, and is, at least in the French West Indies and the surrounding Caribbean Islands, the main cause of anaemia. Therefore, Famacha(c) based TSTs (Bath et al., 1996) are already available and more frequently being used by goat farmers.

Conflict of interest statement

The authors have no competing interests.

Acknowledgements

This survey was launched thanks to the board and technical team of the small ruminant co-operative Cabricoop, and to the willingness of all of the famers who participated. The survey and the grant of B. Ferré were funded by the European Agricultural Fund for Rural Development (EAFRD) (Grant No. OSIRIS 111 11 R095 0000 13), and by the Overseas Departments Agricultural Economy Development Office (ODEADOM) agreement no. 2011-013/1.

References

Barré, N., Amouroux, I., Aprelon, R., Samut, T., 1997. Anthelmintic resistance of gastrointestinal nematodes in goat farms in Guadeloupe (French West Indies). Revue Elev. Méd. vét. Pays trop. 50, 105–110 (in French).

Bath, G.F., Malan, F.S., Van Wyk, J.A., 1996. The "FAMACHA" ovine anaemia guide to assist with the control of haemonchosis. In: 7th annual congress of the livestock health and production group of the South African Veterinary Association, Port Elizabeth, June, pp. 152–156.

Cabaret, J., Berrag, B., 2004. Faecal egg count reduction test for assessing anthelmintic efficacy: average versus individually based estimations. Vet. Parasitol. 121, 105–113.

Coles, G.C., Jackson, F., Pomroy, W.E., Prichard, R.K., von Samson-Himmelstjerna, G., Silvestre, A., Taylor, M.A., Vercruysse, J., 2006. The detection of anthelmintic resistance in nematodes of veterinary importance. Vet. Parasitol. 136, 167–185.

Dash, K.M., Hall, E., Barger, I.A., 1988. The role of arithmetic and geometric mean worm egg count in faecal egg count reduction tests and in monitoring strategic drenching programs in sheep. Aust. Vet. J. 65, 66–68.

Hennessy, D.R., Sangster, N.C., Steel, J.W., Collins, G.H., 1993a. Comparative kinetic disposition of oxfendazole in sheep and goats before and during infection with Haemonchus contortus and Trichostrongylus colubriformis. J. Vet. Pharmacol. Ther. 16, 245–353.

Hennessy, D.R., Sangster, N.C., Steel, J.W., Collins, G.H., 1993b. Comparative pharmacokinetic behavior of Albendazole in sheep and goats. Int. J. Parasitol. 23, 321–325.

Hennessy, D.R., Sangster, N.C., Steel, J.W., Collins, G.H., 1993c. Comparative pharmacokinetic disposition of closantel in sheep and goats. J. Vet. Pharmacol. Ther. 16, 254–260.

Jabbar, A., Iqbal, Z., Kerboeuf, D., Muhammad, G., Khan, M.N., Afaq, M., 2006. Anthelmintic resistance: the state of play revisited. Life Sci. 79, 2413–2431.

Kaplan, R.M., 2004. Drug resistance in nematodes of veterinary importance: a status report. Trends Parasitol. 20, 477–481.

Kenyon, F., Greer, A.W., Coles, G.C., Cringoli, G., Papadopoulos, E., Cabaret, J., Berrag, B., Varady, M., Van Wyk, J.A., Thomas, E., Vercruysse, J., Jackson, F., 2009. The role of targeted selective treatments in the development of refugia-based approaches to the control of gastrointestinal nematodes of small ruminants. Vet. Parasitol. 164, 3–11.

Kochapakdee, S., Pandey, V.S., Pralomkarn, W., Choldumrongkul, S., Ngampongsai, W., Lawpetchara, A., 1995. Anthelmintic resistance in goats in southern Thailand. Vet. Rec. 137, 124–125.

Mahieu, M., Arquet, R., Fleury, J., Coppry, O., Marie-Magdeleine, C., Boval, M., Archimède, H., Alexandre, G., Bambou, J.C., Mandonnet, N., 2009. Contrôle intégré du parasitisme gastro-intestinal des petits ruminants en zone tropicale humide. In: 16ème Rencontres Recherches Ruminants, Paris (France), 2 et 3 décembre, pp. 265–268.

Mahieu, M., Navès, M., Arquet, R., 2011. Predicting the body mass of goats from body measurements. Livest. Res. Rural Dev. 23, 192.

O'Connor, L.J., Walkden-Brown, S.W., Kahn, L.P., 2006. Ecology of the free-living stages of major trichostrongylid parasites of sheep. Vet. Parasitol. 142, 1–15.

Papadopoulos, E., Gallidis, E., Ptochos, S., 2012. Anthelmintic resistance in sheep in Europe: a selected review. Vet. Parasitol. 189, 85–88.

R_Development_Core_Team, 2014. A language and environment for statistical computing. In: R.F.f.S. (Ed.), Computing (Vienna, Austria).

Sangster, N.C., Prichard, R.K., Lacey, E., 1985. Tubulin and benzimidazole-resistance in *Trichostrongylus colubriformis* (Nematoda). J. Parasitol. 71, 645–651.

Sangster, N.C., Richard, J.M., Hennessy, D.R., Steel, J.W., Collins, G.H., 1991. Disposition of oxfendazole in goats and efficacy compared with sheep. Res. Vet. Sci. 51, 258–263.

Sanyal, P.K., 1996. Pharmacokinetics of fenbendazole and triclabendazole in sheep and goat through simultaneous determination of their metabolites in plasma by high performance liquid chromatography. Indian Vet. J. 73, 146–149.

Sutherland, I.A., Moen, I.C., Leathwick, D.M., 2002. Increased burdens of drug-resistant nematodes due to anthelmintic treatment. Parasitology 125, 375–381.

Torres-Acosta, J.F.J., Mendoza-de-Gives, P., Aguilar-Caballero, A.J., Cuéllar-Ordaz, J.A., 2012. Anthelmintic resistance in sheep farms: update of the situation in the American continent. Vet. Parasitol. 189, 89–96.

Van Wyk, J.A., Cabaret, J., Michael, L.M., 2004. Morphological identification of nematode larvae of small ruminants and cattle simplified. Vet. Parasitol. 119, 277–306.

Retour p. 29

Annexe 3 : Mahieu, M., Arquet, R., Fleury, J., Coppry, O., Marie-MagdeleineC., Boval, M., Archimède, H., Alexandre, G., Bambou, J. C. et Mandonnet, N. (2009). Contrôle intégré du parasitisme gastro-intestinal des petits ruminants en zone tropicale humide. 16ème Rencontres Recherches Ruminants, Paris (France), INRA - Institut de l'Elevage: 265-268

Retour p. 32

Contrôle intégré du parasitisme gastro-intestinal des petits ruminants au pâturage en zone tropicale humide

MAHIEU M. (1), ARQUET R. *(2)*, FLEURY J. *(2)*, COPPRY O. *(2)*, MARIE-MAGDELEINE C. *(1)*, BOVAL M. *(1)*, ARCHIMEDE H. *(1)*, ALEXANDRE G. *(1)*, BAMBOU J.-C. *(1)*, MANDONNET N. *(1)*
(1) UR 143 – INRA–URZ, domaine Duclos, 97170 PETIT–BOURG
(2) UE 1294 – INRA–PTEA, site de Gardel, 97160 Le MOULE

RESUME
L'élevage des petits ruminants en zone tropicale humide est très affecté par le parasitisme gastro–intestinal, avec des pertes pouvant excéder 50 % du potentiel de production. La température moyenne autour de 25°C (extrêmes 15-35°C) et la forte hygrométrie permettent un développement rapide des nématodes parasites (environ une semaine de l'œuf déposé dans les fèces au stade larve infestante), pendant la majeure partie de l'année, même dans les régions à saison sèche marquée. Le chargement animal permis par la production fourragère est important, d'où un niveau élevé de recontamination. L'administration systématique de médicaments anthelminthiques a entraîné en quelques années la sélection de populations parasitaires résistant à la plupart des molécules utilisées. La pérennité de l'élevage des petits ruminants passe donc par l'adoption de mesures de contrôle intégré, ne faisant appel aux médicaments qu'en dernier recours, pour en prolonger l'efficacité. Il faut pour cela combiner une politique génétique adaptée, un niveau alimentaire suffisant, l'utilisation éventuelle de ressources à propriétés anthelminthiques, la gestion des populations parasitaires comme composante de la gestion du pâturage à l'échelle de tout le système d'élevage, l'association d'herbivores à spectre parasitaire différent, et des traitements anthelminthiques basés sur des diagnostics individuels (méthode Famacha©). Ces mesures devront être adaptées au contexte de chaque élevage. Quelques exemples des effets de ces méthodes appliquées à l'élevage caprin de l'INRA-PTEA en Guadeloupe sont apportés.

Integrated control of gastrointestinal parasitism in grazing small ruminants in the humid tropics

MAHIEU M. (1), ARQUET R., FLEURY J., COPPRY O., MARIE-MAGDELEINE C., BOVAL M., ARCHIMEDE H., ALEXANDRE G., MANDONNET N.
(1) UR 143 – INRA–URZ, domaine Duclos, 97170 PETIT–BOURG

SUMMARY
Small ruminant farming in humid tropics is constrained by gastrointestinal nematodes (GIN), which result in production losses up to 50% of the potential. Climate (average temperatures about 25°C, ranging 15 to 35°C, combined with a high hygrometry) allows a fast development of the parasite nematodes (about one week from the egg to the infective larva) during most of the year, even in marked dry season areas. Forage availability allows high stocking rates, which in return results in heavy pasture contamination. Systematic drenching led within few years to the wide spreading of nematode strains resisting to most of the anthelmintics. Therefore the durability of the small ruminant industry requires the design and adoption of integrated control policies, combining genetic tools (including the resistance to GIN criterion), a suitable nutrition level, the use of anthelmintic properties of local plant resources, the management of GIN populations as a component of the pasture management, at the farm scale, the mixed grazing of animal species bearing different GIN species, and finally drenching only animals unable to cope with GIN (targeted drenching such as the Famacha© method). Such integrated control policies must be fitted to each small ruminant farm. Some examples of integrated control components applied to goat farming in Guadeloupe (INRA-PTEA experimental unit) are exposed.

INTRODUCTION

Aux Antilles françaises comme dans toutes les zones tropicales humides le parasitisme des petits ruminants au pâturage est dû principalement aux nématodes gastro–intestinaux (NGI) *Haemonchus contortus*, hématophage de la caillette, puis *Trichostrongylus colubriformis* localisé dans le duodénum, et enfin *Oesophagostomum columbianum* du côlon. Le niveau d'infestation parasitaire des élevages de petits ruminants est tel que plus des trois quarts de la mortalité avant le sevrage (soit environ 40 % pour les caprins) sont liés aux NGI (Aumont et al., 1997).
Depuis les années 1960, le contrôle des nématodes repose quasi exclusivement sur l'emploi systématique de médicaments anthelminthiques. Cette pratique a conduit à la sélection et à la diffusion de souches de NGI résistant à une, puis deux et parfois trois familles d'anthelminthiques (Van Wyk et al., 1997 ; Jabbar et al., 2006). Dans les cas extrêmes, ceci a conduit à l'abandon de l'élevage de petits ruminants (Blake et Coles, 2007). Bien que deux nouveaux anthelminthiques soient en cours de développement ou de mise en marché, il apparaît crucial de mettre au point et diffuser de nouvelles méthodes de contrôle des NGI qui en préservent l'efficacité à moyen et, si possible, à long terme. De plus, la prise de conscience grandissante des risques liés à l'utilisation de médicaments (atteintes à l'environnement, résidus dans les produits alimentaires) incite à une diminution de l'utilisation des anthelminthiques de synthèse. Enfin, dans de nombreux pays "du Sud", la faible disponibilité des anthelminthiques, leur coût relatif élevé, les possibles contrefaçons dont sont victimes les éleveurs rendent nécessaire l'adoption de nouvelles méthodes de contrôle du parasitisme.
La conceptualisation des systèmes de contrôle intégré traduit l'abandon d'une logique de chimio–prévention au profit d'une gestion raisonnée des équilibres entre les populations d'hôtes et de parasites. Elle nécessite la mobilisation des connaissances sur les interactions hôte–parasite et sur l'épidémiologie des nématodes gastro–intestinaux, pour chaque système d'élevage.

1. FACTEURS MODULANT LES RELATIONS HÔTES–PARASITES

1.1. FACTEURS INDIVIDUELS

L'âge et le passé immunitaire font que les jeunes, les animaux primo–infestés sont plus sensibles à l'infestation, en raison du temps nécessaire à la maturation du système immunitaire et au montage d'une réponse efficace à l'infestation (Colditz et al., 1996).

Le stade physiologique intervient en raison de changements de priorité dans l'allocation de l'énergie et des acides aminés vers les fonctions de reproduction aux dépens des fonctions immunitaires et de maintenance des tissus lésés par les parasites, au moins dans les cas de nutrition infra–optimale (Adams et Liu, 2003 ; Roy et al., 2003). Les systèmes de régulation hormonale qui se mettent en place au cours du développement modulent l'allocation des ressources entre les fonctions de croissance et de défense immunitaire, et les mâles en croissance sont plus sensibles aux NGI que les femelles (Klein, 2004).

D'une manière générale, une sous–alimentation, surtout protéique, peut entraîner un affaiblissement des mécanismes de défense. *A contrario*, une alimentation suffisante permettrait l'expression du potentiel génétique de l'animal, jusque dans ses dimensions de lutte contre des agresseurs comme les NGI (Kahn, 2003 ; Walkden-Brown et Eady, 2003 ; Kyriazakis et Houdijk, 2006).

Enfin, quel que soit le niveau des facteurs précités, il existe des différences d'origine génétique dans les capacités individuelles d'une part à s'opposer à l'installation, limiter la fertilité ou la durée de vie des parasites (résistance), d'autre part à produire malgré l'infestation (résilience) (Mandonnet et al., 2006 ; Beraldi et al., 2007).

Le niveau de pathogénicité peut aussi être le reflet de la coévolution de l'hôte et du parasite, un hôte résistant à un type de parasite peut s'avérer plus sensible ou moins résilient à des espèces ou même à des souches parasitaires allopatriques, avec lesquelles il n'a pas été confronté au cours de son évolution (Jackson et Tinsley, 2005).

1.2. FACTEURS ÉPIDÉMIOLOGIQUES

Le niveau d'infestation des hôtes dépend du nombre de larves de NGI ingérées au pâturage, qui dépend lui-même du nombre d'œufs déposés par unité de surface ou par kg de MS de fourrage, c'est-à-dire du chargement et du niveau d'infestation des hôtes ayant contribué à la contamination, et du taux de développement puis de survie des larves (Aumont et al., 1991). Ce taux de développement et de survie des œufs en larves infestantes peut être affecté par :

- le niveau des réserves stockées dans les œufs, liées aux conditions de vie des parasites femelles,
- les conditions d'alimentation des stades larvaires, fonction de la densité des œufs dans les fèces, et de la composition des fèces (Marie-Magdeleine, 2009),
- les conditions environnementales, en particulier température, humidité, rayonnement solaire (Berbigier et al., 1990 ; Dijk et al., 2009),
- l'activité d'organismes susceptibles de les détruire tels que virus, bactéries, champignons nématophages (Chandrawathani et al., 2002), vers, arthropodes coprophages, prédateurs divers (Waghorn et al., 2002 ; d'Alexis et al., 2009).

2.3. PARTICULARITÉS ÉPIDÉMIOLOGIQUES DES TROPIQUES HUMIDES

Avec une température moyenne d'environ 25°C et des extrêmes compris entre 15 et 35°C, les œufs de NGI déposés avec les fèces se développent en larves infestantes (L3) en une semaine environ, avant de se disperser dans la strate herbacée. Les populations de L3 retrouvées dans l'herbe sont maximales 2 à 3 semaines après le dépôt des fèces avant de diminuer rapidement sous l'effet des rayonnements solaires et de l'épuisement de leurs réserves énergétiques (Aumont et al., 1991). Au bout de 6 à 7 semaines les populations larvaires du pâturage tombent sous le seuil de détection, ce qui permet d'envisager les rotations de pâturage comme un moyen de contrôle. Malheureusement le rythme de croissance des fourrages tropicaux et la diminution rapide de leur valeur alimentaire sont tels que dans la pratique le schéma de rotation est basé sur un système à cinq parcelles équivalentes exploitée pendant une semaine après 4 semaines de repousse, ce qui ne suffit pas à réduire le risque parasitaire à un niveau acceptable pour des animaux sensibles comme des femelles autour de la mise-bas ou des jeunes autour du sevrage. Par ailleurs, la probabilité des pluies même pendant les périodes sèches, la forte hygrométrie, la faible variabilité des températures, l'irrigation des pâtures, expliquent la permanence du risque d'infestation tout au long de l'année. Enfin, la production fourragère est importante et permet des chargements très élevés, de l'ordre de 20 à 50 chèvres ou 10-25 brebis suitées / ha (Alexandre et al., 1997, Mahieu et al., 1997).

2. ÉLÉMENTS D'UN SYSTÈME DE CONTRÔLE INTÉGRÉ DES NGI

Un système de contrôle intégré des NGI peut être défini comme la mise en œuvre d'un ensemble de techniques visant à renforcer les capacités de résilience et de résistance de l'hôte, à limiter le nombre de parasites installés et à diminuer la probabilité de rencontre hôte parasite. Le choix des éléments constitutifs dépend de leur impact relatif, mais aussi de leur disponibilité, des possibilités économiques et organisationnelles de leur mise en œuvre, et de leur acceptabilité par les éleveurs.

2.1. RENFORCEMENT DES DÉFENSES DE L'HÔTE

2.1.1. Amélioration génétique

La sélection sur des critères de résistance aux NGI nécessite une organisation pérenne des éleveurs et le soutien durable de techniciens et d'ingénieurs pour mettre en place le recueil des informations utiles, leur analyse, et leur retour sous forme opérationnelle dans les élevages impliqués. Nombre de pays tropicaux ne disposent pas de ce type de soutien. Cependant, le gain possible est important à moyen et long terme (Eady et al., 2003). Un programme de sélection des caprins Créoles de Guadeloupe incluant des critères de résistance aux NGI est en phase de mise en place (cf. communication de C. de la Chevrotière et al., 3R 2009). L'utilisation des races locales, qui ont été soumises depuis longtemps à la sélection naturelle par les parasites locaux, représente un atout en termes de lutte intégrée contre les NGI, par rapport à un recours aux races "améliorées" plus fragiles (Baker et al., 2003).

2.1.2. Vaccins

Il existe des vaccins expérimentaux contre *H. contortus*, et contre d'autres espèces de NGI, mais aucun vaccin commercial n'est efficace contre les infestations pluri–spécifiques qui sont la règle en zone tropicale. Compte tenu de ces difficultés (Vercruysse et al., 2004), il n'est pas envisageable d'utiliser la vaccination dans un programme de contrôle intégré du parasitisme.

2.1.3. Alimentation

D'autres méthodes visent à renforcer les capacités de défense immunitaire des animaux, via une alimentation non limitante, en particulier en protéines (Coop et Kyriazakis, 2001). La complémentation par des sources alimentaires riches en métabolites secondaires (tanins, acides aminés non protéiques, etc.) peut réduire les effets du parasitisme par les NGI (Marie-Magdeleine, 2009). Ces méthodes de supplémentation alimentaire sont à la portée des éleveurs, qu'ils fassent appel à des produits de l'agro–industrie ou à des ressources locales de protéines ou de métabolites bioactifs, comme des arbres fourragers ou des co-produits de récolte (Nguyen et al., 2005).

Bambou et al. (2008) ont nourri des chevrettes Créoles de Guadeloupe âgées de 7 mois et pesant 12 à 14 kg avec un fourrage de qualité médiocre complémentées avec du concentré à 16 % MAT (Matière Azotée Totale), à raison de 0, 100, 200 ou 300 g/j, avant de les infester expérimentalement à raison de 10 000 L3 d'*H. contortus* par animal. La mesure de l'excrétion d'œufs de parasites 35 j après infestation indique que les régimes complémentés en réduisent fortement l'impact (de 8000 œufs par g de fèces (opg) pour le groupe non complémenté à 2000-3000 opg pour les groupes complémentés, $P<0.01$). De même, l'hématocrite (indicateur d'anémie) des animaux complémentés s'est maintenu au même niveau que celui d'un groupe témoin non infesté (30-32 %), alors qu'il a chuté de 30 % à moins de 15 % pour les animaux infestés non complémentés ($P<0.01$).

3. CONTRÔLE BIOLOGIQUE DES STADES LARVAIRES

Les champignons nématophages pourraient être utilisés pour réduire la contamination larvaire des pâtures. Cela nécessite en amont une industrialisation de la production de spores et de son incorporation à un complément alimentaire distribué quotidiennement (Chandrawathani et al., 2002). Ce n'est envisageable que si un marché solvable de taille suffisante existe, ce qui exclut la plupart des pays où l'élevage ne génère que de faibles revenus, de même que ceux où la population de ruminants est trop faible.

L'utilisation des vers de terre *Pontoscolex corethrus* et *Perionyx excavatus* pour limiter les populations de L3 de NGI a donné des résultats encourageants en laboratoire à l'URZ (d'Alexis, 2009).

La manipulation des populations autochtones de coprophages n'est cependant pas opérationnelle à grande échelle, et dans tous les cas, l'introduction d'espèces allochtones potentiellement invasives présente des risques qui doivent être évalués de manière approfondie avant toute mise en œuvre.

4. TRAITEMENTS CIBLÉS DES ADULTES ET PÂTURAGE EN AVANT DES JEUNES

Parmi les techniques qui peuvent être mises en place de façon autonome dans chaque élevage, les traitements ciblés visent à réduire de façon significative l'usage des anthelminthiques pour préserver leur efficacité future. Ils se basent sur le diagnostic individuel de la capacité à surmonter l'infestation par les NGI. Seuls les animaux fortement affectés sont traités par anthelminthique, les animaux non traités jouant le rôle de refuge permettant le maintien d'une population de NGI majoritairement porteurs d'allèles de sensibilité aux médicaments utilisés (Van Wyk, 2001). Une des plus connues est la méthode Famacha© (Bath et al., 1996) de traitement piloté par diagnostic de l'anémie provoquée par *H. contortus.* Cette méthode est applicable partout où cette espèce est la cause principale d'anémie, et elle ne nécessite qu'une formation initiale des éleveurs. D'autres méthodes reposent sur l'analyse des symptômes plus frustes provoqués par des associations de NGI non hématophages. Basées sur des chutes anormales de croissance (Besier, 2005), ou sur un indice de consistance des fèces (Broughan, 2007). Elles sont à la fois plus difficiles à calibrer et à mettre en œuvre que la méthode Famacha©. Enfin, l'identification de sous-groupes d'animaux susceptibles d'être les plus fortement infesté, comme les chèvres à fort potentiel laitier (Hoste et al., 2002), ou les jeunes autour du sevrage, peut permettre d'effectuer des traitements ciblés efficaces en terme de constitution de refuge, sous réserve d'une gestion adéquate des populations de parasites à l'échelle de l'élevage.

La méthode Famacha© a ainsi été adoptée pour le contrôle des NGI chez les chèvres Créoles de Guadeloupe adultes des troupeaux expérimentaux de l'INRA-PTEA (site de Gardel). Cette méthode permet de ne traiter que 20 % environ de la population parasitaire, ce qui doit pérenniser l'efficacité des anthelminthiques actuels dans les troupeaux de reproductrices (Mahieu et al., 2007).

Cependant, les jeunes autour du sevrage, qui cumulent les handicaps du stress du sevrage et de l'immaturité de leur système immunitaire, sont très sensibles aux NGI, avec une évolution très rapide des symptômes. En pratique, il est préférable de continuer à leur appliquer les anthelminthiques encore efficace de façon systématique, pour maintenir un niveau de mortalité et de perte de production acceptable. Si les jeunes sevrés sont mis à pâturer des parcelles dédiées, il en résultera une pression de sélection maximale des populations de NGI qui conduira rapidement à la généralisation des résistances aux anthelminthiques.

Nous testons sur le site de Gardel de la PTEA l'intérêt de faire partager la même population de NGI par les jeunes sevrés traités systématiquement au sevrage puis tous les deux mois, et par les adultes traités individuellement en fonction des besoins (méthode Famacha©). Ce partage est réalisé via le pâturage "en avant" des jeunes sur les mêmes parcelles que les adultes. Les premiers résultats (sur 481 chevrettes) montrent que, malgré un niveau d'infestation plus élevé (1730 *vs.* 490 œufs de NGI par g de fèces, $P<0.0001$), les chevrettes pâturant "en avant" des adultes ont vu leur croissance augmentée d'environ 50 % par rapport aux témoins (45 *vs.* 32 g/j, $P<0.0001$), probablement en relation avec un meilleur choix alimentaire (hypothèse en cours de vérification).

5. ASSOCIATIONS D'ESPÈCES AU PÂTURAGE

Une des voies pour diminuer l'impact du parasitisme au pâturage consiste à diminuer le chargement des animaux sensibles aux NGI, pour diminuer la taille des populations de L3 et donc le niveau de recontamination. Cependant il

faut que le pâturage soit exploité par une charge animale suffisante, faute de quoi l'embroussaillement est rapide.
Les bovins et les petits ruminants ne sont généralement pas sensibles aux mêmes NGI, bien que les ovins puissent héberger des *Cooperia* de bovins (Giudici et al., 1999), et que des bovins puissent héberger quelques *Haemonchus contortus*, mieux adaptés aux petits ruminants (Amarante et al., 1997 ; Jacquiet et al., 1998 ; Achi et al., 2003).
À chargement global équivalent, l'association entre bovins et petits ruminants au pâturage devrait conduire à une diminution du niveau de contamination par les parasites de chaque espèce, par diminution du chargement partiel de chaque espèce, et du fait d'un taux d'installation généralement faible ou nul chez l'autre espèce, au moins dans le cas d'association de races relativement résistantes aux NGI.
Nous testons actuellement sur le site de Gardel les effets du ratio caprin / bovin (100/0, 75/25, 50/50, 25/75, en $PV^{0.75}$) sur le niveau d'infestation et sur les performances de croissance de jeunes caprins sevrés. Les premiers résultats indiquent une diminution significative de la prévalence (100 %, 100 %, 73 % et 76 % des animaux hébergeant des NGI, P<0.0001) et de l'intensité de l'infestation (1 430, 825, 240 et 145 œufs de NGI par g de fèces, P<0.0001) avec la diminution du chargement partiel en caprins. Si on fixe à 100 le niveau de contamination du pâturage pour le lot témoin (ratio 100/0), on obtient des niveaux de 43, 8 et 3 pour les ratios 75/25, 50/50, 25/75, respectivement. Les croissances varient à l'opposé du chargement partiel, avec des gains de poids de 30, 38, 45 et 53 g/j, respectivement (P<0.0001). Les effets possibles de l'association sur l'alimentation sont en cours de vérification. Aucun effet négatif sur la croissance des bovins associés n'a pu être observé, et nous n'avons pas décelé de passage de parasites entre bovins et caprins créoles de Guadeloupe.

CONCLUSION

Les connaissances acquises sur l'épidémiologie des parasites et leurs interactions avec leurs hôtes permettent de proposer des éléments d'un système de contrôle intégré pour la zone tropicale humide qui s'affranchirait au moins partiellement du recours aux anthelminthiques de synthèse, et par là augmente leur durée de vie potentielle, et permet d'en limiter les effets sur la qualité des produits animaux et sur l'environnement. Les résultats partiels déjà obtenus permettent d'espérer un niveau d'efficacité correct, en termes de contrôle des parasites et de performances de production, grâce à une meilleure utilisation des ressources animales et végétales.

Les travaux menés à l'URZ et à la PTEA bénéficient du soutien financier de la Région Guadeloupe et de l'Europe dans le cadre des Contrats de Plan État–Région.

Achi Y.L., Zinsstag J., Yao K., Yeo N., Dorchies P. et Jacquiet P., 2003. Vet Parasitol, 116, 151-158
Adams N.R. et Liu S.M., 2003. Aust J Exp Agric, 43, 1399-1407
Alexandre G., Aumont G., Fleury J., Coppry O., Mulciba P. et Nepos A., 1997. INRA Prod Anim, 10, 43-54
Amarante A.F.T., Bagnola J., Jr., Amarante M.R.V. et Barbosa M.A., 1997. Vet Parasitol, 73, 89-104
Aumont G., Gruner L. et Berbigier P., 1991. Revue Elev Méd vét Pays trop, 123-132
Aumont G., Pouillot R., Simon R., Hostache G., Varo H. et Barre N., 1997. INRA Prod Anim, 10, 79-89
Baker R.L., Nagda S., Rodriguez-Zas S.L., Southey B.R., Audho J.O., Aduda E.O. et Thorpe W., 2003. Anim Sci, 76, 119-136
Bambou J.C., De la Chevrotière C., Arquet R., Gonzalez Garcia E., Mahieu M., Archimède H., Alexandre G. et Mandonnet M., 2008, 9th International Conference on Goats, 469
Bath G.F., Malan F.S. et Van Wyk J.A., 1996, 7th annual congress of the livestock health and production group of the South African Veterinary Association, 152-156
Beraldi D., McRae A.F., Gratten J., Pilkington J.G., Slate J., Visscher P.M. et Pemberton J.M., 2007. Int J Parasitol, 37, 121-129
Berbigier P., Gruner L., Mambrini M. et Sophie S.A., 1990. Parasitol Res, 76, 379-385
Besier R.B., 2005, 4th international worshop "Novel Approaches to the Control of Helminth Parasites of Livestock", 16
Blake N. et Coles G., 2007. Vet Rec, 161, 36
Broughan J.M. et Wall R., 2007. Int J Parasitol, 37, 1255-1268
Chandrawathani P., Jamnah O., Waller P.J., Hoglund J., Larsen M. et Zahari W.M., 2002. Vet Res, 33, 685-696
d'Alexis S., Loranger-Merciris G., Mahieu M. et Boval M., 2009. Vet Parasitol, 163, 171-174
Colditz I.G., Watson D.L., Gray G.D. et Eady S.J., 1996. Int J Parasitol, 26, 869-877
Coop R.L. et Kyriazakis I., 2001. Trends Parasitol, 17, 325-330
Dijk J.v., Louw M.D.E.d., Kalis L.P.A. et Morgan E.R., 2009. Int J Parasitol, 39, 1151-1156
Eady S.J., Woolaston R.R. et Barger I.A., 2003. Livest Prod Sci, 81, 11-23
Giudici C., Aumont G., Mahieu M., Saulai M. et Cabaret J., 1999. Vet Res, 30, 573-581
Hoste H., Chartier C., Lefrileux Y., Goudeau C., Broqua C., Pors I., Bergeaud J.P. et Dorchies P., 2002. Vet Parasitol, 110, 101-108
Jabbar A., Iqbal Z., Kerboeuf D., Muhammad G., Khan M.N. et Afaq M., 2006. Life Sci, 79, 2413-2431
Jackson J.A. et Tinsley R.C., 2005. Int J Parasitol, 35, 29-37
Jacquiet P., Cabaret J., Thiam E. et Cheikh D., 1998. Int J Parasitol, 28, 253-261
Kahn L.P., 2003. Aust J Exp Agric, 43, 1477-1485
Klein S.L., 2004. Parasite Immunol, 26, 247-264
Kyriazakis I. et Houdijk J.G.M., 2006. Small Ruminant Res, 62, 79-82
Mahieu M., Aumont G. et Alexandre G., 1997. INRA Prod Anim, 10, 21-32
Mahieu M., Arquet R., Kandassamy T., Mandonnet N. et Hoste H., 2007. Vet Parasitol, 146, 135-147
Mandonnet N., Menendez-Buxadera A., Arquet R., Mahieu M., Bachand M. et Aumont G., 2006. Anim Sci, 82, 283-287
Marie-Magdeleine C., 2009. Doctorat ès Sciences agronomiques, 255 pages
Nguyen T.M., Binh V.D. et Orskov E.R., 2005. Anim Feed Sci Technol, 121, 77-87
Roy N.C., Bermingham E.N., Sutherland I.A. et McNabb W.C., 2003. Aust J Exp Agric, 43, 1419-1426
Van Wyk J.A., Malan F.S. et Randles J.L., 1997. Vet Parasitol, 70, 111-122
Van Wyk J.A., 2001. Onderstepoort J Vet Res, 68, 55-67
Vercruysse J., Knox D.P., Schetters T.P.M. et Willadsen P., 2004. Trends Parasitol, 20, 488-492
Waghorn T.S., Leathwick D.M., Chen L.Y., Gray R.A.J. et Skipp R.A., 2002. Vet Parasitol, 104, 119-129
Walkden-Brown S.W. et Eady S.J., 2003. Aust J Exp Agric, 43, 1445-1454

Retour p. 32

Annexe 4 : Mahieu, M. et Aumont, G. (2009). Effects of sheep and cattle alternate grazing on sheep parasitism and production. Trop. Anim. Health Prod. 41 (2): 229-239

Retour p. Encadré 3

Trop Anim Health Prod (2009) 41:229–239
DOI 10.1007/s11250-008-9180-z

ORIGINAL PAPER

Effects of sheep and cattle alternate grazing on sheep parasitism and production

Maurice Mahieu · Gilles Aumont

Accepted: 30 April 2008 / Published online: 22 May 2008
© Springer Science + Business Media B.V. 2008

Abstract Production of sheep (nursing ewes) grazing alternately with cattle (growing weaned heifers) was compared to the production of sheep or cattle grazing alone (controls). Pasture production and sheep parasitism were also monitored. The herbage allowance was higher for the control heifers than for the alternate heifers, but the leaf to green material ratio (LGMR) was lower, and no difference on heifer growth was revealed (443 *vs.* 431g.d^{-1}, P = 0.54). The LGMR was higher for the alternate sheep (+3 points) than for the control sheep, except during the dry season, when the herbage density was lower. The effects of parasitism on the packed cell volume of alternate ewes and lambs were lower than those of control ewes and lambs. However, the infection of sheep by *Cooperia* sp. (better adapted to cattle) was significantly higher for the alternate sheep than for the controls, and some indication of cattle infection by *Haemonchus contortus* was suggested. The 70-day lamb weight was higher in the alternate grazing system than in the control (+0.76,+1.11 and +0.61kg for the dry, intermediate and rainy seasons, respectively), and the average 70-day lamb production per ewe exposed was 21.42kg in the alternate grazing system *vs*. 18.59kg in the control (P = 0.003).

Keywords Sheep · Cattle · Alternate grazing · Gastrointestinal parasitism · Humid tropics

M. Mahieu
INRA, UR 143 Unité de Recherches Zootechniques,
97170 Petit-Bourg (Guadeloupe, F.W.I.), France

G. Aumont
INRA, UAR 564 Département de Santé Animale,
37380 Nouzilly, France

M. Mahieu (✉)
URZ, INRA Centre Antilles-Guyane, Domaine de Duclos,
97170 Petit-Bourg, France
e-mail: Maurice.Mahieu@antilles.inra.fr

Introduction

Gastro-intestinal nematodes (GIN), especially *Haemonchus contortus*, represent one of the main threats to the small ruminant industry in the French West Indies (Aumont et al. 1997), as everywhere in the humid tropics. Systematic drenching has been used since the seventies, and anthelmintic resistance is now largely widespread. Resistance to benzimidazoles was first detected in 1985 on an experimental sheep farm (SECI), after seven years of monthly drenching (Gruner et al. 1986). On the same farm, resistance to ivermectin was suspected ten years later (unpublished data). Most sheep and goat farms are now faced with anthelmintic resistances in the French West Indies (F. W.I.). Decreasing the infective larvae (L3) density on herbage should be a keystone to the reduction of the parasite burden and anthelmintic requirements. This goal may be achieved either by decreasing the stocking rate or by delaying the return of small ruminants into the same paddock (Aumont et al.

1991). In the first option, the herbage surplus may be grazed by species which are resistant to nematodes affecting small ruminants, such as cattle or horses. A previous experiment showed that the advantage of sheep and cattle mixed grazing (Mahieu et al. 1997) is that it increases acreage production by reducing sheep parasitism and intra-specific competition for forage. For the second option, the nutritive value of the herbage decreases markedly when the pasture regrowth exceeds four weeks (Archimède et al. 2000) and the GIN L3 population, which peaks about two to three weeks after the faeces deposit, afterwards decreases to an undetectable level seven to eight weeks later (Aumont and Gruner 1989). An experiment was designed to compare the effects on sheep parasitism and production of an alternate grazing system of sheep and cattle, combining a theoretically higher nutritional value of the pasture (three weeks of regrowth) and a dramatic L3 density reduction (seven weeks without sheep on the same paddock) and the usual grazing management of sheep (high stocking rate, rotational grazing – 7days in; 28days out) and cattle on separate paddocks.

Materials and methods

Location

The experiment was carried out under farm-like conditions on irrigated pastures located at the Irrigated Crop Experimental Station (SECI, Conseil Général de la Martinique) in Martinique, F.W.I. (14.25°N, 60.50°W). The annual rainfall was about 1500mm, with a marked dry season from January to July. The average air temperature varied from 25.3°C (January) to 27.7°C (July), relative humidity (hair hygrometer) was always above 55% and day length ranged from 11 to 13h.

Animal and pasture management

Two grazing systems were compared over a two-year period:

- First, the alternate system: an 8-paddock pasture was grazed by a 60-Martinik ewe flock and a 14-Brahman heifer herd, each species grazing alternately for one week after three weeks of grass regrowth, so each group entered the same paddock seven weeks after leaving it. The total area allocated to the two species was 4ha.
- Second, the control system was grazed separately by the two species. Four paddocks (1.54ha) were allocated to 11 control heifers (three weeks of grass regrowth). Five paddocks (2ha, four weeks of grass regrowth) were allocated to 60 control ewes as commonly used in order to avoid excessive gastro-intestinal parasitism risk (Aumont et al. 1991).

The stocking rate was 7 heifers or 30 ewes per hectare for the control systems and 3.5 heifers and 15 ewes per hectare for the alternate system.

The heifers were purchased at weaning (200kg live weight on average) and replaced when they weighed 375–380kg. Two or three heifers were replaced each time to avoid behavioural problems and to regularize the stocking rate, expressed as metabolic weight per hectare ($LW^{0.75}$).

Three 35-day mating periods were performed yearly, each involving half the ewe flock, in order to achieve an 8-month lambing interval. The ewes ranged from one to eight years old at the beginning of the trial, with a balanced age pyramid. They were culled mainly for: two successive breeding failures; loss of the whole litter or very poor litter growth; poor health (permanent lameness, etc.) or very poor body condition at weaning. The culled ewes were replaced by ewe lambs weighing at least 60% of the mature ewe weight (they were 7 or 11months old at their first mating, and weighed over 27kg). Three seasons corresponding to the three nursing periods were defined: the dry season (approximately January 15 to May 15), intermediate season (May 15 to September 15) and rainy season (September 15 to January 15).

Lambs were weaned the day the next mating period started (they were 70 to 90days old).

Tick (*Amblyomma variegatum*) and tick-borne disease (dermatophilosis) control was achieved by spraying cattle or dipping sheep fortnightly.

Gastro-intestinal nematode control was performed by drenching the lambing ewes around lambing time, five weeks later and at weaning, and by drenching lambs five weeks before weaning and at weaning. Levamisole was used for the whole experimental period, at the recommended dose for sheep (6mg/kg LW). No drenching was done on the heifers or on the pregnant ewes.

The Pangola grass (*Digitaria decumbens*) pastures received one ton.ha^{-1}.year^{-1} of a 27–9–18 fertilizer applied at five- to six-week intervals, except during heavy rain periods. Irrigation was applied at nine- to ten-day intervals with a Touraine irrigator (30mm doses), depending on water needs during the dry season, from approximately January to July.

