



<http://portaildoc.univ-lyon1.fr>

Creative commons : Attribution - Pas d'Utilisation Commerciale
- Pas de Modification 4.0 France (CC BY-NC-ND 4.0)



<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.fr>

CAMPUS VÉTÉRINAIRE DE LYON

Année 2025 - Thèse n° 149

EVALUATION DE LA RESISTANCE DES STRONGLES GASTRO-INTESTINAUX AU LEVAMISOLE ET AUX LACTONES MACROCYCLIQUES CHEZ DES BOVINS EN ESTIVE DANS LE CANTAL

THESE

Présentée à l'Université Claude Bernard Lyon 1
(Médecine – Pharmacie)

Et soutenue publiquement le 16 décembre 2025
Pour obtenir le titre de Docteur Vétérinaire

Par

ROUSSEL Adrien

CAMPUS VÉTÉRINAIRE DE LYON

Année 2025 - Thèse n° 149

EVALUATION DE LA RESISTANCE DES STRONGLES GASTRO-INTESTINAUX AU LEVAMISOLE ET AUX LACTONES MACROCYCLIQUES CHEZ DES BOVINS EN ESTIVE DANS LE CANTAL

THESE

Présentée à l'Université Claude Bernard Lyon 1
(Médecine – Pharmacie)

Et soutenue publiquement le 16 décembre 2025
Pour obtenir le titre de Docteur Vétérinaire

Par

ROUSSEL Adrien

Liste des enseignants (20/11/2025)

NOM	Prénom	Statut
ABITBOL	Marie	Professeur
ALVES DE OLIVEIRA	Laurent	Maître de conférences
ARCANGIOLI	Marie-Anne	Professeur
BARRETT	Laura	Maître de conférences
AYRAL	Florence	Maître de conférences
BECKER	Claire	Professeur
BELLUCO	Sara	Professeur
BENAMOU - SMITH	Agnès	Maître de conférences
BERNY	Philippe	Professeur
BLONDEL	Margaux	Maître de conférences
BONNET	Jeanne-Marie	Professeur Émérite
BOURGOIN	Gilles	Maître de conférences
BRASSARD	Colline	Maître de conférences
BRUTO	Maxime	Maître de conférences
BRUYERE	Pierre	Professeur
BUFF	Samuel	Professeur
BURONFOSSE	Thierry	Professeur
CACHON	Thibaut	Maître de conférences
CADORE	Jean-Luc	Professeur Émérite
CALLAIT-CARDINAL	Marie-Pierre	Professeur
CANNON	Leah	Maître de conférences
CHABANNE	Luc	Professeur
CHALVET-MONFRAY	Karine	Professeur
CHANOIT	Guillaume	Professeur
CHETOT	Thomas	Maître de conférences
DE BOYER DES ROCHES	Alice	Professeur
DELIGNETTE-MULLER	Marie-Laure	Professeur
DJELOUADJI	Zorée	Professeur
ESCRIOU	Catherine	Maître de conférences
GALIA	Wessam	Maître de conférences
GILLET	Benoit	Maître de conférences
GILOT	Emmanuelle	Professeur
GONTHIER	Alain	Maître de conférences
HUGONNARD	Marine	Maître de conférences
HUMBERT	Alexandre	Maître de conférences Stagiaire

JUNOT	Stéphane	Professeur
KHOSH NEVIS	Mehrdad	Maître de conférences
KIM	Mark	Maître de conférences Stagiaire
KODJO	Angeli	Professeur
KRAFFT	Émilie	Maître de conférences
LAABERKI	Maria-Halima	Professeur
LE GRAND	Dominique	Professeur
LEBLOND	Agnès	Professeur
LEDOUX	Dorothée	Maître de conférences
LEFEBVRE	Sébastien	Maître de conférences
LEGROS	Vincent	Maître de conférences
LEPAGE	Olivier	Professeur
LOUZIER	Vanessa	Professeur
LURIER	Thibaut	Maître de conférences
MAGNIN	Mathieu	Maître de conférences
MARCHAL	Thierry	Professeur
MOSCA	Marion	Maître de conférences
MOUNIER	Luc	Professeur
PEROZ	Carole	Maître de conférences
PIN	Didier	Professeur
PONCE	Frédérique	Professeur
PORPHYRE	Thibaud	Professeur Stagiaire
PORSMOQUER	Charles	Maître de conférences Stagiaire
PORTIER	Karine	Professeur
POUZOT-NEVORET	Céline	Professeur
PROUILLAC	Caroline	Professeur
RACHED	Antoine	Maître de conférences
REMY	Denise	Professeur
RENE MARTELLET	Magalie	Maître de conférences
ROGER	Thierry	Professeur
SAWAYA	Serge	Maître de conférences
SCHRAMME	Michaël	Professeur
SERGENTET	Delphine	Professeur
STORCK	Fanny	Professeur
TORTEREAU	Antonin	Maître de conférences
VICTONI	Tatiana	Maître de conférences
ZENNER	Lionel	Professeur

Remerciements au jury

À Madame la Professeure Marie-Anne Arcangioli,

De VetAgro Sup, campus vétérinaire de Lyon,

Qui m'a fait l'honneur d'accepter la présidence de ce jury de thèse,

Mes hommages les plus respectueux.

À Monsieur le Docteur Gilles Bourgoin,

De VetAgro Sup, campus vétérinaire de Lyon,

Pour son accompagnement, ses conseils et ses corrections bienveillantes,

Mes plus sincères remerciements.

