



Open Archive Toulouse Archive Ouverte (OATAO)

OATAO is an open access repository that collects the work of Toulouse researchers and makes it freely available over the web where possible

This is an author's version published in: <http://oatao.univ-toulouse.fr/> 23925

To cite this version:

Ruiz-Huidobro, Claire . *Impact du pâturage cellulaire sur la dynamique des populations de strongles gastro- intestinaux chez les ovins*. Thèse d'exercice, Médecine vétérinaire, Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse - ENVT, 2018, 133 p.

Any correspondence concerning this service should be sent to the repository administrator: tech-oatao@listes-diff.inp-toulouse.fr

IMPACT DU PATURAGE CELLULAIRE SUR LA DYNAMIQUE DES POPULATIONS DE NEMATODES PARASITES DU TUBE DIGESTIF CHEZ LES OVINS

THESE
pour obtenir le grade de
DOCTEUR VETERINAIRE

DIPLOME D'ETAT

*présentée et soutenue publiquement
devant l'Université Paul-Sabatier de Toulouse*

par

RUIZ-HUIDOBRO Claire
Née, le 16 Décembre 1992 à SURESNES (92)

Directeur de thèse : M. Philippe JACQUIET

IMPACT DU PATURAGE CELLULAIRE SUR LA DYNAMIQUE DES POPULATIONS DE NEMATODES PARASITES DU TUBE DIGESTIF CHEZ LES OVINS

THESE
pour obtenir le grade de
DOCTEUR VETERINAIRE

DIPLOME D'ETAT

*présentée et soutenue publiquement
devant l'Université Paul-Sabatier de Toulouse*

par

RUIZ-HUIDOBRO Claire
Née, le 16 Décembre 1992 à SURESNES (92)

Directeur de thèse : M. Philippe JACQUIET

JURY

PRESIDENT :

M. Alexis VALENTIN

Professeur à l'Université Paul-Sabatier de TOULOUSE

ASSESEURS :

M. Philippe JACQUIET

M. Fabien CORBIERE

Professeur à l'Ecole Nationale Vétérinaire de TOULOUSE

Maître de Conférences à l'Ecole Nationale Vétérinaire de TOULOUSE

MEMBRE INVITE :

Mme Laurence SAGOT

Ingénieur, Institut de l'Elevage - CIIRPO

**Ministère de l'Agriculture de l'Alimentation
ÉCOLE NATIONALE VÉTÉRINAIRE DE TOULOUSE**

Directrice : **Madame Isabelle CHMITELIN**

PROFESSEURS CLASSE EXCEPTIONNELLE

- M. **AUTEFAGE André**, *Pathologie chirurgicale*
- Mme **CLAUW Martine**, *Pharmacie-Toxicologie*
- M. **CONCORDET Didier**, *Mathématiques, Statistiques, Modélisation*
- M. **DELVERDIER Maxence**, *Anatomie Pathologique*
- M. **ENJALBERT Francis**, *Alimentation*
- M. **FRANC Michel**, *Parasitologie et Maladies parasitaires*
- M. **PETIT Claude**, *Pharmacie et Toxicologie*
- M. **SHELCHER François**, *Pathologie médicale du Bétail et des Animaux de Basse-cour*

PROFESSEURS 1° CLASSE

- M. **BERTAGNOLI Stéphane**, *Pathologie infectieuse*
- M. **BERTHELOT Xavier**, *Pathologie de la Reproduction*
- M. **BOUSQUET-MELOU Alain**, *Physiologie et Thérapeutique*
- M. **BRUGERE Hubert**, *Hygiène et Industrie des aliments d'Origine animale*
- Mme **CHASTANT-MAILLARD Sylvie**, *Pathologie de la Reproduction*
- M. **DUCOS Alain**, *Zootchnie*
- M. **FOUCRAS Gilles**, *Pathologie des ruminants*
- Mme **GAYRARD-TROY Véronique**, *Physiologie de la Reproduction, Endocrinologie*
- Mme **HAGEN-PICARD, Nicole**, *Pathologie de la reproduction*
- M. **JACQUIET Philippe**, *Parasitologie et Maladies Parasitaires*
- M. **LEFEBVRE Hervé**, *Physiologie et Thérapeutique*
- M. **MEYER Gilles**, *Pathologie des ruminants*
- M. **SANS Pierre**, *Productions animales*
- Mme **TRUMEL Catherine**, *Biologie Médicale Animale et Comparée*

PROFESSEURS 2° CLASSE

- M. **BAILLY Jean-Denis**, *Hygiène et Industrie des aliments*
- Mme **BOULLIER Séverine**, *Immunologie générale et médicale*
- Mme **BOURGES-ABELLA Nathalie**, *Histologie, Anatomie pathologique*
- Mme **CADIERGUES Marie-Christine**, *Dermatologie Vétérinaire*
- M. **GUERRE Philippe**, *Pharmacie et Toxicologie*
- M. **GUERIN Jean-Luc**, *Aviculture et pathologie aviaire*
- Mme **LACROUX Caroline**, *Anatomie Pathologique, animaux d'élevage*
- Mme **LETRON-RAYMOND Isabelle**, *Anatomie pathologique*
- M. **MAILLARD Renaud**, *Pathologie des Ruminants*

PROFESSEURS CERTIFIÉS DE L'ENSEIGNEMENT AGRICOLE

Mme **MICHAUD Françoise**, *Professeur d'Anglais*
M **SEVERAC Benoît**, *Professeur d'Anglais*

MAITRES DE CONFERENCES HORS CLASSE

M. **BERGONIER Dominique**, *Pathologie de la Reproduction*
Mme **DIQUELOU Armelle**, *Pathologie médicale des Equidés et des Carnivores*
M. **JOUGLAR Jean-Yves**, *Pathologie médicale du Bétail et des Animaux de Basse-cour*
M. **LYAZRHI Faouzi**, *Statistiques biologiques et Mathématiques*
M. **MATHON Didier**, *Pathologie chirurgicale*
Mme **MEYNADIER Annabelle**, *Alimentation*
M. **MOGICATO Giovanni**, *Anatomie, Imagerie médicale*
Mme **PRIYENKO Nathalie**, *Alimentation*
M. **VERWAERDE Patrick**, *Anesthésie, Réanimation*

MAITRES DE CONFERENCES (classe normale)

M. **ASIMUS Erik**, *Pathologie chirurgicale*
Mme **BENNIS-BRET Lydie**, *Physique et Chimie biologiques et médicales*
Mme **BIBBAL Delphine**, *Hygiène et Industrie des Denrées alimentaires d'Origine animale*
Mme **BOUCLAINVILLE-CAMUS Christelle**, *Biologie cellulaire et moléculaire*
Mme **BOUHSIRA Emilie**, *Parasitologie, maladies parasitaires*
M. **CONCHOU Fabrice**, *Imagerie médicale*
M. **CORBIERE Fabien**, *Pathologie des ruminants*
M. **CUEVAS RAMOS Gabriel**, *Chirurgie Equine*
Mme **DANIELS Hélène**, *Microbiologie-Pathologie infectieuse*
Mme **DAVID Laure**, *Hygiène et Industrie des aliments*
Mme **DEVIERS Alexandra**, *Anatomie-Imagerie*
M. **DOUET Jean-Yves**, *Ophthalmologie vétérinaire et comparée*
Mme **FERRAN Aude**, *Physiologie*
M. **JAEG Jean-Philippe**, *Pharmacie et Toxicologie*
Mme **LALLEMAND Elodie**, *Chirurgie des Equidés*
Mme **LAVOUE Rachel**, *Médecine Interne*
M. **LE LOC'H Guillaume**, *Médecine zoologique et santé de la faune sauvage*
M. **LIENARD Emmanuel**, *Parasitologie et maladies parasitaires*
Mme **MEYNAUD-COLLARD Patricia**, *Pathologie Chirurgicale*
Mme **MILA Hanna**, *Elevage des carnivores domestiques*
M. **NOUVEL Laurent**, *Pathologie de la reproduction (en disponibilité)*
Mme **PALIERNE Sophie**, *Chirurgie des animaux de compagnie*
Mme **PAUL Mathilde**, *Epidémiologie, gestion de la santé des élevages avicoles et porcins*
M. **VERGNE Timothée**, *Santé publique vétérinaire – Maladies animales règlementées*
M. **RABOISSON Didier**, *Productions animales (ruminants)*
M. **VOLMER Romain**, *Microbiologie et Infectiologie*
Mme **WASET-SZKUTA Agnès**, *Production et pathologie porcine*

ASSISTANTS D'ENSEIGNEMENT ET DE RECHERCHE CONTRACTUELS

M. **CARTIAUX Benjamin**, *Anatomie-Imagerie médicale*
Mme **COSTES Laura**, *Hygiène et industrie des aliments*
M. **GAIDE Nicolas**, *Histologie, Anatomie Pathologique*
M. **JOUSSERAND Nicolas**, *Médecine interne des animaux de compagnie*

DEDICACES ET REMERCIEMENTS

A Monsieur le Professeur Alexis VALENTIN

Professeur des Universités,
Faculté de Pharmacie de Toulouse

Qui me fait l'honneur d'accepter la présidence de mon jury de thèse.
Qu'il trouve ici l'expression de mes hommages respectueux.

A Monsieur le Professeur Philippe JACQUIET

Professeur de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse,
Parasitologie et Maladies Parasitaires

Qui m'a confié cet exercice et travail, qui m'a adroitement guidée dans son élaboration.
Qu'il trouve ici le témoignage de mon plus profond respect.

A Monsieur le Docteur Fabien CORBIERE

Maître de conférences à l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse,
Pathologie des Ruminants et Médecine des Populations

Qui m'a fait l'honneur de participer à ce jury de thèse.
Qu'il trouve ici mes sincères remerciements.

A Madame Laurence SAGOT

Ingénieure de l'Institut de l'Elevage
Au Mourier, Saint-Priest-Ligoure (87)

Qui a aimablement accepté de s'impliquer dans la réalisation de ce projet commun.
Mes plus sincères remerciements.

A l'ensemble des personnes ayant contribué à ce travail.

Madame Françoise PREVOT

Et

Feu Monsieur Jean-Paul BERGEAUD

De l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse

Madame Christelle GRISEZ

Ingénieure de recherche
De l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse

Madame Marine MILHES

Assistante ingénieur à l'INRA d'Auzeville (31)

Monsieur Yayu HUANG

Ingénieur de recherche

De l'ENSAT-GenPhySE

et

Madame Marion SAUTIER

Maître de conférences

De l'ENSAT-GenPhySE

Et bien entendu,

A l'ensemble de l'équipe du site expérimental du Mourier (87), en particulier

Madame Sophie LUGAGNE

Gestionnaire du troupeau

Qui ont participé à l'élaboration et la réalisation de ce projet. Pour leur aide précieuse, qu'ils trouvent ici l'expression de mes remerciements les plus sincères et chaleureux

TABLE DES MATIERES

Liste des enseignants	3
Dédicaces et remerciements	5
Table des matières	7
Table des figures	11
Table des tableaux	13
Table des illustrations.....	14
Table des cartes	14
Table des schémas	14

PREMIERE PARTIE : BIBLIOGRAPHIE

CHAPITRE I : LES STRONGLES GASTRO-INTESTINAUX CHEZ LES OVINS

A. Généralités.....	16
B. Biologie des strongles gastro-intestinaux	17
1. Un cycle parasitaire impliquant une phase libre dans le milieu extérieur	17
2. Ecologie des stades libres : une forte dépendance aux conditions d'humidité et de température.....	18
(a) De l'œuf à la L3	19
i. Température et développement des stades pré-infestants.....	19
ii. Humidité relative, Hygrométrie, Pluviométrie et développement des stades pré-infestants	20
(b) Survie de la L3 et migration.....	20
i. Survie de la L3.....	21
ii. Migration hors des fèces.....	22
3. Distribution actuelle des espèces de SG et leurs perspectives.....	23
C. Physiopathologie, conséquences cliniques de l'infestation et diagnostic.....	24
1. Action pathogène des SGI.....	24
(a) <i>Haemonchus contortus</i>	24
(b) <i>Teladorsagia circumcincta</i> et <i>Trichostrongylus colubriformis</i>	24
2. Réponse immunitaire de l'hôte.....	24
3. Diagnostic des strongyloses gastro-intestinales	25

CHAPITRE II : L'ELEVAGE OVIN FRANÇAIS ET PLACE DE LA CONDUITE EN PATURAGE DANS LA FILIERE OVIN VIANDE

A. Généralités sur l'élevage ovin viande et ses systèmes de production en France.....	27
1. Effectifs et chiffres-clefs	27
2. Races ovines allaitantes et systèmes de production	28
(a) Système transhumant pyrénéen.....	30
(b) Système herbager.....	34
(c) Système intensif de production.....	35
B. Les conséquences zootechniques du parasitisme gastro-intestinal.....	36

CHAPITRE III : LA LUTTE CONTRE LE PARASITISME GASTRO-INTESTINAL : QUELLE(S) STRATEGIE(S) ?

A. Stratégie unimodale : la lutte chimique	39
1. Molécules anthelminthiques historiquement utilisées.....	39
(a) Lactones macrocycliques	39
(b) Benzimidazolés.....	39
(c) Salicylanilidés	39
(d) Imidothiazolés	40
(e) Dérivés de l' amino acétonitrile ou DAAs.....	40
2. Et résistance aux anthelminthiques : une problématique mondialement d'actualité.	41
(a) Qu'est-ce que la résistance ?	41
(b) Qui concerne-t-elle ?.....	41
(c) Quels en sont les mécanismes ?	42
(d) Quand la suspecter et comment l'objectiver ?	42
(e) Quelles conclusions peut-on en tirer ?	43
B. Stratégie multimodale et avènement des stratégies de lutte intégrée	43
1. « Targeted treatments » et « targeted selective treatments » : Vers un usage raisonné des anthelminthiques en élevage	44
2. Agir en amont : la sélection génétique dans les stratégies de contrôle du parasitisme gastro-intestinal ovin	46
3. L'alimentation, une piste d'avenir ?.....	47
4. Une gestion agronomique orientée vers une limitation de l'infestation.....	50
(a) Origine et conception du pâturage cellulaire.....	50
(b) Implications en matière de lutte contre les SGI.....	53

DEUXIEME PARTIE : MATERIEL ET METHODES

CHAPITRE I : PRESENTATION DU SITE EXPERIMENTAL ET DES ANIMAUX

A. Le site du Mourier	58
1. Localisation	58
2. Des relevés réguliers de température et de pluviométrie sur le terrain	59
3. Une hauteur d'herbe régulièrement contrôlée	59
B. Protocoles de pâturage, allotement	60
1. Organisation du parcellaire	60
2. Allotement des brebis et conduite	60
(a) Conduite en pâturage tournant	61
(b) Conduite en pâturage cellulaire	61
(c) Critères d'allotement et de conduite	62

CHAPITRE II : OUTILS DE DETERMINATION DE LA CHARGE PARASITAIRE ET DE L'HELMINTHOFAUNE

A. Coprologies individuelles et de mélange	63
1. Coprologies individuelles.....	63
2. Coprologies de mélange	65
B. Coprocultures de groupe	65
C. PCR temps réel sur matrice larvaire : un outil de détermination de la composition de l'helminthofaune	67

CHAPITRE III : AUTRES DONNEES COLLECTEES	
A. Indicateurs cliniques et zootechniques	71
1. Note d'état corporel (NEC)	71
2. Indice de diarrhée (ID)	71
3. Sang veineux	73
B. Traitements antiparasitaires	73

CHAPITRE IV : TRAITEMENT DES DONNEES	
A. Préliminaires	75
B. Analyses	75

TROISIEME PARTIE : RESULTATS

CHAPITRE I : ELEMENTS DE CONTEXTE	78
--	-----------

CHAPITRE II : CONDUITE DES BREBIS	
A. Principe de calcul des temps de retour par cellule	80
B. Premiers constats sur les systèmes mis en place	81
C. Evolution du chargement instantané dans les deux systèmes	82

CHAPITRE III : APPORTS DE LA COPROLOGIE ET DE LA qPCR

Sous-partie 1 : chez les brebis

A. Données brutes d'excrétion d'œufs et leur traitement statistique	83
1. OPG moyens et effet « saison »	83
2. OPG moyens dans les deux systèmes en fonction des classes d'âge	85
3. Proportions de fortes excrétrices dans chaque système.....	86
(a) Analyse sur l'ensemble des résultats (décembre 2016 à mai 2018).....	87
(b) Analyse sur la base de données corrigée	88
B. Résultats de l'identification larvaire et de la quantification par qPCR	89
1. Identification morphologique larvaire	89
2. Enseignements de la qPCR sur la présence des trois espèces majeures au Mourier..	90

Sous-partie 2 : chez les agneaux

A. Apport de la coprologie	93
1. Coprologies individuelles.....	93
(a) SGL.....	93
(b) Oocystes.....	94
2. Identification morphologique des larves de strongles digestifs et résultats de qPCR.	95
(a) Identification morphologique	95
(b) Résultats de q PCR.....	96
3. Identification morphologique des coccidies	97
B. Résultats cliniques et thérapeutiques	98

CHAPITRE IV : RESULTATS CLINIQUES ET THERAPEUTIQUES CHEZ LES BREBIS

A. Note d'état corporel	100
1. Effet système	101
2. Effets âge et saison	102
B. Indice de diarrhée	103
C. Hématocrites	104
D. Traitements antiparasitaires	107

QUATRIEME PARTIE : DISCUSSION

A. Quels premiers constats relatifs aux strongyloses gastro-intestinales à l'issue de deux ans d'étude ?	108
1. Un niveau d'excrétion moyen en système cellulaire qui n'est pas inférieur au système tournant.....	108
2. Une helminthofaune différente entre les deux systèmes	110
3. Des résultats cliniques, zootechniques et thérapeutiques à l'enseignement variable...	114
B. Quelques points d'intérêt dans la conception de notre pâturage cellulaire comparé à d'autres systèmes basés sur les mêmes principes	116

CONCLUSION	119
-------------------------	------------

AGREMENT SCIENTIFIQUE	120
------------------------------------	------------

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	121
--	------------

TABLE DES FIGURES

Fig. 1 : Evolution de la pluviométrie, des températures moyennes minimales et maximales mensuelles sur la période de mai 2016 à mai 2018 sur le site du Mourier (p.78)

Fig. 2 : Evolution de la hauteur d'herbe moyenne des parcelles de chaque système (p. 79)

Fig. 3 : Chargements instantanés mensuels dans les systèmes cellulaire et tournant sur la période d'étude (p. 82)

Fig. 4 : OPG moyens en SGI pour chaque point de prélèvement chez les brebis PC et PT (p.83)

Fig. 5 : Traitement statistique des OPG moyens en SGI pour chaque point de prélèvement chez les brebis PC et PT (p.83)

Fig. 6 : Moyenne des OPG (de décembre 2016 à mai 2018) chez les brebis PC et PT (p.84)

Fig. 7 : OPG moyens des brebis PC et PT pour chaque point de prélèvement depuis décembre 2016 exposés par classe d'âge (p.85)

Fig. 8 : Analyse statistique des OPG moyens des brebis PC et PT pour chaque point de prélèvement depuis décembre 2016 exposés par classe d'âge (p.86)

Fig. 9 : Répartition des brebis en classes d'excrétion pour chaque système (résultats cumulés sur toute la durée de l'étude) (p.87)

Fig. 10 : Représentation des différents genres (et leurs proportions respectives) de SGI rencontrés sur le site du Mourier par date de prélèvement (p.89)

Fig. 11 : Représentation des différents genres de strongles (et leurs proportions respectives) de SGI rencontrés sur le site du Mourier par date de prélèvement et par système (p.90)

Fig. 12 : Représentation graphique des proportions relatives en *Haemonchus contortus* (Hc) *Teladorsagia circumcincta* (Tcir) et *Trichostrongylus colubriformis* (Tcol) sur le site du Mourier (p.91)

Fig. 13 : Représentation graphique des proportions relatives en *Haemonchus contortus* (Hc) *Teladorsagia circumcincta* (Tcir) et *Trichostrongylus colubriformis* (Tcol) sur le site du Mourier dans chaque système à chaque point de prélèvement (p.92)

Fig. 14 : Excrétion moyenne en œufs de SGI chez les agneaux PC et PT en juin 2017 et 2018 (p.93)

Fig. 15 : Répartition des agneaux PC et PT selon la classe d'excrétion en œufs de strongles digestifs (p.94)

Fig. 16 : Excrétion moyenne en oocystes chez les agneaux PC et PT en juin 2017 et 2018 (p.94)

Fig. 17 : Répartition des agneaux PC et PT selon leur classe d'excrétion en oocystes d'*Emeiria spp.* (résultats sur les deux années cumulées) (p.95)

Fig. 18 : Proportions des différentes espèces de SGI d'après l'identification morphologique larvaire chez les agneaux PC et PT en juin 2017 (p.95)

Fig. 19 : Proportions des différentes espèces de SGI d'après l'identification morphologique larvaire chez les agneaux PC et PT en juin 2018 (p.96)

Fig. 20 : Proportions des différentes espèces de SGI obtenus par qPCR chez les agneaux PC et PT en juin 2017 et 2018 (p.96)

Fig. 21 : Résultats de l'identification morphologique des différentes espèces d'*Eimeria spp.*(p.97)

Fig. 22 : Hématocrites moyens chez les agneaux PC et PT en juin 2017 et 2018 (p.99)

Fig. 23 : Evolution des NEC moyennes dans les deux systèmes entre décembre 2016 et mai 2018 (p.100)

Fig. 24 : NEC moyennes par système et par date de prélèvement entre décembre 2016 et mai 2018 (p.101)

Fig. 25a : NEC moyennes par millésime dans chaque système et par date de prélèvement (p.101)

Fig. 25b : NEC moyennes par classe d'âge dans chaque système et par date de prélèvement (p.102)

Fig. 26 : Test de corrélation de Pearson sur les variables quantitatives OPG, NEC et ID sur la durée de l'étude (p.103)

Fig. 27 : Graphique diagonal matriciel des NEC, ID, hématocrites et OPG mesurés sur toute la durée de l'étude (p.103)

Fig. 28 : Moyennes annuelles des données brutes mesurées pour chaque système entre décembre 2016 et mai 2018 (p.104)

Fig. 29 : Evolution des hématocrites moyens pour chaque système sur la durée de l'étude (p.104)

Fig. 30 : Evolution des hématocrites moyens et leur IC à 95% pour chaque système sur toute la durée de l'étude (p.105)

Fig.31 : Hématocrites moyens par classe d'âge pour chaque point de prélèvement entre décembre 2016 et mai 2018 (p. 105)

Fig. 32 : Hématocrites moyens et IC à 95% par classe d'âge pour chaque point de prélèvement entre décembre 2016 et mai 2018 (p.106)

TABLE DES TABLEAUX

Tab. 1 : Quelques éléments caractéristiques des principales espèces de SGI retrouvées chez les ovins (p.16)

Tab. 2 : Médiane de survie de la larve infestante des trois principales espèces de SGI ovins en fonction de la température (p.21)

Tab. 3 : Comparaison des principales caractéristiques d'un type de pâturage cellulaire et d'un système classiquement utilisé en France, le pâturage tournant (p.52)

Tab. 4 : Conception des trois systèmes de pâturage mis en place de 2000 à 2006 dans les Northern Tablelands, Australie (p.54)

Tab. 5 : Synthèse des amorces et sondes utilisées dans la PCR temps réel (p.68)

Tab.6 : Programme de PCR temps réel mis en œuvre (p.68)

Tab. 7 : Traitements antiparasitaires utilisés entre mai 2016 et mai 2018 (p.74)

Tab. 8 : Synthèse des éléments-clefs de conduite en pâturage cellulaire et en pâturage tournant entre mai 2016 et mai 2018 (p.80)

Tab. 9 : Synthèse des fréquences en fortes et très fortes excrétrices dans chaque système (p.87)

Tab. 10 : Détail des fréquences en fortes et très fortes excrétrices dans chaque système par point de prélèvement (p.88)

Tab. 11 : Synthèse des fréquences en fortes et très fortes excrétrices dans chaque système sur la base de données corrigée (p.88)

Tab. 12 : Détail des fréquences en fortes et très fortes excrétrices dans chaque système sur la base de données corrigée par point de prélèvement (p.88)

Tab. 13 : Effectifs, médianes et écarts-types associés aux moyennes d'excrétion en œufs de SGI chez les agneaux PC et PT en juin 2017 et 2018 (p.93)

Tab. 14 : Effectifs, médianes et écarts-types associés aux moyennes d'excrétion en oocystes chez les agneaux PC et PT en juin 2017 et 2018 (p.94)

Tab. 15 : Proportions en espèces de coccidies pathogènes pour les agneaux PC et PT en juin 2017 et 2018 (p.98)

Tab. 16 : Traitements antiparasitaires administrés aux agneaux sur la durée de l'étude (p.98)

Tab.17 : Traitements antiparasitaires administrés aux brebis sur la durée de l'étude (p.107)

Tab. 18 : Résultats d'agnelage des lots PC et PT pour la mise-bas du printemps 2017 (p.115)

Tab.19 : Performances zootechniques des agneaux pour l'année 2017 (p.116)

TABLE DES ILLUSTRATIONS

- III. 1** : Conduite des brebis en pâturage cellulaire : illustration du passage d'une cellule à l'autre à l'aide de clôtures mobiles (p.62)
- III. 2** : Photographies d'une lame de Mac Master (p.64)
- III. 3** : Plan de plaque utilisé pour la qPCR du 29/05/2017 (p.69)
- III. 4** : Résultats obtenus pour la gamme étalon d'*Haemonchus contortus* au 29/05/2017 (p.69)
- III. 5** : Illustration des différents états corporels rencontrés fréquemment chez les brebis (p.72)

TABLE DES CARTES

- Carte 1** : Répartition des cheptels ovins lait et viande français en 2015 (p.27)
- Carte 2** : Répartition sur le territoire français des principales races ovines bouchères (p.29)
- Carte 3** : Répartition sur le territoire français des races ovines rustiques allaitantes (p.29)
- Carte 4** : Lieux de présence permanente (rouge) et occasionnelle (orange) des loups en Europe (p.32)
- Carte 5** : Recensement des zones de présence de l'Ours brun dans les Pyrénées (p.33)
- Carte 6** : Vue satellite du domaine expérimental du Mourier (p.58)

TABLE DES SCHEMAS

- Schéma 1** : Cycle de développement des strongles gastro-intestinaux chez les ovins (p.17)
- Schéma 2** : Optima de développement pour les trois espèces principales de SGI chez les ovins (p.20)
- Schéma 3** : Illustration de la localisation des différentes zones de pâturage en système transhumant (p.30)
- Schéma 4** : Exemple de parcellaire d'une ferme laitière Néo-Zélandaise (p.51)
- Schéma 5** : Organisation du parcellaire sur le site du Mourier (p.60)
- Schéma 6** : Représentation schématique d'une larve infestante (p.66)
- Schéma 7** : Aide à la diagnose morphologique des différentes *Eimeria spp.* de l'ovine (p.67)
- Schéma 8** : Repères anatomiques d'intérêt dans l'établissement de la note d'état corporel (p.71)

PREMIERE PARTIE : BIBLIOGRAPHIE

CHAPITRE I. LES STRONGLES GASTRO-INTESTINAUX CHEZ LES OVINS : Des parasites intéressant différents étages de l'appareil digestif de leur hôte

A. Généralités

L'expression « strongles gastro-intestinaux » (SGI) désigne des Nématodes ou vers ronds, organismes parasites internes de l'appareil digestif fréquemment rencontrés chez les ruminants, lesquels se contaminent au pâturage.

Elle regroupe de nombreux genres et espèces dont la répartition est mondiale, appartenant à l'Ordre des *Strongylida*, à la Super-Famille des *Trichostrongyloidea* et à la Famille des Trichostrongylidés. Au sein de ce groupe, certains se distinguent de par leur impact négatif tant clinique que zootechnique dans l'élevage ovin particulièrement important et trois genres constituent actuellement un trio de tête : *Teladorsagia spp*, *Trichostrongylus spp*. et *Haemonchus spp* (Morgan, van Dijk 2012). Néanmoins la co-infestation est une règle et l'on peut alors observer d'autres genres –de moindre importance médicale ou économique-, tels que *Nematodirus spp*, *Oesophagostomum spp* ou *Cooperia spp*, dont la présence peut contribuer à aggraver l'expression clinique d'une infestation par un genre plus pathogène (Zajac 2006; Cabaret 2002).

Nom	Localisation	Description (adultes)	Régime alimentaire	Importance
<i>Haemonchus contortus</i>	Caillette	1-3cm de long ♀ : Enroulement caractéristique des cordons génitaux autour du tube digestif	hématophages	En climat chaud et humide : forte prévalence Grande prolificité des femelles (5000-6000 œufs/♀/j) ♂ Fort
<i>Teladorsagia circumcincta</i>	Caillette (glandes de la muqueuse gastrique pour les larves)	~1cm	Histophages et hématophages	En climat frais et humide : forte prévalence Moins prolifique qu' <i>Haemonchus</i> ♂ Moyen
<i>Trichostrongylus colubriformis</i>	Intestin grêle (cryptes)	<1 cm	histophages	Cosmopolite Fréquemment en co-infection avec <i>Teladorsagia</i> Moins prolifique qu' <i>Haemonchus</i> ♂ Moyen à faible

Tableau 1 : Quelques éléments caractéristiques des principales espèces de SGI retrouvées chez les ovins
(Zajac 2006; Anderson, Rings, Abrahamsen 2011; Tariq 2015)

B. Biologie des strongles gastro-intestinaux

1. Un cycle parasitaire impliquant une phase libre dans le milieu extérieur

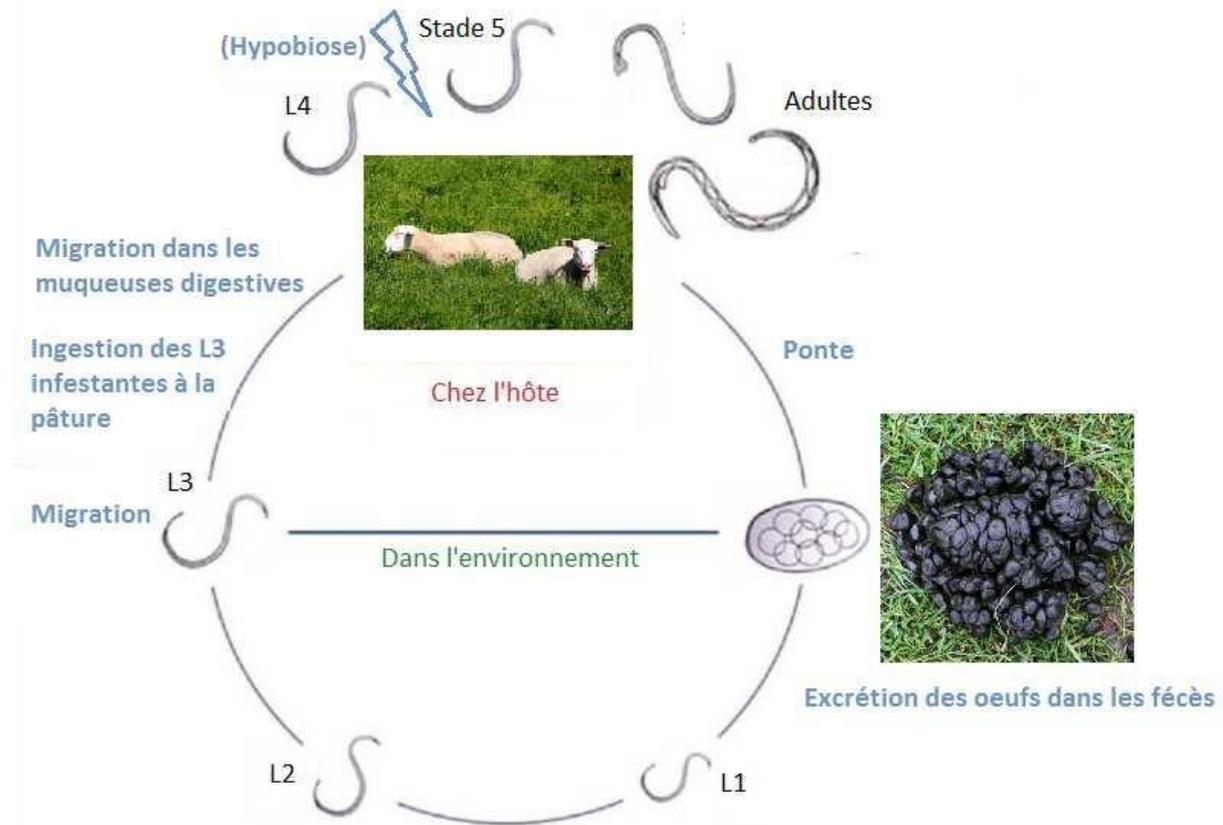


Schéma 1 : Cycle de développement des strongles gastro-intestinaux chez les ovins d'après Zajac, 2006

Le cycle évolutif des strongles gastro-intestinaux est dit monoxène (où n'intervient qu'un seul hôte, l'hôte définitif) et se déroule en deux temps : une phase de développement des stades larvaires (de l'œuf aux L3 infestantes) dans l'environnement ou phase libre et une phase parasitaire au cours de laquelle se développent chez l'hôte les stades juvéniles (L4 et stade 5) et adulte.

L'élimination des œufs dans les fèces marque le début de la phase libre. Les œufs s'embryonnent et donnent lieu aux larves de stade 1, se nourrissant de micro-organismes présents dans les fèces et peu résistantes dans le milieu extérieur. Puis, deux mues successives laissent place aux larves L2 et enfin L3, ces dernières étant infestantes (*i.e* à même de pénétrer dans l'organisme et d'y poursuivre leur développement). Les larves de troisième stade sont filiformes, doublement cuticulées (elles retiennent l'exuvie du stade précédent) et résistantes dans le milieu extérieur mais incapable d'y prélever de la nourriture. Ainsi, jusqu'à leur ingestion par un hôte, les L3 survivent grâce à leurs réserves accumulées aux stades L1 et L2 (Zajac 2006; Morgan, van Dijk 2012)

Une étape clef du cycle parasitaire est la migration des stades infestants: les L3 circulent hors des fécès, jusqu'à 90 cm de distance puis peuvent entamer une migration complémentaire, verticale cette fois, jusqu'à environ 5 cm de hauteur sur l'herbe pour *Haemonchus contortus* (Skinner, Todd 1980) dans la couverture herbagère et sont alors accessibles et consommables par leur hôte.

La phase parasitaire débute par l'ingestion à la pâture de larves L3 infestantes qui traversent le réticulo-rumen et le feuillet et se logent dans la muqueuse abomasale ou intestinale, où elles donnent lieu aux L4. Au terme d'une période pré-patente (délai entre infestation et ponte des premiers œufs) de 15 à 21 jours en moyenne selon les genres et les conditions extérieures (Anderson, Rings, Abrahamsen 2011), l'animal est excréteur : les œufs sont émis dans la lumière de l'appareil digestif et éliminés avec les fèces sur la pâture. Au sein d'un même troupeau, tous les animaux n'excrètent pas avec la même intensité et ne contribuent donc pas de la même façon à la contamination de la pâture, du fait d'une répartition dite agrégée des SGI ; cette distribution est respectée par la plupart des macroparasites et implique qu'une minorité d'individus hébergent la majorité des parasites (Gaba 2005; Wilson 2002) .

Les strongles gastro-intestinaux à l'âge adulte peuvent survivre quelques mois voire une année chez leur hôte. Lorsque l'infestation a lieu dans des conditions intrinsèques (comme l'immunité de l'hôte) ou extrinsèques (conditions climatiques) défavorables à la poursuite du cycle parasitaire et la survie des stades libres dans l'environnement, certains d'entre eux sont capables de rentrer en hypobiose.

L'hypobiose se définit comme un mécanisme adaptatif prenant place chez l'hôte permettant la synchronisation du déroulement du cycle avec les modifications de son environnement (climat et défenses de l'hôte). Elle consiste en un enkystement dans la muqueuse digestive des larves de quatrième stade précoce, dont le métabolisme est alors conséquemment ralenti. Les larves perdurent dans cet état de dormance jusqu'au retour de conditions climatiques favorables mais aussi lors du peripartum où l'on observe une augmentation importante de l'excrétion d'œufs dans les fécès. Dans des régions où le climat est tempéré, cet état permet la survie du parasite lors d'hiver secs et froids ou de périodes chaudes et sèches (Gibbs 1986; Langrová *et al.* 2008).

Les strongles gastro-intestinaux ne sont pas les seuls parasites digestifs auxquels les ovins à l'herbe sont exposés. Les agneaux en particuliers sont susceptibles de contracter au pâturage une infestation par un Cestode commun, *Moniezia expansa*.

2. Ecologie des stades libres : une forte dépendance aux conditions d'humidité et de température

Ainsi que vu précédemment, les SGI sont remarquablement adaptés à la survie en milieu extérieur et ont développé des stratégies limitant l'impact des aléas climatiques sur leur biologie. Ils restent pourtant tributaires de ceux-ci lorsqu'ils sont sous leurs formes libres. De la survie de l'œuf à la migration de la larve de troisième stade et son ingestion par l'ovine, deux facteurs environnementaux ont un rôle majeur à jouer : la température et l'humidité. Ils

expliquent ainsi la diversité de prévalence mesurée dans le monde de ces parasites et, plus localement, leur distribution et le niveau de contamination des pâtures.

(a) De l'œuf à la L3

Le développement larvaire des SGI se déroule entièrement au sein des fécès de leur hôte. Si les différentes espèces de SGI ont des caractéristiques communes sur de nombreux points, nous allons voir qu'il en va autrement lorsque l'on est amené à comparer *Haemonchus contortus*, *Teladorsagia circumcincta* et *Trichostrongylus colubriformis*.

i. Température et développement des stades pré-infestants

O'Connor (2006) présente l'effet inégal de la température sur le développement des stades pré-infestants des différents genres (lorsque l'humidité n'est pas un facteur limitant) :

Chez *H.contortus*, l'embryonnement des œufs est rendu impossible à des températures négatives et est fortement ralenti à 10°C. Le délai d'obtention d'une L3 à 4°C à partir d'un œuf embryonné est augmenté à 128 jours contre 3 jours à des températures comprises entre 30 et 35°C. Enfin, il est rapporté qu'après 12 jours à 4°C, aucun œuf embryonné d'*H.contortus* n'a donné lieu à des larves infestantes viables.

Pour *T.circumcincta*, une baisse des températures semble être un facteur moins limitant que pour *H.contortus* : L'œuf éclot avec succès dans 93% des cas après une exposition à des températures négatives durant 15h ; exposé à une température de 4°C, il s'embryonne en 48h et une poursuite du cycle de développement est possible jusqu'à la L3 mais on observe une forte mortalité de la population larvaire. Cependant, plus de trente pour cent de la population initiale reste viable et peut donner des L3 à cette température.

Dans le cas de *Trichostrongylus colubriformis*, aucun minima de température n'est mentionné noir sur blanc mais il occupe visiblement une position intermédiaire à celles d'*H.contortus* et *T.circumcincta*. Après une courte exposition de trois jours à une température de 4°C, plus de 80% des œufs restent viables, pourcentage réduit à plus de 30% si l'exposition est prolongée à 12 jours.

En résumé, trois sensibilités distinctes se font jour: *Haemonchus contortus* est le plus sensible aux températures inférieures à 9°C qui limitent de façon importante le développement des stades pré-infestants ; *Trichostrongylus colubriformis* admet des températures plus faibles quoi qu'il ne rivalise pas avec *Teladorsagia circumcincta*, adapté à des températures comprises entre 0 (où l'éclosion est encore possible) et 4°C ;

Inversement, une élévation de la température ne signifie pas nécessairement pour chacune de ces espèces un développement rapide et une viabilité de 100%, ce qui a permis d'établir leurs optima de températures respectifs, soit la gamme de température à laquelle on obtient l'effectif maximal de larves de troisième stade à partir d'une population initiale donnée d'œufs d'une certaine espèce (Morgan, van Dijk 2012; O'Connor 2006)

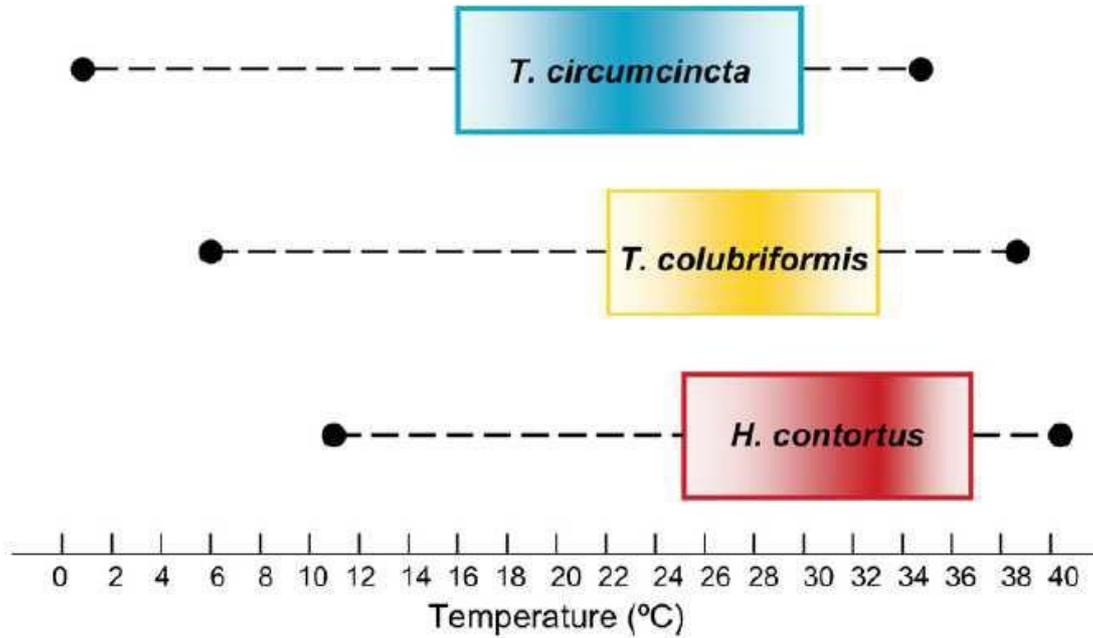


Schéma 2 : Optima de développement pour les trois espèces principales de SGI chez les ovins (O'Connor 2006)

ii. Humidité relative, Hygrométrie, Pluviométrie et développement des stades pré-infestants

L'humidité reste le facteur le plus difficile à évaluer dans le cadre du développement des strongles gastro-intestinaux. En effet, il semble difficile de mettre le doigt sur la condition environnementale la plus déterminante entre la pluviométrie (sur une courte ou longue période précédant ou suivant l'excrétion), l'humidité relative en surface des fèces ou du sol, l'état d'humidité du sol et de la couverture herbagère ainsi que l'impact du développement de celle-ci sur l'ambiance établie au sein de la matière fécale.

En conditions expérimentales, néanmoins, il ressort qu'à 23°C, un seuil minimal de 39%, 25% et 35% d'humidité relative soient respectivement nécessaires à *H. contortus*, *T. circumcincta* et *T. colubriformis* afin de passer de l'œuf embryonné à la larve de stade 3.

Qui plus est, on note une forte sensibilité des stades pré-infestants d'*H. contortus* à la dessiccation, comparativement à *T. circumcincta* et *T. colubriformis* (Rossanigo, Gruner 1995)

(b) Survie de la L3 et migration

Cuticulée et ayant conservé l'exuvie du stade précédent, la larve de stade trois est considérée comme étant la plus résistante aux conditions défavorables du milieu extérieur (Morgan, van Dijk 2012; van Dijk, Morgan 2011; O'Connor 2006). C'est elle qui disséminera dans la pâture à partir des fèces contaminées et permettra la poursuite du cycle dans sa phase parasitaire après ingestion. Cependant, la probabilité de rencontre d'un hôte au cours de temps n'est pas constante et lors de phases de repos des pâtures elle est même nulle. La L3 se

retrouve alors confrontée à la nécessité de résister dans des conditions extérieures plus ou moins clémentes jusqu'au retour de l'ovine.

i. Survie de la L3

La survie de la L3 est aussi dépendante de la température et de l'humidité, comme le montrent de nombreuses études réalisées en laboratoire comme sur le terrain.

Elle est capable en laboratoire de résister à des gammes de température plus larges que les stades pré-infestants. Néanmoins, sa médiane de survie varie à la fois de façon inversement proportionnelle à la température (*cf.* Tableau 2) et à la fois en fonction de l'espèce de strongle considérée ; ainsi, *T.circumcincta* montre une plus grande longévité que *T.colubriformis*, *H.contortus* occupant la dernière position ((Boag, Thomas 1985)). Les L3 de *T.circumcincta* peuvent survivre trois mois à -10°C et jusqu'à 10 semaines dans des conditions expérimentales reproduisant des variations journalières de température oscillant entre -10 et 3°C ; dans les mêmes conditions, *T.colubriformis* n'est pas retrouvé après 8 jours et seul un faible effectif de larves est capable d'atteindre cette limite. Quant à *H.contortus*, sa population larvaire se retrouve rapidement décimée dans ces conditions (<1% de la population initiale après 24h) (O'Connor 2006).

Espèce	Médiane de survie (jours +/- déviation standard)					
	5°C	10°C	15°C	20°C	25°C	30°C
<i>Haemonchus contortus</i>	553+/-70	410+/-36	392+/-28	227+/-30	181+/-15	91+/-10
<i>Trichostrongylus colubriformis</i>	708+/-75	602+/-63	525+/-57	383+/-43	160+/-43	95+/-12
<i>Teladorsagia circumcincta</i>	825+/-73	625+/-58	526+/-43	401+/-30	304+/-28	154+/-16

Tableau 2 : Médiane de survie de la larve infestante des trois principales espèces de SGI ovines en fonction de la température (d'après Boag and Thomas (1985)).

Par ailleurs, les larves L3 montrent une bonne tolérance à la dessiccation (Chylinski *et al.* 2014) quoique *T.circumcincta* se distingue par une plus grande résistance que *T.colubriformis*, *H.contortus* y étant le plus sensible. En les soumettant à différentes gammes de température et d'humidité relative, Pandey (1993) montre expérimentalement qu'une humidité relative de 30-50% est optimale pour la survie des L3 de *Teladorsagia circumcincta* sur une large fourchette de températures mais qu'à 35°C, aucune larve ne survit quel que soit le taux d'humidité apporté.

L'étude de l'écologie larvaire d'*Haemonchus contortus* soumis à une période hivernale pluvieuse en pâture de Besier (1993) conclut que la plus grande durée de survie de la L3 est constatée lors de la conjonction de faibles températures et des plus fortes précipitations observées lors de l'expérience.

Enfin, les larves de troisième stade présentent une capacité supplémentaire à se défendre contre des températures peu clémentes : celle de migrer passivement dans le sol, du fait de leur hygrophilie et à la faveur de la percolation de l'eau libre dans la terre. Les L3 migrent ainsi à plus de 40 cm de profondeur et leur retour actif à la surface concorde avec le retour de conditions météorologiques plus favorables occasionnant un réchauffement du sol (Gruner 1982)

Les larves de stade 3 sont donc munies de nombreux atouts leur permettant de passer l'hiver ou de survivre à des étés particulièrement chauds et secs quoique leur population initiale puisse s'en retrouver réduite. Qui plus est, leur capacité à s'implanter et poursuivre le cycle parasitaire au sein de l'hôte ou « fitness » est conservée voire renforcée au sortir de ces périodes difficiles (Chylinski *et al.* 2014; Mallet, Kerboeuf 1986)

Il ressort de ce rapport que la dessiccation reste le facteur limitant principal de la survie de la L3 au pâturage. Van Dijk (2009) y ajoute l'exposition aux ultra-violets, qui est limitée lorsque la couverture herbagère est suffisante pour que les L3 en soient protégées une partie de leur vie. Mais en dépit des connaissances actuelles déjà pointues sur le sujet, il reste très difficile d'estimer la durée de vie des L3 compte-tenu de très nombreux autres facteurs rentrant en ligne de compte : la nature géologique du sol qui module la percolation, la disponibilité en eau et sa cinétique d'évaporation, fonctions du climat ou encore le temps de repos accordé aux pâtures.

ii. *Migration hors des fèces*

C'est une étape clef de la poursuite du cycle. Les ovins ne pâturent pas proches de sites d'élimination des fèces, les L3 doivent donc réaliser une migration horizontale et verticale augmentant sa probabilité d'ingestion par l'hôte. Pour *Haemonchus contortus*, elle a lieu dans les trois semaines suivant l'excrétion dans les matières fécales, *Trichostrongylus colubriformis* dans les quelques semaines qui suivent et *Teladorsagia circumcincta* peut être retrouvé sur la pâture et dans les fèces de 90 jours à 10 mois après leur dépôt selon les études (Gibson, Everett 1972; Callinan 1978).