Water and mineral licks were supplied *ad libitum*.

Measurements

1) Herbage production was measured for each paddock on the day the animals came in. Ten representative and homogenous plots (each one 2m^2) were identified in each paddock, and were sampled with an edge clipper (0.13 * 0.55m^2). Sampling was performed on a part of the plot which had not previously been sampled, in order to observe the grazing effects only. Leaves, stems and debris were hand sorted, and dry matter measured after 48 hours in an air-forced oven (60°C). The leaf and stem dry matter was related to acreage and to the metabolic live weight of the animals (LW$^{0.75}$). The herbage quality was estimated using the leaf to green material ratio (*i.e.* leaf/(leaf+stem)). The herbage production was monitored for a whole year (1910 observations).
2) The following animal data were recorded for each breeding period: ewes exposed (364 observations), ewes which lambed, lambs born for each lambing (dead or alive), lamb death rate, lamb sire and dam. The litter size (LS), defined as the number of lambs born (dead or alive) per lambing ewe, and apparent fertility (AF), defined as the lambing to exposed ewe ratio, were calculated from the lambing data records. The lamb death rate at weaning was defined as the ratio: 100*(1-(lambs weaned/total of lambs born)).

Lambs were weighed at birth and every three weeks until weaning (3322 observations). Heifers were weighed monthly, on the day after they were moved in a new paddock (517 observations).

Milk production was assessed fortnightly by hand milking ten mature ewes rearing two lambs for both alternate and control groups, for three consecutive seasons (576 observations). The ewes were first milked at 7:00AM to empty the udder and the lambs were removed. The milk was collected the second time only, at 11:00AM, weighed, and individual samples were frozen for further analyses. The oxytocin method was used (5I.U. intra-venous) to ensure complete milk collection. Dry matter, fat and protein contents were measured by the Lial laboratory (15000 Aurillac, France) using the NIRS method.

3) Several aspects of parasitism due to gastro-intestinal nematodes (GIN) were studied. Faecal egg count (FEC) and packed cell volume (PCV) were monitored for the last three successive lambing seasons (out of six). FEC and PCV (1195 observations) were performed at weeks 0, 5 and 10 after lambing on pregnant and nursing ewes on the day the latter were drenched. Lamb FEC and PCV were performed at weaning (85days on average) and 5weeks previously (911 observations). For the latter value, the younger lambs (less than 40days old) were analysed separately from the older ones (40 to 55days old), so as to note the responses to short or long initial exposure to gastro-intestinal nematodes. Blood samples were collected using EDTA vacuum collectors, and PCV was determined by centrifugation (10 000rpm, 5min) in capillary tubes. FEC was carried out using McMaster cells (Raynaud 1969). In addition, five lambs from alternate and control groups were necropsied a few days after weaning, for four of the six lambing periods. These lambs were chosen from among the upper FEC quartile. They were not dewormed previously, and the digestive tract parasites were identified (genus, species, sex or stage) and counted.

GIN infective larvae (L3) on the pasture were counted during the first intermediate season on herbage samples collected between 7:00 and 8:00A.M. on the day the sheep were moved in the paddock (78 observations). One sample was obtained for the sheep control group. It consisted of 100 grass pinches collected throughout the paddock. Two samples were obtained for the alternate paddocks: the first one within a 0.20 metre radius of the cattle dung; the second one was taken at least 1 metre away from any cattle dung. L3 were identified (genus level) and counted using the method described by Aumont et al. (1996), and the L3 count was related to the amount of grass dry matter measured for each sample.

The heifer FEC was measured twice (at the end of the dry and intermediate seasons).

Statistical analyses

1) Herbage production data were analysed using the MIXED procedure of SAS (SAS software, V8.01, SAS Institute Inc., Cary, NC, USA). The leaf to green material ratio was transformed to normalize the distribution by using the formula arcsin(sqrt (LGMR)), and the estimates were back transformed after analysis. The models took into account the interaction of animal groups (four levels: control sheep; control cattle; alternate sheep; and alternate cattle) and season (three levels: dry; intermediate; rainy).
2) The ewe reproduction, culling and lamb death rates, as well as the 70-day lamb production per exposed ewe were estimated and 95% confidence intervals were provided by using a 2000 bootstrap resampling method, as data distributions were not Gaussian. The effect of grazing system was tested by using the NPAR1WAY procedure of SAS (Wilcoxon test).

The weight data analyses of growing animals were carried out by using the MIXED procedure of SAS. The models took into account the treatment (two levels: alternate *vs.* control) as the fixed effect and:

– for the heifers: the effects of the placement period of the heifer (or weaning season, three levels: dry; intermediate; rainy) and of the farm the heifer was born into (nine levels). The time from the placement of the heifer and its square were used as co-variables within the treatment.
– for the lambs: the effects of birth season, litter size the lamb was reared into (three levels: one; two; three and over), lamb sex, age of the dam (three levels: ewe lamb – first lambing; mature – 2nd to 7th lambings; old – over 7th lambing), sire of the lamb (five levels) and the interaction (treatment * birth season). The lamb age and its square were used as co-variables within the treatment.

The 70-day litter live weight per exposed ewe was obtained by adding the individual 70-day weight estimates of each lamb of a given ewe. This was then analysed using the NPAR1WAY procedure of SAS, and the grazing system effect was tested, as described previously.

Milk production curves were fitted to the non-linear Wood model (Wood 1967) using the NLIN procedure (SAS):

$$P_d = a^* \left(time_d^{**b} \right) * \exp_d^{(-c^* time)};$$

where:

P_d=value of the considered production at the day $_d$
$time_d$=day_d - lambing day

Milk weight, dry matter, fat and protein content estimates were then compared (MIXED procedure, SAS). The models took into account the fixed effects of treatment, lambing season, age of the dam, week of lactation and the first and second level interactions between treatment, lambing season and week of lactation.

3) The PCV and FEC data from lambs, pregnant ewes and lactating ewes were analysed separately using the GLM procedure of SAS. The FEC data were log transformed before the analysis in order to normalize the distribution. The models took into account the treatment (two levels) as the fixed effect and:

– for the lactating ewes: the effects of the lambing season, litter size (three levels: one; two; three and over), delay from lambing (three levels corresponding to the GIN controls, as described above), age of the dam and interaction (treatment * lambing season).

Table 1 Available leaf and stem dry matter per unit of metabolic live weight and per day ($g.kg^{-0.75}.d^{-1}$) according to season

	Sheep		Cattle	
	Alternate	control	Alternate	control
Leaf				
Dry season	$_a$ 183 ^{b}	$_a$ 260 ^{a}	$_a$ 245 ^{a}	$_a$ 343 ^{c}
Inter. season	$_b$ 263 ^{b}	$_a$ 278 ^{b}	$_b$ 329 ^{a}	$_b$ 457 ^{c}
Rainy season	$_c$ 279 ^{b}	$_b$ 332 ^{a}	$_b$ 342 ^{a}	$_b$ 444 ^{c}
Stem				
Dry season	$_a$ 187 ^{a}	$_a$ 321 ^{b}	$_a$ 225 ^{a}	$_a$ 547 ^{c}
Inter. season	$_b$ 242 ^{a}	$_b$ 257 ^{a}	$_b$ 301 ^{b}	$_a$ 580 ^{c}
Rainy season	$_b$ 272 ^{a}	$_a$ 329 ^{a}	$_b$ 319 ^{a}	$_c$ 660 ^{b}

For each variable, data within column preceded by different subscript letters differ significantly ($P<0.05$)
For each season, data within row followed by different superscript letters differ significantly ($P<0.05$)

Table 2 Leaf and stem dry matter density ($g.m^{-2}$) at the placement of animals in the paddocks, according to season

	Sheep		Cattle	
	Alternate	Control	Alternate	Control
Leaf				
Dry season	$_{a}73^{a}$	$_{a}107^{b}$	$_{a}71^{a}$	$_{a}103^{b}$
Inter. season	$_{b}121^{a}$	$_{b}127^{a}$	$_{b}115^{a}$	$_{b}168^{b}$
Rainy season	$_{b}122^{a}$	$_{b}135^{a}$	$_{b}122^{a}$	$_{b}158^{b}$
Stem				
Dry season	$_{a}75^{a}$	$_{a}131^{b}$	$_{a}65^{a}$	$_{a}164^{c}$
Inter. season	$_{b}112^{a}$	$_{a}120^{a}$	$_{b}104^{a}$	$_{b}213^{b}$
Rainy season	$_{b}117^{ab}$	$_{a}134^{b}$	$_{b}114^{a}$	$_{b}236^{c}$

For each variable, data within column preceded by different subscript letters differ significantly ($P<0.05$).
For each season, data within row followed by different superscript letters differ significantly ($P<0.05$)

- for the pregnant ewes: the effects of the season, age of the dam and interaction (treatment * season).
- for the lambs: the effects of the age of the lamb (three levels: <40days; 40–55days; weaning), lamb sex, birth season and interaction (treatment * birth season). Results were back transformed and given as a geometric mean.

The FEC results were back transformed and given as a geometric mean.

The worm count data were analysed using the GLM procedure of SAS after a log transformation. The models took into account the fixed effects of treatment, birth season, lamb sex and interactions (treatment * lamb sex) and (treatment * birth season). Results were back transformed and given as a geometric mean.

Results

1) No difference was observed for the metabolic stocking rate between the alternate and control treatments, though the sheep metabolic stocking rate was significantly higher than that of cattle (627 *vs.* $490kg^{0.75}.ha^{-1}$, $P = 0.0002$). The coefficient of variation was 8.8% for the alternate grazing system *vs.* 10.8 and 10.5% for the sheep and cattle control systems, respectively, due to non-synchronous heifer replacement and lambing occurrences. Available leaf and stem dry matter, relative to metabolic weight, are displayed in Table 1. Leaf and stem availability were significantly lower in the dry season, and stem availability was significantly higher in the cattle control paddocks. Leaf density was significantly reduced during the dry season (Table 2), especially in the alternate grazing system, and, to a lesser extent, in the control systems. Stem density was always higher in the cattle control, and it was significantly reduced in the alternate grazing system during the dry season. Herbage quality is illustrated in Fig. 1. Irrespective of the season, the leaf to green material ratio (LGMR) was higher in alternate cattle than in control cattle paddocks (+13,+9 and+12 points for the dry, intermediate and rainy seasons, respectively). The alternate sheep LGMR was higher than the control LGMR during the dry and rainy seasons (+3 points).
2) No significant difference was found between alternate and control groups with respect to lambing rate, litter size, lamb death rate at weaning or number of lambs weaned per ewe exposed (Table 3). However, the ewe culling rate was significantly lower for the alternate ewe flock than for the control flock (Table 3).

Alternate milk production curves (Fig. 2a-d) were always above the control curves. Milk dry matter

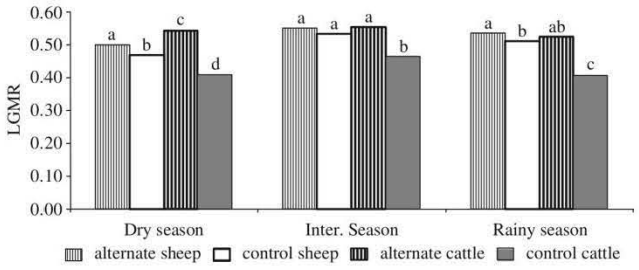


Fig. 1 Leaf to green material ratio (LGMR) when animals entered into the paddocks, according to the season and to the grazing system. For each season, columns topped by different letters differ significantly ($P<0.05$)

Table 3 Individual performances of ewes according to the grazing system (2000 re-sampling bootstrap estimates) [95% confidence interval]

	Alternate	Control	P(null hypothesis) Wilcoxon test
Culling rate (%)	7.2 [3.9; 11.1]	16.3 [10.9; 21.7]	P=0.007
Lambing rate (%)	94.4 [91.1; 97.8]	90.8 [86.4; 94.6]	P=0.18
Litter size	1.78 [1.68; 1.86]	1.77 [1.67; 1.86]	P=0.90
Lamb death rate at weaning (%)	3.3 [1.7; 5.3]	5.8 [3.4; 8.5]	P=0.26
Lamb weaned per ewe exposed	1.62 [1.52; 1.73]	1.51 [1.40; 1.63]	P=0.28
70-day lamb weight per ewe exposed (kg)	21.42 [20.27; 22.57]	18.59 [17.27; 19.76]	P=0.003

production was significantly higher, irrespective of the lactation stage, whereas fat and protein production were significantly higher only in the first two weeks. The seasonal variations of milk dry matter production are illustrated in Fig. 3.

Lamb birth weight was higher for the alternate than for the control group for the rainy season lambing (3.20 *vs.* 2.94kg, P = 0.03), which corresponds to an intermediate season pregnancy. Lamb growth curves (Fig. 4a) had a significant age quadratic component (P < 0.0001). The growth rate (i.e. the slope of the weight curve) was significantly higher in the alternate system than in the control (intercept: 193 *vs.* 176g.d^{-1}, P = 0.001, Fig. 4b) during the intermediate season, but not during the other seasons. The quadratic component (the slope of the growth rate, Fig. 4b) differed significantly during the dry season (-0.29 *vs* -0.42g.d^{-2}, P = 0.02), so the growth rate of the alternate lambs decreased less than that of the control lambs. This quadratic component did not differ significantly during the intermediate and rainy seasons. As a result of this, the 70-day-old lamb live weight was always higher in the alternate system than in the control (+0.76,+1.11 and+0.61kg for the dry, intermediate and rainy seasons, respectively). The average 70-day lamb live weight produced per ewe exposed was also significantly higher in the alternate than in the control flock (Table 3).

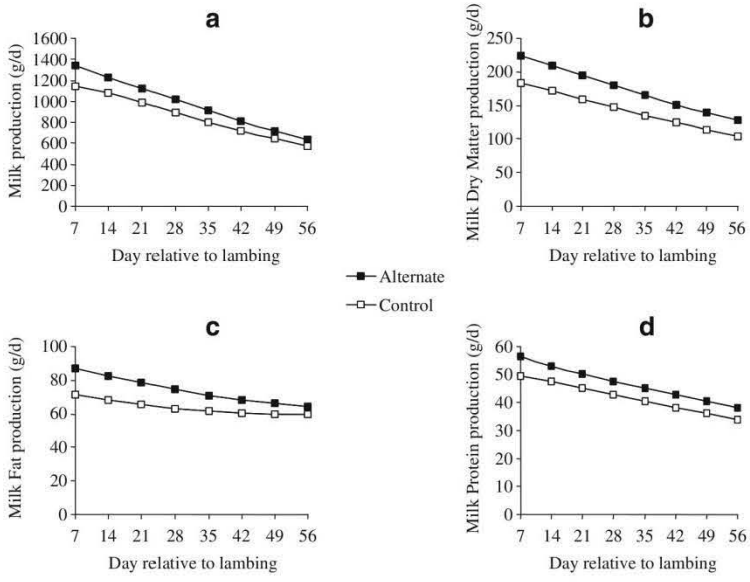


Fig. 2 Daily ewe milk (a), dry matter (b), fat (c) and protein (d) production (g.d^{-1}), according to the grazing system (sheep and cattle alternate grazing, *vs.* sheep control)

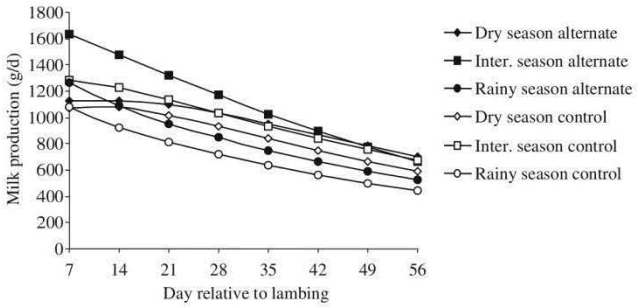


Fig. 3 Seasonal pattern of milk dry matter production

Heifer weight increased linearly with time. No difference due to the grazing system was found in heifer growth rate (443 *vs.* 431g.d^{-1}, P = 0.54).

3) Sheep FEC and PCV results are displayed in Tables 4 (lambs) and 5 (pregnant and lactating ewes). The youngest lambs having a positive FEC were aged 30–31days (14 out of 18 animals). Considering the pre-patent period of about 20days, infection began about 10days after birth, so the FEC of lambs younger than 40days was already high. The PCV values of the lambs younger than 40days were high (31.5–35.2%), and no difference between treatments was revealed, though the control lamb FEC was significantly higher in both the dry and rainy seasons. Then, the lamb PCV values decreased dramatically for lambs aged 40–55days (P < 0.001). At weaning, the lamb PCV value was higher in the alternate system than in the control, irrespective of the season. The lamb FEC was lower in alternate lambs than in the control system, except at weaning during the rainy season when the values were similar. The pregnant ewe FEC was always very low. The lactating ewe FEC was higher (peri-parturient rise), with a grazing system effect during the intermediate season only.

The worm burden in lambs differed significantly for the genera *Haemonchus* (except in the rainy season) and *Cooperia*, the first one being more numerous in the control, the latter in the alternate lambs (Fig. 5).

The infective larvae densities on pasture are displayed in Table 6. Four GIN genera, *Haemonchus* sp., *Cooperia* sp., *Trichostrongylus* sp. and *Oesophagostomum* sp., were found to be significantly more abundant close to the cattle dung in comparison with the sheep control. Only *Haemonchus* sp. L3 density was not significantly different either close to or far from the cattle dung.

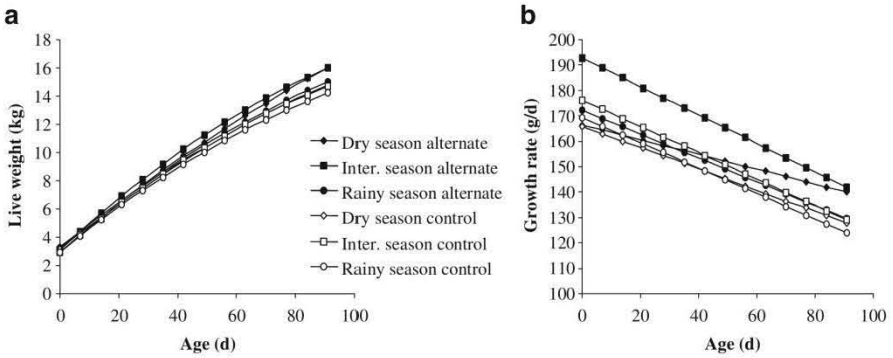


Fig. 4 Lamb growth (a) and growth rate (b) estimates according to the grazing system (sheep and cattle alternate grazing, *vs.* sheep control) and lambing season (dry, intermediate and rainy seasons)

Table 4 Parasitism results in lambs according to the season

		Dry season		Inter. Season		Rainy season	
	Age (d)	Alternate	Control	Alternate	Control	Alternate	Control
PCV (%)	<40	34.4 [a]	31.5 [a]	35.2[a]	34.4 [a]	33.0 [a]	33.0 [a]
	40–55	24.5 [a]	25.8 [a]	29.3 [a]	27.7 [b]	29.8 [a]	27.1 [b]
	weaning	30.2 [a]	28.3 [b]	30.7 [a]	28.7 [b]	29.9 [a]	24.3 [b]
FEC (epg)	<40	269 [a]	1114 [b]	43 [a]	62 [a]	176 [a]	1172 [b]
	40–55	137 [a]	473 [b]	10 [a]	40 [b]	40 [a]	278 [b]
	weaning	415 [a]	4282 [b]	172 [a]	2178 [b]	3086 [a]	3182 [a]

For each season, data on the same row followed by different superscript letters differ significantly ($P<0.05$)

The heifer FEC showed no marked difference between treatments (121 vs. 40 eggs per g, $P=0.06$, for alternate and control, respectively).

Discussion

The available leaf dry matter per metabolic weight unit was always higher than the intake reported for sheep (78 and 74 $g.kg^{-0.75}.d^{-1}$, for 21 and 28 days of regrowth of *D. decumbens* (Archimède et al. 2000)) and for cattle (70–100 $g.kg^{-0.75}.d^{-1}$ (Boval et al., 2002, 2000)). Grass density was lower in the alternate system during the dry season, which could result in lower intake (Penning et al., 1986). However, milk production and lamb growth were indicative of a sufficient level of nutrition, irrespective of the season.

Culling may be considered as the consequence of the constraints working on the ewe during its whole lifespan. The control culling rate was consistent with the 20-year-long culling policy already in place in the same flock (Mahieu et al. 2001). Although the age pyramid was balanced at the beginning of the trial, the lower culling rate in the alternate group seemed to be indicative of the better physiological condition of the ewes. Given that the grass characteristics did not seem to be limiting factors, this better physiological condition may be due to differences in the parasite burden, such as differences in the *Haemonchus* to *Cooperia* sp. ratio revealed by the lamb necropsies. Nevertheless, the ewe reproductive lifespan lasts about five years on average, and up to nine to ten years for the more robust ones (Mahieu et al. 2001), so only a longer experiment could assess these trends. Reproduction components were not notably different, the trend seeming to be in favour of the alternate system (+0.16 weaned lamb/ewe/year), and more data are needed for this to be conclusive.

The cattle growth rate was not affected by sheep grazing, suggesting no effect or compensatory effects of the association with grass intake (due to the better grass quality) and cattle parasitism. However, lamb live weight and ewe production were always higher in the alternate system. Several mechanisms may be used to explain this: (i) the higher ewe milk production, irrespective of the season; (ii) the improved pregnancy conditions, especially for the lambs born during the rainy season (intermediate season pregnancy), and (iii) the low *H. contortus* burden on the lambs. The latter criterion is supported by the PCV results, which are

Table 5 Parasitism results in ewes according to the season

	Reproductive status	Dry season		Inter. Season		Rainy season	
		Alternate	Control	Alternate	Control	Alternate	Control
PCV (%)	Pregnant	32.2 [a]	31.0 [b]	31.8 [a]	31.3 [a]	29.9 [a]	29.3 [a]
	Lactating	30.8 [a]	28.9 [b]	33.8 [a]	29.0 [b]	30.2 [a]	28.4 [a]
FEC (epg)	Pregnant	6 [a]	22 [a]	14 [a]	14 [a]	14 [a]	11 [a]
	Lactating	333 [a]	514 [a]	165 [a]	890 [b]	267 [a]	319 [a]

For each season, data on the same row followed by different superscript letters differ significantly ($P<0.05$)

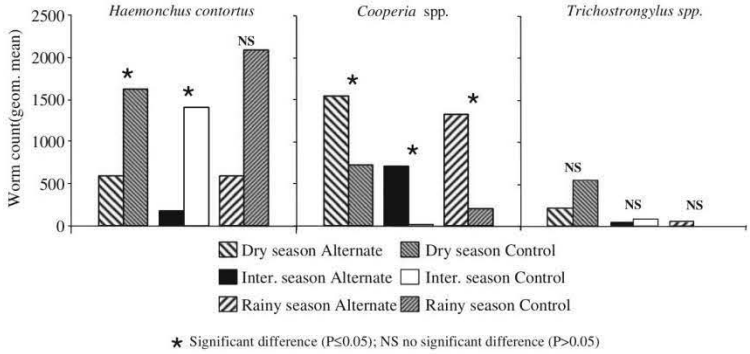


Fig. 5 Worm burden in necropsied lambs

indicative of the *H. contortus* blood consumption. Lambs passed out the same amount of nematode eggs at weaning during the rainy season but alternate lambs had higher PCV values, probably due to the presence of *Cooperia* sp. and consequently to a lesser *H. contortus* burden than in the control lambs.

The worm burden of necropsied lambs followed roughly the same pattern as infective larvae in the pasture. The genus *Cooperia* was rather scarce in the sheep control, whereas it was dominant in cattle and co-dominant in alternate sheep, which is consistent with previous studies (Giudici et al. 1999). The pasture contamination was assessed during the intermediate season, when there were more favourable conditions for egg hatching and larvae development of strongyle nematodes (Aumont et al. 1997). The maximal L3 density on pasture is theoretically reached 14–21 days after a 7-day period of contamination by infected small ruminant faeces and then decreases quickly under the climatic conditions prevailing in the F.W.I. (Aumont and Gruner, 1989). *Cooperia*, *Trichostrongylus* and *Oesophagostomum* L3 were more numerous close to cattle dung, which suggests that they were mainly derived from eggs passed by the heifers, whereas *Haemonchus* L3 were more evenly distributed and seemed to be mostly derived from sheep-borne parasites. However, the level of contamination by *Haemonchus* L3 was high in the alternate pastures in comparison to the control. The survival pattern of the infective larvae population on pasture, as modelled by Aumont and Gruner (1989) suggests that the L3 derived from sheep-borne *Haemonchus* in the alternate pastures might be about 100 to 1000 times less numerous when the sheep flock returns to a given paddock (i.e. seven weeks after leaving) than the *Haemonchus* L3 population when counted in the control group (i.e. four weeks after leaving). Moreover, cattle grazing the same paddock when the L3 populations from the sheep GIN species were largest (i.e. three weeks after the contamination by sheep) might eliminate most of them. Several authors have worked on the relationship between *Haemonchus contortus*, *H. placei* and *H. similis* in cattle and small ruminants. *H. contortus* and *H. placei* are now clearly identified as separate species, with reference to both morphological and molecular criteria (Jacquiet et al. 1997; Zarlenga et al. 1994). Although *H. contortus* was found only in small ruminants and *H. similis* in cattle in a previous study carried out on the same pasture (Giudici et al. 1999), some evidence

Table 6 Infective larvae density on pasture on sheep entrance in the paddock (L3 per kg of herbage dry matter, geometric mean)

	Alternate		Sheep control
L3 genus	>1.00 m from cattle dung	<0.20 m from cattle dung	
Haemonchus spp.	284 ^{ab}	373^{b}	219 ^{a}
Cooperia spp.	202 ^{a}	1427^{b}	56 ^{c}
Trichostrongylus spp.	70 ^{a}	186 ^{b}	66 ^{a}
Oesophagostomum spp.	51^{a}	248^{b}	49 ^{a}

Data on the same row followed by different superscript letters differ significantly (P<0.05)

of mixed congeneric infection were reported in cattle and small ruminants grazing together (Achi et al., 2003; Jacquiet et al. 1998). Amarante et al. (1997) showed that *H. contortus* could infect cattle in mixed grazing experiments, whereas *H. similis* was strongly adapted to cattle. In the present study, *H. contortus* infection in cattle could also have occurred without being detected, due to the experimental design: in the previous experiment (Giudici et al. 1999), only four heifers were necropsied, after nine to thirteen months on the pasture, whereas no data were collected on the younger animals which might be more susceptible to *H. contortus* infection during the first months after weaning. Unfortunately, neither molecular nor morphological identification requirements were met in this experiment for accurate identification of infective larvae or adult worms, so there is an unanswered question about the *Haemonchus* species infecting cattle and sheep and their respective aftermath in the alternate grazing system. Furthermore, a long-term adaptation of sheep *H. contortus* to cattle cannot be discarded (Barger 1997), with unpredictable effects on its pathogenicity. Should the hypothesis of cattle infection by *H. contortus* be verified, that would mean the three-week resting was not enough to allow a sufficient reduction of *H. contortus* larvae prior to sheep grazing (Aumont and Gruner 1989), and a longer resting period (i.e. four weeks or over) should be considered, such as experienced by Fernandes et al. (2004). The choice of cattle as associate species could also be argued and a non-ruminant herbivore species – where possible – could be more suitable for this purpose.

The rotational paddock system is currently used by most of the stock farmers in the F.W.I. (the tethering system may be seen as a form of rotational grazing system more suitable for small scale ruminant farming). About two third of the farmers raise both cattle and small ruminants, mainly on separate pastures, so there is a potential application of the alternate grazing as a component of integrated parasite control in small ruminant and a means to increase animal production.

Acknowledgement The authors thank Mrs Nathalie Mandonnet and Natasha Callender, for their kind help and suggestions, as well as the SECI technical team and the "Conseil Général de la Martinique" that supported this work.

References

Achi, Y.L., Zinsstag, J., Yao, K., Yeo, N., Dorchies, P. and Jacquiet, P. 2003. Host specificity of Haemonchus spp. for domestic ruminants in the savanna in northern Ivory Coast. *Veterinary Parasitology*, **116**, 151–158 Medline. DOI 10.1016/S0304–4017(03)00258–9

Amarante, A.F.T., Bagnola, J., Jr., Amarante, M.R.V. and Barbosa, M.A. 1997. Host specificity of sheep and cattle nematodes in Sao Paulo state, Brazil. *Veterinary Parasitology*, **73**, 89–104 Medline. DOI 10.1016/S0304–4017(97)00036–8

Archimède, H., Boval, M., Alexandre, G., Xandé, A., Aumont, G. and Poncet, C. 2000. Effect of regrowth age on intake and digestion of *Digitaria decumbens* consumed by Blackbelly sheep. *Animal Feed Science and Technology*, **87**, 153–162 DOI 10.1016/S0377–8401(00)00207–8.

Aumont, G. and Gruner, L. 1989. Population evolution of the free-living stage of goat gastrointestinal nematodes on herbage under tropical conditions in Guadeloupe (French West Indies). *International Journal for Parasitology*, **19**, 539–546 Medline. DOI 10.1016/0020–7519(89)90084–2.

Aumont, G., Gruner, L. and Berbigier, P. 1991. Dynamique des populations de larves infestantes des strongles gastro-intestinaux des petits ruminants en milieu tropical humide. Conséquences sur la gestion des pâturages. *Revue d'Elevage et de Médecine Vétérinaire des Pays Tropicaux*, 123–132 Medline.

Aumont, G., Frauli, D., Simon, R., Pouillot, R., Diaw, S. and Mandonnet, N.1996. Comparison of methods for counting third stage larvae of gastrointestinal nematodes of small ruminants in tropical pastures. *Veterinary Parasitology*, **62**, 307–315 Medline. DOI 10.1016/0304–4017(95)00868–3.

Aumont, G., Pouillot, R., Simon, R., Hostache, G., Varo, H. and Barre, N. 1997. Intestinal parasitism of small ruminants in the French West Indies. [French]. *INRA Productions Animales*, **10**, 79–89.

Barger, I.A.1997. Control by management. *Veterinary Parasitology*, **72**, 493–506 Medline. DOI 10.1016/S0304–4017(97)00113–1.

Boval, M., Cruz, P., Peyraud, J.L. and Penning, P.D. 2000. The effect of herbage allowance on daily intake by Creole heifers tethered on natural *Dichanthium* spp. Pasture. *Grass and Forage Science*, **55**, 201–208 DOI 10.1046/j.1365–2494.2000.00216.x.

Boval, M., Cruz, P., Ledet, J.E., Coppry, O. and Archimède, H. 2002. Effect of nitrogen on intake and digestibility of a tropical grass grazed by Creole heifers. *Journal of Agricultural Science*, **138**, 73–84.

Fernandes, L.H., Seno, M.C.Z., Amarante, A.F.T., Souza, H. and Belluzzo, C.E.C. 2004. Effect of rotational and alternate grazing with adult cattle on the control of nematode parasites in sheep. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, **56**, 733–740.

Giudici, C., Aumont, G., Mahieu, M., Saulai, M. and Cabaret, J. 1999. Changes in gastro-intestinal helminth species diversity in lambs under mixed grazing on irrigated pastures in the tropics (French West Indies). *Veterinary Research*, **30**, 573–581 Medline.

Gruner, L., Kerboeuf, D., Beaumont, C. and Hubert, J. 1986. Resistance to benzimidazole of *Haemonchus contortus utkalensis* in sheep on Martinique. *Veterinary Record*, **118**, 276 Medline.

Jacquiet, P., Cabaret, J., Cheikh, D. and Thiam, E.1997. Identification of Haemonchus species in domestic ruminants based on morphometrics of spicules. *Parasitology Research*, **83**, 82–86 Medline. DOI 10.1007/s004360050213.

Jacquiet, P., Cabaret, J., Thiam, E. and Cheikh, D. 1998. Experimental and natural *Haemonchus* spp. cross infections of domestic ruminants in Sahelian West Africa. *Annals of the New York Academy of Sciences*, **849**, 465–469 Medline. DOI 10.1111/j.1749–6632.1998.tb11098.x

Mahieu, M., Aumont, G., Michaux, Y., Alexandre, G., Archimède, H., Boval, M. and Theriez, M. 1997. Mixing grazing sheep/cattle on irrigated pastures in Martinique (FWI). [French]. *INRA Productions Animales*, **10**, 55–65.

Mahieu, M., Aumont, G., Menendez-Buxadera, A., Chemineau, P. and Alexandre, G. 2001. Productividad y duración de la vida del ovino tropical criados en pastos irrigados de la Martinica. *In* "XVII Reunion de la Asociacion Latinoamericana de Produccion Animal (ALPA)", La Habana, Cuba, 497–500.

Penning, P.D., Hooper, G.E. and Treacher, T.T. 1986. The effect of herbage allowance on intake and performance of ewes suckling twin lambs. *Grass and Forage Science*, **41**, 199–208 DOI 10.1111/j.1365–2494.1986.tb01805.x.

Raynaud, J.P. 1969. Le parasitisme des Ruminants: Techniques pratiques pour la diagnose des strongles digestifs et des formes parasitaires éliminées avec les matières fécales. Vol. **Paris, Laboratoires Pfizer-Clin**, 1–46.

Wood, P.D.P.1967. Algebraic Model of the Lactation Curve in Cattle. *Nature*, **216**, 164–165 DOI 10.1038/216164a0.

Zarlenga, D.S., Stringfellow, F., Nobary, M. and Lichtenfels, J. R. 1994. Cloning and characterization of ribosomal RNA genes from three species of Haemonchus (Nematoda: Trichostrongyloidea) and identification of PCR primers for rapid differentiation. *Experimental Parasitology*, **78**, 28–36 Medline. DOI 10.1006/expr.1994.1003.

Retour p. Encadré 3

Annexe 5 : Mahieu, M., Aumont, G., Michaux, Y., Alexandre, G., Archimède, H., Boval, M. et Theriez, M. (1997). **L'association d'ovins et de bovins sur prairies irriguées en Martinique (F.W.I.). INRA Prod. Anim. 10 (1): 55-66**

Retour p. 37

INRA Prod. Anim.,
1997, 10 (1), 55-65

*M. MAHIEU, G. AUMONT *,*
*Y. MICHAUX *, G. ALEXANDRE *,*
*H. ARCHIMÈDE *, M. BOVAL *,*
*M. THÉRIEZ ***

Conseil Général de la Martinique
(Services techniques et économiques),
Station d'Essais en Cultures Irriguées
97227 Ste-Anne Martinique (FWI)

** INRA Unité de Recherches Zootechniques*
BP 515, 97165 Pointe-à-Pitre Cedex Guadeloupe (FWI)

*** INRA Adaptation des herbivores aux milieux, Theix,*
63122 St-Genès Champanelle

L'association d'ovins et de bovins sur prairies irriguées en Martinique

Les techniques d'intensification de l'élevage au pâturage dans la zone Caraïbe et en particulier dans les Antilles françaises ont été développées et mises au point ces dernières années pour des systèmes monospécifiques. De tels systèmes, associant de fortes charges, des espèces fourragères productives, une forte fertilisation et l'irrigation, conduisent à une spectaculaire augmentation des performances animales par unité de surface en milieu tropical humide. Dans le cas des petits ruminants, l'intensification de l'élevage a mis en évidence de nombreux problèmes techniques qui limitent l'intérêt de telles pratiques. En effet, l'adéquation des espèces fourragères aux conditions édaphiques et aux petits ruminants n'est pas toujours réalisée. Une partie importante de la masse fourragère produite est bien souvent non ingérée, ce qui conduit à une accumulation de biomasse et à une dégradation de la structure prairiale avec une diminution de la qualité du disponible fourrager. Par ailleurs, l'incidence des strongyloses digestives devient préoccupante, avec l'apparition de résistances des parasites aux antelminthiques en raison d'une utilisation plus fréquente et parfois non raisonnée des vermifuges.

L'association d'espèces animales au pâturage peut représenter une solution à ces problèmes. Cette technique, très largement pratiquée dans certains systèmes tropicaux extensifs, n'a jamais été étudiée dans un contexte d'intensification en milieu tropical humide. Cet article rapporte les résultats d'une étude réalisée en Martinique pour tester l'intérêt de l'association d'ovins « Martinik » et de génisses Brahman en croissance sur prairies irriguées de pangola.

Résumé

Les performances animales et les productions par unité de surface de cinq systèmes d'exploitation de prairies irriguées de pangola (*Digitaria decumbens*) ont été étudiées durant deux années en Martinique (FWI) : agneaux ou agnelles « Martinik » en croissance pâturant seuls, génisses Brahman en croissance pâturant seules, agneaux ou agnelles associés aux bovins. Les charges en poids métabolique (PM = $PV^{0,75}$) ont été identiques entre les systèmes et ont varié entre 488 et 536 kgPM/ha. L'association de bovins avec des ovins a permis une augmentation de la croissance des ovins, en particulier pour les mâles (+ 13 %). L'association avec des ovins a également conduit à une augmentation (non significative) de 10 % de la croissance des génisses. L'association des bovins et ovins a augmenté la production de viande à l'hectare de 18 à 25 %. Cette augmentation de la production a pu être reliée à une diminution de l'infestation parasitaire des ovins (en particulier pour les agneaux) par *Haemonchus contortus*, une diminution de la biomasse fourragère sur les parcelles et une amélioration de la qualité du disponible fourrager (ratio feuilles/tiges). Les bilans de production fourragère ont montré que l'association des bovins et des ovins au pâturage permet de limiter les pertes d'azote dans la biomasse inutilisée. Cependant, la maîtrise de la fertilisation azotée reste une des contraintes majeures pour l'optimisation des systèmes pâturés intensifs en milieu tropical humide.

Les études portant sur l'association ovins-bovins ont jusqu'alors été réalisées essentiellement en milieu tempéré (Reynolds *et al* 1970, Hamilton 1970 et 1975, Van Keuren 1970, Nolan et Connolly 1972, 1976 et 1989, Brelin 1979). L'objectif de ces associations est fréquemment de valoriser les refus de végétaux d'une espèce animale par une autre espèce animale complémentaire en termes de comportement alimentaire. Les données existantes en milieu tropical sont moins expérimentales et relèvent plus d'observations sur le pâturage extensif de prairies naturelles en vue de l'exploitation de la diversité de la flore spontanée des pâturages extensifs (Zeeman *et al* 1983, Guérin *et al* 1989, Sall *et al* 1991, Furstenburg *et al* 1995, Lechner-Doll *et al* 1995). Il n'existe pas, à notre connaissance, d'étude sur des systèmes intensifs tropicaux mixtes. Pourtant, les données obtenues en milieu tempéré semblent indiquer que l'association des ovins et des bovins pourrait minimiser les effets néfastes de l'intensification fourragère observés aux Antilles tout en maintenant une productivité à l'hectare convenable.

Les études en milieu tempéré ou méditerranéen montrent généralement que l'association des ovins et des bovins permet un gain de croissance et de production de l'ordre de 10 à 30 % chez les ovins. Les résultats sont plus controversés chez les bovins. L'association des ovins et des bovins doit néanmoins respecter un équilibre dans les ratios entre espèces et les chargements. Les aspects théoriques des conditions d'association d'espèces animales ont été bien étudiés par Nolan et Connolly (1989). De manière générale, il semble que l'association de deux espèces animales au pâturage semble profiter d'autant mieux à une espèce que sa part dans la charge totale diminue (Nolan et Connolly 1977, Dickson *et al* 1981).