À Monsieur le Professeur Lionel Zenner,

De VetAgro Sup, campus vétérinaire de Lyon,

Qui m'a fait l'honneur d'accepter de siéger à ce jury de thèse,

Remerciements distingués.

À Monsieur le Docteur vétérinaire Laurent Dravigney,

De la clinique vétérinaire de la Haute Auvergne, Saint-Flour,

Pour son aide cruciale dans l'élaboration et la réalisation de cette thèse,

Mes plus sincères remerciements.

Table des matières

LISTE DES ANNEXES	9
LISTE DES FIGURES	11
LISTE DES TABLEAUX	13
LISTE DES ABREVIATIONS	15
INTRODUCTION	17
PARTIE 1 : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE.....	19
I. LES STRONGLES GASTRO-INTESTINAUX DES BOVINS	19
1. <i>Principales espèces de strongles gastro-intestinaux</i>	19
2. <i>Cycle biologique</i>	19
3. <i>Epidémiologie</i>	21
4. <i>Pathogénie</i>	22
5. <i>Développement d'une immunité</i>	23
6. <i>Impacts zootechniques et économiques</i>	24
7. <i>Evaluation de l'infestation parasitaire</i>	25
a. Par coproscopie quantitative	25
b. Par dosage du pepsinogène sérique	27
c. Par dosage des anticorps anti-O. ostertagi	27
8. <i>Identification des espèces de strongles</i>	28
a. Identification morphologique des espèces après coproculture.....	28
b. Identification des espèces par analyses moléculaires.....	29
II. METHODES DE LUTTE CONTRE LES STRONGLES GASTRO-INTESTINAUX.....	30
1. <i>Adaptation de la conduite d'élevage</i>	30
a. Stratégie préventive	30
b. Stratégie évasive	30
c. Stratégie de dilution	30
2. <i>Utilisation d'anthelminthiques</i>	31
a. Les benzimidazoles.....	31
b. Les imidazothiazoles.....	32
c. Les lactones macrocycliques	33
III. APPARITION DE RESISTANCES AUX ANTHELMINTHIQUES	35
1. <i>Définitions</i>	35
2. <i>Facteurs de risque d'apparition de résistance</i>	36
3. <i>Evaluation de la résistance</i>	38
a. Taux de réduction d'excrétion fécale (TREF).....	38
b. Tests in vitro	40
c. Tests moléculaires.....	40
4. <i>Etat des lieux de la résistance</i>	41
PARTIE 2 : ETUDE EXPERIMENTALE.....	43
I. MATERIEL ET METHODE	43
1. <i>Recrutement</i>	43
2. <i>Protocole de terrain</i>	44
3. <i>Analyses coproscopiques et fiabilité du TREF</i>	46
a. Méthode d'analyse coproscopique	46
b. Fiabilité du TREF	46
4. <i>Coprocultures et identification larvaire</i>	47
5. <i>Données météorologiques</i>	49
6. <i>Analyses statistiques</i>	49

7.	<i>Questionnaire</i>	51
8.	<i>Ethique</i>	51
II.	RESULTATS.....	52
1.	<i>Synthèse des travaux réalisés</i>	52
2.	<i>Fiabilité des TREF</i>	52
3.	<i>Résultats des TREF</i>	53
a.	Pour le lévamisole (2024).....	53
b.	Pour la doramectine (2023)	54
c.	Pour la moxidectine (DOR-MOX 2023 et IVM-MOX 2024).....	55
d.	Pour l'ivermectine (2024).....	56
e.	Récapitulatif des statuts des élevages	57
4.	<i>Evaluation de l'impact d'un traitement rémanent ou non</i>	58
a.	Au sein du lot DOR-LEV	58
b.	Au sein du lot LEV.....	59
5.	<i>Résultats des coprocultures</i>	59
a.	Pour les animaux traités au lévamisole.....	59
b.	Pour les animaux traités à la doramectine.....	59
c.	Pour les animaux traités à la moxidectine	60
d.	Pour les animaux traités à l'ivermectine	60
6.	<i>Résultats des mesures de GMQ</i>	61
a.	Par lot	61
b.	Selon la molécule utilisée.....	62
c.	Selon l'année.....	62
d.	Selon le statut de résistance	63
e.	Par race	64
7.	<i>Données météorologiques</i>	64
8.	<i>Résultats du questionnaire</i>	65
a.	Durée de pâturage avant le début de l'étude	65
b.	Habitudes de traitement	66
III.	DISCUSSION	68
1.	<i>Synthèse des résultats</i>	68
a.	Concernant les TREF	68
b.	Concernant les coprocultures	68
c.	Concernant les GMQ.....	69
d.	Concernant l'excrétion deux mois post-traitement	69
2.	<i>Critique du matériel et méthode</i>	69
a.	Recrutement	69
b.	Protocole des TREF.....	69
c.	Protocole des coprocultures	70
d.	Récupération des données météorologiques	70
3.	<i>Interprétation des résultats</i>	71
a.	Un niveau de résistance important	71
b.	Des résistances retrouvées majoritairement chez un seul genre	72
c.	Facteurs de risque d'apparition de résistances.....	72
d.	Impact de la résistance aux AH sur la croissance.....	72
e.	Impact du traitement AH sur la croissance	73
f.	Transmission des résistances entre les élevages	73
4.	<i>Perspectives d'application</i>	74
5.	<i>Perspectives de recherche</i>	75
	CONCLUSION	77
	BIBLIOGRAPHIE	79
	ANNEXES	89