La disponibilité d'eau libre n'a aucune influence sur la migration verticale des larves de troisième stade. En revanche, elle est nécessaire à la migration horizontale : van Dijk et Morgan (2011) montrent que lorsque les fèces sont sèches, un épisode pluvieux est nécessaire pour amorcer la migration des larves de stade 3, dont la grande majorité se déplace dans les premières 24h après la précipitation.

Wang *et al.* (2014) étudient la migration larvaire en fonction de l'humidité initiale des fèces et de deux niveaux d'intensité de précipitation simulés en laboratoire (faible et élevé) sur une période de 8 jours. Ils déterminent ainsi que si l'humidité intrinsèque des fèces est faible, l'intensité de la précipitation permettant la migration doit être élevée. Autrement dit, si la quantité d'eau libre apportée par la pluie est insuffisante pour élever l'humidité relative des fèces, la migration larvaire n'a pas lieu. Ainsi, les conditions météorologiques précédant et suivant la formation de la larve L3 sont primordiales pour la poursuite rapide du cycle.

3. Distribution actuelle des espèces de SGI... et leurs perspectives

Il ressort de la plupart des études publiées autour des SGI les contraintes qu'exercent sur eux les conditions environnementales (Anderson, Rings, Abrahamsen 2011; Morgan, van Dijk 2012; O'Connor 2006; Rose *et al.* 2016; Rinaldi *et al.* 2015...).

Haemonchus contortus a longtemps été décrit comme prépondérant dans les régions tropicales et subtropicales, aux étés marqués par des pluies abondantes et où les températures sont généralement optimales pour son développement. Son importance décroît dans les régions où les étés sont chauds et secs et les hivers pluvieux. En région tempérée, il est décrit comme minoritaire par rapport à d'autres espèces mais néanmoins représenté, probablement du fait de sa capacité à rentrer en hypobiose. *Teladorsagia circumcincta* et *Trichostrongylus colubriformis* sont les espèces de strongles dominantes dans les régions tempérées, où la pluviométrie est plus régulière. Ainsi en région tempérée, les pics d'infestation ont classiquement lieu en automne et au printemps, lorsque la température est moins limitante

Il appert en réalité qu'il est très difficile de cartographier précisément la présence de ces trois espèces ou généraliser aisément sur leur épidémiologie; chaque site géographique présente une helminthofaune unique, en relation directe avec de nombreux facteurs : température et ses variations journalières et hebdomadaires, pluviométrie, humidité relative de l'air et des matières fécales, couverture herbagère et son influence sur le microclimat qui s'établit à son échelle, en équilibre avec le macroclimat environnant. La fine connaissance de leur écologie est la pierre angulaire des stratégies de lutte efficaces envisagées de nos jours.

Avec l'amorce de changements climatiques émergent les questions de changement de répartition de ces parasites et de la pertinence de renouveler régulièrement les études épidémiologiques afin d'adapter localement les méthodes de lutte mises en œuvre. Kenyon et al. (2009) décrit ainsi un épisode d'haemonchose sévère sur un troupeau pâturant au Nord de l'Angleterre; l'origine suspectée du parasite est le troupeau lui-même, originaire du Sud de l'Angleterre où le climat est plus favorable au développement du parasite, porteur de larves L4 en hypobiose. Le réchauffement du climat au Nord de l'Angleterre (1°C/mois et une augmentation de 20% des précipitations annuelles) aurait permis l'advenue d'un épisode d'haemonchose clinique.

La présence d'*Haemonchus contortus* est avérée dans des régions n'étant ni tropicales ni subtropicales mais l'on constate désormais son implication dans des épisodes cliniques (Kenyon et al. 2009; Barrère 2013) . Certains prévoient une tendance à l'allongement des périodes à risques pour les ovins et à l'augmentation de la pression d'infection à la pâture (Rose *et al.* 2016), du fait des capacités d'adaptation à des conditions défavorables de ces parasites d'une part, et d'autre part du réchauffement climatique global en cours.

C. Physiopathologie, conséquences cliniques de l'infestation et diagnostic

1. Action pathogène des SGI

La physiopathologie des strongyloses gastro-intestinales s'explique d'une part par l'action spoliatrice des parasites et d'autre part par les modifications histologiques et biochimiques qu'ils provoquent.

(a) *Haemonchus contortus*

Les stades immatures ainsi que les adultes *H.contortus* suivent un régime hématophage chez leur hôte. Cette spoliation sanguine a pour conséquences directes l'anémie et l'hypoprotéinémie dont l'intensité et l'expression clinique dépendent de la charge parasitaire de l'hôte.

Une haemonchose suraiguë peut entraîner une mort subite. Dans les formes aiguës, l'ovin présente des signes généraux de faiblesse ou de prostration, une baisse d'état général (perte de poids, de laine, déperdition en qualité de la laine) et des muqueuses pâles associés à l'anémie ; l'animal peut présenter un œdème de l'auge, conséquence de l'hypoprotéinémie. Mais l'haemonchose peut rester sub-clinique et auquel cas les signes restent discrets avec une chute de production qui se remarque tardivement. Le caractère insidieux de cette forme clinique peut entraîner un délai dans le diagnostic de l'haemonchose préjudiciable aux résultats économiques de l'élevage (Anderson, Rings, Abrahamsen 2011)

(b) *Teladorsagia circumcincta* et *Trichostrongylus colubriformis*

En présence de *Teladorsagia circumcincta* dans la caillette on observe un remaniement de la paroi gastrique (oedématisation, aspect cartonné) qui affecte la physiologie de l'organe, et en particulier diminue la sécrétion d'acide gastrique. Dans des stades avancés, l'animal développe une hypoalbuminémie.

A l'instar de *T.circumcincta*, la présence de *T.colubriformis* chez son hôte perturbe les mécanismes de digestion et d'absorption des nutriments mais en causant une atrophie villositaire intestinale. A l'origine de lésions épithéliales, il entraîne des pertes protéiques digestives importantes, particulièrement préjudiciables chez les agneaux en croissance.

Tous deux entraînent une clinique générale d'anorexie, de perte de poids, de déshydratation (éventuellement de la léthargie) et digestive (diarrhée). A cela se rajoutent la formation d'œdème intermandibulaire (*Teladorsagia circumcincta*) et possiblement de rachitisme chez les jeunes (*Trichostrongylus colubriformis*) (McLeay *et al.* 1973; Stear *et al.* 2003; Anderson, Rings, Abrahamsen 2011)

2. Réponse immunitaire de l'hôte

Chez l'hôte, le parasitisme digestif déclenche une réponse immunitaire mucoale et générale de type Th-2 impliquant de nombreux acteurs moléculaires (Interleukines, immunoglobulines G et A spécifiques) et cellulaires (éosinophiles, mastocytes, lymphocytes T...) visant à limiter l'installation et le développement des larves mais aussi à réduire la fécondité des femelles

(Lacroux, Jacquet 2006; González et al. 2011). Elle peut, mais chez certains individus seulement, empêcher complètement l'implantation des L3 chez leur hôte. Cependant, cette immunité ne s'établit que progressivement avec l'âge, et peut-être déplétée dans certaines situations entraînant une immunodépression physiologique ou pathologique, comme en péripartum. Ainsi, les agneaux de premières saisons de pâture (dont le système immunitaire est encore naïf ou n'ayant pas encore rencontré le parasite) ainsi que les brebis autour de la parturition sont les individus les plus sensibles aux infestations par les strongles gastro-intestinaux. Et d'une façon générale, chez les individus ne mettant pas en place cette réaction immune radicale, la population parasitaire conserve une bonne fertilité, ils sont donc plus excréteurs que leurs congénères et participent ainsi de façon significative à la transmission du parasite au sein du troupeau ainsi qu'au maintien d'une pression parasitaire importante à la pâture (Barger 1993; Miller, Horohov 2006; Gibbs 1986; Stear *et al.* 2000)

3. Diagnostic des strongyloses gastro-intestinales

Il repose essentiellement sur la confrontation du cortège clinique et d'éléments épidémiologiques aux résultats obtenus par la coprologie. Cet examen complémentaire peut être réalisé pour un individu ou un lot d'individus représentatifs du troupeau (pour confirmer la circulation du parasite au sein de l'élevage), sur fèces fraîches.

La coproscopie par flottation permet la détection des œufs de strongles dans les matières fécales. Elle consiste à mélanger un liquide de densité supérieure à celle des œufs du ou des parasites recherchés (Sulfate de Zinc, solution saline, sucrée, ...) avec des fèces. Une fois homogénéisée, la solution est laissée au repos le temps de la remontée des œufs en surface. Une lame apposée sur le ménisque formé par la solution dans son contenant permet de récupérer les œufs qui s'y trouvent. Cette méthode est qualitative, c'est-à-dire qu'elle permet de répondre à la question fermée de la présence ou l'absence du parasite chez un individu ou au sein d'un troupeau. La densité du liquide de flottation doit être impérativement adaptée à celle des œufs recherchés sans quoi un faux négatif est possible (exemple : pour les œufs de Trématodes qui sont lourds, une densité de 1.45 est indispensable et une densité de 1.2 sera suffisante pour les œufs de SGI).

Les méthodes quantitatives sont souvent les plus pertinentes car elles permettent de déterminer le nombre d'œufs contenus par gramme de fèces et ainsi d'évaluer l'efficacité d'un traitement, la cohérence entre la clinique de l'animal et l'hypothèse étiologique de parasitisme (la charge parasitaire est-elle suffisante pour déclencher la clinique observée ?) ou encore d'estimer le niveau de contamination d'une pâture. Il en existe plusieurs dont la plus utilisée est la technique de MacMaster et ses variantes. Cette dernière comporte une étape préliminaire de dilution d'un à quelques grammes de fèces dans un volume fixé de liquide (dont le choix de la densité est déterminé par les mêmes raisons que précédemment énoncées). Cette dilution est nécessaire car les fèces des ovins contiennent souvent des milliers d'œufs, ce qui entraînerait des superpositions et un dénombrement biaisé. Une partie de la solution homogénéisée est prélevée à la pipette et placée dans une lame de MacMaster®.

La lame de MacMaster est divisée en deux compartiments, eux-même composés de cellules de volume déterminé. A chaque lecture de lame, un même volume est donc lu par l'opérateur.

La lecture permet de dénombrer les œufs dans ce volume précis et d'en déduire après multiplication par un coefficient de proportionnalité le nombre d'œufs par gramme (opg) de fèces pour l'animal (l'intensité d'excrétion) ou le lot.

Une application de cette technique, outre le diagnostic, est l'évaluation de l'efficacité d'un traitement anthelminthique, par l'évaluation du « fecal egg count reduction » (FECR). Pour ce faire, on sélectionne 10 à 15 animaux qui formeront le groupe témoin et autant qui constitueront le groupe traité. Ces derniers sont contrôlés par coproscopie quantitative afin de confirmer et déterminer le niveau d'infestation, puis traités individuellement et selon les doses prévues par l'Autorisation de Mise sur le Marché. Dix à quatorze jours après le traitement, de nouvelles coproscopies individuelles sont réalisées et le pourcentage de réduction dans l'intensité d'excrétion d'œufs est calculé. Si ce pourcentage de réduction est inférieur à 95%, le traitement n'a pas été efficace, il peut y avoir suspicion de résistance à l'anthelminthique utilisé (Coles 2006).

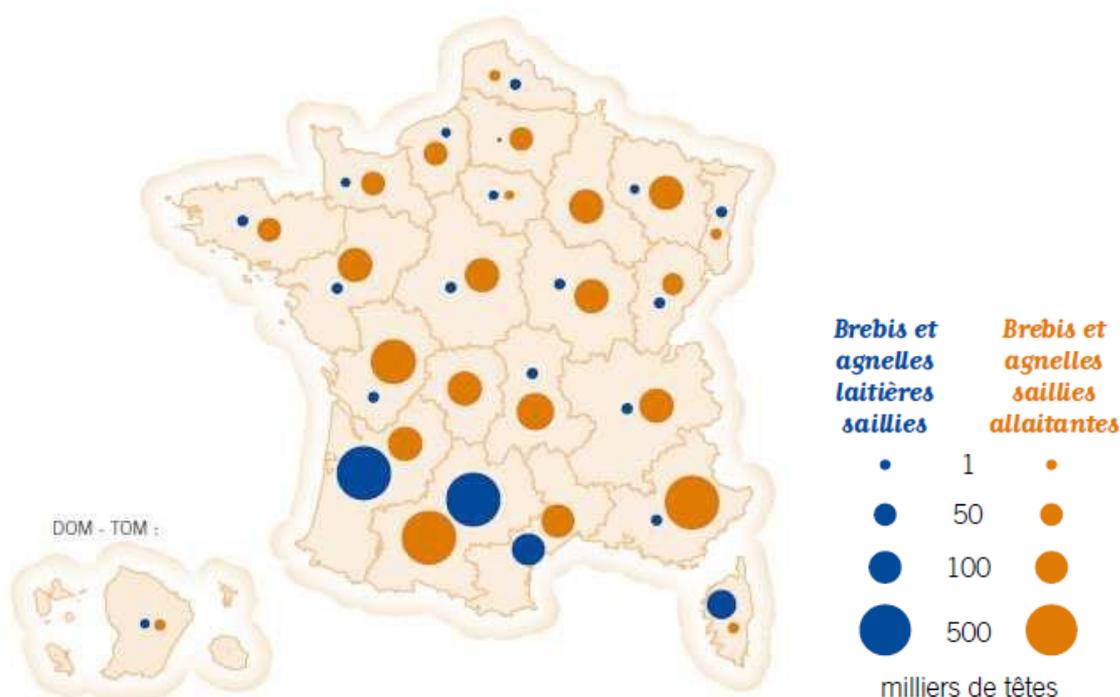
Quoi qu'il en soit, la coprologie permettra uniquement la détermination de l'intensité d'excrétion d'œufs de strongles digestifs au sens large car par la seule morphologie, l'appartenance des œufs à l'une ou l'autre des espèces de strongle est impossible à déterminer. Mais elle est d'une grande aide sur le terrain pour confirmer un diagnostic et décider d'un traitement adapté (Zajac 2006)

CHAPITRE II : L'ÉLEVAGE OVIN FRANÇAIS ET PLACE DE LA CONDUITE EN PATURAGE DANS LA FILIÈRE OVIN VIANDE

A. Généralités sur l'élevage ovin viande et ses systèmes de production en France

1. Effectifs et chiffres-clefs

La filière ovin viande regroupe 3.78 millions de têtes au dernier recensement et implique plus de 36 000 élevages répartis sur l'ensemble du territoire. Si son pendant laitier voit l'essentiel de ses troupeaux regroupés sur trois bassins, la production ovin viande montre une distribution plus homogène : on la retrouve en Nouvelle-Aquitaine (qui représente 23% de la production totale), Occitanie (21%), Auvergne-Rhône-Alpes (17%) mais aussi en PACA (14%) et moins prépondérante mais présente dans le Grand Est et la Bourgogne Franche-Comté. Néanmoins, elle reste concentrée sur le Centre et l'Ouest dont elle exploite les ressources herbagères ainsi que sur les zones, plus difficiles et plus sèches, du Sud-Est de la France (carte 1).



Carte 1 : Répartition des cheptels ovins lait et viande français en 2015 (Source : SSP - Enquête cheptel de novembre 2015, Interbev)

Les principaux produits commercialisés par la filière sont majoritairement la viande d'agneaux engraisés à l'allaitement naturel, en bergerie ou à l'herbage, traditionnellement consommée à la période de Pâques et secondairement la viande d'ovins adultes. La production de viande d'agneau regroupe de nombreux signes officiels de qualité ou SIQO (17% de la production totale à l'heure actuelle, part que l'INTERBEV (l'Association Nationale Interprofessionnelle du Bétail et des Viandes) souhaite voir augmentée à 30% dans les prochaines années) tels que des labels rouges, Indication Géographique Protégée (Agneau Laiton de l'Aveyron), production en Agriculture Biologique ou Appellations d'Origine

Protégée (Agneau de Sisteron) ; mais elle rencontre de moins en moins de succès auprès du consommateur : l'INTERBEV constate une chute de la consommation de 20% entre 2009 et 2014 parallèlement à une augmentation de 18% des prix d'achats. Une déprise observée dans d'autres pays producteurs qui soulève de nombreuses questions sur l'avenir du secteur (Ferguson et al. 2014; Montossi 2013).

L'activité du secteur élevage et viande ovine place la France au troisième rang de la production européenne et au septième rang mondial. A l'heure actuelle cependant, la France importe plus de 50% de sa consommation de viande ovine, principalement du Royaume-Uni (43%), d'Irlande (19%) et de Nouvelle-Zélande (17%). D'après l'INTERBEV, cette ouverture aux marchés internationaux, très concurrentiels, explique la diminution du cheptel et du nombre d'exploitations constatée (-8% du cheptel et -28% du nombre d'exploitation entre 2013 et 2016).

La problématique principale de l'élevage ovin aujourd'hui est le manque d'attractivité tant de la part du consommateur que des principaux acteurs de la filière: en dépit d'installations régulières de jeunes éleveurs (surtout en filière ovin lait), la population est vieillissante avec 63% de chefs d'exploitation de plus de 50 ans en 2013. Les perspectives de reprise sur les dix à quinze prochaines années, compte tenu des départs en retraite prévus sont pourtant bonnes, et c'est pourquoi de nombreux comités régionaux mettent en place des stratégies visant à augmenter l'attractivité du secteur (programmes INN'OVIN ou encore Reconquête ovine) par l'amélioration du revenu et des conditions de travail de l'éleveur, une restauration de l'image de l'élevage ovin auprès du consommateur en mettant l'accent sur des productions écoresponsables et une augmentation de la productivité du secteur ((INTERBEV 2017a; 2017b; Institut de l'élevage 2017; 2016)

2. Races ovines allaitantes et systèmes de production

On dénombre 56 races ovines à viande en France métropolitaine , une richesse génétique allant des races bouchères spécialisées à des races plus rustiques et encore enrichie par des races locales de plus faible effectif mais adapté à leur terroir (cartes 2 et 3). Compte tenu de la capacité de l'espèce ovine à valoriser diverses ressources et selon leur niveau de rusticité, on les trouve diversement réparties sur le territoire (Tiphine, 2017)



Carte 2 : Répartition sur le territoire français des principales races ovines bouchères (Source : Races de France)



Carte 3 : Répartition sur le territoire français des races ovines rustiques allaitantes (Source : Races de France)

Lors du démarrage d'une activité d'élevage, l'élection de la race doit se faire en fonction du système de production choisi (et des objectifs économiques que le chef d'exploitation se fixe). Il en existe une très grande diversité car le choix de ce système est lui-même inféodé aux conditions pédoclimatiques du site d'élevage et à la disponibilité des ressources destinées à l'alimentation du cheptel. Afin d'illustrer ce point de notre exposé, nous nous proposons de brosser à grands traits le portrait de trois systèmes de productions bien distincts: un exemple de pastoralisme, le transhumant pyrénéen, un système herbager tel qu'il peut se pratiquer dans l'Ouest ou le Centre de la France et enfin un système de production intensif comme on en retrouve dans des zones où l'agriculture est une activité de premier plan.

(a) Système transhumant pyrénéen (Bellet 2006; réseaux d'élevage)

Comme son nom l'indique, ce système de production se construit autour de périodes d'estives collectives, prenant place en haute montagne.

Le choix de la race doit se porter sur des brebis rustiques, capables d'endurer la montée en estive et les aléas climatiques, dociles, maternelles et aptes au désaisonnement. On peut retrouver parmi elles les Tarasconnaises, Lourdaises et Barégeoises.

Durant l'hiver, les brebis pleines ont accès aux pâtures adjacentes à l'exploitation. En cas de conditions climatiques défavorables, elles sont rentrées en bergerie mais cela ne constitue pas une règle. Au printemps, l'éleveur procède à un allotement des animaux (suitées, agnelles, taries...) afin de les répartir entre les différents parcours disponibles (présentés dans le schéma 3). La transhumance couvre les mois de juin à septembre, cette durée étant modifiée en fonction des éleveurs (Rinschede 1977), sur des pâturages de haute montagne de grande qualité fourragère, communs à plusieurs troupeaux et *a priori* à l'abri des prédateurs. La garde du troupeau est le plus souvent déléguée à des salariés, ce qui permet au chef d'exploitation de réaliser la fauche de ses terres. A leur descente d'estive, les brebis sont à nouveau allotées, les brebis vides destinées à la mise en lutte d'automne restant sur les parcours tandis que les brebis pleines et les agneaux sont rentrés en bergerie ou parqués sur les parcelles de l'exploitation.

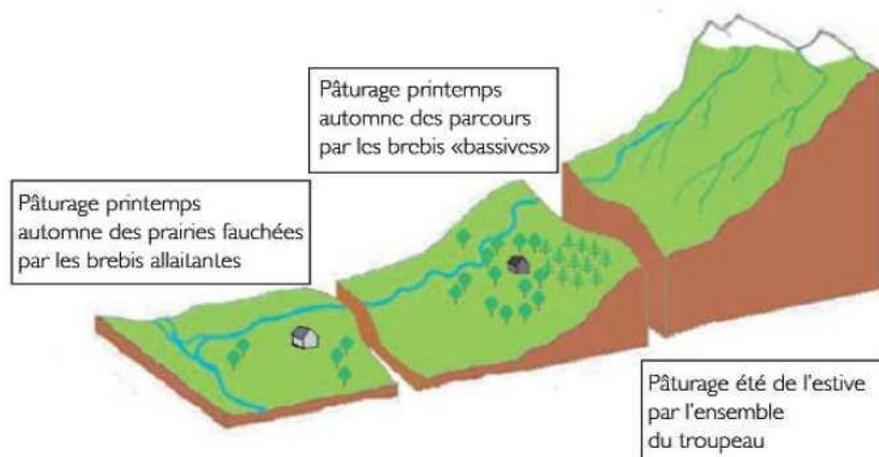


Schéma 3 : illustration de la localisation des différentes zones de pâturage en système transhumant
(Source : institut de l'élevage)

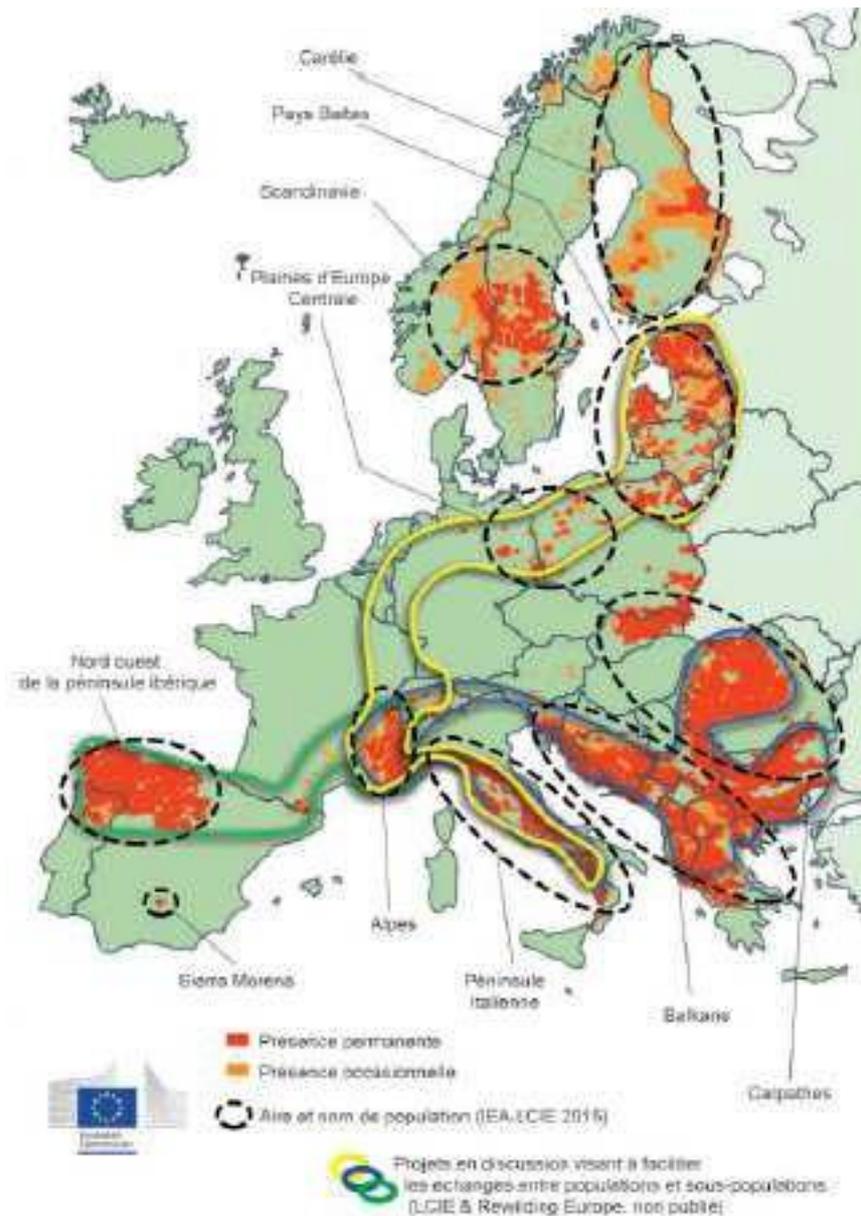
La mise à la reproduction a lieu au printemps et à l'automne (pour la repasse et les agnelles), ce qui permet une répartition de la charge de travail, importante en période d'agnelage, et une diversification des produits mis à la vente : agneaux légers, lourd et broutards (ou agneaux gris).

Ce système, extensif, se caractérise par un chargement annuel faible (<7 brebis/ha), un temps de repos des pâtures long (de l'ordre de 6 à 9 mois pour celles de haute montagne en fonction du caractère ascendant ou descendant de la transhumance, 3 mois environ pour les parcours et les parcelles de l'exploitation) et une exploitation maximale des ressources naturelles (maximisation de la durée annuelle de pâture, possibilité de constituer un stock fourrager pour l'hiver). Qui plus est, il concourt à l'entretien des territoires. Il ne peut en revanche être mis en place que dans les régions de zones montagneuses disposant de prairies naturelles de bonne qualité fourragère. Ceci étant, on peut retrouver une grande mixité d'origines au sein des troupeaux en estive, comme c'est le cas lorsque certains éleveurs d'ovins viande aveyronnais font transhumer une partie de leur cheptel dans les Pyrénées.

Emblèmes de l'élevage extensif par excellence et de la préservation de traditions locales, bénéfiques au territoire par l'entretien de paysages naturels qu'ils permettent, les systèmes pastoral et agropastoral ont inspiré la politique écologique européenne dans le domaine de l'élevage, qui encourage l'inclusion du pâturage dans la conduite de troupeau..

Cependant à l'heure actuelle, leur avenir et leur pérennité sont menacés par le retour et le développement des populations de grands prédateurs sur les territoires d'élevage, en particulier le loup gris (*Canis lupus*) et l'ours (*Ursus arctos*).

Le retour des loups en France a été favorisé par la conjonction de la mise en application des accords intereuropéens de la Convention de Berne (rentrée en vigueur en 1982) visant à protéger la biodiversité et l'existence d'une population lupine résiduelle en Italie. Les mesures de protection mises en place ont autorisé son expansion progressive et finalement sa réapparition en 1992 dans le parc du Mercantour. Depuis, sa présence s'est étendue sur le territoire et concerne aujourd'hui trente-sept départements français, la plupart des zones concernées étant concentrées dans les Alpes-Maritimes, le Var et les Alpes de Haute-Provence où les systèmes d'élevages agro-sylvo-pastoraux sont bien implantés (carte 4). Ces départements accusent chaque année un nombre croissant de pertes d'ovins (qui représentent 94% des herbivores prédatés par les loups) et on estime à 10 000 environ le nombre d'ovins tués en 2016 et à 3.2 millions d'euros les dépenses publiques engagées pour compenser les pertes engendrées (brebis disparues suspectées prédatées et brebis retrouvées mortes par prédation). A ce bilan déjà très négatif se rajoutent des pertes non dédommagées conséquentes au stress chronique subi par les animaux pouvant engendrer des avortements ou des chutes de production et aux blessures létales reçues suite aux attaques.



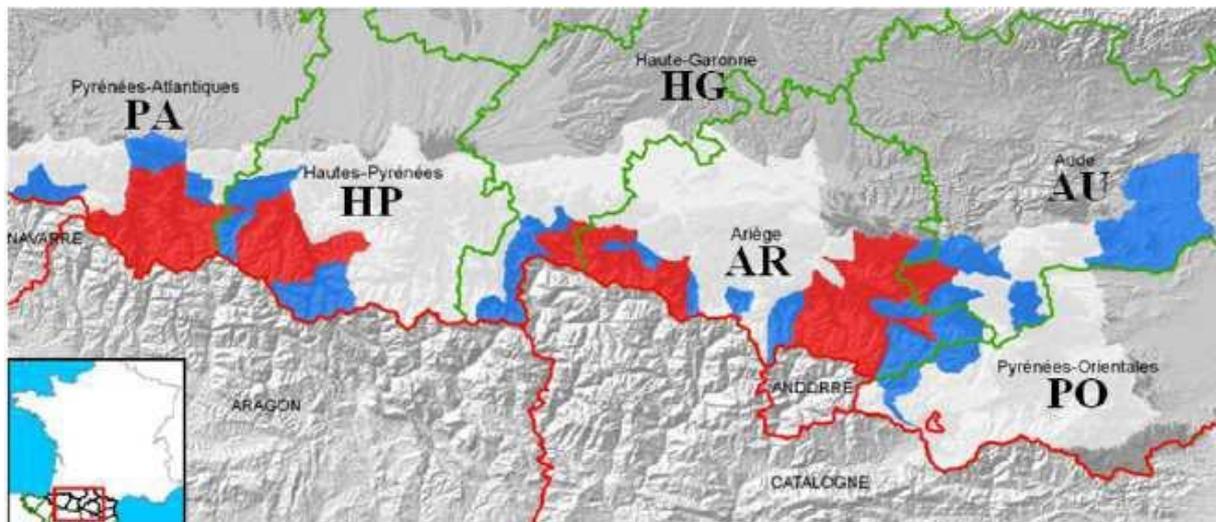
Carte 4 : Lieux de présence permanente (rouge) ou occasionnelle (orange) des loups en Europe d'après (Boitani *et al.* 2015; Meuret *et al.* 2017)

Les élevages dont la conduite impose une finition d'agneaux à l'herbe et l'emploi d'un lieu de pâture favorable à la prédation (comme la présence d'un couvert forestier, une géographie imposant la dispersion du troupeau mais de plus en plus des prés dont la surveillance est insuffisante) sont les plus touchés et les pertes augmentent linéairement depuis 2008, corrélées au bilan démographique positif de la population lupine.

Afin de se prémunir contre ces attaques, les éleveurs sont contraints à de nombreux aménagements visant à la protection de leur cheptel, à savoir l'augmentation de l'effectif de chiens de troupeaux et de l'effectif salarié dédié à la surveillance des troupeaux en pâture, l'achat et la mise en place de parcs de rassemblement nocturne. Ces équipements contribuent

à limiter le nombre d'attaques mais perturbent aussi le bon déroulement de la conduite et impactent la qualité de vie des animaux.

Une problématique semblable se pose dans les Pyrénées, où l'Ours brun est perçu comme le principal prédateur d'ovin par les éleveurs et ainsi perçu comme une menace majeure pour les élevages des régions frontalières pyrénéennes comme les Hautes-Pyrénées, l'Ariège ou les Pyrénées Atlantiques, qui s'opposent à toute force à la réintroduction de femelles dans leurs vallées.



Carte 5 : Recensement des zones de présence de l'Ours brun dans les Pyrénées (Piédallu *et al.* 2016)

Aujourd'hui la situation peut être qualifiée de critique et résulte vraisemblablement de l'antagonisme de deux volontés contradictoires quoique chacune d'entre elle soit justifiée éthiquement et écologiquement : d'une part, une forte volonté de préservation de la biodiversité, dont un aspect implique la protection d'espèces prédatrices comme le loup ou l'ours ; préservation dans laquelle l'élevage ovin pâtureur joue un rôle majeur en permettant l'entretien de paysages et par conséquent le maintien de leur écosystème voués à disparaître en leur absence. D'autre part, l'orientation de la politique écologique actuelle qui encourage fortement les éleveurs à mettre à profit ces mêmes territoires se trouvant être des terrains de chasse idéaux pour les prédateurs.

L'éleveur se retrouve alors pris en tenaille entre des exigences de productivité permettant d'assurer la pérennité de son élevage et sa valorisation par son caractère écoresponsable et les conséquences de décisions prises dans un esprit de respect de la biodiversité, qui se trouve être ironiquement l'une de ses caractéristiques principales.

Les réflexions quant aux mesures à mettre en œuvre afin de pacifier la situation et satisfaire les parties engagées sont encore en cours mais un plan national d'action (Plan National « Loup ») a été récemment publié et semble indiquer une volonté de renforcer la protection des élevages ovins pastoraux en comprenant des nouvelles mesures –encore expérimentales– visant à inculquer de nouveau la peur de l'homme au loup (formation de bergers mobiles équipés déployés pour l'appui aux éleveurs et formations techniques à la défense, augmentation de l'effectif de chiens de troupeaux...) et leur permettre une coexistence plus

sereine. Enfin, l'arrêté du 18 juillet 2017 mentionne un plafond de destruction de 40 spécimens lupins autorisé sur le territoire pour l'année.

(b) Système herbager

Le système herbager est un système pâturant, où les brebis passent la majeure partie de l'année à l'herbe. On décrira ici un système impliquant plusieurs sites de pâture. Il doit être soigneusement organisé en amont, par l'établissement d'un parcellaire (plan de l'ensemble des surfaces disponibles pour la pâture des brebis. Il peut être groupé ou éclaté) qui est la base de la gestion de la conduite du troupeau.

L'élection de la race dépend en partie des conditions pédoclimatiques que les brebis devront affronter en fonction de la localisation des différentes parcelles. Une race maternelle, prolifique et d'une certaine rusticité est un choix pertinent et l'on retrouve entre autre dans ces systèmes les races Vendéenne, Charmoise ou Suffolk.

La mise à la reproduction a lieu d'environ mi-septembre à mi-décembre, ce qui permet l'étalement des agnelages entre février et mai. Les brebis sont rentrées une quinzaine de jours avant l'agnelage en bergerie afin de protéger les jeunes des prédateurs d'une part (renard) et d'assurer la couverture des besoins des mères en fin de gestation d'autre part. Dans ce système, la présence de bâtiments est souvent nécessaire (Réseaux d'élevage 2013)

La gestion de la conduite du cheptel au pâturage est régie par l'obligation d'une adéquation entre les besoins des brebis et les ressources disponibles, c'est aussi ce qui la rend délicate.

En amont, l'éleveur détermine quelles parcelles seront exclusivement réservées au pâturage et celles qui seront pâturées et fauchées.

La mise à l'herbe est déterminée par les conditions météorologiques et le stade de pousse de l'herbe. En général elle a lieu au printemps, à une date déterminée soit par la hauteur de la couverture herbagère (10-12 cm) soit par le cumul des températures moyennes quotidiennes à partir du 1^{er} février avec mise à l'herbe à 300-350°jours (d'après le Programme structurel Herbe et Fourrages en Limousin (PSHF)) et qui coïncide avec la venue d'une herbe jeune et d'excellente valeur nutritionnelle, ce qui permet de couvrir les besoins des brebis pleines. De la même façon, les parcelles ne doivent plus être pâturées au-delà de 550-600°C. Si cette limite est dépassée, la parcelle est réservée à la fauche.

Une fois les brebis sorties à la pâture, elles séjournent un temps sur la parcelle puis sont orientées vers une autre, laissant la première en repos : elles parcourent ainsi durant toute la belle saison l'intégralité du parcellaire avant de revenir à la parcelle initiale. Le temps de repos est nécessaire à la repousse d'une herbe de bonne qualité nutritive, qui sera soit pâturée par les agneaux finis à l'herbe, soit fauchée pour constituer le stock fourrager de l'exploitation. Le temps de séjour, le temps de repos et le chargement instantané (en brebis/hectare) des parcelles sont des paramètres de valeur variable en fonction du système de pâturage choisi par l'éleveur et des conditions climatiques.

Ce système permet une exploitation optimisée des ressources herbagères et diminue en conséquence les charges de l'éleveur liées à l'alimentation, avec une économie de 34 kg de concentrés/brebis estimée par Bellet (2006). Il impose la construction et l'entretien de bâtiments, dont le taux d'occupation peut être optimisé par l'étalement des agnelages ; la longue période de mise-bas permet aussi un étalement des ventes d'agneaux. Mais ce système implique aussi la possession d'une surface fourragère suffisante pour rester en adéquation avec les besoins du troupeau, une grande précision dans sa mise en pratique ainsi que l'utilisation d'outils de précision (Hardy, Lebris, Pelletier 2010) et une bonne gestion des parcelles (clôture, points d'abreuvement), ce qui implique des équipements supplémentaires. La dépendance aux aléas climatiques (notamment de sécheresse au printemps et en été) est la cause majeure de recul des éleveurs devant l'engagement dans un tel système (Frappat *et al.* 2014) mais ce n'est pas le seul risque que l'on peut souligner. Là où un système tel que le transhumant pyrénéen offre des durées et des conditions de repos des pâtures permettant un certain assainissement vis-à-vis du risque parasitaire gastro-intestinal, l'herbager peut impliquer selon la conduite choisie une augmentation de ce risque lorsqu'il conjugue temps de repos insuffisant et chargement instantané important.

(c) Système intensif de production

Ces systèmes se caractérisent par une faible autonomie fourragère (et donc une quantité de concentrés consommés plus importante que dans les précédents systèmes) travaillant à l'intensification numérique et la spécialisation de la production. Ils se retrouvent en général proches des grands bassins céréaliers. Dans ce cadre de production, l'élevage ovin permet la valorisation des terres agricoles les moins productives, où sont placées les brebis (Réseau d'élevage; France AgriMer)

Les races choisies doivent répondre à des critères de prolificité, précocité et de bonne conformation bouchère. A ce titre, les races Île-de-France et Berrichon du Cher sont le plus souvent utilisées.

La mise à la reproduction implique deux périodes de mise-bas, à l'automne et en hiver, l'agnelage à contre-saison permettant à l'éleveur de dégager du temps pour le travail des terres agricoles au printemps et à l'été.

Les agneaux sont rentrés en bergerie dès le sevrage (à la mi-juin) ainsi que les brebis en lactation, tandis que le reste du troupeau est mis à l'herbe sur des prairies adjacentes à l'exploitation. Du fait de la faible valeur nutritive de la pâture, une complémentation est mise en place, en général à base de concentrés dont la majeure partie est produite sur place. Le chargement instantané est important (voisin de 1.4 Unité Gros Bovin/ha contre une valeur voisine de 1 UGB/ha pour des systèmes plus extensifs comme ceux exposés ci-dessus)

Ce système implique donc un investissement conséquent dans la construction et l'entretien de bâtiments (aménagés de façon à séparer les agneaux et les brebis). Il se retrouvera essentiellement dans les zones de culture céréalière et dans le cas contraire si l'exploitation n'est pas auto-suffisante dans la production de concentrés, l'alimentation constituera un poste supplémentaire de dépenses. La faible part consacrée à la conduite à l'herbe permet

d'augmenter celle dédiée à l'entretien des cultures mais impose une bonne gestion du risque parasitaire afin de maintenir le meilleur rendement de production possible.

Comme on l'a vu dans les paragraphes précédents, le pâturage est un fil directeur de l'élevage ovin. Il peut être mis en place afin de valoriser des ressources naturelles de bonne valeur nutritionnelle et diminuer ainsi les charges alimentaires de l'éleveur, ou lui procurer une certaine souplesse dans l'organisation de son temps de travail et lui permettre de se consacrer à d'autres activités agricoles.

Si le pâturage est pratiquement omniprésent dans l'élaboration de la conduite et la gestion de troupeau ovin, cependant, il convient de porter une attention particulière à sa mise en œuvre. En effet, il a été vu précédemment que la notion de pâturage est indissociable de celle de contamination par des strongles gastro-intestinaux. L'évocation de trois des systèmes de production existant en France nous permet de soulever dès à présent un point important qu'est la variation du risque parasitaire auquel est exposé un cheptel en fonction de la conduite au pâturage décidée par l'éleveur (temps de séjour, chargement instantané, temps de repos des parcelles). Or, un risque résulte par définition de la conjonction entre la présence du danger (ici, la présence de L3 infestantes sur les pâtures) et le niveau d'exposition des animaux (soit la charge instantanée, la présence de forts excréteurs, le niveau de contamination des pâtures...). Il apparaît donc que dans chacun de ces systèmes et parmi eux plus particulièrement l'herbager, la gestion fine de l'organisation spatiale et temporelle du pâturage pourrait constituer un axe de lutte contre le parasitisme intestinal chez les ovins.

B. Les conséquences zootechniques du parasitisme gastro-intestinal

Les conséquences cliniques ainsi que l'épidémiologie du parasitisme gastro-intestinal évoquées dans les paragraphes précédents provoquent à l'échelle de l'élevage une chute globale de production et donc un manque à gagner pour les éleveurs, ce qui explique qu'à l'heure actuelle dans les principaux pays producteurs d'ovins les strongyloses gastro-intestinales apparaissent en tête de liste des préoccupations des éleveurs (Lawrence *et al.* 2007).

Les conséquences zootechniques rapportées sont le pendant des conséquences cliniques déjà exposées et intéressent les trois produits principaux de la production ovine : viande, lait et laine et nous allons ici nous focaliser sur le premier d'entre eux; en effet, dans le cadre d'une production d'ovins viande, l'agneau constitue la principale source de revenu de l'éleveur. L'agneau laiton est un agneau nourri au lait de sa mère, abattu avant six semaines d'âge. L'agneau blanc est abattu avant 150 jours d'âge et a été nourri de lait, de fourrages et de concentrés en bergerie. Enfin, l'agneau d'herbage ou broutard est le plus âgé, de 6 à 9 mois : il s'agit d'un agneau sevré ayant pâturé puis suivi une période d'engraissement où il a eu accès à des concentrés. L'éleveur d'ovin viande doit donc dans un délai assez court obtenir un produit fini dont la valeur économique dépend du respect des critères de poids, de conformation et de composition de la carcasse. Si, dans ce laps de temps, l'agneau déclare une strongylose gastro-intestinale, cela constitue un manque à gagner pour l'éleveur.

Ainsi que nous l'avons vu, les SGI conjuguent action spoliatrice et perturbation de la physiologie digestive. Chez les agneaux, Coop *et al.* (1982) observent après une infestation expérimentale avec *Teladorsagia circumcincta* une clinique de faible intensité (de ramollissement des selles) mais une diminution significative de l'ingestion ainsi que de la minéralisation du squelette et une réduction du Gain Moyen Quotidien (GMQ) aboutissant à une différence de poids à l'abattage entre le groupe infesté et le groupe témoin (sain) de l'ordre de 25 à 47%. Plus récemment, Boa *et al.* (2001) mettent en évidence dans une population d'agneaux dont le parasitisme gastro-intestinal est contrôlé par l'administration d'anthelminthiques un rendement de carcasse et un GMQ post-sevrage supérieurs à ceux du groupe témoin de l'étude. Louie *et al.* (2007), dans une modélisation de l'impact de la charge parasitaire sur le poids vif de l'agneau, montre que la diminution du poids vif de l'agneau peut s'expliquer par la clinique de dysorexie exprimée et donc la diminution d'ingestion, et que cette perte de poids intervient dans les mois qui suivent le sevrage. Elle est d'abord d'autant plus sévère que l'animal est fortement parasité mais devient moins sensible s'il passe l'année. Cependant, ils estiment la mortalité des agneaux fortement parasités à 20% dans la première année de vie.

Le parasitisme impacte cependant d'autres performances : Cruz-Rojo *et al.* (2012) constatent lors d'une infestation expérimentale à *T.circumcincta* selon deux niveaux de charge parasitaire (élevée et faible) une diminution de 11% de la production laitière parallèlement à une réduction de 12% environ du taux protéique chez les brebis très infestées, ainsi qu'un poids vif diminué de 2% par rapport aux brebis faiblement parasitées. Dans l'étude de Cringoli *et al.* (2008) qui utilisent un protocole comparant un groupe traité et un groupe témoin, une plus large variation de la production est mesurée (12-44%) mais toujours en faveur des animaux dont la charge parasitaire est la plus faible.

Enfin, chez des ovins Merinos lors d'infection chronique par *H.contortus*, Barger et Cox (1984) objectivent un déclin rapide de la production de laine des animaux mais au terme des douze semaines d'expérience, ne met en évidence aucune différence significative entre l'état final des animaux infestés et celui des animaux témoins.

Selon (Mavrot *et al.* (2015)) dans leur méta-analyse de 88 études portant sur l'impact économique des strongyloses gastro-intestinales chez les ovins, les pays les plus représentés dans les études sont aussi les plus gros producteurs mondiaux (Royaume-Uni, Nouvelle-Zélande ou encore l'Australie). Les preuves par l'épreuve thérapeutique (*i.e.* la démonstration de l'effet d'une infestation par les SGI sur les performances des ovins par l'utilisation d'anthelminthiques) sont les plus fréquentes et près de 60% d'entre elles rapportent un impact négatif du parasitisme gastro-intestinal sur les productions laitière, bouchère et lainieuse. Il en ressort que les SGI pénalisent plus les performances bouchères et laitières (avec une productivité réduite de 15% et 22 % respectivement) que la production de laine (qui se retrouve tout de même diminuée de 10%).

Il découle de ces constatations la grande pertinence de la prévention de tels événements qui peuvent priver l'éleveur d'une grande partie de ses revenus sur l'année de production ; dans le cadre du suivi sanitaire d'un troupeau confronté au risque de parasitisme gastro-intestinal, le

vétérinaire joue un rôle important dans la prévention des pertes majeures que peuvent engendrer les SGI, en pratiquant entre autres des coprologies régulières. En effet, il existe une bonne corrélation entre l'intensité d'excrétion d'œufs et la charge parasitaire hébergée par l'hôte (Cabaret *et al.* 1998), laquelle est intimement liée à la gravité des conséquences zootechniques. Une surveillance attentive de ce niveau d'excrétion doit faire partie intégrante du suivi de troupeau.

CHAPITRE III : LA LUTTE CONTRE LE PARASITISME GASTRO- INTESTINAL : QUELLE(S) STRATEGIE(S) ?

A. Stratégie unimodale : la lutte chimique

1. Molécules anthelminthiques historiquement utilisées...(Jacquet *et al.* 2014; McKellar *et al.* 2004; Hafsi *et al.* 2012)

C'est à partir des années 1960 qu'ont été successivement introduites sur le marché de la médecine vétérinaire ovine les grandes familles de molécules anthelminthiques strongylicides encore utilisées aujourd'hui : les benzimidazolés, les imidazothiazolés, certains salicylanilidés et les lactones macrocycliques. Cette pharmacopée a été récemment enrichie par la mise sur le marché d'une nouvelle molécule, dérivée de l' amino-acétonitrile, le monépantel. Nous nous proposons ici un passage en revue rapide de leur spectre et mécanisme d'action.