Comme dans beaucoup d'autres îles de la zone Caraïbe, un grand nombre d'éleveurs d'ovins de Martinique sont aussi éleveurs de bovins. Cependant, ils conduisent les deux espèces sur des parcelles distinctes : une enquête menée par Champanhet et Rey (1995) indique que 30 % environ des éleveurs de bovins possèdent des petits ruminants, mais que seuls 9,2 % d'entre eux pratiquent le pâturage simultané. Un préjugé très répandu en Martinique veut que l'association des ovins et des bovins doit être évitée absolument car les bovins ingéreraient le poil des ovins, ce qui les rendrait malades voire les tuerait ! En engageant une étude sur le pâturage mixte, la Station d'Essais en Cultures Irriguées (SECI) devait avant tout faire la démonstration de la réussite technique de l'association des deux espèces en termes de production animale sur le long terme. En effet, les missions de la SECI sont, avant tout, orientées vers le développement de l'irrigation en Martinique.

C'est pourquoi, en 1992, la SECI et l'Unité de Recherches Zootechniques de l'INRA Antilles-Guyane ont décidé de lancer une étude sur l'association d'agneaux « Martinik » et de génisses Brahmanes sur prairies irriguées de pangola (*Digitaria decumbens*). L'étude, menée de 1994 à 1996, avait pour objectif d'associer des espèces animales différentes (ovins et bovins) sur des pâturages irrigués et fertilisés, exploités par de fortes charges animales afin d'une part d'utiliser la complémentarité des aptitudes (morphologiques, métaboliques, comportementales) des deux espèces animales pour mieux valoriser la quantité importante de biomasse obtenue par l'intensification en milieu tropical humide, et, d'autre part, d'exploiter leurs différences épidémiologiques, physiologiques et immunologiques pour contrôler le parasitisme gastro-intestinal chez les ovins.

Le principe de l'étude a consisté à comparer des systèmes d'engraissement mono-spécifiques de génisses ou d'agneaux ayant fait déjà leur preuve à un système mixte construit par la simple suppression de la clôture séparant de ces systèmes. Les chargements importants mis en place ont été choisis en raison de l'expérience acquise à la SECI au cours des expérimentations antérieures (Mahieu *et al* 1997 : 800 à 1 400 kg/ha pour les ovins en croissance, 1 800 à 2 200 kg/ha pour les bovins). Le ratio entre espèces dans ces systèmes mixtes a été fixé autour de 4 ovins pour 1 bovin (variation de 3,5 à 4,1 selon les disponibilités en animaux) car un tel ratio avait été montré comme optimal dans certains systèmes mixtes en milieu tempérés (Nolan et Connolly, 1989). Cinq modes de production ont été comparés : agneaux pâturant seuls, agnelles pâturant seules, génisses pâturant seules, génisses et agneaux pâturant simultanément, génisses et agnelles pâturant simultanément. Les performances animales, l'infestation parasitaire par les strongles digestifs et l'évolution des prairies ont été suivies. Toutefois, la prophylaxie anti-parasitaire et la conduite des prairies ont été identiques entre systèmes afin de pouvoir mettre en évidence des différences liées au mode d'exploitation des prairies. L'intérêt de l'étude, outre son originalité par rapport au milieu, a consisté à observer les nombreux facteurs qui influent sur la productivité des systèmes de production. En effet, les travaux rapportés dans la littérature font rarement état de l'ensemble de ces éléments simultanément. Ainsi, en Martinique, une seule étude avait été jusqu'alors menée pour étudier l'association de caprins et de bovins sur parcours dégradé mais les objectifs étaient limités à l'étude de l'évolution de la composition floristique des prairies (Biquand et Biquand-Guyot, 1991). L'objectif n'était donc pas tant de déterminer un ratio optimal d'espèces animales ou de charges animales, mais plutôt d'optimiser des modes intensifs d'exploitation du pangola et de rechercher des éléments permettant de comprendre l'augmentation permise par l'association dans la production animale individuelle et par unité de surface.

1 / Conditions expérimentales

1.1 / Conduite de l'essai et animaux

Les agneaux et agnelles étaient issus de la SECI. Deux troupeaux d'environ 70 brebis chacun, subissant un rythme de 3 agnelages en 2 ans ont été utilisés afin de fournir des agneaux et agnelles pour l'expérimentation tous les quatre mois (janvier, mai et septembre). Les agneaux de race « Martinik » mis en expérimentation étaient âgés d'environ 85 jours à l'issue du sevrage après une période d'adaptation de 2 semaines, et pesaient environ 15 kg. Les chargements étaient de 40-50 têtes/ha pour une durée de séjour de 4 mois. Pour les ovins, l'unité de gestion était donc la bande (3 bandes par an). Le remplacement était effectué au bout de 4 mois d'engraissement, tous les agneaux étant envoyés à l'abattoir en même temps. Les génisses provenaient d'élevages de la région, rentraient dans les pâtures à un poids vif de 200 kg et étaient vendus à un poids vif de 400 kg à un âge fonction de leurs performances. Le chargement était de 7 têtes/ha. Les ratios (en têtes) utilisés pour les systèmes mixtes entre les ovins et les bovins ont varié de 3 à 4,1 : 1 pour les agnelles et les agneaux. La gestion des effectifs était identique selon les systèmes de conduite du pâturage.

Six bandes d'ovins ont été suivies de janvier 1994 à mai 1996. Les génisses ont été renouvelées avec plus de difficulté en raison de problèmes d'écoulement sur le marché. 546 ovins et 48 génisses ont été utilisés sur l'ensemble de l'expérimentation de mai 1994 à mai 1996.

L'expérimentation s'est déroulée sur une surface de 5,5 ha plantée en pangola (*Digitaria decumbens*). Chaque système de gestion du pâturage était constitué d'un ensemble de 5 parcelles, pâturées en rotation (durée de séjour de 7 j, âge repousse de 28 j). Les prairies ont été irriguées de manière à recevoir un minimum de 30 mm d'eau par semaine. La fumure (250 N, 80 P, 160 K kg/ha/an) était étalée le long de l'année en 8 épandages.

1.2 / Mesures effectuées

L'année peut être subdivisée en trois saisons climatiques : une saison sèche à faibles précipitations de janvier à avril, une saison intermédiaire de mai à août, puis une saison dite humide de septembre à décembre, durant laquelle les précipitations sont les plus importantes (Mahieu *et al* 1997). Ces saisons correspondent aux périodes d'engraissement dans le système d'élevage de la SECI. L'analyse de la pluviométrie moyenne journalière confirme les différences dans les précipitations entre périodes d'engraissement mais montre aussi une variabilité inter-annuelle importante. Ainsi, la pluviométrie hebdomadaire moyenne a été de 28 et 44 mm/semaine pour les saisons intermédiaires 1994-1995, 40 et 36 mm/semaine pour les saisons humides 1994-1995 et 16 et 17 mm/semaine pour les saisons sèches 1995-1996.

Les ovins et les bovins ont été pesés toutes les cinq semaines, le lendemain d'un changement de parcelle afin de minimiser les variations de poids vifs liées au remplissage de la panse. Un détiquage des animaux a été effectué systématiquement toutes les deux semaines. Les ovins ont été traités au lévamisole (6 mg/kg PV) trois fois durant leur période d'engraissement : au sevrage, à la 5e et 11e semaines après le sevrage.

La biomasse fourragère a été mesurée sur 2 parcelles sentinelles à l'entrée et à la sortie des animaux, et toutes les semaines durant la période de repousse pour chacun des systèmes suivants : agneaux seuls, agneaux plus génisses, génisses seules. La biomasse fourragère a été mesurée à l'aide d'un herbomètre à plateau automatique (modèle SRVL, INRA St-Gilles), selon la méthodologie de Earle et Mc Gowan (1979), méthode déjà appliquée sur pangola en Guadeloupe (Alexandre *et al* 1989). La composition morphologique de l'échantillon d'herbe récolté lors de l'étalonnage de l'herbomètre à plateau a été ensuite estimée par tri manuel.

La nature et l'intensité du parasitisme interne des ovins ont été évaluées par des coproscopies (OPG), des déterminations de l'hématocrite (PCV), des coprocultures et des bilans parasitaires. Les coproscopies quantitatives (Raynaud 1970) et les PCV ont été réalisés 5 à 6 semaines après chaque traitement, soit 5, 11 et 17 semaines après le sevrage. Les genres des larves infestantes (L3) obtenues après coprocultures ont été déterminés. Enfin, des bilans parasitaires ont été réalisés après abattage à la sortie des animaux de l'expérimentation pour préciser la structure des populations parasitaires affectant les deux espèces. Ils ont porté sur 50 ovins répartis selon le lot d'origine, la saison et la bande d'élevage (20 agnelles et 30 agneaux), sur 5 génisses issues du lot de pâturage mixte et 5 génisses ayant pâturé seules.

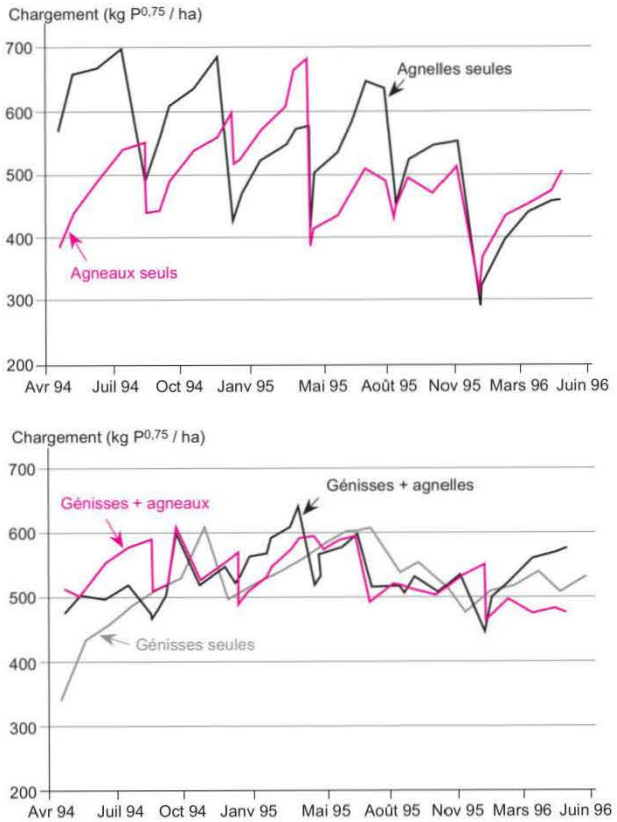
Pâturage mixte ovins-bovins sur prairie irriguée de pangola. Cliché M. Mahieu.

1.3 / Calculs et analyses statistiques

Les chargements ont été calculés en poids vif /ha ainsi qu'en poids métabolique /ha. Pour comparer de manière plus pertinente les effets du chargement entre deux espèces différentes, il a été tenu compte de l'ingestion potentielle de chaque espèce exprimée en g de MS par kg de poids métabolique. Il a été possible de définir des fourchettes (minimum-maximum) d'ingestion probable de 84 et 96 g/kg $P^{0,75}$ et de 80 et 90 g/kg $P^{0,75}$ respectivement pour les bovins et les ovins en tenant compte des besoins et de l'ingestibilité du pangola (Poppi *et al* 1980, Aumont *et al* 1991a, Lallo *et al* 1991). Ce calcul a permis d'exprimer le chargement en kg de MS ingérée par jour et par unité de surface, critère indicateur de pression de pâturage.

Les poids à âge type, les GMQ, les OPG (après transformation logarithmique) et les PCV, ont été analysés selon des modèles incluant les facteurs suivants : sexe, mixité, saison et leurs interactions. Les variables des caractéristiques prairiales (biomasse totale, biomasse en tige, biomasse en feuille, biomasse en débris, biomasse en feuille en % de la biomasse totale, biomasse en tige en % de la biomasse totale, rapport de la biomasse en feuille sur la biomasse en tige), ont été analysées selon un modèle incluant les facteurs : parc, mixité, saison, âge de repousse de l'herbe ainsi que toutes les interactions. Les variables de chargement (exprimé en kg de poids vif par unité de surface, en kg de poids métabolique par unité de surface, en g de MS ingérée par jour et par unité de surface) ont été estimées toutes les semaines. Les valeurs hebdomadaires ont été considérées comme des variables et ont fait l'objet d'une analyse de variance intégrant les facteurs : mixité et sexe et leur interaction. Avant l'intégration du facteur saison dans les modèles, les interactions entre le facteur année et le facteur saison ont été testées dans des modèles préalables non réduits afin de s'assurer de la pertinence d'un effet saisonnier.

Figure 1. *Evolution du chargement des parcelles irriguées de pangola* (Digitaria decumbens) *en Martinique pâturées par des ovins seuls ou par des bovins seuls ou associés à des ovins.*



2 / Principaux résultats et discussion

2.1 / Chargements

Aucune différence significative n'a été enregistrée dans les chargements entre les différents systèmes de conduite quand ceux-ci sont rapportés au poids métabolique à l'hectare. Ils ont été en moyenne de 520, 526, 488, 534, et 536 $P^{0,75}$/ha respectivement pour les génisses seules, les agneaux seuls, les agnelles seules, les agneaux + génisses et les agnelles + génisses, respectivement. Ainsi, les quantités ingérées estimées (ou quantités prélevées) selon les différentes conduites du pâturage ont varié entre 39 et 44 kg MS/ha/j pour l'ingéré estimé minimal, et entre 44 et 50 kg MS/ha/j pour l'ingéré estimé maximal. Les comparaisons de production entre systèmes ont donc été faites sur des bases similaires de chargement et de pression de pâturage, éléments déterminants de la production individuelle au pâturage.

L'association des espèces au pâturage a tamponné les variations très importantes de chargement liées à la gestion des effectifs de chaque lot (figure 1). Le rapport de la charge en poids métabolique des ovins élevés seuls sur celle des ovins associés aux bovins a été de 2,83 pour les mâles et de 3,08 pour les femelles pour les deux années d'étude, rapport proche de ceux déterminés par Nolan et Conolly (1989) comme optimum en termes de gain de production à l'hectare et de production individuelle pour les deux espèces.

2.2 / Performances animales

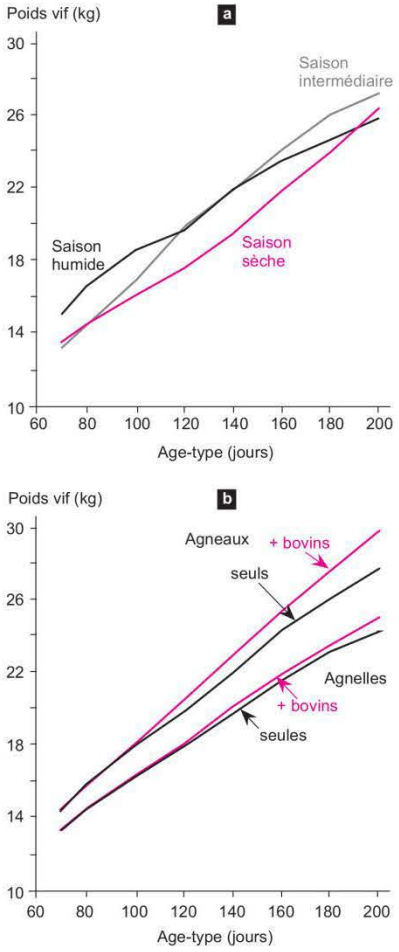
Les performances de croissance des génisses élevées seules enregistrées durant cet essai (498 g/j entre le 11e et 20e mois d'âge) se sont avérées comparables à celles

enregistrées à la SECI entre 1987 et 1991 par Jacquemin *et al* (1992). Le poids au sevrage (poids à âge type 70 j) des agneaux nés en saison intermédiaire et engraissés en saison humide a été très nettement supérieur au poids au sevrage des agneaux nés durant les autres saisons (15,0 *vs* 13,3 kg ; $P < 0,01$), confirmant les résultats obtenus par Mahieu *et al* (1997) sur 12 années d'enregistrement de données. Les références sur la croissance à l'herbe des agneaux de ce génotype sont peu nombreuses. Les croissances observées de 109 g/j pour les mâles et 89 g/j pour les femelles sont supérieures à celles enregistrés par d'autres auteurs (Naves 1984, Mosoni 1989). La croissance durant la saison intermédiaire a été nettement supérieure à la croissance durant les autres saisons et en particulier durant la saison humide (figure 2a). Ces résultats suggèrent que la saison intermédiaire, à pluviométrie limitée et à croissance optimale de la biomasse fourragère (croissance importante de feuilles) est particulièrement favorable à l'alimentation des ovins.

L'association des bovins et des ovins n'a induit aucune mortalité et semble particulièrement réussie en termes de comportement respectif des deux espèces, de maintien des clôtures et de manipulation des animaux. Le GMQ11-20 mois des bovins pâturant avec les ovins a été légèrement supérieur à celui des bovins pâturant seuls (535 *vs* 487 g/j ; $P < 0,07$). L'augmentation de production est d'une forte amplitude (+ 13 % entre 11 et 15 mois) bien qu'à la limite de la signification statistique. Le nombre d'observations disponibles sur les performances des bovins associés aux ovins est encore limité. Cependant, un effet bénéfique de l'association avec les ovins a été mis en évidence. L'association avec des bovins est apparu particulièrement favorable pour la croissance des agneaux (GMQ 70-200 j : 102 *vs* 91 g/j) ; $P < 0,01$; figure 2b). Cet effet a été plus marqué chez les agneaux mâles (115 *vs* 99 g/j ; $P < 0,01$) que chez les femelles (89 *vs* 84 g/j ; $P < 0,01$). Bien que ces résultats doivent être aussi modulés en fonction de la saison, ce gain de croissance est comparable (+ 16 % pour les mâles, + 6 % pour les femelles) à ce qui a été observé par de nombreux auteurs en milieu tempéré. Toutefois, l'interaction de l'association des espèces avec le sexe des ovins semble être particulière à notre milieu.

L'association des espèces au pâturage a permis une augmentation de la production de viande par unité de surface d'environ 290 kg/ha/an soit près de 22 % (tableau 1). Ces résultats sont donc conformes aux observations enregistrées en milieu tempéré dans lequel le gain de croissance des bovins obtenu par association au pâturage avec des ovins est généralement positif, mais aussi parfois controversé, alors que les gains de productivité des troupeaux ovins avoisinnent 15 %. Les observations enregistrées en matière de parasitisme interne des ovins et de caractéris-

Figure 2. *Evolution pondérale d'agneaux « Martinik » pâturant des prairies irriguées de pangola* (Digitaria decumbens) *en Martinique (a) selon la saison ou (b) selon le sexe et l'association avec des bovins. Les valeurs sont des estimées des poids à âge type selon des modèles d'analyse incluant la saison, le sexe, l'année et le facteur mixité.*



L'association des bovins et des ovins au pâturage a conduit à une légère augmentation de la croissance des bovins et, surtout, a eu un effet très favorable sur la croissance des agneaux.

Tableau 1. *Production de viande annuelle enregistrée entre 1994 et 1996 en Martinique pour des systèmes d'exploitation de prairies irriguées de pangola* (Digitaria decumbens) *pâturées par des ovins Martinik en croissance, des génisses Brahman, ou des génisses associées aux ovins.*

	Production mesurée kg/ha/an	Production théorique kg/ha/an	Différence kg/ha/an
Agneaux seuls	1 562	1 562	-
Agnelles seules	1 229	1 229	-
Agneaux + génisses	1 596	1 303	294
Agnelles + génisses	1 478	1 192	287
Génisses seules	1 173	1 173	-

La production théorique est égale à la moyenne des productions des systèmes monospécifiques pondérée par la rapport des charges à l'hectare.

tiques prairiales permettent d'apporter des éléments de réponse quant aux facteurs impliqués dans ce résultat. En outre, elles mettent en évidence d'autres intérêts que la simple augmentation de production dans l'association des ovins et des bovins au pâturage intensif en milieu tropical humide.

2.3 / Parasitisme interne

a / Bovins

Dans les Antilles, chez les bovins Créoles ou zébus, le parasitisme interne reste extrêmement limité après le sevrage. Dans cette étude, l'OPG a été en moyenne de 43 œufs par gramme de fèces (œufs/g). Les coprocultures et les bilans parasitaires effectués ont confirmé la taille réduite des populations vermineuses et ont montré la présence des espèces : *Haemonchus placei*, *Cooperia pectinata* et *C. punctata*, *Trichostrongylus colubriformis*. Ce tableau d'espèces a déjà été décrit en Guadeloupe chez les bovins Créoles (Aumont *et al* 1991b). Le parasitisme chez les bovins a été peu affecté par l'association avec des ovins.

Tableau 2. *Moyennes estimées (géométriques) des nombres d'œufs de strongles (OPG) dans les fèces d'ovins Martinik pâturant des prairies irriguées de pangola* (Digitaria decumbens) *seuls ou associés à des génisses, selon la saison et le sexe. Les prélèvements ont été effectués de 5 à 6 semaines après un traitement au lévamisole, aux 6e, 11e et 17e semaines après le sevrage.*

	6e semaine Oeufs/g	11e semaine Oeufs/g	17e semaine Oeufs/g
Mixité			
Ovins seuls	645 a	96 a	85 a
Ovins avec bovins	65 b	27 b	52 a
Sexe			
Agneaux	450 a	118 a	196 a
Agnelles	93 b	22 b	23 b
Saison			
Sèche	151 a	151 a	232 a
Intermédiaire	454 b	60 a	97 b
Humide	125 c	47 a	125 b
Sexe x mixité			
Agneaux seuls	1 540 a	151 a	232 a
Agneaux avec bovins	130 b	91 ab	167 a
Agnelles seules	267 b	61 b	31 b
Agnelles avec bovins	32 c	8 c	16 b

Dans une colonne, pour un même facteur de variation, les valeurs suivies de lettres différentes diffèrent significativement à $P < 0,01$.

Tableau 3. *Moyennes estimées de l'hématocrite (PCV) chez des ovins Martinik pâturant des prairies irriguées de pangola (*Digitaria decumbens*) seuls ou associés à des génisses, selon la saison et le sexe. Les prélèvements ont été effectués de 5 à 6 semaines après un traitement au lévamisole, aux 6e, 11e et 17e semaines après le sevrage.*

	6e semaine PCV (%)	11e semaine PCV (%)	17e semaine PCV (%)
Mixité			
Ovins seuls	27,3 a	30,2 a	28,7 a
Ovins avec bovins	30,8 b	31,5 b	31,3 b
Sexe			
Agneaux	28,0 a	30,1 a	28,5 a
Agnelles	30,1 b	31,7 b	31,4 b
Saison			
Sèche	27,3 a	30,6 a	31,3 a
Intermédiaire	30,3 b	32,2 b	29,5 b
Humide	29,6 b	29,8 c	29,2 b
Sexe x mixité			
Agneaux seuls	25,5 a	29,2 a	26,9 a
Agneaux avec bovins	30,5 c	31,0 b	30,2 b
Agnelles seules	29,1 b	31,3 b	30,5 b
Agnelles avec bovins	31,2 c	32,0 b	32,3 b

Dans une colonne, pour un même facteur de variation, les valeurs suivies de lettres différentes diffèrent significativement à $P < 0,01$.

b / Ovins

L'interprétation des variables OPG est toujours délicate hors infestation expérimentale. Les procédures standardisées de traitement anthelminthique des ovins et de prélèvement ont permis une interprétation en intensité de la pression parasitaire. De plus, les modèles d'analyse de la variance des OPG ont expliqué une part importante de la variance : 48 % à 5 semaines post-sevrage, 42 % à 11 semaines post-sevrage et 28 % à 17 semaines post-sevrage. Enfin, il faut souligner la grande répétabilité des différences observées entre modalités de gestion du pâturage. En saison humide chez les agneaux mâles en système monospécifique, des phénomènes de « self cure » dont l'importance a déjà été soulignée dans les Antilles (Aumont *et al* 1997) ont induit une fréquence élevée de coproscopie nulle bien que l'hématocrite soit faible. Ces observations confortent néanmoins les résultats généraux.

Les agneaux ont présenté des OPG supérieurs à ceux des agnelles (tableau 2). Cette plus grande sensibilité des ovins mâles par rapport aux femelles a été démontrée en infestation expérimentale sur des génotypes similaires (Yazwinski *et al* 1981). L'association des espèces au pâturage a permis une diminution spectaculaire des OPG à chaque prélèvement (tableau 2). Cet effet a été nettement plus marqué chez les agneaux mâles que chez les femelles. Ces résultats doivent être modulés en fonction de la saison, l'interaction entre les facteurs mixité, saison, et sexe ayant été très significative ($P < 0,0001$). Les coprocultures ont permis de montrer la présence des œufs des genres *Haemonchus* (en très grosse majorité) et *Trichostrongylus* chez les ovins seuls et des mêmes espèces plus *Cooperia* sp. chez les ovins pâturant avec les bovins. Les observations des hématocrites ont confirmé l'importance de la contribution d'*Haemonchus*, parasite hématophage, dans les effets du parasitisme interne : les agneaux associés aux bovins ont présenté à chaque saison des hématocrites supérieurs à ceux des agneaux élevés seuls, en particulier chez les mâles (tableau 3). Chez les ovins, le parasitisme interne est donc apparu comme une pathologie majeure puisque les fréquences de traitement retenues ont été nécessaires pour éviter des mortalités chez les agneaux mâles élevés seuls.

Les observations sur les effets cliniques du parasitisme interne ont été confirmées par des bilans parasitaires. *Haemonchus contortus* a été de très loin l'espèce la plus importante dans cette étude comme de façon plus générale dans l'ensemble des petites Antilles (Aumont *et al* 1997). La présence d'*Haemonchus placei* a été notée chez les ovins associés aux bovins (< 2 %). Le genre *Cooperia* n'a été noté qu'en quantité limitée chez les ovins pâturant avec les bovins. Southcott et Barger (1975) avaient déjà noté une infestation par *Cooperia* pour des associations d'ovins avec des bovins en pâturage alternatif. Ce phénomène, pratiquement exclusivement lié à l'association avec les bovins, est très répétable car assez peu sensible aux variations saisonnières.

L'association avec des bovins a très sensiblement diminué l'intensité de l'infestation parasitaire des ovins par *Haemonchus*. Cet effet a été plus marqué durant la saison intermédiaire (et la saison humide, abstraction faite des phénomènes de self-cure) et chez les mâles. La conjonction des effets d'interactions entre l'association avec des bovins et le sexe et la saison, suggère nettement un rôle du parasitisme dans les gains de croissance obtenus chez les ovins associés avec les bovins.

Les conséquences en termes de parasitisme interne des bovins et/ou des ovins sont fréquemment évoquées dans les études portant sur l'association de ces espèces au pâturage mais en fait très rarement mesurées. Une réduction de l'infestation des veaux et du nombre de larves sur le pâturage, liée au pâturage mixte avec des ovins, a été montrée par Conway *et al* (1972). Toutefois, il semble que le pâturage alternatif ovin/bovin soit plus efficace que le pâturage mixte dans la réduction du parasitisme gastro-intestinal des bovins et des ovins en milieu tempéré (Helle, 1981). Les expérimentations de Barger et Southcott (1975), Southcott et Barger (1975), Reineke et Louw (1991) avaient montré l'intérêt du pâturage alternatif pour limiter l'infestation par *Cooperia* et *Ostertagia* chez les bovins et les ovins. C'est par ailleurs une pratique répandue dans le sud-ouest de l'Ecosse (Gettinby *et al* 1987). En milieu tropical humide il n'existe pas, à notre connaissance, d'information publiée. Plusieurs mécanismes peuvent être évoqués pour expliquer ces résultats. La charge animale est le premier facteur de risque chez les petits ruminants dans les petites Antilles (Aumont *et al* 1991c). L'association, en diminuant la charge spécifique des ovins, peut avoir diminué les contacts entre ovins et larves infestantes d'*Haemonchus contortus*. Les bovins peuvent avoir ingéré des larves infestantes sans en être affectés en raison de leur résistance à leur propre espèce d'*Haemonchus* et à l'espèce hétérologue. En outre des déterminants antigéniques communs entre les deux espèces d'*Haemonchus* peuvent avoir induit une immunisation plus rapide des agneaux sans les effets néfastes d'une infestation répétée.

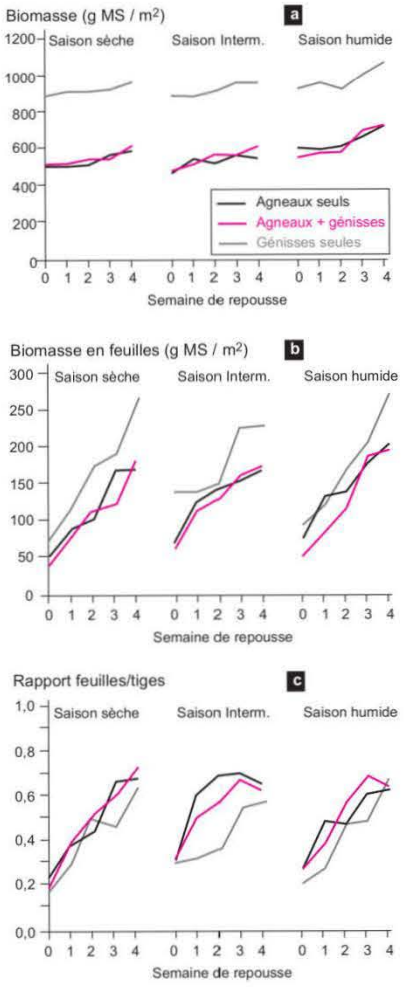
2.4 / Evolution du couvert végétal

Les quantités ingérées quotidiennes théoriques par unité de surface ont peu varié entre systèmes de gestion du pâturage. Toutefois, si l'on se réfère aux besoins et aux capacités d'ingestion, des différences importantes sont apparues entre espèces animales dans la nature des fourrages prélevés. Il manque cependant des mesures expérimentales permettant de prouver cette hypothèse. Les analyses floristiques (fréquence des espèces, biomasse des différentes espèces fourragères) ont montré peu de différences dans la composition floristique des différentes parcelles. Il est donc probable que dans notre cas, l'augmentation des performances animales permise par l'association des espèces animales soit due, pour une part, à une meilleure valorisation de la production fourragère globale par des comportements alimentaires complémentaires.

L'association des 2 espèces a permis une diminution de l'intensité du parasitisme interne des ovins.

La biomasse totale (feuilles et tiges) présente sur les parcelles pâturées par les bovins seuls a été plus importante que sur les autres parcelles à l'entrée et à la sortie des animaux (figure 3a, $P < 0,01$). Cependant, cet effet a été nettement plus marqué pour les tiges que pour les feuilles. La biomasse fourragère à la sortie des animaux a toujours été très élevée : 5,3 t MS/ha pour les agneaux seuls, 5,2 t MS/ha pour les agneaux en association et 9,0 t MS/ha pour les génisses seules. La part des feuilles dans cette biomasse résiduelle n'a pas dépassé 13 % pour l'ensemble des modes de gestion du pâturage. Ce constat d'une biomasse résiduelle importante confirme les observations déjà faites sur des prairies de *Cynodon nlemfluensis* ou de pangola (*Digitaria decumbens*) exploitées intensivement en rotation par des petits ruminants (Boval *et al* 1993, Alexandre *et al* 1997). La quantité de feuilles produites (différence entrée-sortie des animaux) par jour a été plus importante sur les parcelles pâturées par des bovins seuls (53 kg MS/ha/j) que sur les parcelles pâturées par des ovins et des bovins (46 kg MS/ha/j), ou des ovins seuls (40 kg MS/ha/j). La production annuelle, en tenant compte des variations saisonnières et en admettant que la production de biomasse est limitée durant la période de pâturage (28 jours de repousse sur un cycle de 35 jours), a été de 10,0 ; 13,8 et 9,8 t MS/ha/an, respectivement pour les parcelles pâturées par des ovins seuls, des ovins et des bovins, et des bovins seuls. Les résultats obtenus en fauche donnent une estimation de la production annuelle de *Digitaria decumbens* irrigué et fertilisé à 300 N/ha/an de l'ordre de 32 t/ha/an pour 12 coupes annuelles (Salette 1970). Ce résultat paradoxal est lié à la sénescence importante des tiges lors du pâturage, en particulier sur les parcelles pâturées par les bovins. Dans tous les systèmes de gestion du pâturage, mais plus particulièrement pour les bovins seuls, il semble donc que près de la moitié de la biomasse potentielle produite soit perdue pour la production animale par sénescence et accumulation de biomasse résiduelle à faible qualité nutritionnelle. A même charge

Figure 3. *Biomasse (a) totale, (b) en feuilles et (c) rapport de la biomasse en tiges sur la biomasse en feuilles de prairies irriguées de pangola* (Digitaria decumbens) *en Martinique exploitées en rotation (4 semaines de repousses, 1 semaine de présence), selon la saison et la semaine de repousse après le passage des animaux.*



Le pâturage simultané des ovins et des bovins limite la biomasse fourragère résiduelle et améliore les caractéristiques du couvert prairial.

métabolique, la présence d'ovins sur le pâturage permet néanmoins une diminution de la biomasse résiduelle de près de 40 % par rapport à des prairies exploitées par des bovins.

Les quantités de feuilles offertes (biomasse à l'entrée des animaux dans les parcelles) ont été de 111 g MS/kg $P^{0,75}$/j. Ces quantités ont été plus importantes durant la saison humide et pour les bovins pâturant seuls (figure 3b). Dans notre situation, le proposé en feuilles a donc toujours largement dépassé les capacités d'ingestion des animaux. La part des feuilles dans la biomasse offerte a été inférieure chez les bovins seuls comparés aux ovins associés aux bovins et aux ovins seuls ($P < 0,01$; tableau 4) : la biomasse en feuille en % de la biomasse totale a été de 17 %, 20 % et 22 %, respectivement pour les bovins, les bovins associés aux ovins et les ovins seuls (figure 3b). Ces différences ont été particulièrement marquées pour la saison intermédiaire et dans une moindre mesure la saison humide, particulièrement favorable à la pousse de l'herbe (Cruz *et al*, 1989). Ceci s'est traduit par une différence très importante ($P < 0,01$) dans le rapport entre la biomasse des feuilles et la biomasse des tiges : 0,498, 0,510 et 0,649 respectivement pour les bovins, les bovins associés aux ovins, et les ovins seuls, durant la saison intermédiaire (figure 3c).

Ces résultats sont en accord avec ce qui est connu sur la dynamique des morphes du *Digitaria decumbens* soumis à des conditions proches de pâturage et/ou de fertilisation. Durant les premières semaines de repousse, jusqu'à ce que l'indice foliaire atteigne une valeur de 2 à 3, la biomasse nouvelle est essentiellement constituée de feuilles, puis l'accumulation de biomasse est essentiellement due à l'apparition de tiges (Cruz *et al* 1989, Cruz et Huguet 1995). La biomasse importante et la vitesse importante de croissance durant la saison intermédiaire ont contribué à diminuer la croissance relative des feuilles par rapport aux tiges sur les parcelles pâturées par des bovins. Enfin, le comportement alimentaire particulier des ovins induisant une disparition rapide des feuilles a probablement diminué l'indice foliaire au-dessous du seuil à partir duquel la croissance des tiges est privilégiée, ce qui a conduit à une dynamique des feuilles plus importantes sur les parcelles pâturées par des ovins.

L'association d'ovins et de bovins au pâturage dans nos conditions permettrait donc une amélioration de la qualité du disponible fourrager en augmentant la proportion de feuilles dans la biomasse et en favorisant la dynamique des feuilles. Pour des prairies exploitées en continu en milieu tempéré, l'association de bovins avec des ovins provoque une baisse de la production de matière sèche nette par hectare et une diminution de la proportion en tiges (Monteath *et al* 1976 ; Boswell et Crawford, 1978 ; Arosteguy *et al*, 1983). Cependant, dans ces études, il semble que cela soit le pâturage par des bovins qui favorise la qualité du couvert prairial, à l'inverse de ce que nous avons pu constater dans notre situation.

Nos résultats suggèrent donc l'existence de deux phénomènes opposés dans l'association d'ovins et de bovins au pâturage sur prairies tropicales exploitées intensivement. D'une part, le pâturage par des bovins favorise l'accumulation et la production de biomasse et, d'autre part, le pâturage par des ovins augmente la production de feuilles par unité de biomasse de tiges produite.

L'association au pâturage des deux espèces permet une combinaison de ces deux phénomènes aboutissant à une production impor-

Tableau 4. *Moyennes estimées de la biomasse totale, en feuilles, en tiges, et rapport feuilles/tiges des prairies irriguées de pangola* (Digitaria decumbens) *en Martinique pâturées par des ovins seuls ou en association avec des bovins, selon la mixité, la semaine de repousse et la saison.*

Biomasse	totale g MS/m²	en feuilles g MS/m²	en tiges g MS/m²	en feuilles %	en tiges %	Feuilles/ tiges
Mixité						
Ovins seuls	668[a]	129[a]	294[a]	19[a]	44[a]	0,52[a]
Ovins + Bovins	666[a]	145[b]	299[a]	22[b]	44[a]	0,50[a]
Bovins seuls	747[b]	147[b]	322[b]	20[c]	42[b]	0,41[b]
Semaine de repousse						
0	647[a]	74[a]	308[a]	11[a]	46[a]	0,25[a]
1	669[a]	111[b]	299[a]	7[b]	44[a]	0,40[b]
2	677[a]	137[c]	286[a]	20[c]	42[a]	0,50[c]
3	720[b]	177[d]	310[a]	25[d]	42[a]	0,60[d]
4	755[b]	204[e]	322[a]	27[d]	43[a]	0,64[d]
Saison						
Sèche	678[a]	129[a]	294[a]	19[a]	44[a]	0,45[a]
Intermédiaire	666[a]	145[b]	299[a]	22[b]	44[a]	0,51[a]
Humide	747[b]	147[b]	322[a]	19[a]	42[a]	0,47[a]

Dans une colonne, pour un même facteur de variation, les valeurs suivies de lettres différentes diffèrent significativement à $P < 0,01$.

tante de biomasse à forte proportion de feuilles, qui pourrait être à l'origine de l'augmentation des performances et de la production animales à l'hectare observées dans l'association des espèces animales au pâturage.

Conclusions

Cette expérience constitue à notre connaissance la première tentative d'estimation de l'intérêt de l'association de bovins et d'ovins au pâturage dans un système très intensif en milieu tropical humide. Malgré l'ampleur du dispositif que le plan expérimental a impliqué, il convient de souligner l'absence de réplication des systèmes de conduite des pâturages. En effet, les différences observées entre systèmes de gestion du pâturage pourraient être aussi le fait de différences de parcelles (profondeur des sols, drainage, réactions de la flore au pâturage). Les plans parcellaires ont été établis au mieux de la topographie du domaine mais ils ne peuvent totalement éliminer ce biais expérimental. La réponse en terme de plan expérimental impliquerait un doublement de chacun des systèmes ce qui est incompatible avec l'exiguïté des surfaces disponibles à la SECI. La saison est apparue comme une source de variation très significative des performances animales et des incidences parasitaires. C'est pourquoi le choix a été fait de répéter l'expérimentation durant deux années afin de valider les effets saisonniers plutôt que d'engager des modifications importantes du dispositif expérimental pour éliminer un effet parcelle.

L'association des ovins et des bovins sur pâturage de pangola conduit de façon intensive apparaît intéressante :

- elle permet une augmentation de la production animale à l'hectare et une amélioration des performances individuelles des ovins et dans une moindre mesure des bovins sans intrant supplémentaire ;
- elle diminue l'intensité de l'infestation des ovins par les strongles, permettant d'envisager une diminution de la fréquence des traitements anthelminthiques et donc de la vitesse d'apparition de souches résistantes, ainsi qu'une baisse des coûts de production ;
- elle permet une meilleure valorisation de la production fourragère globale de l'exploitation, en jouant sur les différences de comportement alimentaire entre les deux espèces, et en permettant de mieux amortir les variations de chargement liées à la gestion des effectifs de chaque espèce ;
- elle améliore la qualité du disponible fourrager en modifiant les dynamiques des différents morphes de la plante fourragère en diminuant la biomasse résiduelle ;
- elle permet une protection relative des ovins contre les prédateurs, qui peuvent être mis en fuite par les bovins ;
- elle apporte plus de souplesse dans la gestion de l'exploitation, le rapport ovins/bovins pouvant évoluer en fonction du marché, sans modification du parcellaire.