Liste des annexes

Annexe 1 : Composition des troupeaux étudiés par lot

Annexe 2 : Détail des étapes du protocole de coproscopie

Annexe 3 : Arbre d'identification des larves de strongles gastro-intestinaux et respiratoires des bovins

Annexe 4 : Questionnaire rempli auprès des éleveurs participant à l'étude

Liste des figures

Figure 1 : Schéma du cycle biologique d' <i>Ostertagia ostertagi</i>	20
Figure 2: Œufs de strongle (a), de <i>Nematodirus</i> sp. (b) et de <i>Strongyloides</i> sp. (c) vus au microscope optique, x200.....	26
Figure 3 : Importance de la population refuge dans la sélection de résistances aux anthelminthiques	36
Figure 4 : Couloir de contention de la COPTASA	45
Figure 5 : Courbe permettant de déterminer la fiabilité d'un TREF à partir des résultats de coproscopie pré-traitement	47
Figure 6 : Photo d'une coproculture	48
Figure 7 : Photos d'une larve L3 de <i>C. oncophora</i> (droite) et de l'extrémité crâniale d'une larve de <i>C. oncophora</i> (gauche)	48
Figure 8: Résultats du nombre d'œufs lus en pré-traitement et évaluation de la fiabilité des TREF par élevage et molécule testée	52
Figure 9 : Evolution de l'excrétion à V1, V2 et V3 pour les animaux prélevés à trois reprises au sein du lot DOR-LEV	58
Figure 10 : Evolution de l'excrétion à V1 et V3 pour les animaux prélevés deux fois au sein du lot LEV	59
Figure 11 : Excrétion moyenne en fonction de la durée de pâturage avant administration d'un traitement anthelminthique.....	66

Liste des tableaux

Tableau I : Principales caractéristiques des benzimidazoles utilisées en médecine bovine en France	32
Tableau II : Principales caractéristiques des lactones macrocycliques utilisées en médecine bovine en France	34
Tableau III : Nombre minimum d'animaux nécessaire à la validité d'un TREF selon la moyenne d'œufs lus	39
Tableau IV : Interprétation d'un TREF selon les intervalles de confiance pour un protocole clinique	39
Tableau V : Tests in vitro permettant de détecter une résistance aux AH chez les ruminants	40
Tableau VI : GMQ moyens pour la classe d'âge 120-210 jours en races Aubrac et Salers	45
Tableau VII : Seuils de GMQ motivant un second traitement anthelminthique	45
Tableau VIII : Domaines d'application privilégiés des différentes méthodes d'analyse statistique	50
Tableau IX : Résultats des TREF pour le lévamisole	53
Tableau X : Résultats des TREF pour la doramectine	54
Tableau XI : Résultats des TREF pour la moxidectine	55
Tableau XII : Résultats des TREF pour l'ivermectine	56
Tableau XIII : Récapitulatif des résultats des TREF par élevage	57
Tableau XIV : Synthèse des larves observées aux coprocultures post-traitement	60
Tableau XV : Résultats des mesures de GMQ pour le lot LEV	61
Tableau XVI : Résultats des mesures de GMQ pour le lot DOR-LEV	61
Tableau XVII : Résultats des mesures de GMQ pour le lot DOR-MOX	62
Tableau XVIII : Résultats des tests de Student entre les écarts aux seuils de GMQ obtenus en 2023 et 2024	63
Tableau XIX : Comparaison des écarts aux seuils de GMQ selon le statut de résistance	63
Tableau XX : Résultats des GMQ par race au sein d'un même lot selon le traitement anthelminthique utilisé	64
Tableau XXI : Données météorologiques moyennes pendant la période de mesure de GMQ pour chaque lot	64
Tableau XXII : Durée de pâturage et excrétion moyenne par élevage au début du protocole	65
Tableau XXIII : Habitudes de traitement anthelminthique par élevage	67

Liste des abréviations

AH : Anthelminthique
BZ : Benzimidazole
DOR : Doramectine
GMQ : Gain Moyen Quotidien
IA : Insémination Artificielle
IVM : Ivermectine
LEV : Lévamisole
LM : Lactone Macrocyclique
MOX : Moxidectine
OIE : Organisation Mondiale de la Santé Animale
RDO : Ratio Densité Optique
RESPECT ! : Responsabilisation de l'Emploi des Strongylicide par une Prescription basée sur l'Efficacité et la Cohérence des Traitements
SGI : Strongles Gastro-Intestinaux
TCE : Temps de Contact Effectif
V1 : Première Visite
V2 : Deuxième Visite
V3 : Troisième Visite
WAAVP : World Association for the Advancement of Veterinary Parasitology

INTRODUCTION

Les strongles gastro-intestinaux (SGI) sont des nématodes parasites du tube digestif. En France, chez les bovins, les espèces les plus rencontrées sont *Cooperia oncophora* et *Ostertagia ostertagi*, parasitant respectivement l'intestin grêle et la caillette. Elles entraînent des lésions sur ces organes avec des conséquences sur la productivité et la santé des animaux. Ces parasites sont naturellement présents sur les pâtures, tous les bovins pâturant sont donc considérés comme potentiellement infestés (Craig, 2018).