(a) Benzimidazolés

Introduit au début des années 1960, le thiabendazole a précédé de peu d'autre dérivés benzéniques largement utilisés par la suite (comme le fenbendazole, l'oxfendazole ou encore le nétopimim). Leur spectre comprend les strongles digestifs (adultes et L4) mais aussi respiratoires et certaines montrent aussi une activité douvicide. Ils sont administrés par voie orale, sont métabolisés dans le foie puis éliminés majoritairement dans les selles et pour une faible partie dans le lait et les urines.

Les benzimidazolés partagent un même mécanisme d'action : en se liant spécifiquement à la β -tubuline du nématode, ils inhibent sa polymérisation. Les cellules de l'organisme sont alors incapables d'élaborer leurs microtubules, éléments du cytosquelette essentiels dans les échanges intra et inter-cellulaires, entraînant une forte perturbation de son métabolisme et de son activité mitotique et conduisant à terme à la désagrégation cellulaire et la mort du parasite.

(b) Imidothiazolés

Cette famille comprend le lévamisole, le pyrantel ou encore le praziquantel. Parmi ces molécules, Lévamisolé et pyrantel ont une activité strongylicide. Son absorption par voie orale est rapide, avec une concentration sanguine efficace atteinte en quelques heures ; il est métabolisé dans le foie et ses métabolites éliminés dans l'urine.

Les molécules de cette famille sont des cholinomimétiques, qui se lient aux récepteurs nicotiques (canaux sodiques) à l'acétylcholine endogène au niveau de la plaque motrice entraînant ainsi une paralysie spastique à l'origine de la mort du parasite.

(c) Salicylanilidés

Les molécules d'intérêt (car à activité strongylicide) dans cette famille sont le nitroxinil et le closantel, actives contre les nématodes hématophages (ici en l'occurrence, *Haemonchus*

contortus). Elles circulent dans l'organisme fortement liées aux protéines plasmatiques et éliminées dans les fèces jusqu'à plusieurs semaines après administration.

Fortement lipophiles, les salicylanilides pénètrent dans les cellules jusque dans la mitochondrie où ils affectent le métabolisme énergétique cellulaire en découplant la phosphorylation oxydative qui y a lieu (par inhibition de la formation du gradient de protons nécessaire au fonctionnement de l'ATP synthétase transmembranaire). Chaque cellule est alors privée de sa centrale énergétique et meurt.

(d) Lactones macrocycliques

On y distingue deux groupes de molécules : les avermectines (doramectine, éprinomectine, ivermectine...) et les milbémycines (mylbémicine oxime, moxidectine) mais qui partagent le même mécanisme d'action. Les lactones macrocycliques peuvent être administrées par voie sous-cutanée, orale ou en pour-on, formulées en longue action et se caractérisent par une rémanence de plusieurs semaines chez l'hôte du fait de leur grande lipophilie : elles sont initialement distribuées dans tous les organes puis stockées dans le foie et le tissu adipeux avant d'être progressivement relarguées dans le sang. Les lactones macrocycliques sont aussi appelées « endectocides » car elles possèdent une activité contre certains ectoparasites en sus de leur activité strongylicide.

Les lactones macrocycliques sont des agonistes du récepteur de l'acide gamma-aminobutyrique (GABA) et du récepteur au glutamate des canaux chlore de la synapse neuro musculaire des Nématodes. Leur fixation à une sous-unité transmembranaire de ces récepteurs entraîne une augmentation de la perméabilité cellulaire aux ions chlorures, ce qui perturbe le potentiel membranaire de repos dans le sens d'une hyperpolarisation rendant la cellule musculaire moins sensible à la dépolarisation : les influx nerveux ne conduisent alors plus à la contraction musculaire et le nématode développe une paralysie flasque.

(e) Dérivés de l'acétoacétonitrile ou DAAs (Kaminsky *et al.* 2008a et 2008b)

Les DAAs sont des composés synthétiques à activité strongylicide ayant émergé dans les années 2000. Parmi les centaines de dérivés existant, le monépantel a été mis sur le marché en 2009 pour son efficacité sur les SGI adultes et leurs formes immatures, y compris lors de résistance avérée contre une ou plusieurs des familles d'anthelminthiques pré-citées. La voie d'administration la plus efficace semble être la voie orale. Le monépantel est essentiellement éliminé dans les selles. Utilisable sur les femelles gestantes et de faible toxicité pour l'hôte, il est à son lancement considéré comme une molécule d'avenir dans la pharmacopée anthelminthique vétérinaire.

Il agit sur une sous-unité du récepteur nicotinique à l'acétylcholine spécifique des nématodes et provoque une contraction musculaire spasmodique de la portion antérieure du pharynx du ver puis une paralysie généralisée et enfin la mort.

2. ...Et résistance aux anthelminthiques : une problématique mondialement d'actualité

(a) **Qu'est-ce que la résistance ?**

La résistance à un médicament peut se définir comme la capacité d'un organisme à survivre à l'exposition à une dose normalement létale pour des organismes appartenant à la même espèce (Kotze *et al.* 2016). Cette capacité est sous-tendue par un déterminisme génétique que développe le parasite lorsqu'il est soumis à une pression de sélection, ce qui lui confère alors un avantage sélectif qu'il transmettra aux générations suivantes (transmission d'autant plus rapide et probable que le cycle de reproduction est court et la prolificité du strongle importante).

Lorsque cette habilité concerne plusieurs familles ou classes de médicaments, on emploie le terme de multi-résistance.

(b) **Qui concerne-t-elle ?**

La résistance des SGI aux anthelminthiques traditionnellement impliqués dans le cadre de leur contrôle en élevage ovin est avérée et se répand largement dans le monde, touchant aussi bien l'Europe, l'Amérique ou l'Asie.

De nombreux cas ont été rapportés sur le terrain, en particulier au lévamisole, aux benzimidazoles et aux lactones macrocycliques comme l'ivermectine et la moxidectine. En Europe elle intéresse déjà 16 pays (Rose *et al.* 2015; Papadopoulos *et al.* 2012) dont la Grèce, l'Italie ou encore la Norvège (où Domke *et al.* (2012) constatent une résistance à l'albendazole dans 10.5% des élevages d'ovins testés et à l'ivermectine dans 31% d'entre eux) et a été démontrée pour les trois principales espèces de SGI de l'ovin (Kotze *et al.* 2016; Paraud *et al.* 2016). La France ne fait pas exception et a vu émerger une résistance aux benzimidazoles puis au lévamisole progressant rapidement sur le territoire métropolitain dans les années 70 à 2000 (Chartier *et al.* 1998; Jacquet *et al.* 2014; Geurden *et al.* 2014) puis concernant dans les années 2010 les lactones macrocycliques avec dans un premier temps des preuves de moindre efficacité et à présent le rapport de cas de résistance avérée à l'ivermectine et la moxidectine, dans la Loire et l'Allier (Paraud *et al.* 2014; 2016) ,puis en Corrèze (Milhes *et al.* 2017) . De la même façon, ces manifestations tendent à s'étendre et des défauts d'efficacité de l'éprinomectine ont été détectés en Aveyron chez des brebis Lacaune tout comme des défauts d'efficacité de l'ivermectine dans les Hautes-Pyrénées chez des brebis Tarasconnaises (Jacquet, communication personnelle). Elles se retrouvent aussi Outre-mer, en élevage caprin, comme en Guadeloupe (Mahieu *et al.* 2014). D'une façon générale, l'émergence de résistance a été observée dans les dix années suivant la mise sur le marché de chacune des familles et le monépantel, quoique récent, ne semble pas être épargné. Des cas de souches de *T.circumcincta* et *T.colubriformis* résistants à ce dérivé de l'amino-acétonitrile sont rapportés en Nouvelle-Zélande (Scott *et al.* 2013) et a démontré une efficacité nulle contre *H.contortus* dans une ferme aux Pays-Bas après deux ans d'utilisation régulière (Van den Brom *et al.* 2015).

L'utilisation d'une combinaison d'anthelminthiques afin de pouvoir lutter contre des coinfections impliquant des parasites aux sensibilités différentes pourrait être envisagée. Mais cette alternative semble fortement compromise par l'existence de souches multi-résistantes, capables de survivre à une exposition au lévamisole, aux benzimidazoles et aux lactones macrocycliques (Geurden *et al.* 2014). Le choix thérapeutique repose donc sur la mise en œuvre d'un test de réduction d'excrétion fécale (Coles 2006) qui permet l'identification de la sensibilité des Nématodes présents à chacune des molécules dont on envisage l'emploi. Il s'agit malgré tout d'une procédure longue et coûteuse. Il semble cependant que lorsque la population parasitaire cesse d'être exposée plusieurs années à un principe actif, il puisse se produire une réversion partielle de cette résistance : (Kotze *et al.* 2016) évoque une efficacité du lévamisole sur les SGI augmentée à 60% (contre 18% initialement) après cinq ans passés sans l'utiliser. Ceci étant, il ne s'agit pas d'une règle générale et ce phénomène ne concerne pas toutes les familles d'anthelminthiques, en particulier les benzimidazoles.

(c) Quels en sont les mécanismes ?

La résistance des SGI a émergé en réponse à une pression de sélection longtemps exercée par l'usage systématique de ces molécules, sans instauration d'alternance entre les différents principes actifs disponibles, administrés à des dosages ou une période inappropriés, avec une fréquence d'utilisation trop élevée ou appliqués de façon métaphylactique (Mahieu *et al.* 2014; Jacquet *et al.* 2014) . Les SGI ont ainsi intégré dans leur environnement direct la présence des anthelminthiques et développé en conséquence des stratégies adaptatives atténuant ou annulant leur effet. Ces mécanismes peuvent être spécifiques (avec une modification de la séquence codant pour une protéine constitutive d'un récepteur biologique à l'anthelminthique comme pour les benzimidazoles ou les lactones macrocycliques), non spécifiques ou encore mal définis à ce jour comme pour le closantel ou le monépanel.

Ainsi, chez *H.contortus*, la résistance aux benzimidazoles résulte de la perte d'affinité de leurs récepteurs chez le nématode par la modification d'un codon de la séquence génétique codant pour la β -tubuline. La résistance aux imidazothiazolés repose sur un déterminisme polygénétique entraînant une diminution de l'affinité des récepteurs au lévamisole. Les stratégies sont multiples et se retrouvent chez d'autres espèces de SGI, faisant intervenir la surexpression de glycoprotéines membranaires permettant l'évacuation du xénobiotique après son entrée dans la cellule, des capacités de régénération cellulaires incrémentées ou encore une inactivation de l'anthelminthique par métabolisation *via* l'intervention de cytochromes P450 (Sargison *et al.* 2010). La plupart du temps elles font intervenir une ou plusieurs mutations dans le génome du parasite, porteur alors d'un allèle de résistance. Cette résistance est dans certains cas exprimée si l'individu est homozygote pour cet allèle (Jacquet *et al.* 2014; Kotze *et al.* 2016)

(d) Quand la suspecter et comment l'objectiver ?

Sur le terrain, elle s'évalue le plus souvent par la réalisation d'un test de réduction de l'excrétion fécale tel qu'il est décrit par Coles *et al.* (2006) c'est-à-dire lorsque le niveau d'excrétion fécale après traitement est diminué de moins de 95%.

Des méthodes alternatives réalisées *in vitro* sur les stades libres des SGI ont été mises au point afin de discriminer les populations sensibles des résistantes et déterminer leur niveau de résistance, telles que le test d'éclosion après exposition à l'anthelminthique, l'évaluation du développement et de la motilité larvaire. Mais ces tests ne sont pas encore adaptés à l'ensemble de la pharmacopée ni à toutes les espèces de SGI.

Les avancées récentes de l'identification des mécanismes de résistance laissent espérer la mise au point de tests réalisables sur le terrain permettant la détection de marqueurs moléculaires des souches résistantes. Mais leur conception dépend entièrement de la mise à jour de tous les déterminants génétiques de cette capacité, ce qui est le cas pour les benzimidazoles et le lévamisole mais est pour le moment impossible pour les lactones macrocycliques (Kotze *et al.* 2016)

(e) Quelles conclusions peut-on en tirer ?

Cette synthèse rapide des récentes études portant sur la résistance des SGI montre clairement qu'en dépit de grands espoirs de mettre au point une nouvelle molécule de synthèse à activité strongylicide efficace sur le terrain et peu coûteuse (Kaminsky *et al.* 2008a), il est nécessaire aujourd'hui d'admettre que la stratégie de lutte chimique exclusive contre les SGI ne suffit plus et qu'il s'agit d'une impasse. Elle doit être soutenue par une prise en charge beaucoup plus globale de l'élevage confronté au parasitisme gastro-intestinal, ce qui nécessite d'avoir suffisamment de recul pour identifier l'ensemble des facteurs dont la conjonction peut mener à ces situations réellement dramatiques pour l'éleveur puis d'agir sur chacun d'entre eux.

Cette démarche de recherche d'autres champs de lutte contre les SGI est largement plébiscitée par une opinion publique de plus en plus concernée par une gestion écoresponsable de l'élevage et de l'agriculture, ce qui ne joue pas en faveur de molécules comme les lactones macrocycliques dont l'écotoxicité pour la faune du sol est reconnue (Lumaret et Errouissi 2002).

B. Stratégie multimodale et avènement des stratégies de lutte intégrée

Le choix de la mise en œuvre d'une stratégie ayant recours à une multiplicité de moyens de lutte ou stratégie multimodale est directement issue des enseignements tirés de l'émergence de la résistance des SGI et de la compréhension des facteurs favorisant son apparition. Face à la multiplicité des mécanismes d'échappement mis en place par les Nématodes, une diversification et une synergie des nouvelles mesures de contrôle devient nécessaire. Remplir ces deux conditions exige l'implication d'un large panel d'acteurs aussi bien en amont (sélectionneurs) qu'en aval (éleveurs, techniciens d'élevage et vétérinaires) de la filière et une réflexion sur différents aspects de l'élevage tels que la contribution de la génétique animale à la résilience ou la résistance de l'hôte, l'influence de la composition de la pâture et de la conduite en pâturage sur la biologie parasitaire et l'interaction hôte-parasite ou encore la définition précise des conditions d'utilisation des anthelminthiques dans le cadre d'un équilibre entre efficacité et imposition d'une faible pression de sélection.

1. « Targeted treatments » et « targeted selective treatments » : Vers un usage raisonné des anthelminthiques en élevage

Les dérives précédemment évoquées dans le cadre de l'utilisation des anthelminthiques ont été largement analysées et une nouvelle conception du choix et du rythme des traitements est recommandée. Elle poursuit l'objectif d'un abaissement de la pression de sélection sur les populations parasitaires exposées aux différentes molécules en raisonnant et justifiant leur emploi mais prévoit aussi la création et la préservation d'un « refuge » parasitaire. La notion de refuge désigne la préservation d'une partie de la population de Nématodes non exposée aux traitements anthelminthiques (comprenant les stades libres sur les pâtures et des vers immatures ou adultes, présents chez les hôtes non traité d'après Jacquet 2015). Ainsi, une proportion significative de l'helminthofaune de la parcelle demeure sensible aux traitements et limite par sa présence la diffusion d'allèles de résistance présents chez certains individus. En conséquence, la possibilité d'un traitement anthelminthique est conservée dans l'arsenal de lutte sur le terrain. La mise en application de ce principe est en outre conciliable avec d'autres objectifs, par exemple une reprise d'état de brebis de NEC faible et laissées non traitées est observée quand elles sont mises à la pâture avec des agneaux qui eux le sont (Leathwick et al. 2014). Cette méthode permet à la fois la création du refuge et la reprise d'état des animaux.

Ce point particulier de gestion parasitaire doit être envisagé dans un cadre plus large de rationalisation des traitements en élevage ovin, qui repose essentiellement sur deux questions : « qui ? » et « quand ? » soit le choix de traitements ciblés ou de traitements sélectifs (Jacquet 2015). La réponse à ces deux questions doit permettre de diminuer la fréquence annuelle de traitement (Learmount *et al.* 2015), qui est le facteur de risque le plus important d'apparition de résistance dans un élevage avec l'utilisation de formules longue-action (qui favorisent sur plusieurs générations les individus parasites porteurs d'un ou plusieurs avantages sélectifs).

Le traitement est dit ciblé (« Targeted treatment ou TT) lorsque le traitement vise un lot au sein d'un troupeau du fait de son exposition à un risque plus important. Cette stratégie implique un suivi régulier par coprologie de mélange des lots au long de la saison de pâture et la décision s'appuie, en partie, sur des seuils d'excrétion en œufs par gramme (opg) pouvant être ajustés si la composition de l'helminthofaune est connue (seuil de 1000 opg si inconnue, 750 opg en l'absence d'*Haemonchus contortus*), ce qui en pratique est rarement le cas. En effet, la présence d'une espèce de strongle plus prolifique augmente le niveau d'excrétion mais diminue la représentativité du nombre de parasites adultes réellement présents chez les hôtes et entraîner une décision de traitement pouvant potentiellement être évité. La méthode du traitement ciblé semble mieux adaptée aux grands effectifs car il représente un bon moyen terme entre une métaphylaxie peu judicieuse car favorable à la sélection de résistances et un traitement sélectif qui impose la réalisation de coproscopies individuelles, méthode d'autant plus chronophage que l'effectif est grand et donc jamais réalisé en pratique (Learmount *et al.* 2015).

Le traitement est dit sélectif (« Targeted selective treatment » ou TST) lorsque seuls quelques animaux au sein d'un lot sont la cible du traitement. Parmi les critères de décision potentiels proposés, la note d'état corporel (NEC) conjuguée à une pesée régulière semble un indicateur

prometteur (Charlier *et al.* 2014). Adopter cette stratégie impose cependant un suivi de chaque animal par coprologies individuelles répétées durant la saison de pâture. La taille du cheptel ainsi que la disponibilité qu'elle exige de l'éleveur sont des contraintes importantes à prendre en compte lors de sa mise en application (Cabaret 2008), elle semble donc irréalisable sur le terrain. En contrepartie, seule une faible proportion des animaux doit être traitée ce qui permet l'augmentation de l'effectif parasitaire refuge et favorise la préservation de l'efficacité du traitement dans l'élevage (Leathwick *et al.* 2012; Gaba *et al.* 2010; Kenyon *et al.* 2013; Cringoli *et al.* 2008).

Kenyon *et al.* (2013) démontre que la mise en œuvre de ces stratégies chez des agneaux permettrait de réduire la fréquence annuelle de traitement à l'ivermectine sans impacter leur productivité. Sur un groupe d'agneaux répartis selon quatre stratégies de traitements et suivis sur cinq ans, les lots TT et TST présentent une fréquence de traitement divisée par 2 par rapport au groupe traité à dates fixes (NST) et de façon métaphylactique (fréquence des traitements résultant de l'estimation de la durée nécessaire pour que les agneaux soient suffisamment excréteurs soit 4 semaines). Un FECRT réalisé en 2006 pour l'ivermectine sur chaque lot d'agneaux montrait pour tous les groupes un résultat compris entre 95 et 98%. Un nouveau FECRT effectué en 2010 révèle une perte d'efficacité de l'anthelminthique modérée pour les TT et TST (avec un FECR à 86%) mais marquée pour les NST dont le FECR chute à 62%. Ces résultats sont en faveur d'une préservation de l'efficacité relative de l'ivermectine par l'application sur le terrain des méthodes TT et TST chez des agneaux.

Dans cet esprit de rationalisation, enfin, plusieurs études rappellent que certaines bonnes pratiques déjà définies sont à conserver (Leathwick *et al.* 2014; Learmount *et al.* 2015; Torres-Acosta *et al.* 2008) : le choix de principes actifs dont le spectre est adapté aux espèces parasites présentes sur la parcelle, une administration par voie orale après homogénéisation du produit, préférable aux voies parentérales car elle permet une biodisponibilité maximale à la biophase et favorise donc l'exposition des strongles à une concentration létale en anthelminthique, à une posologie évitant le sous-dosage (donc basée sur l'animal le plus lourd du lot) et enfin la prohibition des formes longue-action qui, si elles permettent *de facto* la diminution de la charge parasitaire, favorisent parallèlement la sélection sur une longue période d'individus résistants.

Ainsi, aborder la gestion chimique du risque parasitaire en élevage peut se baser sur quatre grands axes : l'identification et l'atténuation des pratiques à risque dans l'élevage (l'utilisation de formules longues action, le sous-dosage, la systématisation du traitement), le maintien d'une population sensible dans les refuges (mise en place de TT et éventuellement de TST), le choix de l'anthelminthique (avec une attention particulière portée au spectre, à la voie d'administration, la formulation et la posologie) et la prévention de l'introduction de parasites résistants dans l'helminthofaune des parcelles (avec le respect d'un traitement efficace effectué en quarantaine et des coprologies à l'introduction).

2. Agir en amont : la sélection génétique dans les stratégies de contrôle du parasitisme gastro-intestinal ovin

La création de groupements d'enregistrement des généalogies prend racine dans le XX^{ème} siècle. En 1966 les livres de généalogie sont modifiés et prennent le nom d'unités de promotion de la race (UPRA). En 2006, la création d'organismes de sélection (OS) conduit à la mise en place par des entreprises de sélection (ES) de schémas d'amélioration génétique des reproducteurs. A l'heure actuelle sur 56 races ovines en France, 20 font l'objet d'un schéma de sélection (concernant les aptitudes bouchères ou les qualités maternelles) établi après concertation de la fédération nationale des OS (Races de France), de l'Institut de l'élevage (Idele), de l'Institut national de la recherche agronomique (INRA) et la commission nationale d'amélioration génétique du MAAF. L'apport de la sélection génétique ne se limite pas seulement à l'optimisation de la productivité en l'élevage et est perçue comme une solution d'avenir dans la gestion sanitaire et est déjà employée dans la lutte contre des maladies réglementées comme l'encéphalopathie spongiforme transmissible ovine ou tremblante, qui fait l'objet d'un schéma de sélection depuis 2002 (Prache *et al.* 2013).

La résistance de l'hôte aux strongles gastro-intestinaux se définit comme sa capacité à mettre en place et maintenir une réponse immunitaire qui prévient, réduit ou élimine l'infestation parasitaire (dirigée contre les stades larvaires parasites ou les adultes) et donc dont la charge parasitaire est diminuée (Alba-Hurtado, Muñoz-Guzmán 2013; De La Chevrotière *et al.* 2011). Elle se caractérise avec des paramètres parasitaires (charge totale diminuée, niveaux d'excrétion d'œufs faible).

Elle est à distinguer de la résilience, qui reflète la capacité de l'ovine à maintenir son niveau de production en dépit des effets délétères de l'infestation (caractérisée par des paramètres hématologiques).

Ces caractères présentés par certaines races semblent corrélés à leur environnement d'origine, où la pression parasitaire importante les a contraintes à s'adapter et où elles ont réussi à maintenir leur niveau de production par le biais de ces deux mécanismes. L'étude de la réponse immunitaire développée par l'ovine montre en premier lieu une disparité inter-raciale et l'on distingue deux grands phénotypes : les races résistantes, capables de mettre en place une réponse immunitaire de type Th-2 efficace et précoce, et les races sensibles, dont la réponse apparaît plus tardivement (Terefe *et al.* 2007; González *et al.* 2008; Piedrafita *et al.* 2010). Elle révèle aussi une grande variabilité inter individuelle au sein d'une même race où l'on retrouve ces deux phénotypes. A ce jour, la communauté scientifique se livre encore au décodage d'une « boîte noire » : la résultante de cette réaction de défense contre les strongles gastro-intestinaux est bien connue, avec une excrétion fécale et une charge parasitaire des sujets résistants significativement inférieures à celles des races sensibles. Mais en dépit des nombreux acteurs immunitaires déjà identifiés comme déterminants dans la mise en place de cette réponse (Complexe d'Immuno-Histocompatibilité, éosinophiles, lymphocytes T $\gamma\delta$, immunoglobulines A et G...), il est impossible de prévoir d'un individu à l'autre le schéma de coopération entre eux conduisant à l'élimination des parasites (Alba-Hurtado *et al.* 2013; Terefe *et al.* 2007; González *et al.* 2011; Hein *et al.* 2010)

Les recherches en génétique animale ayant pour objectif de mettre en évidence les séquences génomiques présidant à la mise en place de cette réponse n'ont jusqu'ici pas pu démontrer l'existence d'un ou plusieurs gène majeur. En revanche, ils ont démontré l'implication de plus d'une quinzaine de QTL (Quantitative Trait Loci ou séquences ADN de taille variable dispersées sur le génome) dans la mise en place du phénotype résistant ovin. Ce caractère est donc vraisemblablement composite (modèle polygénique), ce qui peut expliquer la grande variabilité de réponse d'une race à l'autre et d'un individu à l'autre (McRae *et al.* 2014; De La Chevrotière *et al.* 2011) .

Si la cartographie génétique du phénotype résistant est incomplète, les études montrent qu'il est d'une part caractérisé par son héritabilité moyenne, régulièrement comprise entre 0.22 et 0.63 (Alba-Hurtado *et al.* 2013) et d'autre part associé à de faibles niveaux d'excrétion, ce qui est favorable à la mise en place de schémas de sélection des reproducteurs sur la base du caractère intensité d'excrétion d'œufs. L'application pratique d'un tel schéma a été démontrée comme possible par Jacquiet *et al.* (2011) et Aguerre *et al.* (2018) chez des béliers Manech utilisés dans la production de brebis laitières dans le pays Basque. Avec la coopération de l'organisme de sélection, le phénotype de 603 béliers a été déterminé en conditions d'infestation expérimentale (Résistant, sensible ou intermédiaire selon leur intensité d'excrétion d'œufs). L'intensité d'excrétion d'œufs de la descendance de 103 d'entre eux, répartie dans différents élevages laitiers de Manech tête rousse, a été suivie sur une période de deux ans (soit 400 brebis laitières en conditions d'infestation naturelle contrôlées par coprologies et prélèvement sanguin trois fois par an). Il ressort de ce suivi que les filles de béliers résistants présentent en moyenne une intensité d'excrétion d'œufs inférieure de moitié à l'intensité d'excrétion d'œufs des filles de béliers sensibles d'une part, et que la proportion de fortes excrétrices dans cette population résistante est inférieure à celle de la population sensible (respectivement 4% et 12%). Ces résultats suggèrent que le caractère « intensité d'excrétion d'œufs de SGI » pourrait être inclus dans un schéma de sélection : avant tout car la détermination du phénotype, ainsi que le montre l'étude, est réalisable en milieu clos après infestation expérimentale, ce qui permet un bon contrôle du processus. D'autre part car le bénéfice serait visible rapidement (ici sur la première descendance) et enfin car le recours fréquent à l'insémination artificielle chez les sélectionneurs faciliterait sa diffusion. Le respect d'un certain délai avant de diffuser plus largement ce procédé reste nécessaire, afin d'avoir un maximum de recul sur les bénéfices et les inconvénients d'un tel schéma, il serait néanmoins intéressant de l'éprouver en élevage ovin allaitant.

3. L'alimentation, une piste d'avenir ?

Détenir la connaissance de la physiopathologie d'une affection ne répond pas seulement à un besoin de connaissance sur les mécanismes générateurs de signes cliniques chez l'animal. Elle permet avant tout une prise en charge globale adaptée du patient, ce qui inclut d'anticiper les conséquences biochimiques ou biologiques directes ou indirectes du processus pathologique en cours. Dans le cadre d'une prise en charge globale, et en particulier d'affections responsables de syndromes de malassimilation-malabsorption, la nature et la

qualité de l'alimentation doivent faire l'objet d'une étude attentive. Ce raisonnement médical, très général, s'applique parfaitement aux strongyloses gastro-intestinales.

Les parasites gastro-intestinaux ont une action spoliatrice qui, pour beaucoup d'entre eux, concerne le chyme de leur hôte ; ils entraînent ainsi des carences multiples en nutriments ou métabolites nécessaires au maintien de l'homéostasie sanguine et tissulaire et affectent en particulier le métabolisme protéique de l'ovine, ce qui conduit à la baisse de production déjà évoquée. Par ailleurs, tout organisme décelant la présence d'un corps étranger mettra en œuvre une réponse immunitaire fortement consommatrice d'énergie et de protéines nécessaire à l'anabolisme de ses différents médiateurs. Mis bout à bout, ces deux arguments rendent plausible l'hypothèse d'une majoration des besoins protéiques de l'hôte lors d'infestation parasitaires par les SGI et donc de la pertinence d'une supplémentation protéique des animaux à l'herbe (Torres-Acosta *et al.* 2008). Les études mises en place pour éprouver cette hypothèse convergent vers la démonstration d'une augmentation de la résilience de l'hôte lors de supplémentation en protéines métabolisables (avec adjonction de protéines non dégradables). Sur des animaux jeunes et naïfs où l'allocation des ressources favorise la mise en place de l'immunité, elle aiderait au développement d'une réponse primaire locale puis dans un second temps, soutiendrait le maintien d'un GMQ (Gain Moyen Quotidien) supérieur à des animaux de même âge non supplémentés. Chez des adultes, où l'allocation des ressources favorise les fonctions de production, la supplémentation semble être un outil intéressant avec des niveaux d'excrétion fécale chez des brebis suivies en peripartum inférieures à ceux de brebis de même stade mais non supplémentées (Coop, Kyriazakis 2001). Une limite fréquemment évoquée est la formulation et la nature des protéines utilisées, qui doivent respecter des critères d'accessibilité, de coût, de qualité et de facilité de distribution au troupeau. Parmi les options envisagées, l'urée, moins coûteuse, semble bien répondre à ces critères (azote non dégradable à partir duquel les ruminants sont capables de synthétiser des acides aminés et formulables en blocs à lécher) (Wallace *et al.* 1998; Knox, Steel 1999).

La supplémentation est un moyen permettant de contrebalancer les pertes directes d'une part et de rendre l'organisme capable d'assumer l'augmentation des dépenses conséquentes d'autre part. Il en existe d'autres, cependant, qui font l'objet d'une attention particulière : les tanins. Ces derniers sont des métabolites secondaires de la famille des polyphénols localisés dans les parois et vacuoles des cellules végétales de nombreuses plantes et en particulier certaines espèces utilisées dans l'alimentation des ruminants tels que la chicorée (*Chicorium intybus*), le sainfoin (*Onobrychis viciifolia*) ou le lotier corniculé (*Lotus corniculatus*). Il existe une grande variété de tannins et à ce jour, leurs propriétés ainsi que leurs interactions avec l'environnement physico-chimique particulier du tractus digestif des ruminants ne sont pas connues dans leur intégralité. Leur utilisation pourrait pourtant présenter un double avantage.

En premier lieu, il a été démontré que ces molécules sont capables de complexer et de former des précipités pour des pH proches de la neutralité ($6 < \text{pH} < 7$) avec les protéines, polysaccharides et alcaloïdes. Ces liaisons sont réversibles et ces complexes se dissocient pour des pH acides (< 3.5). Ces interactions pH-dépendantes revêtent une grande importance lorsqu'appliquées à la physiologie digestive des ruminants. En effet, lorsque le bol alimentaire

est ingéré, une partie des protéines qu'il contient sont dégradées dans le rumen par le microbiote. Ce phénomène de protéolyse aboutit à la production d'azote soluble qui ne sera pas absorbé au niveau de l'intestin grêle. Le mécanisme proposé lors d'ingestion de plantes à tanin est le suivant : au pH ruminal ($6 < \text{pH} < 7$), les tanins complexeraient les protéines de l'alimentation en leur épargnant la protéolyse. A leur arrivée dans la caillette, le pH acide de l'environnement ($\text{pH} < 3.5$) favoriserait la dissociation des complexes et donc la libération de protéines qui seront alors libres d'être digérées et absorbées au niveau de l'intestin grêle. La consommation de plantes à tanins augmenterait donc la disponibilité en protéines au niveau de l'intestin grêle sans nécessité de supplémentation protéique (Min, Hart 2003).

Outre leurs effets nutritionnels, les tanins semblent avoir un impact sur la biologie des SGI mais leurs mécanismes d'action ne sont pas encore élucidés (Hoste *et al.* 2012). L'effet le plus fréquemment rapporté *in vivo* est une diminution de l'intensité d'excrétion fécale (jusqu'à 60%), et secondairement une charge parasitaire déterminée à l'autopsie réduite pour chacune des trois espèces majeures de SGI en faveur du lot d'ovin pâturant des espèces de plantes à tanins (Mupeyo *et al.* 2011; Minho *et al.* 2008) ainsi qu'une diminution de la fécondité des femelles observée aussi lors de tests *in vitro* (Brunet *et al.* 2008). Enfin, une réduction de l'établissement larvaire après consommation d'extraits de sainfoin a été démontré *in vitro* par Brunet *et al.* (2008). Athanasiadou *et al.* (2001) observent lors de la consommation répétée sur quatre jours d'extraits de Quebracho (arbre originaire d'Argentine connu pour sa grande concentration en tanins) par des ovins en conditions expérimentales d'infestation par *Haemonchus contortus*, *Teladorsagia circumcincta* et *Trichostrongylus vitrinus* un niveau d'excrétion fécale diminué par rapport aux animaux du lot témoin. Cette intensité d'excrétion semble d'autant plus faible que la proportion en tanins intégrée à la ration quotidienne est élevée. Enfin, pour une proportion de 8%, les chercheurs ont mis en évidence une réduction de la charge parasitaire en strongles intestinaux mais aucun effet sur les espèces résidant dans la caillette (*Haemonchus contortus* et *Teladorsagia circumcincta*). *A contrario*, une augmentation de l'excrétion fécale et une baisse des performances de croissance sont constatées lors de l'ajout, dans une ration contenant des tanins, d'un substrat (le polyéthylène glycol) capable de s'y lier en lieu et place des protéines ingérées (Hoste *et al.* 2006; Torres-Acosta *et al.* 2008 et 2011).

Les études réalisées *in vitro*, soutenues par un certain nombre d'études *in vivo*, constatent que l'effet anthelminthique est dose-dépendant avec des concentrations thérapeutiques recommandées de 30 à 40 g/kg de matière sèche (MS). Au-delà d'une concentration de 45 g/kg MS, le bénéfice tiré de la consommation de tanins est non seulement variable mais s'accompagne d'une baisse d'ingestion et d'inappétence contre-productives (Hoste *et al.* 2006). Il s'avère aussi que certains tannins ont un impact négatif sur le microbiote ruminal (comme le chêne vert), ce qui diminue l'intérêt de les utiliser comme alicaments (Min *et al.* 2003). La définition de seuils thérapeutiques soulève la question de la formulation et de l'administration des tannins. Les expériences *in vivo* définissent en effet des plans thérapeutiques incluant plusieurs jours de traitement or, la durée de conservation des tanins dans le temps (et donc de leur effet) est à ce jour imprévisible et l'appétence comme la capacité d'ingestion de l'ovin sont susceptibles de moduler la quantité totale ingérée. II

semble en conséquence raisonnable de penser que dans ces conditions tous les patients ne recevront pas une concentration égale et suffisante en tannins pour bénéficier de leur effet anthelminthique. Une formulation en bouchons permettrait d'avoir un meilleur contrôle sur ces facteurs (Terrill *et al.* 2007), la déshydratation étant un procédé favorisant la conservation sur une longue durée de la qualité nutritionnelle de fourrages comme la luzerne. Il a par ailleurs été démontré pour le sainfoin que ce procédé de transformation n'atténue pas l'effet anthelminthique (Costes-Thiré *et al.* 2018). Les tannins, utilisés en sus d'un fourrage de bonne qualité nutritionnelle, sont donc de bons candidats pour le titre d'« alicaments » et pourraient constituer des alternatives phytothérapeutiques aux anthelminthiques classiques.

Ainsi la recherche de ressources naturelles, moins onéreuses que les anthelminthiques classiques mais néanmoins efficaces, semble avoir de beaux jours devant elle. Cependant, cette démarche est compliquée par la difficulté à isoler et caractériser la ou les substances actives, à déterminer ou prévoir leurs interactions avec le microbiote et leur environnement physique et chimique une fois ingérés, leur effet synergique ou antagoniste vis-à-vis d'anthelminthiques déjà sur le marché (Hoste *et al.* 2015) et enfin, la complexité probable de leur interaction avec les parasites (à savoir la détermination de leur action physique ou chimique sur le strongle gastro-intestinal dans son stade larvaire ou adulte), autant de questions en suspens pouvant expliquer la transposition difficile des résultats obtenus *in vitro* et *in vivo* aux conditions de terrain et la difficulté à déterminer une posologie et des conditions optimales d'utilisation de la phytothérapie chez l'ovine (Hoste *et al.* 2011).

4. Une gestion agronomique orientée vers une limitation de l'infestation

Nous avons jusqu'ici centré notre discours sur les alternatives possibles de gestion des SGI dans leur phase parasitaire et passé en revue les principales options de lutte envisageables, directes ou indirectes et centrées sur l'hôte. Ceci posé, il nous faut rappeler que dans un système herbager, la pâture occupe une position clef car elle est à la fois la raison même d'existence de la production et l'unique source d'infestation des ovins (donc de baisse de productivité). Il est donc logique que dans l'objectif d'une lutte intégrée contre le parasitisme gastro-intestinal, elle soit l'objet de nombreuses études envisageant un double objectif dans la gestion agronomique de la pâture : un objectif de production, c'est-à-dire être à tout moment capable de répondre aux besoins du troupeau et un objectif sanitaire, *i.e.* réussir à fournir une pâture présentant une contamination minimale pour les animaux pâturants sensibles en exploitant l'ensemble des connaissances disponibles relatives à l'écologie des SGI. L'évocation de ce double-emploi remonte aux années 60 et il apparaît que sur ces dix dernières années c'est le pâturage cellulaire qui semble répondre le mieux à ce cahier des charges.

(a) Origine et conception du pâturage cellulaire

Le pâturage cellulaire a été conceptualisé sur la base du pâturage rationalisé d'André Voisin (agronome français), dont les travaux soulignaient la nécessité d'un accompagnement au pâturage des animaux se fondant sur une fine connaissance de la physiologie de l'herbe et de l'impact de l'activité d'élevage sur cette dernière afin de mettre en œuvre un système herbager exploitant au mieux cette ressource naturelle. Il fût proposé pour la première fois en

Nouvelle-Zélande en 1989 et s'y implanta dans les années 90 en dépit des nombreuses controverses qu'il suscita alors (Mac Cosker 2000). Il se révéla néanmoins profitable à la production néozélandaise, ce qui contribua largement à sa diffusion dans d'autres pays.

Le principe général du pâturage cellulaire est similaire à celui des systèmes communément utilisés en France et repose donc sur l'élaboration d'un parcellaire à partir duquel est organisée une rotation du troupeau. Mais à seconde vue il s'en démarque assez nettement : la division du parcellaire doit être poussée à son extrême et chaque lopin est divisé en terrains de faibles superficies appelés « cellules » dont le chargement instantané est élevé. Le temps de séjour des animaux est réduit, compris entre 12 et 72 heures et le temps de retour ou de repos, long. Enfin, la pâture hivernale est largement pratiquée. L'objectif poursuivi par la mise en place de ce système est la maximisation de la valorisation de la ressource herbagère, permettant de réduire les charges opérationnelles mais aussi structurelles de l'éleveur (qui limite ses coûts alimentaires en réduisant l'achat de concentrés, réduit la taille et l'équipement des bâtiments où les animaux font peu de séjour) et donc d'augmenter la productivité globale de l'élevage (Le Gall *et al.* 2001) .

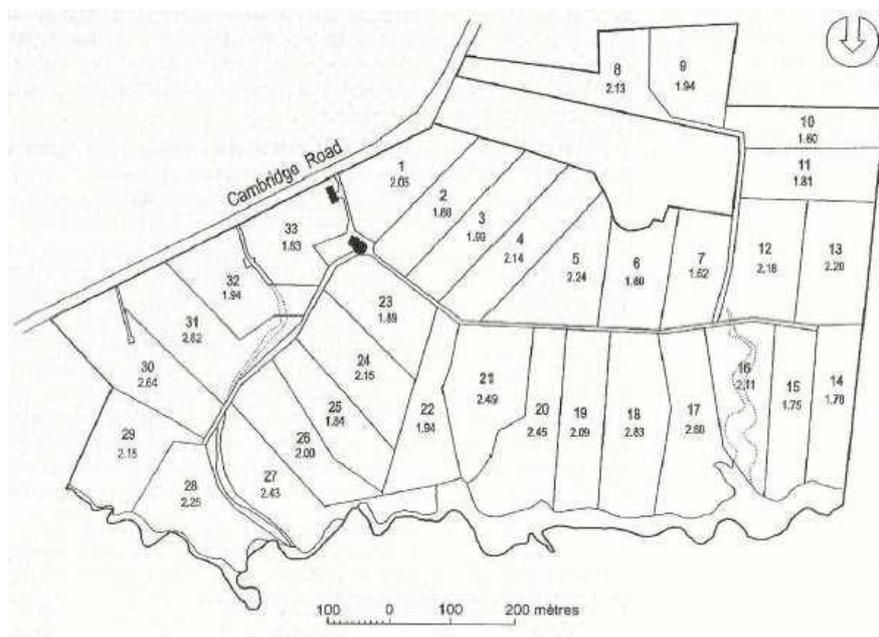


Schéma 4 : Exemple de parcellaire d'une ferme laitière Néo-Zélandaise (Le Gall *et al.* 2001)

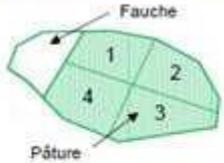
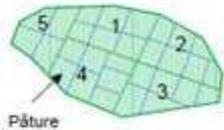
Pâturage tournant		Pâturage cellulaire	
			
PT		PC	
Dès 300-350°C	Mise à l'herbe	Tout l'année	
80-200 brebis/ha	Chargement	500-1000 brebis/ha	
3-8j	Temps de séjour	12h-3j (prtps<hiver)	
21-40j	Temps de repos	20-60j	
Oui	Fauche	Non	

Tableau 3 : Comparaison des principales caractéristiques d'un type de pâturage cellulaire et d'un système classiquement utilisé en France, le pâturage tournant (d'après Matthieu Vaillant de Guelis (2016))

L'étude rétrospective des avantages perçus par les agronomes ou les éleveurs néozélandais ayant mis en place le pâturage cellulaire révèle après deux à cinq ans de pratique un gain net de productivité et une baisse de 50% du coût de la production tandis que les agronomes mettent en évidence des conséquences bénéfiques sur la composition floristique des pâtures (moins d'espèces indésirables, meilleure repousse de l'herbe au printemps suivant) et sur la composition du sol, plus riche en phosphore et ne nécessitant plus de fertilisation azotée (Mac Cosker 2000).

Le système de pâturage peut se révéler assez délicat dans sa gestion car il demande une grande rigueur d'observation et une grande flexibilité. Son rythme est entièrement basé sur la croissance de l'herbe afin d'optimiser sa valorisation, ce qui explique les temps de séjour courts, favorisant la repousse de l'herbe au printemps suivant et limitant l'impact du piétinement sur la couverture herbagère. Ces durées de séjour sont modulables, en général plus courtes au printemps et à l'automne lorsque l'herbe est riche et a une pousse rapide, rallongée en hiver quand la ressource est moins abondante. Cette technique favorise ainsi la reprise d'état au printemps et à l'automne de façon à ce que les animaux puissent avoir des réserves dans lesquelles puiser lors de saisons moins clémentes (été et hiver). En pratique, ces temps de séjours sont prédéterminés par l'éleveur après observation sur une année des hauteurs d'herbe à l'entrée et à la sortie des animaux et la mesure de l'importance des refus. Un chargement élevé permet de limiter le comportement de refus sur les cellules et empêche donc le développement d'espèces indésirables, ce qui à terme est bénéfique pour la composition floristique de la prairie. Mais si malgré tout certaines parcelles en font l'objet alors l'éleveur peut les réserver à la fauche et constituer un stock sur pied pour la mauvaise saison. Le nombre élevé de cellules entraîne l'augmentation du temps de retour sur chacune

d'entre elle et permet de laisser le temps à la couverture herbeuse de repousser. Enfin, si le climat le permet, ce système peut tendre vers le « 0 bâtiment ».

Au bilan, le pâturage cellulaire est un système complexe dont il existe de multiples variations à adapter au contexte pédoclimatique des terrains et qui peut se révéler difficile à mettre en œuvre lorsque le parcellaire initial ne permet pas de grouper les cellules (Le Gall et al. 2001), contraignant donc l'éleveur à investir non seulement dans des équipements de délimitation ou d'alimentation en eau des micro-parcelles mais aussi à incrémenter le budget temps consacré au déplacement et du troupeau. Cependant, il présente vraisemblablement de grands avantages en permettant de réaliser au mieux le potentiel des prairies disponibles tout en restant en adéquation avec le besoin des animaux et en favorisant la productivité globale de l'élevage par la diminution des coûts de production ou d'entretien des bâtiments et du temps de fauche. Enfin, il contribue au bien-être animal en respectant le comportement biologique des ovins et offre ainsi une image positive de la production valorisable sur le marché.

(b) Implications en matière de lutte contre les SGI

L'ensemble des avantages potentiellement présenté par le pâturage cellulaire dans la lutte contre les SGI découle de la confrontation entre ses grands principes de conception et l'écologie connue des SGI.

Rappelons qu'en milieu tempéré, la rapidité de développement des SGI est moindre qu'en milieux tropicaux mais la persistance des œufs et des L3 sur les pâtures est favorisée sur une plus longue période, jusqu'à plusieurs semaines ou mois selon les genres de SGI considérés, ce qui complique la conception du pâturage cellulaire.

Considérons une cellule contaminée par le passage d'ovins infestés à un instant t . Il est raisonnable à la lueur des données écologiques exposées en partie I) de conclure qu'une partie de cette population survit entre deux séjours d'ovins sur la même cellule et donc que le risque de contamination n'est pas nul au retour sur cette parcelle. En revanche, il est considérablement affaibli dans la mesure où le temps de séjour sur chaque cellule est court : ainsi, si un animal est infesté, ce temps de séjour n'empêche certes pas la contamination de la pâture (par le dépôt de fèces contenant des œufs de SGI) mais l'ovine ne consommera pas une hauteur d'herbe suffisante pour atteindre la limite critique d'ascension des larves L3 déjà présentes et la probabilité de ré-infestation est faible. Les L3 non consommées à ce moment-là sont donc contraintes de survivre à une nouvelle période de repos de la micro-parcelle, ce qui conduit à la mort de beaucoup d'entre elles (qui ont atteint leur durée maximale de survie) et diminue la taille de la population infestante. Par ailleurs, les œufs déposés sur la parcelle ont une durée de développement en larve L3 fortement conditionnée par les conditions de température et d'humidité ambiantes. En milieu tempéré cette durée est plus faible au printemps et à l'automne qu'en été ou en hiver ; au passage suivant des animaux une dichotomie se présente : soit les œufs sont devenus L3, capables de migrer sur une certaine hauteur d'herbe, soit des conditions défavorables au développement l'ont ralenti et il y a alors une faible population de L3 sur la pâture. Dans le premier cas, l'herbe aura repoussé sur la parcelle et le risque est le même qu'au premier passage, diminué par le temps de séjour court. Dans le second cas de figure, le développement de l'œuf en larve infestante ayant été retardé,

la contamination par des stades infestants de la pâture est faible et donc la probabilité d'infestation réduite.

Ainsi, à la condition qu'une grande rigueur dans l'exercice du pâturage cellulaire soit observée (ce qui contraint à l'utilisation régulière d'un herbomètre), il permettrait une dilution à la fois temporelle et spatiale du risque parasitaire en diminuant la probabilité de rencontre hôte-parasite d'une part et en réduisant la contamination de la pâture en larves infestantes d'autre part en jouant sur le taux normal de mortalité des SGI confrontés à une attente longue de l'hôte (Torres-Acosta, Hoste 2008). Ce système n'est pas sans inconvénients, cependant, une densité élevée d'hôtes sur un espace restreint et contaminant favorisant ainsi largement les parasites. Enfin, la pratique du pâturage hivernal expose les animaux aux infestations sur une plus longue période. Néanmoins le pâturage cellulaire se démarque par une certaine flexibilité de conception : si le risque reste élevé en dépit du temps de repos long de la parcelle (du fait des longues périodes de survie possibles en milieu tempéré), il est possible de rentrer les animaux en bâtiments et laisser ainsi « du temps au temps » (Hoste, Torres-Acosta 2011) , c'est-à-dire permettre un assainissement naturel des pâtures.