Il n'est pas possible pour l'instant d'estimer le poids relatif du parasitisme interne et de la dynamique du couvert prairial dans l'augmentation des performances individuelles chez les ovins associés aux bovins. Il est néanmoins probable, au regard de nos observations, que le premier facteur d'amélioration de la production soit lié à une moindre intensité de l'infestation par les strongles digestifs. La preuve expérimentale irréfutable serait la possibilité de maintenir dans chacun des systèmes (mixte ou mono-spécifique) des ovins sans infestation parasitaire. Les résistances d'*Haemonchus* aux anthelminthiques, présentes à la SECI y compris pour l'ivermectine, et l'absence de solution médicamenteuse (molécule nouvelle, forme et voie d'application) dont l'efficacité aurait été clairement

démontrée, ne permet pas d'envisager dans l'immédiat de tels essais.

L'association des ovins avec les bovins au pâturage permet de limiter la biomasse fourragère résiduelle et d'améliorer les caractéristiques du couvert prairial. Toutefois, les observations sur les dynamiques de repousse des différents morphes montrent clairement que les pertes d'azote liées à une accumulation de biomasse inutilisée et à une sénescence importante constituent encore un problème majeur de ces systèmes pâturés tropicaux intensifs. La maîtrise de la fertilisation azotée constitue donc encore une possibilité d'optimisation de ces systèmes pâturés tropicaux qui sont fragiles et coûteux en intrants. C'est une des voies de recherches explorées actuellement par l'Unité de Recherches Zootechniques de l'INRA Antilles-Guyane.

Références bibliographiques

Alexandre G., Xandé A., Despois P., Fleury J., Renard D., 1989. Association graminée-légumineuses pour la production de viande de chevreaux créoles : Likoni A15 (*Panicum maximum*) - Stylosanthes (*Stylosanthes guyanensis*) à l'auge et pangola (*Digitaria decumbens*) - Siratro (*Macroptilium artropurpureum*) au pâturage. In : Xandé A. et Alexandre G. (eds), Pâturage et alimentation des ruminants en zone tropicale humide, 411-424. INRA Publications, Versailles.

Alexandre G., Aumont G., Fleury J., Coppry O., Mulciba P., Nepos A., 1997. Production semi-intensive au pâturage de caprins à viande en zone tropicale humide. Le cas des cabris Créoles sur pangola (*Digitaria decumbens*) en Guadeloupe. INRA Prod. Anim., 10, 43-53.

Arosteguy J.C., Hodgson J. W.G., Barthram G.T., 1983. Herbage growth and utilisation on swards grazed by cattle and sheep. In : Corrall A.J. (ed), Efficient grassland farming. Proceedings of the 9th European Grassland federation published as accap. Symposium, nº 14.

Aumont G., Caudron I., Xandé A., 1991a. Tables des valeurs alimentaires des fourrages de la zone Caraïbe et de la Réunion. INRA-SRZ ed., Guadeloupe (F.W.I.), 129 p.

Aumont G., Gauthier R.D., Coulaud G., Gruner L., 1991b. Gastro-intestinal parasitism of cattle in native pasture grazing system in Guadeloupe (W.F.I.). Vet. Parasitol., 40, 29-46.

Aumont G., Gruner L., Berbigier P., 1991c. Dynamique des populations de larves infestantes de strongles gastro-intestinaux des petits ruminants en milieu tropical humide. Conséquences sur la gestion des pâturages. Rev. Elev. Méd. Vét. Pays Trop. (nº spécial), 123-131.

Aumont G., Pouillot R., Simon R., Hostache G., Varo H., Barré N., 1996. Parasitisme digestif des petits ruminants dans les Antilles françaises. INRA Prod. Anim., 10, 79-89.

Bairden K., Armour J., Duncan J.L., 1995. A 4-years on the effectiveness of alternate grazing of cattle and sheep in the control of bovine parasitic gastro-enteritis. Vet. Parasitol., 60, 119-132.

Barger I.A., Southcott W.H., 1975. Control of nematode parasites by grazing management. 1 - Decontamination of cattle pastures by grazing with sheep. Int. J. Parasitol., 5, 39-44.

Bennet D., Morley F.H.W., Clark K.W., Dudzinski L., 1970. The effect of grazing cattle and sheep together. Aust. J. Exp. Agric. Anim. Husb., 10, 694-709.

Biquand S., Biquand-Guyot V., 1991. Etude du pâturage mixte caprins-bovins en Martinique. Rev. Elev. Méd. Vét. Pays Trop. (n° spécial), 23-25.

Boswell C.C., Crawford A.J.M., 1978. Changes in the perennial ryegrass component of grazed pastures. Proc. NZ Grassland Assoc., 40, 125-135.

Boval M., Alexandre G., Mahieu M., Cruz P., Meuret M., 1993. Comparative use of *Digitaria decumbens* and *Cynodon nlemfuensis* by local suckling ewes in Martinique. Proc. XVII Intl Grassland Congress, 874-875.

Brelin B., 1979. Mixed grazing with sheep and cattle compared with single grazing. Swedish J. Agric. Res., 9, 113-120.

Champanhet F., Rey C., 1995. L'élevage bovin à la Martinique. 4. Typologie des systèmes d'exploitation. Note technique nº 28. CEMAGREF Martinique, 8 p.

Conway A., McLoughlin A., Murphy W.E., 1972. Development of sheep and cattle farm. An. Mgmt Series, 2. An foras taluntais, Dublin.

Cruz P., Hughet J.M., 1995. Requerimientos de nitrogeno y carbono para el rebrote de una pradera de pangola defoliada frecuentemente. Memorias XIV Reunion ALPA - 19º Congresso AAPA, Mar del Plata.

Cruz P., Alexandre G., Baudot H., 1989. Cinétique de la croissance foliaire et stolonifère d'un peuplement de *Digitaria decumbens* au cours de la repousse. XVI Congrès International des Herbages, Nice.

Dickson I.A., Frame J., Anot D.P., 1981. Mixed grazing of cattle and sheep versus cattle only in an intensive grassland system. Anim. Prod., 33, 265-272.

Earle D.F., McGowan A.A., 1979. Evaluation and calibration of an automated rising plate meter for estimating dry matter yield of psture. Aust. J. Exp. Agric. Anim. Husb., 19, 337-343.

Furstenburg D., Cœtsee H., Swart D., 1995. Management of domesticated bœr goat (*Capra hircus*) and free ranging kudu (*Tragelaphus strepsiceros*) in a production system. Ann. Zootech., 44 (suppl), 341.

Gettinby G., Armour J., Bairden K., Plenderleith R.W.J., 1987. A survey by questionnaire of parasitic worm control in cattle and sheep at the Glasgow University Lanark practice. Vet. Rec., 121, 487-490.

Guerin H., Richard D., Friot D., MBaye N., Sall C., 1989. Composition botanique du régime alimentaire des bovins, ovins et caprins exploitant des parcours naturels et agropastoraux du Sénégal. XVI International Grassland Congress, Nice, France, 081-1082.

Hamilton D., 1975. Production and gross margins from sheep and cattle grazed separately and together. Aust. J. Exp. Agric. Anim. Husb., 15, 38-44.

Hamilton D., Bath J.G., 1970. Performance of sheep and cattle grazed separately and together. Aust. J. Exp. Agric. Anim. Husb., 10, 19-26.

Helle O., 1981. In : P. Nansen, R.J. Jorgensen, E.J.L. Soulsby (eds), Epidemiology and control of nematodiasis in Cattle, 249-258. Martinus Nijoff, CEC Publications, Utrecht.

Jacquemin L., Champanhet F., Mahieu M., 1992. L'engraissement des génisses sur pâturage irrigué. Atelier de Mondésir (Ste-Anne). Note de synthèse n° 6 CEMAGREF - Station d'Essais en Cultures Irriguées - Martinique, 16 p.

Lallo C.H.O., Garcia G.W., Neckes F.A., 1991. Use of non-conventional feed resources for fattening hair sheep lambs. Proc. Symposium Ste Croix, U.S. Virgin Islands, June 28-29, 203-221.

Lechner-Doll M., Hume I.D., Hofmann R.R., 1995. Comparison of herbivore forage selection and digestion. In : M. Journet *et al* (eds), Recent developments in the nutrition of herbivores, Proceedings of the Ivth International Symposium on the Nutrition of Herbivores Clermond-Ferrand, France, 11-15. INRA Editions, Paris.

Mahieu M., 1996. Irrigation des pâturages et intensification de l'élevage des ruminants en Martinique. Rapport Ingéniorat. D.P.E., ENSA Toulouse.

Mahieu M., Aumont G., Alexandre G., 1997. Elevage intensif des ovins tropicaux à la Martinique. INRA Prod. Anim., 10, 21-32.

Monteaht M.A., Johnstone P.D., Boswell C.C., 1976. Effects of animals on pasture production. I. Pasture productivity from beef cattle and sheep farmlets. N.Z. J. Agric. Res., 20, 23-30.

Mosoni L., 1989. Comparaison de deux types de fourrages, *Digitaria decumbens* et *Cynodon nlemfluensis*. Rapport d'activités de la SECI, Martinique, 43 p.

Naves M., 1984. Elevage ovin. Rapport d'activités de la SECI, Martinique, 35 p.

Nolan T., Connolly J., 1972. Fat lamb production in the west of Ireland. 2. Effects of three stocking rates on lamb growth rate on production of lamb carcass meat and wool per hectare. Ir. J. Agric. Res., 11, 47-62.

Nolan T., Connolly J., 1976. Comparison of five ratios of cattle and sheep. Ir. J. Agric. Res. 15, 137-140.

Nolan T., Connolly J., 1977. Mixed stocking by sheep and steers - a review. Herbage abstracts, 47, 367-374.

Nolan T., Connolly J., 1989. Mixed *vs* Mono-grazing by steers and sheep. Anim. Prod., 48, 519-533.

Raynaud J.P., 1970. Etude de l'efficacité d'une technique de coproscopie quantitative pour le diagnostic de routine et le contrôle des infestations parasitaires des bovins, des ovins, équins et porcins. Anim. Parasit. Hum. Comp., 45, 321-342.

Reineke R.K., Louw J.P., 1991. Desinfection of irrigated sheep pastures by alternating grazing with cattle. J.S.Afr.vet. Ass., 62, 156-157.

Reynolds P.J., Bond J., Carson G.E., Jackson C., Hart R.H., Lindahl I.L., 1971. Co-grazing of sheep and cattle on an orchad grass sward. Agron. J., 63, 533-536.

Salette J.E., 1970. Nitrogen use and intensive management of grasses in the wet tropics. Proc. XI International Grassland Congress, 404-407.

Sall C., Thiam M.M., Diene M., Nolan T., Connolly J., 1991. Comportement alimentaire et pondéral de bovins, ovins, caprins exploitant un même parcours : effet de la composition floristique du pâturage et de la charge. 7es Journées des Recherches sur l'Alimentation et la Nutrition des Herbivores, 25-26 mars 1992, Paris-Grignon.

Southcott W.H., Barger I.A., 1975. Contrôle of nematode parasites by grazing management. 2 - Decontamination of sheep and cattle pastures by varying periods of grazing with alternate host. Int. J. Parasitol., 5, 45-48.

Squires V.R., 1982. Dietary overlap between sheep, cattle and goats when grazing in common. J. Range Manage., 35, 116-119.

Van Keuren R.W., 1970. Symposium on pasture methods for maximum production in beef cattle : pasture methods for maximizing beef cattle production in Ohio. J. Anim. Sci., 30, 138-142.

Yazwinski T.A., Goode D.J., Morgan G.W., Linerud A.C., 1981. *Haemonchus contortus* resistance in staightbred and crossbred Barbados Blackbelly sheep. J. Anim. Sci., 51, 279-284.

Zeeman P.J.L., Marais P.G., Cœtsee M.J., 1983. Nutrient selection by cattle, goat and sheep on natural Karoo pasture. 1. Digestibility of organic matter. S. Afr. J. Anim. Sci., 13, 236-239.

Abstract

Mixed grazing sheep/cattle on irrigated pastures in Martinique (FWI).

The mixed grazing of sheep with cattle in Pangola irrigated pastures was studied in Martinique (FWI) over a two year period by measuring the animal and surface performances recorded for five production systems in pasture: "Martinik" hair ram or ewe lambs, Brahman heifers alone, ram or ewe lambs mixed with heifers. No difference was recorded between systems in stocking rates expressed as kg of metabolic body weight (MBW) per hectare ranging between 488 and 536 kg MBW/ha. Mixed grazing increased the body weight gain for ram lambs (13 %) and to a lesser extent, ewe lambs. Mixed grazing increased heifer growth rate by 10 % but the differences were not significant. This increase in production was linked to a lower infection rate of the sheep by *Haemonchus contortus*, particularly for the ram lambs, to a decrease in herbage mass and to an improvement in the sward structure (leaf to stem ratio). The analysis of herbage production showed that mixed grazing of sheep and cattle limited nitrogen losses by decreasing the residual herbage mass. However, control of nitrogen fertilization remains the major constraint limiting the improvement of intensive grazing systems in the humid tropics.

MAHIEU M., AUMONT G., MICHAUX Y., ALEXANDRE G., ARCHIMÈDE H., BOVAL M., THÉRIEZ M., 1997. L'association d'ovins et de bovins sur prairies irriguées en Martinique. INRA Prod. Anim., 10 (1), 55-65.

Retour p. 37

Annexe 6 : Mahieu, M. (2013). Effects of stocking rates on gastrointestinal nematode infection levels in a goat/cattle rotational stocking system. Vet. Parasitol. 198: 136-144

Retour p. 38

Veterinary Parasitology 198 (2013) 136–144

Contents lists available at ScienceDirect

Veterinary Parasitology

journal homepage: www.elsevier.com/locate/vetpar

Effects of stocking rates on gastrointestinal nematode infection levels in a goat/cattle rotational stocking system

Maurice Mahieu *

INRA, UR143 Recherches Zootechniques, Domaine Duclos, F-97170 Petit Bourg, Guadeloupe

ARTICLE INFO

Article history:
Received 8 April 2013
Received in revised form 28 August 2013
Accepted 30 August 2013

Keywords:
Gastrointestinal nematodes
Integrated control of parasites
Goat
Cattle
Mixed grazing
Stocking rate

ABSTRACT

Gastrointestinal nematodes (GIN) are increasingly resistant to anthelmintic drugs worldwide, so integrated control methods are more and more needed for the sustainability of small ruminant farming. Such methods rely on knowledge in epidemiology, physiology, and genetics. Ecological studies have highlighted the effect of host density on parasite populations, and in the humid tropics, rotational grazing systems were designed according to the survival of GIN free-living stages. This study aimed to assess the effects of mixed stocking and host stocking rate on host GIN infection level.

Four groups of 15–17 Creole male kids were raised on irrigated pasture from weaning (about 3 months) until the age of 7 months, at four partial stocking rates (pSR): 100% (control), 75% (G75), 50% (G50), and 25% (G25) of the total stocking rate of the pasture. The last three groups were associated with weaned Creole heifers to obtain the same overall stocking rate as the control. Animals grazed in a 'leader' goat and 'follower' cattle design: the G25, G50, and G75 paddocks were split into six plots; each plot was grazed by goats for 1 week and by heifers the following week. The pasture then rested for 4 weeks before the animals were returned for a new grazing sequence. Five control plots were grazed rotationally for 1 week, and rested for 4 weeks. This design was repeated three times a year for a total of 10 repetitions. Average faecal egg counts (FEC) decreased according to a power function of the pSR: $FEC = 1829\ pSR^{3.7}$. The observed death rate decreased significantly with the pSR (27.6%, 16.4%, 11.9%, and 12.2%). The kids grew faster in G25 (51 g d^{-1}) than in G50 (43 g d^{-1}) and G75 or control (32 g d^{-1}, $p < 0.05$). Heifers were not significantly infected with GIN and grew normally (about 0.48 kg d^{-1}).

Reducing the pSR by associating a non-host species in a rotational stocking system may be a very promising component of integrated GIN control, at least for the humid tropics.

© 2013 Elsevier B.V. All rights reserved.

1. Introduction

Since the 1950s, at least in Western countries, the development of the small ruminant industry has relied on specialisation at both the farm level and animal group level, in an attempt to transfer the methods of industrial production. Each species, and within each species each physiological stage, is reared apart, and groups of animals are further split into homogenous subgroups for nutrient or sanitation needs. These methods are pushed to the extreme in indoor poultry, pig, and dairy farming, and to a lesser extent in intensive grazing systems. The increase in productivity at pasture is at least partly obtained through an increase in forage availability (fertilisation, sometimes irrigation, rotational grazing, hay, or silage utilisation, and the use of industrial feedstuffs) and the corresponding increase in stocking rate. Unfortunately, and especially in small ruminant farming in the humid

* Tel.: +590 590 25 54 26; fax: +590 590 25 59 36.
E-mail address: Maurice.Mahieu@antilles.inra.fr

0304-4017/$ – see front matter © 2013 Elsevier B.V. All rights reserved.
http://dx.doi.org/10.1016/j.vetpar.2013.08.029

tropics, this increase in forage biomass may provide low ultraviolet radiation and a high-moisture environment, resulting in a higher development rate and survival of the gastrointestinal nematode parasite (GIN) free-living stages (Aumont and Gruner, 1989; van Dijk et al., 2009), which could then lead to a large increase in GIN infection. During the second half of the 20th century, cheap anthelmintic compounds allowed easy control of most GINs at the farm level, using 'preventive' or 'suppressive' treatment policies. However, by the end of this period, it became evident that many parasite populations had adapted and become resistant to these drugs (Cezar et al., 2010; Kaplan, 2004; Sutherland et al., 2008; Van Wyk, 2006). In some countries, small ruminant production is now only possible if integrated methods of GIN control are implemented (Van Wyk et al., 1997). One of the first of these methods, implemented for the humid tropics, relies on the design of rotational stocking systems based on knowledge of the infective larval development and survival dynamics (Aumont and Gruner, 1989; Aumont et al., 1991; Barger et al., 1994). The practical rotational stocking design is, thus, a compromise between parasite infection risk and forage production and quality (Archimède et al., 2000; Cruz and Boval, 2000). Grazing by different species, either at the same time (mixed stocking) or alternately, has also been reported as a possible way of reducing GIN infection in small ruminants (Jordan et al., 1988; Mahieu et al., 1997; Marley et al., 2006). Some authors (Achi et al., 2003; Amarante et al., 1997; Borgsteede, 1981; Giudici et al., 1999; Jacquiet et al., 1998; Riggs, 2001) reported limited cross infection between hosts for some GIN species (*Haemonchus contortus*, *Cooperia* spp.) but, generally, positive effects on animal production are reported. In given pasture conditions, the density of infective larvae is dependent on the host stocking rate (Aumont et al., 1991). The dilution of infective larvae (Etter et al., 2000) has been hailed as a way to ensure lower infection levels in mixed grazing systems.

Several studies have already addressed the positive effects of mixed grazing on individual performance (Abaye et al., 1994), and on the overall production of the pasture (Bennett et al., 1970; Dickson et al., 1981; Fraser et al., 2007; Hamilton and Bath, 1970; Mahieu et al., 1997; Nolan and Connolly, 1977, 1989). Most published works have dealt with the association between cattle and sheep, and very few have included goats (Celaya et al., 2008, 2007a,b; Squires, 1982) or other domestic or wild species. Some studies have highlighted a decrease in the competition for pasture resources, linked to a dietary overlap below 100% between associated herbivore species (Celaya et al., 2007b; Squires, 1982), and others have reported a decrease in gastrointestinal parasite infection (Mahieu et al., 1997; Marley et al., 2006; Owen, 1998)

To date, very few if any published studies addressing the effect of species ratio (expressed as the proportion of each species in the overall stocking rate of the pasture) on parasite infection are available. Here, we investigated the effect of goat stocking rate ratio on goat GIN infection in a goat 'leader' and cattle 'follower' grazing design in a humid tropical environment.

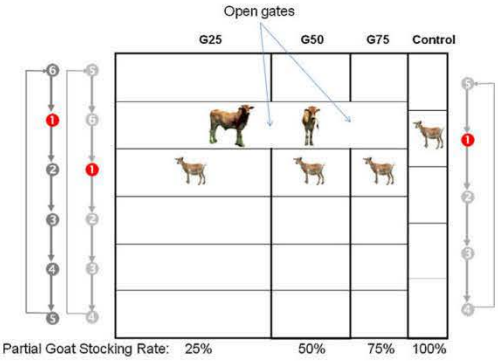


Fig. 1. 'Leader–follower' rotational grazing design. G25, G50 and G75: goat groups associated with cattle and stocked at approximately 25%, 50% and 75% of the Control stocking rate, respectively. Each group grazed a given plot for 7 days. The middle grey arrows on the left (G25, G50, and G75 groups) and right (control) indicate the goat grazing direction. The dark grey arrows on the left indicate the cattle grazing direction. The '(❶)' figure show the position of animals for the current week; the '(❷)' to '(❻)' figures show the position of animals for the subsequent weeks. Each animal group returns to the same plot after 6 weeks (G25, G50, G75, and cattle) or 5 weeks (control).

2. Materials and methods

The experiment was conducted in farm-like conditions in Guadeloupe (16°20 N, 61°20 W), at the INRA-Gardel experimental farm. The climate was oceanic-tropical: the mean monthly maximum temperature was in the range 29–31 °C, mean minimum 22–25 °C, annual rainfall 1500–2000 mm, with a dry season between January and July, and pastures were irrigated during the dry season if needed. The Creole goat of Guadeloupe is a local breed related to the West African Dwarf goat (Pepin et al., 1995), and is reared at pasture all year round, together with Creole cattle, related to West African zebu and Spanish cattle (Magee et al., 2002; Miretti et al., 2004).

Four groups of 15–17 male Creole kids were raised on irrigated pasture from weaning (about 3 months) until the age of 7 months, at four partial stocking rates (pSR): 100% (control), 75% (G75), 50% (G50), and 25% (G25) of the total stocking rate of the pasture. The goat groups were balanced according to their initial live weight and genetic index of resistance to GIN (Mandonnet et al., 2001). In order to achieve the goat pSR, the pasture area allocated for each goat group was 0.19, 0.25, 0.38, and 0.76 ha, each one split into five, six, six, and six plots grazed rotationally, respectively. The G75, G50, and G25 goat groups grazed a given set of plots for 1 week then moved to the next. The fences were then opened and 5–8 weaned Creole heifers weighing 150–300 kg live weight (kg LW) were allowed to freely graze for 1 week the remaining herbage of the three plots previously grazed by the G75, G50, and G25 groups, so we could assume that the G75, G50, and G25 overall stocking rates were automatically the same (see Fig. 1). The control group grazed rotationally its five plots, for 1 week each. Each plot rested for 4 weeks before the animals were

returned for a grazing sequence, so the grass quality was the same for all four groups.

Goats were replaced every 4 months without dead time (on early February, July, and November), to avoid any disruption in the GIN epidemiology or in the rotational grazing design. The heifers were mainly replaced once a year, in early February. The overall stocking rate was adjusted by removing heifers and/or replacing them with lighter ones, in order to obtain the same stocking rate as the control (about 450 kg $LW^{0.75}$ ha^{-1}).

The pastures were based on *Digitaria decumbens*. About 0.5 kg ha^{-1} day^{-1} nitrogen fertiliser was supplied during the experiment, and irrigation was carried out during the dry season to provide continuous grass production. The herbage biomass was, on average, 3900 kg dry matter (DM) ha^{-1} (range 3200–4500) at the entrance of the animals in a given plot and 2800 kg DM ha^{-1} (range 2200–3300) when they leave it, so no feed supplement was needed during the whole experiment, and no difference in herbage availability was found between treatments ($P = 0.167$). Water and mineral licks were supplied *ad libitum*.

Ideally, we would have several simultaneous replicates of this elementary design, but it was not possible due to animal, land, and manpower limitations. Therefore, we used a 'time for space' approach: the design was repeated 10 times (three times a year, from May 2007 to May 2010) on the same plots, allowing us to produce a long-term impact on the GIN infection level and to take into account the environmental variations. The actual stocking rate (expressed as head ha^{-1} or as kg LW ha^{-1}) varied slightly from one repetition to another, according to kid and heifer availability and weight. In all, 757 kids and 31 heifers were used in the study.

The pasture had previously been grazed by goats, and so was naturally infected with goat parasites at the beginning of the experiment. The kids were dewormed with moxidectin (Cydectin 0.1%, PFIZER Olot S.L.U. Ctra. Camprodon s/n "La Riba" 17813 Vall de Bianya, Gerona, Spain), dosed at 0.2 mg kg^{-1} LW (Praslicka, 1995) at weaning and at about 5 months, i.e., 6 and 7 weeks before infection level determination. The goat GIN infection was monitored by two faecal egg counts (FECs) made at a 1-week intervals when the kids were 7 months old, and the mean of these two FECs was kept for further analyses. Each faecal sample was collected in the rectum and analysed by a modified McMaster method, providing a detection level of about 30 eggs per gram (epg). In such conditions, the FEC is correlated to the worm mass and gives a good estimate of the GIN burden (Coadwell and Ward, 1982).

Group faecal cultures were performed on several occasions (June and August 2007, January 2008, and May 2009) and the infective larvae from goats were recovered (Baerman apparatus), identified at the genus level, and counted.

Moxidectin efficiency was assessed in May 2009 using a faecal egg count reduction test (FECRT) coupled with the routine FEC, used as pre-treatment control, and an additional FEC performed 10 days after treatment. Moxidectin was found to be fully efficient (FECR = 100%). The cattle FECs were checked twice in February 2008 on the six heifers present since the beginning of the experiment and in April 2008 on the six replacement heifers.

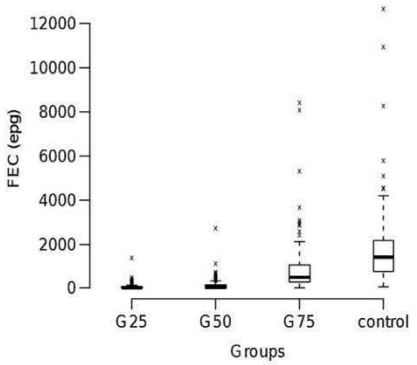


Fig. 2. Boxplot of the faecal egg count (FEC) raw data distribution according to the experimental groups. G25, G50 and G75: goat groups associated with cattle and stocked at approximately 25%, 50% and 75% of the control stocking rate, respectively. Epg: eggs per gram.

Natural death events were recorded, and animals needing salvage medication were removed and accounted for as dead. The kids were weighed fortnightly with an electronic scale. The heifers were weighed monthly.

All animals were kept after the experiment for breeding (cattle) or for further experiments (goats). Animal care and management complied with the European Union rules.

2.1. Calculations and statistical analyses

The effects of the experimental design on the FEC was first analysed with a one-factor model with four modalities. The FEC data distribution was over-dispersed with many zero counts (see Fig. 2). They were, therefore, first handled using Hurdle regression models (Jackman, 2011; Zeileis et al., 2008), which allow the analysis of both the zero counts and the FEC of the infected animals. Although the prevalence strictly referred to the percentage of host infected with a given parasite species (Bush et al., 1997), we employed this term instead of the complete sentence "proportion of animals with a zero GIN egg count at the time of the FEC measurement". The prevalence risk ratios were compared according to the stocking rate group (Aragon, 2011).

The goat stocking rate was expressed as live weight per hectare (LW ha^{-1}) or, for reading convenience, as the relative stocking rate (control set to 1 for each replication). These two forms of the stocking rate variable are continuous, the latter with theoretical values between 0 (cattle only) and 1 (goat only = control). The actual stocking rate may have varied slightly from one repetition to the other. Accordingly, the FEC–stocking rate relationship was further explored using a generalised linear model (Wilson and Grenfell, 1997), taking into account the FEC data distribution, in order to obtain a general relationship between stocking rate and infection level. Three models were tested; the FEC was fitted to:

Table 1
Average prevalence risk ratio, kid death rate and risk ratio, and growth rate. 'Prevalence' must be understood as "the percentage of goats with zero faecal egg count (FEC) at the time of the measurement".

Group	G25[a]	G50[a]	G75[a]	Control[a]
Prevalence risk ratio (%) [confidence interval]	49.0[a] [41.3; 56.8]	59.1[a] [51.6; 66.7]	98.7[b] [96.7; 100]	100[b]
Observed death rate (%)	12.2	11.9	16.4	27.6
Death risk ratio (%) [confidence interval]	44.0[a] [26.5; 67.5]	43.1[a] [25.5; 65.2]	59.4[b] [38.7; 87.0]	100[c]
Growth rate ($g\,d^{-1}$) [±se][b]	51[a] [±0.9]	43[b] [±0.9]	32[c] [±0.9]	32[c] [±0.9]

Within rows, data with different superscript letters differ significantly ($p < 0.05$).
[a] G25, G50 and G75: goat groups associated with cattle and stocked at approximately 25%, 50% and 75% of the control stocking rate, respectively.
[b] Se: standard error.

(i) an exponential function of the actual stocking rate,
Model [1]: Average FEC = exp ($a + b$ SR);
(ii) an exponential function of a polynomial combination of the actual stocking rate and its square,
Model [2]: Average FEC = exp ($a + b$ SR + c SR^2)
(iii) and a power function of the actual stocking rate,
Model [3]: Average FEC = a SR^b.

The three models were corrected for the repetition effect, and the best model was then refined using the repetition as random effect (Broström and Holmberg, 2011). The three models were run on the G25, G50, and G75 data sets only, to avoid any confusing effect of the delay between two grazing periods (4 weeks for the control *vs.* 5 weeks for the G25, G50, and G75 groups) and its impact on infection risk.

The infective larval (L3) density during the grazing period was calculated from the GIN egg faecal output instead of measured on pasture because: (i) cattle and goat GIN free-living stages were not distinguishable at the species level and may differ in development and survival patterns (Aumont et al., 1989; Aumont and Gruner, 1989); (ii) the expected values would be below the detection threshold of the available methods (Aumont et al., 1996) at least in G50 and G25 paddocks; and (iii) with the over-dispersed distribution of the FEC leading to a similar over-dispersion of the L3, the sampling would be very time-consuming for accurate estimations. No tracer animal was used because the large number of naive kids needed for an accurate estimation of the over-dispersed larval populations would change significantly the stocking rate and the herd behaviour, as well as epidemiological conditions, which would result in biased conclusions. The order of magnitude of the population of goat GIN L3 present, on average, in the following grazing period was, therefore, estimated using the model published by Aumont et al. (1991), combining a Nedler model (Debouche, 1979) and a cumulative Weibull model (Dell et al., 1983). An estimate of pasture contamination was then derived from the faecal output (estimated at 20 g of fresh faeces per kg of live weight, according to Ortega-Jimenez et al. (2005)) and stocking rate data, and from the 'leader–follower' chronological design. Because cattle are thought to be resistant to goat GIN and *vice versa*, we supposed that all the goat GIN L3 ingested by grazing heifers were practically eliminated. We supposed that the heifers grazed at the most 1/7 of the plot area each day and that they ingested goat GIN L3 proportionally to the L3 density. Therefore, the additional reduction in goat GIN infective larvae (L3) population due to the follower cattle swallowing the first L3 derived from freshly shed goat GIN was estimated to be at most 1/7 times the L3 amount on a given day, times the cattle partial stocking rate, and the corresponding estimate was calculated for each repetition. The mean and the empirical confidence interval (CI) were then calculated by bootstrap (20,000 re-samplings of each repetition result). For reading convenience, the control value was set at 1 and the reduction ratios were calculated accordingly.

We also explored the relationship between the size of the infective larval population during the infection period and the resulting FEC. The kids were dewormed 6–7 weeks before the FEC measurement, so we can assume that the actual FEC was due to the GIN established during the 3–4 weeks following the previous drenching. The corresponding L3 population was derived from an unknown (not evaluated) previous egg faecal deposit. We cannot precisely estimate the relationship between pasture L3 population and infection level. However, if we consider that the epidemiological situation reached equilibrium, we can estimate at least the order of magnitude of this relationship using the relative average L3 density (L3 index) and FEC index (control set at 1).

The kid and cattle weight data were analysed using a linear mixed model (Bates et al., 2011), providing individual estimates of growth rate. The growth rate estimates of the kid groups were compared using the honestly significant difference test (Mendiburu, 2012). Deaths of kids were recorded, and death rates were calculated and compared for each experimental group using risk ratio (Jackman, 2011). All calculations were carried out with the R statistical software (R_Development_Core_Team, 2012).

3. Results

The heifers seemed to be practically not infected with GIN. We found only one egg (about 6 epg) in a 10 g faecal sample from one of the six older heifers after about 9 months on the experimental plots (February 2008), and two eggs (about 8 epg) from only one of the six young replacement heifers after about 3 months on the experimental plots (April 2008).

Only *Haemonchus* sp. and *Trichostrongylus* sp. were recovered from goat faecal cultures. *Trichostrongylus* sp. was predominant in 2007 and 2008 (93%, CI 95 [88%; 97%] of the recovered larvae) but *Haemonchus* sp. became predominant in 2009 and 2010 (65%, CI 95 [42%; 89%] of the recovered larvae).

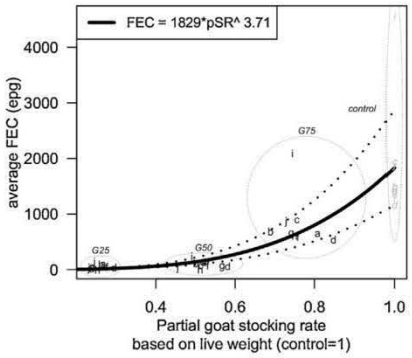


Fig. 3. Infection level of kids according to the partial initial stocking rate infection level of kids (FEC) according to the partial initial stocking rate (pSR expressed as the ratio to the control stocking rate). The solid line represents the fitted curve and the dotted lines represent the 95% confidence limits (repetition as random effect in the power model). The letters *a–j* represent the average FEC for each repetition, within groups. The G25, G50, G75 and control groups are surrounded with ellipses. The control data (*grey italic letters*) were not taken into account for the calculation of model parameters. Epg: eggs per gram.

The boxplot of goat FEC distribution is shown in Fig. 2. FEC appeared clearly over-dispersed within each group, with many zero counts in G25 and G50. The average FEC estimates of infected animals (intensity) decreased significantly ($p < 0.0001$) from control to the G25 group, according to the kid pSR. The overall prevalence risk ratio is shown in Table 1. The GIN prevalence was 100% for the four groups at the beginning of the experiment. It then decreased markedly in the G25 and G50 groups (37.8 [29.9; 46.5] *vs.* 50.4 [41.7; 59.8], $p < 0.05$) from the third repetition, whereas it remained near 100% for the G75 and control groups.

The parameters of the exponential and power models of the relationship between the actual stocking rate and the average FEC are reported in Table 2. The model [3] fit seemed to be less accurate than that of the exponential models ($R^2 = 0.42, 0.43$, and 0.40, for models [1], [2], and [3], respectively). However, model [3] offered the advantage of being simpler with only two parameters, the exponent b being independent of the stocking rate units, and the coefficient a depending only on how the stocking rate was expressed. Conversely, the two exponential model parameters depended on how the stocking rate was expressed. Also, only model [3] allowed a realistic prediction of the control average FEC, whereas models [1] and [2] led to unacceptable overestimations (about 5600 and 23,290 epg, respectively).

When we used the pSR, calculated as the actual stocking rate to control stocking rate ratio (ranging from 0 to 1), the parameter a of the power model was the estimate of the average control FEC, with the hypothesis of a 5-week resting period before turn-out. In this study, considering the repetition as random effect, $a = 1829$ epg, and the CI 95 limits of the control FEC were, respectively, 1162 and 2880 epg (Fig. 3). The exponent b was estimated at 3.713 (standard error [se] = 0.0144), whatever the stocking rate units.

Table 3 shows the pasture contamination estimates and the ratios of reduction caused by the leader–follower design and the potential effect of cattle as non-host grazer. The main effect was due first to the goat stocking rate reduction and, secondly, to the leader–follower design, which allowed a 10.4-fold reduction during the fifth week between two goat grazing periods on a given paddock. The cattle participated moderately in reducing the goat GIN L3 population by only at most 6–20% according to the cattle pSR.

Using the relative average L3 density (L3 index) and FEC index, the FEC seemed to be approximately the result of a power function of the pasture contamination, FEC index = a L3index^b, where $a = 1$ and the exponent b is estimated at 0.37 (se = 0.12).

The kid death and growth rates are summarised in Table 1. The death rate was more than two times lower in the G25 and G50 groups than in the control, whereas the growth rate was increased by about 59% and 34%, for G25 and G50, respectively. Heifers gained, on average, 0.48 (standard deviation [sd] = 0.11) kg day^{-1}.

4. Discussion

The large differences between groups in goat FECs and the apparently very low cattle FECs suggest that cattle did not significantly spread goat parasites within the three pastures allocated to the G25, G50, and G75 groups, and goats seemed not to be infected noticeably with cattle GIN. This is consistent with d'Alexis et al. (2012), who showed that there was no evidence that Creole heifers were infected significantly with goat *Haemonchus contortus* and with the checklist of ruminant parasites by Esterre and Maitre (1985). In other situations, a limited cross-infection between associated species was reported (Borgsteede, 1981; Giudici et al., 1999; Ocaido et al., 2004; Rocha et al., 2008). However, the establishment rate was generally very low in the secondary host so the risk that a parasite adapts to a novel host and causes significant problems seems to be only very slight (Amarante et al., 1997).

The average FECs varied markedly from one repetition to another (Fig. 3), as a consequence of environmental variations. However, the FEC hierarchy was unchanged between the four experimental groups, whatever the overall infection level. Grazing the same pasture with goat and cattle in the sequence of 1 week goats, 1 week cattle, and 4 weeks resting resulted in a dramatic decrease in the infective larval population as estimated according to Aumont et al. (1991). Pasture contamination showed a 1400-, 510-, and 37-fold reduction in the G25, G50, and G75 groups, respectively, compared with control. The same calculation of the L3 population after 4 weeks (i.e., in the same conditions as control) yielded only a 114-, 44-, and 3.3-fold reduction of the L3 population, so the additional week before the kids came back to a given paddock resulted in approximately a 10-fold additional reduction of the L3 density. Also, the prediction of the average FEC in the control group from model [3] was very similar to the observed value, suggesting that not allowing this additional week of resting may have resulted in a higher density of infective larvae on the pasture, but not

Table 2
Models of the relationship between stocking rate (SR) and average faecal egg count (FEC) of the goats (control data set excluded), after correction for the repetition effect.

	For SR in kg LW ha^{-1}		For partial SR (Control = 1)	
	R^2	Coefficients	R^2	Coefficients
Model [1]	0.420	$a = 0.952$	0.408	$a = 1.47$
Average FEC = exp ($a + b$ SR)		$b = 0.0081$		$b = 7.17$
Model [2]	0.434	$a = 4.70$	0.410	$a = 4.03$
Average FEC = exp ($a + b$ SR + c SR^2)		$b = -9.66\ 10^{-3}$		$b = -3.06$
		$c = 1.72 \times 10^{-5}$		$c = 9.09$
Model [3]	0.401	$a = 2.08 \times 10^{-8}$	0.401	$a = 2637$
Average FEC = a SR^b		$b = 3.71$		$b = 3.71$

LW: live weight.

in a higher average infection level, owing either to a lower establishment rate (see below) or to the death of the most heavily infected animals (Table 1).