Une bonne gestion du parasitisme dans les élevages est donc importante pour leur rentabilité. Cela se fait principalement par l'utilisation d'anthelminthiques (AH). En France, trois familles de molécules sont disponibles pour les bovins : les lactones macrocycliques (LM), les benzimidazoles (BZ) et les imidazothiazoles, dont le seul représentant est le lévamisole. Parmi ces familles de molécules, les éleveurs utilisent en majorité les LM, et souvent en *pour-on* (Warembourg et al., 2021).

L'utilisation d'AH de façon systématique pendant des décennies a conduit à l'apparition de résistances dans les populations de parasites, se traduisant par une perte d'efficacité. Les impacts de ces résistances sont plus sévères chez les petits ruminants et les équidés, causant des échecs de traitement avec des conséquences cliniques. Chez les bovins, les conséquences des résistances sont plus discrètes, avec des pertes zootechniques et économiques. De ce fait, la problématique des résistances est moins étudiée chez les bovins (Kaplan, 2020). La méthode de référence pour détecter les résistances est la réalisation d'un test de réduction d'excrétion fécale (TREF), en réalisant deux coproscopies, avant et après un traitement AH, permettant d'évaluer le pourcentage de réduction d'excrétion fécale en œufs (Kaplan et al., 2023).

Dans le monde, les études publiées montrent une forte baisse d'efficacité des AH chez les bovins en Océanie et en Amérique du Nord, et plus récemment en Europe et en France (Dravigny, 2023). Les études françaises ont été réalisées en majorité dans le Grand Ouest, et une dans le Cantal. Elles se sont pour l'instant intéressées aux LM et aux BZ, montrant des pertes d'efficacité importantes des LM. Un rapport récent du CGAAER reconnaît la nécessité de lutter contre l'apparition de ces résistances (Guériaux & Clément, 2025).

Pour compléter ces études, nous avons mené une étude expérimentale chez des bovins en estive collective, dans l'Est du Cantal, pour évaluer l'efficacité sur les SGI du lévamisole, de la doramectine, de l'ivermectine et de la moxidectine. Nous avons réalisé des TREF dans deux estives chez des bovins de première et deuxième année de pâture lors des étés 2023 et 2024, ainsi que des coprocultures pour déterminer les espèces présentant des résistances.

Ce travail comporte une première partie bibliographique présentant la biologie des SGI, les méthodes de lutte existantes et l'état des lieux actuel concernant les résistances. Une deuxième partie présente l'étude expérimentale réalisée, en détaillant les matériels et méthodes utilisés puis en présentant les résultats avant de les discuter.

PARTIE 1 : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

I. Les strongles gastro-intestinaux des bovins

1. Principales espèces de strongles gastro-intestinaux

Les strongles gastro-intestinaux (SGI) des bovins sont des nématodes appartenant à l'ordre des *Strongylida*, au sein duquel trois familles regroupent les principales espèces présentes en Europe de l'Ouest (Charlier, Höglund, et al., 2020; Taylor et al., 2015b) :

- La famille des *Trichostrongylidae* regroupe *Ostertagia ostertagi*, *Trichostrongylus axei* et *Haemonchus contortus*, parasites de la caillette, ainsi que *Cooperia punctata*, *Cooperia oncophora* et *Nematodirus helvetianus*, parasites de l'intestin grêle ;
- La famille des *Strongylidae* contient *Oesophagostomum radiatum*, parasite du caecum et du gros intestin ;
- La famille des *Ancylostomatidae* contient *Bunostomum phlebotomum*, parasite de l'intestin grêle.

On peut considérer que tout bovin pâturent est infesté par des SGI, en particulier par *O. ostertagi* et *C. oncophora* dans les régions tempérées (Agneessens et al., 2000; Craig, 2018).

2. Cycle biologique

Le cycle des SGI est monoxène, ce qui signifie qu'ils ne se développent que chez un seul hôte. Il est divisé en deux phases : une phase exogène, pendant laquelle les œufs excrétés se développent jusqu'au troisième stade larvaire, et une phase endogène, pendant laquelle les larves ingérées évoluent dans le tube digestif de l'hôte. Parmi les SGI des bovins, c'est *O. ostertagi* qui a été le plus étudié, et c'est donc son cycle qui nous servira de référence (Gilleard et al., 2021). Celui-ci est présenté dans la Figure 1.