Le scénario général exposé dans les précédents paragraphes a fait l'objet de plusieurs mises à l'épreuve dans le cadre d'expériences de terrain menées durant 2 à 6 ans en Australie par Colvin *et al.* (2008), Walkden-Brown *et al.* (2013) ou encore Burke *et al.* (2009). Nous aborderons ici surtout les deux premières, dont le protocole est identique (Cicerone Project Inc.) mais les objectifs différents et complémentaires ; un cheptel d'ovins Merinos de race pure dont on peut distinguer trois classes d'âge (agneaux de moins de 12 mois, antennes de 12 à 24 mois et brebis de plus de deux ans) est divisé en trois groupes qui sont répartis dans trois systèmes de conduite: le « High input » (HI) caractérisé par une fertilisation azotée importante des prairies et qui mime donc un système classique ayant fait le choix de la supplémentation protéique, le « Typical » (TYP) dont la conception est proche de notre pâturage tournant français et enfin l' « Intensive rotational grazing » (IRG), qui se rapproche des caractéristiques du pâturage cellulaire tel qu'il a été défini précédemment et où les mouvements des animaux sont entièrement conditionnés par la croissance de l'herbe. Le troupeau est suivi en conditions d'infestation naturelle et fait l'objet de prélèvements fécaux ou sanguins tous les mois.

	HI	TYP	IRG
Nombre de parcelles	8	8	64
Temps de séjour	Long	Long	Court
Temps de repos	Moyen	Moyen	Long
Fertilisation	Elevée	Moyenne	Moyenne
Chargement (DSE) ¹	13.4	9.2	8.8

Tableau 4 : Conception des trois systèmes de pâturage mis en place de 2000 à 2006 dans les Northern Tablelands, Australie (d'après Colvin *et al.*, 2008)

¹ DSE = Dry Sheep Equivalent/hectare soit la quantité d'herbe pâturée par un Merinos de 2 ans pesant 50 kg n'étant ni en lactation ni en gestation pour maintenir son poids (1 DSE= 7.6 MégaJoule/jour). Dans les Northern Tablelands où se déroule l'expérience, le DSE est d'en moyenne 6.1/ha.

A chaque point de contrôle la note d'état corporel (NEC), le poids vif (PV) et l'hématocrite (Ht) de chacun est déterminé. Chaque animal subit un prélèvement de fèces pour la réalisation de coproscopies individuelles ainsi que de coprocultures permettant de déterminer l'helminthofaune présente dans chaque système. Deux traitements fixes sont réalisés, avant la tonte d'été et avant la lutte à l'automne. Toute décision de traitement supplémentaire est prise en fonction des paramètres pré-cités. Enfin, tous les mouvements des animaux sont consignés.

Il ressort de ces études que l'intensité d'excrétion des ovins menés en IRG est significativement plus faible et le nombre annuel de traitements administrés est divisé par deux mais conservent un hématocrite plus faible que leurs congénères. Le système IRG est aussi celui qui présente le temps de séjour total sur une année le plus bas (5 à 11 jours en moyenne) pour une parcelle donnée et des temps de repos 1.5 fois plus longs avec une moyenne de 100 jours environ. Ces résultats tendent à montrer qu'en milieu tempéré le pâturage cellulaire contribue au contrôle du parasitisme gastro-intestinal chez les ovins.

L'helminthofaune globale évolue au cours du temps et après deux ans d'expérience *Haemonchus contortus* est l'espèce dominante (66.4 %), suivie par *Trichostrongylus colubriformis*. (23.1%) et enfin *Teladorsagia circumcincta* (8.2%). Cependant au sein du système IRG la proportion d'*Haemonchus contortus* est plus faible et les proportions de *T.colubriformis* et *T.circumcincta* plus élevées que dans les autres systèmes, suggérant un impact du pâturage cellulaire plus important sur *Haemonchus contortus* que chez les deux autres espèces de SGI.

Les principaux facteurs de variation de l'intensité d'excrétion d'œufs identifiés au cours de ce projet sont le délai écoulé depuis le dernier traitement et la nature de l'anthelminthique utilisé (Walkden-Brown *et al.* 2013) mais les auteurs soulignent aussi l'influence de certains paramètres météorologiques comme les températures minimales et maximales ainsi que la pluviométrie et l'évaporation des trente derniers jours, qui sont à prendre en compte pour expliquer les pics d'excrétion fécale observés et les taux de mortalité par haemonchose. Ces derniers éléments tendent à confirmer qu'en milieu tempéré les principaux facteurs limitant le développement larvaire sur la pâture sont la température et l'humidité et qu'en dépit de l'effet globalement défavorable du pâturage cellulaire sur la population d'*Haemonchus contortus* un suivi coprologique plus fréquent aux périodes les plus à risque (automne et printemps) doit être mis en œuvre.

Une exploration ultérieure du poids respectif des facteurs environnementaux et des facteurs liés à l'hôte dans la réduction du parasitisme gastro-intestinal ovin par Colvin *et al.* (2012) montre que les différences observées sont imputables essentiellement à la rupture du cycle parasitaire dans sa phase libre par le système mis en place. Le pâturage cellulaire aurait pour conséquence principale de diminuer la contamination de la pâture et en conséquence l'intensité de l'infestation des ovins. Sachant que la réponse immunitaire contre les SGI chez les ovins est d'autant plus efficace que la charge est forte et l'exposition prolongée, ces animaux présenteraient en contrepartie une plus grande sensibilité aux infestations massives, justifiant du suivi coprologique plus fréquent déjà évoqué aux périodes les plus à risques de contamination.

Ces trois études sont encourageantes quant aux avantages présentés par le pâturage cellulaire, tant sur le plan économique (Burke *et al.* (2009) démontrent que la valeur de l'agneau à l'abattage est similaire entre les différents systèmes quoique la croissance ne présente pas la même cinétique) que sanitaire, avec une diminution significative de l'excrétion fécale des animaux. Chacune d'entre elle rappelle cependant l'importance du cadre climatologique dans lequel se déroule l'expérience, quoique le poids relatif de ce facteur dans les résultats obtenus soit difficile à évaluer (certainement du fait de la difficulté à modéliser la probable complexité d'interaction entre macro-environnement, micro-environnement et stade libre parasitaire). Il est d'ailleurs un obstacle majeur à la transposition directe de ces résultats à d'autres pays ou régions dont le climat n'est pas rigoureusement identique quoique décrit comme tempéré.

Le pâturage cellulaire ayant néanmoins fait ses preuves dans les régions tropicales, subtropicales et à présent en Australie, il est légitime de s'interroger sur sa possible contribution sous d'autres latitudes où les éleveurs sont confrontés à la même problématique de gestion alternative du parasitisme gastro-intestinal ovin. Le travail exposé ici décrit une expérience comparative menée en élevage ovin allaitant entre un système classique de pâturage tournant et un système de pâturage cellulaire, principalement tournée vers l'impact du pâturage cellulaire sur la gestion des strongyloses gastro-intestinales.

DEUXIEME PARTIE : MATERIEL ET METHODES

CHAPITRE I : PRESENTATION DU SITE EXPERIMENTAL ET DES ANIMAUX

A. *Le site du Mourier*

1. Localisation

L'étude a été mise en place sur le site expérimental du Mourier en coopération avec le CIIRPO (Centre Inter Régional d'Information et de Recherche en Production Ovine, gestionnaire du site depuis 2003). La ferme expérimentale est située à 25 km au Sud de Limoges à Saint-Priest-Ligoure en Haute-Vienne, (87) et s'étend sur 95 hectares, dont 95% sont en herbe. Elle rassemble un effectif de 700 brebis de races à aptitudes bouchères ou prolifiques qui participent régulièrement à des projets visant à répondre aux demandes techniques de l'élevage ovin français et à évaluer leur impact sur l'environnement et le travail de l'éleveur. Les brebis ayant pris part à l'étude participent d'un système allaitant. La lactation des brebis se fait à l'herbe. En fonctions des ressources disponibles, les agneaux sont finis à l'herbe ou en bergerie.

Le site expérimental du Mourier est établi au sein d'un bassin d'élevage pratiquant majoritairement la conduite à l'herbe et s'intéresse particulièrement au pâturage cellulaire. Depuis 2013, le CIIRPO mène une étude comparative pluridisciplinaire entre pâturage cellulaire et pâturage tournant ayant permis de rôder le système cellulaire mise en place sur l'exploitation.



Carte 6 : Vue satellite du domaine expérimental du Mourier (Source : Google Maps le 06/06/2018)

2. Des relevés réguliers de température et de pluviométrie sur le terrain

Le Mourier dispose d'une station météorologique permettant des relevés quotidiens de température (minimale maximale et moyenne) et pluviométrie au long de l'année. L'exploitation est située à 320 m d'altitude. Le climat de Saint-Priest-Ligoure est caractérisé par une pluviométrie moyenne, de l'ordre de 900 mm/an, plutôt bien répartie sur l'année. Une différence de 48 mm est relevée entre le mois le plus sec (Juillet) et le mois le plus humide (Décembre).

Les températures maximales sont atteintes durant les mois de Juillet et d'Août mais excèdent rarement les 25°C. Les températures sont fraîches au printemps et à l'automne et restent le plus souvent positives en hiver avec des températures minimales atteintes aux mois de janvier et février. Les épisodes de gel à cette saison sont rares (Source en ligne : Météociel).

L'étude se déroule donc en climat tempéré chaud sans saison sèche (type Cfb de la classification de Köppen (Hufty 2001) que l'on retrouve à l'extrême Sud-Est de l'Australie ou encore le quart Sud-Est des Etats-Unis), d'influence océanique à tendance continentale, caractérisé par des étés plutôt doux et humides et des hiver frais, pluvieux, marqués par de rares épisodes de gel.

3. Une hauteur d'herbe régulièrement contrôlée

Chaque parcelle fait l'objet d'un contrôle de la hauteur d'herbe toutes les deux semaines. Ces mesures sont réalisées à l'aide d'un herbomètre à plateau (*Jenquip*[®]), avec une trentaine de mesures à l'hectare. Les mesures peuvent être réalisées en présence des animaux sur la parcelle. Dans le cas des parcelles du système cellulaire, la hauteur d'herbe correspond à la hauteur moyenne sur toute la parcelle : aucune mesure individuelle n'est réalisée par cellule.

La hauteur d'herbe n'est plus mesurée quand les parcelles sont réservées à la fauche, c'est-à-dire lorsque le stade est trop avancé pour permettre la pâture. Les mesures reprennent après la fauche.

Une partie des parcelles est en suivi approfondi, pour comparer les deux modes de pâturage et aux mesures de hauteurs d'herbe en entrée et sortie se rajoute une grille de notation relative au couvert végétal et à l'état du sol sur ces sites de pâturage (recouvrement, propreté, homogénéité, stade de végétation et état de la végétation, composition du couvert végétal). Ce suivi permet d'appréhender la qualité de l'herbe à disposition lors du passage des brebis (soit environ six fois par an). Cette appréciation se traduit par une note globale comprise entre 0 et 3 pour chaque parcelle (de la meilleure qualité de couvert végétal à la moins bonne).

B. Protocoles de pâturage, allotement

1. Organisation du parcellaire

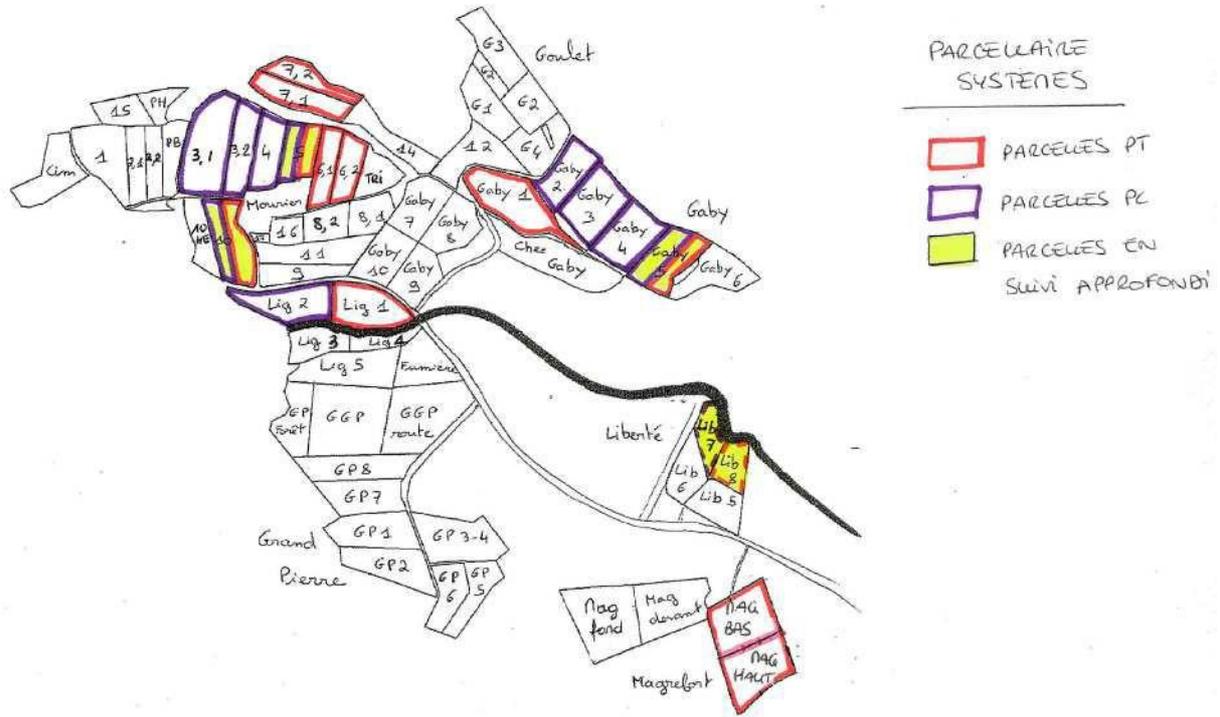


Schéma 5 : Organisation du parcellaire sur le site du Mourier

Le parcellaire présenté ici a été conçu de façon à ce que les brebis en PC et en PT pâturent dans des conditions pédoclimatiques similaires et sur des prairies de même nature. La surface agricole utile (SAU) totale utilisée est de 30 ha divisée équitablement entre les deux groupes. La transition vers le pâturage cellulaire a été progressivement réalisée durant l'année 2013. Le parcellaire met ainsi à disposition 10 parcelles en système PC et 11 en système PT

Les dates d'entrée sur les parcelles, le nombre de cellules occupées, l'effectif total et le chargement instantané pour chaque parcelle ont été consignés dans un planning de pâturage pour chaque système. Ces données ont permis de calculer *a posteriori* les temps de séjour et les temps de retour sur chaque parcelle ou cellule.

2. Allotement des brebis et conduite

300 brebis de race Vendéenne ont été réparties dans les deux systèmes, au sein de mini-exploitations de 15 ha tout en herbe : 150 brebis en pâturage cellulaire et 150 brebis en pâturage tournant avec 20% de renouvellement annuel pour chaque cheptel. Les agnelles de renouvellement sont achetées à l'extérieur de l'exploitation (en Vendée) et maintenues un mois au minimum en quarantaine dans un bâtiment à l'écart du troupeau avant leur introduction.

Sur la base de niveaux d'excrétion et d'état corporel similaires en début d'expérience (septembre 2016), trente à cinquante brebis de chaque système ont fait l'objet de suivis réguliers.

Dans chacun de ces échantillons on peut distinguer des sous-groupes, définis par le millésime de l'ovin. Ainsi, entre mai 2016 et août 2017 on distinguait trois classes d'âge (brebis nées en 2012, 2013 et 2014) pour un effectif total prélevé de trente brebis par système; quatre classes entre octobre 2017 et janvier 2018 (brebis nées en 2012, 2013, 2014 et 2015) pour un effectif total prélevé de quarante brebis par système et enfin six classes en mai 2018 (brebis nées en 2011, 2012, 2013, 2014, 2015 et 2016) pour un effectif total de cinquante brebis par système.

(a) Conduite en pâturage tournant (PT)

Le protocole de conduite en pâturage tournant a été élaboré suivant les recommandations du PSHF du Limousin et ainsi basée sur l'évolution du cumul des températures. La mise à l'herbe a lieu au printemps quand le cumul de température dépasse les 300° jours. Le chargement instantané sur les parcelles doit être compris entre 80 et 200 brebis/ha. Le temps de séjour maximal est de sept jours et le temps de repos minimal de vingt-et-un jours. Les brebis sont sorties de la parcelle quand l'herbe approche une hauteur minimale de quatre centimètres. Lorsque la pousse de l'herbe est plus rapide que la consommation, entraînant une inadéquation entre la ressource et le besoin des brebis, la parcelle est débrayée pour la fauche (en général pour des hauteurs d'herbe supérieures à 15 cm). Les brebis sont rentrées en bergerie trois semaines à quinze jours avant l'agnelage et reçoivent une complémentation en céréales et tourteau de colza. Elles y demeurent un mois et demi environ avant d'être remises à l'herbe avec leurs agneaux. Les agneaux sont sevrés à 120 jours et finis en bergerie ou à l'herbe. Enfin, les brebis sont rentrées en bergerie en hiver où elles reçoivent à volonté du foin issu des parcelles fauchées ainsi que des concentrés jusqu'à une nouvelle mise à l'herbe.

Les brebis sont mises en lutte naturelle au printemps et à l'automne avec des béliers Texel. Les agnelles constituent une exception et sont conduites à part, synchronisées puis inséminées avant d'être intégrées au troupeau de brebis. Les deux tiers des agnelages ont lieu au printemps (du 15 février au 15 mars) et le dernier tiers en été.

(b) Conduite en pâturage cellulaire (PC)

Le pâturage des brebis en cellulaire doit être maximisé. Chaque parcelle attribuée au système PC est divisée en cellules d'environ 20 ares de surface par la mise en place de clôtures électriques mobiles (de type *Spider*®). Les temps de séjour sont courts (inférieurs à sept jours) et déterminés en fonction du rythme de pousse de l'herbe. Le sens de rotation au sein d'une parcelle a été autant que possible toujours le même. Le chargement instantané est élevé. Lorsque la pousse de l'herbe sur la cellule est rapide et n'est pas consommée, la cellule constitue un stock sur pied qui sera mis à disposition à la mauvaise saison. Une partie d'entre elles sont fauchées afin de produire des fourrages nécessaires à la finition des agneaux en bergerie ou l'alimentation du lot lorsqu'il est ponctuellement rentré en bergerie.

Quoique l'objectif poursuivi dans ce système soit de laisser les brebis pâturer toute l'année, un état corporel insuffisant d'une partie du lot de gestantes a entraîné sa rentrée en bergerie au cours de l'automne 2017 (de la mi-novembre à fin décembre). Enfin, du fait de prédation par les renards sur les agneaux, une rentrée en bergerie de quinze jours minimum autour de l'agnelage a été décidée.

Les brebis sont mises en lutte à l'automne et tous les agnelages sont groupés entre le 15 février et le 15 mars. Ils ont lieu en bergerie et mères et les agneaux sont mis à l'herbe dès que ces derniers atteignent l'âge de trois semaines. Sevrés à 120 jours, ils sont finis à l'herbe si les ressources le permettent.



Illustration 1 : Conduite des brebis en pâturage cellulaire : illustration du passage d'une cellule à l'autre à l'aide de clôtures mobiles

(c) Critères d'allotement et de conduite

La répartition des brebis dans chacun des systèmes a été décidée de façon à ce qu'entre les deux groupes, l'état initial défini par le niveau d'excrétion d'œufs de SGI et la note d'état corporel moyenne des brebis soit similaire. En septembre 2016, certains individus présentaient des notes d'état corporel très insuffisantes (inférieures à 1.5) et des hématocrites faibles. Ces données, préoccupantes quant à la santé des animaux participant à l'expérience et quant au biais dans l'analyse ultérieure qu'elles auraient pu induire, ont conduit à l'automne 2016 à une refonte des lots ayant pour objectif un état corporel, un niveau d'excrétion et un hématocrite moyens à nouveau similaires dans les deux groupes. Ainsi, certaines brebis originellement en système cellulaire sont passées en pâturage tournant et inversement. En conséquence nous avons fait le choix de ne pas prendre en compte dans l'analyse statistique réalisée les données de mai et septembre 2016.

CHAPITRE II : OUTILS DE DETERMINATION DE LA CHARGE PARASITAIRE ET DE L'HELMINTHOFAUNE

Huit chantiers de prélèvements ont été mis en œuvre sur deux ans et répartis comme suit : mai, septembre et décembre 2016, mai, août et octobre 2017, janvier et mai 2018. On distingue chaque fois deux catégories d'échantillons :

- Sanguin, sang veineux jugulaire prélevé au vacutainer sur tube EDTA et tube sec.
- Echantillons de fèces prélevés dans le rectum de chaque brebis (dans des contenants hermétiques et identifiés). Si l'animal ne présente pas de selles ou n'a pu être rentré avec les autres, ses prélèvements sont envoyés avec environ 48h de décalage par rapport au groupe et ses analyses sont incluses dans le fichier de données de la date de prélèvement. Elles sont donc prises en compte dans l'analyse ultérieure. Un même échantillon de fèces est utilisé pour la coproscopie individuelle, la coproscopie de mélange et la coproculture.

L'ensemble des prélèvements réalisés sont envoyés par Chronopost ® sous atmosphère réfrigérée et parviennent au laboratoire sous 24h.

A. Coprologies individuelles et de mélange

1. Coprologies individuelles

Des coprologies individuelles ont été réalisées sur les brebis en hiver, à la charnière printemps-été et à l'automne des années 2016 à 2018 (soit aux mois de mai, septembre et décembre 2016, mai, août et octobre 2017, janvier et mai 2018).

Les périodes automnale et printanière offrent des conditions environnementales très favorables au développement des SGI et sont les saisons au cours desquelles sont couramment observés des pics d'excrétion fécale. Il est donc pertinent de prélever les animaux à ces périodes plus à risques pour eux.

En fonction des principes actifs dans les anthelminthiques utilisés pour juguler les strongyloses de printemps et d'automne, la réinfestation peut être empêchée jusqu'à cinq semaines après le traitement. La durée de chaque cycle parasitaire est fonction des conditions extérieures mais aussi dépendante de l'espèce à laquelle on s'intéresse. Etant donné la diversité d'espèce considérée, nous avons choisi ici d'estimer à un mois environ le délai nécessaire entre la réinfestation et la reprise d'excrétion. Cette dernière fait suite à un traitement anthelminthique ayant indirectement diminué le niveau de contamination de la pâture (car les L3 ingérées sont éliminées donc des larves sont consommées sans qu'il y ait dépôt d'œufs *de novo*). Par conséquent, les niveaux d'excrétion sont le plus souvent faibles et ce n'est qu'après une deuxième infestation qu'ils s'avèrent plus substantiels. Ce qui implique une attente supplémentaire avant un nouveau prélèvement d'environ trois semaines à un mois. Ainsi, le délai entre deux sessions de prélèvement choisi dans cette étude a-t-il été d'environ trois mois.

Aux mois de Juin 2017 et 2018, des coproscopies individuelles d'une partie des agneaux nés en mars de l'année courante ont aussi été réalisées, soit 25 agneaux par système en 2017 et 25

par système en 2018. Le caractère naïf des agneaux vis-à-vis des strongles gastro-intestinaux a éveillé notre intérêt quant au reflet ponctuel de la contamination des pâtures qu'ils pouvaient fournir.

Ainsi que mentionné précédemment, la réalisation d'une coproscopie ne permet pas, dans le cas des SGI, d'allier dénombrement des œufs dans les fèces et identification des différentes espèces. C'est donc uniquement le niveau d'excrétion global en SGI qui a été déterminé dans un premier temps, à l'aide de la méthode quantitative de Mac Master (modifiée par Raynaud (1979)). Pour chaque individu, 3 g de fèces fraîches sont délités dans 42 mL de solution saline de densité 1.2 (vérifiée avant chaque série). La suspension obtenue est filtrée par trois fois à l'aide d'une passoire à thé. La solution diluée au quinzième à laquelle on parvient est homogénéisée puis prélevée à l'aide d'une pipette afin de remplir une lame de MacMaster.

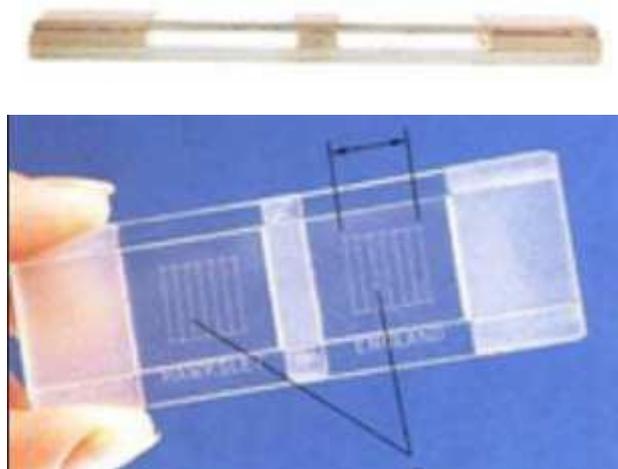


Illustration 2 : Photographies d'une lame de Mac Master (Jacquiet et al.) où sont indiquées les chambres de remplissage (en bas). La largeur d'un réseau est figurée par une double flèche.

La lame de MacMaster (présentée en illustration 2) est constituée de l'accolement de deux cellules de volume total de 0.5 mL. Dans chaque cellule se trouve un réseau (de volume égal à 0.15 mL) dont le quadrillage facilite la lecture et le dénombrement des œufs. La technique de Mac Master consiste en le dénombrement au microscope (à l'objectif x10) des œufs visibles dans chacun des réseaux. Soit N le nombre d'œufs total, l'intensité d'excrétion est obtenue en œufs par gramme de fèces (opg) par la formule suivante :

$$(\text{opg}) = N \times 50$$

En l'absence d'œufs dans les deux réseaux, le comptage s'effectue sur la totalité des chambres (soit N' le nombre total d'œufs) et l'intensité d'excrétion est donnée par la formule ci-dessous :

$$(\text{opg}) = N' \times 15$$

A l'exception des séries de prélèvements de décembre 2016 et janvier 2018, faites au L.S.T (*cf infra*), toutes les coproscopies individuelles ont été réalisées en utilisant une solution saline de densité 1.2 comme liquide de flottaison. Au total, 760 coproscopies individuelles ont été effectuées.

2. Coprologies de mélange

Des coprologies de mélange ont été réalisées systématiquement pour chaque date de prélèvement en utilisant un liquide de flottaison plus dense que la solution saline, le L.S.T (LST Fastfloat ®, d = 1.45, Central Chemical Consulting Pty Ltd, PO Box 2546, Malaga western Australia 6944). Son utilisation en coprologie permet la visualisation des œufs de Trématodes (grande douve et petite douve en particulier), non mis en évidence avec une flottation au sel. L'utilisation de ce liquide de flottaison répond à une demande des gestionnaires du troupeau de contrôler lors des mois à risques (décembre et janvier) la présence de *Fasciola hepatica* (ou grande douve) dans l'élevage.

Une coprologie de mélange se réalise en général sur un échantillon représentatif d'un lot au sein d'un élevage et implique 10 à 15 échantillons de fèces. Les coprologies de mélange ont été dans cette expérience réalisées dans la continuité des coprologies individuelles et il a été considéré que chaque classe d'âge constituait un lot d'intérêt. Toutes les brebis au sein de chaque classe d'âge ont contribué à la constitution du pool initial de fèces.

1 g de fèces par individu du lot est prélevé et réservé dans une poche plastique de congélation à la fermeture hermétique. L'homogénéisation des fèces s'obtient par trituration de la poche durant 2 à 3 minutes. Sur ce pool initial sont prélevés 3 g que l'on délite dans 42 mL de L.S.T. La suspension obtenue est filtrée par trois fois à l'aide d'une passoire à thé et la suspension obtenue est utilisée pour remplir une lame de MacMaster dont la lecture suit le même canevas que décrit précédemment.

B. Coprocultures de groupe

Les coprocultures se placent dans la prolongation de l'apport des coprologies décrites ci-dessus. Si la technique de MacMaster offre un intérêt quantitatif, elle ne permet pas de discriminer les différentes espèces de strongles en présence. La coproculture consiste en la mise en conditions favorables au développement des SGI un pool de fèces contenant des œufs et d'en extraire des larves de stade 3.

2 à 3 g de fèces sont collectées par individu et placées dans un récipient plastique à l'étuve (24°C +/- 1°C). Après 12 jours d'incubation ponctués d'humidifications régulières (tous les deux jours à l'aide d'un vaporisateur) démarre la récupération des L3 : le récipient est rempli d'eau à ras bord et renversé sur une boîte de pétri elle-même à moitié remplie. Le dispositif est exposé à la lumière du jour. L'hygrophilie des larves entraîne leur passage en suspension. Leur phototropisme ainsi que la gravité les rassemble dans le liquide contenu dans la boîte sous 24h et elles sont ensuite récupérées par aspiration (soit 40 à 45 mL). Le volume récupéré subit une centrifugation (4500 rpm pendant 10 minutes avec une Eppendorf Centrifuge 5804®) qui permet une concentration des L3 dans un volume final de 5 mL, stocké à 4°C jusqu'à son utilisation ultérieure. Le concentrat obtenu a été utilisé de deux façon : d'une part pour identification morphologique des principales espèces de SGI et d'autre part pour une identification et quantification par PCR en temps réel.

L'identification morphologique consiste dans un premier temps à prélever à l'aide d'une micropipette deux volumes de 40 μ L de solution, préalablement homogénéisée. Puis chaque volume est monté entre lame et lamelle et le dénombrement réalisé au microscope au grossissement x50. La discrimination des différentes espèces se base sur des critères déjà définis par Van Wyk *et al.* (2004) et Van Wyk et Mayhew (2013), repris dans Milhes *et al.* (2017), en particulier la différence de longueur de la queue ou de la gaine appréciée au grossissement x100 (schéma 6). Cette identification n'a été que ponctuellement réalisée par l'auteur.

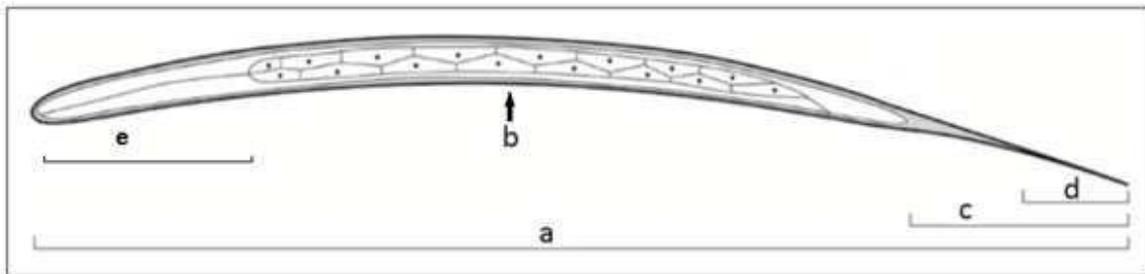


Schéma 6 : Représentation schématique d'une larve infestante. Y sont annotés les critères de diagnose suivants : la longueur totale de la larve (a) nombre et forme des cellules intestinales (b) longueur de la queue (c) longueur de la queue de la gaine (d), la taille de l'œsophage (e) (d'après Van Wyk *et al.* (2004))

Sur la base des clefs de détermination fournies par Eckert (1995) et dont un extrait est présenté en schéma 7, un travail d'identification des différentes espèces de coccidies a été effectué selon un protocole similaire avec une lecture au grossissement x400. Etant donné la grande similitude existante entre certaines d'entre elles, les résultats ont été répertoriés selon six catégories : A1-A2, B1-B2, B3-B4, B5-B6, B7 et B8. Ces codes correspondent aux différentes espèces recherchées et sont explicités dans le schéma 7, les espèces B1 à B4 étant les plus pathogènes chez l'agneau.

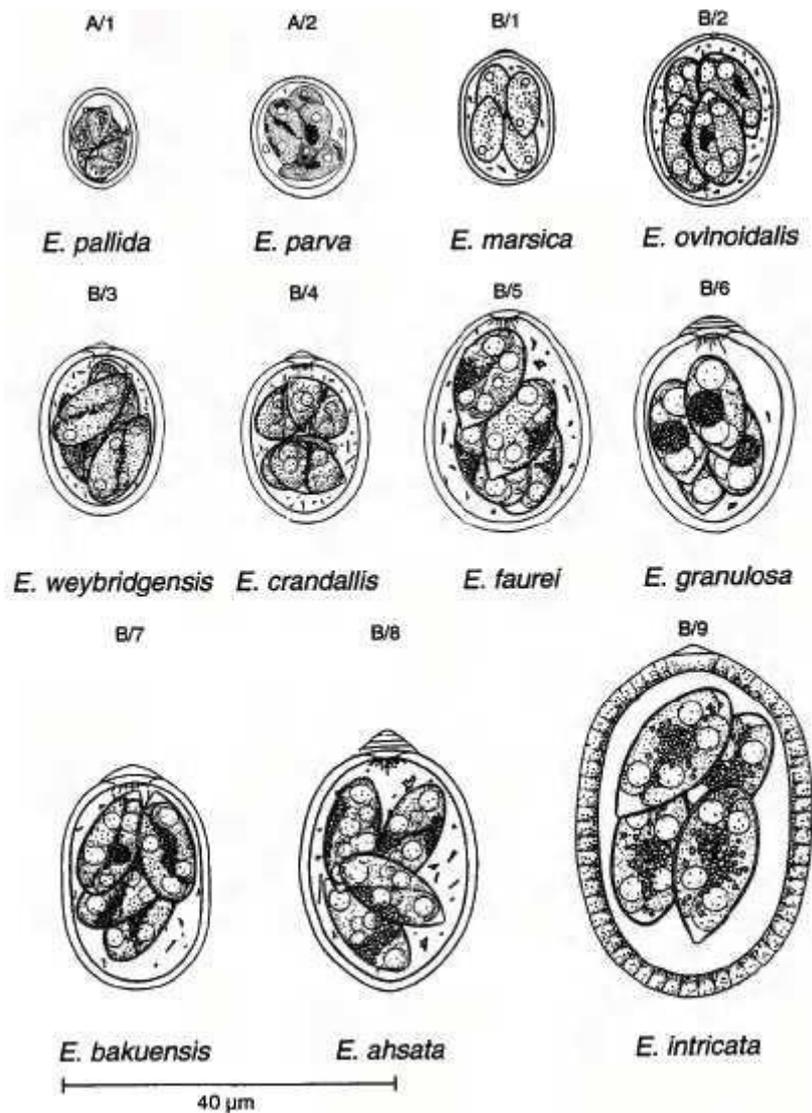


Schéma 7 : Aide à la diagnose morphologique des différentes *Eimeria* spp. de l'ovine, extrait de Eckert (1995)

C. PCR temps réel sur matrice larvaire : un outil de détermination de la composition de l'helminthofaune

Une étape préalable à la réalisation de la PCR quantitative est l'extraction larvaire après coproculture de groupe, décrite ci-dessus. L'ensemble des étapes que nous allons résumer ci-dessous est détaillé dans l'article de Milhes *et al.* (2017) dont le travail de recherche a donné le jour à cette partie de l'expérimentation.

Dans un second temps, on réalise l'extraction d'ADN larvaire : Le kit utilisé est le PowerSoil® DNA Isolation Kit, commercialisé par QIAGEN (ex MO BIO Laboratoires Inc., Saint Quentin en Yvelines, France) et l'extraction est réalisée selon le mode opératoire recommandé par le fabricant.

Les sondes et amorces spécifiques de chaque espèce (commandées chez Eurogentec à Seraing, Belgique puis redessinées à l'aide de la technique LNA pour les amorces forward)

utilisées sont regroupées dans le tableau ci-dessous (Tableau 5, extrait de Milhes *et al.* (2017)).

Primers and probes	References	Genus		
		<i>Haemonchus</i>	<i>Teladorsagia</i>	<i>Trichostrongylus</i>
Forward primer	McNally et al. (2013)	TCAAGAACATATACATGCA (Tm = 62.9 °C)	GTTC AAGAATAACATATGC (Tm = 62.9 °C)	YAGTTYAAGAAYAATAYA (Tm = 60.9 °C)
	LNA forward primer	CA + TATACATGCAAC + G (Tm = 54 °C)	+CAGTT + CAAGAATAA + C (Tm = 51 °C)	AATGGT + CATTRTCAA + A (Tm = 53 °C)
Probe NC2	McNally et al. (2013) Gasser et al. (1993)	TGACATGTATGGCGACGAT (Tm = 54 °C)	CCGTCGTAACGTTCCCTGAAT (Tm = 54 °C)	CCTGTATGATGTGAACGTGT

Tableau 5 : Synthèse des amorces et sondes utilisées dans la PCR temps réel

La PCR finalement mise en œuvre est une PCR en temps réel de bonne sensibilité (seuil de sensibilité d'une larve) utilisant la technologie Taq Man sur larves infestantes, permettant d'identifier et quantifier simultanément quatre espèces de SGI (à savoir *Haemonchus contortus*, *Teladorsagia circumcincta*, *Trichostrongylus colubriformis* et *T. axei* en PCR simplex avec un puit par espèce). L'appareil utilisé est le Mx3005P QPCR Systems d'Agilent Technologies, pouvant accepter une plaque de 96 puits et détecter cinq cibles différentes en même temps. Le programme utilisé est donné dans le tableau 6.

Étapes	Temps	Températures
Dénaturation	2 minutes	95°C
Dénaturation (45 cycles)	30 secondes	95 °C
Hybridation-extension (45 cycles)	1 minute	53°C

Tableau 6 : Programme de PCR temps réel mis en oeuvre

Il est enfin nécessaire de réaliser des gammes étalons pour chacune des trois espèces de SGI, qui permettront, en fonction du Ct obtenu pour chaque puit, de calculer le nombre de L3 présentes dans l'échantillon testé. Pour ce faire, une solution mère dont la concentration initiale en ADN est connue (en l'occurrence l'ADN extrait de 2000 larves de chaque espèce) subit huit dilutions successives selon un ratio de 1 :1. La mise en plaque et le passage en qPCR permet de déduire une fonction $\log(\text{Nombre de larves L3}) = f(\text{Ct})$.

La dernière étape est le remplissage des puits selon un plan de plaque préétabli comprenant toujours la gamme étalon, un témoin positif et un témoin négatif (eau stérile). Les résultats sont traités par le logiciel MxPro QPCR v4.10 software (Agilent technologies, La Jolla, CA, USA). Des Ct supérieurs ou égaux à 40 sont considérés comme négatifs. Un plan de plaque est donné en illustration 3.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
4	Plan de plaque												
5	GAMME ETALON												
6	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
7	A	PT3 19/12/16	PT3 19/12/16	PT3 19/12/16	PT3 19/12/16	PT3 19/12/16	PT3 19/12/16	500	500	380	380	500	500
8	B	PC4 19/12/16	PC4 19/12/16	PC4 19/12/16	PC4 19/12/16	PC4 19/12/16	PC4 19/12/16	250	250	190	190	250	250
9	C	PC3 19/12/16	PC3 19/12/16	PC3 19/12/16	PC3 19/12/16	PC3 19/12/16	PC3 19/12/16	125	125	95	95	125	125
10	D	PT2 19/12/16	PT2 19/12/16	PT2 19/12/16	PT2 19/12/16	PT2 19/12/16	PT2 19/12/16	62	62	47,5	47,5	62	62
11	E	PT4 19/12/16	PT4 19/12/16	PT4 19/12/16	PT4 19/12/16	PT4 19/12/16	PT4 19/12/16	31	31	24	24	31	31
12	F	PC2 19/12/16	PC2 19/12/16	PC2 19/12/16	PC2 19/12/16	PC2 19/12/16	PC2 19/12/16	7,5	7,5	6	6	7,5	7,5
13	G	PT4 29/06/16	PT4 29/06/16	PT4 29/06/16	PT4 29/06/16	PT4 29/06/16	PT4 29/06/16	TEXT G	TEXT ECH	TEXT G	TEXT ECH	TEXT G	TEXT ECH
14	H	PT2 29/06/16	PT2 29/06/16	PT2 29/06/16	PT2 29/06/16	PT2 29/06/16	PT2 29/06/16	TNEG	TNEG	TNEG	TNEG	TNEG	TNEG
15													
16													
17		HEX	Haemonchus			Echantillons	16	Préparation du Mix					
18		Cy5	Teladorsagia			Volume morts	2						
19		FAM	Trichostrongylus			Total	18						
20								Réactifs	Quantité (µl)	Duplicat	N =		
21								Master Mix	10	20	360		
22								Eau BSA	5,5	11	198		
23								Amorce F	0,5	1	18		
24								NCR	0,5	1	18		
25								Sonde P	1	2	36		
26								Total	17,5	35	630		

Illustration 3 : Plan de plaque utilisé pour la qPCR du 29/05/2017. Les dates de prélèvement des différents lots de brebis sont spécifiées derrière leur millésime (2000, 3000, 4000)

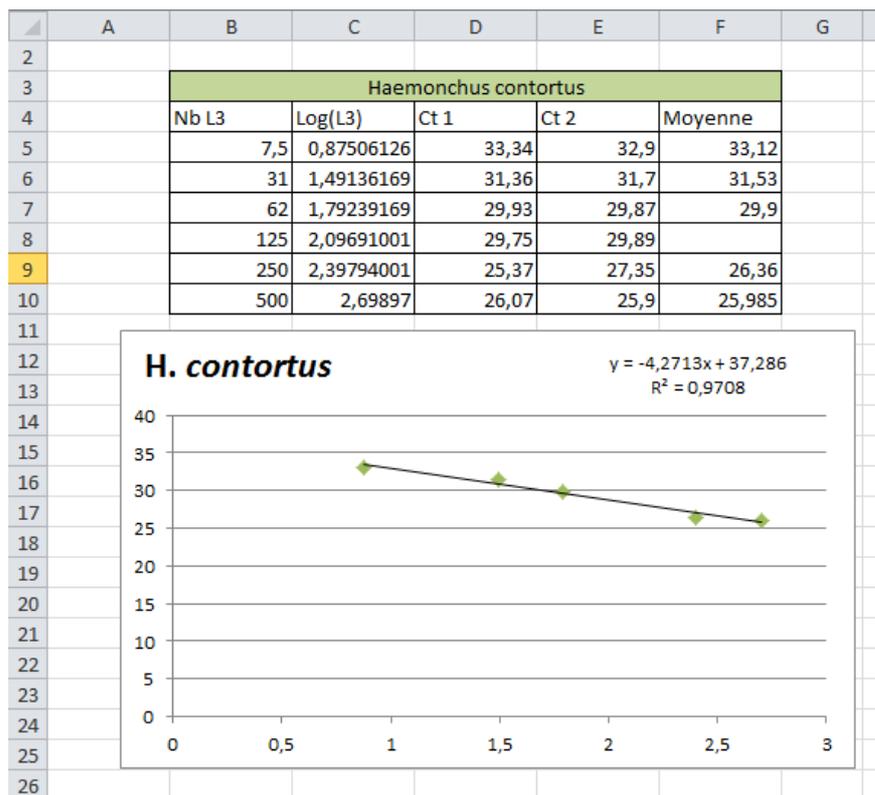


Illustration 4 : Résultats obtenus pour la gamme étalon de *Haemonchus contortus* au 29/05/2017

L'exemple de la construction d'une gamme étalon est donné pour le parasite *Haemonchus contortus* en illustration 4 où le nombre de L3 est initialement connu. Les Ct₁ et Ct₂ sont obtenus après réalisation de la PCR. Log(L3), la moyenne des Ct et la fonction Ct=f(log(L3)) sont calculées dans un second temps.

La PCR quantitative est un outil utile à la détermination de la composition de l'helminthofaune du Mourier. Elle se limite cependant à *Haemonchus contortus*, *Teladorsagia circumcincta* et *Trichostrongylus colubriformis* et *axei*. L'ensemble des qPCR réalisées se sont basées sur l'ADN larvaire extrait de mélange de fèces appartenant à des individus de même âge et de même système. Un résultat reflète donc les proportions des trois principales espèces de SGI à un instant t au sein de ce système et de ce groupe d'âge. Sa sensibilité, supérieure à celle de la technique de Mac Master (dont le seuil de détection est supérieur à 50opg), se révèle être un avantage lors de faibles niveaux d'excrétion.

CHAPITRE III : AUTRES DONNEES COLLECTEES

A. Indicateurs cliniques et zootechniques

A l'occasion de chaque chantier de prélèvement, les brebis font l'objet d'une évaluation de leur état corporel et d'une détermination de leur indice de diarrhée. Les prélèvements de sang veineux sont traités en laboratoire dès leur arrivée. En Juin 2017 et 2018 un chantier de prélèvement supplémentaire a été mis en œuvre pour les agneaux nés dans l'année.

1. Note d'état corporel (NEC)

La note d'état corporel est un indice zootechnique qui permet de juger selon des critères objectifs de l'état d'engraissement et d'apprécier la masse musculaire développée chez un individu. Elle existe aussi bien chez les carnivores que les herbivores d'élevage et revêt dans cette dernière catégorie une grande importance. En effet, un manque d'état à des périodes clefs de la reproduction comme la mise en lutte ou la mise bas est préjudiciable au bilan de reproduction de l'élevage (infertilité, pathologies de la gestation ou de la mise bas sont favorisées par ce facteur). Afin d'ajuster la ration au mieux par rapport au besoin de l'animal, il est nécessaire de renouveler cette évaluation régulièrement dans l'année.

Chez la brebis, elle s'évalue par une palpation dorsale qui permet d'estimer la proéminence des apophyses transverses et épineuses (par la déformation de la peau) le degré de couverture des extrémités des apophyses épineuses (par la facilité à les sentir sous les doigts) et enfin l'épaisseur de la noix de côtelette appréciée par le constat d'une convexité ou d'une concavité de la musculature situées entre les apophyses. Suite à cette palpation, une note s'échelonnant de 0 (cachexie, animal probablement mourant) à 5 (obésité) est administrée. Quelques illustrations sont proposées ci-dessous.

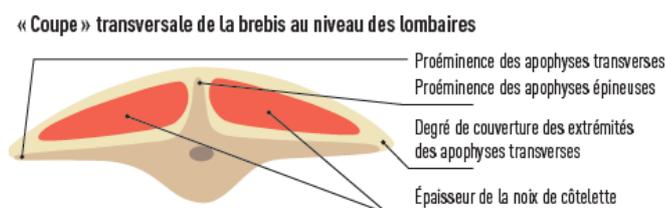


Schéma 8 : Repères anatomiques d'intérêt dans l'établissement de la note d'état corporel (Source : Sagot et Pottier (2010), CIIRPO)



Note 1 : brebis très maigre

Les apophyses épineuses et transverses sont saillantes et pointues. Les doigts passent facilement sous leurs extrémités et entre elles. Il n'y a pas de gras de couverture.



Note 3 : brebis en état

Les apophyses épineuses forment de très légères ondulations souples. Les os peuvent être individualisés sous l'effet d'une pression des doigts. Les apophyses transverses sont bien couvertes. Seule une forte pression permet d'en distinguer les extrémités. La noix de muscle est pleine.



Note 2 : brebis assez maigre

Les apophyses épineuses et transverses sont arrondies et sans viscosité. Il est possible d'engager les doigts sous l'extrémité des apophyses transverses. L'épaisseur de la noix du muscle est moyenne. La couverture adipeuse est moyenne.