The difference between G25 and G50 on the one hand and G75 and control on the other would explain the differences in GIN prevalence observed between groups. Owing to the differences in stocking rate, the number of goat droppings per area unit decreased from control to the G25 group. Faecal droppings were not uniformly disseminated on the ground, and the infectivity of each faecal dropping depended on the FEC of the animal. Therefore, we can assume that patches of high L3 density were much more frequent in the control pasture than in the G25 pasture. We can advance the hypothesis that in the G25 and G50 paddocks, only few spots were fairly contaminated, and some kids may never have swallowed any infective larvae since their last de-worming. Conversely, the probability of having grazed on fairly-to-heavily contaminated patches was probably close to 1 in the G75 and control groups. Hutchings et al. (2001) showed that grazing sheep will avoid faeces-contaminated patches, at least partially. However, faeces would moulder faster in the humid tropics than in temperate climates, so they are probably more difficult to detect after some days. In these study conditions, it is likely that goats do not or cannot discriminate faeces-contaminated patches to the same extent as sheep, as reported by Hutchings et al. (2001). For example, a 5-year long study with the same breeds of cattle and goats, where the animals grazed continuously, failed to show any FEC difference in goats, either set stocked alone or associated with about 60% cattle on a metabolic weight basis (Blaes et al., 2010), suggesting that goats were unable to avoid the contaminated zones, and that they probably always grazed the same sub-plots, day after day. In other words, one must be sure that goats actually graze a larger area in mixed stocking than when grazing alone in order to ensure a GIN-decreasing effect. This issue deserves to be addressed specifically, since set stocking or rotational grazing systems that are not designed according to GIN epidemiology remain the rule in most goat farming systems, and marked heterogeneity in pasture may result in high actual goat stocking rate, even in mixed stocking systems.

Our finding of FEC index = L3index$^{0.37}$ seems to be consistent with previous studies on the relationship between L3 dose and FEC or worm burden (Barger et al., 1985; Bleay et al., 2007; Dobson et al., 1990; Smith, 1994), suggesting a threshold in immunological response to infection, and a decrease in establishment rate and an increase in worm mortality with an increase in L3 dose. The present study provides further evidence by addressing a wider range of potential infection rates, especially the very low ones, which had never been addressed before in experimental studies. The very low L3 density in the G25 and G50 groups probably resulted in a very weak immunological stimulation, and then in a high establishment rate of the very few ingested larvae. This was confirmed by a further experiment, where animals from the present study responded in an opposite way to an experimental infection: the lower the infection rates in this grazing study, the higher the infection rates after a further experimental challenge (Bambou et al., 2010).

Although the cause of death was generally multifactorial, the death rate differences between groups were mainly correlated with the parasite infection levels in this tropical production system, according to Mandonnet et al. (2003). Replacing 50% or more of the kids with cattle allowed a decrease in the risk of infection, and a decrease in the risk of death of more than 50% on average. In other words, if we consider that GIN parasite infection is negligible in the G25 and G50 groups, we can assert that it causes, directly or indirectly, approximately 50–55% of the post-weaning death rate in the control group.

Table 3
Estimates of the pasture infective larval population and the reduction ratios due to the experimental design, at the following grazing cycle [empirical confidence interval].

Group	Infective larval population (L3 m^{-2})	Overall reduction ratio	Additional reduction ratio during the 5th week ('leader–follower' effect)	Additional potential reduction ratio due to cattle (within group)
G25	1 [0.5; 1.5]	1400 [1200; 2000]	10.4	1.20 [1.20; 1.23]
G50	2.7 [1.4; 4.3]	510 [450; 700]	10.4	1.13 [1.12; 1.13]
G75	36.9 [28.1; 48.2]	37 [34; 40]	10.4	1.06 [1.06; 1.06]
Control	1363 [968; 1925]	1	–	–

G25, G50 and G75: goat groups associated with cattle and stocked at approximately 25%, 50% and 75% of the control stocking rate, respectively.

The cattle growth (0.48 kg d^{-1}) seemed very similar to that recorded with this kind of animal in our experimental farm (0.45 kg d^{-1}, in 47 Creole heifers grazing alone, unpublished data), so we do not suspect a negative impact of the experimental design on cattle performance. The large differences in goat growth rate may be due to differences in parasite burden and in high-quality forage intake. Although this experiment affords no definite proof, it seems that the decrease in parasite infection played a major role in the better growth performance of the kids associated with cattle. Reducing the stocking rate and competition for food between individuals should also result in increased forage intake quality and so would induce greater resistance to the parasites (Bambou et al., 2011; Coop and Holmes, 1996; Kahn et al., 2000; Kyriazakis et al., 1996), so these two mechanisms are highly interdependent. Analytical experiments are still needed to uncouple the nutritional improvement and the effects of parasite burden reduction on the growth performance in multi-species grazing systems. Such experimentation should be designed so that the non-linear effects of parasite infection and probably non-linear interactions could be addressed.

Our results illustrate the fact that GINs have adapted to low-density host conditions, which are the rule in the wild, as well as in most traditional livestock rearing systems, whereas intensive grazing systems have resulted in over-favourable conditions for the parasites. Hence, the outbreaks of helmintiosis, and especially the permanence of the parasitic challenge in the humid tropics, may be attributed primarily to the enlargement of the ecological niche of these parasites caused by the intensification of mono-specific grazing systems.

Cattle, by themselves, may reduce directly the overall goat GIN larval population by only 20% at the most, which could be considered negligible in regard to the huge decrease caused indirectly by stocking rate reduction and the leader–follower rotational design. From an epidemiological point of view, cattle could be replaced with any herbivore that is not a significant host for goat GIN and *vice versa*, or by some other means of adding value to the residual biomass resulting from stocking rate reduction (hay or silage making, for example). We can conclude that in the present study, the host stocking rate was the main factor explaining the differences in host infection rate. However, farmers must also consider local economic features in choosing the associated species and designing the grazing system and stocking rate ratios (Connolly and Nolan, 1976).

This ruminant grazing system may be considered as a simplified ecosystem that allows the quantitative study of host–parasite interactions, and the fact that it reaches the same conclusion as ecological studies (Arneberg, 2001; Johnson et al., 2012; Keesing et al., 2006) underlines the utility of such ecological approaches in the conception of integrated methods for the control of livestock parasites.

At least in the humid tropics, grazing goat and cattle according to a leader–follower design taking into account the epidemiological characteristics of the GIN free-living stages and good pasture management represents a very promising component of the integrated control of parasites. It provides better production performance in goats with no marked effect on cattle production. Reliance on anthelmintics would be dramatically reduced, and so the profitability and, more generally, the sustainability of livestock farming systems might be substantially enhanced. These findings deserve to be validated in other conditions, especially when the grazing system cannot be designed in a realistic fashion according to the parasite epidemiology and when using other host (small ruminant breed or species)-non-host species combinations.

Conflict of interest statement

The author has no competing interests.

Acknowledgements

We thank J. Fleury, in charge of the INRA experimental farm; R. Arquet and the INRA PTEA team (O. Coppry, T. Kandassamy, W. Troupé, J. Gobardham, S.-A. Matou, P. Mulciba, and A. Nepos), who managed the animals and pastures and collected all the samples and measurements; C. Marie-Magdeleine, in charge of the laboratory; and H. Varo, who performed the parasitological analyses. The author particularly thanks H. Archimède, N. Mandonnet, J.-C. Bambou, and the two anonymous reviewers for their very kind criticism of the early version of this paper.

This work was funded by the Region Guadeloupe and the European Union.

References

Abaye, A.O., Allen, V.G., Fontenot, J.P., 1994. Influence of grazing cattle and sheep together and separately on animal performance and forage quality. J. Anim. Sci. 72, 1013–1022.

Achi, Y.L., Zinsstag, J., Yao, K., Yeo, N., Dorchies, P., Jacquiet, P., 2003. Host specificity of *Haemonchus* spp. for domestic ruminants in the savanna in northern Ivory coast. Vet. Parasitol. 116, 151–158.

Amarante, A.F.T., Bagnola Jr., J., Amarante, M.R.V., Barbosa, M.A., 1997. Host specificity of sheep and cattle nematodes in Sao Paulo state, Brazil. Vet. Parasitol. 73, 89–104.

Aragon, T., 2011. epitools: Epidemiology Tools, R package version 0.5-6.

Archimède, H., Boval, M., Alexandre, G., Xandé, A., Aumont, G., Poncet, C., 2000. Effect of regrowth age on intake and digestion of *Digitaria decumbens* consumed by Black-belly sheep. Anim. Feed Sci. Technol. 87, 153–162.

Arneberg, P., 2001. An ecological law and its macroecological consequences as revealed by studies of relationships between host densities and parasite prevalence. Ecography 24, 352–358.

Aumont, G., Coulaud, G., Grude, A., Gruner, L., 1989. Pasture populations of cattle nematode larvae in Guadeloupe (French West Indies). Int. J. Parasitol. 19, 547–554.

Aumont, G., Frauli, D., Simon, R., Pouillot, R., Diaw, S., Mandonnet, N., 1996. Comparison of methods for counting third stage larvae of gastrointestinal nematodes of small ruminants in tropical pastures. Vet. Parasitol. 62, 307–315.

Aumont, G., Gruner, L., 1989. Population evolution of the free-living stage of goat gastrointestinal nematodes on herbage under tropical conditions in Guadeloupe (French West Indies). Int. J. Parasitol. 19, 539–546.

Aumont, G., Gruner, L., Berbigier, P., 1991. Dynamique des populations des stades infestants de strongles gastrointestinaux des petits ruminants en milieu tropical humide, Conséquences sur la gestion des pâturages. Rev. Elev. Med. Vet. Pays Trop., 123–131, spécial.

Bambou, J.C., Archimède, H., Arquet, R., Mahieu, M., Alexandre, G., González-Garcia, E., Mandonnet, N., 2011. Effect of dietary supplementation on resistance to experimental infection with *Haemonchus contortus* in Creole kids. Vet. Parasitol. 178, 279–285.

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. In: Xth International Goat Congress, Recife, Brasil.
Barger, I.A., Le Jambre, L.F., Georgi, J.R., Davies, H.I., 1985. Regulation of *Haemonchus contortus* populations in sheep exposed to continuous infection. Int. J. Parasitol. 15, 529–533.
Barger, I.A., Siale, K.I., Banks, D.J.D., Le Jambre, L.F., 1994. Rotational grazing for control of gastrointestinal nematodes of goats in a wet tropical environment. Vet. Parasitol. 53, 109–116.
Bates, D., Maechler, M., Bolker, B., 2011. lme4: Linear Mixed-Effects Models Using S4 Classes, R Package Version 0.999375-40.
Bennett, D., Morley, F.H.W., Clark, K.W., Dudzinski, M.L., 1970. The effect of grazing cattle and sheep together. Aust. J. Exp. Agric. Anim. Husb. 10, 694–709.
Blaes, J.-L., Mandonnet, N., Arquet, R., Mahieu, M., 2010. A long term experiment of integrated control of nematode parasitism in Creole goats. In: Proceedings of the SAPT2010 Conference, Advances in Animal Biosciences, pp. 413–414.
Bleay, C., Wilkes, C.P., Paterson, S., Viney, M.E., 2007. Density-dependent immune responses against the gastrointestinal nematode *Strongyloides ratti*. Int. J. Parasitol. 37, 1501–1509.
Borgsteede, F.H.M., 1981. Experimental cross-infections with gastrointestinal nematodes of sheep and cattle. Z. Parasitenkd. 65, 1–10.
Broström, G., Holmberg, H., 2011. glmmML: Generalized Linear Models with Clustering, R Package Version 0.82-1.
Bush, A.O., Lafferty, K.D., Lotze, J.M., Shostak, A.W., 1997. Parasitology meets ecology on its own terms: Margolis et al. revisited. J. Parasitol. 83, 575–583.
Celaya, R., Benavides, R., Garcia, U., Ferreira, L.M.M., Ferre, I., Martinez, A., Ortega-Mora, L.M., Osoro, K., 2008. Grazing behaviour and performance of lactating suckler cows, ewes and goats on partially improved heathlands. Animal 2, 1818–1831.
Celaya, R., Martinez, A., Osoro, K., 2007a. Vegetation dynamics in Cantabrian heathlands associated with improved pasture areas under single or mixed grazing by sheep and goats. Small Ruminant Res. 72, 165–177.
Celaya, R., Olivan, M., Ferreira, L.M.M., Martinez, A., Garcia, U., Osoro, K., 2007b. Comparison of grazing behaviour, dietary overlap and performance in non-lactating domestic ruminants grazing on marginal heathland areas. Livest. Sci. 106, 271–281.
Cezar, A.S., Toscan, G., Camillo, G., Sangioni, L.A., Ribas, H.O., Vogel, F.S.F., 2010. Multiple resistance of gastrointestinal nematodes to nine different drugs in a sheep flock in southern Brazil. Vet. Parasitol. 173, 157–160.
Coadwell, W.J., Ward, P.F.V., 1982. The use of faecal egg counts for estimating worm burdens in sheep infected with *Haemonchus contortus*. Parasitology 85, 251–256.
Connolly, J., Nolan, T., 1976. Design and analysis of mixed grazing experiments. Anim. Prod. 23, 63–71.
Coop, R.L., Holmes, P.H., 1996. Nutrition and parasite interaction. Int. J. Parasitol. 26, 951–962.
Cruz, P., Boval, M., 2000. Effect of nitrogen on some morphogenetic traits of temperate and tropical perennial forage grasses. In: Lemaire, G., Hodgson, J., Moraes, A., Carvalho, P.C.d., Nabinger, C. (Eds.), Grassland Ecophysiology and Grazing Ecology. CABI Publishing, Wallingford, UK, pp. 151–168.
d'Alexis, S., Mahieu, M., Jackson, F., Boval, M., 2012. Cross-infection between tropical goats and heifers with *Haemonchus contortus*. Vet. Parasitol. 184, 384–386.
Debouche, C., 1979. Présentation coordonnée de différents modèles de croissance. Revue de Statistique Appliquée 27, 5–22.
Dell, T.R., Robertson, J.L., Haverty, M.I., 1983. Estimation of cumulative change of state with the weibull function. Bull. ESA 29, 38–40.
Dickson, I.A., Frame, J., Arnot, D.P., 1981. Mixed grazing of cattle and sheep versus cattle only in an intensive grassland system. Anim. Prod. 33, 265–272.
Dobson, R.J., Waller, P.J., Donald, A.D., 1990. Population dynamics of *Trichostrongylus colubriformis* in sheep: the effect of infection rate on the establishment of infective larvae and parasite fecundity. Int. J. Parasitol. 20, 347–352.
Esterre, P., Maitre, M.J., 1985. The parasitological diseases of the ruminants in Guadeloupe. Revue Elev. Méd. vét. Pays trop. 38, 49–53 (in French).
Etter, E., Chartier, C., Hoste, H., Pors, I., Lefrileux, Y., Broqua, C., Vallade, S., Goudeau, C., 2000. Parasitisme par les nematodes du tube digestif et utilisation du paturage: epidemiologie de l'infestation dans les troupeaux caprins laitiers en France. Epidemiologie et Sante Animale, 75–86.
Fraser, M.D., Davies, D.A., Vale, J.E., Hirst, W.M., Wright, I.A., 2007. Effects on animal performance and sward composition of mixed and sequential grazing of permanent pasture by cattle and sheep. Livest. Sci. 110, 251–266.
Giudici, C., Aumont, G., Mahieu, M., Saulai, M., Cabaret, J., 1999. Changes in gastro-intestinal helminth species diversity in lambs under mixed grazing on irrigated pastures in the tropics (French West Indies). Vet. Res. 30, 573–581.
Hamilton, D., Bath, J.G., 1970. Performance of sheep and cattle grazed separately and together. Aust. J. Exp. Agric. Anim. Husb. 10, 19–26.
Hutchings, M.R., Gordon, I.J., Kyriazakis, I., Jackson, F., 2001. Sheep avoidance of faeces-contaminated patches leads to a trade-off between intake rate of forage and parasitism in subsequent foraging decisions. Anim. Behav. 62, 955–964.
Jackman, S., 2011. pscl: Classes and Methods for R Developed in the Political Science Computational Laboratory, Stanford University. Department of Political Science, Stanford University, Stanford, California (R package version 1.03.10).
Jacquiet, P., Cabaret, J., Thiam, E., Cheikh, D., 1998. Experimental and natural *Haemonchus* spp. cross infections of domestic ruminants in Sahelian West Africa. Ann. N. Y. Acad. Sci. 849, 465–469.
Johnson, P.T.J., Preston, D.L., Hoverman, J.T., Henderson, J.S., Paull, S.H., Richgels, K.L.D., Redmond, M.D., 2012. Species diversity reduces parasite infection through cross-generational effects on host abundance. Ecology 93, 56–64.
Jordan, H.E., Phillips, W.A., Morrison, R.D., Doyle, J.J., McKenzie, K., 1988. A 3-year study of continuous mixed grazing of cattle and sheep: parasitism of offspring. Int. J. Parasitol. 18, 779–784.
Kahn, L.P., Kyriazakis, I., Jackson, F., Coop, R.L., 2000. Temporal effects of protein nutrition on the growth and immunity of lambs infected with *Trichostrongylus colubriformis*. Int. J. Parasitol. 30, 193–205.
Kaplan, R.M., 2004. Drug resistance in nematodes of veterinary importance: a status report. Trends Parasitol. 20, 477–481.
Keesing, F., Holt, R.D., Ostfeld, R.S., 2006. Effects of species diversity on disease risk. Ecol. Lett. 9, 485–498.
Kyriazakis, I., Anderson, D.H., Coop, R.L., Jackson, F., 1996. The pathophysiology and development of immunity during long-term subclinical infection with *Trichostrongylus colubriformis* of sheep receiving different nutritional treatments. Vet. Parasitol. 65, 41–54.
Magee, D.A., Meghen, C., Harrison, S., Troy, C.S., Cymbron, T., Gaillard, C., Morrow, A., Maillard, J.C., Bradley, D.G., 2002. A partial African ancestry for the creole cattle populations of the Caribbean. J. Hered. 93, 429–432.
Mahieu, M., Aumont, G., Michaux, Y., Alexandre, G., Archimède, H., Boval, M., Theriez, M., 1997. Mixing grazing sheep/cattle on irrigated pastures in Martinique (FWI). INRA Prod. Anim. 10, 55–65 (in French).
Mandonnet, N., Aumont, G., Arquet, R., Varo, H., Gruner, L., Bouix, J., Vu Tien Khang, J., 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., Ducrocq, V., Arquet, R., Aumont, G., 2003. Mortality of creole kids during infection with gastrointestinal strongyles: a survival analysis. J. Anim. Sci. 81, 2401–2408.
Marley, C.L., Fraser, M.D., Davies, D.A., Rees, M.E., Vale, J.E., Forbes, A.B., 2006. The effect of mixed or sequential grazing of cattle and sheep on the faecal egg counts and growth rates of weaned lambs when treated with anthelmintics. Vet. Parasitol. 142, 134–141.
Mendiburu, F.D., 2012. agricolae: Statistical Procedures for Agricultural Research, R package version 1.1-3.
Miretti, M., Dunner, S., Naves, M., Contel, E.P.B., Ferro, J.A., 2004. African-derived mtDNA in Spanish cattle (*Bos taurus*) is identical to the predominant African-derived mtDNA haplotype in Caribbean and Brazilian Creole cattle. J. Hered. 95, 450–453.
Nolan, T., Connolly, J., 1977. Mixed stocking by sheep and steers – a review. Herbage Abstracts 47, 367–374.
Nolan, T., Connolly, J., 1989. Mixed v. mono-grazing by steers and sheep. Anim. Prod. 48, 519–533.
Ocaido, M., Siefert, L., Baranga, J., 2004. Helminth risks associated with mixed game and livestock interactions in and around Lake Mburo National Park, Uganda. Afr. J. Ecol. 42, 42–48.
Ortega-Jimenez, E., Alexandre, G., Boval, M., Archimède, H., Mahieu, M., Morand-Fehr, P., 2005. Intake and milk production of suckling Creole goats reared at pasture in humid tropics according to the post-grazing residue management. Small Ruminant Res. 59, 217–227.
Owen, I.L., 1998. Mixed grazing of sheep and cattle in the highlands of Papua New Guinea and its effect on worm burdens of sheep. Sci. New Guinea 24, 11–22.
Pepin, L., Amigues, Y., Lepingle, A., Berthier, J.L., Bensaid, A., Vaiman, D., 1995. Sequence conservation of microsatellites between *Bos taurus*

(cattle), *Capra hircus* (goat) and related species – examples of use in parentage testing and phylogeny analysis. Heredity 74, 53–61.
Praslicka, J., 1995. Specific doses of anthelmintics for goats. Slovensky Veterinarsky Casopis 20.
R_Development_Core_Team, 2012. R: A Language and Environment for Statistical Computing. Computing, R.F.f.S, Vienna, Austria.
Riggs, N.L., 2001. Experimental cross-infections of *Haemonchus placei* (Place, 1893) in sheep and cattle. Vet. Parasitol. 94, 191–197.
Rocha, R.A., Bresciani, K.D.S., Barros, T.F.M., Fernandes, L.H., Silva, M.B., Amarante, A.F.T., 2008. Sheep and cattle grazing alternately: nematode parasitism and pasture decontamination. Small Ruminant Res. 75, 135–143.
Smith, G., 1994. Population biology of the parasitic phase of trichostrongylid nematode parasites of cattle and sheep. Int. J. Parasitol. 24, 167–178.
Squires, V.R., 1982. Dietary overlap between sheep, cattle, and goats when grazing in common. J. Range Manag. 35, 116–119.
Sutherland, I.A., Damsteegt, A., Miller, C.M., Leathwick, D.M., 2008. Multiple species of nematodes resistant to ivermectin and a benzimidazole-levamisole combination on a sheep farm in New Zealand. N. Z. Vet. J. 56, 67–70.
van Dijk, J., Louw M.D.E. d. Kalis, L.P.A., Morgan, E.R., 2009. Ultraviolet light increases mortality of nematode larvae and can explain patterns of larval availability at pasture. Int. J. Parasitol. 39, 1151–1156.
Van Wyk, J.A., 2006. Face facts: drenching with anthelmintics for worm control selects for drug resistance – and no excuses! Proc. N. Z. Soc. Anim. Prod. 66, 4–13.
Van Wyk, J.A., Malan, F.S., Randles, J.L., 1997. How long before resistance makes it impossible to control some field strains of *Haemonchus contortus* in South Africa with any of the modern anthelmintics. Vet. Parasitol. 70, 111–122.
Wilson, K., Grenfell, B.T., 1997. Generalized linear modelling for parasitologists. Parasitol. Today 13, 33–38.
Zeileis, A., Kleiber, C., Jackman, S., 2008. Regression models for count data in R. J. Stat. Softw. 27.

Retour p. 38

Annexe 7 : Mahieu, M., Arquet, R., Kandassamy, T., Mandonnet, N. et 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. Vet. Parasitol. 146 (1/2): 135-147

Retour p. 45

Available online at www.sciencedirect.com
ScienceDirect
Veterinary Parasitology 146 (2007) 135–147
veterinary parasitology
www.elsevier.com/locate/vetpar

Evaluation of targeted drenching using Famacha© method in Creole goat: Reduction of anthelmintic use, and effects on kid production and pasture contamination

Maurice Mahieu [a,*], Rémy Arquet [b], Tony Kandassamy [b], Nathalie Mandonnet [a], Hervé Hoste [c]

[a] *INRA UR 143, domaine de Duclos, 97170 Petit Bourg (F.W.I.), Guadeloupe*
[b] *INRA UE 467, Gardel, 97160 Le Moule (F.W.I.), Guadeloupe*
[c] *UMR 1225 IHAP INRA DGER, ENVT, 23 Chemin des Capelles 31076 Toulouse, France*

Received 21 September 2006; received in revised form 26 January 2007; accepted 7 February 2007

Abstract

Haemonchus infection was monitored for 2 years (six kidding periods) in a Creole goat flock grazing under oceanic–tropical climate. Two hundred and thirty individual does were involved from late pregnancy to weaning. Anaemia diagnoses using Famacha© method and packed cell volume (PCV) were compared. The best agreement (Kappa = 0.33) was found if anaemia was declared when PCV values fell to 16 or below and Famacha© score was 4 or 5. Drenching policy according to Famacha© method was compared to systematic drenching policy. Using the Famacha© method allowed a dramatic decrease in anthelmintic use during the periparturient period (0.57 individual dose instead of three doses for the control). The proportion of the nematode population on the pasture not derived from previously-treated goats (in refugia) was estimated to about 79% (65–90%) of the pasture contamination derived from the Famacha© group. On the average, goats which needed to be drenched produced less than the control or undrenched goats (kid average daily gain was decreased by about 15%). The repeatability of the need for drenching individual does was estimated to 0.41. The older goats or the goats in poorer body condition at kidding needed more drenching than the younger animals and the animals in good body condition. Consequently the Famacha© method may be used as an additional tool for the culling management.
© 2007 Elsevier B.V. All rights reserved.

Keywords: Creole goat; *Haemonchus contortus*; Refugia; Anthelmintics; Sustainable parasite management; Famacha© method

1. Introduction

Anthelmintic resistance in gastrointestinal nematodes (GIN) is an increasing threat to small ruminant farming (Kaplan, 2004), especially in the humid tropics, where the free-living stages of parasitic nematodes such as *Haemonchus contortus* and *Trichostrongylus colubriformis* meet adequate climatic conditions to develop during almost the entire year (Barger et al., 1994; Aumont et al., 1997b). The last decades have witnessed some development in small ruminant industry to meet the growing market in the Caribbean. That means investments, need of profitability, then intensive use of grassland and systematic use of anthelmintics, inevitably resulting in various anthelmintic resistances here (Gruner et al., 1986; Barre et al., 1997) as everywhere (Kaplan, 2004). One promising approach to managing anthelmintic resistance is to

* Corresponding author. Tel.: +590590255426; fax: +590590255936.
E-mail address: maurice.mahieu@antilles.inra.fr (M. Mahieu).

0304-4017/$ – see front matter © 2007 Elsevier B.V. All rights reserved.
doi:10.1016/j.vetpar.2007.02.003

exploit the refugia concept (Van Wyk, 2001) which is allowing the survival of anthelmintic susceptible parasites. In humid tropics where *Haemonchus contortus* predominates, the Famacha© method (Bath et al., 1996) allows drenching of those animals unable to cope and withstand the negative effects of this hematophagous parasite. However *Trichostrongylus* is often a co-dominant in parasite populations and cannot be monitored by this method, though it could be as harmful as *Haemonchus*. The aims of this paper are (1) to evaluate the concordance of anaemia diagnoses based on packed cell volume and Famacha© methods applied to goat and (2) to present the effects of the Famacha© method on the parasitism and production level within a suckling Creole goat flock naturally infected by a mixed parasite population, compared with a systematic drenching policy.

2. Materials and methods

The experiment was located in Guadeloupe (16°20N, 61°20W), at the INRA-Gardel experimental farm. Climate was oceanic–tropical: means of monthly maximum temperature ranged 29–31 °C, means of minimum 22–25 °C. Annual rainfall reached 1500–2000 mm, with a dry season occurring between January and July, and pastures were irrigated during the dry season if needed. Daily rainfall was recorded on the farm during the experimental period, except during the rainy season of the first year, due to a device failure. Through January–May 2003 rainfalls were only 0.45 times the 15-year average rainfall, the longest dry period (no rain above 1 mm/day) lasted 22 days in April–May 2003 (see Fig. 1). The whole year 2004 was above the 15-year average rainfall (1.6 times) and the longest dry period lasted only 9 days in May.

Guadeloupe Creole goat, a local breed of goat related to the West African Dwarf and probably to Spanish goats introduced since the early colonisation, were used for the experiment. Three mating periods were organised each year to obtain three kidding periods in mid-February, mid-June and mid-October, corresponding theoretically to "dry", "intermediate" and "rainy" seasons, respectively. Half of the flock were used in a given mating period, the second half in the next one, so each doe was allowed to kid three times within 2 years. Culled goats (10–20% yearly) were replaced by maiden goats before each mating period. Kids were weaned just before the next mating period started (85-day old on average), except kids in excess of two which were sent to artificial rearing unit within 24 h after birth. Kids were dewormed at 5 or 6 weeks and at weaning, and drenched against coccidiosis at about 5 weeks.

"Pregnant" (from mating to 4th month of pregnancy) and "suckling" (late pregnancy to weaning) goats grazed separate pastures and were switched the day kids were weaned.

The stocking rate was about 50 goats and their kids per hectare. Pastures were based on *Digitaria decumbens* and *Brachiaria purpurescens* and were irrigated if needed and fertilised (0.5 kg N/ha/day) during the resting period (see below). Each suckling goat received daily 300 g of commercial pellets (17.5% CP). Water and mineral licks were supplied *ad libitum*.

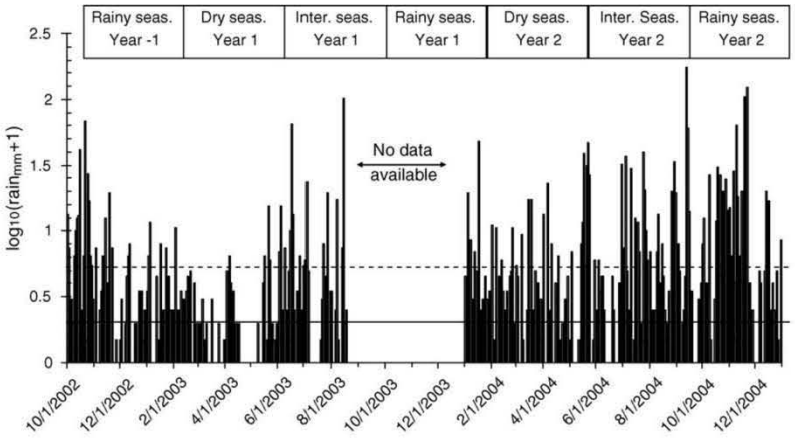


Fig. 1. Daily rainfall during the experiment period. Data were log 10 transformed to show easily days with rain lower than 5 mm (under the dotted line) or lower than 1 mm (under the solid line).

3. Experimental design

The whole reproductive flock (230 individual goats) were used in the experiment, from late pregnancy to weaning (each experimental or "kidding" period lasted 4 months). The experiment lasted 2 years, and six kidding periods were monitored. Most of the does were involved for three kidding periods. Data from goats that failed to reproduce were discarded, though they may have been maintained to complete the stocking rate.

The suckling goat flock were divided into four sub-flocks (20–25 individuals each) in order to facilitate kidding supervision and to allow for four repetitions of the experimental pattern. Each sub-flock grazed a pasture divided into five paddocks in order to allow for rotational grazing, with 1-week grazing and 4-week resting per paddock to avoid the peak of infective larval population (Aumont and Gruner, 1989). Each sub-flock contained two experimental groups, the first one (so called Famacha© group, abbreviated Fam) in which does were drenched only if their Famacha© score (FamS) was 4 or 5 (see below), and the control group in which does were drenched three times during each experimental period (during the first week post kidding, 5 weeks later and at weaning). A 4-week minimum interval was maintained between two drenchings of the same animal in the Fam group, irrespective of its FamS during this period. Levamisole (Polystrongle©) was used during the first year and then replaced by netobimin (Hapadex©), a resistance to levamisole in *Trichostrongylus* sp. becoming apparent on the farm, whereas netobimin was found fully effective on both *Haemonchus* and *Trichostrongylus* 3 years earlier (Chevalier, 2001) and no benzimidazole drug was used during this period. Goats were drenched at 1.5 times the sheep dose, according to differences in pharmacokinetics between these species (Hennessy et al., 1993). Animals were kept in the same experimental group throughout the whole experiment (till three kidding periods for each), but were randomly distributed into the four sub-flocks (or repetition). Group sizes for each kidding (or experimental) period are given in Table 1. Goats were ranked within four age classes: 1–3, 4–5, 6–7, and 8–10 years, respectively. Goat age classes were evenly distributed (χ^2 test) through experimental groups irrespective of the period. The distribution of goats according to their body condition score and hair coat score (see below) at the beginning of each experimental period are shown in Table 2. The control and the Fam group were balanced according to these two criterions

Table 1
Goat group sizes for the six successive experimental periods

	Famacha© group					Control group				
	Sub-flock				Total	Sub-flock				Total
	1	2	3	4		1	2	3	4	
Dry season year 1	11	13	8	14	46	11	12	7	11	41
Inter season year 1	10	11	10	9	40	8	11	10	11	40
Rainy season year 1	12	11	13	12	48	13	11	12	9	45
Dry season year 2	12	10	9	9	40	10	9	11	9	39
Inter season year 2	13	9	12	13	47	13	9	12	12	46
Rainy season year 2	12	12	13	10	47	13	12	11	12	48

Table 2
Goat distribution percentages according to body condition (BCS) and hair coat [*HCS*] scores at the first evaluation before kidding (no goat was scored 5 at this time; the corresponding column is not displayed)

	Famacha© group					Control group				
	BCS [*HCS*]				Total	BCS [*HCS*]				Total
	1	2	3	4		1	2	3	4	
Dry season year 1	– [–]	24 [*28*]	76 [*67*]	– [*5*]	100	– [–]	37 [*37*]	63 [*63*]	– [–]	100
Inter season year 1	27 [*32*]	53 [*58*]	20 [*10*]	– [–]	100	25 [*33*]	58 [*55*]	17 [*12*]	– [–]	100
Rainy season year 1	– [*2*]	40 [*65*]	58 [*33*]	2 [–]	100	– [*2*]	56 [*65*]	42 [*33*]	2 [–]	100
Dry season year 2	– [–]	5 [*25*]	78 [*70*]	17 [*5*]	100	– [–]	15 [*28*]	74 [*67*]	11 [*5*]	100
Inter season year 2	10 [*10*]	43 [*64*]	43 [*26*]	4 [–]	100	9 [*15*]	46 [*52*]	41 [*33*]	4 [–]	100
Rainy season year 2	2 [–]	68 [*60*]	30 [*40*]	– [–]	100	– [*4*]	71 [*54*]	29 [*42*]	– [–]	100

(χ^2 test). Also, the does were significantly in poorer body and hair coat condition at the beginning of the dry season (pregnancy during the rainy season), and in better condition at the beginning of the intermediate season (pregnancy during the dry season). Also the does were significantly in poorer body condition during the second year than during the first one, though this difference was less marked except for the season differences.

Both experimental groups of each sub-flock grazed the same paddocks, so they were under the same parasite pressure and were offered the same food allowance.

4. Measurements and data records

Routine record keeping provided data on kidding date, litter size, sex of kids and events such as sending to artificial rearing or death. Kids were weighed at birth and fortnightly until weaning. Their growth was also monitored after weaning, till they reached 11-month age.

Goats in control and fam groups were checked every week for ocular conjunctivae colour score (FamS), following the Famacha© recommendations (Bath et al., 1996, 2001): 5 classes were used: 1 (red) and 2 (red–pink) were considered as non-anaemic; 3 (pink) mildly anaemic; 4 (pink–white) anaemic; 5 (white) severely anaemic. No colour chart was locally available when the experiment started, so a training period was organised previously for the technicians in charge of the experiment, with the aid of numeric photographs of the ocular conjunctivae and the paired PCV values. In addition, the body condition score (BCS, 5 classes from 1: very fat to 5: very lean), and the hair coat score (HCS, 5 classes from 1: smooth and glossy to 5: coarse and dull) were scored according to the local know-how. All the animals were scored by the same two persons, except during the vacation periods (one person).

Packed cell volume (PCV) was performed every week on blood samples from all of the goats (micro-centrifugation 12,000 rpm for 5 min).

Faecal egg counts (FEC) were performed individually for all the goats on the day when the control group was drenched (i.e. thrice for each of the six experimental periods) by using a modified McMaster method (Aumont et al., 1997a) providing an average detection level of 15 eggs per gram (epg). In addition, FEC was done for each goat of the Fam group, on the day they needed to be drenched. Coprocultures were done on pooled samples of faeces and recovered larvae were identified to genus and counted. Twelve (three times * four sub-flocks) coprocultures were done for each experimental period.

5. Statistical analyses

5.1. Diagnosis of the parasitism level

Spearman rank correlation between the different variables used to assess the parasitism level was done by using the CORR procedure (SAS software).

Precision of anaemia estimation by the Famacha© method was assessed using the whole PCV-famS data set, including the control goat data. The concordance of PCV based and FamS based estimations of anaemia was calculated (Kappa statistic, Minitab V14.2 software) for different PCV and FamS cut-offs. The Kappa statistic was done as it determines the extent to which the agreement between two tests (i.e. PCV and Famacha© scoring) improves on chance (Ansari-Lari, 2005). A value of zero reflects no better agreement that would be expected by chance, whereas a value of 1 represents a perfect agreement and − 1 a complete disagreement. Conventional arbitrary divisions for interpreting the Kappa statistic are: lower than 0.2 is negligible, 0.2–0.4 is minimal, 0.4–0.6 is fair, 0.6–0.8 is good, and over 0.8 is excellent. Sensitivity (=100 × true positives/(true positives + false negatives)), specificity (=100 × true negatives/(true negatives + false positives)) and predictive value of negative and positive diagnostic were also calculated (Vatta et al., 2001).

5.2. Famacha© method application to the gastrointestinal strongyle control

All the parameters derived from discrete or from non-Gaussian variables were estimated using a 2000 bootstrap re-sampling procedure (Microsoft®Excel macro, available at http://www-rocq.inria.fr/axis/Sfds_gls/MACROS/index.htm). This method was used as it allows for parameter estimations irrespective of the data distribution, and may provide 95% simple percentile confidence intervals ((Palm, 2002)).

- Reproduction parameters (litter size at birth, percentage of kids sent to artificial rearing, death rate and litter size at 75 day post kidding) were estimated and compared (Fam versus control groups) by using a 2000 bootstrap re-sampling estimation of the standard score. The litter size weight at 75 days was estimated for each doe from the predicted individual 75-day weight of the kids provided by the MIXED procedure

(SAS software) – see below – and from litter size at weaning.

- Goats had very different infection course, so no statistical comparison was done on FEC between experimental groups (Table 8).
- Species percentage of the recovered larva were estimated and compared (year 1 versus year 2) by using a 2000 bootstrap re-sampling estimation of the standard score.
- Drenching frequency was tabulated and the number of doses per drenched goat and per present goat were given for the six experimental periods, for the age classes, for each repetition and for each BCS and HCS level at kidding.
- Since no direct evaluation of the parasite burden in goats was feasible, the only way to evaluate the refugia size was based on the individual FEC. The total pasture contamination was estimated on the basis of 600 g of faeces produced per goat daily, according to previous experiments within the same flock (Ortega-Jimenez et al., 2005), and an average stocking rate of 50 goats/ha. The total GIN egg output was estimated as the sum of areas under the individual egg excretion curves between the first and the third FEC of each period, with the following hypotheses: (1) for the Fam group FEC course is assumed as linear between two successive measurements without drenching (2) for drenched goats (control, and Fam goats after drenching), two estimations were done: (2a) assuming anthelmintic resistance was negligible, FEC was put to 0 for 3 weeks after drenching (pre-patent period) and then increased linearly to the next FEC value and (2b) during the first year only, assuming a 75% drenching efficiency due to levamisole resistance in *T. colubriformis* according to data derived from a Faecal Egg Count Reduction Test done within the same period on weaned kids. FEC course was then assumed as linear until the next measurement.

The refugia size was then estimated within the Fam group as the percentage of eggs passed by does which had not yet been drenched since the beginning of the current kidding period, assuming that the development of eggs into infective larvae was not significantly affected by the previous treatment of the does.