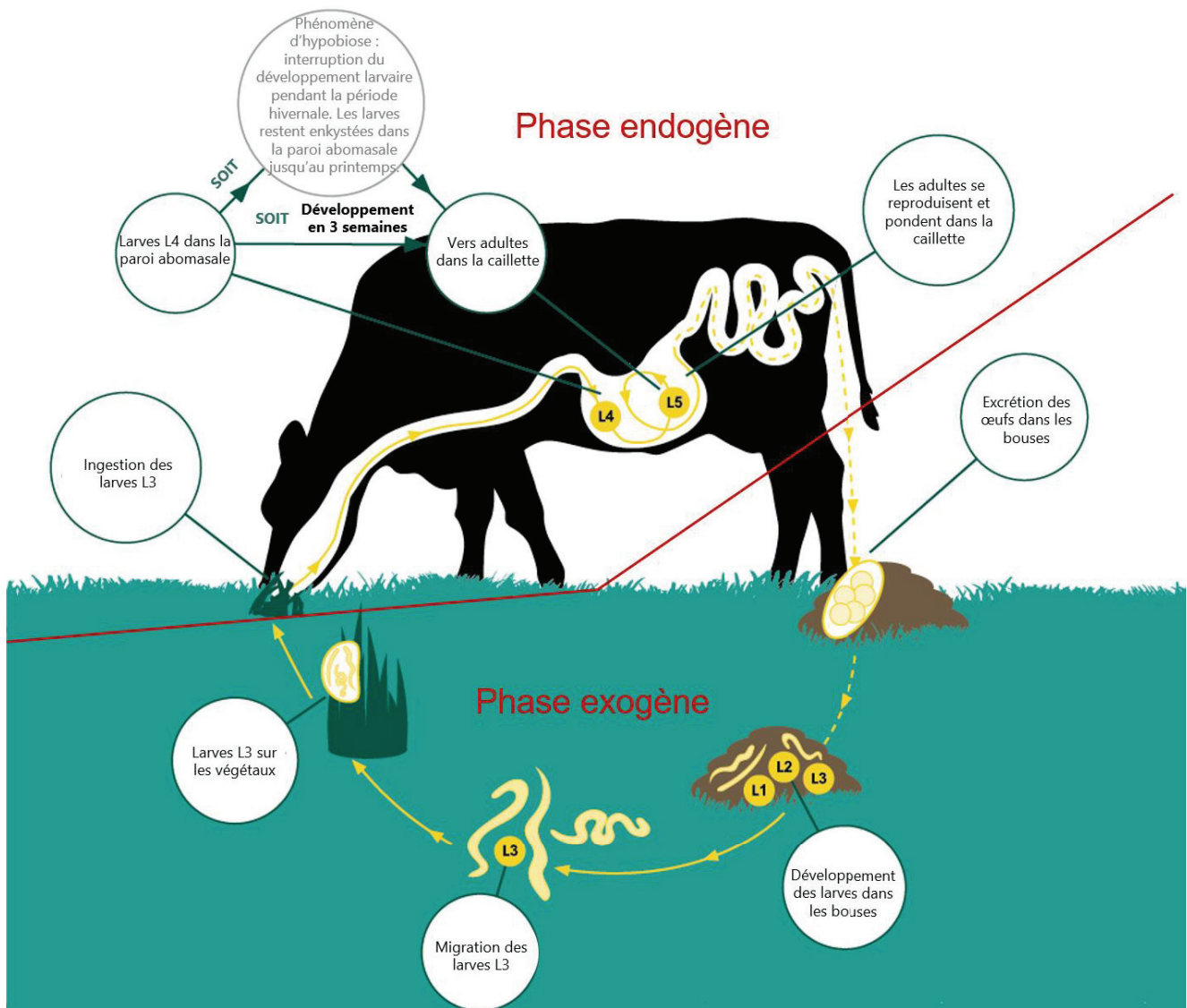


Figure 1 : Schéma du cycle biologique d'*Ostertagia ostertagi*

Source : Merial, 2015

La phase exogène débute par l'émission d'œufs dans l'environnement avec les bouses. La durée de la phase exogène dépend de l'humidité et de la température ambiantes. Le développement optimal a lieu en sept jours, avec une humidité relative de 100% et une température comprise entre 22 et 26°C (Craig, 2018). Pendant cette phase les œufs excrétés dans les déjections des bovins éclosent et évoluent en larves L1, L2 et L3 infestantes au sein de la bouse. Les larves L3 sont engainées dans la cuticule du stade L2, ce qui augmente leur résistance dans le milieu extérieur. Les larves L3 migrent ensuite sur la pâture, jusqu'à 40cm de la bouse selon l'humidité et le type d'herbe, et verticalement, sur des brins d'herbe, où elles sont ingérées (Stromberg, 1997). Les larves peuvent survivre pendant les périodes de sécheresse en restant dans les bouses, qui créent un milieu humide favorable, et pendant l'hiver si elles sont recouvertes par une couche de neige (Stromberg, 1997).

La phase endogène débute avec l'ingestion des larves L3, dont la cuticule est lysée par le passage dans les pré-estomacs du bovin. Ces larves migrent ensuite dans les culs de sac glandulaires de la caillette, ou les villosités intestinales selon l'organe cible (cf. Partie 1 I.1), où elles muent en larve L4. Celles-ci peuvent alors entrer en hypobiose, c'est-à-dire interrompre leur développement et s'enkyster, soit en réaction

à l'immunité de l'hôte, soit si les conditions extérieures sont défavorables, classiquement quand les températures sont faibles pendant l'hiver (Anderson, 1988), avant de reprendre leur développement au printemps. Les larves L4 muent ensuite en larves L5, ou pré-adultes, qui migrent dans la lumière du tube digestif. L'accouplement des adultes permet la production des œufs qui sont ensuite excrétés dans les fèces de l'hôte. La durée entre l'ingestion d'une larve L3 infestante et l'excrétion d'œufs est appelée période prépatente. Elle est en général longue de deux à trois semaines selon les espèces (Charlier, Höglund, et al., 2020).

3. Epidémiologie

Les principaux facteurs prédisposants à une strongylose digestive dépendent de l'environnement, y compris la gestion du pâturage de l'éleveur, et de l'hôte en lui-même (Charlier, Höglund, et al., 2020).