Note 4 : brebis grasse

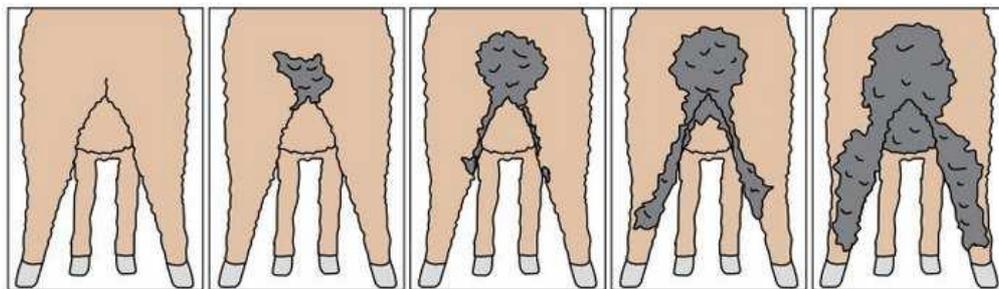
Seule une pression permet de détecter les apophyses épineuses sous la forme d'une ligne dure entre deux muscles. Il est impossible de sentir les apophyses transverses.

Illustration 5 : Illustration des différents états corporels rencontrés fréquemment chez les brebis. Les notes 0 et 5 n'y sont pas figurées mais existent dans l'échelle de notation. (Source : Sagot et Pottier (2010), CIIRPO)

2. Indice de diarrhée (ID)

L'indice de diarrhée a été aussi systématiquement réalisé que possible sur chaque animal prélevé. Le système de notation employé découle d'une simplification de celui élaboré par Larsen *et al.* (1995). Il a été réalisé par les mêmes opérateurs à chaque session de prélèvement. Il comprend trois classes :

- 0 : lorsque l'arrière-train ne présente pas de souillures
- 1 : lorsque la souillure intéresse la zone péri-anale et péri-génitale
- 2 : lorsque la souillure s'étend aux membres pelviens



Classe 0

Classe 1

Classe 2

Schéma 9 : Représentations des trois classes d'indice de diarrhée (Source : Sheep Genetics, 2017)

3. Sang veineux

Le sang veineux jugulaire a été prélevé lors de chaque chantier deux fois par brebis, une première fois sur EDTA et une seconde fois sur tube sec. Seul le sang sur EDTA a été exploité dans cette étude afin de déterminer pour chaque date de prélèvement l'hématocrite des brebis.

Les hématocrites sont déterminés en se référant aux abaques à l'aide de tubes capillaires et après centrifugation 10 minutes à 10 000 rpm (Centrifugeuse Biofuge Haemo, de marque Heraeus). Ils sont ensuite reportés sur un fichier Excel ® réunissant les données coprologiques et sanguines des individus prélevés de chaque système et pour chaque session.

B. Traitements antiparasitaires

La lecture des résultats individuels permet d'orienter la décision de traitement. Le choix d'un traitement sélectif ou métaphylactique a été laissé à la gestionnaire du troupeau qui côtoie quotidiennement les ovins et dispose d'éléments cliniques et zootechniques qui contribuent à la prise de décision. Le volume administré est calculé sur la base du poids de l'ovin le plus lourd du lot.

Les molécules anthelminthiques employées chez les adultes et les agneaux au cours de l'expérience sont répertoriées dans le Tableau 7.

Nom déposé	Principe actif, Rémanence (vis-à-vis des SGI) Spectre	Voie
FASCINEX 240 Elanco Europe (Lilly House, Priestley Road, Hampshire, RU)	Triclabendazole - <i>Fasciola hepatica</i>	VO (suspension buvable)
CESTOCUR SUSP BUV Bayer Healthcare (Loos (59), France)	Praziquantel - <i>Moniezia expansa</i>	VO
HAPADEX 100 Intervet (Angers Technopole, Beaucouze (49), France.	Nétobimin -Nématodes GI, respiratoires (Dictyocaulé) L4 et adultes - <i>Moniezia expansa</i> -Trématodes adultes	VO (suspension buvable)
ZEARL INJECTABLE Elanco Lilly France, (Neuilly-sur-Seine (92), France)	Doramectine 3 à 5 semaines -Nématodes GI, respiratoires - <i>Psoroptes ovis</i> - <i>Oestrus ovis</i> L1, L2, L3	IM
LEVAMISOLE 3.75% Qalian (ZI d'Etriche, Segré (49), France)	Lévamisole Pas de rémanence -Ném. GI et respiratoires adultes	VO
ZANIL SUSP BUV Intervet	Oxyclozanide - <i>Moniezia expansa</i> - <i>F. hepatica</i> adulte - <i>Paramphistomum spp.</i>	VO
CYDECTINE 0.1% SOL ORALE OVINS Zoetis France (Malakoff (92), France)	Moxidectine 3 à 5 semaines Nématodes GI et respiratoires	VO
VECOXAN SUSP. ORALE 2,5 MG/ML Elanco Lilly France, (Neuilly-sur-Seine (92), France)	Diclazuril Prévention des coccidioses dues à <i>Eimeria crandallis</i> et <i>Eimeria</i> <i>ovinoidalis</i> .	VO

VO : Voie orale SOL : solution SUSP BUV : Suspension buvable
IM : Intra-musculaire

Tableau 7 : Traitements antiparasitaires utilisés entre mai 2016 et mai 2018.

CHAPITRE IV : TRAITEMENT DES DONNEES

A. Préliminaires

Après chaque session de prélèvements, on regroupe dans un tableur Excel[®] les résultats hématologiques (hématocrites), cliniques (NEC, ID) et coprologiques (intensités d'excrétion individuelles et données apportées par les coproscopies de mélange). Au terme de deux années de prélèvements les données individuelles concernant les brebis sont classées par système et par âge croissant dans l'ordre chronologique de prélèvement afin de faciliter le traitement statistique.

Les données concernant la pluviométrie, les hauteurs d'herbe et les relevés de températures sont répertoriées dans l'ordre chronologique dans un fichier Excel[®] et n'ont pas fait l'objet d'un traitement statistique sinon d'une représentation graphique (éléments de contexte).

B. Analyses

Les analyses ont été réalisées sous R[®], version 3.4.0 (R Core Team 2017) sauf mention particulière. L'établissement d'un premier graphique matriciel diagonal rassemblant hématocrite, NEC, ID et intensités d'excrétions (OPG) a permis de révéler une valeur aberrante de NEC du fait d'une mauvaise transcription pour l'une des brebis. La valeur a été corrigée aussitôt et un second graphique matriciel diagonal établi. Les données à analyser sur les brebis sont en grande partie des mesures répétées sur les mêmes individus d'une session de prélèvement à l'autre, elles ne sont par conséquent pas indépendantes. Face à ce modèle expérimentale impliquant des mesures répétées, deux options d'analyses ont été envisagées :

- Une analyse de variance en données répétées. Toutefois, les données à analyser sont en grande partie des mesures répétées sur les mêmes individus d'une session de prélèvement à l'autre, elles ne sont par conséquent pas indépendantes. D'autre part, les groupes du plan d'expérimentation ne sont pas équilibrés et certaines données sont manquantes pour un même individu d'une session sur l'autre (du fait d'oubli, de mort ou de réforme). De fait, les prérequis à une analyse de covariance en données répétées n'étaient pas remplis.
- Une analyse selon un modèle à effet mixte (sous R[®] avec package nlme). Ce modèle permet de formaliser des effets fixes ainsi que des effets aléatoires et de quantifier la variabilité du facteur à expliquer. Ainsi, il permet de prendre en compte la notion de répétabilité des mesures dans l'analyse.

Le modèle retenu a donc été un modèle à effets mixtes (R avec package nlme) pouvant être décrit par l'équation suivante :

$$Y = \alpha X + \beta z + \varepsilon$$

Avec Y l'OPG ou intensité d'excrétion, X l'effet fixe, Z l'effet aléatoire formalisé et ε le résidu. Le système, la saison et l'âge y sont inclus comme des effets fixes tandis que l'animal est considéré comme un effet aléatoire.

Au préalable, une transformation par la fonction racine carrée des OPG s'est avérée nécessaire pour obtenir une distribution normale des résidus (vérifiée par un test de Shapiro). L'hématocrite et la NEC et l'ID présentaient une répartition normale et n'ont donc pas nécessité de transformation de variable.

L'effet « âge », « saison », « système » ainsi que l'effet des interactions « système*âge » et « système*saison » sur les caractères « OPG », « NEC » et « ID » ont été testés sur un premier groupe de six séries de données (de décembre 2016 à mai 2018) excluant ainsi les résultats obtenus en mai et septembre 2016, soit avant le réallotement des brebis). Puis, un sous-groupe de données incluant les données mois de mai et août 2017, janvier et mai 2018 a été pris en compte dans une seconde série d'analyses. Les dates de prélèvement des mois de décembre 2016 et octobre 2017 étaient en effet proches de celles de l'administration des anthelminthiques. Nous avons donc fait le choix de les écarter dans un second temps du traitement statistique, suspectant que cette proximité pouvait induire un biais dans l'analyse. Ce sous-groupe sera désigné sous le nom de « base corrigée » pour faciliter sa différenciation de la base de données complète.

Les paramètres quantitatifs NEC, ID, Hématocrite et OPG ont été soumis à un test de Pearson afin de rechercher des corrélations possibles. Enfin, les comparaisons de temps de retour sur les parcelles et les intensités d'excrétion d'oocystes de coccidies et d'œufs de strongles gastro-intestinaux chez les agneaux ont été réalisées avec un test non-paramétrique de Kruskal-Wallis avec le logiciel StatXact10.

TROISIEME PARTIE : RESULTATS

CHAPITRE I : ELEMENTS DE CONTEXTE

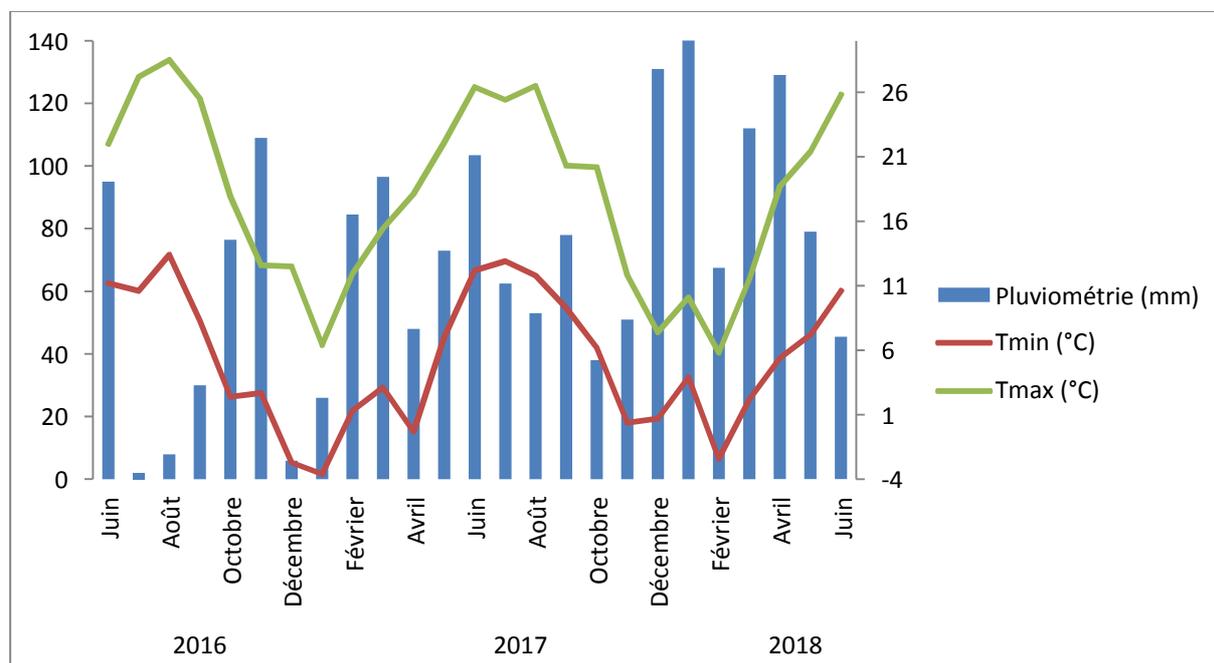


Figure 1 : Evolution de la pluviométrie, des températures moyennes minimales et maximales mensuelles sur la période de mai 2016 à mai 2018 sur le site du Mourier.

Sur la période de suivi, les températures moyennes oscillent entre -4°C et 30°C , les températures les plus chaudes étant atteintes aux mois de juillet et d'août, les plus froides aux mois de janvier et février.

L'année 2016 est une année marquée par la sécheresse dans son second semestre, mais dont la pluviométrie annuelle de 944 mm supère de 10% la pluviométrie annuelle de 2017 (845 mm). Les mois de juillet, août et décembre sont les plus secs (avec des pluviométries respectives de 2, 6 et 8 mm). Les températures annuelles maximales sont enregistrées en juillet et août (supérieures à 34°C) mais sur des périodes courtes (de 3 à 4 jours maximum). Les températures minimales sont atteintes en février et mars où l'on compte le plus d'occurrences de températures négatives mais ne descendent pas sous les -7°C .

Au cours de l'année 2017, la pluviométrie annuelle est répartie de façon plus homogène et on n'enregistre pas de périodes de sécheresse comparables à l'année 2016. Les mois les plus pluvieux sont les mois de février, mars, juin et décembre. Les températures maximales sont atteintes en juin et août. Le froid s'annonce plus précocement qu'en 2016, avec des températures négatives relevées dès le mois de novembre, et les minimales sont atteintes en janvier (jusqu'à -13°C). L'amplitude thermique moyenne annuelle est de $15,8^{\circ}\text{C}$, compatible avec un climat continental. Cependant, les températures moyennes entre les deux années diffèrent peu.

L'année 2018 s'annonce aussi plus homogène dans la répartition des précipitations et la pluviométrie cumulée enregistrée sur les cinq premiers mois est similaire à celle de 2016 pour

la même période. Le mois de janvier est le plus pluvieux des six mois représentés (avec 147.5 mm enregistrés) et le mois de février le plus froid. Les mois de mars et d'avril sont comparables au mois de janvier, avec des températures ne descendant pas sous les -5°C .

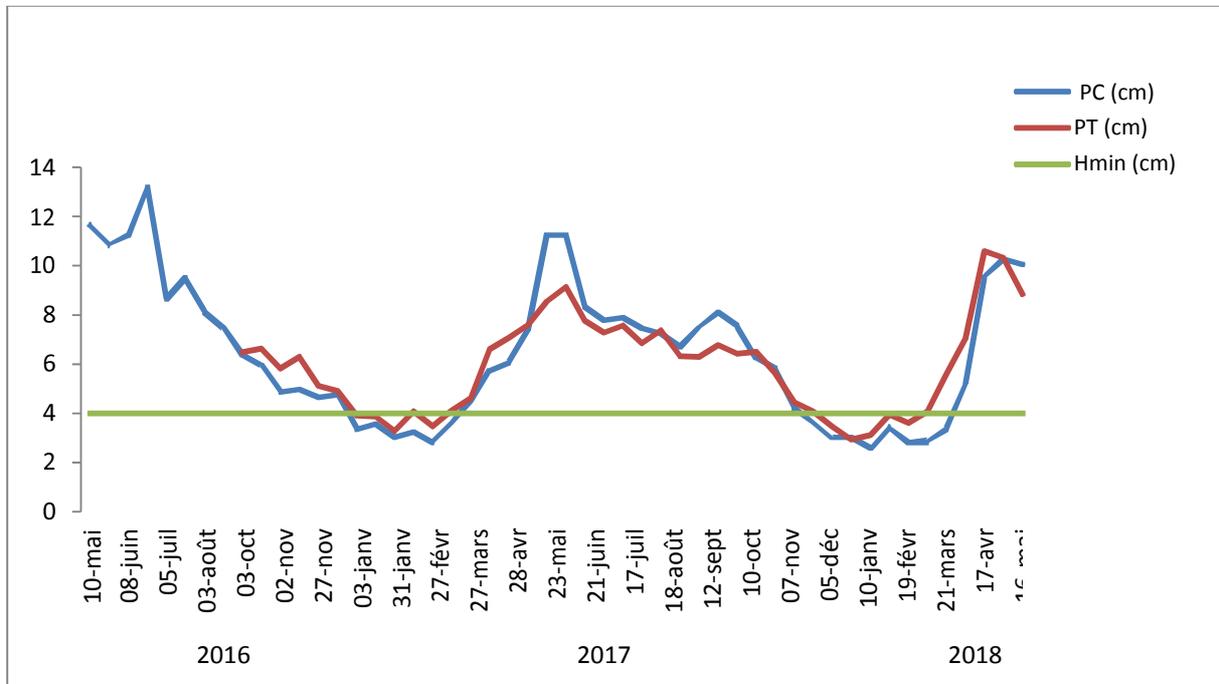


Figure 2 : Evolution de la hauteur d'herbe moyenne des parcelles de chaque système

Sur la figure 2 est représentée pour chaque système l'évolution de la hauteur d'herbe moyenne, calculée sur l'ensemble des parcelles (*i.e* chaque point de la courbe est la moyenne des hauteurs d'herbe relevées sur chaque parcelle). Les données en système PT sont absentes entre les mois de mai et d'octobre 2016 (non relevées le temps du réallotement).

L'évolution est similaire pour les deux systèmes avec un départ en végétation autour des 300°J (atteints au 20 mars en 2017, au 2 avril en 2016 et 2018) et une hauteur maximale en fin de printemps. La baisse importante des températures en hiver stoppe la croissance de l'herbe et le repos hivernal des pâtures en PT explique une hauteur d'herbe supérieure dans ce système. La hauteur d'herbe apparemment supérieure en PC par rapport aux parcelles PT est due au débrayage pour la fauche de certaines parcelles du système PT, qui ne font alors plus l'objet de relevés de hauteur d'herbe.

La répartition homogène de la pluviométrie permet une croissance régulière de l'herbe en 2017 dans les deux systèmes. En 2018, les précipitations abondantes entre les mois de mars et mai permettent une croissance plus rapide de l'herbe qu'en 2017 à la même période.

On note que sur les périodes de janvier à mars 2017 et décembre à avril 2018, les deux systèmes offrent de faibles hauteurs d'herbes (inférieures à une hauteur critique de 4 cm). Les PC demeurent dans ces conditions trois semaines de plus que les PT.

CHAPITRE II : CONDUITE DES BREBIS

	PC			PT		
	2016	2017	2018	2016	2017	2018
TS par cellule (j)	0,1-3,3	0,8-2,2	0,9-1,3			
moyenne	0,5	1,1	1			
TS par parcelle (j)				1-19	1-10	3-12
moyenne				6	6	6,6
TR par cellule (j)						
moyenne	45,4	45,4	47,2			
médiane	37,1	35,7	38,4			
écart-type	26,4	36,5	21,6			
TR par parcelle (j)						
moyenne				44,6	38	35,3
médiane				40,5	31	23
écart-type				31,3	28,6	30,3
Effectif total	150 brebis			150 brebis		
Chargement annuel (brebis/ha)	10			10		
Rentrée des brebis		20/2 au 20/3	16/2 au 16/3		1/2 au 20/3	12/1 au 4/4
Complémentation	taries (foin)					
Finition agneaux à l'herbe	oui	oui	oui (50/180)			

Tableau 8 : Synthèse des éléments-clés de la conduite en pâturage cellulaire et en pâturage tournant entre mai 2016 et mai 2018. TS : temps de séjour; TR : temps de repos.

A. Principe de calcul des temps de retour par cellule

Seuls les temps de retour par cellule ont fait l'objet d'un calcul car non mesurés sur le terrain, en se basant sur les temps de retour, les temps de séjour et le nombre de cellule moyen annuel par parcelle du système PC auxquels le planning de rotation donne accès.

Le nombre de cellules par parcelle varie mensuellement, ce qui permet de calculer une moyenne annuelle de cellules pour chacune d'entre elles. Le calcul a pour postulat qu'à chaque séjour les animaux fréquentent toutes les cellules, selon le même sens de rotation et que la durée de pâturage totale est équitablement divisée entre toutes les cellules.

Ce raisonnement permet d'affecter un coefficient multiplicateur (fonction du temps de séjour et du nombre de cellules moyen par parcelle) à chaque temps de retour par parcelle PC et de calculer ainsi un temps de retour par cellule de chaque parcelle ou temps de retour corrigé.

Les temps de retour par cellule présentés dans le tableau ci-dessus sont les moyennes annuelles déterminées sur la base de ces temps de retour corrigés. Par exemple :

Soit une parcelle divisée en 2 cellules en moyenne sur l'année. Pour chaque séjour de 24h sur cette parcelle des animaux, le temps de séjour réel sur chaque cellule est de 0.5 jours selon le postulat énoncé plus tôt. Ainsi, chaque cellule bénéficie en réalité de 0.5 jours de repos par jour de séjour sur cette parcelle. Le planning de rotation signifie ces séjours par des cases grisées dont la valeur unitaire est de 48 heures. Soit TR le temps de repos ou retour de la parcelle, N le nombre de cases grisées sur le planning, le temps de retour corrigé sur la cellule TR_c s'obtient de la façon suivante :

$$TR_c = TR + 2 * N * 0.5$$

B. Premiers constats sur les systèmes mis en place.

Le chargement annuel est élevé et identique entre les systèmes, de même que l'effectif et la surface totale pâturée. Chaque système s'inscrit donc dans un même cadre fixé sur toute la durée de l'étude.

Le calcul des temps de séjour des brebis sur chaque « unité de pâture » (parcelle ou cellule) montre des temps de séjour en moyenne six fois plus longs pour les PT que pour les PC (qui peuvent ne rester que quelques heures sur une même cellule).

La réalisation d'un test non paramétrique de Kruskal-Wallis (logiciel StatXact software[®] version 10Si) montre que si à première vue les temps de retour semblent similaires, ils sont significativement plus élevés en PC qu'en PT en 2017 et 2018 (avec $p = 0.019$ [0.015 – 0.0228] sur 10000 répétitions bootstrap en 2017 et $p = 0.014$ [0.012 – 0.018] sur 10000 répétitions bootstrap) et en moyenne significativement plus élevés en PC sur toute la durée de l'étude ($p = 0.0012$ [0.0002 – 0.0019]). En revanche, en 2016, il n'y a pas de différence significative entre les deux systèmes ($p = 0.58$).

La rentrée des brebis en bergerie pour l'agnelage a lieu dans les deux systèmes en février-mars. Elle se justifie en PC par la nécessité de limiter les pertes par prédation des agneaux nouveau-nés et a entraîné des séjours en bergerie d'une durée d'un mois maximum. En PT, l'hivernage est normalement pratiqué et la mise à l'herbe conditionnée par la valeur du cumul de température (à partir du 1^{er} février), cette durée n'est donc pas aussi clairement fixée qu'en PC où le pâturage hivernal fait partie des principes de conduite.

Le caractère non-systématique de la finition des agneaux à l'herbe s'explique par le fait que cette finition n'est décidée que si les ressources disponibles sont suffisantes. Dans le cas contraire, les agneaux sont finis en bergerie.

C. Evolution du chargement instantané dans les deux systèmes

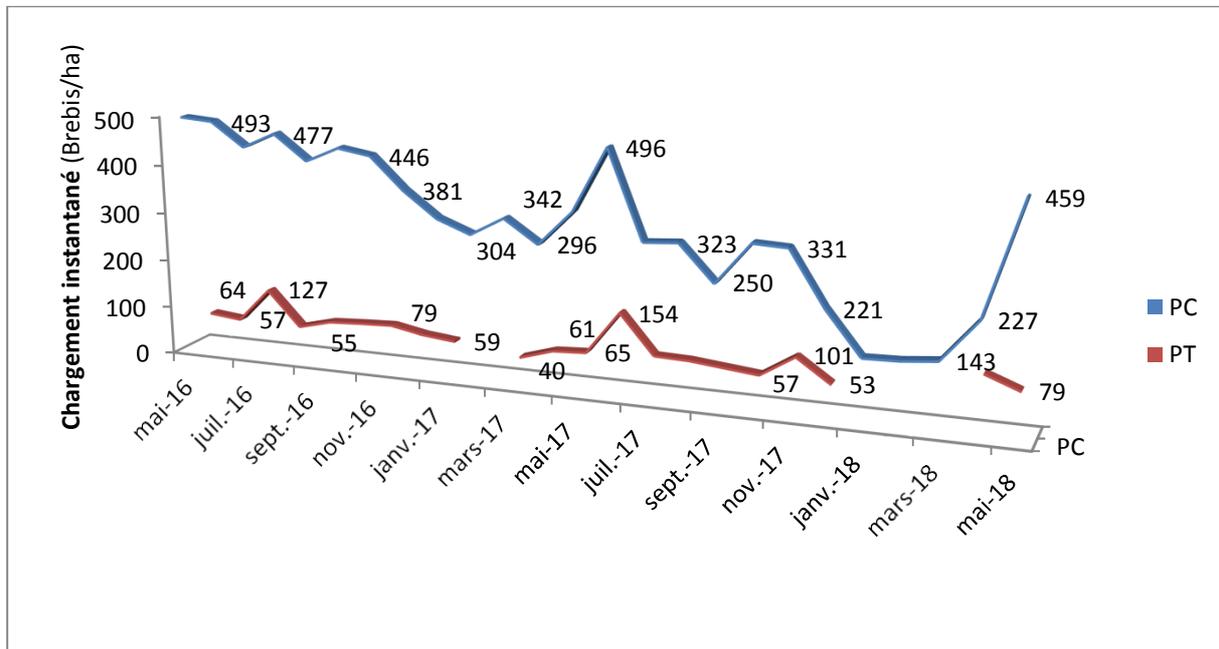


Figure 3 : Chargements instantanés mensuels dans les systèmes cellulaire et tournant sur la période d'étude

L'évolution saisonnière des chargements instantanés moyens dans les deux systèmes est exposée dans la figure 3. Les valeurs de chargement oscillent autour des valeurs moyennes présentées.

En PT la discontinuité des courbes signe l'inoccupation des parcelles lors d'hivernage des brebis et lors de la rentrée en bergerie pour la mise bas.

La diminution des valeurs de chargements instantanés en PC à l'hiver 2016-2017 et l'hiver 2017-2018 s'explique par la nécessité de rentrer une partie des brebis en bergerie (du fait de l'incapacité de couvrir les besoins de tout le cheptel par le pâturage seul). Un plus grand effectif a été rentré en 2018, entraînant des valeurs plus faibles à cette période qu'en 2017.

On observe en 2016 un différentiel important de chargement entre les deux systèmes, avec un chargement proche des 500 brebis/ha en moyenne en PC, soit 5 fois plus important qu'en PT (où le chargement demeure inférieur à 100 brebis/ha). Durant l'année 2017 ce différentiel tend à se réduire et en début d'année 2018, les chargements en PC atteignent le même ordre de grandeur qu'en PT avant une nette augmentation en avril et mai 2018.

Les agneaux sont mis à l'herbe avec les mères aux étés 2017 et 2018 mais ne sont pas pris en compte dans le calcul des chargements instantanés. Globalement, l'objectif d'un chargement en PC compris entre 500 et 1000 brebis/ha n'est jamais atteint sur toute la durée de l'étude.

CHAPITRE III : APPORTS DE LA COPROLOGIE ET DE LA qPCR

SOUS-PARTIE 1 : CHEZ LES BREBIS

A. Données brutes d'excrétion d'œufs et leur traitement statistique

1. OPG moyens et effet « saison »

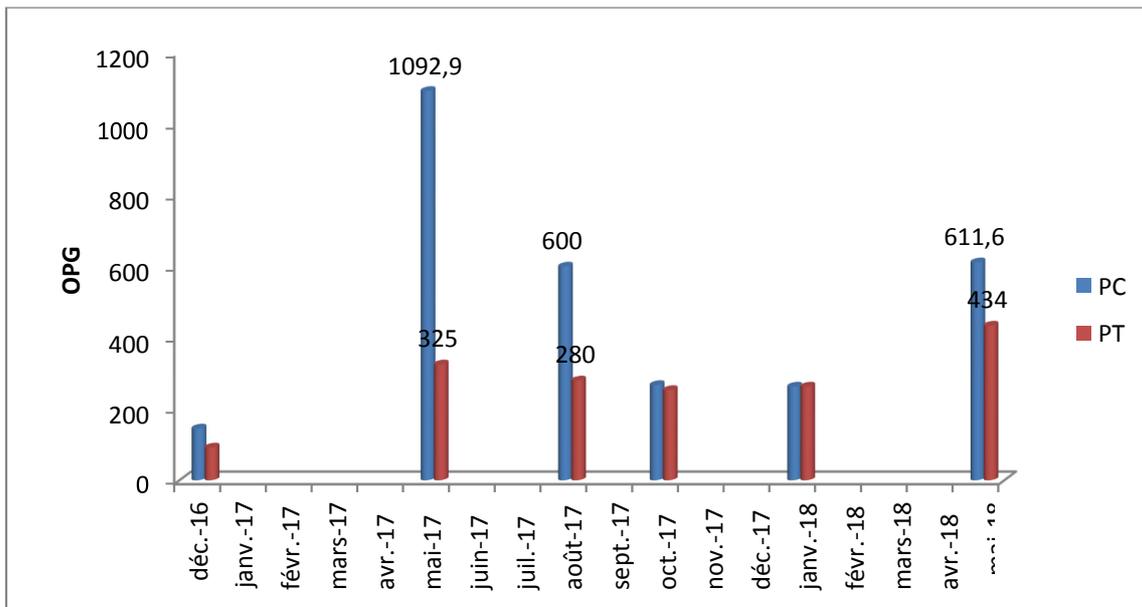


Figure 4 : OPG moyens en SGI pour chaque point de prélèvement chez les brebis PC et PT

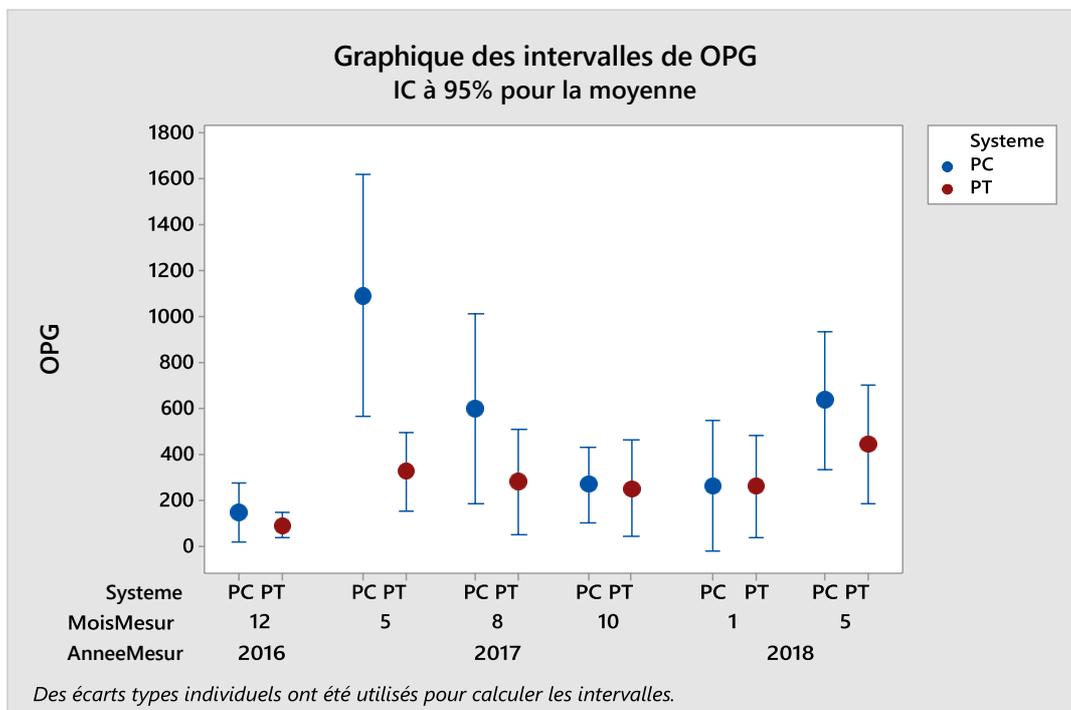


Figure 5 : Traitement statistique des OPG moyens en SGI pour chaque point de prélèvement chez les brebis PC et PT

Les valeurs moyennes d'excrétion d'œufs de SGI et les intervalles de confiance à 95% sont présentées dans la figure 5. Du fait d'un réallotement des brebis à l'automne 2016, seuls les résultats à compter de décembre 2016 ont été retenus ici.

A chaque point de prélèvement les brebis PC ont des niveaux d'excrétion moyens supérieurs ou similaires aux brebis PT (figure 4 et 5). Des pics d'excrétion sont enregistrés aux mois de mai 2017 et 2018 et août 2017 en PC, ils sont moins marqués en PT à ces mêmes dates. Seule la différence d'excrétion du mois de mai 2017 est significative et en faveur d'un niveau d'excrétion supérieur en PC.

Plus généralement, l'analyse de données en mesures répétées permet de confirmer un effet « saison » sur toute la durée de l'étude, avec des niveaux d'excrétion significativement supérieurs au printemps qu'à l'automne ou à l'hiver ($p < 0.001$) dans les deux systèmes. L'amplitude de cette variation saisonnière des intensités d'excrétion d'œufs de SGI est propre à chaque système (avec une interaction « système*saison » significative avec $p = 0.003$ sur l'ensemble des six séries de données ou $p = 0.001$ sur la base corrigée).

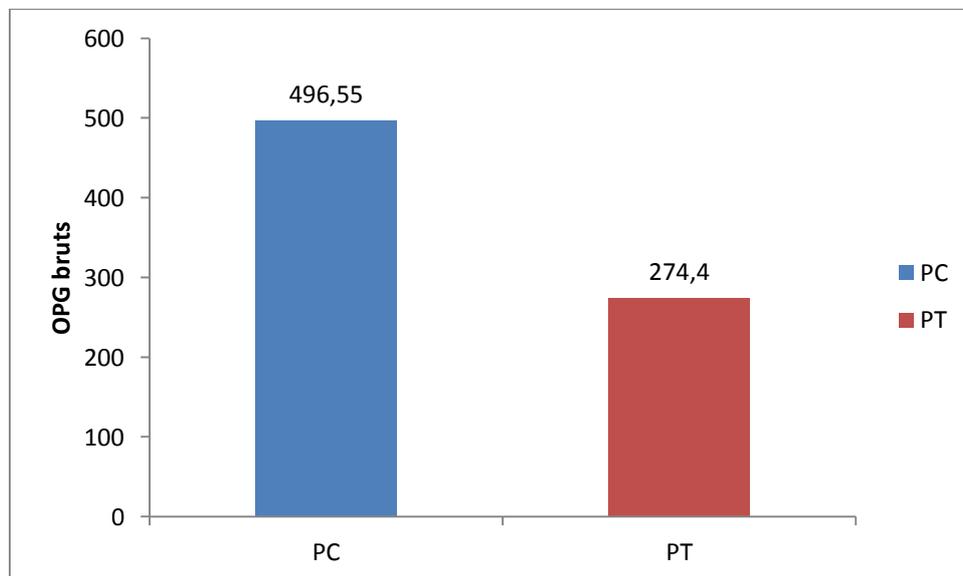


Figure 6 : Moyenne des OPG (décembre 2016 à mai 2018) chez les brebis PC et PT

En moyenne sur toute la période de suivi, les intensités d'excrétion d'œufs de SGI sont 1.8 fois plus importantes chez les brebis PC que chez les brebis PT (figure 6). L'analyse des OPG en modèle mixte sur la même période montre qu'il n'y a pas de différence significative entre ces deux intensités d'excrétion ($p = 0.11$).

Du fait de la proximité entre les points de prélèvements de décembre 2016 et octobre 2017 de la date d'administration du traitement anthelminthique rémanent, le modèle mixte a été appliqué sur la base corrigée. Le niveau moyen d'excrétion des brebis PC reste supérieur à celui des brebis PT (630 *versus* 337 opg) et la différence non significative (quoique la *p-value* soit diminuée, avec $p = 0.076$).

2. OPG moyens dans les deux systèmes en fonction des classes d'âge

Les niveaux d'excrétion moyens par point de prélèvement et par millésime sont présentés ci-après.

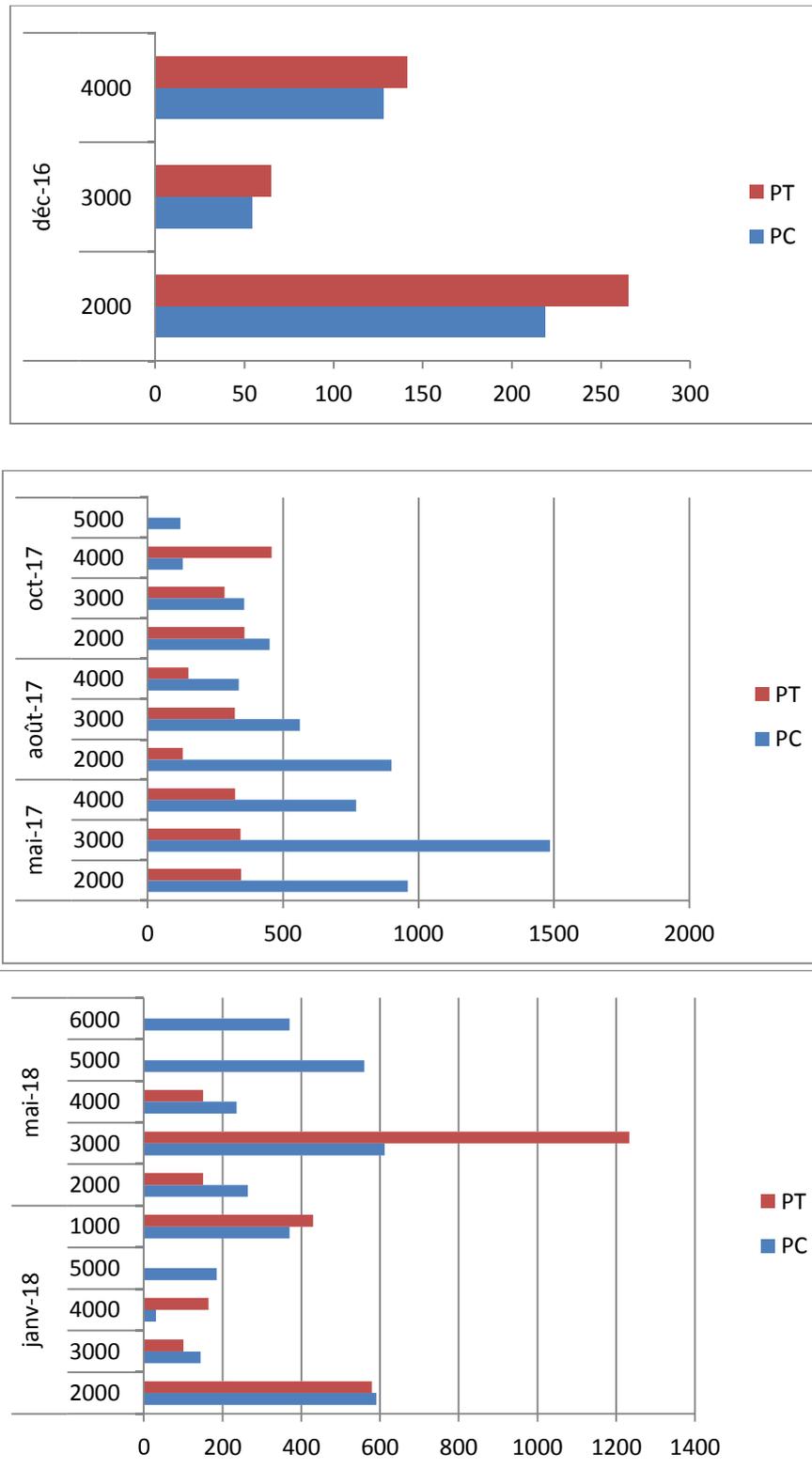


Figure 7 : OPG moyens des brebis PC et PT pour chaque point de prélèvement depuis décembre 2016 exposés par classe d'âge. 2000 : brebis nées en 2012 ; 3000 : brebis nées en 2013 ; 4000 : brebis nées en 2014.

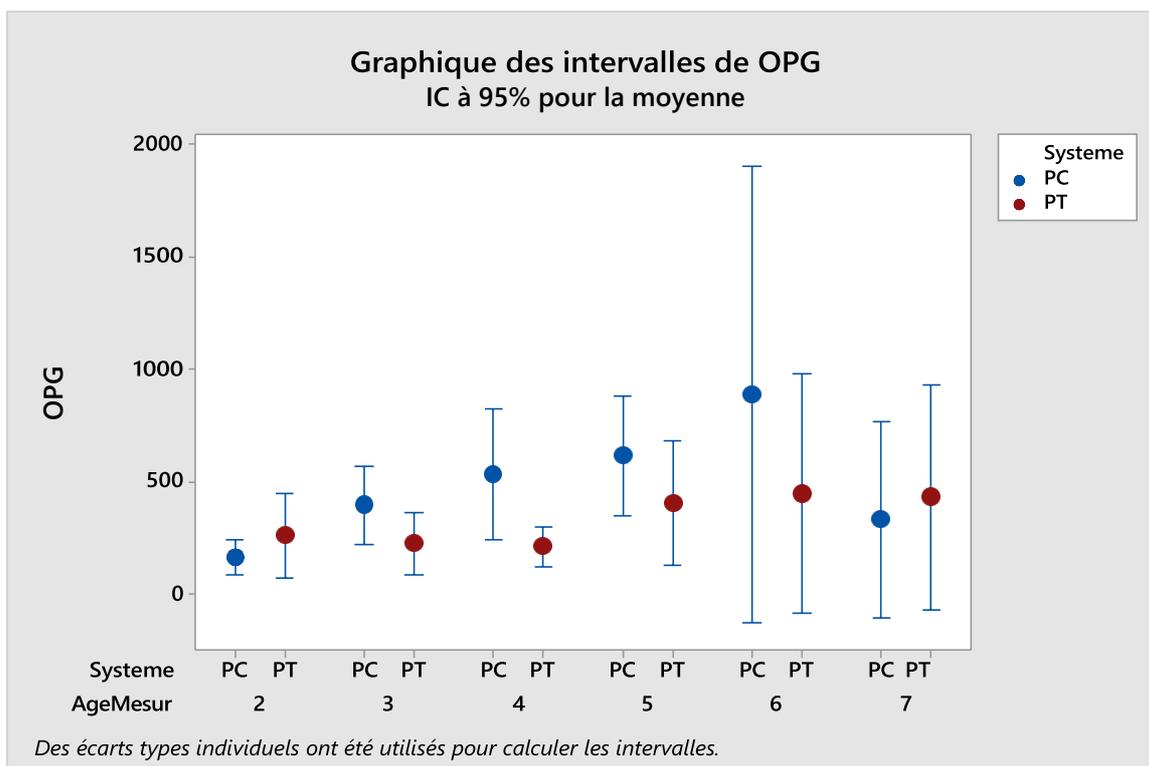


Figure 8 : Analyse statistique des OPG moyens des brebis PC et PT pour chaque point de prélèvement depuis décembre 2016 exposés par classe d'âge.

Pour le mois de décembre 2016 les données brutes indiquent que dans chacune des classes d'âge considérées, les brebis PC excrètent en moyenne 1.2 fois moins que les brebis PT. Cette différence n'est cependant pas significative (figure 8).

Pour l'année 2017 on retrouve pour toutes les classes d'âge en PC un pic d'excrétion en mai. En août, les brebis PC 2000 sont encore fortement excrétrices (>500 opg en moyenne). Les PC excrètent en moyenne sur l'année plus que les PT à l'exception des brebis de trois ans en octobre 2017. Seules les intensités d'excrétion relevées en mai 2017 pour les brebis de quatre ans (3000) sont significativement différentes, avec des brebis PC excrétaient presque 4 fois plus que leurs congénères PT. Globalement, les niveaux d'excrétion moyens en PT ne dépassent pas les 500 opg.

Les éléments compris dans la base de données complète ne permettent pas de montrer de différences significatives entre classes d'âge.

Dans cette étude, le facteur âge n'a donc pas d'effet significatif sur le caractère OPG.

3. Proportions de fortes excrétrices dans chaque système

On considère ici deux seuils permettant de classer les brebis d'un même groupe en fonction de leur niveau d'excrétion. Les brebis excrétaient moins de 500 opg sont qualifiées de faibles excrétrices. Le niveau d'excrétion peut être considéré comme modéré à élevé au-delà de 500

opg et élevé à partir de 1000 opg (très fortes excrétrices). Ainsi qu'évoqué en bibliographie, toutes les brebis au sein d'un lot ou d'un cheptel ne contribuent pas de façon équivalente à la dissémination des œufs sur la pâture, et donc à la variation de son niveau de contamination.

(a) Analyse sur l'ensemble des résultats (décembre 2016 à mai 2018)

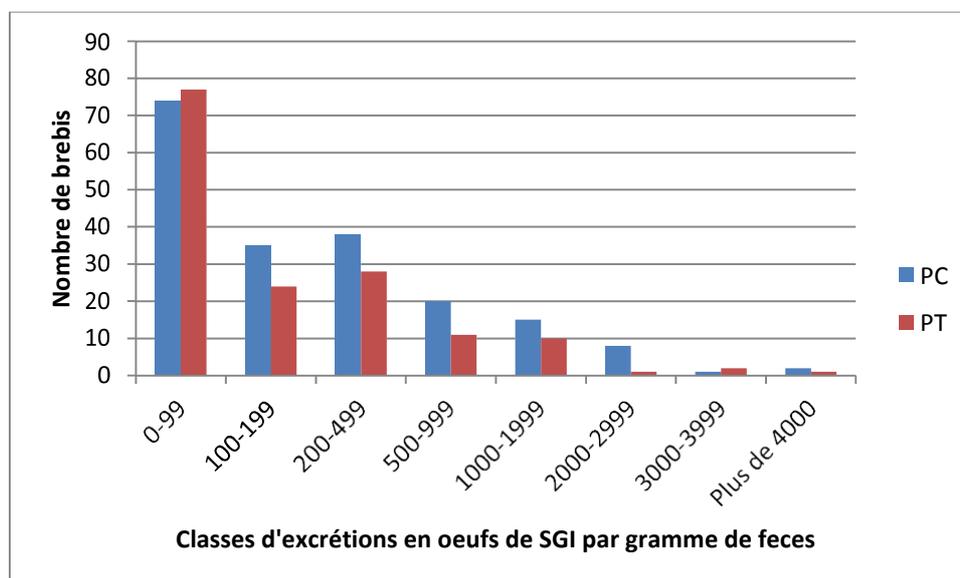


Figure 9: Répartition des brebis en classes d'excrétion pour chaque système (sur les résultats cumulés de toute la durée de l'étude)

La répartition selon des classes d'excrétions croissantes en œufs de SGI est représentée dans la figure 9, basée sur l'ensemble des données individuelles disponibles depuis le début de l'étude soit 193 résultats en PC et 154 en PT. Elle suggère un effectif en très fortes excrétrices dans le système PC supérieur au système PT.

	PC	PT
Brebis prélevées	192	191
Brebis excrétrices	73.1%	65.6%
Fréquence >500 opg	30.9%	18.6%
Fréquence >1000 opg	17.8%	10.1%

Tableau 9 : Synthèse des fréquences en fortes et très fortes excrétrices dans chaque système

Date	PC							PT						
	Total	Positif	%Positif	Sup 500	%Sup 500	Sup 1000	%Sup 1000	Total	Positif	%Positif	Sup 500	%Sup 500	Sup 1000	%Sup 1000
déc-16	30	17	56.7	2	6.7	1	3.3	30	14	46.7	1	3.3	0	0.0
mai-17	28	25	89.3	16	57.1	11	39.3	26	19	73.1	6	23.1	4	15.4
août-17	24	15	62.5	7	29.2	5	20.8	25	15	60.0	4	16.0	2	8.0
oct.-17	35	25	71.4	5	14.3	3	8.6	36	20	55.6	6	16.7	2	5.5
janv.18	34	16	47.1	5	14.7	2	5.9	34	21	61.8	5	14.7	3	8.8
mai-18	41	39	95.1	16	39.0	6	14.6	40	31	77.5	9	22.5	5	12.5
Moyenne			73.1		30.9		17.8			65.6		18.6		10.1

Tableau 10 : Détail des fréquences en fortes et très fortes excrétrices dans chaque système pour chaque point de prélèvement

Le tableau 9 présente les fréquences moyennes en fortes et très fortes excrétrices calculées pour chaque système. La comparaison de ces fréquences montre que la proportion de brebis excrétrant plus de 500 opg est significativement plus élevée en PC qu'en PT (avec un Khi-2 = 6.07, soit $p < 0.02$). En revanche la proportion de très fortes excrétrices ne diffère pas significativement entre PC et PT (Khi-2 = 3.6, soit $0.05 < p < 0.1$) quoique les résultats semblent indiquer une tendance à une fréquence plus élevée en PC (tableaux 9 et 10).