- Spearman correlation coefficients between the first FamS, BCS and HCS evaluation at each experimental period and further treatment needs were estimated by using the CORR procedure (SAS software). The repeatability of the number of treatment required for successive kidding periods was estimated by using the VARCOMP procedure (SAS software).
- PCV was analysed using the MIXED procedure (SAS software) taking into account the time relative to previous drenching (or to kidding for undrenched animals), the sub-flock, the experimental group (Fam versus control), the kidding period, the age of the goat and the number of time the animal was involved in the experiment (1, 2 or 3).
- Kid weights were analysed by using the MIXED procedure (SAS software). The model took into account the sub-flock, dam age and treatment (undrenched Fam, drenched Fam, or control group), the sex, litter size, sire, growing period (or season and year), the age and square of age, with a random statement on the kids. The 75-day weight was predicted for each kid alive at weaning and was used for the individual litter weight calculation. The kid weight was analysed after weaning to test a hypothetical long-term effect of the Famacha© method on the kid growth. The model (MIXED procedure) took into account the sex, feeding system, group of the dam (Famacha© versus control), and the 75-day weight used as a co-variable.

6. Results

6.1. Relationship between parasitism level indicators

The PCV to FamS relationship was illustrated by the box and whiskers plot displayed in Fig. 2. FamS 4 or 5 were given only in 5.5% of the cases. Some 1.04% of all the PCV values were less or equal to 15, and 6.6%, 19.0% and 39.2% were less or equal to 16, 19 and 22, respectively.

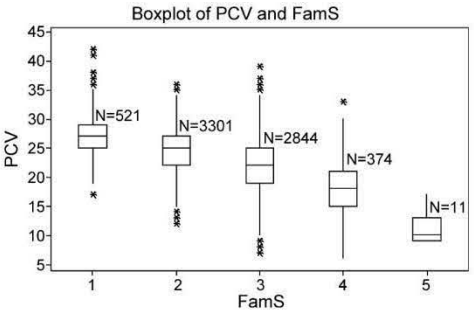


Fig. 2. Box and whiskers plot of packed cell volume (PCV) distribution according to the ocular conjunctivae colour score (FamS), with the number of data (*N*) and outlier symbols (*).

Table 3
Spearman rank correlation between indicators of parasitism (*number of available data*). All estimates differ significantly from 0 ($P < 0.0001$)

	BCS (*N*)	HCS (*N*)	PCV (*N*)	FEC (*N*)
FamS	0.285 (*7136*)	0.289 (*6953*)	−0.460 (*7051*)	0.196 (*1589*)
BCS		0.406 (*6951*)	−0.351 (*7049*)	0.098 (*1587*)
HCS			−0.333 (*6867*)	0.149 (*1495*)
PCV				−0.325 (*1574*)

Table 4
Concordance between PCV and FamS based diagnostics of the anaemia

	PCV cut-off				
	≤15	≤16	≤17	≤18	≤19
FamS 4 and 5 considered as anaemic					
Kappa statistic	0.326	0.331	0.305	0.268	0.231
Sensitivity (a) %	33.5	34.5	27.7	22.5	19.1
Specificity (b) %	96.2	96.5	96.9	97.3	97.7
Predictive value of negative %	97.0	95.6	92.7	88.6	83.7
Predictive value of positive %	33.5	40.0	48.6	57.7	66.5
	PCV cut-off				
	≤15	≤19	≤21	≤22	≤23
FamS 3, 4 and 5 considered as anaemic					
Kappa statistic	0.097	0.280	0.343	0.360	0.347
Sensitivity (a) %	93.4	80.7	72.9	68.4	63.4
Specificity (b) %	56.6	62.4	66.2	68.7	71.3
Predictive value of negative %	99.4	93.2	84.7	77.1	66.8
Predictive value of positive %	9.6	33.5	48.7	58.5	68.1

(a) Sensitivity = 100 × true positives/(true positives + false negatives); (b) Specificity = 100 × true negatives/(true negatives + false positives)

FamS was better correlated with PCV than BCS and HCS (Table 3). FEC was correlated weakly with BCS and HCS, and moderately with FamS or PCV. The best agreement between Famacha© and PCV based anaemia diagnosis was found if anaemia is declared when PCV was less or equal to 16 and FamS was 4 or 5 (Kappa statistic = 0.33), or if PCV was less or equal to 22 and FamS was 3, 4 or 5 (Kappa statistic = 0.36, Table 4).

6.2. Famacha scoring and anthelmintic use

Overall, only 37% of the goats needed to be drenched in the Fam group, and the drenched goats were dosed only 1.54 times on the average. During this 2-year experiment, the Famacha© method resulted in an average 0.57 dose per goat per kidding period instead of three doses for the control goats. These results did not differ significantly within the four different sub-flocks. Only one case of

Table 5
Percentage of drenched does and number of doses according to the experimental period in the Famacha© group [95% confidence interval, bootstrap estimation]. A given doe may be involved for 1, 2 or 3 kidding periods within the 2 years of the experiment

	Number of kidding does	Percentage of does drenched	Doses per doe drenched	Doses per doe present
Dry season year 1	46	63.0 [47.8; 76.1]	1.28 [1.10; 1.48]	0.80 [0.59; 1.02]
Inter season year 1	40	42.5 [27.5; 57.5]	1.06 [1.00; 1.18]	0.45 [0.28; 0.63]
Rainy season year 1	48	27.1 [14.6; 41.7]	2.23 [1.62; 2.92]	0.60 [0.29; 0.98]
Dry season year 2	40	45.0 [30.0; 60.0]	1.72 [1.33; 2.17]	0.78 [0.45; 1.13]
Inter season year 2	47	17.8 [6.7; 28.9]	2.25 [1.38; 3.13]	0.40 [0.13; 0.73]
Rainy season year 2	47	31.9 [19.1; 44.7]	1.40 [1.13; 1.67]	0.45 [0.26; 0.64]
Overall	*268*	*37.3* [*31.3*; *42.9*]	*1.54* [*1.37*; *1.70*]	*0.57* [*0.47*; *0.68*]

Table 6a
Frequency (percentage) of does according to number of doses and age of the doe in the Famacha© group. A given doe may be involved for 1, 2 or 3 kidding periods within the 2 years of the experiment

Age of the doe	Number of doses				
	0	1	2	3	4
1–3 years	67 (77.0%)	17 (19.5%)	2 (2.3%)	1 (1.1%)	–
4–5 years	55 (67.9%)	21 (25.9%)	2 (2.5%)	1 (1.2%)	2 (2.5%)
6–7 years	38 (52.1%)	20 (27.4%)	9 (12.3%)	4 (5.5%)	2 (2.7%)
8–10 years	8 (29.6%)	7 (25.9%)	9 (33.3%)	2 (7.4%)	1 (3.7%)
Overall	*168 (62.7%)*	*65 (24.3%)*	*22 (8.2%)*	*8 (3.0%)*	*5 (1.8%)*

Table 6b
Percentage of does drenched and number of doses according to the age of the doe in the Famacha© group [95% confidence interval, bootstrap estimation]. A given doe may be involved for 1, 2 or 3 kidding periods within the 2 years of the experiment

Age of the doe	Number of kidding does	Percentage of does drenched*	Doses per doe drenched*	Doses per doe present*
1–3 years	87	23.0^{a} [14.9; 32.2]	1.20^{ab} [1.00; 1.45]	0.28^{a} [0.16; 0.40]
4–5 years	81	32.1^{a} [22.2; 42.0]	1.42^{bc} [1.08; 1.86]	0.46^{a} [0.28; 0.65]
6–7 years	73	47.9^{b} [37.0; 58.9]	1.66^{c} [1.39; 1.97]	0.79^{b} [0.56; 1.03]
8–10 years	27	70.4^{c} [51.9; 85.2]	1.84^{c} [1.53; 2.21]	1.30^{c} [0.89; 1.70]

*Within each column data followed by different superscript letters differ significantly ($P < 0.05$).

clinical sign of mandible oedema (bottle jaw) was observed in the Fam group during the whole experiment, and no death was due to haemonchosis in Fam or control groups. Results per experimental period are displayed in Table 5. The percentage of drenched does was significantly higher ($P < 0.001$) during the dry season (55%) than during the inter- and rainy seasons (29%). The average drenching dose per present goat was also higher ($P < 0.05$) during the dry season (0.79) than during the inter- (0.41) or rainy season (0.53). The actual frequencies of does according to their age and their drenching requirement are shown in Table 6a. Spearman correlation between number of doses and age of the doe was 0.29 ($P < 0.0001$): the older the doe; the greater the anthelmintic need, which is supported by the bootstrap estimations displayed in Table 6b. However, some goats within every age class required three or four doses (13 cases).

Spearman correlations between the number of doses during a given period and the first evaluation of health indicators were 0.44, 0.32 and 0.32 for FamS, BCS and HCS, respectively ($P < 0.0001$). Because few animals were scored 1 (Table 2), the confidence intervals of the bootstrap estimates were nearly the same in comparison to those animals scored 2, and the corresponding data were pooled. Similarly, data from goats scored 3 and 4 were pooled as well. No doe was scored 5 at kidding time. Hence, for BCS, the overall drench need was 0.24 [0.16; 0.32] for goats scored 1 or 2 at kidding ($N = 122$) whereas it increased significantly to 0.86 [0.68; 1.04] for goats scored 3 or 4 ($N = 146$). Moreover, among the 13 goats needing 3 or 4 drenchings, 12 were scored 3 and 1 scored 4 at the first BCS evaluation. The same estimations according to the hair coat score at kidding were 0.36 [0.25; 0.49] for HCS 1 or 2 at kidding ($N = 154$) and 0.87 [0.68; 1.07] for HCS 3 or 4 ($N = 114$), respectively. In addition, the first evaluation of body condition, hair coat and Famacha scores at kidding were significantly better during the inter- and rainy seasons than during the dry season, for both the Fam and the control groups.

The repeatability of the number of treatment required for successive kidding periods was estimated to 0.41 ($P = 0.001$).

Despite the frequent drenching programme applied to the control group, three control goats were scored FamS 4 at least once for three successive kidding periods, 11 were scored 4 at two different periods, 27 during one period and one control goat was scored 5.

Table 7
PCV estimates (LS means) according to the age of the doe

Age of the doe	Famacha© group* (1)	Control group* (2)	P ((1) = (2))
1–3 years	22.9^{a}	27.8^{a}	<0.0001
4–5 years	22.8^{a}	26.1^{b}	<0.0001
6–7 years	22.6^{a}	25.8^{b}	<0.0001
8–10 years	19.8^{b}	23.5^{c}	<0.0001

* Within each column data followed by different superscript letters differ significantly ($P < 0.001$).

Table 8
Faecal egg counts (FEC) at the three measurements of each experimental period, according to the status of the doe (geometrical means)

FEC measurement	Famacha© group						Control group (three drenchings)		
	Does undrenched			Does drenched					
	1st	2nd	3rd	1st	2nd	3rd	1st	2nd	3rd
Dry season year 1	1543	2166	777	2487	2823	687	2094	1408	236
Inter season year 1	1508	1007	539	2117	2130	695	1842	293	488
Rainy season year 1	752	803	881	3491	2981	1161	694	163	267
Dry season year 2	71	914	385	186	870	341	137	641	288
Inter season year 2	1065	291	1058	2556	1557	1233	1589	38	311
Rainy season year 2	1153	1295	520	1895	2427	684	2202	1656	509

6.3. Packed cell volume

On the average, PCV values were significantly lower during the dry season than during both the inter- and the rainy season (21.9 versus 23.2 and 23.2, respectively, $P < 0.0001$). Throughout each experimental period, PCV values were significantly lower for the Fam animals than for the control group (22.0 versus 25.8, respectively, $P < 0.0001$). Within each group, PCV values decreased significantly as the age of the doe increased (Table 7). However, there was no evidence of any additional PCV value decrease due to the number of times the goats were used in the Fam group.

6.4. Pasture contamination

Geometrical means of FEC for the three evaluations of each experimental period are shown in Table 8. FEC means fluctuated the same way during a given experimental period without clear seasonal effect and peaked generally at the first or second evaluation.

The GIN egg deposition on pasture and the refugia size estimations are displayed in Table 9. The Fam

Table 9
Egg deposition and refugia size estimations (percentage of eggs deposition from goats having not be drenched previously during the current period) [95% confidence interval, bootstrap estimation]

	Famacha© group				Control group (egg deposition (no refugia) per day per ha (10^6))	
	Egg deposition/day/ha (10^6)		Refugia (%)			
	No AR[a]	*AR[a] year 1*	No AR[a]	*AR[a] year 1*	No AR[a]	*AR[a] year 1*
Dry season year 1	79.6 [65.6; 95.1]	*89.6 [74.6; 106.7]*	77 [65; 87]	*68 [56; 80]*	30.0 [22.9; 38.1]	*53.3 [42.1; 66.4]*
Inter season year 1	39.8 [33.4; 46.6]	*43.0 [35.7; 50.4]*	90 [82; 96]	*83 [74; 92]*	21.8 [15.4; 29.0]	*38.1 [27.7; 50.5]*
Rainy season year 1	56.9 [39.8; 78.4]	*68.7 [51.4; 86.9]*	81 [64; 95]	*65 [48; 84]*	16.9 [10.6; 24.8]	*31.9 [21.9; 44.1]*
Dry season year 2	39.2 [28.4; 50.4]	–	65 [44; 82]	–	22.8 [14.6; 33.4]	–
Inter season year 2	57.2 [39.3; 76.2]	–	81 [64; 95]	–	9.2 [6.6; 12.3]	–
Rainy season year 2	71.7 [54.1; 93.5]	–	89 [81; 95]	–	47.7 [32.2; 66.1]	–
Overall	*58.3 [52.0; 64.8]*	–	*79 [73; 85]*	–	*24.7 [20.5; 29.0]*	–

[a] AR: hypothesis of anthelmintic resistance against levamisole.

Table 10
Species percentages of larvae recovered according to the experimental period [95% confidence interval, bootstrap estimation]

	Haemonchus sp. (%)	*Trichostrongylus* sp. (%)	*Oesophagostomum* sp. (%)
Dry season year 1	31[21; 39]	69 [61; 79]	0
Inter season year 1	41 [25; 56]	59 [44; 75]	0
Rainy season year 1	39 [14; 76]	61 [24; 86]	0
Dry season year 2	71 [56; 84]	28 [15; 44]	0.3 [0.0; 1.2]
Inter season year 2	59 [49; 68]	38 [30; 46]	3.6 [1.0; 6.4]
Rainy season year 2	66 [49; 80]	32 [18; 50]	1.7 [0.9; 2.7]

goat egg deposition was estimated some 1.5–6.2 times the control egg deposition (2.4 times on average) when no anthelmintic resistance was hypothesised and 1.1–2.3 times assuming the anthelmintic was only 75% effective during year 1. However within the Fam group 65–90% (79% on average) of the egg output was produced by the goats that had not been drenched previously during the current kidding period. The lowest bound of the 95% confidence intervals did not fall below 44% during the 2 years of experiment. When anthelmintic resistance was a feature (year 1), the estimation of the percentage of egg output produced by the goats that had not been drenched was only decreased by 7–16%.

6.5. Gastrointestinal nematode population

The percentages of *Haemonchus* and *Trichostrongylus* larvae recovered from coprocultures are shown in Table 10. Average percentage of *Haemonchus* increased from 36% [28%; 45%] the first year, to 62% [54%; 70%] the second year, without seasonal pattern, and this was statistically highly significant ($P = 0.0012$ [0.0000; 0.012], bootstrap estimations). *Oesophagostomum* sp. was noticed only during the second year of experimentation, but remained rather sparse.

6.6. Kid production

The litter size at birth and the percentage of kids sent to artificial rearing were the same within the two experimental groups (Table 11). The death rate at weaning was significantly higher in the Fam group during the dry season only ($P = 0.03$).

The kid growth curves were fitted by a quadratic model. Kid birth weight was the same for both experimental groups (1.79 kg). The average daily gain (ADG) of kids from Fam goats was significantly lower than ADG of kids from control goats (88 g/day -0.00028 g/day^2 versus 99 g/day -0.00032 g/day^2, respectively, $P < 0.0001$). However, ADG was lower for kids from Fam goats needing to be drenched during the suckling period than from undrenched goats (81 g/day -0.00021 g/day^2 versus 95 g/day -0.00035 g/day^2, respectively, $P < 0.0001$), the latter group not being significantly different from the control ($P = 0.25$).

The average 75-day litter weight was significantly higher in the control group than in the Fam group, during the dry and inter seasons (Table 12).

After weaning, differences in growth rate were due to differences in the 75-day weight and post-weaning conditions, without any other long lasting effect of the application of Famacha© method to the dam ($P > 0.5$).

7. Discussion

There are several studies about the application of the Famacha© method to goats reared under high *Haemonchus* challenge (Vatta et al., 2001, 2002; Bath et al., 2001; Kaplan et al., 2004; Ejlertsen et al., 2006), or only low *Haemonchus* challenge (Koopmann et al., 2006). All but the latter agreed to Famacha© reliability in goat, provided *Haemonchus* was identified as the main cause of anaemia. In general, the present results

Table 11
Litter size, percentage of kids reared artificially and death rate at weaning, according to the season [95% confidence interval, bootstrap estimation]

	Litter Size	Kids reared artificially (%)	Death rate at weaning (%)		
			Famacha© group (1)	Control group (2)	P ((1) = (2))
Dry season	2.64	33	19.0 [12.9; 25.9]	10.9 [5.7; 17.2]	0.03
Inter season	2.25	20	12.1 [7.0; 17.9]	11.0 [6.5; 16.1]	0.38
Rainy season	2.20	16	21.0 [15.0; 26.9]	17.2 [11.4; 23.4]	0.19
Overall	*2.35*	*23*	*17.5 [14.0; 21.0]*	*13.2 [10.2; 16.5]*	*0.04*

Table 12
Seventy-five-day litter weight estimations (kg) according to the season [95% confidence interval, bootstrap estimation]

	Famacha© group*	Control group*	Difference	P (Diff = 0)
Dry season	9.8^{ab} [8.6; 11.0]	11.8^{c} [10.4; 13.0]	−2.0	0.01
Inter season	11.2^{a} [9.9; 12.5]	13.2^{d} [11.8; 14.5]	−2.0	0.02
Rainy season	9.8^{b} [8.8; 10.8]	10.3^{e} [9.2; 11.5]	−0.6	0.23
Overall	*10.2 [9.5; 10.9]*	*11.7 [11.0; 12.5]*	*−1.5*	*0.002*

* Within each column data followed by different superscript letters differ significantly ($P < 0.05$).

are in accordance with those presented above. However, criteria like sensitivity and specificity which rely upon the actual percentage of positive and negative cases are not easy to compare, and that justifies the use of Kappa statistic (Ansari-Lari, 2005).

The Kappa statistic showed that agreement between the Famacha© method and the PCV ranged from minimal to nearly fair, this maybe due to difficulties in discriminating colour bounds between score classes as well as to uncertainty in PCV determination (±1 unit). This highlights: (1) the importance of scoring conditions which may be subjective, since colours of the eye mucosa and chart may be seen differently under shade or sunlight and then be scored differently; (2) the critical point represented by the accuracy of the colour bound between the scores 3 an 4 and the corresponding PCV cut-off which must probably be higher in parasite susceptible than in highly resistant/resilient breeds. However, choosing to treat goats falling to FamS 4 or 5 provided a rather good predictive value of positive (40% of the positive goats having a measured PCV value lesser or equal to 16, and 66.5% a measured PCV value lesser or equal to 19), whereas only 3% of goats with PCV values less than or equal to 15 were undetected at any given time. As the goats were scored every week, the risk of missing a salvage treatment seemed to be very low. For these reasons it appears that the Famacha© method is suitable and safe for monitoring goat haemonchosis in humid tropics, at least when based on a weekly checking, and provided anaemia is not due to other diseases, such as anaplasmosis or theileriosis (Chartier et al., 2000; Ejlertsen et al., 2006). On the farm, the weekly checking constraint may be reduced by considering only goats in medium to poor body and hair coat condition, which can be easily identified within the flock and separated before handling. Such animals are much more likely to require drenching than the animals in good condition, as suggested by the positive relationship between BCS, HCS and FamS.

Although pastures were irrigated, season has obvious immediate and delayed effects on most animal parameters. Weather affects the grazing behaviour, and farmers in the West Indies know that Creole goats are reluctant to stay under the rain or graze wet grass. Feeding level during early pregnancy govern the response to GIN during the periparturient period (Valderrabano et al., 2006), and can potentially affect milk production and offspring growth rate. Hence rain frequency during pregnancy may have effect on BCS at kidding and thus on the ability to face parasitism during the nursing period. Similarly, rain frequency during the nursing period may also influence milk production, kid growth rate and doe BCS at weaning and consequently goat reproduction rate and prolificacy (Delgadillo et al., 1997). As an example, the good climatic and grazing conditions during the intermediate season allowed a higher litter size for the following dry season kidding, whereas the unfavourable grazing conditions in animals that were pregnant during the rainy season resulted in poor body score and PCV at kidding (dry season) for the concerned does. This poor body condition resulted in higher drenching needs and lower kid growth rate during the dry season. Such seasonal effects were evident in grazing goats even in parasite free condition (Ortega-Jimenez et al., 2003, 2005).

The Famacha© method was not applied to the kids, as they were considered as a means to assess the effect of Famacha© on the doe milk production. Nevertheless they contributed towards the pasture contamination. Although FECs were not taken from the kids, egg output was almost certainly nil or extremely low during the first 5–6 weeks after birth (milk based diet), and during the 3 weeks following the first drenching (pre-patent period). Hence the kids should have made a significant contribution only during the last 2 or 3 weeks before weaning. During this short period, the average FEC could reach about 2000 epg (Mandonnet et al., 2001) and a 7 kg weaned kid could pass about 100 g of faeces per day, so the kid group could drop at the most some 12×10^6 egg/day/ha, during the very last days before weaning. For the whole period of the study this represents probably less than 5% of the total pasture contamination, so the benefit of the Famacha© would not be significantly affected.

The experimental design did not allow for direct measurement of the parasite population size. Moreover, non-linear FEC evolution and events such as self-cure (Dargie and Allonby, 1975) were not taken into account. Despite this, the indirect estimation of refugia size, about 79% of egg output passed by undrenched animals tends to suggest that the percentage of infective larvae derived from worms actually challenged during a given kidding period was about 21% of the population. The underlying hypothesis was that the anthelmintic resistance status has no significant effect on the development rate from egg to infective larvae stage and establishment rate. This has been shown on benzimidazole-resistant and -susceptible *Teladorsagia circumcincta* (Elard et al., 1998). Although no information about such feature is available for levamisole-resistant *Trichostrongylus*, any marked advantage in free-living stages due to resistance allele would be unlikely and the accuracy of the refugia estimation

relied only on the accuracy of the egg output estimations. Due to the calculation method, the refugia size may be overestimated during the first year of experiment, when an unknown percentage of levamisole resistant *Trichostrongylus* adults or arrested larvae possibly survived and held the cleaned niches. This resistance was suspected following poor results of control group drenching and also observed (Faecal Egg Count Reduction Test) in another flock of the farm (unpublished data). However, the refugia size estimates according to a hypothetical 25% anthelmintic resistance rate (expressed by a faecal egg count reduction of 75% instead of 100%) were reduced by 7–16% only, and the estimates of GIN contamination were increased by 14% in Fam group instead of 80% in the control group where no refugia was hypothesised. Also, the lowest bound of the 0.95 confidence interval of the refugia estimates (44%) suggests that the Famacha© method may work without the risk of marked bottleneck effect on the worm population, as experienced for each systematic drenching of the whole flock. All these refugia estimations done on the Creole goat flock seem largely over the 15% recommendation of undrenched animal in the FAO report, p. 82 (Bath et al., 2001), so using Famacha© method in suckling Creole goat should allow for an efficient dilution of resistance alleles and then slow their spreading within GIN populations.

Since the kids were subjected to the same parasite challenge and drenching policy irrespective of their dam status, the statistical model enabled the identification of the differences in milk production due to the drenching policy of the dam as the principal factor accounting for the differences in kid growth. On the average, that represents 8% decrease when Famacha© method is used. On closer observation, most of the slow growing kids were from the goats that were unable to cope with the parasites.

Creole goats have been subjected to continuous mixed parasite infection under field conditions since centuries, resulting in a good level of resistance to these parasites. Therefore, acute haemonchosis rarely occurs in adult goats, and trickle infection results primarily in anaemia, but also, in decreasing intake, body condition and milk or meat production (Ameen et al., 2006). Such effects on production are very similar to those due to *Trichostrongylus* infection (Steel, 1972; Roseby, 1973; Barker, 1973; Coop et al., 1976). The experimental design did not take into account the estimation of the respective contributions of *Haemonchus* and *Trichostrongylus* in individual goats. However, the rather high correlations between Famacha© and body condition scores, and between body condition and PCV, coupled with the poorer growth performances of kids from lesser resilient goats (according to anaemia criterion) were consistent with *Haemonchus–Trichostrongylus* co-infection rather than clearly separate infection.

The increased *Haemonchus* percentage within the second year seemed to be mainly due to the withdrawal of levamisole by the end of the first year of experiment, and also to the more rainy conditions (Fig. 1) prevailing during the year 2 dry season (Simon et al., 1996). Using the Famacha© method did not seem to prevent the predominance of *Haemonchus* though it was tailored only to control this genus. Moreover the need for drenching, expressed either as the percentage of goat drenched or as the number of doses per goat, did not differ significantly between the years. In other terms, the Famacha© method allows to detect does unable to cope with the parasite community *Haemonchus–Trichostrongylus* considered as a whole rather than as independent factors (Whitlock et al., 1972). This is a point of interest for the long-term suitability of the method.

Many studies have been carried out on the effects of nutrition in relation to response to parasitism, as reviewed by Coop and Holmes (1996), or Coop and Kyriazakis (2001). However, most of these studies are based on experimental infection of penned animals, to allow accurate monitoring of both feeding and parasite levels. Only few (Kahn et al., 2003) dealt with such relationship in grazing conditions. The present results support the hypothesis of nutrition partitioning between foetus growth or milk production and immunity response against gastrointestinal parasites (Houdijk et al., 2001). Does must use their body reserves during the periparturient period, when demands exceed available energy and/or protein in the diet. Animals in good body condition at kidding time were generally able to cope with parasites and to produce enough milk for their kids, whereas animals in poor condition were not. Consequently a suitable feeding plan during pregnancy should reduce the anthelmintic need by increasing the body reserves of the does at kidding time.

As expected, Famacha© method allowed a drastic reduction in anthelmintics use by suckling goats. From a goat farmer point of view, the 2.43 anthelmintic doses saved per doe are to be balanced by a 1.5 kg live weight loss for each 75-day-old litter. In the FWI, this represents an additional loss of about 5.4–8.7 € per goat per kidding period, depending on the cost of the anthelmintic (from 0.12 to 1.48 € per dose) whereas meat kids are sold at about 6 € per kg live weight. Generally, in many countries within the humid tropics, the cost ratio of anthelmintics to goat products are far

higher, and this should make the Famacha© method obviously profitable, especially in drier areas with less parasite (Ejlertsen et al., 2006). Anyway the cost of this method should be considered as little in regard to the production losses in case of generalised anthelmintic resistance, which could reach about 50% of the flock production potential in a rather well adapted breed as Creole goat (Aumont et al., 1997b) and may be higher in a GIN susceptible "improved" breed.

The actual culling policy results in eliminating the goats failing to wean enough kid weight, irrespective of their age. This may be due to several causes, including repeated breeding failure, udder or foot disease, and very poor body condition at weaning. Some young or mature goats may be poorly resilient, though generally, goat resilience measured either by the PCV or by the Famacha© scoring and/or drenching needs, is lower in older animals (Table 6a). Since there was no evidence that using Famacha© driven drenching over successive kidding periods had any additional effect upon resilience, and given the high repeatability coefficient for drenching requirement and the relatively poor growth of kids from does that needed drenching, it seems reasonable to suggest that Famacha© method presents some potential to be used as a tool for culling management of the breeding female flock, in addition to other methods.

Acknowledgements

The authors thank warmly the Gardel experiment unit staff for the flock and experiment management. Special thanks to Ms. E. Verdol Vin for her participation in field and lab work, and to Ms. Libby Onyeka for her very useful suggestions. The two anonymous reviewers are gratefully acknowledged for their very constructive comments. This study was funded by the "Région Guadeloupe" and the European Agricultural Guidance and Guarantee Fund (EAGGF or "FEOGA").

References

Ameen, S.A., Joshua, R.A., Adedeji, O.S., Ige, A.O., Oyebanji, B.O., Ogundola, A.F., Rafiu, T.A., 2006. Experimental studies on gastrointestinal nematode infection; clinical observations and haematological changes following *Haemonchus contortus* infection in West African Dwarf (WAD) kids. J. Anim. Vet. Adv. 5, 511–514.

Ansari-Lari, M., 2005. Comparison between two tests results, [kappa] statistic instead of simple overall agreement. Vet. Parasitol. 133, 369–370.

Aumont, G., Gruner, L., 1989. Population evolution of the free-living stage of goat gastrointestinal nematodes on herbage under tropical conditions in Guadeloupe (French West Indies). Int. J. Parasitol. 19, 539–546.

Aumont, G., Pouillot, R., Mandonnet, N., 1997a. 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.

Aumont, G., Pouillot, R., Simon, R., Hostache, G., Varo, H., Barre, N., 1997b. Intestinal parasitism of small ruminants in the French West Indies [French]. INRA Prod. Anim. 10, 79–89.

Barger, I.A., Siale, K.I., Banks, D.J.D., Le Jambre, L.F., 1994. Rotational grazing for control of gastrointestinal nematodes of goats in a wet tropical environment. Vet. Parasitol. 53, 109–116.

Barker, I.K., 1973. A study of the pathogenesis of *Trichostrongylus colubriformis* infection in lambs with observations on the contribution of gastrointestinal plasma loss. Int. J. Parasitol. 3, 743–757.

Barre, N., Amouroux, I., Aprelon, R., Samut, T., 1997. Anthelmintic resistance of gastrointestinal nematodes in goat farms in Guadeloupe (French West Indies) [French]. Rev. Elev. Med. Vet. Pays. Trop. 50, 105–110.

Bath, G.F., Hansen, J.W., Krecek, R.C., Van Wyk, J.A., Vatta, A.F., 2001. Sustainable approaches for managing haemonchosis in sheep and goats. Final Report of Food and Agriculture Organization (FAO). Technical Co-operation Project TCP/SAF/8821(A). FAO, Rome, Italy, 2001, pp. 129.

Bath, G.F., Malan, F.S., Van Wyk, J.A., June 1996. The "FAMACHA" ovine anaemia guide to assist with the control of haemonchosis. In: Proceeding of the 7th Annual Congress of the Livestock Health and Production Group of the South African Veterinary Association, Port Elizabeth, pp. 152–156.

Chartier, C., Itard, J., Morel, P.C., Troncy, M., 2000. Précis de parasitologie vétérinaire tropicale. Universités Francophones AUPELF-UREF, editions Tec & Doc et EM Inter, ISBN 2-7430-0330-8, ISSN 0993-3948 (AUF).

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. [French]. Thèse pour le diplôme d'Etat de Docteur Vétérinaire, Ecole Nationale Vétérinaire de Nantes (France), pp. 1–78.

Coop, R.L., Holmes, P.H., 1996. Nutrition and parasite interaction. Int. J. Parasitol. 26, 951–962.

Coop, R.L., Kyriazakis, I., 2001. Influence of host nutrition on the development and consequences of nematode parasitism in ruminants. Trends Parasitol. 17, 325–330.

Coop, R.L., Sykes, A.R., Angus, K.W., 1976. Subclinical trichostrongylosis in growing lambs produced by continuous larval dosing. The effect of performance and certain plasma constituents. Res. Vet. Sci. 21, 253–258.

Dargie, J.D., Allonby, E.W., 1975. Pathophysiology of single and challenge infections of *Haemonchus contortus* in merino sheep: studies on red cell kinetics and the "self-cure" phenomenon. Int. J. Parasitol. 5, 147–157.

Delgadillo, J.A., Malpaux, B., Chemineau, P., 1997. Reproduction of goats in the tropics and subtropics [French]. INRA Prod. Anim. 10, 33–41.

Ejlertsen, M., Githigia, S.M., Otieno, R.O., Thamsborg, S.M., 2006. Accuracy of an anaemia scoring chart applied on goats in subhumid Kenya and its potential for control of *Haemonchus contortus* infections. Vet. Parasitol. 141, 291–301.

Elard, L., Sauve, C., Humbert, J.F., 1998. Fitness of benzimidazole-resistant and -susceptible worms of T*eladorsagia circumcincta*, a nematode parasite of small ruminants. Parasitology 117, 571–578.

Gruner, L., Kerboeuf, D., Beaumont, C., Hubert, J., 1986. Resistance to benzimidazole of *Haemonchus contortus* utkalensis in sheep on martinique. Vet. Rec. 118, 276.

Hennessy, D.R., Sangster, N.C., Steel, J.W., Collins, G.H., 1993. Comparative pharmacokinetic behavior of albendazole in sheep and goats. Int. J. Parasitol. 23, 321–325.

Houdijk, J.G.M., Jessop, N.S., Kyriazakis, I., 2001. Nutrient partitioning between reproductive and immune functions in animals. In: Proceedings of the Nutrition Society, 60. pp. 515–525.

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. Vet. Parasitol. 114, 15–31.

Kaplan, R.M., 2004. Drug resistance in nematodes of veterinary importance: a status report. Trends Parasitol. 20, 477–481.

Kaplan, R.M., Burke, J.M., Terrill, T.H., Miller, J.E., Getz, W.R., Mobini, S., Valencia, E., Williams, M.J., Williamson, L.H., Larsen, M., Vatta, A.F., 2004. Validation of the FAMACHA(c) eye color chart for detecting clinical anemia in sheep and goats on farms in the southern United States. Vet. Parasitol. 123, 105–120.

Koopmann, R., Holst, C., Epe, C., 2006. Experiences with the FAMACHA (c)-eye-colour-chart for identifying sheep and goats for targeted anthelmintic treatment. Berl. Munch. Tierarztl. Wochenschr. 119, 436–442.

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

Ortega-Jimenez, E., Alexandre, G., Arquet, R., Coppry, O., Mahieu, M., Xande, A., 2003. Consequences of post-grazing residues control and birth season on the body traits, reproductive performance and offspring's growth of suckling goats and ewes reared at pasture in Guadeloupe (FWI). Asian-Aus. J. Anim. Sci. 16, 1108–1117.

Ortega-Jimenez, E., Alexandre, G., Boval, M., Archimede, H., Mahieu, M., Morand-Fehr, P., 2005. Intake and milk production of suckling Creole goats reared at pasture in humid tropics according to the post-grazing residue management. Small Rumin. Res. 59, 217–227.

Palm, R., 2002. Utilisation du bootstrap pour les problèmes statistiques liés à l'estimation des paramètres. Biotechnol. Agron. Soc. Environ. 6, 143–153.

Roseby, F.B., 1973. Effects of *Trichostrongylus colubriformis* (Nematoda) on the nutrition and metabolism of sheep. 1. Feed intake, digestion, and utilization. Aust. J. Agric. Res. 24, 947–953.

Simon, R., Aumont, G., Aprelon, R., Barre, N., 1996. Herbage density of third-stage larvae of goat strongyles during the dry season in Guadeloupe. Ann. N. Y. Acad. Sci. 791, 412–420.

Steel, J.W., 1972. Effects of the intestinal nematode Trichostrongylus colubriformis on ruminal acetate metabolism in young sheep. In: Proceedings of the Australian Society of Animal Production, 9. pp. 402–407.

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

Van Wyk, J.A., 2001. Refugia—overlooked as perhaps the most potent factor concerning the development of anthelmintic resistance. Onderstepoort J. Vet. Res. 68, 55–67.

Vatta, A.F., Krecek, R.C., Letty, B.A., Van der Linde, M.J., Grimbeek, R.J., De Villiers, J.F., Motswatswe, P.W., Molebiemang, G.S., Boshoff, H.M., Hansen, J.W., 2002. Incidence of *Haemonchus* spp. and effect on haematocrit and eye colour in goats farmed under resource-poor conditions in South Africa. Vet. Parasitol. 103, 119–131.

Vatta, A.F., Letty, B.A., Van der Linde, M.J., Van Wijk, E.F., Hansen, J.W., Krecek, R.C., 2001. Testing for clinical anaemia caused by *Haemonchus* spp. in goats farmed under resource-poor conditions in South Africa using an eye colour chart developed for sheep. Vet. Parasitol. 99, 1–14.

Whitlock, J.H., Crofton, H.D., Georgi, J.R., 1972. Characteristics of parasite populations in endemic trichostrongylidosis. Parasitology 64, 413–427.

Retour p. 45

Annexe 8 : Feasibility of a "leader-follower" grazing system instead of specialised paddocks with regard to integrated gastrointestinal control in small ruminant farming

Auteurs : MAHIEU Maurice, GAUTHIER Valérie, ARQUET Rémy, CALIF Brigitte, ARCHIMÈDE Harry, MANDONNET Nathalie

Soumis à Tropical Animal Health and Production le 26/08/2014

Version révisée soumise le 24/11/2014 (n° TROP-D-14-00845R1)

Retour p. 48

Tropical Animal Health and Production

Feasibility of a "leader follower" grazing system instead of specialised paddocks with regard to integrated gastrointestinal control in small ruminant farming

–Manuscript Draft--

Manuscript Number:	TROP-D-14-00845R1
Full Title:	Feasibility of a "leader follower" grazing system instead of specialised paddocks with regard to integrated gastrointestinal control in small ruminant farming
Article Type:	Short Communications
Corresponding Author:	Maurice Mahieu INRA Petit Bourg, GUADELOUPE
Corresponding Author Secondary Information:	
Corresponding Author's Institution:	INRA
Corresponding Author's Secondary Institution:	
First Author:	Maurice Mahieu
First Author Secondary Information:	
Order of Authors:	Maurice Mahieu
	Valérie GAUTHIER
	Rémy ARQUET
	Brigitte CALIF
	Harry ARCHIMEDE
	Nathalie MANDONNET
Order of Authors Secondary Information:	

Powered by Editorial Manager® and ProduXion Manager® from Aries Systems Corporation

Manuscript
Click here to download Manuscript: TROP-S-14-01196-rev.docx
Click here to view linked References

Feasibility of a "leader follower" grazing system instead of specialised paddocks with regard to integrated gastrointestinal control in small ruminant farming

MAHIEU Maurice[1], GAUTHIER Valérie[1], ARQUET Rémy[2], CALIF Brigitte[1], ARCHIMÈDE Harry[1], MANDONNET Nathalie[1]

[1]INRA, UR143 Recherches Zootechniques, Domaine Duclos, F-97170 PETIT BOURG, Guadeloupe, France

[2]INRA, UE1294 PTEA, Gardel, F-97160 Le MOULE, Guadeloupe, France

Author's email: maurice.mahieu@antilles.inra.fr

Abstract

In the humid tropics, small ruminant farmers have to deal with gastrointestinal parasitic nematodes (GIN), among which anthelmintic resistant (AR) populations are rapidly spreading. Although targeted selective treatments (TSTs) are being increasingly used in breeding stock, suppressive drenchings remain the rule in younger animals, for safety and ease of implementation. Until now the weaned animals are grazed on dedicated plots, making the selection and spread of AR parasites inevitable. Given that GINs disseminate through pastures, we compared the usual grazing system (Control) to a "Leader-Follower" grazing system (LF) for managing the entire GIN population at the farm scale. There were no significant differences between treatments for the dam reproductive parameters and level of GIN infection, nor for the pre-weaning death rate of the kids. The 70-d weight of the litter was significantly lower for LF than for control goats (9.71 *vs.* 11.64 kg, $P < 0.05$). Although they were more infested with GIN (1860 *vs.* 966 epg, $P < 0.05$), the LF weaned animals grew faster (53.4 *vs.* 40.8 $g.d^{-1}$, $P < 0.05$) and their death rate was lower (4.0 *vs.* 7.7%, $P < 0.05$).