L'environnement va influencer sur le développement et la survie des larves, et donc sur leur ingestion par les bovins. Les principaux facteurs environnementaux sont :

- Les conditions météorologiques, et en particulier la température et l'humidité, comme vu en Partie 1.1.2 (Charlier, Höglund, et al., 2020) ;
- La présence de larves résiduelles sur la pâture ayant survécu à l'hiver dans les régions tempérées : les températures les plus favorables à la survie des larves de *O. ostertagi* et *C. oncophora* se situent entre 1 et 5°C (Grenfell et al., 1986) ;
- Le surpâturage conduisant à une augmentation de la consommation d'herbe à proximité des bouses et du sol, et donc plus susceptible de contenir des larves infestantes (J. A. N. Filipe et al., 2023) ;
- La rotation des bovins sur les pâtures : plus un lot de bovins reste longtemps sur la même parcelle, plus la charge parasitaire augmente car l'excrétion d'œufs augmente de façon exponentielle à chaque nouvelle génération de parasites ;
- La complémentation des bovins pâturent va diminuer le risque parasitaire : l'herbe contenant des larves L3 ne constituera pas la totalité de la ration, diminuant ainsi le nombre de larves infestantes ingérées ;
- Les premières précipitations suite à une période de sécheresse vont entraîner un relargage massif des L3 présentes dans les bouses et dans le sol, à l'origine d'une contamination importante des bovins pâturent (Fiel et al., 2012; Nogareda et al., 2006).

L'hôte va être prédisposé à développer une strongylose digestive par son comportement, ainsi que par son immunité (Charlier, Höglund, et al., 2020) :

- Le comportement d'un bovin peut augmenter son exposition selon les lieux où il pâture : un animal pâturent à proximité des bouses par rapport au reste du troupeau verra son risque de s'infester augmenter ;
- Les animaux naïfs ne possèdent pas d'immunité vis-à-vis des SGI, et vont donc s'infester plus rapidement et plus massivement que des individus ayant

déjà été en contact avec des SGI. Le développement de l'immunité contre les SGI est détaillé en Partie 1.1.5 ;

- Chez les animaux immuns, des variations individuelles d'immunité contre les SGI vont affecter le risque qu'un bovin s'infeste, ainsi que la quantité d'œufs relarguée dans l'environnement. Ces variations individuelles d'immunité sont héréditaires avec un facteur d'héritabilité de 0,30 (Gasbarre et al., 2001).

Ces deux facteurs vont conduire à un phénomène de surdispersion de l'excrétion, c'est-à-dire que la majorité de l'excrétion fécale a lieu à partir d'une petite partie des animaux (Charlier, Höglund, et al., 2020).

4. Pathogénie

Les strongyloses digestives affectent l'hôte par un effet direct des parasites, qui le spolient et peuvent causer des lésions sur les organes dans lesquels ils sont présents, et par des effets indirects causés par la réponse de l'hôte à l'infestation parasitaire, ainsi que par une diminution de l'ingestion causée par des modifications hormonales induites par le parasite (Charlier, Höglund, et al., 2020). Une gastroentérite parasitaire sévère peut mener à la mort de l'hôte, dont les symptômes sont une diarrhée liquide, un pelage terne, une anorexie et une baisse d'état corporelle. Cependant, les strongyloses digestives sont le plus souvent subcliniques. L'espèce de SGI la plus pathogène chez les bovins est *O. ostertagi*, tandis que *Cooperia* sp. est le SGI le plus fréquent mais présentant une pathogénicité moindre (Craig, 2018).

On distingue deux types d'ostertagiose (Charlier, Höglund, et al., 2020; Craig, 2018):

- L'ostertagiose de type I a lieu pendant la saison de pâturage, lors de l'émergence en grand nombre d'adultes immatures du tissu glandulaire de la caillette, 10 à 15 jours après l'ingestion d'une quantité importante de L3 ;
- L'ostertagiose de type II a lieu plusieurs mois après la saison de pâture, généralement en fin d'hiver – début de printemps en France, et est causée par la levée d'hypobiose chez un grand nombre de larves ingérées lors de la saison de pâture précédente.

En sortant des culs de sac glandulaires de la caillette, les larves d'*Ostertagia ostertagi* entraînent une dégénérescence des cellules spécialisées des glandes gastriques et leur remplacement par des cellules cuboïdes (Craig, 2018; Mihi et al., 2013). De plus, la réaction inflammatoire de l'hôte entraîne une infiltration de cellules immunitaires mononuclées et d'éosinophiles dans la sous-muqueuse, ce qui cause une inhibition de la fonction des cellules pariétales (Mihi et al., 2013). Ces deux facteurs entraînent une diminution de la production d'HCl, ce qui a pour conséquence une augmentation du pH abomasal, qui peut passer de 2 à 7. Cela cause une diminution de la conversion de pepsinogène en pepsine, l'enzyme digestive protéolytique, et son accumulation dans la lumière gastrique puis son passage dans la circulation générale par perméabilité vasculaire, entraînant une augmentation du pepsinogène sérique. Lors d'une gastro-entérite parasitaire sévère, on observe également un œdème de la muqueuse gastrique et des proliférations bactériennes, ainsi qu'une hypoalbuminémie due à une perte de jonctions serrées (Charlier, Höglund, et al., 2020; Craig, 2018).

Cooperia sp. est situé dans le duodénum et le jéjunum, et cause une atrophie des villosités, une hypersécrétion de mucus et un épaississement de la muqueuse intestinale par une action mécanique, pouvant entraîner une diarrhée et une anorexie si l'infestation est massive ou concomitante à une infestation par un autre SGI (Charlier, Höglund, et al., 2020; Craig, 2018). Une strongylose à *Cooperia* provoque une diminution de la croissance des individus parasités, objectivable par une diminution du gain moyen quotidien (GMQ).