(b) Analyse sur la base de données corrigée

	PC	PT
Brebis prélevées	127	125
Brebis excrétrices	73.5%	68.1%
Fréquence >500 opg	35%	19.1%
Fréquence >1000 opg	20.2%	11.2%

Tableau 11 : Synthèse des fréquences en fortes et très fortes excrétrices dans chaque système sur la base de données corrigée

Date	PC							PT						
	Total	Positif	%Positif	Sup 500	%Sup p500	Sup 1000	%Sup 1000	Total	Positif	%Positif	Sup 500	%Sup p500	Sup 1000	%Sup 1000
mai-17	28	25	89.3	16	57.1	11	39.3	26	19	73.1	6	23.1 %	4	15.4
août-17	24	15	62.5	7	29.2	5	20.8	25	15	60.0	4	16.0	2	8.0
janv.-18	34	16	47.1	5	14.7	2	5.9	34	21	61.8	5	14.7	3	8.8
mai-18	41	39	95.1	16	39.0	6	14.6	40	31	77.5	9	22.5	5	12.5
Moyenne			73.5		35.0		20.2			68.1		19.1		11.2

Tableau 12 : Détail des fréquences en fortes et très fortes excrétrices dans chaque système sur la base de données corrigée pour chaque point de prélèvement

Conduire les mêmes calculs en s'affranchissant des données de décembre 2016 et octobre 2017 et ainsi *a priori* d'un possible biais dans l'analyse de données ne change pas nos conclusions. La fréquence de brebis dont le niveau d'excrétion est supérieur à 500 opg est significativement plus important en PC qu'en PT (Khi-2 = 7.63 soit $p < 0.01$). La fréquence de très fortes excrétrices montre à nouveau une tendance à être supérieure en PC qu'en PT mais cette différence n'est pas significative (Khi-2 = 2.87 et $0.05 < p < 0.1$).

B. Résultats de l'identification larvaire et de la quantification par qPCR

1. Identification morphologique larvaire

La diagnose d'espèce basée sur les critères morphologiques a permis de mettre en évidence la diversité de l'helminthofaune sur le site du Mourier. Par exemple, le genre *Oesophagostomum spp.* a été identifié dans plus de 40% des suspensions larvaires lues au microscope. Compte-tenu de la difficulté à distinguer avec certitude *Haemonchus contortus* du genre *Cooperia spp.* ou encore *Oesophagostomum* de *Chabertia spp.*, le comptage larvaire s'est finalement réparti en trois catégories rassemblant chacune deux genres de Nématodes gastro-intestinaux. Les résultats des mois de décembre 2016 à mai 2018 sont présentés dans la figure 10.

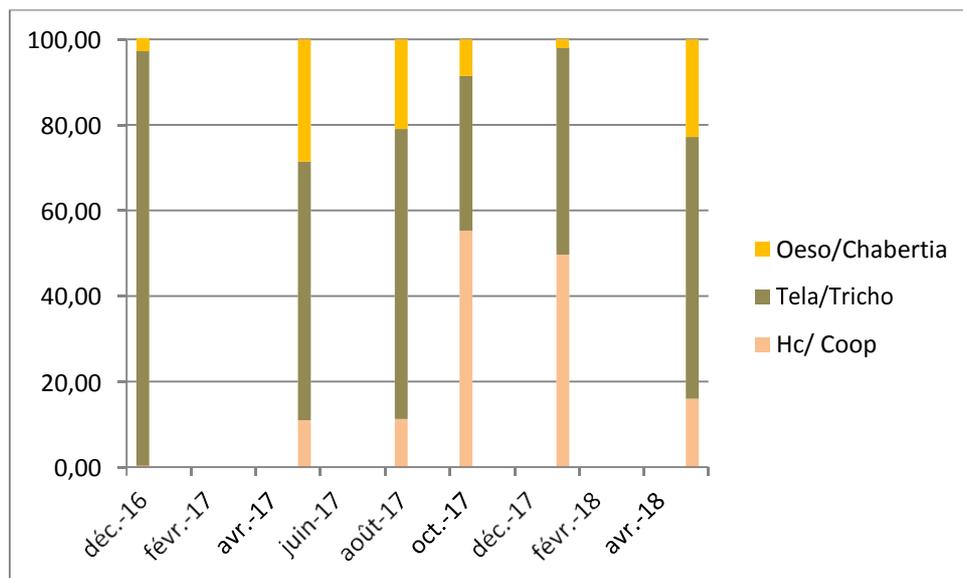


Figure 10 : Représentation des différents genres (et leurs proportions respectives) de SGI rencontrés sur le site du Mourier par date de prélèvement

Si on considère le site du Mourier dans son ensemble (PC et PT réunis dans la figure 10), pour chaque point de prélèvement, les genres *Trichostrongylus spp.* et *Teladorsagia spp.* sont majoritaires (ils apparaissent dans 91% des prélèvements) pour toutes les séries de prélèvement sauf en octobre 2017 et janvier 2018. *Haemonchus spp.* et *Cooperia spp.* occupent la seconde place (observés dans 72% des cas) et enfin les genres *Oesophagostomum spp.* et *Chabertia spp.* apparaissent plus faiblement représentés (visibles dans 57% des cas).

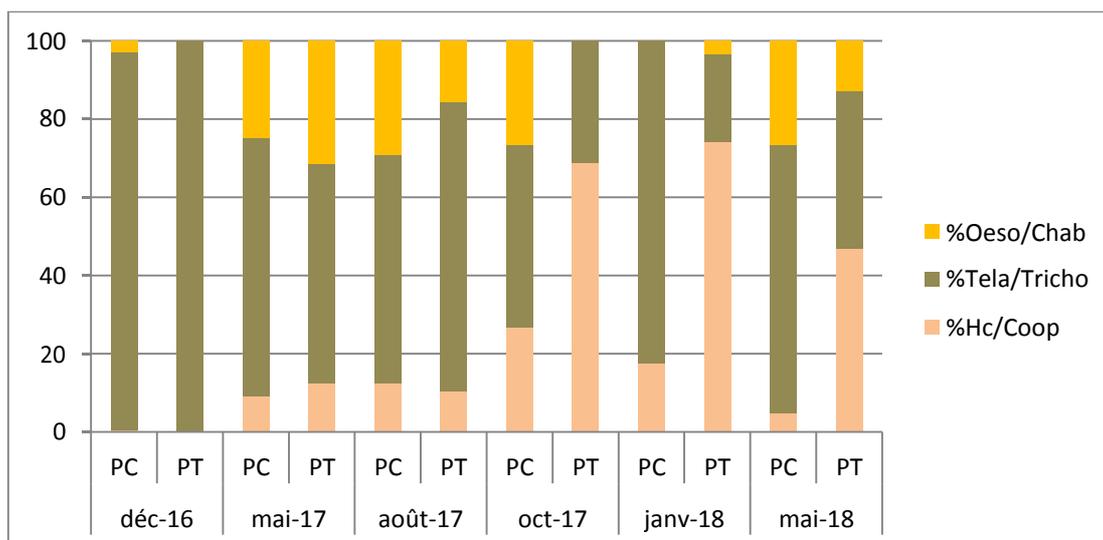


Figure 11 : Représentation des différents genres (et leurs proportions respectives) de SGI rencontrés sur le site du Mourier par date de prélèvement et par système

En affinant quelque peu notre observation par la représentation des résultats obtenus par système et par date (figure 11), on note l'absence au mois de décembre 2016 dans les deux systèmes des genres *Cooperia spp.* et *Haemonchus spp.* Jusqu'en août 2017 les deux helminthofaunes de SGI semblent similaires dans les deux systèmes puis une nette divergence se dessine entre PC et PT à partir d'octobre 2017 : on remarque alors que *Cooperia spp.* et *Haemonchus spp.* semblent mieux représentés dans le système PT en octobre 2017, janvier 2018 et mai 2018 que dans le système PC, où dominent à ces dates les genres *Trichostrongylus spp.* et *Teladorsagia spp.*

2. Enseignements de la qPCR sur la présence des trois espèces majeures au Mourier

Ainsi que mentionné précédemment, rappelons que la qPCR n'a été utilisée que pour identifier et quantifier trois genres de strongles dans l'helminthofaune du Mourier et dont la pathogénicité justifie la recherche. Elle ne permet donc pas de donner un aperçu quantitatif exhaustif de l'helminthofaune réelle, mais se fait un bon reflet des proportions relatives de ces trois genres sur le site du Mourier.

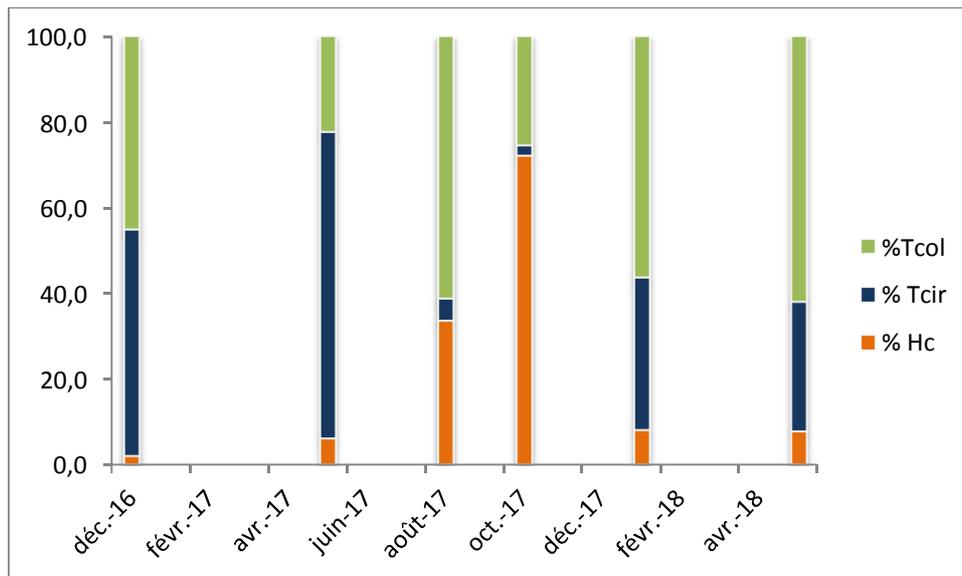


Figure 12 : Représentation graphique des proportions relatives en *Haemonchus contortus* (Hc) *Teladorsagia circumcincta* (Tcir) et *Trichostrongylus colubriformis* (Tcol) sur le site du Mourier.

La figure 12 a été obtenue en réunissant les résultats qPCR des deux systèmes et reflète donc une population de L3 issues d'espèces parasitaires présentes sur les 30 ha de prairies utilisées dans l'étude. Hormis aux mois d'août et d'octobre 2017 où *Haemonchus contortus* est bien représenté, *Teladorsagia circumcincta* et *Trichostrongylus colubriformis* semblent globalement dominer à chaque point de contrôle.

Les résultats obtenus pour les deux systèmes combinés en identification morphologique et en qPCR sont similaires, indiquant une apparition timide d'*Haemonchus spp.* dans les premières séries de prélèvement (décembre 2016 à mai 2017) puis une présence plus affirmée aux mois d'août et octobre 2017 avant de diminuer au profit des genres *Teladorsagia spp.* et *Trichostrongylus spp.*

Notons que les résultats sont parfois calculés sur des effectifs larvaires faibles comme en octobre 2017 (sur un total de 62 L3) ou août 2017 (47 L3).

La figure 13 propose une confrontation des résultats obtenus dans chacun des systèmes aux mêmes dates.

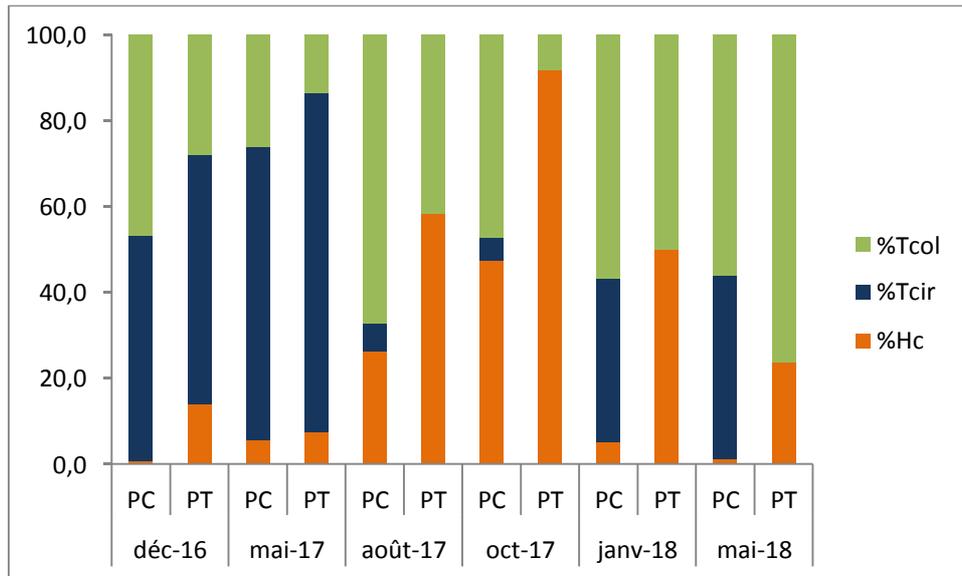


Figure 13 : Représentation graphique des proportions relatives en *Haemonchus contortus* (Hc) *Teladorsagia circumcincta* (Tcir) et *Trichostrongylus colubriformis* (Tcol) dans chacun des systèmes à chaque point de prélèvement. Sont figurées en rouge (pour les PT) et bleu (pour les PC) les courbes liant les différentes proportions d'Hc à chaque point de contrôle et pour chaque système.

L'évolution globale des proportions dans chaque système est similaire et respecte bien le schéma plus général donné en figure 12. Dans le système PC, les proportions en *Haemonchus contortus* restent toujours plus faibles et culminent moins haut que dans le système PT ainsi que remarqué lors de l'identification morphologique. Elles présentent une différence franche pour *Trichostrongylus colubriformis* en août et octobre 2017 où la proportion est plus importante en PC. Les proportions de *Teladorsagia circumcincta* sont proches à équivalentes dans les deux systèmes en début de suivi (décembre 2016 et mai 2017). En revanche, à partir d'août 2017, *Teladorsagia circumcincta* disparaît totalement en système PT avec une proportion d'*Haemonchus* augmentée en contrepartie. En PC, il reste présent et sa présence s'affirme en janvier et mai 2018 quand la proportion en *Haemonchus contortus* diminue.

SOUS- PARTIE 2 : LES AGNEAUX

Les animaux concernés ici sont un échantillon des agneaux nés dans chaque système en mars 2017 et mars 2018. Lors du prélèvement de fèces, les agneaux avaient entre deux et trois mois et étaient à la pâture avec les mères depuis l'âge de deux semaines environ.

A. Apport de la coprologie

1. Coprologies individuelles

(a) SGI

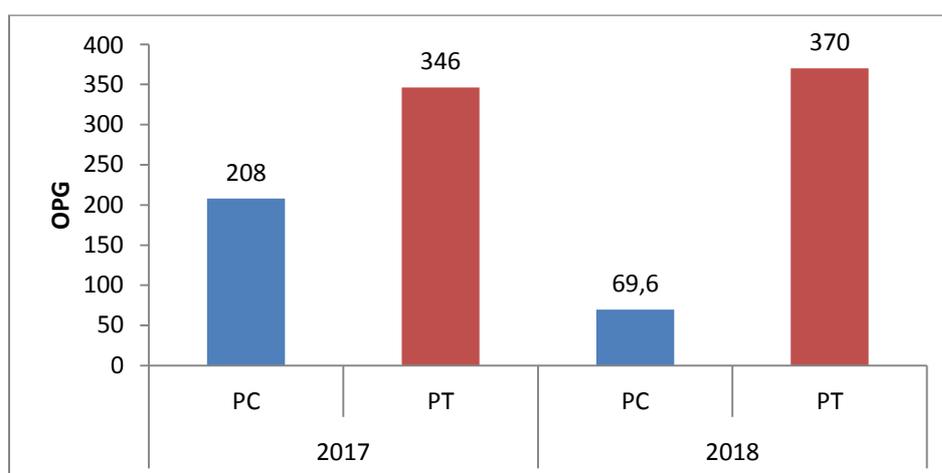


Figure 14 : Excrétion moyenne en œufs de SGI chez les agneaux PC et PT en Juin 2017 et 2018

	mars-17		mars-18	
	PC	PT	PC	PT
Effectif	25	25	25	25
Moyenne	208	346	69,6	370
Médiane	100	250	15	150
Ecart-type	374,63	340,93	113,58	635,24

Tableau 13: Effectifs, médianes et écarts-types associés aux moyennes d'excrétion en œufs de SGI chez les agneaux PC et PT en Juin 2017 et 2018

Les moyennes des intensités d'excrétion individuelles en œufs de SGI sont significativement différentes entre agneaux de système PC et PT ($p = 0.02$ en 2017 et $p = 0.002$ en 2018), avec des agneaux PT respectivement 1,7 et 5,3 fois plus excréteurs en 2017 et 2018 que les agneaux PC.

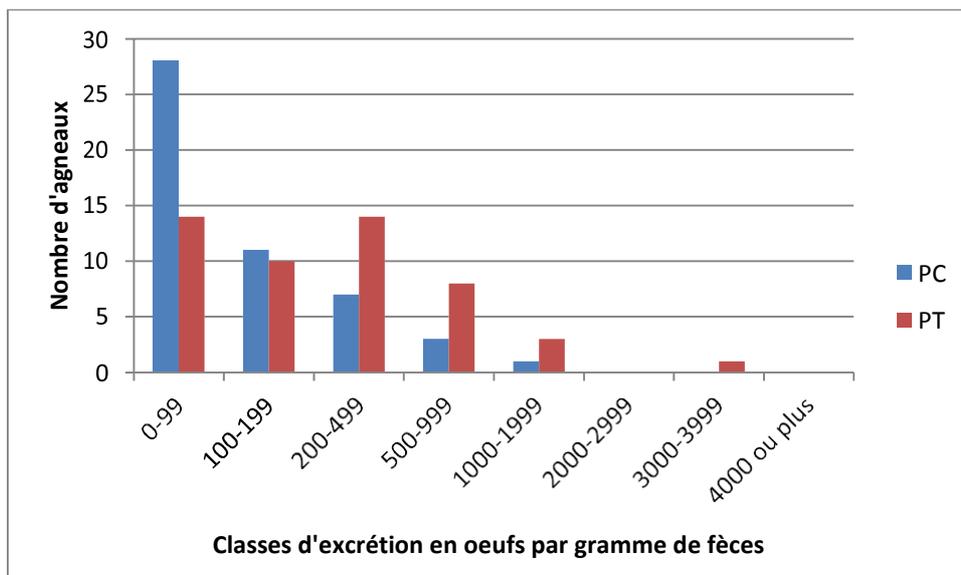


Figure 15 : Répartition des agneaux PC et PT selon la classe d'excrétion des œufs de strongles digestifs (résultats sur les deux années cumulées)

Cette différence d'excrétion pourrait être expliquée par la présence d'un plus grand nombre de forts excréteurs (> 1000 opg) chez les PT, non retrouvés chez les PC où la quasi-totalité de l'effectif testé excrète moins de 1000 opg (figure 15).

(b) Oocystes

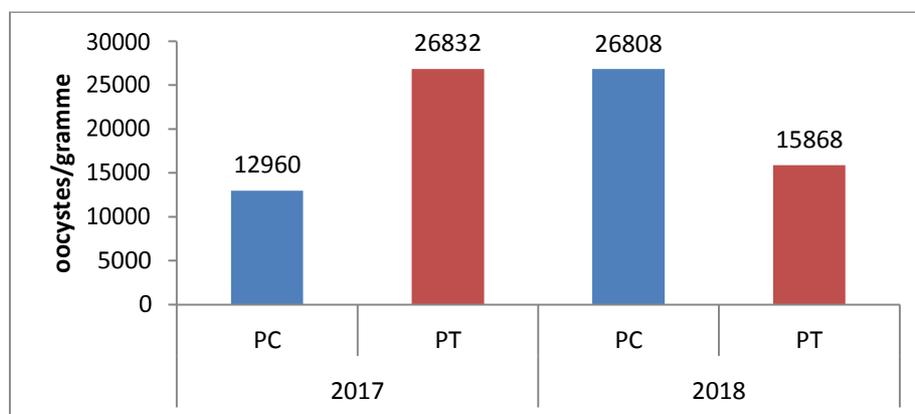


Figure 16 : Excrétion moyenne en oocystes chez les agneaux PC et PT en juin 2017 et 2018.

	mars-17		mars-18	
	PC	PT	PC	PT
Effectif	25	25	25	25
Moyenne	12 960	26 832	26 808	15 868
Médiane	10 200	15 600	13450	8 400
Ecart-type	10 874,74	27 437,30	40 419,44	18 628,78

Tableau 14 : Effectifs, médianes et écarts-types associés aux moyennes d'excrétion en oocystes chez les agneaux PC et PT en Juin 2017 et 2018

Les intensités moyennes annuelles d'excrétion (présentées en figure 16 et tableau 14) en oocystes de coccidies ne sont pas significativement différentes entre les agneaux PC et PT. Elles sont cependant suffisamment élevées dans les deux systèmes pour justifier de la mise en place d'un traitement.

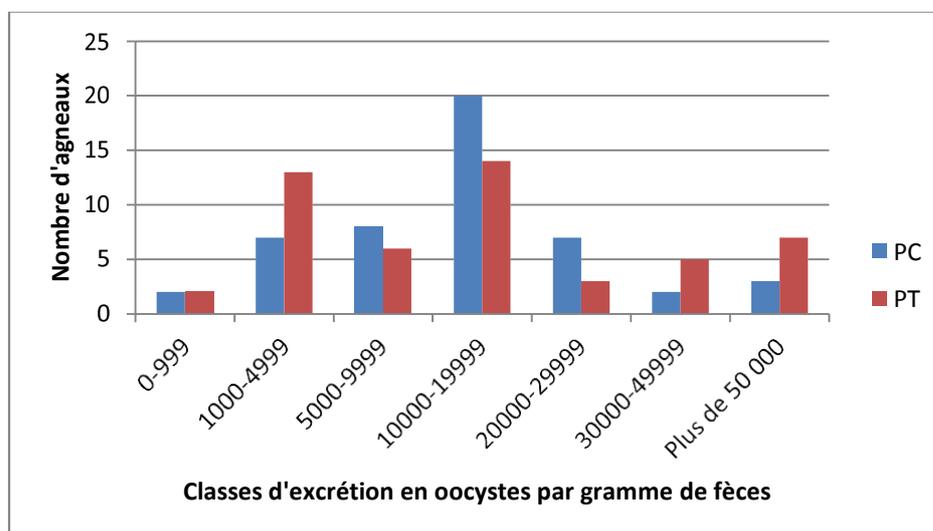


Figure 17 : Répartition des agneaux PC et PT selon leur classe d'excrétion en oocystes d'*Eimeria* spp. (résultats sur les deux années cumulées)

La comparaison de la représentation des différentes classes d'excrétion en oocystes dans les deux systèmes est présentée en figure 17. Elle montre une répartition similaire des intensités d'excrétion d'oocystes dans les deux catégories d'agneaux PC et PT sur les deux années d'étude.

2. Identification morphologique des larves de strongles digestifs et résultats de qPCR

(a) Identification morphologique

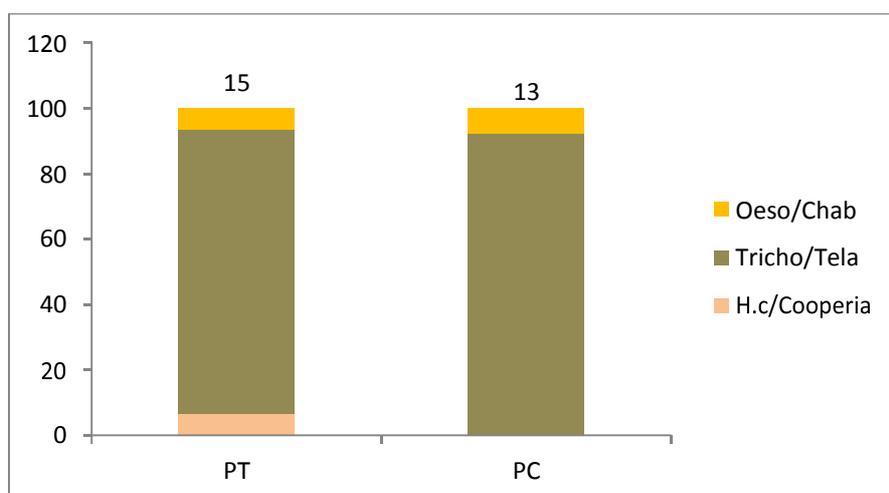


Figure 18 : Proportions des différentes espèces de SGI d'après identification morphologique larvaire chez les agneaux PC et PT en Juin 2017 (effectifs larvaires spécifiés en haut de chaque barre)

L'identification morphologique de Juin 2017 (figure 18) montre quel que soit le système que les genres *Trichostrongylus spp.* et *Teladorsagia spp.* sont dominants. Les proportions d'*Oesophagostomum spp.* et *Chabertia spp.* sont similaires en PC et PT. En revanche, elle ne met en évidence la présence, apparemment minoritaire, d'*Haemonchus contortus* et *Cooperia spp.* qu'en PT. Notons que les effectifs larvaires sur lesquels ont été calculées les proportions sont assez faibles (respectivement 15 et 13 larves en PC et PT).

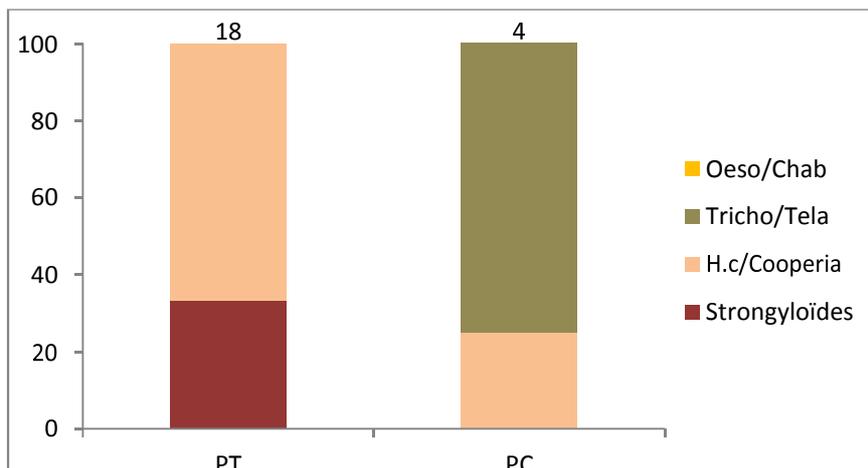


Figure 19 : Proportions des différentes espèces de SGI d'après identification morphologique larvaire chez les agneaux PC et PT en Juin 2018 (effectifs larvaires spécifiés en haut de chaque barre)

En Juin 2018 la très faible quantité de larves trouvées en PC ne permet pas d'interprétation. En PT, l'identification révèle la présence de *Strongyloïdes spp.* non mise en évidence en 2017 et l'absence de *Teladorsagia spp.* et *Trichostrongylus spp.* avec une dominance d'*Haemonchus contortus* dans ce même système.

(b) Résultats de q PCR

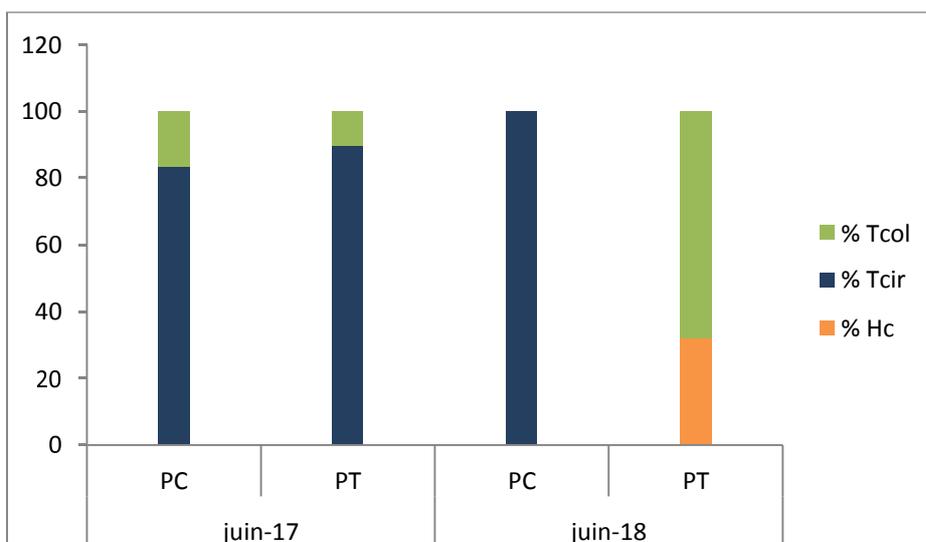


Figure 20 : Proportions des différentes espèces de SGI obtenus par qPCR chez les agneaux PC et PT en juin 2017 et 2018

La quantification larvaire par qPCR en 2017 est plus substantielle avec respectivement 115 larves et 52 larves détectées en PC et PT. Les résultats contredisent l'identification morphologique avec une absence d'*Haemonchus contortus* dans les deux systèmes. Elle confirme la dominance de *Teladorsagia spp.* et *Trichostrongylus spp.* avec *Teladorsagia circumcincta* représentant plus de 80% des larves identifiées en PCR.

En 2018 la qPCR confirme les effectifs larvaires faibles déduits du dénombrement microscopique (2 larves en PC et 16 en PT). Elle ne met pas en évidence d'*Haemonchus contortus* dans l'échantillon PC mais confirme l'absence de *Teladorsagia circumcincta* dans les échantillons PT. Elle permet d'affiner les conclusions de l'identification larvaire avec une tendance à la domination de *Teladorsagia circumcincta* en PC et de *Trichostrongylus colubriformis* en PT

3. Identification morphologique des coccidies

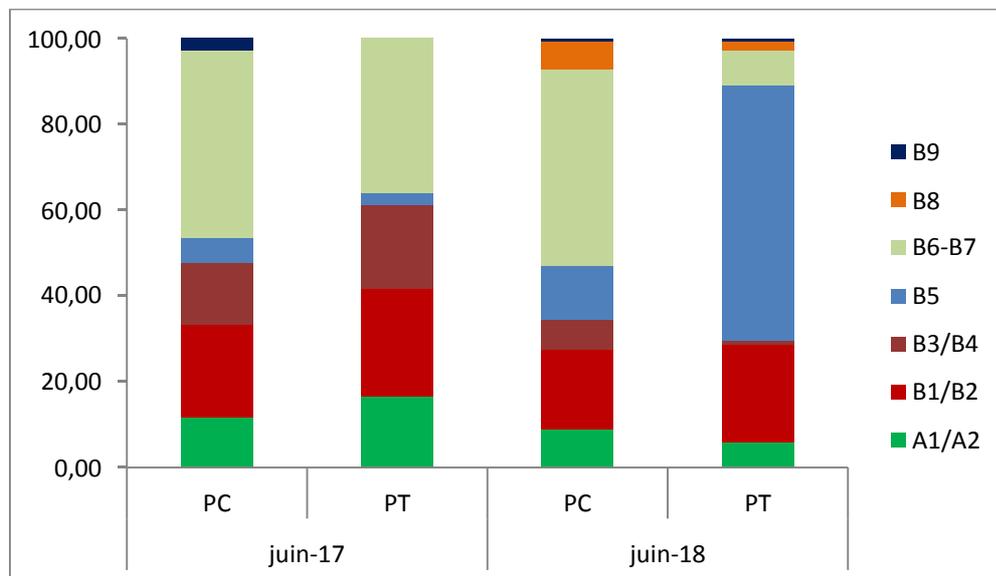


Figure 21 : Résultats de l'identification morphologique des différentes *Eimeria spp.*

L'identification morphologique des différentes espèces d'*Eimeria spp.* tend à indiquer une représentation plus importante en espèces non pathogènes (non colorées en rouge) qu'en espèces pathogènes (B1 à B4). Cette tendance se confirme par le calcul des proportions en espèces pathogènes, présenté dans le tableau 12. Un test du Chi-2 montre que la différence entre PC et PT pour les deux dates n'est pas significative. Il y a donc une proportion semblable de coccidies pathogènes circulant dans les deux systèmes de pâturage.

Date	Système	Comptage oocystes en Mac Master (ooc/g)	Proportion B1-B4
Juin 2017	PC (N=25)	12 960	36 %
	PT (N=25)	26 832	44.5%
Juin 2018	PC (N=25)	26 808	25.6%
	PT (N=25)	15 868	24%

Tableau 15 : Proportions en espèces de coccidies pathogènes pour les agneaux PC et PT en juin 2017 et 2018

B. Résultats cliniques et thérapeutiques

Principe actif,	Date de traitement	Animaux traités	Voie
Praziquantel	22/05/2017	PC + PT	VO
	21/06/2017	PC+ PT	
	9/05/2018	PC	
	17/05/2018	PT	
	5/06/2018 11/06/2018	PC PT	
Lévamisole	22/05/2017	PC + PT	VO
	9/05/2018	PC	
	17/05/2018	PT	
Moxidectine	21/06/2017	PC + PT	VO
	11/06/2018	PC	
	16/06/2018	PT	
Diclazuril	03/04/2017- 07/04/2017	PC	
	03/04/2017	PT	
	20/03/2018 - 27/03/2018	PC	
	27/03/2018- 10/04/2018	PT	

Tableau 16 : Traitements antiparasitaires administrés aux agneaux sur la durée de l'étude

En 2018 un épisode de moniezirose important ayant engendré de la mortalité chez les agneaux PC a conduit à l'administration d'un traitement efficace contre les cestodes dans les deux groupes avant l'analyse coprologique des selles (praziquantel au 5 et 9 mai).

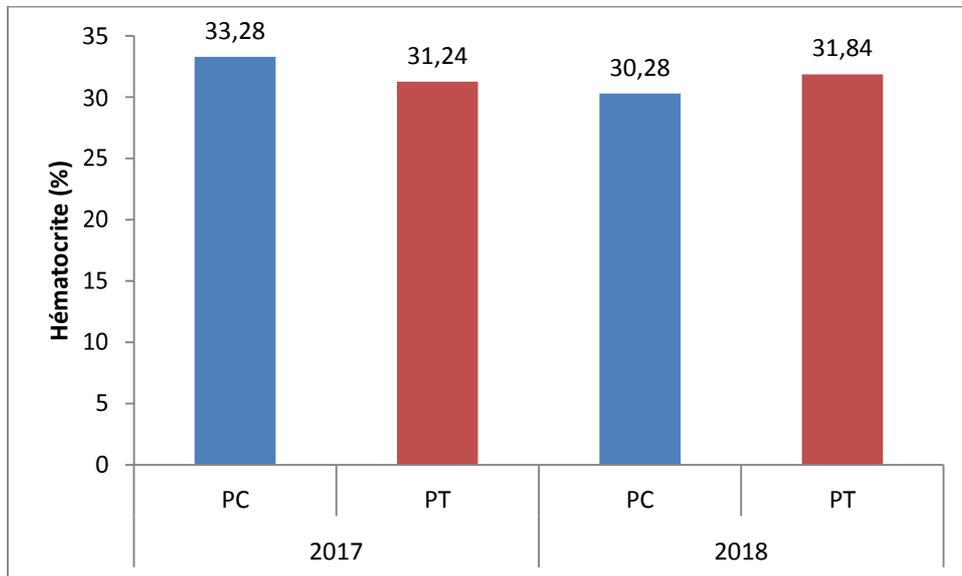


Figure 22 : Hématocrites moyens chez les agneaux PC et PT en juin 2017 et 2018

L'hématocrite moyen des agneaux PC est supérieur à celui des agneaux PT en 2017 (31% contre 33%) et inférieur en mars 2018 (30% contre 32%). Un test non paramétrique de Kruskal-Wallis permet d'affirmer que les hématocrites moyens ne diffèrent pas significativement entre les deux systèmes chez les agneaux prélevés en mars 2017 et mars 2018.

CHAPITRE IV : RESULTATS CLINIQUES ET THERAPEUTIQUES CHEZ LES BREBIS

A. NEC

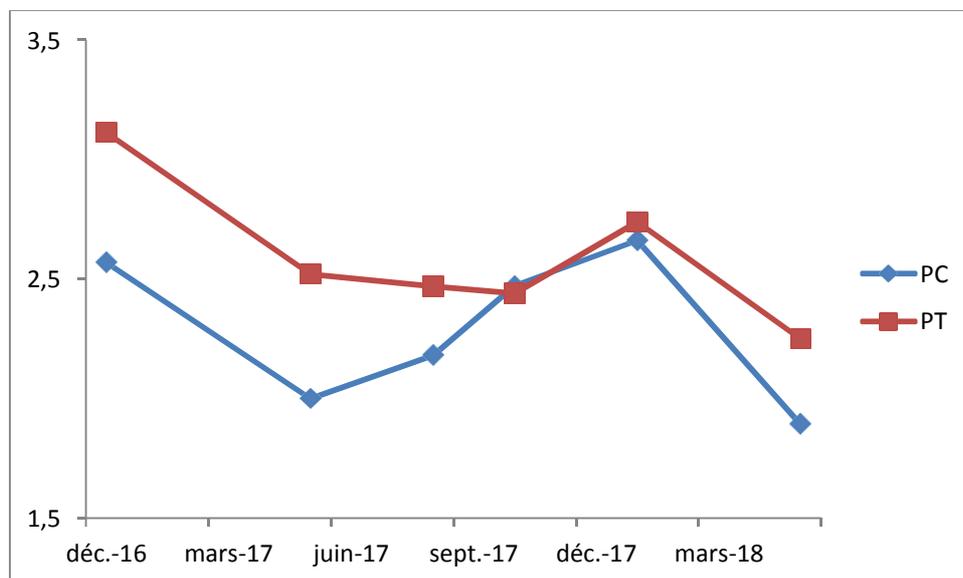


Figure 23 : Evolution des NEC moyennes dans les deux systèmes entre décembre 2016 et mai 2018

Hormis en octobre 2017 et janvier 2018 où les NEC dans chaque système sont presque identiques, les NEC sont toujours inférieures chez les brebis PC.

L'évolution globale des NEC est similaire dans les deux systèmes. On remarque qu'à la mise en lutte de l'automne 2017 la NEC moyenne des brebis est de 0.5 points inférieure à l'objectif poursuivi (de 3). Une perte attendue est celle qui a lieu autour de l'agnelage en 2017 et 2018 (d'environ 1 point dans chaque système, écart maximal acceptable). On observe une reprise d'état sur la période d'allaitement, de plus grande amplitude chez les PC (0.7 points) que chez les PT (0.3 points). Cette reprise arrive plus tardivement chez les PT, qui continuent de perdre de l'état jusqu'en octobre, qu'en PC où elle démarre dès le mois de mai 2017 et semble plus régulière.

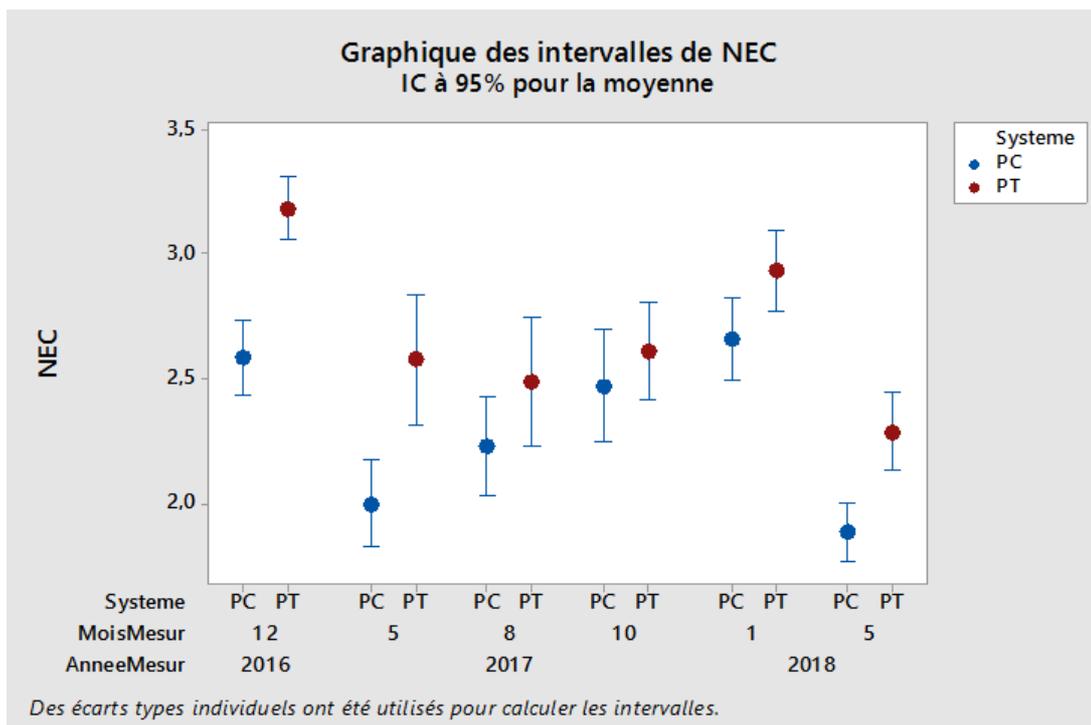
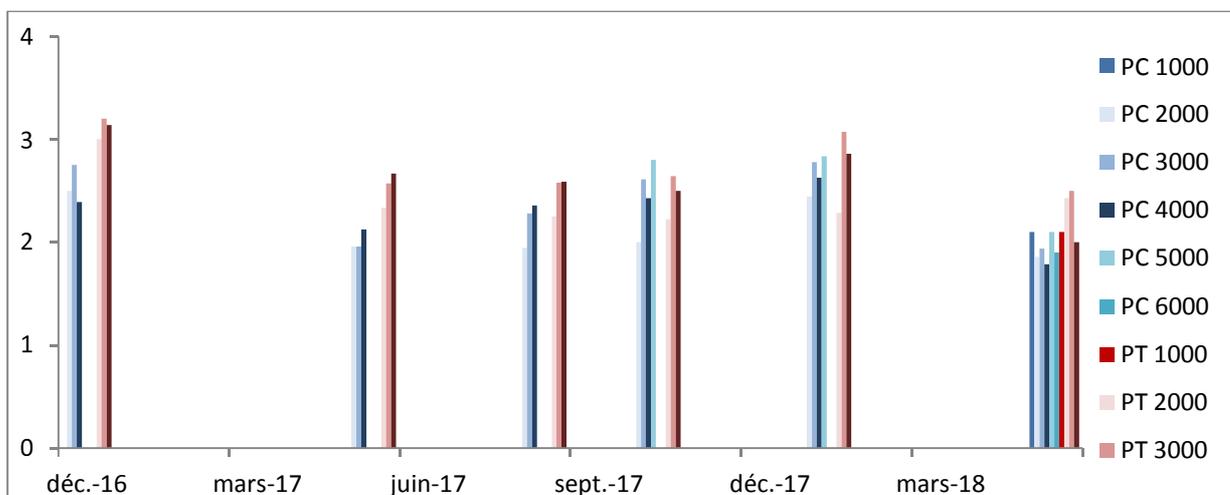
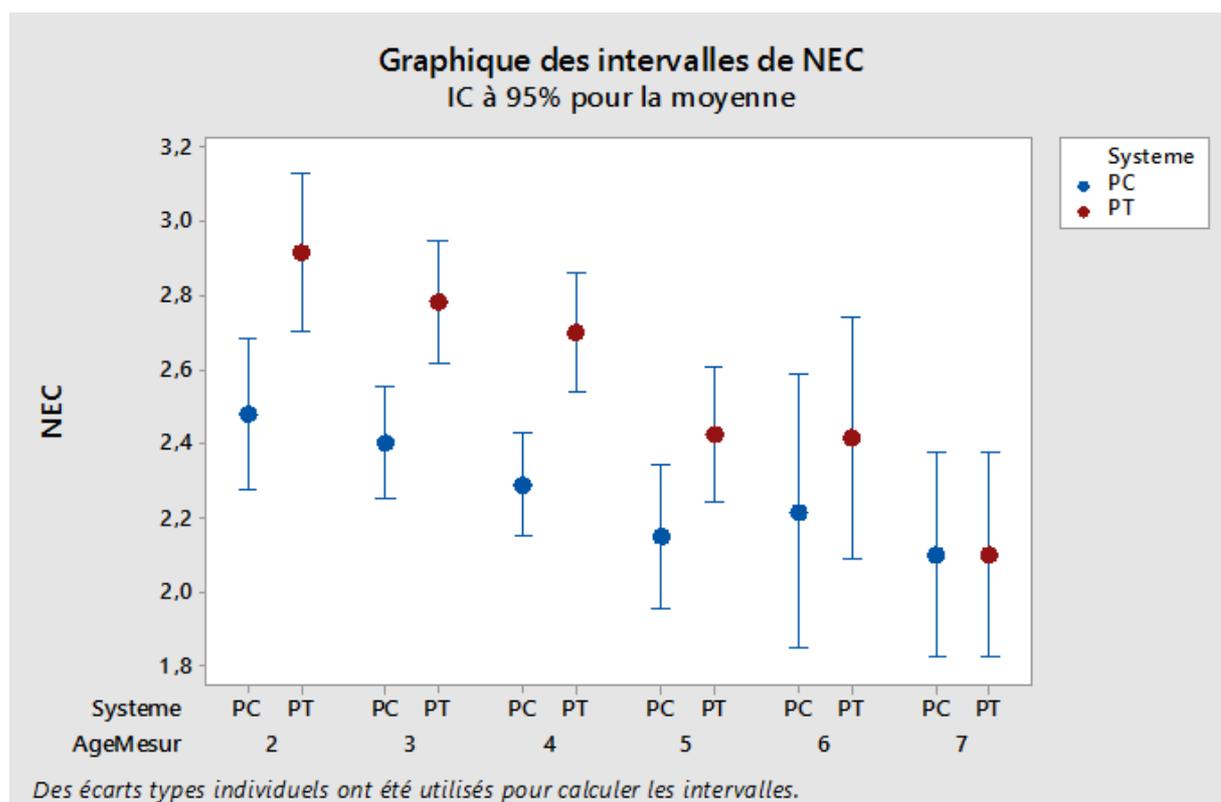


Figure 24 : NEC moyennes par système et par point de prélèvement entre décembre 2016 et mai 2018

1. Effet système

On note enfin que l'évaluation de décembre 2016 est la première évaluation suivant le réallotement de septembre 2016, effectué alors pour permettre une égalité des NEC des brebis des deux systèmes. Or les valeurs moyennes de NEC calculées à cette date sont significativement différentes avec un écart de 0.5 points en défaveur des PC dès décembre 2016. Cette différence significative se maintient en mai 2017. Au-delà, les différences observées ne sont plus significatives mais la comparaison des NEC moyennes sur toute la durée de l'étude depuis décembre 2016 montre un effet « système » significatif ($p\text{-value} < 0.001$) : les brebis PC présentent en moyenne un état corporel moins bon qu'en PT.





Figures 25 a (bas de page 102) et b (ci-dessus) : NEC moyennes par millésime (25a) ou classe d'âge (25b) dans chaque système par date de prélèvement

2. Effets âge et saison

La NEC des brebis PC de moins de 4 ans sont significativement inférieures ($p\text{-value} = 0.005$) aux NEC des brebis PT de même âge (soit les brebis des millésimées 2000, 3000 et 4000 en 2016, 3000 et 4000 en 2017, 4000, 5000 et 6000 en 2018). Au-delà de 4 ans, la différence est non significative entre les deux systèmes même si les NEC moyennes des brebis PT restent supérieures aux NEC des brebis PC jusqu'à l'âge de six ans.