The overall animal output was estimated to 1010 [911; 1086] *vs*. 966 [885; 1046] kg LW.ha^{-1}.year^{-1}, for LF and Control grazing systems, respectively. Additionally the LF grazing system would make the stocking rate easier to manage. Therefore it is to be recommended as a complement of TSTs in sustainable small ruminant farming.

Key words

Gastrointestinal nematodes; anthelmintic resistance; leader-follower grazing system; small ruminants.

Introduction

The small ruminant industry of the French West Indies has developed during the last four decades (Leimbacher et al. 1986) as a result of the efforts of professional organisations (co-operatives, breeders' associations...), and has resulted in the large adoption of some key elements for the herd and grazing management: i) rotational grazing (1 week in, 4 to 5 weeks out) aiming at avoiding the peak in population of infective larvae of gastrointestinal nematodes (Aumont and Gruner 1989), while offering good quality grass (Xandé et al. 1985); ii) reproduction schedule (often 3 lambings/kiddings in 2 years) with the use of male effect (Chemineau 1985) combined with sudden weaning; iii) for most of the farmers producing meat goats (11-12 months and older) or meat lambs (8 months and older), grazing weaned male and female groups on dedicated separate paddock systems (roughly 1/6 of the whole pasture area for each) to avoid premature reproduction (Chemineau et al. 1984); and iv) suppressive drenching for the control of gastrointestinal nematodes (Chemineau and Grudé 1985, Aumont et al. 1991). Unfortunately, such suppressive drenching resulted in selecting and spreading anthelmintic resistant (AR) populations of gastrointestinal nematodes (GIN) in the French West Indies (Gruner et al. 1988, Barré et al. 1997, Mahieu et al. 2014) as

46 elsewhere in the world (Kaplan and Vidyashankar 2012). A first attempt to address this issue
47 was the implementation of targeted selective treatments (TSTs), and more especially the
48 Famacha© method (Bath et al. 1996) and its local adaptation to goats (Mahieu et al. 2007).
49 TSTs allow a number of anthelmintic susceptible GINs to survive in the refugia formed by
50 undrenched animals (Van Wyk 2001, Gaba et al. 2010) and to participate to the largest extent
51 in the next GIN generation. The Famacha© method is now used routinely in the INRA
52 experimental unit as well as in an increasing number of Guadeloupe and Martinique private
53 farms, but only on breeding animals. Farmers and technicians share with us the opinion that,
54 considering the very high GIN pressure and its potential impact (Aumont et al. 1997), the very
55 fast worsening of parasitism symptoms and the animal welfare issues, TSTs cannot be used
56 safely on young animals. Systematically drenching the suckling kids or lambs only has a
57 small effect on the refugia size and then on the selection pressure of AR individuals within the
58 GIN population of the breeding female herds (Mahieu, et al. 2007). In contrast, GIN
59 populations on the plots allocated to weaned males or females are submitted to a very high
60 selection pressure, and very few but most likely AR worms would be passed from dam to
61 weaned kid/lamb plots through newly weaned animals because these animals are
62 systematically drenched at weaning and during the post-weaning period. Therefore, AR GINs
63 are likely to spread through these groups of weaned animals and paddocks, which would
64 sooner or later result in the total failure of GIN control and then in jeopardising small
65 ruminant production. For the dissemination stage of GIN living on the pasture, the most
66 obvious way to address this issue would be to share the same GIN population between the
67 breeding female herd (with TSTs) and weaned groups (no TST), by grazing them successively
68 on the same plots through a "leader-follower" grazing system. The present study aims to
69 evaluate the impact of changing the grazing design on the small ruminant production at the

70 farm level, before recommending such a leader-follower grazing system to small ruminant
71 farmers in the humid tropics.

72 Materials and methods

73 The experiment was conducted under farm-like conditions at the INRA experimental farm in
74 Guadeloupe (16°20N, 61°20W). The climate was oceanic-tropical: the mean monthly
75 maximum temperature was in the range 29–31°C, mean minimum 22–25 °C, annual rainfall
76 was 1000–1500 mm, with a dry season between January and July, and pastures were irrigated
77 during the dry season if needed. Pastures received on average 600 kg.year^{-1} of a 27-9-18
78 fertiliser, and the grass re-grew for 4 weeks between two grazing events. The Creole goat of
79 Guadeloupe, a local breed related to the West African Dwarf goat, is reared at pasture all year
80 round. Three mating periods were planned every year, each one involving half of the herd.
81 Only the two stronger kids were left with goats giving birth to more than two; the
82 supernumerary kids were sent to artificial milking and no longer taken into account for the
83 present experiment. The offspring were weaned between 10 and 12 weeks of age, and the
84 dams mated immediately after weaning to benefit from the use of the male effect (Chemineau
85 et al. 1983, Mahieu et al. 2008).
86 The experimental design involved 233 multiparous breeding goats, 1105 offspring (from 626
87 kiddings) and 737 weaned female kids during 7 breeding periods from 2007 to 2010. The
88 weaned female goats were monitored for 4 months after the weaning date (120 days).
89 Primiparous goats, weaned females over 7 months-old and weaned males were involved in
90 other experiments and were not available for this study.
91 Two grazing systems were compared, as illustrated in Figure 1:
92 The "Leader-Follower" (LF) in which the pasture (2.13 ha) was divided into 10 plots; each
93 one was grazed successively with 50-55 weaned female goats ("Leader") for 3.5 days and

94 immediately after that with 29-31 pregnant goats and 23-25 goats with their progeny until
95 weaning ("Follower") for 3.5 days. The pasture was rested for 4 weeks between two grazing
96 sequences.
97 The "Control" (C) groups had the pasture divided into 3 groups of 5 plots; each group was
98 grazed by 50-52 suckling goats with their progeny until weaning (SC, 1.2 ha) or 62-64
99 pregnant goats (PC, 1.44 ha) or 50-55 weaned female goat (WC, 0.42 ha). Each plot was
100 grazed for one week and rested for 4 weeks.
101 The stocking rate was set at about 600 $kg.LW^{0.75}.ha^{-1}$ at the beginning of each breeding period
102 (the day following the weaning), with particular attention paid to the balance between the LF
103 and the WC and SC groups; pregnant goats were sometimes used to complete the stocking
104 rate of the suckling control or the follower group of LF. The actual number of individuals of
105 each physiological stage and the initial stocking rate varied slightly from one breeding period
106 to another.
107 All adult goats received 300 $g.day^{-1}.head^{-1}$ and all weaned females received 100 $g.day^{-1}.head^{-1}$
108 of commercial pellets (15% crude protein).
109 Famacha©-driven TSTs were implemented for controlling the GIN infection in the adult
110 goats (Bath, et al. 1996, Mahieu, et al. 2007) whereas the kids were drenched at about 1.5
111 months, at weaning and at 2 month intervals after weaning. All drenched animals were given
112 orally 0.3 mg moxidectin per kg LW (Cydectine® 0.1%, Pfizer Olot S.L.U. Ctra. Camprodon
113 s/n "La Riba" 17813 Vall de Bianya, Girona, Spain). Individual drenchings were recorded for
114 the adult goats, and their faecal egg count (FEC) was measured twice during a breeding
115 period (namely at the first kidding week and 5 weeks later). FEC was also measured in
116 weaned female goats aged 7 months (2 faecal samplings at 6 and 7 weeks after the previous
117 drenching). Each faecal sample was collected from the rectum and analysed by a modified
118 McMaster method providing a detection level of about 30 epg (Aumont et al. 1995). The body

119 condition scores (BCS: 5 classes from 1: very fat to 5: very lean) of the adult goats were
120 evaluated at kidding and at weaning.
121 The reproductive parameters and death events were recorded. The suckling kids were weighed
122 at birth and fortnightly until weaning.
123 The weaned goats were weighed at weaning and then monthly during the post-weaning period
124 and death events were recorded.
125 Chi-square tests were used for comparing reproductive parameters, death rates, BCS
126 distributions and goat drenching needs between treatments (Warnes 2013).
127 The FEC data being over-dispersed, they were analysed with a generalized linear model
128 taking into account the distribution, and the means of each treatment were compared using the
129 Tukey test (Mendiburu 2014). FEC are expressed as arithmetic means for clarity.
130 The individual growth parameters were estimated independently for the pre- and post-
131 weaning periods, by using a quadratic mixed model (Pinheiro et al. 2014).

$$LWij = \alpha i + \beta i \times tj + (\gamma i \times t^2 j) + \varepsilon ij$$

132 Where LW_{ij} was the live weight of the i^{th} individual at the j^{th} time t, and αi, βi and γi the
133 individual estimates of the growth curve parameters and εij the residual. The value of t was
134 set to 0 at the birth day (pre-weaning) or at the weaning day (post-weaning).
135 The individual live weights of the suckling kids were calculated on the 70^{th} day. The estimates
136 of goat production were calculated for each goat as the sum of the 70-d estimates of kids alive
137 at weaning.

138 The individual kid production during the post-weaning period was estimated by multiplying
139 the parameter estimate β_i by the duration of the post-weaning period (the estimate of γ being
140 not found significantly different from 0, see results below). The dead kid weights were set to
141 0 regardless of the death dates during the monitoring period.

142 The pre-weaning estimates of individual growth parameters and 70-day live weights were
143 compared using an analysis of variance model taking into account the sex of the kid, the litter
144 size at birth, the litter size during the suckling phase, the breeding period, and the grazing
145 system.

146 The models of post-weaning performance analyses took into account the breeding period and
147 the grazing system, with the weaning live weight as co-variable. Means for each treatment
148 were tested for differences using the Tukey test (Mendiburu 2014).

149 The digestible organic matter intake (dOMi) was monitored on the weaned groups according
150 to Fanchone et al. (2010) on 10 animals in each treatment (2 periods of measurement for each
151 animal, about 1.5 and 3.5 months after weaning). The total faecal output was collected for 5
152 days (from Monday to Friday), weighed and daily aliquots were pooled for further analyses:
153 dry matter, organic matter and faecal crude protein contents. The digestibility of the organic
154 matter was calculated according to Fanchone et al. (2009):

$$dOM = (88.4 - \ 263.9 \ CPf \ )/100$$

155 where dOM represents the digestibility of organic matter (percent) and CPf the crude protein
156 content of the faeces (g CP per kg of organic matter).
157 The organic matter intake OMI was calculated as follows:

$$OMI = OMf \ \ (1 - dMO)$$

158 where OMf represents the amount of organic matter in the overall daily faeces
159 Therefore, the digestible organic matter intake dOMI was easily calculated:

$$dOMI = dOM \times OMI$$

160 The individual dOMi values based on metabolic weight were calculated for each monitoring
161 period and compared using an analysis of variance model taking into account the monitoring
162 period and the grazing system. Means for each treatment were tested for difference using the
163 Tukey test (Mendiburu 2014).

164 The few papers available on the effect of sex on feed conversion efficiency (FCE) in
165 ruminants indicate very little or even no significant differences in FCE (Anandan et al. 1996,
166 Perez et al. 2001, Furusho-Garcia et al. 2004, Pal et al. 2004, Christodoulou et al. 2008,
167 Rodriguez et al. 2008). Therefore we hypothesised that growing male and female Creole goats
168 have roughly the same FCE, meaning that the same output may be obtained from the same
169 resource utilisation. We assume that the growth was linear for the 8 months that they usually
170 spend before they leave to be sold or enter the breeding herd (Alexandre 1991). Consequently
171 we used data from the post-weaning females for estimating the corresponding performances
172 of the post weaning males and females. For the control grazing system, we set the number of
173 post-weaning kids to the actual count of kids weaned, and set the paddock size accordingly.
174 We hypothesised that the farm area and the breeding goat number were the same in the LF
175 and control grazing systems. We also assumed that the post-weaning death rate was not sex-
176 dependent, but varied only with the grazing system, with everything else being equal. Given
177 that we simulated the annual goat production per ha at the grazing system (farm) level, by
178 summing the individual dam production of weaned kid and the estimates of post-weaning kid
179 production from the individual growth performance combined with the count of weaned kids
180 after deducting the death rate. A 5000 bootstrap re-sampling of individuals allowed the 95%
181 confidence intervals of the overall production of the two grazing systems to be estimated.

182 We hypothesised that the stocking rate varied linearly according to kid growth performances
183 for each grazing system. The changes in stocking rate expressed as metabolic weight per ha
184 (kg $LW^{0.75}.ha^{-1}$) were estimated every 4 months, before and after the newly weaned kids
185 moved from the breeding to the post-weaning plots and the oldest kids (i.e. weaned 8 months
186 before) were sold and left the post-weaning plots. Changes in stocking rate caused by a ±10%
187 change in the net production results were also calculated for each grazing system.

188 We used the R statistical software (R_Development_Core_Team 2014) for all calculations,
189 and all treatments were tested for difference at 5% level of confidence.

190 Results and discussion

191 Main reproductive parameters (fertility or kidding rate = 0.88; prolificacy or litter size = 2.21;
192 death rate at birth = 0.076 or during the pre-weaning period = 0.209) did not differ
193 significantly between grazing systems ($P > 0.05$). On average, 58.9% of the dams did not
194 require any drenching during an 8 month reproduction cycle and their average FEC was about
195 985 epg (se=56 epg) without a significant difference between grazing systems ($P > 0.05$).
196 Dam BCSs also were not significantly different between grazing systems ($P > 0.05$).

197 The quadratic mixed model provided good estimates of individual growth curves (adjusted R-
198 squared: 0.987). The estimates (± standard error) of α (1.75 ± 0.007 kg) and β (0.100 ± 0.001
199 $kg.d^{-1}$) were not significantly different between grazing systems on average ($P > 0.05$). The
200 quadratic coefficient γ was significantly lower in LF (-0.000234 ± 0.000024 $kg.d^{-2}$) than in C
201 (-0.000155 ± 0.000015 $kg.d^{-2}$; $P < 0.05$) on average. Therefore, the average 70-day live
202 weight was lower in LF than in C (7.10 ± 0.10 kg vs. 7.48 ± 0.074 kg, respectively, $P < 0.05$).
203 Consequently, the individual goat production (70-d weight of the litter) was significantly
204 lower in LF (9.71 ±0.29 kg) than in C (11.64 ± 0.40 kg, $P < 0.05$).

205 Post weaning performances of female kids are summarised in the table 1. Individual live
206 weights were adjusted with a linear mixed model (quadratic coefficient γ not significantly
207 different from 0, adjusted R-square: 0.987); therefore, the β parameter was an estimate of the
208 average daily gain (ADG).

209 The marked difference in parasitism between LF and C weaned goats may be explained by
210 differences in pasture contamination. Given that the stocking rates were balanced for the

211 different goat groups, the faecal weight outputs per surface unit were roughly the same. The
212 pasture contamination was then driven by the average FEC, with everything else being equal.
213 The LF pastures and more generally the adult goat pastures, were continuously contaminated
214 by undrenched goats, whereas the C weaned goats were moderately infected and did not lay
215 any parasite eggs during at least 3 weeks after each drench, thanks to the fully efficient
216 moxidectin. Despite the high level of parasitism measured in LF weaned goats, their death
217 rate was lower and their growth rate was about one third higher than in C weaned goats. The
218 data of organic matter digestibility and intake (table 1) suggest that LF weaned goats grazing
219 as leader benefited from a better feed choice and then selected a higher value intake, whereas
220 the C weaned goats were forced to "clear their plate", resulting in a lower forage quality and
221 then a lower amount of organic matter intake (Archimède et al. 2000). This higher intake may
222 have helped the LF weaned goats to overcome the parasite challenge (Van Houtert and Sykes
223 1996) by increasing their resilience and possibly their actual resistance. Finally, the additional
224 production of leader weaned goats (+115 kg LW.ha^{-1}.year^{-1}) compensated for the loss in
225 growing performance of the kids from the follower goats (-71 kg LW.ha^{-1}.year^{-1}). The
226 simulation of the whole system production indicated that the LF system would produce some
227 5% more live weight per surface unit, so it would not be rejected on an economical basis (LF:
228 1010 [911; 1086]; C: 966 [885; 1046] kg LW.ha^{-1}.year^{-1}).

229 The changes of live weight with growth result in variation of stocking rate larger in C weaned
230 goats (+31%) than in the C breeding herd (+13%) or LF grazing system (+22%), as illustrated
231 in figure 2. These changes in C weaned goat stocking rate may be amplified if the number of
232 weaned animals varies, making the management of stocking rate even more difficult. As an
233 example, if we hypothesised that two different breeding periods result in either a moderate
234 10% decrease or a 10% increase in the sum of metabolic weights of the weaned goats, we can
235 estimate a ratio of 1.6 between the maximum and the minimum stocking rates in the weaned

goat dedicated plots (WC), instead of 1.33 for the LF grazing system (figure 2). Such stocking rate variations between years may result in overgrazing, or in under-grazing and grass wastage, both with a loss in profitability. From a practical perspective, the overall area allocated to each group in the usual (control) grazing system must be fixed *a priori* according to the herd reproductive parameters, *i.e.* to the ratio between expected forage needs of the weaned and breeding groups. In our example it must be fixed to about 1/6 for the male goats, 1/6 for the weaned female goats and 2/3 for all adult females if all offspring have to be reared until they are sold for meat or reproduction. In farm conditions, the fences for small ruminants are generally made with wood posts and woven wire and are very difficult to move. Any misestimating of the dedicated plot sizes may worsen the grazing conditions and decrease profitability. In contrast, all of the LF plots would be equal in area or at least in grass production and carrying capacity. Therefore, the stocking rate management would be easiest for the LF than in the usual (control) grazing system. The global stocking rate could be driven by the reproductive herd size (middle to long term) and adjusted if necessary by culling the oldest or the less-producing dams (short term adjustment); the stocking rate variations would be softened at the whole farm scale.

Finally, the LF grazing system would allow sharing and managing the GIN population at the whole farm level without a negative impact on animal production, while making the paddock design and the stocking rate management easier. Therefore this grazing strategy appears to be recommended as a necessary complement to the TSTs in farms in which weaned animals are reared on pastures, and a key component of sustainable small ruminant farming systems in the humid tropics. In other countries, the grazing system must obviously be designed according to the GIN epidemiology, keeping in mind that managing AR resistance in GINs must be considered at the scale of the whole small ruminant farm.

Acknowledgements

The authors warmly thank the PTEA Gardel experimental unit staff for the herd and experiment management, and the URZ lab staff for chemical and parasitological analyses. This study was funded by the "Région Guadeloupe", the European Regional Development Fund (ERDF or "FEDER") and the European Agricultural Fund for Rural Development (EAFRD or "FEADER", formerly European Agricultural Guidance and Guarantee Fund EAGGF or "FEOGA").

Conflict of interest statement

The authors have no competing interests.

References

Alexandre, G., 1991. Élevage à l'herbe des chevreaux Créoles après le sevrage, Revue d'Élevage et de Médecine Vétérinaire des Pays Tropicaux, spécial, 99-104

Anandan, S. et al., 1996. Growth rate and nutrient efficiency of growing goats fed urea ammoniated neem (*Azadirachta indica*) seed kernel meal as protein supplement, Small Ruminant Research, 22, 205-212

Archimède, H. et al., 2000. Effect of regrowth age on intake and digestion of *Digitaria decumbens* consumed by Black-belly sheep., Animal Feed Science and Technology, 87, 153-162

Aumont, G., and Gruner, L., 1989. Population evolution of the free-living stage of goat gastrointestinal nematodes on herbage under tropical conditions in Guadeloupe (French West Indies), International Journal for Parasitology, 19, 539-546

Aumont, G., Gruner, L., and Berbigier, P., 1991. Dynamique des populations des stades infestants de strongles gastrointestinaux des petits ruminants en milieu tropical humide. Conséquences sur la gestion des pâturages, Revue d'Élevage et de Médecine Vétérinaire des Pays Tropicaux, spécial, 123-131

Aumont, G. et al., 1995. Preservation of fecal samples and laboratory sources of variation in fecal strongyles egg counts of small ruminants from tropical regions. International Conference on Novel Approaches to the Control of Helminth Parasites of Livestock, 1995, Armidale (Australia)), 19

Aumont, G. et al., 1997. Parasitisme digestif des petits ruminants dans les Antilles françaises, INRA Productions Animales, 10, 79-89

Barré, N. et al., 1997. Résistance des strongles gastro-intestinaux aux anthelminthiques dans les élevages caprins en Guadeloupe (Antilles françaises), Revue d'Élevage et de Médecine Vétérinaire des Pays Tropicaux, 50, 105-110

297 Bath, G.F., Malan, F.S., and Van Wyk, J.A., 1996. The "FAMACHA" ovine anaemia guide to
298 assist with the control of haemonchosis. 7th annual congress of the livestock health and
299 production group of the South African Veterinary Association, 1996, Port Elizabeth), 152-156
300 Chemineau, P. et al., 1983. Le cabrit créole et ses caractéristiques zootechniques, Bulletin
301 Agronomique Antilles Guyane, 1, 13-24
302 Chemineau, P. et al., 1984. Testicular growth of young creole bucks: mathematical model and
303 relationships with sexual behaviour. Proceedings of the 10th International Congress Anim.
304 Reprod and Artif. Insem., 1984, Urbana-Champaign USA),
305 Chemineau, P., 1985. Possibilities for utilization of the male effect to manipulate the timing
306 of onset and establishment of regular cycles and pregnancy in the goat. 36th Annual Meeting
307 of the European Association for Animal Production., 1985, Kallithea (Greece)), 124-125
308 Chemineau, P., and Grudé, A., 1985. Mortalité, poids à la naissance et croissance de
309 chevreaux créoles nés en élevage semi-intensif, Annales de Zootechnie, 34, 193-204
310 Christodoulou, V. et al., 2008. Nutritional value of fermented olive wastes in growing lamb
311 rations, Animal Feed Science and Technology, 141, 375-383
312 Fanchone, A., Archimède, H., and Boval, M., 2009. Comparison of fecal crude protein and
313 fecal near-infrared reflectance spectroscopy to predict digestibility of fresh grass consumed by
314 sheep, Journal of Animal Science, 87, 236-243
315 Fanchone, A. et al., 2010. Intake and digestibility of fresh grass fed to sheep indoors or at
316 pasture, at two herbage allowances, Animal Feed Science and Technology, 157, 151-158
317 Furusho-Garcia, I.F. et al., 2004. Desempenho de cordeiros Santa Inês puros e cruzas Santa
318 Inês com Texel, Ile de France e Bergamácia, Revista Brasileira de Zootecnia, 33, 1591-1603
319 Gaba, S. et al., 2010. Experimental and modeling approaches to evaluate different aspects of
320 the efficacy of Targeted Selective Treatment of anthelmintics against sheep parasite
321 nematodes, Veterinary Parasitology, 171, 254-262

322 Gruner, L. et al., 1988. Resistance to benzimidazole of Haemonchus contortus utkalensis in
323 sheep in Martinique, Veterinary Record, 118, 276
324 Kaplan, R.M., and Vidyashankar, A.N., 2012. An inconvenient truth: Global worming and
325 anthelmintic resistance, Veterinary Parasitology, 186, 70-78
326 Leimbacher, F., Shitalou, E., and Tartareau, J.C., 1986. Programme de développement de
327 l'élevage Ovin-Caprin aux Antilles entre 1978 et 1985., Colloque sur les systèmes de
328 production agricole Caribéens et alternatives de developpement, 1986, UAG/DAC, Campus
329 de Schoelcher, Martinique (F.W.I)), 389-407
330 Mahieu, M. et al., 2007. Evaluation of targeted drenching using Famacha(c) method in Creole
331 goat: reduction of anthelmintic use, and effects on kid production and pasture contamination.,
332 Veterinary Parasitology, 146, 135-147
333 Mahieu, M. et al., 2008. Intensive grazing system for small ruminants in the Tropics: The
334 French West Indies experience and perspectives, Small Ruminant Research, 77, 195-207
335 Mahieu, M. et al., 2014. Fifteen years later, anthelmintic resistances have dramatically spread
336 over goat farms in Guadeloupe, Veterinary Parasitology, 205, 379-384
337 Mendiburu, F.d., 2014. agricolae: Statistical Procedures for Agricultural Research. R package
338 version 1.1-8., 2014,
339 Pal, D.T. et al., 2004. Growth performance and nutrient utilization in male and female Mithun
340 calves on green forage-based diet, Tropical Animal Health and Production, 36, 655-661
341 Perez, P. et al., 2001. Effect of goat milk and milk substitutes and sex on productive
342 parameters and carcass composition of Creole kids, Small Ruminant Research, 42, 87-93
343 Pinheiro, J. et al., 2014. nlme: Linear and Nonlinear Mixed Effects Models. R package
344 version 3.1-117. 2014,
345 R_Development_Core_Team, 2014. R: A language and environment for statistical computing.
346 In: R.F.f.S. Computing (ed), 2014, Vienna, Austria),

347 Rodriguez, A.B. et al., 2008. Effect of sex and feeding system on feed intake, growth, and
348 meat and carcass characteristics of fattening Assaf lambs, Livestock Science, 116, 118-125
349 Van Houtert, M.F.J., and Sykes, A.R., 1996. Implications of nutrition for the ability of
350 ruminants to withstand gastrointestinal nematode infections, International Journal for
351 Parasitology, 26, 1151-1167
352 Van Wyk, J.A., 2001. Refugia - overlooked as perhaps the most potent factor concerning the
353 development of anthelmintic resistance, Onderstepoort Journal of Veterinary Research, 68,
354 55-67
355 Warnes, G.R., 2013. gmodels: Various R programming tools for model fitting. R package
356 version 2.15.4.1. In: R.F.f.S. Computing (ed), 2013, Vienna, Austria),
357 Xandé, A., Garcia-Trujillo, R., and Caceres, O., 1985. Tableaux de la valeur alimentaire des
358 fourrages tropicaux de la zone Caraïbe. 1985, (INRA Antilles Guyane), 51 p.

359

360

361

362

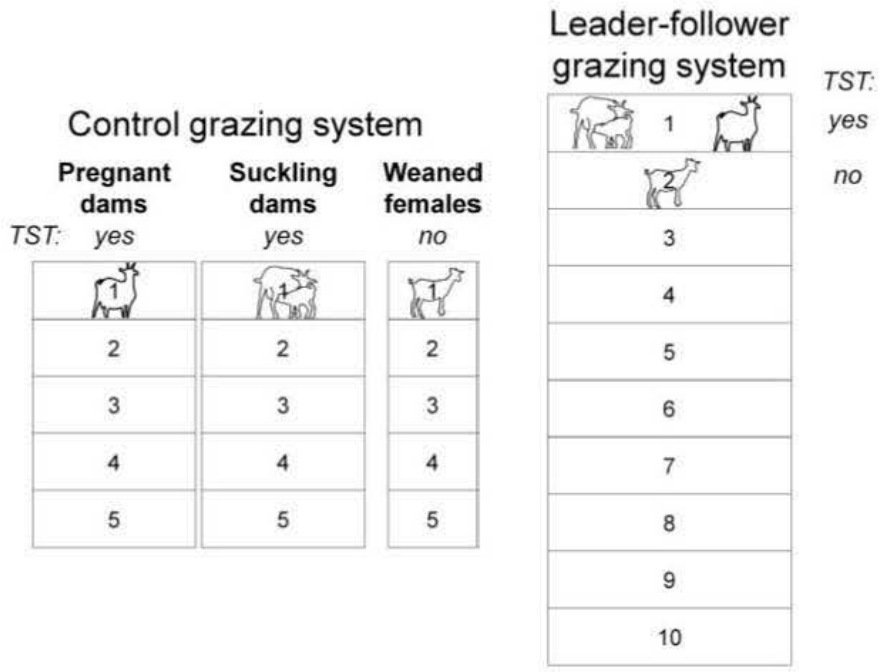
363 Table 1. Faecal egg count (FEC), death rate, digestibility of the organic matter (dOM),
364 organic matter intake (OMI), digestible organic matter intake (dOMI) and growth rate (ADG)
365 of weaned goats according to the grazing system: "leader-follower" (LF) *vs*. Control.

	LF	Control
Cumulative numbers of weaned goats	373	364
FEC ± se (epg)	1860 ± 82 [a]	966 ± 86 [b]
Death rate % (N dead/N)	4.0 [a] (15/373)	7.7 [b] (28/364)
dOM ± se	0.73 ± 0.002 [a]	0.70 ± 0.004 [b]
OMI ± se ($g.kg^{0.75}.d^{-1}$)	55.7 ± 1.6 [a]	47.6 ± 1.4 [b]
dOMI ± se ($g.kg^{0.75}.d^{-1}$)	40.4 ± 1.2 [a]	33.1 ± 0.9 [b]
ADG ± se ($g.d^{-1}$)	53.4 ± 0. 9 [a]	40.8 ± 1.1 [b]

366 Results with different superscript letters differs significantly ($P < 0.05$)

367

368 *File: Mahieu_fig1.tif*

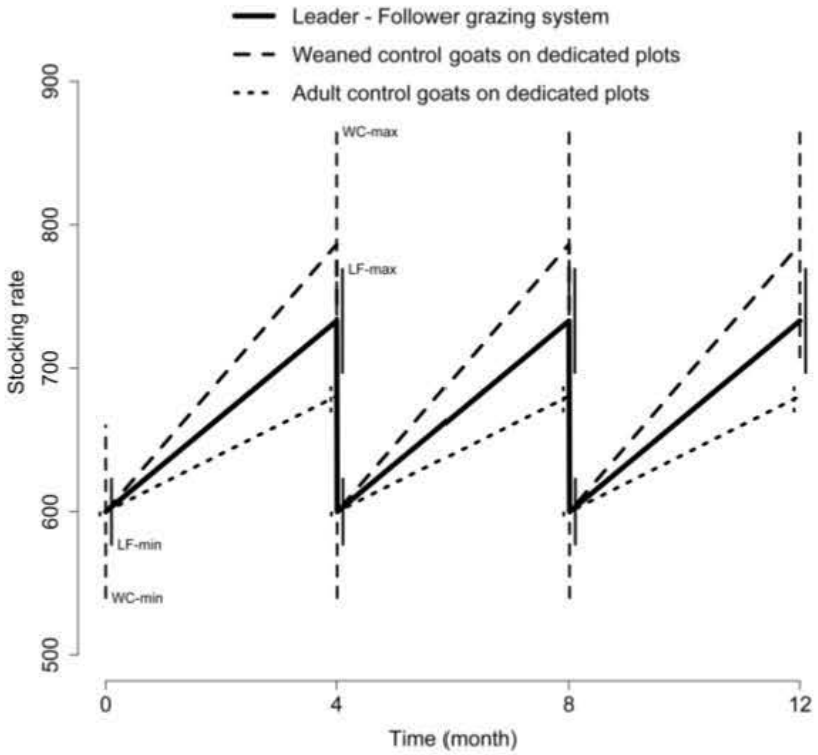


369

370 Figure 1: experimental design. In the control grazing system, each group of animals grazed a
371 given plot for 7 days and moved to the next plot. In the leader-follower grazing system, the
372 weaned goats grazed a given plot for 3.5 days, moved to the next plot and were replaced with
373 the dam group for another 3.5 day grazing period. Therefore, each plot was grazed for 7 days
374 and 4 weeks elapsed before the animals returned to the same plot.

375

376 *File: Mahieu_fig2.tif*



377

378 Figure 2: Stocking rate variations according to time (simplified) for Leader-Follower plots
379 (solid line), Weaned Control plots (dotted line) and Adult Control plots (dashed line). The
380 stocking rate (expressed as metabolic weight per ha) was estimated from the average data of
381 the experiment, every 4 months just before and after the oldest weaned goats were sold and
382 replaced by the newly weaned animals. The vertical segments show the effect on stocking rate
383 of a hypothetical plus or minus 10% variation in the net production of offspring. WC-min
384 (LF-min) and WC-max (LF-max) indicate the range of stocking rate variation under this
385 hypothesis of plus or minus 10% variation in the Weaned control (Leader-Follower) plots.

386

Retour p. 48

Annexe 9 : Liste des publications

Articles de journaux à comité de lecture, publication en tant que premier auteur

1]- Mahieu, M., Jego, Y., Driancourt, M. A. et Chemineau, P. (**1989).** Reproductive performances of Creole and Black Belly ewes in the West Indies. A new major gene controlling ovulation rate. Anim. Reprod. Sci. **19**: 235-243, http://dx.doi.org/10.1016/0378-4320(89)90097-3

2]- Mahieu, M. (**1991).** Production ovine sur pâturage de *Digitaria decumbens* Stent. irrigué ou non. Résultats technico économiques. Rev. Elev. Med. Vet. Pays Trop. **spécial**: 17-22, http://remvt.cirad.fr/cd/EMVT91_S.PDF

3]- Mahieu, M., Aumont, G. et Alexandre, G. (**1997a).** Elevage intensif des ovins tropicaux à la Martinique. Rapport de la commission ovine et Caprine de l'INRA, mai 1995. INRA Prod. Anim. **10** (1): 21-32, http://www6.inra.fr/productions-animales/Articles-1997-Volume-10/Numero-1-1997/Elevage-intensif-des-ovins-tropicaux-a-la-Martinique

4]- Mahieu, M., Aumont, G., Michaux, Y., Alexandre, G., Archimède, H., Boval, M. et Theriez, M. (**1997b).** L'association d'ovins et de bovins sur prairies irriguees en Martinique (F.W.I.). Rapport de la commission ovine et Caprine de l'INRA, mai 1995. INRA Prod. Anim. **10** (1): 55-66, http://www6.inra.fr/productions-animales/Articles-1997-Volume-10/Numero-1-1997/L-association-d-ovins-et-de-bovins-sur-prairies-irriguees-en-Martinique

5]- Mahieu, M., Cognie, Y. et Chemineau, P. (**2004).** Ovulation Rate, Litter Size and Prenatal Losses in Hair Sheep of French West Indies. Reprod. Nutr. Dev. **44**: 333-339, http://dx.doi.org/10.1051/rnd:2004038

6]- Mahieu, M., Arquet, R., Kandassamy, T., Mandonnet, N. et Hoste, H. (**2007).** Evaluation of targeted drenching using Famacha(c) method in Creole goat: reduction of anthelmintic use, and effects on kid production and pasture contamination. Vet. Parasitol. **146** (1/2): 135-147, http://dx.doi.org/10.1016/j.vetpar.2007.02.003

7]- Mahieu, M. et Aumont, G. (**2007).** Periparturient rise in Martinik Hair Sheep and perspectives for gastrointestinal nematode control. Trop. Anim. Health Prod. **39** (6): 387-390, http://dx.doi.org/10.1007/s11250-007-9029-x

8]- Mahieu, M., Archimède, H., Fleury, J., Mandonnet, N. et Alexandre, G. (**2008).** Intensive grazing system for small ruminants in the Tropics: The French West Indies experience and perspectives. Small Ruminant Res. **77**: 195-207, http://dx.doi.org/10.1016/j.smallrumres.2008.03.013

9]- Mahieu, M. et Naves, M. (**2008).** Incidence of Toxocara vitulorum in Creole calves of Guadeloupe. Trop. Anim. Health Prod. **40** (4): 243-248, http://dx.doi.org/10.1007/s11250-007-9094-1

10]- Mahieu, M. et Aumont, G. (**2009).** Effects of sheep and cattle alternate grazing on sheep parasitism and production. Trop. Anim. Health Prod. **41** (2): 229-239, http://dx.doi.org/10.1007/s11250-008-9180-z

11]- Mahieu, M., Navès, M. et Arquet, R. (**2011).** Predicting the body mass of goats from body measurements. Livest. Res. Rural Dev. **23**: article #192, http://www.lrrd.org/lrrd23/9/mahi23192.htm

12]- Mahieu, M. (**2013).** Effects of stocking rates on gastrointestinal nematode infection levels in a goat/cattle rotational stocking system. Vet. Parasitol. **198**: 136-144, http://dx.doi.org/10.1016/j.vetpar.2013.08.029

13]- Mahieu, M., Ferré, B., Madassamy, M. et Mandonnet, N. (**2014).** Fifteen years later, anthelmintic resistances have dramatically spread over goat farms in Guadeloupe. Vet. Parasitol. **205** (1-2): 379-384, http://dx.doi.org/10.1016/j.vetpar.2014.07.029

Articles de journaux à comité de lecture et chapitres d'ouvrages, publication en tant que coauteur

1]- Alexandre, G., Archimède, H., Aumont, G., Boval, M., Mahieu, M., Ortega-Jimenez, E. et Xandé, A. (**2001a).** Produccion de pequenos rumiantes a base de pastoreo intensivo en las antillas francesas : una resena. 2 . Limites del sistema y problematica. Pastos y Forrajes **24** (2): 124-130, http://payfo.ihatuey.cu/Revista/v24n3/pdf/pyf10301.pdf

2]- Alexandre, G., Archimède, H., Aumont, G., Boval, M., Mahieu, M., Ortega, E. et Xandé, A. (**2001b).** Production of small ruminants on intensive pasture in the Antilles: a study. 2 Limits and problems of the system. Pastos y Forrajes **24** (3): 265-277, http://payfo.ihatuey.cu/Revista/v24n3/pdf/pyf10301.pdf

3]- Alexandre, G., Aumont, G. et Mahieu, M. (**2001c).** Produccion de pequenos rumiantes a base de pastoreo intensivo en las antillas francesas : una resena. 1 . Condiciones e intereses del sistema. Pastos y Forrajes **24** (1): 69-79,

4]- Alexandre, G., Mahieu, M. et Aumont, G. (**2001d).** Productivité des ovins et des caprins de race locale élevés dans des conditions semi-intensives aux Antilles françaises. Bulletin d'Information sur les Ressources Génétiques Animales **29**: 49-59,

5]- Alexandre, G., Bocage, B., Coppry, O., Weisbecker, J. L., Mahieu, M. et Archimède, H. (**2008).** Paramètres de découpe et de mensurations des carcasses d'agneaux Ovin Martinik élevés en conditions intensives. Rev. Elev. Med. Vet. Pays Trop. **61** (2): 121-126, http://remvt.cirad.fr/cd/derniers_num/2008/EMVT08_121_126.pdf

6]- Alexandre, G., Gonzalez-Garcia, E., Lallo, C. H. O., Ortega-Jimenez, E., Pariacote, F., Archimède, H., Mandonnet, N. et Mahieu, M. (**2010).** Goat management and systems of production: Global framework and study cases in the Caribbean. Small Ruminant Res. **89** (2-3): 193-206, http://dx.doi.org/10.1016/j.smallrumres.2009.12.043

7]- Alexandre, G., Arquet, R., Fleury, J., Troupe, W., Boval, M., Archimede, H., Mahieu, M. et Mandonnet, N. (**2012a).** Systèmes d'élevage caprins en zone tropicale : analyse des fonctions et des performances. INRA Prod. Anim. **25** (3): 305-315, http://www6.inra.fr/productions-animales/content/download/6328/87738/version/1/file/Prod_Anim_2012_25_3_06.pdf

8]- Alexandre, G., Mahieu, M., Mulciba, P., Kandassamy, T., Coppry, O. et Boval, M. (**2012b).** Intérêts et limites des systèmes pâturés pour caprins en zone tropicale. Fourrages **112**: 307-317, http://www.afpf-asso.org/index/action/page/id/33/title/Les-articles/article/1936

9]- Arece Garcia, J., Rodriguez-Diego, J. G., Torres-Hernandez, G., Mahieu, M., Gonzalez Garcia, E. et Gonzalez-Garduno, R. (**2007).** The epizootiology of ovine gastrointestinal strongyles in the province of Matanzas, Cuba. Small Ruminant Res. **72** (2/3): 119-126, http://dx.doi.org/10.1016/j.smallrumres.2006.09.002