De plus, la présence des vers adultes dans les intestins entraîne une accélération de la motricité intestinale et donc une diminution du temps de contact du bol alimentaire avec la muqueuse intestinale. Ils causent également une spoliation, soit du bol alimentaire pour *O. ostertagi* ou *Cooperia* sp., soit de sang pour les vers hématophages comme *H. contortus*. Ils vont également modifier les concentrations des hormones gastro-intestinales, telles que la gastrine et la cholécystokinine, ce qui engendre une perte d'appétit chez les animaux infestés (Fox, 1993, 1997).

La réponse de l'organisme à ces lésions va également être délétère du point de vue des productions. En effet, le maintien de l'intégrité des muqueuses entraîne une synthèse de protéines dans le foie et la réparation des épithéliums digestifs. Ces modifications métaboliques redirigent donc les ressources de l'organisme vers la lutte contre les SGI.

Les strongyloses digestives entraînent donc un phénomène de malabsorption-maldigestion, de sévérité variable selon les espèces en cause et l'importance de l'infestation parasitaire.

5. Développement d'une immunité

L'immunité contre les SGI est concomitante, c'est-à-dire qu'elle nécessite une exposition continue au parasite pendant une certaine durée (Gilleard et al., 2021). Cette immunité dépend ainsi à la fois de l'hôte, du parasite et de la qualité du contact entre les deux. Elle ne permet pas d'empêcher toute infestation par les parasites mais permet de la diminuer, et ainsi de modérer ses impacts.

Les mécanismes mis en œuvre dans l'immunité contre les SGI ne sont pas encore tous connus, mais il a été mis en évidence que les immunités humorale et cellulaire sont activées. La présentation des antigènes de *O. ostertagi* au nœud lymphatique drainant l'organe infesté déclenche une augmentation de la population de lymphocytes B, et ce de manière plus rapide lors d'une seconde infestation, ce qui coïncide avec l'augmentation de la concentration sérique en IgG, IgM et IgA ainsi que de la concentration lymphatique en IgE. Il se produit en parallèle une réaction cellulaire de type Th1 en phase aiguë, puis de type Th2 lorsque l'infestation devient chronique, faisant intervenir des éosinophiles, mastocytes et lymphocytes T et NK dans la muqueuse digestive (Gilleard et al., 2021; M. Rinaldi & Geldhof, 2012).

Cette réponse immunitaire est individu-dépendante, et trois phénotypes ont pu être mis en évidence (Gasbarre et al., 2001) : un phénotype I qui ne présente jamais d'excrétion importante suite à une infestation, un phénotype II qui présente une excrétion importante pendant deux mois post-infestation avant qu'elle ne diminue, et un phénotype III pour lequel l'excrétion reste importante et ne diminue pas. Un taux d'hérédité de 0,30 a été calculé pour ces trois phénotypes (Gasbarre et al., 2001), montrant une composante génétique à l'efficacité de l'immunité contre les SGI. Les

proportions de ces trois phénotypes sont respectivement de 25, 50 et 25% de la population (Gasbarre et al., 2001).

L'immunité se met en place de manière progressive, avec trois paliers clairement identifiables (Claerebout & Vercruysse, 2000). Dans un premier temps, la croissance des larves et la fécondité des adultes sont inhibées, résultant en une diminution de l'excrétion. Dans un deuxième temps, l'entrée en hypobiose et l'enkystement des larves L4 est favorisée (Vercruysse & Claerebout, 1997). Finalement, la capacité des larves L3 à s'implanter dans la muqueuse est inhibée, diminuant de façon plus pérenne l'infestation de l'animal.

La mise en place de cette immunité est longue, et la durée nécessaire dépend de l'espèce infestante. On parle de temps de contact effectif (TCE) pour la durée minimale nécessaire avant de pouvoir considérer les animaux immunisés. Ce TCE a été estimé à 4 mois pour *C. oncophora* et à 8 mois pour *O. ostertagi*, et n'est pas affecté par une infestation concomitante de plusieurs parasites (Claerebout et al., 1998; Dorny et al., 1997; Ravinet et al., 2014).

6. Impacts zootechniques et économiques

Comme vu en Partie 1.1.4, les strongyloses digestives sont le plus souvent subcliniques, mais elles occasionnent tout de même une diminution des performances zootechniques des élevages, ainsi que des pertes économiques.

Plusieurs études portant sur le GMQ des animaux de première année de pâture ont montré des diminutions significatives de GMQ entre animaux traités et non traités contre les SGI, avec en moyenne une perte de GMQ de 200 à 300g/j selon la sévérité de l'infestation (Rew, 1999; Shaw et al., 1998; Walker et al., 2013).

Cette baisse de GMQ pendant la première saison de pâture peut entraîner une maturité plus tardive des animaux et donc impacter les performances de reproduction. Ainsi, une augmentation de l'âge à la première insémination artificielle (IA) et une baisse du taux de succès des IA conduisant à une augmentation de l'intervalle vêlage-vêlage ont pu être montrées (Delafose, 2013; Johnson et al., 2020). Cependant de plus amples études sur les impacts des strongyloses digestives sur les performances reproductives sont nécessaires car ces résultats ne sont pas toujours confirmés (Charlier, Höglund, et al., 2009; May et al., 2017).