L'effet « saison » et l'interaction « système*saison » sont significatifs ($p\text{-value}$ respectives $p < 0.042$ et $p < 0.042$), indiquant que les variations de NEC peuvent être expliquées en partie par les variations saisonnières mais confirme aussi que la NEC est impactée de façon significativement différente dans chaque système.

En revanche l'interaction « système*âge » n'est pas significative (avec des $p\text{-value}$ de 0.245 et 0.691 en base corrigée) : l'évolution de la NEC avec la saison n'est pas modifiée par l'âge.

En appliquant le modèle à notre base de donnée corrigée, tous les effets sus-mentionnés demeurent significatifs mais l'interaction « système*âge » demeurent non-significative ($p\text{-value} = 0.69$).

Le test de corrélation de Pearson révèle enfin qu'il existe une corrélation négative entre la NEC et l'intensité d'excrétion (pour des intensités d'excrétion élevées on constate une NEC faible).

Corrélation de Pearson

	OPG	Ht	NEC
Ht	-0,258 P=0,000		
NEC	-0,406 P=0,000	0,472 P=0,000	
ID	-0,091 P=0,165	-0,113 P=0,086	-0,028 P=0,674

Figure 26 : Test de corrélation de Pearson sur les variables quantitatives OPG, NEC et ID sur la durée de l'étude

B. Indice de diarrhée

L'indice de diarrhée évolue entre 0 et 2.5 sur toute la période de l'étude. Pour les mois de janvier et mai 2018, le renseignement de l'indice de diarrhée n'est pas systématique et ne concerne respectivement que 46% et 7% des individus.

Au cours des sept points de contrôle des brebis, 487 séries de données ont été collectées (chaque série étant composée d'une catégorie ID, NEC hémocrite et OPG). Pour 381 d'entre elles, la colonne ID est renseignée. Au total, 87% des brebis présentaient un score nul, 10% à 1 et 3% supérieur ou égal à 2.

Le test de Pearson montre que l'indice de diarrhée n'est pas corrélé avec les intensités d'excrétions des animaux ($p = 0.165$), leur hémocrite ($p = 0.086$) ou leur NEC ($p = 0.674$).

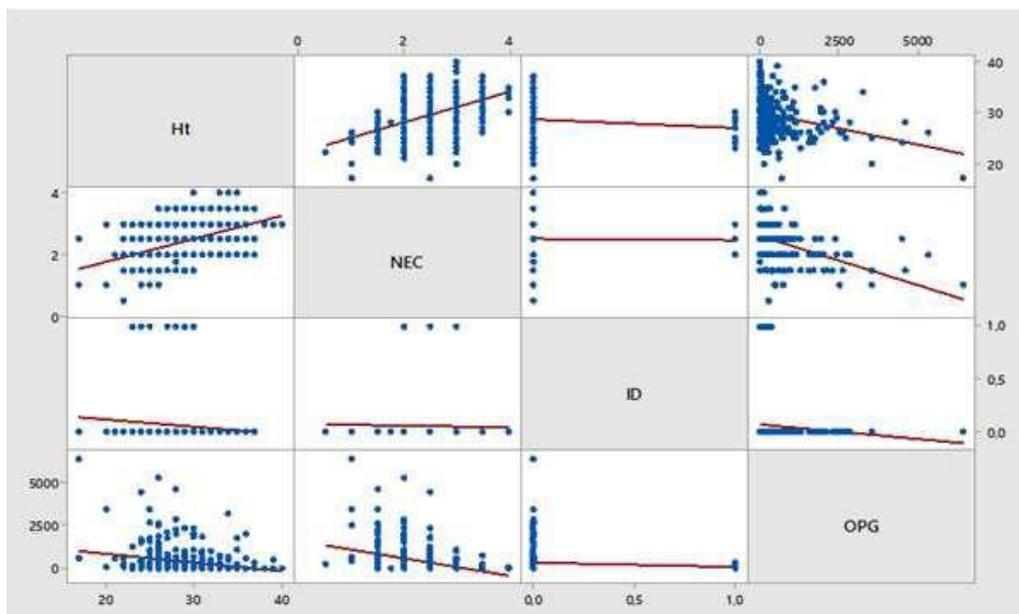


Figure 27 : Graphique diagonal matriciel des NEC, ID, hémocrites et OPG mesurées sur la durée de l'étude

C. Hématocrites

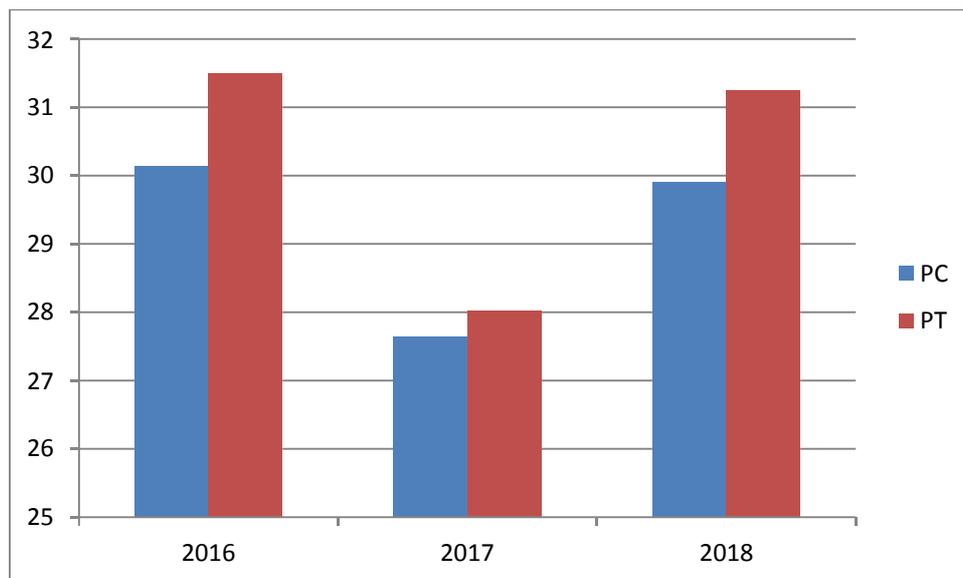


Figure 28 : Moyennes annuelles des données brutes mesurées pour chaque système entre décembre 2016 et mai 2018

Les données brutes présentées par année et par système indiquent que les brebis PC ont en moyenne un hématoците toujours inférieur à celui des brebis en système PT.

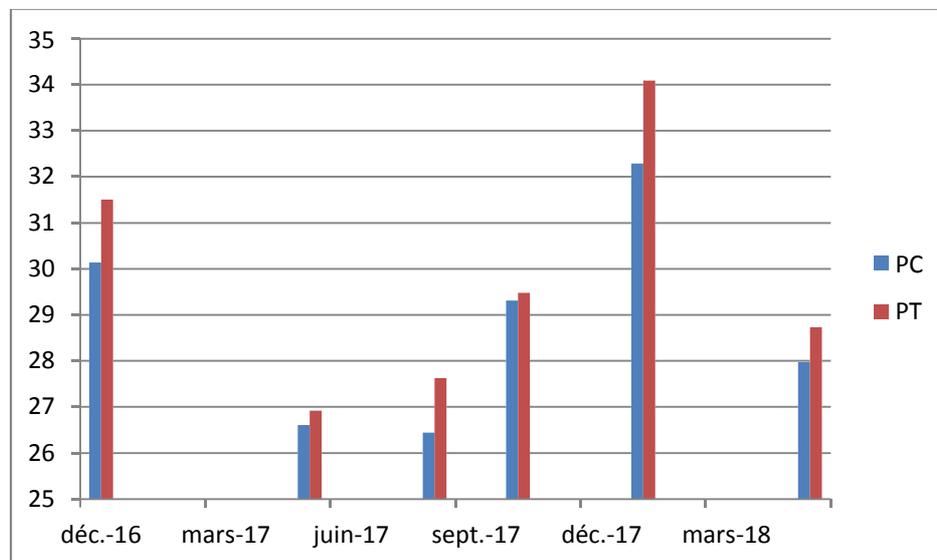


Figure 29 : Evolution des hématoците moyens pour chaque système sur la durée de l'étude

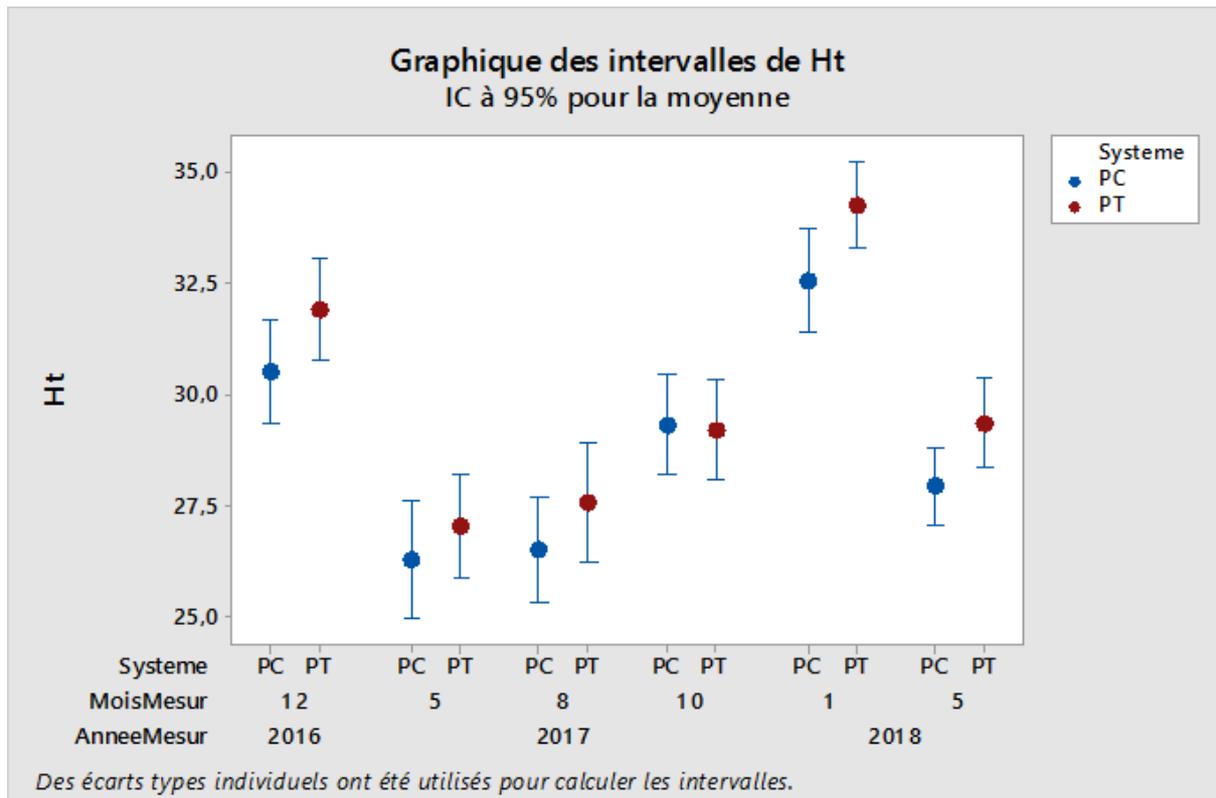


Figure 30 : Evolution des hématocrites moyens et leur intervalle de confiance (IC) à 95% pour chaque système sur la durée de l'étude

L'analyse en données répétées révèle cependant que la différence d'hématocrite entre brebis PC et brebis PT n'est pas significative (pour l'ensemble des données).

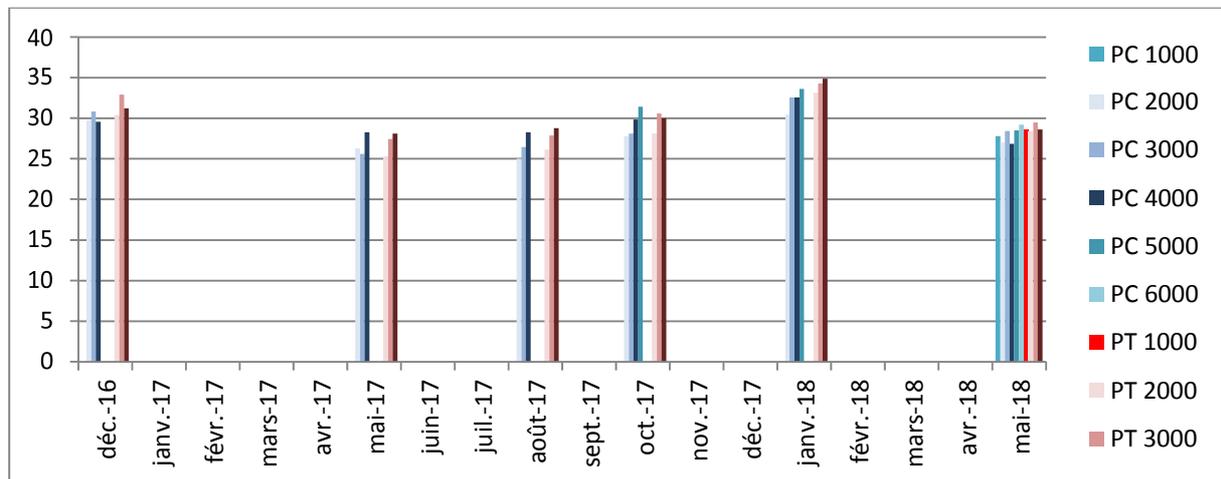


Figure 31 : Hématocrites moyens par classe d'âge pour chaque point de prélèvement entre décembre 2016 et mai 2018

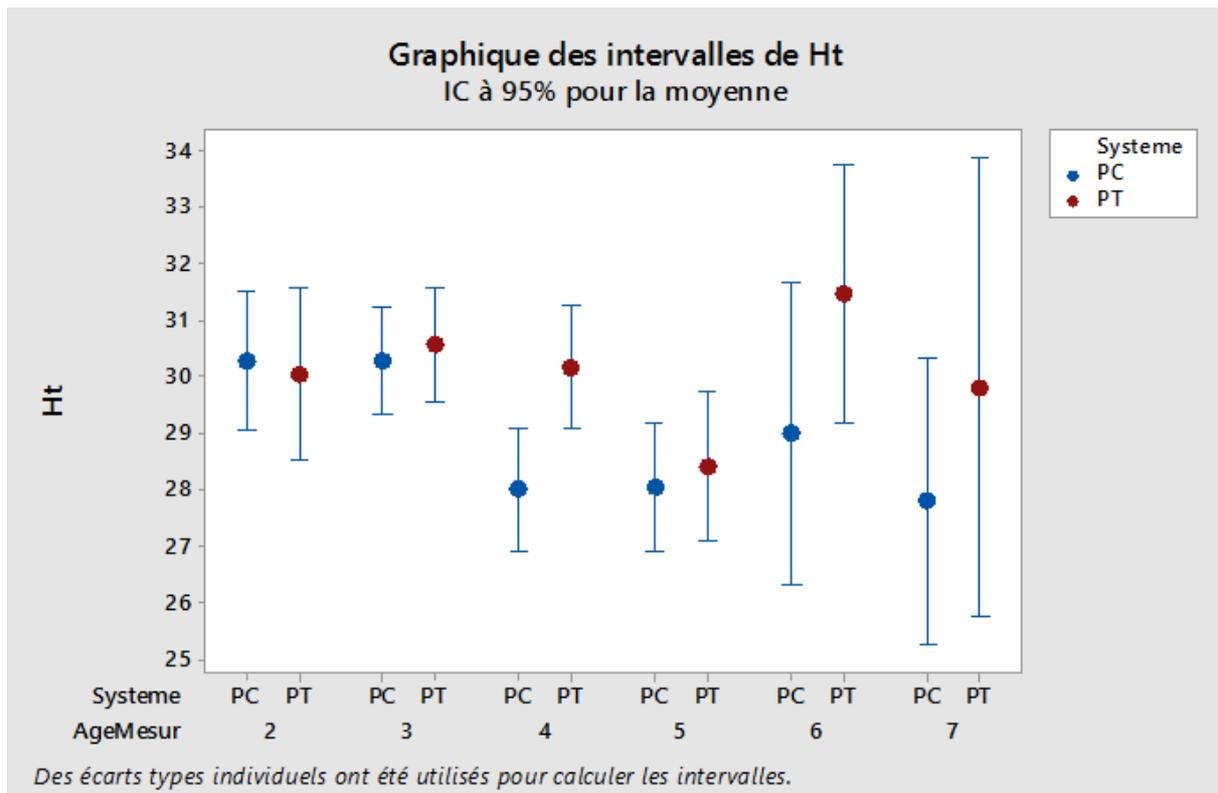


Figure 32 : Hématocrites moyens et IC à 95 % par classe d'âge pour chaque point de prélèvement entre décembre 2016 et mai 2018

Appliquée aux différentes classes d'âge sur la période de décembre 2016 à mai 2018, elle met en évidence une différence significative des hémotocrites entre les brebis PC et PT âgées de 4 ans (soit les millésimes 2000 en 2016, 3000 en 2017 et 4000 en 2018), avec des hémotocrites moyens à 28% en PC contre 30% en PT.

Pour chacun des systèmes et toujours sur la période de décembre 2016 à mai 2018, les effets « saison » ($p < 0.001$) et « âge » ($p = 0.023$) sur l'hématocrite sont significatifs (les brebis les plus jeunes ont des hémotocrites plus élevés). En appliquant l'analyse à la base corrigée, l'effet « système » devient significatif ($p = 0.015$) : les brebis PC ont un hémotocrite plus faible que les PT (d'en moyenne 1 point). Quelle que soit la base de données on ne peut conclure que les interactions sont significatives. En revanche, une tendance se dessine en base corrigée : il se pourrait, sans que nous puissions l'affirmer, que la variation avec l'âge des hémotocrites soit différente selon le système.

D. Traitements anthelminthiques

Principe actif	Date de traitement	Animaux traités	Voie
Triclabendazole	19/09/2016	PC+PT	VO
	03/10/2017		
Netobimin	20/02/2017	PC+PT	VO
	15/01/2018	109 PC	
	04/02/2018	58 PC	
	26/01/2018	PT	
Doramectine	26/09/2016	PC+PT	IM
Lévamisole	29/05/2017	PC+PT	VO
Oxyclozanide	06/06/2018	PC+ PT	VO
Moxidectine	06/06/2018	PC + PT	VO

Tableau 17 : Traitements antiparasitaires administrés aux brebis sur la durée de l'étude

Dans chaque système, les traitements anthelminthiques ont été réalisés sur tout l'effectif et ont été les mêmes dans chaque système. A l'exception de janvier 2018, toutes les brebis ont été traitées en même temps. Ainsi, aucune différence ne peut être soulignée quant au nombre de traitement administré sur la durée de l'étude.

Les traitements ayant pour cibles les SGI sont de deux types : des lactones macrocycliques (doramectine et moxidectine), molécules rémanentes utilisées en alternance avec un imidothiazolé (lévamisole), non rémanent et sans action sur les larves chez l'hôte. En dehors de la doramectine (voie intra-musculaire), tous les traitements sont formulés et administrés par voie orale et le volume administré calculé sur le poids de l'animal le plus lourd.

Ces principes actifs sont associés une fois par an à un douvicide (salicylanilidé comme l'oxyclozanide ou un benzimidazolé comme le nétohimin ou le triclabendazole). En effet, une infestation par les Trématodes *Fasciola hepatica* et *Dicrocoelium lanceolatum* a été mise en évidence dans les deux systèmes par flottation au LST et justifié l'adjonction de ces molécules au plan de traitement. Enfin, le traitement à la doramectine présente un intérêt double puisqu'il permet de répondre aux recommandations de traitement contre la gale psoroptique des ovins et qu'il présente une indication dans la lutte contre les SGI.

CHAPITRE V : DISCUSSION

Ainsi qu'énoncé en préambule, cette étude a été établie sans hypothèse préalable et visait avant tout à recueillir un certain nombre de résultats ayant trait à l'impact d'un système cellulaire sur la dynamique des populations de nématodes parasites du tube digestif d'un cheptel pâturant en le comparant à un système tournant, classiquement rencontré en France. Le choix de cette démarche s'inspire de travaux australiens antérieurs, réalisés dans le cadre de l'intérêt porté aux moyens agronomiques de lutte contre les SGI (Colvin *et al.* 2008, Walkden-Brown *et al.* 2013).

A. Quels premiers constats relatifs aux strongyloses GI à l'issue de deux ans d'étude ?

On soulignera ici quelques limites de l'étude avec en premier lieu les petits effectifs utilisés en coprologie, à savoir 10 brebis par millésime et 25 agneaux par système, ce qui pourrait influencer sur la puissance de notre dispositif expérimental ; mais aussi les effectifs larvaires parfois faibles sur lesquels les proportions en SGI ont été déterminés (en particulier en octobre 2017 (9 larves en PC et 2 en PT) et en janvier 2018 (46 larves en PC mais seulement 3 en PT en qPCR).

Enfin et ainsi que mentionné dans le titre, cette étude de deux ans pourrait n'être qu'un préambule à d'autres études, menées sur un plus grand nombre d'exploitations et sur de plus longues périodes. En effet, il se pourrait que cette durée ne suffise pas à mettre en évidence une différence significative d'excrétion en œufs de strongles ou une tendance claire dans la modification de l'helminthofaune en faveur d'un ou plusieurs genres de SGI : ces changements sont probablement la résultante de variations des conditions environnementales telles que la modification du couvert végétal et de la nature du sol mais aussi des conditions météorologiques conjuguées à l'impact direct sur la dynamique des populations de SGI d'un changement de conduite des brebis (Colvin *et al.*, 2012).

Ainsi, étant donné la multiplicité de facteurs concourant à ces modifications, il est difficile de prévoir la période *ad hoc* de suivi nécessaire à la mise en évidence d'un effet, bénéfique ou non, du pâturage cellulaire sur le parasitisme gastro-intestinal des ovins.

1. Un niveau d'excrétion moyen en système cellulaire qui n'est pas inférieur au système tournant

Un résultat remarquable dans cette étude est le constat d'un niveau d'excrétion moyen plus élevé en PC qu'en PT chez les brebis évaluées (dont les âges s'échelonnent de 2 à 7ans) en tout point de prélèvement avec une proportion en fortes excrétrices (> 500 opg) significativement plus élevée en PC (30.9%) qu'en PT (18.6%). En revanche, l'évaluation ponctuelle en juin 2017 et juin 2018 de l'intensité d'excrétion en SGI des agneaux de chaque système montre un résultat inverse, à savoir des agneaux de système PT significativement plus excréteurs que les agneaux de système PC (avec une tendance apparente à un plus fort effectif en forts excréteurs chez les PT). Le second point pourrait suggérer que les agneaux PC sont soit moins rapidement exposés à la contamination (mais ils sont mis à la pâture au même moment que les agneaux PT, rendant cette hypothèse peu probable), soit avec un risque

plus faible. Les effectifs larvaires des mois de mai 2017 et mai 2018 retrouvés dans les coprocultures des brebis dans le système PC sont parmi les plus importants de la durée de l'étude : il est raisonnable de déduire qu'une population de L3 de SGI est bien implantée sur la pâture. Les hauteurs d'herbe en mai et juin 2017 sont supérieures en PC par rapport au système PT, ce qui pourrait être un argument en faveur d'un risque amoindri à cette saison de contamination pour les agneaux mais ne peut être considéré comme un facteur explicatif suffisant pour l'année 2018.

Ce résultat est en contradiction avec ceux de Colvin *et al.* (2008) ou Walkdenbrown *et al.* (2013) qui observent pour leur part une réduction en système cellulaire de l'excrétion en œufs de SGI (jusqu'à 46% chez Colvin *et al.*) toutes classes d'âge confondues (mais qui n'est significative que pour les agneaux) quand dans notre étude le système cellulaire présente près de 50% de différence avec le système PT pour les adultes.

De façon ponctuelle un facteur contributif de cette différence d'intensité d'excrétion semble se détacher : en mai 2017 dans le système cellulaire par exemple, il pourrait être le résultat d'un chargement instantané élevé associé à une pâture sur des hauteurs d'herbe faibles (inférieures à 5cm), augmentant le risque d'ingestion de larves L3. Ces facteurs ne se représentent pas de façon suffisamment systématique pour constituer une constante explicative mais restent importants. Par ailleurs, ils interviennent probablement conjointement à d'autres facteurs non identifiés ici.

Les résultats obtenus permettent de confirmer un pattern saisonnier des variations d'excrétion dans les deux systèmes, plus marqué dans le système PC. L'année 2017 offre l'avantage d'une pluviométrie régulière et abondante, *a priori* favorable au développement des SGI sur les pâtures aux mois de printemps et d'été, qui offrent des températures douces situées dans les optima de développement connus des SGI. Ainsi la reconnaissance de ce pattern d'excrétion est-il attendu. Il semble se dessiner aussi pour l'année 2018 dans les deux systèmes. Ce résultat rejoint les constats de Colvin *et al.* (2008) et Walkdenbrown *et al.* (2013).

Cette étude ne permet en revanche pas d'expliquer les variations des intensités d'excrétion en œufs de SGI par un effet âge significatif, ce qui pourrait être dû à l'inclusion dans notre effectif testé de classes d'âge de brebis de plus de 2 ans (2 à 7 ans), chez qui *a priori* la régulation par le système immunitaire de la population parasitaire hébergée est bien mise en place. Ce choix d'inclure dans l'étude des brebis de plus de 2 ans et ponctuellement seulement des éléments moins âgés pourrait avoir induit l'atténuation d'un effet âge remarqué dans les études australiennes pré-citées où les trois classes : agneaux (< 12 mois), antenaises (12-24 mois) et brebis (>24 mois) sont bien représentées.

2. Une helminthofaune différente entre les deux systèmes

L'utilisation d'un outil sensible et performant tel que la PCR en temps réel apporte un éclairage original quant à l'évolution des helminthofaunes dans les deux systèmes ou, plus précisément, dans les proportions relatives des trois genres sur lesquels notre intérêt se porte en priorité. On note que ces changements sont rapidement observés, ce qui est en accord avec l'étude de Walkdenbrown *et al.* (2013) où les identifications des larves ont été faites au microscope sur des critères morphologiques.

Un premier point d'intérêt est la proportion relative moindre en *Haemonchus contortus* dans le système PC comparativement au système PT, suggérant un environnement moins favorable aux stades libres de ce parasite et donc une possible rupture de son cycle biologique par la mise en œuvre du pâturage cellulaire, comme suggéré par Walkdenbrown *et al.* (2013).

Les conditions météorologiques et pédoclimatiques étant les mêmes dans les deux systèmes, les principales causes explicatives seraient donc à rechercher en premier lieu dans les éléments de conduite, à savoir la conjonction de temps de séjour courts et d'un chargement instantané élevé en système PC. Les temps de séjour en système PT sont effectivement plus longs sur les pâtures (6 jours en moyenne contre 24 heures en PC), ce qui permettrait aux brebis dans le système PT d'ingérer des larves L3 issues d'œufs déposés en début de séjour sur la pâture (phénomène d' « auto-recontamination » qui concerne particulièrement l'espèce *Haemonchus contortus*, capable dans des conditions favorables de donner une larve L3 en quelques jours après le dépôt des œufs sur la pâture).

Dans le système PC, ce phénomène d' « auto-recontamination » est rendu impossible par le temps de séjour court sur une même cellule (un œuf déposé la veille, même en conditions favorables, ne peut donner une larve le lendemain). Ainsi, une recontamination n'est possible qu'après le retour des brebis sur la cellule (soit une quarantaine de jours après le dépôt) : dès lors, la capacité de développement rapide des stades larvaires d'*Haemonchus contortus* ne constitue plus un avantage par rapport aux autres genres de SGI.

Un autre phénomène pourrait être défavorable à *Haemonchus contortus* dans le système PC. Dans leur étude, Khadijah *et al.* (2013) soulignent que les pluies précédant et suivant immédiatement le dépôt des fèces sont importantes pour la poursuite du cycle et la migration des larves d'*Haemonchus contortus* sur la parcelle en conditions de sécheresse. Dans le système PT, un temps de pâture d'une semaine environ suppose que les brebis ont parcouru toute la surface de la parcelle durant leur séjour sur celle-ci et que les œufs de SGI excrétés sont presque uniformément répartis sur le terrain. Si un épisode pluvieux favorable au développement de l'œuf en larve survient au courant du séjour, alors la parcelle sera probablement uniformément infestée de larves L3 et contaminante quel que soit l'endroit où les brebis pâturent. En revanche en système PC, la parcelle est divisée en plusieurs cellules et les temps de séjour sur ces cellules sont courts. En conséquence chaque cellule héberge des œufs de SGI dont l'âge est différent, il y a pour ainsi dire ségrégation spatiale mais aussi « temporelle » des œufs (chaque cellule contient une « classe d'âge » d'œufs). De cette façon, suivant le moment de survenue de l'épisode pluvieux toutes les cellules ne présenteront pas le

même niveau de contamination : en effet, les stades libres issus des dépôts les plus anciens (sur les cellules dont l'occupation est la plus lointaine de l'épisode pluvieux) auront vu leur population réduite de façon plus importante que les dépôts les plus récents (du fait d'une mortalité larvaire quotidienne normale en l'absence de conditions favorables au développement). Et donc selon la cellule sur laquelle les brebis feront leur retour, elles ne seront pas exposées au même risque de contamination. En résumé, l'on pourrait supposer que toutes les cellules ne sont pas infestées de larves L3 de façon homogène et équitable lors des mois « secs » (soit lors de pluviométrie cumulée inférieure à 50 mm) et que les proportions relatives en *Haemonchus contortus* inférieures en PC qu'en PT déterminées à la qPCR (inférieures en PC qu'en PT) pourraient être expliquées par cette irrégularité de niveau de contamination des pâtures en PC.

En revanche, l'effet des pluies autour du moment de dépôt des fèces sur la pâture est moins prégnant avec l'espèce *Teladorsagia circumcincta* dont les stades libres peuvent survivre plus longtemps à des périodes sèches dans les matières fécales et différer leur migration sur l'herbe. Ce phénomène a été proposé par Walkdenbrown et al. (2013) pour expliquer en partie les différences d'helminthofaune entre pâturage cellulaire et pâturage tournant classique.

Notons que cette faible proportion en *Haemonchus contortus* dans le système cellulaire permet de rejeter une hypothèse envisagée pour expliquer une intensité d'excrétion supérieure en système PC, à savoir que le niveau élevé d'excrétion pourrait être expliqué simplement par une représentation plus importante dans ce système d'une espèce parasitaire prolifique telle qu'*Haemonchus contortus*. En conséquence, cela revient à dire qu'en dépit d'une plus faible représentation d'*Haemonchus contortus* dans les coprocultures des brebis menées en PC, on constate chez ces brebis une plus forte proportion de brebis fortes excrétrices d'œufs de SGI. Cela pourrait s'expliquer par des intensités d'infestation plus importantes avec les autres genres : *Teladorsagia spp.*, *Trichostrongylus spp.* ou encore *Oesophagostomum spp.* La proportion calculée en PC de ce dernier genre semble d'ailleurs être supérieure qu'en PT d'après l'identification morphologique larvaire. *Oesophagostomum* montrant une prolificité proche de celle d'*Haemonchus*, sa présence pourrait concourir à des intensités d'excrétion plus élevées en PC qu'en PT. Une autre hypothèse envisageable est suggérée par Colvin *et al.* (2012) : les brebis adultes conduites en pâturage cellulaire montreraient une plus grande sensibilité aux SGI que des brebis conduites en pâturage tournant. Leur immunité acquise, régulatrice de la population adulte de parasites, serait ainsi moins efficace en système PC qu'en système PT. La fertilité des vers femelles serait meilleure chez ces brebis et l'intensité d'excrétion augmentée en conséquence comparativement aux brebis menées en système PT. Dans notre étude les NEC et hématocrites sensiblement plus faibles en système PC qu'en PT pourraient être compatibles avec cette hypothèse d'une plus grande sensibilité à l'infestation.

S'agissant de la variation des proportions en *Haemonchus contortus* on notera qu'il est quasiment absent selon les données de la qPCR de décembre 2016 et non détecté à cette date lors de l'identification morphologique larvaire pour les deux systèmes. Ce phénomène peut être interprété à la lueur des éléments météorologiques dont nous disposons sur les mois précédents les coprologies (O'Connor 2006). En effet, les éléments de contexte s'avèrent peu favorables au développement d'*Haemonchus contortus* sur les parcelles avec l'alternance,

depuis juin 2016, de périodes de sécheresse (où on relève une pluviométrie cumulée inférieure à 50 mm en juillet, août et décembre) en dépit de températures situées dans les optima de développement décrits en partie I (sauf mois de décembre) et de périodes où la pluviométrie pourrait être suffisante à l'éclosion, le développement ou la migration d'*Haemonchus spp.* mais s'accompagne de températures minimales et maximales moyennes peu favorables à l'aboutissement de ces étapes du cycle (comprises entre 5 et 12°C). Ainsi pourrait-on observer en décembre 2016 la résultante de la conjonction de ces facteurs météorologiques, à savoir une population larvaire viable réduite sur la pâture après plusieurs mois à subir des contraintes environnementales défavorables. Sa présence reste discrète en mai 2017 et il est absent chez les agneaux PC au contrôle du mois de juin de cette année-là, possiblement encore sous le coup de températures peu clémentes jusqu'au mois d'avril. Il culmine en revanche dans les deux systèmes aux mois d'août et d'octobre 2017, favorisé par le regain des températures et la pluviométrie régulière et abondante de cette année.

Ces éléments permettraient d'élaborer une hypothèse quant à l'apparente contradiction des intensités d'excrétion obtenues en système cellulaire chez les brebis d'une part et les agneaux d'autre part, du moins pour juin 2018. Les agneaux, naïfs, hébergent les SGI présents dans chaque système à l'instant t où ils ont été introduits en pâture. Ainsi, comparativement au système PC, les agneaux pâturant en PT s'infestent avec plus de larves L3 d'*Haemonchus contortus* et hébergent finalement en proportion probablement plus de femelles *Haemonchus* dont la prolificité (jusqu'à 10 000 œufs par jour) est largement plus contributive au niveau d'excrétion global de l'individu que *Teladorsagia circumcincta* ou *Trichostrongylus colubriformis* : *in fine*, les agneaux PT excrètent donc plus d'œufs de SGI que les PC.

En mai 2017 un raisonnement similaire peut s'appliquer : les proportions en SGI pré-cités sont similaires entre PC et PT, avec *Haemonchus* très faiblement représenté et *Teladorsagia circumcincta* et *Trichostrongylus colubriformis* dominants. Lors de co-infestation, une compétition s'instaure entre les différents parasites du système digestif de l'hôte et semble le plus souvent aboutir en faveur de *Teladorsagia circumcincta*. Il se pourrait dès lors qu'aucune femelle *Haemonchus contortus* ne puisse s'installer chez les agneaux et que la différence d'excrétion d'œufs entre PC et PT soit finalement essentiellement imputable à la deuxième espèce la plus prolifique parmi celles que nous considérons : *Teladorsagia circumcincta* (dont les femelles pondent une ou quelques centaines d'œufs par jour), plus représenté alors en système PT. Ainsi, les agneaux PT seraient plus excréteurs mais la différence entre les deux systèmes moins substantielle qu'en 2018. Le décalage observé entre agneaux et brebis de même système (à savoir des agneaux PT plus excréteurs qu'en PC quand les brebis PT excrètent moins que leurs congénères PC) pourrait s'expliquer par une résistance accrue aux SGI des adultes, caractérisée par une capacité des animaux immunisés à réguler la ponte des vers femelles (Lacroux *et al.*, 2006).

Cette hypothèse ne constitue certainement qu'un sens de lecture possible des résultats fournis. Elle permet à son tour d'amener une suggestion quant à la suite possible de ce travail, à savoir réaliser les sessions de prélèvements à intervalles plus rapprochés (tous les mois ainsi que dans l'étude de Colvin *et al.* (2008) et sur les recommandations de Walkdenbrown *et al.* (2013) qui estime que les conditions météorologiques des trente derniers jours sont

déterminantes pour le développement des stades libres des SGI) pour un meilleur suivi de l'évolution des helminthofaunes. En parallèle on pourrait envisager un dosage des taux d'anticorps anti-produits d'excrétion-sécrétion des vers femelles d'*Haemonchus contortus* chez les agneaux et les adultes de cette étude dans la mesure où des prélèvements de sérums ont été réalisés sur ces animaux durant tout le suivi (Lacroux *et al.*, 2006). Cette mesure permettrait de confirmer la contribution de la résistance à *Haemonchus contortus* dans les différences entre brebis et agneaux. On pourrait imaginer ainsi que l'établissement et la fécondité des femelles ne seraient pas limités chez l'agneau comparativement à la brebis adulte. Dès lors, sans aucun filtre occasionné par la résistance aux SGI, les agneaux seraient des reflets fidèles de la contamination des prairies.

Le second point saillant est la disparition de *Teladorsagia circumcincta* aux mois d'août, octobre, janvier et mai 2018 chez les brebis et en juin 2018 chez les agneaux dans le système PT, alors même qu'il est détecté en système cellulaire. Ce résultat est d'autant plus inattendu qu'il intéresse une espèce dont le développement tolère de larges gammes de température et d'humidité et qui est capable de survivre sur les pâtures en conditions défavorables plusieurs mois. Par ailleurs, les éléments météorologiques à notre disposition ne montrent pas d'évènements préjudiciables au long terme à la population de *Teladorsagia spp.* Les faits suggèrent une migration ou un développement sur les pâtures compromis dans le système PT quand en PC il peut avoir lieu, sans que nos résultats puissent en fournir une interprétation claire. Plusieurs hypothèses, cependant, ont été envisagées.

En premier lieu une erreur analytique (une erreur lors de la qPCR), mais cette hypothèse n'a pas été retenue car les analyses réalisées chez les agneaux montrent le même constat. Si la sensibilité de la méthode avait été insuffisante pour les niveaux d'excrétion des adultes, ce défaut aurait été révélé par les résultats des agneaux : d'une grande sensibilité aux SGI, ils auraient permis de mettre en évidence une présence, même très minoritaire, de *Teladorsagia circumcincta*. Par ailleurs, les échantillons des deux systèmes (PC et PT) se retrouvent sur une même plaque et pour une même réaction PCR. Une erreur de manipulation, aurait certainement pu être visualisée en système PC aussi bien que PT.

L'échec de la technique de coproculture utilisée (correspondant aux recommandations du MAAF) est envisageable mais là encore considérée comme peu probable car elle a été employée tout au long de l'étude et pour chaque point de prélèvement. Une inadéquation de la méthode par rapport à l'objectif poursuivi aurait été suspectée plus tôt. Néanmoins pour écarter définitivement cette hypothèse, la réalisation d'autopsies et de comptage manuel des différentes populations vermineuses aurait pu être envisagée à l'abattoir mais ceci n'a pas été fait dans le cadre de cette étude.

Sachant que les mêmes traitements sont administrés en PC et PT aux mêmes moments, les traitements anthelminthiques ont eux aussi été écartés de notre raisonnement.

Demeurent enfin deux hypothèses que nos résultats ne peuvent départager et que nous formulons ici dans l'espoir que la poursuite de l'étude (septembre et décembre 2018) pourra apporter quelques éléments de réponse : celle de l'existence d'une compétition sous certaines conditions encore indéterminées ici entre *Teladorsagia circumcincta* et *Haemonchus*

contortus se soldant dans le système PT en faveur d'*Haemonchus contortus* (rappelons qu'aux dates où *Teladorsagia* disparaît en PT, *Haemonchus contortus* domine dans les résultats de PCR temps réel). Pourtant, les connaissances exposées par O'Connor (2006) sur l'écologie des stades libres de ces trois genres laissent à penser que *Teladorsagia circumcincta* devrait en toute logique être mieux représenté que *Trichostrongylus colubriformis* et *Haemonchus contortus* car capable d'une plus grande tolérance vis-à-vis des variations de température et d'humidité de son environnement (pouvant se développer et donner une larve L3 infestante même après exposition de l'œuf à des températures négatives et présentant le seuil le plus élevé de tolérance à la dessiccation). Par ailleurs, Hoste et Cabaret (1992) mettent en évidence que dans le cadre de co-infestations les interactions au sein de la communauté d'espèces parasites du tractus digestif de l'hôte favoriseraient la dynamique de la population de *Teladorsagia circumcincta* aux dépens des autres genres. Enfin, l'hypothèse de conditions pédoclimatiques défavorables à la pérennité d'une population de *Teladorsagia circumcincta* en pâturage tournant sur les terres du Mourier semble peu plausible car ce système est classiquement utilisé dans le Limousin et *Teladorsagia circumcincta* y est régulièrement décrit (Hoste et Cabaret, 1992).

En conclusion de ces deux points, il ressort que cette étude ne permet pas de conclure sur le caractère clairement avantageux du système PC dans la gestion du parasitisme gastro-intestinal, car il ne répond pas, tel qu'il est décrit ici, aux attentes de gestion des strongyloses GI ovine alternative aux anthelminthiques : la proportion en fortes excrétrices dans le système PC est plus élevée qu'en PT et les intensités d'excrétion moyennes sur la période de l'étude ne sont pas significativement diminuées en PC comparativement au système PT.

Il n'en reste pas moins que le système cellulaire dans sa conception générale (conjuguant des temps de séjour courts et des temps de retour longs) demeure pertinent dans le cadre de la gestion des strongyloses GI, mais pourrait exiger des temps de retour longs pour qu'un assainissement effectif des parcelles ait lieu dans nos milieux tempérés. Cet impératif suppose cependant que le parcellaire permette une telle organisation.

Ainsi, il semble pertinent d'envisager des études complémentaires tenant compte de ces paramètres sur de plus longues périodes et mises en œuvres sur d'autres territoires d'élevage français avant de pouvoir conclure.

3. Des résultats cliniques, zootechniques et thérapeutiques à l'enseignement variable

Le contrôle régulier des NEC révèle que ces dernières suivent une variation saisonnière et des brebis en système PC globalement plus maigres qu'en système PT quoique leur reprise après la mise-bas soit de plus forte amplitude et plus importante. Le constat d'hématocrites plus faibles en système PC qu'en PT rejoint celui déjà fait dans les études de Colvin *et al.* (2008). Les hématocrites moyens n'étant jamais compris dans les intervalles de référence définis pour un ovin adulte sain, il semble légitime de s'interroger sur les conséquences d'un état corporel insuffisant conjugué à un hématocrite faible sur la sensibilité aux strongyloses gastro-intestinales des ovins pâturant et sur les origines possibles de ces anémies légères.

Des hématocrites diminués par rapport aux valeurs de référence pourraient potentiellement être expliqués de plusieurs façons : une spoliation directe en premier lieu, probable du fait de la présence de grande douve (*Fasciola hepatica*) sur le site du Mourier, mise en évidence lors des coprologies au LST de décembre 2016, octobre 2017 et janvier 2018 en PC comme en PT. Ceci étant, sa présence, bien que constante, est contrôlée par l'utilisation de douvicides. Des ectoparasitoses pourraient contribuer aussi à un hématocrite diminué, en particulier du fait de spoliation sanguine par les tiques (susceptibles qui plus est de transmettre des agents pathogènes aux ovins, notamment *Anaplasma ovis*, *Babesia motasi* et *Babesia ovis* justifiant un traitement régulier des parasites externes).

D'autre part, un niveau alimentaire insuffisant pour maintenir l'hématocrite dans ses valeurs usuelles (du fait d'un déficit en fer, par exemple). Cette hypothèse pourrait être soutenue par le bilan 2017 de la conduite alimentaire rapportée par les gestionnaires de troupeau qui rétrospectivement révèle un apport de 30% de concentrés en plus en PC qu'en PT, pour une consommation de fourrage équivalente entre les deux systèmes. Alors qu'en théorie la tendance devrait être inversée entre PC et PT (avec une complémentation plus importante en PT). L'origine probable de cette inversion semble être un chargement annuel trop élevé pour permettre un pâturage hivernal pour toutes les brebis, ce qui a entraîné la rentrée en bergerie chaque année d'une partie du troupeau PC.

Dans le cadre de la comparaison des deux systèmes et quoique cet aspect ne soit pas le pilier central de ce travail, il nous semble important d'aborder brièvement les bilans de productivité des brebis et des agneaux de chaque système. On observe que les différences entre les deux systèmes en 2017 sont plutôt limitées pour la fertilité et la prolificité des brebis mises en lutte (tableau 18). La productivité numérique semble même supérieure en système PC qu'en PT, ce qui pourrait s'expliquer par la complémentation mise en place qui, combinée à une conduite réservant les parcelles de meilleure qualité nutritionnelle aux brebis gestantes et allaitantes, a pu permettre de maintenir la productivité des brebis sans pour autant rétablir leurs paramètres biologiques.

Du point de vue des performances des agneaux en revanche (tableau 19), les croissances globales sont légèrement inférieures en PC avec des agneaux PT en moyenne 4 kg plus lourds en poids vif au sevrage et 1 kg plus lourd en carcasse à l'abattoir.

	Pâturage cellulaire	Pâturage tournant
Mises en lutte	170 brebis	82 brebis
Fertilité	85,9 %	86,4%
Prolificité	1,75	1,60
Mortalité	11,8 %	15,2%
Productivité numérique	1,32	1,16
Agneaux vendus	203	76
Agnelles gardées	12	19

Tableau 18 : Résultats d'agnelage des lots PC et PT pour la mise-bas du printemps 2017

Système	Pâturage cellulaire	Pâturage tournant
Nombre d'agneaux nés	255	112
% mâle	50	48
% femelle	50	52
% allaitement artificiel	15,3	15,2
Poids naissance (kg)	4,4	4,7
Poids sevrage (kg)	28,8	32,8
Poids vif abattage (kg)	38,9	41,3
GMQ naissance-sevrage (g/j)	206	258
GMQ sevrage-abattage (g/j)	160	107
GMQ naissance-abattage (g/j)	181	194

Tableau 19 : Performances zootechniques des agneaux pour l'année 2017

Au bilan, les performances en PC peuvent être considérées comme légèrement moins satisfaisantes mais cet aspect zootechnique du système semble illustrer à quel point la gestion des ressources naturelles est un point délicat et difficile à contrôler.

La puissance de notre comparaison entre les deux systèmes PC et PT a sans doute été limitée par l'usage métaphylactique des molécules antiparasitaires car elles induisent des ruptures dans la dynamique des populations de SGI et peuvent donc masquer des différences en cours d'installation entre les deux systèmes. Toutefois, les traitements anthelminthiques ont été réalisés dans chacun d'entre eux de façon concomitante ou bien différée de quelques jours seulement. L'alternance entre deux principes actifs dont le spectre d'activité comprend les strongles gastro-intestinaux (lévamisole et lactones macrocycliques), administrés par voie orale, sur la base du poids de l'animal le plus lourd et réalisés à la suite de la communication des résultats coprologiques individuels est un schéma qui respecte un ensemble de bonnes pratiques détaillées plus tôt et largement recommandées à ce jour. On soulignera ici que la réalisation de coprologies individuelles aurait pu représenter une opportunité pour faire le choix d'un ciblage des animaux à traiter. Il n'a cependant pas été retenu étant donné la charge de travail supplémentaire qu'il exigerait des gestionnaires du troupeau et que la décision finale leur est toujours revenue, les auteurs n'agissant que dans un esprit de conseil et n'ayant pas de statut décisionnel.