10]- Arece, J., Mahieu, M., Archimède, H., Aumont, G., Fernandez, M., Gonzalez, E., Caceres, O. et Menendez-Buxadera, A. (**2004a).** Comparative efficacy of six anthelmintics for the control of gastrointestinal nematodes in sheep in Matanzas, Cuba. Small Ruminant Res. **54**: 61-67, http://dx.doi.org/doi:10.1016/j.smallrumres.2003.11.001

11]- Arece, J., Rodriguez-Diego, J. G., Lopez, O. et Mahieu, M. (**2004b).** Primer reporte de estrongilidos de ovinos resistentes a imidazotiazoles en Cuba. Rev Salud Anim **26** (2): 112-115,

12]- Bambou, J. C., Archimède, H., Arquet, R., Mahieu, M., Alexandre, G., González-Garcia, E. et Mandonnet, N. (**2011).** Effect of dietary supplementation on resistance to experimental infection with *Hæmonchus contortus* in Creole kids. Vet. Parasitol. **178** (3-4): 279-285, http://dx.doi.org/10.1016/j.vetpar.2011.01.030

13]- Blanchart, E., Achouack, W., Albrecht, M., Bellier, G., Cabidoche, Y. M., Hartmann, C., Heulin, T., Larré-Larrouy, C., Laurent, J. Y., Mahieu, M., Thomas, F., Villemin, G. et Watteau, F. (**2000).** Déterminants biologiques de l'agrégation dans les vertisols des Petites Antilles : Conséquences sur l'érodibilité. Etude et Gestion des Sols **7** (4): 309-328,

14]- Cabidoche, Y. M., Guillaume, P., Hartmann, C., Ruy, S., Blanchart, E., Albrecht, A., Mahieu, M., Achouak, W., Heulin, T., Villemin, G., Watteau, F. et Bellier, G. (**2000).** Déterminants biologiques du système poral de vertisols cultivés (Petites Antilles). Conséquences sur la disponibilité de l'eau des sols pour les plantes. Etude et Gestion des Sols **7** (4): 329-352,

15]- Chemineau, P., Mahieu, M., Varo, H., Shitalou, E., Jego, Y., Grude, A. et Thimonier, J. (**1991).** Reproduction des caprins et des ovins Créole de Guadeloupe et de Martinique. Rev. Elev. Med. Vet. Pays Trop. **spécial**: 45-50, http://remvt.cirad.fr/cd/EMVT91_S.PDF

16]- Chevallier, T., Voltz, M., Blanchart, E., Chotte, J. L., Eschenbrenner, V., Mahieu, M. et Albrecht, A. (**2000).** Spatial and temporal changes of soil C after establishment of a pasture on a long-term cultivated vertisol (Martinique). Geoderma **94** (1): 43-58, http://dx.doi.org/10.1016/S0016-7061(99)00064-6

17]- Chotte, J. L., Louri, J., Hetier, J. M., Castellane, C., Guiran, E. d., Clairon, M. et Mahieu, M. (**1990).** Effects of different previous crops on nitrogen utilization by maize given 15N urea on four tropical soil types in the Lesser Antilles. Agron. Trop. **45** (1): 67-74

18]- d'Alexis, S., Loranger-Merciris, G., Mahieu, M. et Boval, M. (**2009).** Influence of earthworms on development of the free-living stages of gastrointestinal nematodes in goat faeces. Vet. Parasitol. **163** (1/2): 171-174, http://dx.doi.org/10.1016/j.vetpar.2009.03.056

19]- d'Alexis, S., Mahieu, M., Jackson, F. et Boval, M. (**2012).** Cross-infection between tropical goats and heifers with Hæmonchus contortus. Vet. Parasitol. **184** (2–4): 384-386, http://dx.doi.org/10.1016/j.vetpar.2011.08.030

20]- Dedieu, B., Aubin, J., Guillaume, D., Alexandre, G., Jonathan, V., Bommel, P., Faye, B., Mahieu, M., Fanchone, A. et Ickowicz, A. (**2011).** Conception et évaluation de systèmes d'élevage durables en régions chaudes. INRA Prod. Anim. **24** (1): 113-128, http://www6.inra.fr/productions-animales/content/download/5745/80992/version/1/file/Prod_Anim_2011_24_1_08.pdf

21]- Giudici, C., Aumont, G., Mahieu, M., Saulai, M. et Cabaret, J. (**1999).** Changes in gastro-intestinal parasites species diversity in lambs under mixed grazing on irrigated pastures in the tropics (French West Indies). Vet. Res. **30**: 573-581, http://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00902597

22]- Gunia, M., Mandonnet, N., Arquet, R., de la Chevrotière, C., Naves, M., Mahieu, M. et Alexandre, G. (**2010).** Production systems of Creole goat and their implications for a breeding programme. Animal **4** (12): 2099-2105, http://dx.doi.org/10.1017/S1751731110001412

23]- Hartmann, C., Blanchart, E., Albrecht, A., Bonneton, A., Parfait, F., Mahieu, M., Gaullier, C. et Ndandou, J. F. (**1998a).** Nouvelles techniques de préparation des vertisols en culture maraichère à la Martinique. Incidences pédologiques et agro-économiques. Agriculture et Developpement **18**: 81-89,

24]- Hartmann, C., Blanchart, E., Albrecht, A., Bonneton, A., Parfait, F., Mahieu, M., Gaullier, C. et Ndandou, J. F. (**1998b).** Soil fertility management and farming strategies. Case of the savanna zones of Central and Western Africa. [French]. Agriculture et Developpement **18**: 13-20,

25]- Jondreville, C., Fournier, A., Mahieu, M., Feidt, C., Archimède, H. et Rychen, G. (**2014).** Kinetic study of chlordecone orally given to laying hens (Gallus domesticus). Chemosphere **114**: 275-281, http://dx.doi.org/10.1016/j.chemosphere.2014.05.008

26]- Jurjanz, S., Jondreville, C., Mahieu, M., Fournier, A., Archimède, H., Rychen, G. et Feidt, C. (**2014).** Relative bioavailability of soil-bound chlordecone in growing lambs. Environ. Geochem. Health: 911-917, http://dx.doi.org/10.1007/s10653-014-9608-5

27]- Leimbacher, F., Mahieu, M. et Mandonnet, N. (**2002).** Développer des méthodes de lutte alternative contre les parasites internes des petits ruminants: une nécéssité pour l'élevage. Cahiers du PRAM **2**: 51-56,

28]- Liméa, L., Bocage, B., Arquet, R., Mahieu, M. et Alexandre, G. (**2010).** Carcass conformation and cut composition of Creole goat from Guadeloupe. Trop. Anim. Health Prod. **42** (3): 507-514, http://dx.doi.org/10.1007/s11250-009-9451-3

29]- Mandonnet, N., Bachand, M., Mahieu, M., Arquet, R., Baudron, F., Abinne-Molza, L., Varo, H. et Aumont, G. (**2005).** Impact on productivity of peri-parturient rise in fecal egg counts in Creole goats in the humid tropics. Vet. Parasitol. **134**: 249-259, http://dx.doi.org/10.1016/j.vetpar.2005.07.019

30]- Mandonnet, N., Menendez-Buxadera, A., Arquet, R., Mahieu, M., Bachand, M. et Aumont, G. (**2006).** Genetic variability in resistance to gastrointestinal strongyles during early lactation in Creole goats. Anim. Sci. **82** (3): 283-287, http://dx.doi.org/10.1079/ASC200640

31]- Mandonnet, N., Mahieu, M. et Boval, M. (**2012).** Foreword: Sustainable animal production in the tropics: farming in a changing world. Animal **6** (5): 705-706, http://dx.doi.org/10.1017/S1751731112000523

32]- Marie-Magdeleine, C., Hoste, H., Mahieu, M., Varo, H. et Archimède, H. (**2009).** In vitro effects of *Cucurbita moschata* seed extracts on *Hæmonchus contortus*. Vet. Parasitol. **161** (1-2): 99-105, http://dx.doi.org/10.1016/j.vetpar.2008.12.008

33]- Marie-Magdeleine, C., Mahieu, M., D'Alexis, S., Philibert, L. et Archimède, H. (**2010a).** In vitro effects of *Tabernaemontana citrifolia* extracts on *Hæmonchus contortus*. Res. Vet. Sci. **89** (1): 88-92, http://dx.doi.org/10.1016/j.rvsc.2010.01.002

34]- Marie-Magdeleine, C., Mahieu, M., Philibert, L., Despois, P. et Archimède, H. (**2010b).** Effect of cassava (*Manihot esculenta*) foliage on nutrition, parasite infection and growth of lambs. Small Ruminant Res. **93** (1): 10-18, http://dx.doi.org/10.1016/j.smallrumres.2010.04.024

35]- Marie-Magdeleine, C., Mahieu, M. et Archimede, H. (**2011**). Pumpkin (*Cucurbita moschata* Duchesne ex Poir.) Seeds as an Anthelmintic Agent? *in* Nuts & Seeds in Health and Disease Prevention (1st ed.), Ed. V. R. Preedy *et al*, Elsevier, Academic Press, London, Burlington, San Diego: 933-939

36]- Ortega-Jimenez, E., Alexandre, G., Arquet, R., Coppry, O., Mahieu, M. et Xandé, A. (**2003).** Consequences of post-grazing residues control and birth season on the body traits, reproductive performance and offspring's growth of suckling goats and ewes reared at pasture in Guadeloupe (FWI). Asian Australasian Journal of Animal Science **16** (8): 1108-1117,

37]- Ortega-Jimenez, E., Alexandre, G., Arquet, R., Coppry, O., Mahieu, M. et Xandé, A. (**2005a).** Preweaning productivity of suckling goats and sheep in Guadeloupe (F.W.I.) under intensive reproductive rate and grazing management. Trop. Anim. Health Prod. **37**: 151-165, http://dx.doi.org/10.1023/B:TROP.0000048444.38726.61

38]- Ortega-Jimenez, E., Alexandre, G., Boval, M., Archimède, H., Mahieu, M. et Morand-Fehr, P. (**2005b).** Intake and milk production of suckling Creole goats reared at pasture in humid tropics according to the post-grazing residue management. Small Ruminant Res. **59**: 217-227,, http://dx.doi.org/10.1016/j.smallrumres.2005.05.007

39]- Ortega-Jimenez, E., Alexandre, G., Boval, M., Archimède, H., Mahieu, M. et Xandé, A. (**2005c).** Intake and milk production of suckling ewes reared at pasture in humid tropics according to the post-grazing residue management. Anim. Res. **54**: 459-469, http://dx.doi.org/10.1051/animres:2005039

Communications en premier auteur lors de rencontres scientifiques

1]- Mahieu, M. (**1988**). Production ovine sur pâturage de digitaria decumbens irrigué ou non.Résultats technico-économiques. Premières journées de la Recherche Ovine-Caprine aux Antilles-Guyane, Fort de France Martinique (FWI)

2]- Mahieu, M., Jego, Y., Matheron, G., Legal, O., Driancour, M. A. et Chemineau, P. (**1988**). Seasonal variations of oestrus behaviour and ovulation rate in Creole and Black Belly ewes in the West Indies. Proceedings of the 3rd world congress on sheep and beef cattle breeding, Paris, **2**: 685-687

3]- Mahieu, M. (**1991**). Impact of irrigation on performances of Martinique hair sheep grazing pastures of *Digitaria decumbens* (Stent.) in southeastern Martinique. Symposium on Hair Sheep Research, St Croix (USVI), University of the Virgin Islands: 101-108

4]- Mahieu, M., Aumont, G., Alexandre, G., Fesneau, X., Boval, M., Mandonnet, N. et Kojfer, L. (**1995**). Mixed grazing by sheep and steers of irrigated Digitaria decumbens pastures in Martinique (F.W.I.). IVth International Symposium on Herbivore Nutrition, France, **44 (suppl)**: 343 http://dx.doi.org/10.1051/animres:199505306

5]- Mahieu, M., Aumont, G., Menendez-Buxadera, A., Chemineau, P. et Alexandre, G. (**2001**). Productividad y duracion de la vida del ovino tropical criados en pastos irrigados de la Martinica. XVII Reunion Latinoamericana de Produccion Animal, Ciudad Havana, Cuba, **oral**: R33497-500

6]- Mahieu, M. (**2002**). Rotational vs continuous grazing for beef cattle fattening in Martinique (F.W.I.). 19th General Meeting of European Grassland Federation, La Rochelle, France, **poster**: 442-443

7]- Mahieu, M., Alexandre, G., Boval, M., Archimède, H. et Aumont, G. (**2002**). Pâturage alternatif de bovins et d'ovins. Une utilisation plus éfficace du pâturage en zone tropicale humide. 38eme Congrès Annuel CFCS, Trois Ilets, Martinique, **oral**: 380-386

8]- Mahieu, M. et Boval, M. (**2002**). Conduite du pâturage pour des génisses sevrées en Martinique (FWI). Pâturage continu, ou rotation à 21 ou 28 jours de repousse? 38ème Congrès Annuel CFCS, Trois Ilets, Martinique, **oral**: 376-379

9]- Mahieu, M., Alexandre, G., Archimède, H. et Boval, M. (**2003**). Association bovins - petits ruminants, une utilisation plus efficace du pâturage en zone tropicale humide. Symposium Régional Interdisciplinaire sur les Ruminants. Elevage et Valorisation - La Réunion, **oral**

10]- Mahieu, M., Arquet, R., Kandassamy, T., Varo, H. et Abinne-Molza, L. (**2004**). Haemonchosis control in Creole goat by using Famacha(c) method. Preliminary results in Guadeloupe (F.W.I.). 8th International Conference on Goats, Pretoria, South Africa, **poster**

11]- Mahieu, M., Arquet, R., Kandassamy, T. et Mandonnet, N. (**2005a**). Haemonchosis control in Creole goat by using Famacha⌐ method. Effects on goat faecal egg Count and preweaning growth of the kids,. 4th International Workshop on Novel Approaches to the control of helminth parasites of livestock, Merida (Mexico), **poster**: 15

12]- Mahieu, M., Mandonnet, M., Archimède, H. et Alexandre, G. (**2005b**). Repenser les Systèmes Pâturés pour un Contrôle Intégré des Parasites Gastro-Intestinaux des Petits Ruminants. CFCS 41th Annual Meeting, Le Gosier - Guadeloupe

13]- Mahieu, M. et Arquet, R. (**2006**). Parasitisme gastro-intestinal des petits ruminants.Traitements systematiques ou drogage "à la carte" ? 7emes Journees de l'AMADEPA, Lamentin, Martinique

14]- Mahieu, M., Arquet, R., Coppry, O., Fleury, J., Alexandre, G. et Archimède, H. (**2006**). organisation du systeme de pâturage et parasitisme gastro-intestinal. Avantages et inconvenients potentiels de differentes pratiques. 7emes Journees de l'AMADEPA, Lamentin, Martinique

15]- Mahieu, M., Arquet, R., Fleury, J., Coppry, O., Marie-MagdeleineC., Boval, M., Archimède, H., Alexandre, G., Bambou, J. C. et Mandonnet, N. (**2009**). Contrôle intégré du parasitisme gastro-intestinal des petits ruminants en zone tropicale humide. 16ème Rencontres Recherches Ruminants, Paris (France), INRA - Institut de l'Elevage: 265-268 http://www.journees3r.fr/IMG/pdf/2009_08_03_Mahieu.pdf

16]- Mahieu, M., Arquet, R., Coppry, O., Alexandre, G., Fanchone, A., Naves, M., Boval, M., Mandonnet, N., Fleury, J. et Archimède, H. (**2011**). Des techniques intégrées pour un élevage de ruminants productif et durable aux Antilles - Guyane. Revue Innovations Agronomiques, INRA **16**: 89-103 http://www.inra.fr/ciag/revue/volume_16_novembre_2011

17]- Mahieu, M., Archimède, H., Cabidoche, Y.-M. et Iotti, J. (**2012a**). Possibilités de décontamination de bovins contaminés par la Chlordécone. 9ème Journée Technique de l'AMADEPA, Martinique: 6 pp

18]- Mahieu, M., Archimede, H., Feidt, C., Jurjanz, S. et Rychen, G. (**2012b**). Avancées des études sur la contamination par la chlordecone et les possibilités de décontamination des ruminants. Les journées de la recherche chlordécone, Gosier (Guadeloupe) et Fort de France (Martinique)

19]- Mahieu, M., Arquet, R., Alexandre, G., Boval, M., Bambou, J. C., Archimede, H., Marie-Magdeleine, C. et Mandonnet, N. (**2012c**). Integrated control of goat gastrointestinal parasitism: an example in the humid tropics. XI International Conference on Goats (ICG 2012), Gran Canarias, Spain 24-27 September 2012

20]- Mahieu, M., Arquet, R. et Naves, M. (**2012d**). Évaluer le poids des petits ruminants sans peser. 9ème Journée Technique de l'AMADEPA, Martinique: 5 pp
21]- Mahieu, M., Ferré, B., Madassamy, M. et Arquet, R. (**2012e**). Résistance aux anthelminthiques des parasites gastro-intestinaux des petits ruminants - résultats d'une enquête en Guadeloupe. 9ème Journée Technique de l'AMADEPA, Martinique: 5 pp
22]- Mahieu, M. (**2013**). Effect of partial stocking rate on goat parasitism. Na07/CAPARA - NOVEL APPROACHES to THE CONTROL of HELMINTH PARASITES of LIVESTOCK, 7th meeting, Toulouse: https://colloque.inra.fr/na07/content/download/889/10065/file/mahieu-Na07.pdf
23]- Mahieu, M. et Gauthier, V. (**2013**). Grazing System Design and Targeted Selective Treatments in small ruminant farming – An example in humid tropics. Na07/CAPARA - NOVEL APPROACHES to THE CONTROL of HELMINTH PARASITES of LIVESTOCK, 7th meeting, Toulouse: https://colloque.inra.fr/na07/
24]- Mahieu, M., Fournier, A., Lastel, M.-L., Feidt, C., Rychen, G. et Archimede, H. (**2014**). Chlordécone et élevage, variabilité individuelle des capacités d'excrétion des ruminants et conséquences sur leur contamination. 44e Congrès du Groupe Français des Pesticides Schoelcher, Martinique, Université Antilles-Guyane

Communications en tant que coauteur lors de rencontres scientifiques

1]- Alexandre, G. et Mahieu, M. (**1987**). Pâturages tropicaux et systèmes allaitants : le cas des petits ruminants aux Antilles Françaises. Symposium sur l'alimentation des ruminants en zone tropicale, Pointe-à-Pitre(F.W.I)
2]- Alexandre, G., Archimède, H., Aumont, G., Boval, M., Hostache, G., Leimbacher, F., Mahieu, M., Mandonnet, N., Naves, M. et Xandé, A. (**1999**). Systèmes pâturés tropicaux en espaces restreints, un programme de recherche pluridisciplinaire pour la promotion d'une agriculture productive et raisonnée. Table Ronde sur l'Agriculture Raisonnée, Cinquantenaire de l'INRA-CRAG, Petit Bourg, Guadeloupe, **oral**: 12
3]- Alexandre, G., Mahieu, M. et Aumont, G. (**2000**). Comparative productivity of sheep and goat intensive grazing systems based upon irrigated Pangola pastures in the French West Indies. 7th International Conference on goats, Tours-Poitiers, France, **1**: 376-378
4]- Alexandre, G., Aumont, G., Leimbacher, F., Mahieu, M., Mandonnet, N. et Xandé, A. (**2001a**). Creole goat and Martinik sheep production in the French West Indies: a review. PRoCICARIBE-CASRUNET First Annual Technical Meeting, Mandeville, Jamaica, **oral**
5]- Alexandre, G., Mahieu, M., Aumont, G. et Naves, M. (**2001b**). Productivity of intensive grazing system based upon irrigated pangola pastures in the French West Indies. Proc. of the XIX Int. Grassl.Congress, Sπo Pedro, Brasil, **poster**: 813-814
6]- Alexandre, G., Archimède, H., Boval, M., Mahieu, M., Aumont, G. et Xandé, A. (**2002a**). A holistic approach to the multi-functionality of the grazing systems in the Carribean. 19th General Meeting of European Grassland Federation, La Rochelle, France, **poster**: 1004-1005
7]- Alexandre, G., Archimède, H., Boval, M., Mahieu, M., Mandonnet, N., Aumont, G. et Xandé, A. (**2002b**). Tropical grazing systems in the Carribean require an integrated research methodology. International Conference of the British Society of Animal Science "Responding to the Increasing Global Demand for Animal Products", Merida Mexico, **Poster n° 107**: 2
8]- Alexandre, G., Gonzalez, E., Lallo, C., Ortega-Jimenez, E., Pariacote, F., Mandonnet, M. et Mahieu, M. (**2008**). Goat management and systems of production : global framework and case studies in the Caribbean. 9th International Conference on Goats, Qerétaro MEXICO, IGA **abstract 19**: 68
9]- Alexandre, G., Liméa, L., Bocage, B., Mahieu, M. et Mandonnet, N. (**2009**). Carcass cuts and linear measurements of the Creole goat reared under intensive conditions. 16ème Rencontres Recherches Ruminants, Paris (France), INRA - Institut de l'Elevage: 163 http://www.journees3r.fr/IMG/pdf/2009_03_15_Alexandre.pdf
10]- Alexandrine, Y., Xandé, X., Arece-Garcia, J., Mahieu, M., Diman, J. L. et Alexandre, G. (**2010**). Livestock farming systems and conditions of sustainability in Cuba, the case of small ruminant production - Proceedings of the SAPT2010 conference -. Advances in Animal Biosciences, **1**: 484-485 http://dx.doi.org/10.1017/S2040470010001032
11]- Aumont, G., Mahieu, M., Kojfer, L., Pouillot, R. et Barre, N. (**1995**). Effects of grazing with heifers on gastro-intestinal strongyles of sheep in irrigated Digitaria decumbens pastures in Martinique (F.W.I.). International Conference on Novel Approaches to the Control of Helminth Parasites of Livestock, Armidale (Australia): 61

12]- Aumont, G., Mahieu, M. et Alexandre, G. (**1997a**). Intensive production of "Martinik" hair sheep at grazing in Martinique (F.W.I.). "XV Reunion ALPA"", Arch. Latinoanim. Prod. Anim.", Maracaibo (Venezuela), **5 (supl 1)**: 439-441
13]- Aumont, G., Mahieu, M., Alexandre, G. et Archimède, H. (**1997b**). Effet du pâturage mixte des ovins et des bovins sur les caractéristiques du couvert végétal de prairies irriguées de Digitaria decumbens en Martinique (F.W.I.). Rencontres Recherches Ruminants, **4**: 155
14]- Aumont, G., Mahieu, M., Alexandre, G., Boval, M. et Archimède, H. (**1997c**). Performances comparées de troupeaux d'ovins martinik élevées sur deux types de prairies irriguées : star grass vs pangola. Rencontres Recherches Ruminants, **4**: 158
15]- Aumont, G., Mandonnet, N., Mahieu, M., Varo, H. et Arquet, R. (**1997d**). Le périparturient rise chez les caprins et les ovins de Guadeloupe et de Martinique (F.W.I.): résultats préliminaires. Workshop final de l'ATP CIRAD-MIPA 72/94, Guadeloupe (F.W.I.)
16]- Aumont, G., Mahieu, M., Alexandre, G., Leimbacher, F. et Naves, M. (**1998a**). El comportamiento productivo del ovino de pelo « Martinik » bajo sistema de pastoreo intensivo. IV Congreso Iberoamericano de razas autoctonas y criollas, Tampico, Mexique: 312
17]- Aumont, G., Mahieu, M., Alvinerie, M., Mandonnet, N., Arquet, R., Varo, H. et Hostache, G. (**1998b**). Efficacy and persistent activity of Moxidectin against gastro-intestitnal strongyles in small ruminants of the french West indies. 2nd international conference on Novel approaches to the Control of Helminth parasites of livestock, Baton Rouge, Louisiana USA
18]- Aumont, G., Mahieu, M., Michaux, Y. et Archimède, H. (**1998c**). Improved sheep production in intensensive mixed grazing system is partly due to gastro-intestinal helminth control in Martinique (F.W.I.). Joint Annual Meeting of the Caribbean Food Crops Society (34th) and the Jamaican Society for the Agricultural Sciences (9th), Montego Bay, Jamaica, **poster**
19]- Aumont, G., Mandonnet, N., Mahieu, M., Arquet, R., Varo, H. et Hostache, G. (**1998d**). Peri parturient rise in small ruminants of the French West indies. 2nd international conference on Novel approaches to the Control of Helminth parasites of livestock, Baton Rouge, Louisiana USA
20]- Aumont, G., Mahieu, M., Pierre, F., Archimède, H., Alexandre, G., Boval, M. et Mandonnet, N. (**1999**). Production and parasites of sheep in alternative grazing with cattle in the caribbean. 17th International conference of the World Association for the Advencement of Veterinary Parasitology, Copenhagen: c.7.57
21]- Bambou, J.-C., Arquet, R., Mahieu, M. et Mandonnet, N. (**2010**). Impact of the type of experimental infection with Hæmonchus contortus and post-weaning parasitism level on genetic evaluation of the resistance of Creole kids - Proceedings of the SAPT2010 conference -. Advances in Animal Biosciences, **1**: 407-408 http://dx.doi.org/10.1017/S204047001000035X
22]- Bambou, J. C., Mahieu, M., Arquet, R., Naves, M., Abinne-Molza, L., Varo, H. et Mandonnet, N. (**2006**). Characterization of blood immunoglobulin responses to Hæmonchus contortus in resistant and sensible Creole kids naturally infected with gastrointestinal strongyles. 8th World Congress on Genetics Applied to Livestock Production, Belo Horizonte (Brasil), **communication 16-05**: 167
23]- Bambou, J. C., De la Chevrotière, C., Arquet, R., Gonzalez Garcia, E., Mahieu, M., Archimède, H., Alexandre, G. et Mandonnet, M. (**2008**). Genetic evaluation of resistance to strongyles in Creoles kids is affected by protein supplementation. 9th International Conference on Goats, Queratarо MEXICO, **abstract 381**: 469
24]- Blaes, J.-L., Mandonnet, N., Arquet, R. et Mahieu, M. (**2010**). A long term experiment of integrated control of nematode parasitism in Creole goats - Proceedings of the SAPT2010 conference -. Advances in Animal Biosciences, **1**: 413-414 http://dx.doi.org/10.1017/S2040470010000403
25]- Boval, M., Alexandre, G., Mahieu, M., Cruz, P. et Meuret, M. (**1993**). Comparative use of Digitaria decumbens and Cynodon nlemfuensis by local suckling ewes in Martinique. XVII th International Grassland Congress, Palmerston North (NZL), Rockhampton (AUS): 2004-2005
26]- Burel, A., Archimede, H., Mahieu, M., Fanchone, A. et Gourdine, J. (**2013**). Foraging behavior of Creole pigs kept outdoor under tropical conditions on sweet potato field. 64th EAAP Annual Meeting, Nantes, France
27]- Cabaret, J., Aumont, G., Barre, N., Giudici, C., Saulai, M., Simon, R., Pouillot, R., Mahieu, M., Aprelon, R. et Borel, H. (**1997**). Biodiversite des peuplements d'helminthes des petits ruminants en relation avec le mode d'elevage en conditions insulaires. Programme Environnement, Vie et Societés, CNRS, Systèmes écologiques et actions de l'homme, Cary le Rouet, France
28]- Cabaret, J., Aumont, G., Barré, N., Mahieu, M., Chartier, C., Giudicci, C., Saulai, M., Bousocq, A., Gasnier, N., Schmidt, E., Suarez, V. H. et Costa, J. C. (**1999**). Biodiversité des peuplements d'helminthes de ruminants en milieux anthropises : des indicateurs de gestion des troupeaux. Systèmes écologiques et actions de l'homme, Paris (FRA), CNRS: 71-76

29]- Cei, W., Bambou, J.-C., Mahieu, M. et Alexandre, G. (**2010**). Carcass traits of male and female Creole goats according to slaughter weights, preliminary results - Proceedings of the SAPT2010 conference -. Advances in Animal Biosciences, **1**: 396-397 http://dx.doi.org/10.1017/S2040470010000245
30]- Ceï, W., Mahieu, M., Archimede, H., Bambou, J. C., Hiol, A. et Alexandre, G. (**2013**). Effects of experimental infection and diet supplementation on meat Creole goat performances. 64th EAAP Annual Meeting, Nantes, France
31]- Chemineau, P., Mahieu, M., Gravelier, P., Varo, H. et Thimonier, J. (**1982**). Reprise de l'activité ovarienne post - partum chez les petits ruminants des Antilles Françaises. 7ème Journées de la Recherche Ovine et Caprine., Paris, INRA - ITOVIC: 316-324
32]- Chemineau, P., Mahieu, M., Varo, H., Shitalou, E., Jego, Y., Grude, A. et Thimonier, J. (**1988**). Reproduction des caprins et des ovins créoles de Guadeloupe et de Martinique. 1ères journées ASPAAG sur les petits ruminants aux Antiles-Guyane, Fort-de-France
33]- Chevallier, T., Blanchart, E., Albrecht, A., Chotte, J. L., Eschenbrenner, V., Voltz, M. et Mahieu, M. (**1998**). Restoration of C content and earthworm population in a vertisol under pasture (Martinique). 16. Congrès mondial de science du sol, Wageningen (NLD), Montpellier (FRA), AISS: 8
34]- Coppry, O., Weisbecker, J. L., Nepos, A., Bocage, B., Mahieu, M., Alexandre, G. et Archimède, H. (**2006**). Engraissement d'agneaux ovin Martinik à base de canne à sucre complémentée : performances de croissance et caractéristiques de carcasse. 7emes Journees de l'AMADEPA, Lamentin, Martinique: 111-117,
35]- D'Alexis, S., Mahieu, M. et Boval, M. (**2010**). Mixed grazing systems to improve production gains at pasture: a review - Proceedings of the SAPT2010 conference -. Advances in Animal Biosciences, **1**: 518-519 http://dx.doi.org/10.1017/S2040470010001330
36]- d'Alexis, S., Alexandre, G., Mahieu, M., Jackson, F. et Boval, M. (**2012a**). Mixed grazing system with cattle to increase goat nutrition and performance at pasture Proc XI International Conference on Goats. , Gran Canaria, Spain, 23-27 September 2012, , **Session 1: Nutrition, Feeds, Feeding** N-64, 24
37]- d'Alexis, S., Mandonnet, N., Mahieu, M., Jackson, F. et Boval, M. (**2012b**). Cross-infection between tropical goats and heifers with Hæmonchus contortus. . XI International Conference of Goats 2012. , Gran Canaria, Spain.
38]- Fanchone, A., Alexandre, G., Coppry, O., Farant, A., Mahieu, M. et Naves, M. (**2012**). Comparison of four suckler cow systems differing in the level of agronomic intensification. ICLS 2012 - II International Symposium on Integrated Crop-Livestock Systems Porto alegre, Brazil
39]- Feidt, C., Jurjanz, S., Fournier, A., Lastel, M.-L., Archimede, H., Lerch, S., Mahieu, M. et Rychen, G. (**2014**). Démarche conceptuelle de sécurisation de l'élevage d'herbivores face à une pollution durable des sols par un insecticide organochloré : la chlordécone. 44e Congrès du Groupe Français des Pesticides Schoelcher, Martinique, Université Antilles-Guyane & Groupe Français des Pesticides
40]- Fournier, A., Lastel, M.-L., Jurjanz, S., Lerch, S., Archimede, H., Feidt, C., Mahieu, M. et Rychen, G. (**2013a**). Quelles pratiques d'élevage des ruminants pour sécuriser la production alimentaire aux Antilles suite à la contamination des sols par la chlordécone ? Rencontres Qualiméditerranée 5ème édition SupAgro-INRA, MONTPELLIER, FR
41]- Fournier, A., Lastel, M.-L., Jurjanz, S., Lerch, S., Archimède, H., Feidt, C., Mahieu, M. et Rychen, G. (**2013b**). Quelles pratiques d'élevage des ruminants pour sécuriser la production alimentaire aux Antilles suite à la contamination des sols par la chlordécone ? 5èmes Rencontres Qualiméditerranée, MONTPELLIER (FR)
42]- Giraud-Audine, D. et Mahieu, M. (**2010**). PATRE (Programme d?Amélioration Technique et de Recherche des Élevages), a programme of development for the small ruminant farmers in French Guyana - Proceedings of the SAPT2010 conference -. Advances in Animal Biosciences, **1**: 511-511 http://dx.doi.org/10.1017/S2040470010001263
43]- Giudici, C., Saulai, M., Aumont, G., Mahieu, M. et Cabaret, J. (**1997**). Le polymorphisme du nématode Hæmonchus contortus chez des ovins élevés seuls ou en pâturage mixte avec des bovins en Martinique. Societé Française de Parasitologie, Institut Pasteur, Paris, France
44]- Gourdine, J. L., Fanchone, A., Alexandre, G., Mahieu, M. et Archimède, H. (**2011**). La modélisation, un outil d'aide à la conception et à l'évaluation de systèmes de productions innovants: le cas des systèmes polyculture-élevage de la Caraïbe. 48ème Colloque international de l'Association Régionale de Science De Langue Française Université des Antilles et de la Guyane, Campus de Schoelcher, Martinique
45]- Jaquot, M., Mandonnet, N., Arquet, R., Naves, M., Mahieu, M. et Alexandre, G. (**2009**). Production systems of Creole goat in Guadeloupe and farmer's selection criteria. EAAP 60th annual congress, Barcelona, Spain, EAAP **S.24 - Selection in harsh environments: methods and results**
46]- Jondreville, C., Jurjanz, S., Fournier, A., Lerch, S., Lesueur-Jannoyer, M., Archimede, H., Mahieu, M., Feidt, C. et Rychen, G. (**2013**). Relative bioavailability of tropical volcanic soil-bound chlordecone in farm animals. 64th EAAP Annual Meeting, Nantes, France

47]- Jurjanz, S., Jondreville, C., Fournier, A., Clostre, F., Lesueur-Jannoyer, M., Archimede, H., Mahieu, M., Feidt, C. et Rychen, G. (**2014**). La biodisponibilité relative du clordécone de sols antillais chez les animaux d'élevage. 44e Congrès du Groupe Français des Pesticides Schoelcher, Martinique, Université Antilles-Guyane & Groupe Français des Pesticides
48]- Leimbacher, F., Alexandre, G., Mahieu, M. et Vuillaume, C. (**2005**). Strengthening of the French Antilles cooperation in the field of small ruminants in the Caribbean region. CFCS 41th Annual Meeting, Le Gosier - Guadeloupe
49]- Leimbacher, F., Alexandre, G., Mahieu, M., Naves, M. et Mandonnet, N. (**2010**). The Martinik Hair Sheep : a high potential breed to produce mutton in the Tropics. 8ème Conférence Mondiale Mérinos 2010l, Rambouillet, France
50]- Liméa, L., Bocage, B., Arquet, R., Alexandre, R., Mahieu, M. et Alexandre, G. (**2008**). Carcass conformation and description of Creole goat of Guadeloupe: initial results. 9th International Conference on Goats, Querétaro MEXICO, IGA **abstract 42**: 118
51]- Mandonnet, N., Mahieu, M., Arquet, R., Abinne-Molza, L., Varo, H. et Le Roy, P. (**2004**). Detection of a major gene affecting resistance to gastrointestinal strongyles in Creole goats. 8th International Conference on Goats, Pretoria, South Africa, **poster**
52]- Mandonnet, N., Mahieu, M., Alexandre, G. et Archimède, H. (**2005a**). Researches towards integrated control of strongiylosis and enhanced knowledge of resistance mechanism in Creole goats in Guadeloupe. 4th International Workshop on Novel Approaches to the control of helminth parasites of livestock, Merida (Mexico), **poster**: 31
53]- Mandonnet, N., Mahieu, M., Arquet, R., Abinne-Molza, L., Varo, H. et Aumont, G. (**2005b**). Inheritance of periparturient rise in Creole goats naturally infected with gastrointestinal nematodes. 4th International Workshop on Novel Approaches to the control of helminth parasites of livestock, Merida (Mexico), **poster**: 32
54]- Marie-Magdeleine, C., Joseph, H., Mahieu, M., Hoste, H. et Archimède, H. (**2006a**). Ressources végétales anthelminthiques potentiellement disponibles pour la médecine vétérinaire dans la Caraibe. 7emes Journees de l'AMADEPA, Lamentin, Martinique
55]- Marie-Magdeleine, C., Mahieu, M., Hoste, H. et Archimède, H. (**2006b**). Effects Of Musa x paradisiaca Plant Extracts On The Digestive Parasitic Nematode Hæmonchus contortus In The French West Indies. Science and Technology in a Caribbean Environment, Gosier, Guadeloupe, The Caribbean Academy of Sciences: 136-137
56]- Marie-Magdeleine, C., Mahieu, M., Philibert, L., Despois, P. et Archimède, H. (**2009**). Study of the effect of cassava foliage on nutrition, parasite infection and growth of lambs. 16ème Rencontres Recherches Ruminants, Paris (France), INRA - Institut de l'Elevage: 273 http://www.journees3r.fr/IMG/pdf/2009_08_05_MarieMagdeleine.pdf
57]- Marie-Magdeleine, C., Mahieu, M., Lastel, M.-L. et Archimède, H. (**2010**). In vitro evaluation of the nematicidal value of *Artocarpus altilis* (Parkinson) var. seminifera and non seminifera and *Terminalia cattapa* L. against *Hæmonchus contortus* - Proceedings of the SAPT2010 conference -. Advances in Animal Biosciences, **1**: 440-441 http://dx.doi.org/10.1017/S2040470010000646
58]- Naves, M., Alexandre, G., Mahieu, M., Gourdine, J. L. et Mandonnet, N. (**2011**). Les races animales locales : bases du développement innovant et durable de l'élevage aux Antilles. Revue Innovations Agronomiques, INRA **16**: 135-152 http://www.inra.fr/ciag/revue/volume_16_novembre_2011
59]- Ortega-Jimenez, E., Alexandre, G., Archimède, H., Boval, M. et Mahieu, M. (**2002**). How to solve some disadvantages of intensive grazing systems with suckling Creole goats via pasture management ? International Conference of the British Society of Animal Science "Responding to the Increasing Global Demand for Animal Products", Merida Mexico, **Poster n° 57**: 2
60]- Ortega-Jimenez, E., Alexandre, G., Boval, M., Archimède, H., Mahieu, M. et Xandé, A. (**2003**). Forage intake and milk production of suckling goats and ewes reared at pasture in Guadeloupe (FWI). VIth International Symposium on the Nutrition of Herbivores, Merida Mexico, **oral**
61]- Ortega-Jimenez, E., Mahieu, M., Garcia.G., Archimède, H. et Alexandre, G. (**2008**). Intake and digestibility of tropical forages according to reproductive status and supplementation levels in Creole reproductive goats. 9th International Conference on Goats, Querétaro MEXICO, IGA **abstract 241**: 325
62]- Pelonde, P., Alexandre, G., Mahieu, M. et Archimède, H. (**2007**). Analyse technico-économique de l'engraissement intensif des agneaux Ovin Martinik. 8ème Journée Technique de l'AMADEPA, Lamentin, Martinique: 2-8
63]- Tesfamicael, K., Mandonnet, N., Gunia, M., Alexandre, G. et Mahieu, M. (**2013**). Evaluation of the interest of resilience traits in the genetic improvement of Creole goat Na07/CAPARA - NOVEL APPROACHES to THE CONTROL of HELMINTH PARASITES of LIVESTOCK, 7th meeting, Toulouse: https://colloque.inra.fr/na07/