B. Quelques points d'intérêt dans la conception de notre pâturage cellulaire comparé à d'autres systèmes basés sur les mêmes principes

Les temps de retour sur les parcelles ou cellules sont différents en système PC et PT et bien qu'initialement proches, un écart moyen de 12 jours est relevé en fin d'étude. La signification biologique de cet écart interpelle : en effet, l'intérêt de la connaissance des temps de retour sur

Les parcelles ou cellules résident dans l'estimation d'un possible assainissement naturel des terrains. Or cet assainissement est connu comme étant d'autant plus rapide que les conditions extérieures sont sévères : sécheresse et chaleur intenses et prolongées, froid négatif sur de longues périodes, toute condition extrême qui selon toute vraisemblance n'est pas rencontrée dans le cadre du Mourier sur la durée de l'étude. Ainsi, cette différence assez faible de temps de repos des parcelles entre les deux systèmes n'apparaît *a priori* pas suffisante pour expliquer de fortes divergences d'excrétion des brebis des deux systèmes.

Les temps de séjour, en revanche, sont en adéquation avec les recommandations actuelles et en système PC n'excèdent jamais les 72h. Il est donc raisonnable de penser qu'un effet bénéfique peut être retiré d'un tel système, à savoir la diminution conséquente du risque d'ingestion de larves à la pâture.

A la lueur de ces deux constats et lorsque ce système est comparé à ceux mis en place par Colvin *et al.* (2008) ou Walkdenbrown *et al.* (2013), on est en droit de soupçonner qu'une source possible de la divergence de conclusion entre notre étude et les études australiennes est ce repos insuffisant des parcelles, pourtant nécessaire pour achever la rupture du cycle parasitaire entreprise par le respect de temps de séjour courts.

Si l'on se reporte aux caractéristiques de l'élaboration du pâturage cellulaire utilisé ici, on remarque qu'il a été conçu dans un souci d'équilibre presque parfait entre PC et PT, qui bénéficie d'une taille de cheptel identique mais aussi d'une surface en herbe égale. Cette surface totale n'a pas été modifiée au cours de l'étude et ce souci de partage équitable est à l'origine des résultats obtenus dans le tableau 8 : des temps de retour de 45.4 jours en 2016 et 2017, 47.2 jours en 2018 en système PC pour des temps de retour de 44.6 jours, 38 jours et 35.3 jours respectivement en 2016, 2017 et 2018 pour le système PT soit un écart maximal moyen de 12 jours.

D'après les données rassemblées par Colvin *et al.* (2006), cet écart de 12 jours semble insuffisant pour supposer qu'un assainissement peut avoir lieu sur certaines pâtures (en l'occurrence du système PC) et pas sur d'autres. En effet, les œufs de *Teladorsagia circumcincta* s'embryonnent et éclosent avec succès en 3 à 5 jours à 4°C et même si cette température est inhibitrice du développement, des L3 infestantes peuvent être récupérées à partir de ces œufs après 16 semaines. Après 15 heures d'exposition à des températures de l'ordre de -18°C, les œufs de *Teladorsagia* sont encore capables de s'embryonner et reprendre leur cycle de développement. *Haemonchus contortus* en revanche, présente une plus grande sensibilité des stades libres aux conditions extérieures mais un œuf embryonné est capable de résister 128 jours sur une pâture à des températures moyennes de 4°C. Enfin, une partie des œufs de *Trichostrongylus colubriformis* peuvent demeurer à 4°C durant 12 jours en conditions expérimentales et donner une larve L3 lors du retour de conditions clémentes. Enfin, les trois stades L3 de ces genres montrent de médianes de survie importantes à de faibles températures (respectivement 553, 708 et 825 jours pour *Haemonchus contortus*, *Trichostrongylus colubriformis* et *Teladorsagia circumcincta* à 5°C et 91, 95 et 154 jours respectivement pour une température de 30 °C)

Les informations données ici ne constituent pas un résumé exhaustif des grandes capacités adaptatives des SGI mais elles illustrent correctement la probabilité qu'en milieu tempéré

plusieurs semaines soient nécessaires à un assainissement de pâture, et que cet écart de 12 jours semble *a priori* insuffisant pour supposer qu'il ait lieu dans notre système.

Une modification possible serait d'agrandir le parcellaire et donc en augmentant le nombre total de cellules il serait théoriquement possible de générer des temps de repos des parcelles plus longs, dont les conséquences sur la dynamique des populations parasites présentes pourraient faire l'objet d'une nouvelle évaluation. Il sera probablement intéressant de suivre alors l'impact de temps de repos longs des parcelles sur la qualité nutritionnelle de l'herbe pâturée par les brebis, au sein d'un système dont un avantage proclamé est le « zéro-fauche » : suivant ce principe, le risque de voir les brebis pâturer une herbe dont la valeur nutritionnelle ne serait pas en adéquation avec leurs besoins pourrait être important.

CONCLUSION

Une impasse pharmaceutique se dessine en France concernant les moyens de lutte contre les strongles gastro-intestinaux (SGI) ovins. Face au nombre grandissant d'exploitations confrontées à des parasites résistants aux principales familles de molécules utilisées, la recherche de stratégies limitant le recours aux anthelminthiques est nécessaire. Afin de freiner la dynamique de diffusion ou d'émergence de résistance chez ces parasites, des pistes alternatives prometteuses se distinguent : la sélection génétique d'un hôte résistant, l'utilisation d'alicaments (lutte durant la phase parasitaire) ou encore la gestion du parasitisme au pâturage (lutte contre les stades libres) qui a fait l'objet d'études en Australie sur ces dix dernières années.

Le pâturage cellulaire est un système de conduite inspiré d'un agronome français, implanté et popularisé dans les années 90 en Nouvelle-Zélande où il est toujours utilisé depuis. Né de la volonté d'optimiser l'exploitation des ressources naturelles à disposition des éleveurs, il se caractérise par des mouvements rapides d'animaux concentrés sur des parcelles de faible superficie durant toute l'année ; leurs mouvements sont toujours conditionnés par la qualité de l'herbe disponible et son rythme de pousse, de façon à rester autant que possible en adéquation entre les besoins des ovins et la disponibilité de la ressource.

Si les avantages économiques qu'il offre sont déjà bien établis, son utilisation à des fins de lutte contre les SGI est plus récente : en 2008 et 2013, deux études au long cours (sur cinq à six ans) australiennes, se déroulant en milieu tempéré, montraient que sa mise en œuvre entraînait une réduction de l'intensité d'excrétion en œufs de strongles chez les ovins pâturants (associé à une diminution par deux du nombre annuel de traitements anthelminthiques nécessaires). Qui plus est, ce système semblait modifier les proportions relatives en différentes espèces de SGI connues sur le site d'expérimentation, réduisant principalement la proportion en *Haemonchus contortus* présente.

Notre étude comparative entre un système classique de pâturage tournant et une des variantes existante de pâturage cellulaire semble montrer des résultats plus mitigés relativement à l'intensité d'excrétion en œufs de SGI, n'indiquant pas de réduction de cette dernière chez les brebis conduite en pâturage cellulaire par rapport au système classique. En revanche, elle met en évidence une divergence certaine entre les helminthofaunes des deux systèmes. Le système cellulaire semble défavorable à *Haemonchus contortus*, dont la présence est moins marquée qu'en pâturage tournant.

Ces résultats méritent d'être confirmés par d'autres études, menées à la fois sur de plus longues périodes et sur un plus grand nombre d'élevages. Par ailleurs, des ajustements du protocole de conduite en cellulaire utilisé ici sont probablement nécessaires. Néanmoins, la répercussion négative sur la dynamique de la population d'*Haemonchus contortus* qui se dessine en deux ans d'expérimentation nous encourage à penser que sur un plus long terme, cette approche agronomique de la lutte contre les SGI pourrait constituer un recours intéressant pour les élevages aux prises avec des souches résistantes à multirésistantes et ne pouvant plus avoir recours aux anthelminthiques classiques.

AGREMENT SCIENTIFIQUE

En vue de l'obtention du permis d'imprimer de la thèse de doctorat vétérinaire

Je soussigné, **Philippe JACQUIET**, Enseignant-chercheur, de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse, directeur de thèse, certifie avoir examiné la thèse de **Claire RUIZ-HUIDOBRO** intitulée «**Impact du pâturage cellulaire sur la dynamique des populations de nématodes parasites du tube digestif chez les ovins** » et que cette dernière peut être imprimée en vue de sa soutenance.

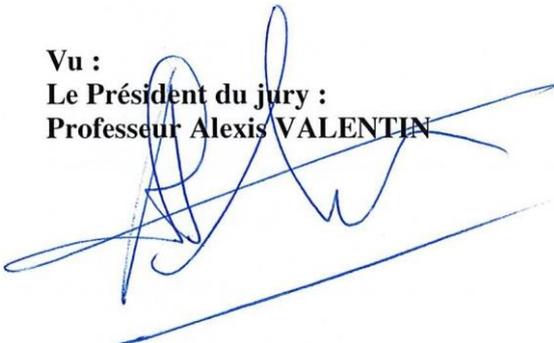
Fait à Toulouse, le 5 septembre 2018
Professeur Philippe JACQUIET
Enseignant chercheur
de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse



Vu:
La Directrice de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse
Isabelle CHMITELIN

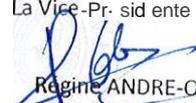


Vu :
Le Président du jury :
Professeur Alexis VALENTIN



Vu et autorisation de l'impression :
Président de l'Université
Paul Sabatier
Monsieur Jean-Pierre VINEL

-Le Président de l'Université Paul Sabatier par délégation,
La Vice-Présidente de la CFVU



Régine ANDRE-OBRECHT

Mlle Claire RUIZ-HUIDOBRO
a été admis(e) sur concours en: 2013
a obtenu son diplôme d'études fondamentales vétérinaires le : 04/09/2017
a validé son année d'approfondissement le : 06/09/2018
n'a plus aucun stage, ni enseignement optionnel à valider



REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

AGUERRE, S., JACQUIET, P., BRODIER, H., BOURNAZEL, J.P., GRISEZ, C., PRÉVOT, F., MICHOT, L., FIDELLE, F., ASTRUC, J.M. et MORENO, C.R., 2018. Resistance to gastrointestinal nematodes in dairy sheep: Genetic variability and relevance of artificial infection of nucleus rams to select for resistant ewes on farms. *Veterinary Parasitology*. Mai 2018. Vol. 256, pp. 161Z23.

ALBA-HURTADO, F. et MUÑOZ-GUZMÁN, M. A., 2013. Immune Responses Associated with Resistance to Haemonchosis in Sheep. *BioMed Research International*. 2013. Vol. 2013, pp. 11Z11.

ANDERSON, D. E, RINGS, M. et ABRAHAMSEN, E. J, 2011. *Current veterinary therapy. food animal practice 5 5, Chapter 22 : Helminth Parasites of the Ruminant Gastrointestinal Tract, p.83-87*. St. Louis Mo. : Saunders Elsevier.

ATHANASIADOU, S, KYRIAZAKIS, I, JACKSON, F et COOP, R.L, 2001. Direct anthelmintic effects of condensed tannins towards different gastrointestinal nematodes of sheep: in vitro and in vivo studies. *Veterinary Parasitology*. août 2001. Vol. 99, n° 3, pp. 2051Z219.

BARGER, I.A. et COX, H.W., 1984. Wool production of sheep chronically infected with *Haemonchus contortus*. *Veterinary Parasitology*. août 1984. Vol. 15, n° 2, pp. 1691Z175.

BARGER, I.A., 1993. Influence of sex and reproductive status on susceptibility of ruminants to nematode parasitism. *International Journal for Parasitology*. juillet 1993. Vol. 23, n° 4, pp. 4631Z469.

BARRÈRE, V., 2013. Efficiency of a genetic test to detect benzimidazole resistant *Haemonchus contortus* nematodes in sheep farms in Quebec, Canada. *Parasitology International*. octobre 2013. Vol. 62, n° 5, pp. 4641Z470.

BELLETT, V, 2006. Adaptation des systèmes ovin viande de l'Ouest. *Fourrages*. 2006. N° 185, pp. 731Z81.

BESIER, R.B., 1993. The ecology of *Haemonchus contortus* in a winter rainfall climate in Australia: the survival of infective larvae on pasture. *Veterinary Parasitology*. janvier 1993. Vol. 45, n° 31Z4, pp. 2931Z306.

BOA, M E, THAMSBORG, S M, KASSUKU, A A et BØGH, H O, 2001. Comparison of Worm Control Strategies in Grazing Sheep in Denmark. . 2001. Vol. 42, n° 1, pp. 13.

BOAG, B et THOMAS, RJ, 1985. The effect of temperature on the survival of infective larvae of nematode. *Journal of Parasitology*. 71 (3). 1985. pp. 3831Z384.

- BOITANI, L. et LINNELL, J. D. C., 2015. Bringing Large Mammals Back: Large Carnivores in Europe. In : *Rewilding European Landscapes*. Cham : Springer International Publishing. pp. 671Z84.
- BRUNET, S., JACKSON, F. et HOSTE, H., 2008. Effects of sainfoin (*Onobrychis viciifolia*) extract and monomers of condensed tannins on the association of abomasal nematode larvae with fundic explants. *International Journal for Parasitology*. juin 2008. Vol. 38, n° 7, pp. 7831Z790.
- BURKE, J.M., MILLER, J.E. et TERRILL, T.H., 2009. Impact of rotational grazing on management of gastrointestinal nematodes in weaned lambs. *Veterinary Parasitology*. juillet 2009. Vol. 163, n° 11Z2, pp. 671Z72.
- CABARET, J., GASNIER, N. et JACQUIET, P., 1998. Faecal egg counts are representative of digestive-tract strongyle worm burdens in sheep and goats. *Parasite*. juin 1998. Vol. 5, n° 2, pp. 1371Z142.
- CABARET, J., 2002. Helminth intensity and diversity in organic meat sheep farms in centre of France. *Veterinary Parasitology*. avril 2002. Vol. 105, n° 1, pp. 331Z47.
- CABARET, J., 2008. Pro and cons of targeted selective treatment against digestive-tract strongyles of ruminants. *Parasite*. septembre 2008. Vol. 15, n° 3, pp. 5061Z509.
- CALLINAN, A.P.L., 1978. The ecology of free-living stages of *Ostertagia circumcincta*. *International Journal for Parasitology*. 1978. Vol. 8, pp. 2331Z237.
- CHARLIER, J., MORGAN, E. R., RINALDI, L., VAN DIJK, J., DEMELER, J., HÖGLUND, J., HERTZBERG, H., RANST, B. Van, HENDRICKX, G., VERCRUYSSSE, J. et KENYON, F., 2014. Practices to optimise gastrointestinal nematode control on sheep, goat and cattle farms in Europe using targeted (selective) treatments. *Veterinary Record*. 13 septembre 2014. Vol. 175, n° 10, pp. 2501Z255.
- 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 Research*. juin 1998. Vol. 29, n° 1, pp. 331Z41.
- CHYLINSKI, C., LHERMINÉ, E., COQUILLE, M. et CABARET, J., 2014. Desiccation tolerance of gastrointestinal nematode third-stage larvae: exploring the effects on survival and fitness. *Parasitology Research*. août 2014. Vol. 113, n° 8, pp. 27891Z2796.
- COLES, G.C., 2006. The detection of anthelmintic resistance in nematodes of veterinary importance. *Veterinary Parasitology*. mars 2006. Vol. 136, n° 31Z4, pp. 1671Z185.
- COLVIN, A.F., WALKDEN-BROWN, S.W., KNOX, M.R. et SCOTT, J.M., 2008. Intensive rotational grazing assists control of gastrointestinal nematodosis of sheep in a cool temperate environment with summer-dominant rainfall. *Veterinary Parasitology*. mai 2008. Vol. 153, n° 11Z2, pp. 1081Z120.

- COLVIN, A.F., WALKDEN-BROWN, S.W. et KNOX, M.R., 2012. Role of host and environment in mediating reduced gastrointestinal nematode infections in sheep due to intensive rotational grazing. *Veterinary Parasitology*. mars 2012. Vol. 184, n° 21Z4, pp. 1801Z192.
- COOP, R. L., SYKES, A. R. et ANGUS, K. W., 1982. The effect of three levels of intake of *Ostertagia Circumcincta* Larvae on growth rate, food intake and body composition of growing lambs. *The Journal of Agricultural Science*. avril 1982. Vol. 98, n° 02, pp. 247.
- COOP, R. L et KYRIAZAKIS, I., 2001. Influence of host nutrition on the development and consequences of nematode parasitism in ruminants. . 2001. pp. 6.
- COSTES-THIRÉ, M., VILLALBA, J. J., HOSTE, H. et GINANE, C., 2018. Increased intake and preference for tannin-rich sainfoin (*Onobrychis viciifolia*) pellets by both parasitized and non-parasitized lambs after a period of conditioning. *Applied Animal Behaviour Science*. juin 2018. Vol. 203, pp. 111Z18.
- CRINGOLI, G., VENEZIANO, V., JACKSON, F., VERCRUYSSSE, J., GREER, A.W., FEDELE, V., MEZZINO, L. et RINALDI, L., 2008. Effects of strategic anthelmintic treatments on the milk production of dairy sheep naturally infected by gastrointestinal strongyles. *Veterinary Parasitology*. octobre 2008. Vol. 156, n° 31Z4, pp. 3401Z345.
- CRUZ-ROJO, M.A., MARTÍNEZ-VALLADARES, M., ÁLVAREZ-SÁNCHEZ, M.A. et ROJO-VÁZQUEZ, F.A., 2012. Effect of infection with *Teladorsagia circumcincta* on milk production and composition in Assaf dairy sheep. *Veterinary Parasitology*. avril 2012. Vol. 185, n° 21Z4, pp. 1941Z200.
- DE LA CHEVROTIÈRE, C, MORENO, C, JACQUIET, P et MANDONNET, N, 2011. La sélection génétique pour la maîtrise des strongyloses gastro-intestinales des petits ruminants. *INRA, Productions animales*. 2011. Vol. 24, n° 3, pp. 2211Z234.
- DIJK, J. van, 2009. Ultraviolet light increases mortality of nematode larvae and can explain patterns of larval availability at pasture. *International Journal for Parasitology*. août 2009. Vol. 39, n° 10, pp. 11511Z1156.
- DOMKE, A. V. M., CHARTIER, C., GJERDE, B., HÖGLUND, J., LEINE, N., VATN, S. et STUEN, S., 2012. Prevalence of anthelmintic resistance in gastrointestinal nematodes of sheep and goats in Norway. *Parasitology Research*. juillet 2012. Vol. 111, n° 1, pp. 1851Z193.
- ECKERT, J. (éd.), 1995. *Guidelines on techniques in coccidiosis research: COST 89/820 - biotechnology*. Luxembourg : Off. for Off. Publ. of the Europ. Communities. EUR, 16602. ISBN 978-92-827-4970-8.
- FERGUSON, D.M., SCHREURS, N.M., KENYON, P.R. et JACOB, R.H., 2014. Balancing consumer and societal requirements for sheep meat production: An Australasian perspective. *Meat Science*. novembre 2014. Vol. 98, n° 3, pp. 4771Z483.

- FRANCE AGRIMER, 2014. *Productivité dans les élevages oins allaitants- les synthèses de FranceAgriMer n°19*. 2014.
- FRAPPAT, B., LUSSON, J-M. et BEAUCHAMP, J-J., 2014. La prairie vue par les éleveurs, les conseillers et les futurs éleveurs en France : quelques pistes pour faciliter l'accès à des systèmes valorisant mieux la prairie. *AFPF*. mars 2014. pp. 331Z42.
- GABA, S., CABARET, J., SAUVÉ, C., CORTET, J. et SILVESTRE, A., 2010. Experimental and modeling approaches to evaluate different aspects of the efficacy of Targeted Selective Treatment of anthelmintics against sheep parasite nematodes. *Veterinary Parasitology*. août 2010. Vol. 171, n° 31Z4, pp. 2541Z262.
- GABA, S., 2005. Modelling macroparasite aggregation using a nematode-sheep system: the Weibull distribution as an alternative to the Negative Binomial distribution? *Parasitology*. 25 avril 2005. Vol. 131, n° 03, pp. 393.
- GEURDEN, T, HOSTE, H, JACQUIET, P, TRAVERSA, D, SOTIRAKI, S, FRANGIPANE DI REGALBONO, A, TZANIDAKIS, N, KOSTOPOULOU, D, GAILLAC, C, PRIVAT, S, GIANGASPERO, A, ZANARDELLO, C, NOÉ, L, VANIMISSETTI, B. et BARTRAM, D, 2014. Anthelmintic resistance and multidrug resistance in sheep gastro-intestinal nematodes in France, Greece and Italy. *Veterinary Parasitology*. mars 2014. Vol. 201, n° 11Z2, pp. 591Z66.
- GIBBS, H. C., 1986. Hypobiosis and the Periparturient Rise in Sheep. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice*. juillet 1986. Vol. 2, n° 2, pp. 3451Z353.
- GIBSON, T. E. et EVERETT, G., 1972. The ecology of the free-living stages of *Ostertagia circumcincta*. *Parasitology*. juin 1972. Vol. 64, n° 03, pp. 451.
- GONZÁLEZ, J. F., HERNÁNDEZ, A., MEEUSEN, E. N.T., RODRÍGUEZ, 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. *Veterinary Parasitology*. juin 2011. Vol. 178, n° 31Z4, pp. 2861Z292.
- GONZÁLEZ, J. F., HERNÁNDEZ, A., MOLINA, J. M., FERNÁNDEZ, A., RAADSMA, H. W., MEEUSEN, E. N.T. et PIEDRAFITA, D., 2008. Comparative experimental *Haemonchus contortus* infection of two sheep breeds native to the Canary Islands. *Veterinary Parasitology*. mai 2008. Vol. 153, n° 31Z4, pp. 3741Z378.
- GRUNER, L, 1982. Migrations of *Trichostrongyle* infective larvae : experiments with ovine parasites in soil. *Ann. Vet. Rech.* 1982. Vol. 13, pp. 501Z59.
- HAFSI, F., CHINA, B. et GHALMI, F., 2012. Le monepantel, un nouvel anthelminthique efficace contre les nématodes gastro-intestinaux des ovins. *Annales de Médecine Veterinaire*. 2012. Vol. 156, n° 74, pp. 661Z74.

HARDY, A., LEBRIS, X. et PELLETIER, P., 2010. Herb'ITCF(R) : Une méthode d'aide à la gestion du pâturage. *Fourrages*. 2010. N° 167, pp. 3991Z415.

HEIN, W. R., PERNTHANER, A., PIEDRAFITA, D. et MEEUSEN, E. N., 2010. Immune mechanisms of resistance to gastrointestinal nematode infections in sheep. *Parasite Immunology*. février 2010.

HOSTE, H. et CABARET, J., 1992. Intergeneric relations between nematodes of the digestive tract in lambs: A multivariate approach. *International Journal for Parasitology*. avril 1992. Vol. 22, n° 2, pp. 1731Z179.

HOSTE, H., MARTINEZ-ORTIZ-DE-MONTELLANO, C., MANOLARAKI, F., BRUNET, S., OJEDA-ROBERTOS, N., FOURQUAUX, I., TORRES-ACOSTA, J.F.J. et SANDOVAL-CASTRO, C.A., 2012. Direct and indirect effects of bioactive tannin-rich tropical and temperate legumes against nematode infections. *Veterinary Parasitology*. mai 2012. Vol. 186, n° 11Z2, pp. 181Z27.

HOSTE, H., TORRES-ACOSTA, J.F.J., SANDOVAL-CASTRO, C.A., MUELLER-HARVEY, I., SOTIRAKI, S., LOUVANDINI, H., THAMSBORG, S.M. et TERRILL, T.H., 2015. Tannin containing legumes as a model for nutraceuticals against digestive parasites in livestock. *Veterinary Parasitology*. août 2015. Vol. 212, n° 11Z2, pp. 51Z17.

HOSTE, H. et TORRES-ACOSTA, J.F.J., 2011. Non chemical control of helminths in ruminants: Adapting solutions for changing worms in a changing world. *Veterinary Parasitology*. août 2011. Vol. 180, n° 11Z2, pp. 1441Z154.

HOSTE, H., JACKSON, F., ATHANASIADOU, S., THAMSBORG, S. M. et HOSKIN, S. O., 2006. The effects of tannin-rich plants on parasitic nematodes in ruminants. *Trends in Parasitology*. juin 2006. Vol. 22, n° 6, pp. 2531Z261.

HUFTY, A., 2001. *Introduction à la climatologie*. 1ère édition. De Boeck.

INSTITUT DE L'ÉLEVAGE, 2016. *Coût de production en élevage ovin*. 2016.

INSTITUT DE L'ÉLEVAGE, 2017. *Les chiffres clefs ovins 2017, productions lait et viande*. 2017.

INTERBEV, 2017a. *Plan de la filière ovine française*. 2017.

INTERBEV, 2017b. *L'essentiel de la filière viande ovine française 2016*. 2017.

JACQUIET, P, FIDELLE, F, GRISEZ, C, PREVOT, F, LIÉNARD, F, BERGEAUD, J-P, SICARD, S, BARILLET, F et ASTRUC, JM, 2011. Sélection sur phénotypes de la résistance aux strongles gastro-intestinaux en centre d'élevage de béliers. *Renc. Rech. Ruminants*. 2011. Vol. 18, pp. 3431Z346.

JACQUIET, P., 2015. Comment rationaliser les traitements anthelminthiques en élevage ovin ? *Le nouveau praticien vétérinaire*. avril 2015. Vol. 8, n° 30, pp. 451Z50.

- JACQUIET, P., FIDELLE, F., LEPETITCOLIN, E., PRIVAT, S., GAILLAC, C., BERGEAUD, J-P. et HOSTE, H., 2014. Etat des lieux de la résistance aux anthelminthiques en France chez les ovins. *Le nouveau praticien vétérinaire*. 2014. Vol. 7, n° 29, pp. 161Z22.
- KAMINSKY, R., GAUVRY, N., SCHORDERET WEBER, 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., 2008a. Identification of the amino-acetonitrile derivative monepantel (AAD 1566) as a new anthelmintic drug development candidate. *Parasitology Research*. 2008a. Vol. 103, n° 4, pp. 931Z939.
- KAMINSKY, R, DUCRAY, P, JUNG, M, CLOVER, R, RUFENER, L, BOUVIER, J, WEBER, S S, WENGER, A, WIELAND-BERGHAUSEN, S., GOEBEL, T., GAUVRY, N., PAUTRAT, F., SKRIPSKY, T., FROELICH, O., KOMOIN-OKA, C, WESTLUND, B, SLUDER, A. et MÄSER, P, 2008b. A new class of anthelmintics effective against drug-resistant nematodes. *Nature*. 2008b. Vol. 452, n° 7184, pp. 1761Z180.
- KENYON, F., SARGISON, N.D., SKUCE, P.J. et JACKSON, F., 2009. Sheep helminth parasitic disease in south eastern Scotland arising as a possible consequence of climate change. *Veterinary Parasitology*. août 2009. Vol. 163, n° 4, pp. 2931Z297.
- KENYON, F, MCBEAN, D, GREER, A W., BURGESS, C G.S., MORRISON, A A., BARTLEY, D J., BARTLEY, Y, DEVIN, L, NATH, M et JACKSON, F, 2013. A comparative study of the effects of four treatment regimes on ivermectin efficacy, body weight and pasture contamination in lambs naturally infected with gastrointestinal nematodes in Scotland. *International Journal for Parasitology: Drugs and Drug Resistance*. décembre 2013. Vol. 3, pp. 771Z84.
- KHADIJAH, P., KHAN, L.P., WALKDEN-BROWN, S.W, BAILEY, J.N. et BOWERS, S.F, 2013. Effect of simulated rainfall timing on faecal moisture and development of *Haemonchus contortus* and *Trichostrongylus colubriformis* eggs to infective larvae. *Veterinary Parasitology*. février 2013. Vol. Volume 192, Issues 1–3, pp. Pages 199-210.
- KNOX, M.R et STEEL, J.W, 1999. The effects of urea supplementation on production and parasitological responses of sheep infected with *Haemonchus contortus* and *Trichostrongylus colubriformis*. *Veterinary Parasitology*. juin 1999. Vol. 83, n° 2, pp. 1231Z135.
- KOTZE, A.C. et PRICHARD, R.K., 2016. Anthelmintic Resistance in *Haemonchus contortus*. In : *Advances in Parasitology*. Elsevier. pp. 3971Z428.
- LACROUX, C. et JACQUIET, P., 2006. *Haemonchus contortus* (Nematoda: Trichostrongylidae) infection in lambs elicits an unequivocal Th2 immune response. *Veterinary Research*. juillet 2006. Vol. 37, n° 4, pp. 6071Z622.
- LANGROVÁ, I, MAKOVCOVÁ, K, VADLEJCH, J, JANKOVSKÁ, I, PETRTÝL, M, FECHTNER, J, KEIL, P, LYTVYNETS, A et BORKOVCOVÁ, M, 2008. Arrested development of sheep strongyles: onset and resumption under field conditions of Central Europe. *Parasitology Research*. juillet 2008. Vol. 103, n° 2, pp. 3871Z392.

- LARSEN, J, VIZARD, A et ANDERSON, N., 1995. Production losses in Merino ewes and financial penalties caused by trichostrongylid infections during winter and spring. *Australian Veterinary Journal*. février 1995. Vol. 72, n° 2, pp. 581Z63.
- LAWRENCE, K, LEATHWICK, D, RHODES, A, JACKSON, R, HEUER, C, POMROY, W, WEST, D, WAGHORN, T et MOFFAT, J, 2007. Management of gastrointestinal nematode parasites on sheep farms in New Zealand. *New Zealand Veterinary Journal*. octobre 2007. Vol. 55, n° 5, pp. 2281Z234.
- LE GALL, A, FAVERDIN, P, THOMET, P et VERITÉ, R, 2001. Le pâturage en Nouvelle-Zélande : des idées pour les régions arrosées d'Europe. . 2001. pp. 21.
- LEARMOUNT, J., GETTINBY, G., BOUGHTFLOWER, V., STEPHENS, N., HARTLEY, K., ALLANSON, P., GUTIERREZ, A. B., PEREZ, D. et TAYLOR, M., 2015. Evaluation of 'best practice' (SCOPS) guidelines for nematode control on commercial sheep farms in England and Wales. *Veterinary Parasitology*. janvier 2015. Vol. 207, n° 31Z4, pp. 2591Z265.
- LEATHWICK, D.M. et BESIÉ, R.B., 2014. The management of anthelmintic resistance in grazing ruminants in Australasia—Strategies and experiences. *Veterinary Parasitology*. juillet 2014. Vol. 204, n° 11Z2, pp. 441Z54.
- LEATHWICK, D.M., WAGHORN, T.S., MILLER, C.M., CANDY, P.M. et OLIVER, A.-M.B., 2012. Managing anthelmintic resistance – Use of a combination anthelmintic and leaving some lambs untreated to slow the development of resistance to ivermectin. *Veterinary Parasitology*. juin 2012. Vol. 187, n° 11Z2, pp. 2851Z294.
- LOUIE, K., VLASSOFF, A. et MACKAY, A.D., 2007. Gastrointestinal nematode parasites of sheep: A dynamic model for their effect on liveweight gain. *International Journal for Parasitology*. février 2007. Vol. 37, n° 2, pp. 2331Z241.
- LUMARET, J-P. et ERROUSSI, F., 2002. Use of anthelmintics in herbivores and evaluation of risks for the non target fauna of pastures. *Veterinary Research*. septembre 2002. Vol. 33, n° 5, pp. 5471Z562.
- MAC COSKER, T, 2000. Cell Grazing : the first 10 years in Australia. *Tropical Grasslands*. 2000. Vol. 34, pp. 2071Z218.
- MAHIEU, M, FERRÉ, B, MADASSAMY, M et MANDONNET, N, 2014. Fifteen years later, anthelmintic resistances have dramatically spread over goat farms in Guadeloupe. *Veterinary Parasitology*. septembre 2014. Vol. 205, n° 11Z2, pp. 3791Z384.
- MALLET, S. et KERBOEUF, D., 1986. Winter survival of third stage *Trichostrongylus colubriformis* larvae : effects on infectivity and fecundity of adult worms. *Research in Veterinary Science*. 1986. N° 41, pp. 2651Z267.
- MAVROT, F, HERTZBERG, H et TORGERSON, P, 2015. Effect of gastro-intestinal nematode infection on sheep performance: a systematic review and meta-analysis. *Parasites & Vectors*. décembre 2015. Vol. 8, n° 1.

- MCKELLAR, Q A. et JACKSON, F, 2004. Veterinary anthelmintics: old and new. *Trends in Parasitology*. octobre 2004. Vol. 20, n° 10, pp. 4561Z461.
- MCLEAY, L. M., ANDERSON, N., BINGLEY, J. B. et TITCHEN, D. A., 1973. Effects on abomasal function of *Ostertagia circumcincta* infections in sheep. *Parasitology*. avril 1973. Vol. 66, n° 02, pp. 241.
- MCRAE, K M, MCEWAN, J C, DODDS, K G et GEMMELL, N J, 2014. Signatures of selection in sheep bred for resistance or susceptibility to gastrointestinal nematodes. *BMC Genomics*. 2014. Vol. 15, n° 1, pp. 637.
- MÉTÉOCIEL, 2018. Météo Saint-Priest-Ligoure (87800). [en ligne]. juillet 2018. [Consulté le 28 juillet 2018]. Disponible à l'adresse : http://www.meteociel.fr/previsions/31903/saint_priest_ligoure.htm
- MEURET, M, GARDE, L et MOULIN, C-H, 2017. Élevage et loups en France: historique, bilan et pistes de solution. . 2017. pp. 15.
- MILHES, M., GUILLERM, M., ROBIN, M., EICHSTADT, M., ROY, C., GRISEZ, C., PRÉVOT, F., LIÉNARD, E., BOUHSIRA, E., FRANC, M. et JACQUIET, P., 2017. A real-time PCR approach to identify anthelmintic-resistant nematodes in sheep farms. *Parasitology Research*. mars 2017. Vol. 116, n° 3, pp. 9091Z920.
- MILLER, J. E. et HOROHOV, D. W., 2006. Immunological aspects of nematode parasite control in sheep1. *Journal of Animal Science*. 1 avril 2006. Vol. 84, n° suppl_13, pp. E1241ZE132.
- MIN, B. R. et HART, S. P., 2003. Tannins for suppression of internal parasites. *J. Anim. Sci*. 2003. N° 80, pp. 1021Z109.
- MINHO, A.P., BUENO, I.C.S., LOUVANDINI, H., JACKSON, F., GENNARI, S.M. et ABDALLA, A.L., 2008. Effect of *Acacia molissima* tannin extract on the control of gastrointestinal parasites in sheep. *Animal Feed Science and Technology*. novembre 2008. Vol. 147, n° 11Z3, pp. 1721Z181.
- MONTOSSI, F., 2013. Sustainable sheep production and consumer preference trends: Compatibilities, contradictions, and unresolved dilemmas. *Meat Science*. décembre 2013. Vol. 95, n° 4, pp. 7721Z789.
- MORGAN, E.R. et VAN DIJK, J., 2012. Climate and the epidemiology of gastrointestinal nematode infections of sheep in Europe. *Veterinary Parasitology*. septembre 2012. Vol. 189, n° 1, pp. 81Z14.
- MUPEYO, B., BARRY, T.N., POMROY, W.E., RAMÍREZ-RESTREPO, C.A., LÓPEZ-VILLALOBOS, N. et PERNTHANER, A., 2011. Effects of feeding willow (*Salix* spp.) upon death of established parasites and parasite fecundity. *Animal Feed Science and Technology*. février 2011. Vol. 164, n° 11Z2, pp. 81Z20.

- O'CONNOR, L.J., 2006. Ecology of the free-living stages of major trichostrongylid parasites of sheep. *Veterinary Parasitology*. novembre 2006. Vol. 142, n° 11Z2, pp. 11Z15.
- PANDEY, V.S., 1993. Effect of temperature and relative humidity on survival of eggs and infective larvae of *Ostertagia circumcincta*. *Veterinary Parasitology*. septembre 1993. Vol. 49, n° 21Z4, pp. 2191Z227.
- PAPADOPOULOS, E., GALLIDIS, E. et PTOCHOS, S., 2012. Anthelmintic resistance in sheep in Europe: A selected review. *Veterinary Parasitology*. septembre 2012. Vol. 189, n° 1, pp. 851Z88.
- PARAUD, C., MARCOTTY, T., LESPINE, A., SUTRA, J.F., PORS, I. et DEVOS, I., 2016. Cross-resistance to moxidectin and ivermectin on a meat sheep farm in France. *Veterinary Parasitology*. août 2016. Vol. 226, pp. 881Z92.
- PARAUD, C., PORS, I., MARCOTTY, T. et DEVOS, J., 2014. First description of strongyle resistance to macrocyclic lactones in a sheep flock in France. *Renc. Rech. Ruminants*. 2014. Vol. 21, pp. 3251Z328.
- PIÉDALLU, B, QUENETTE, P-Y, MOUNET, C, LESCUREUX, N, BORELLI-MASSINES, M, DUBARRY, E, CAMARRA, J-J et GIMENEZ, O, 2016. Spatial variation in public attitudes towards brown bears in the French Pyrenees. *Biological Conservation*. mai 2016. Vol. 197, pp. 901Z97.
- PIEDRAFITA, D, RAADSMA, H W., GONZALEZ, J et MEEUSEN, E, 2010. Increased production through parasite control: can ancient breeds of sheep teach us new lessons? *Trends in Parasitology*. décembre 2010. Vol. 26, n° 12, pp. 5681Z573.
- PRACHE, S, BENOIT, M, BOUTONNET, J-P, FRANÇOIS, D et SAGOT, L, 2013. La production d'ovins viande en France. *Revue Viandes et Produits carnés*. juin 2013. Vol. 29, pp. 11Z10.
- PROGRAMME STRUCTUREL HERBE ET FOURRAGES EN LIMOUSIN, 2013. *Guide du pâturage*. 2013.
- R CORE TEAM 2017, 2017. *R: A language and environment for statistical computing*. 2017. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- RAYNAUD, JP., LEROY, JC., VIRAT, M. et NICOLAS, JA., 1979. Une technique de coproscopie quantitative polyvalente par dilution et sédimentation en eau, flottaison en solution dense (D.S.F.) et numération en lame de MacMaster. *Revue de Médecine Vétérinaire*. 1979. Vol. 130, n° 3, pp. 3771Z404.
- RÉSEAU D'ÉLEVAGE, 2005. *Elevage ovin cultures intensif- Réseau ovin viande Poitou-Charentes*. 2005.
- RÉSEAUX D'ÉLEVAGE, 2010. *La gestion du pâturage en système ovin transhumant dans les Pyrénées*. 2010. coll.Références.

RÉSEAUX D'ÉLEVAGE, 2011. *Système ovin et cultures pérennes*. 2011. coll. Références.

RÉSEAUX D'ÉLEVAGE, 2012. *Système spécialisé ovin viande, production d'agneaux légers*. 2012. coll. Références.

RÉSEAUX D'ÉLEVAGE, 2013. *Concilier efficacité du travail et système herbager en élevage ovin en Pays de la Loire*. 2013. Coll. Théma.

RINALDI, L, CATELAN, D, MUSELLA, V, CECCONI, L, HERTZBERG, H, TORGERSON, P R., MAVROT, F, DE WAAL, T, SELEMETAS, N, COLL, T, BOSCO, A, BIGGERI, A et CRINGOLI, G, 2015. *Haemonchus contortus*: spatial risk distribution for infection in sheep in Europe. *Geospatial Health*. 19 mars 2015. Vol. 9, n° 2, pp. 325.

RINSCHÉDE, G., 1977. Situation récente de la transhumance ovine dans les Pyrénées françaises. *Revue géographique des Pyrénées et du Sud-Ouest*. 1977. Vol. 48, n° 4, pp. 3871Z408.

ROSE, H., RINALDI, L., BOSCO, A., MAVROT, F., DE WAAL, T., SKUCE, P., CHARLIER, J., TORGERSON, P. R., HERTZBERG, H., HENDRICKX, G., VERCRUYSSÉ, J. et MORGAN, E. R., 2015. Widespread anthelmintic resistance in European farmed ruminants: a systematic review. *Veterinary Record*. 23 mai 2015. Vol. 176, n° 21, pp. 5461Z546.

ROSE, H, CAMINADE, C, BOLAJOKO, M B, PHELAN, P, VAN DIJK, J, BAYLIS, M, WILLIAMS, D et MORGAN, E R., 2016. Climate-driven changes to the spatio-temporal distribution of the parasitic nematode, *Haemonchus contortus*, in sheep in Europe. *Global Change Biology*. mars 2016. Vol. 22, n° 3, pp. 12711Z1285.

ROSSANIGO, C.E. et GRUNER, L., 1995. Moisture and temperature requirements in faeces for the development of free-living stages of gastrointestinal nematodes of sheep, cattle and deer. *Journal of Helminthology*. décembre 1995. Vol. 69, n° 04, pp. 357.

SAGOT, L et POTTIER, E, 2010. *Note d'état corporel des brebis : grille de notation et recommandations*. octobre 2010. Institut de l'élevage.

SARGISON, N. D., JACKSON, F., WILSON, D. J., BARTLEY, D. J., PENNY, C. D. et GILLEARD, J. S., 2010. Characterisation of milbemycin-, avermectin-, imidazothiazole- and benzimidazole-resistant *Teladorsagia circumcincta* from a sheep flock. *Veterinary Record*. 29 mai 2010. Vol. 166, n° 22, pp. 6811Z686.

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*. *Veterinary Parasitology*. novembre 2013. Vol. 198, n° 11Z2, pp. 1661Z171.

SHEEP GENETICS, 2017. *Visual Sheep Scores*. septembre 2017. Australian Wool Innovation Limited.

SKINNER, WD et TODD, KS Jr, 1980. Lateral Migration of *Haemonchus contortus* larvae on pasture. *American Journal of Veterinary Research*. 1980. Vol. 41, n° 3, pp. 3951Z398.

STEAR, M. J., BISHOP, S. C., HENDERSON, N. G. et SCOTT, I., 2003. A key mechanism of pathogenesis in sheep infected with the nematode *Teladorsagia circumcincta*. *Animal Health Research Reviews*. juin 2003. Vol. 4, n° 01, pp. 451Z52.

STEAR, M.J., MITCHELL, S., STRAIN, S., BISHOP, S.C. et MCKELLAR, Q.A., 2000. The influence of age on the variation among sheep in susceptibility to natural nematode infection. *Veterinary Parasitology*. mars 2000. Vol. 89, n° 11Z2, pp. 311Z36.

TARIQ, K A, 2015. A Review of the Epidemiology and Control of Gastrointestinal Nematode Infections of Small Ruminants. *Proceedings of the National Academy of Sciences, India Section B: Biological Sciences*. juin 2015. Vol. 85, n° 2, pp. 6931Z703.

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 Immunology*. août 2007. Vol. 29, n° 8, pp. 4151Z424.

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. *Veterinary Parasitology*. mai 2007. Vol. 146, n° 11Z2, pp. 1171Z122.

TIPHINE, L., 2017. *Bilan de contrôle de performance ovins allaitants-campagne 2016*. 2017. Institut de l'élevage.

TORRES-ACOSTA, J.F.J. et HOSTE, H., 2008. Alternative or improved methods to limit gastro-intestinal parasitism in grazing sheep and goats. *Small Ruminant Research*. juillet 2008. Vol. 77, n° 21Z3, pp. 1591Z173.

VAN DEN BROM, R., MOLL, L., KAPPERT, C. et VELLEMA, P., 2015. *Haemonchus contortus* resistance to monepantel in sheep. *Veterinary Parasitology*. avril 2015. Vol. 209, n° 31Z4, pp. 2781Z280.

VAN DIJK, J. et MORGAN, E. R., 2011. The influence of water on the migration of infective trichostrongyloid larvae onto grass. *Parasitology*. mai 2011. Vol. 138, n° 06, pp. 7801Z788.

VAN WYK, Jan A. et MAYHEW, Estelle, 2013. Morphological identification of parasitic nematode infective larvae of small ruminants and cattle: A practical lab guide. *Onderstepoort J Vet Res*. 4 mars 2013. Vol. 80, n° 1.

VANWYK, J, CABARET, J et MICHAEL, L, 2004. Morphological identification of nematode larvae of small ruminants and cattle simplified. *Veterinary Parasitology*. 6 février 2004. Vol. 119, n° 4, pp. 2771Z306.

WALKDEN-BROWN, S. W., COLVIN, A. F., HALL, E., KNOX, M. R., MACKAY, D. F. et SCOTT, J. M., 2013. Grazing systems and worm control in sheep: a long-term case study involving three management systems with analysis of factors influencing faecal worm egg count. *Animal Production Science*. 2013. Vol. 53, n° 8, pp. 765.

WALLACE, D.S, BAIRDEN, K., DUNCAN, J.L, ECKERSALL, P.D, FISHWICK, G, GILL, M., HOLMES, P.H, MC KELLAR, Q.A, MURRAY, M., PARKINS, J.J et STEAR, M.J, 1998. The influence of dietary supplementation with urea on resilience and resistance to infection with *Haemonchus contortus*. *Parasitology*. 1998. Vol. 116, pp. 67–72.

WANG, Tong, 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. *Veterinary Parasitology*. août 2014. Vol. 204, n° 31Z4, pp. 2581Z264.

WILSON, K, 2002. Heterogeneities in macroparasite infections: patterns and processes. *The Ecology of Wildlife Diseases*. 2002. pp. 61Z44.

ZAJAC, Anne M. et CONBOY, Gary A, 2012. *Veterinary Clinical Parasitology*. Wiley-Blackwell.

ZAJAC, Anne M., 2006. Gastrointestinal Nematodes of Small Ruminants: Life Cycle, Anthelmintics, and Diagnosis. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice*. novembre 2006. Vol. 22, n° 3, pp. 5291Z541.

RUIZ-HUIDOBRO Claire

Titre : Impact du pâturage cellulaire sur la dynamique des populations de strongles gastro-intestinaux chez les ovins

Résumé : Le contrôle des strongles gastro-intestinaux (SGI) en élevage ovin constitue chaque année un défi plus important : l'éleveur est aujourd'hui confronté à l'émergence et la diffusion rapide de souches résistantes (voire multirésistantes) aux principaux anthelminthiques de notre pharmacopée, chez des espèces de SGI particulièrement pathogènes chez l'ovine. Face aux limites de la chimiothérapie, trouver des solutions alternatives et durables de lutte limitant l'émergence ou la diffusion de ces résistances dans l'élevage français devient un enjeu majeur. Parmi elles, l'instrumentalisation du pâturage cellulaire éveille l'intérêt depuis une dizaine d'années. A l'origine conçu pour limiter les charges opérationnelles et structurelles de l'éleveur, il se révèle être un atout dans le contrôle des strongyloses gastro-intestinales ovines en milieu tropical et tempéré australien. Ce travail de recherche montre que le système cellulaire semble affecter rapidement la composition de l'helminthofaune, avec une proportion en *Haemonchus contortus* diminuée en pâturage cellulaire comparativement à un système, plus classique, de pâturage tournant mené en parallèle et dans les mêmes conditions pédoclimatiques. Ces résultats doivent encore être confortés par des études ultérieures mais pourraient indiquer que le pâturage cellulaire présente un intérêt certain dans la lutte contre les SGI en France.

Mots-clefs : strongles gastro-intestinaux, ovin, pâturage cellulaire, pâturage tournant

Title : Impact assessment of a cell-grazing system on the population dynamics of gastrointestinal Nematodes of sheep

Abstract : The control of gastrointestinal nematodosis (GIN) of sheep is every year a hardest challenge : farmers are now facing the emergence and spread of strains showing resistance (to multiresistance) towards anthelmintic treatments traditionally used against pathogenic species of GIN. In order to deal with this situation, there is a need for alternative strategies which can help to integrated parasite management on farms. Among them, cell grazing system proved to be an effective way in reducing GIN of sheep under tropical regions and under cool temperate regions of Australia. This study results strongly suggest that cell-grazing management system affects fairly soon the nematode species proportions, with a reduction in *Haemonchus contortus* proportion observed when compared with a typical rotational grazing management system established in the same pedoclimatic conditions. Although these findings are still to be confirmed by further experiments, they give hope for cell-grazing management being an effective way of GIN control in french sheep farms.

Key-words : Gastrointestinal Nematodes, sheep, cell-grazing management, rotational grazing management