Des conséquences importantes sur les performances en production laitière sont également suspectées, avec une augmentation de la production laitière de 0,35 à 1kg par jour et par vache après traitement AH (Charlier, Höglund, et al., 2009; Sanchez, Dohoo, et al., 2004).

Les bovins à viande pourraient aussi être affectés par des pertes de production dues aux strongyloses digestives. En effet, Charlier, De Cat, et al. (2009) ont observé une corrélation entre la présence d'anticorps anti-*O. ostertagi* chez un individu et le risque que sa conformation musculaire soit déclassée, ainsi qu'entre la détection d'anticorps anti-*O. ostertagi* au sein d'un élevage et la diminution du poids carcasse moyen du troupeau. Cependant, d'autres facteurs propres aux élevages peuvent affecter la conformation musculaire et le poids carcasse. En effet, un troupeau avec une faible présence d'anticorps anti-*O. ostertagi* peut être un troupeau évoluant presque exclusivement en bâtiment avec une ration calculée précisément, tandis qu'un troupeau avec forte présence d'anticorps anti-*O. ostertagi* peut évoluer au pâturage

avec une ration moins bien contrôlée. Des études supplémentaires avec une vérification de la conduite d'élevage sont donc nécessaires avant de pouvoir conclure à une réelle relation de cause à effet (Ravinet et al., 2022).

Ces conséquences sur les performances zootechniques entraînent des répercussions économiques importantes. En élevage laitier, des estimations réalisées en Allemagne et en Belgique avec le logiciel ParaCalc® montrent une perte médiane de 46€ par lactation (Charlier et al., 2012) et une perte médiane de 721€ par an et par élevage, comprenant à l'année 13,33€ de perte de production et 10€ de coût de traitement par vache (Fanke et al., 2017). En France, les pertes économiques dues aux helminthoses sont estimées à 246,5 et 46 millions d'euros par an en filières lait et viande respectivement, dont les strongyloses digestives représentent environ 35%, soit 86 et 26 millions d'euros par an respectivement. Parmi 18 pays européens, l'impact économique des helminthoses est estimé à 941 et 423 million d'euros par an en filières lait et viande respectivement, dont les strongyloses digestives représentent environ 40%, soit 376 et 169 millions d'euros par an respectivement (Charlier, Rinaldi, et al., 2020). Les strongyloses digestives causent donc une perte de plus de 100 millions d'euros par an aux éleveurs français et de plus d'un demi-milliard d'euros par an aux éleveurs européens.

Ces pertes économiques importantes encouragent donc à accompagner et conseiller les éleveurs dans la gestion des SGI pour réduire ces déficits, via la mise en place de plans de prophylaxie et de traitements des strongyloses digestives adaptés.

7. Evaluation de l'infestation parasitaire

Evaluer le niveau de parasitisme des bovins permet de se prémunir efficacement des effets néfastes des strongyloses digestives en appliquant des méthodes de lutte adaptées au niveau de l'infestation parasitaire. Plusieurs méthodes sont utilisables, la plupart étant indirectes, et réalisables soit en clinique soit au laboratoire.

a. Par coproscopie quantitative

La coproscopie est une méthode indirecte, qui consiste à estimer la quantité d'œufs de parasites excrétés dans les fèces des bovins par lecture microscopique, en exprimant le résultat en œufs par gramme (opg). C'est la méthode la plus utilisée en pratique clinique courante.

Pour les bovins, il s'agit de la méthode de détection de choix pendant les deux premiers mois de la première année de pâture, les animaux plus âgés présentant des excréments plus faibles et non corrélées au niveau d'infestation à cause de leur immunité (Charlier et al., 2014).

Plusieurs méthodes de coproscopie existent, mais le principe reste similaire. Il consiste à mélanger une quantité connue d'un prélèvement de fèces dans un volume connu de liquide de flottaison. Pour l'observation d'œufs de SGI, celui-ci peut être une solution de densité 1,2, classiquement une solution saturée en chlorure de sodium – de densité comprise entre 1,18 et 1,2 – ou une solution de sulfate de zinc. Des liquides de flottaison plus denses peuvent permettre d'observer les œufs d'autres parasites, comme des trématodes, avec un liquide de densité supérieure à 1,3. Plusieurs étapes de centrifugation ou filtration peuvent avoir lieu pour faciliter la lecture avant de remplir

les chambres de lecture du dispositif choisi. Celles-ci sont ensuite lues au microscope optique et les œufs de strongles comptés sont multipliés par un facteur de lecture, dépendant du facteur de dilution et de la méthode choisie, pour obtenir un résultat en opg.

La coproscopie ne permet pas de différencier les différentes espèces de SGI à l'exception de *Nematodirus* sp. Les œufs de SGI mesurent environ 80-100x45 µm, sont ovoïdes et non operculés, ont une paroi mince, lisse et foncée et contiennent une larve ou une morula. Les œufs de *Nematodirus* sp. diffèrent des œufs des autres SGI par leur taille plus importante, environ 140-180x75-90 µm, et contiennent seulement quatre à huit blastomères (cf. Figure 2) (Craig, 2009).

Les œufs de SGI ne doivent pas être confondus avec les œufs de *Strongyloides* sp., de forme similaire mais de taille légèrement inférieure, 50-60x30 µm, et contenant une larve (cf. Figure 2) (Craig, 2009).

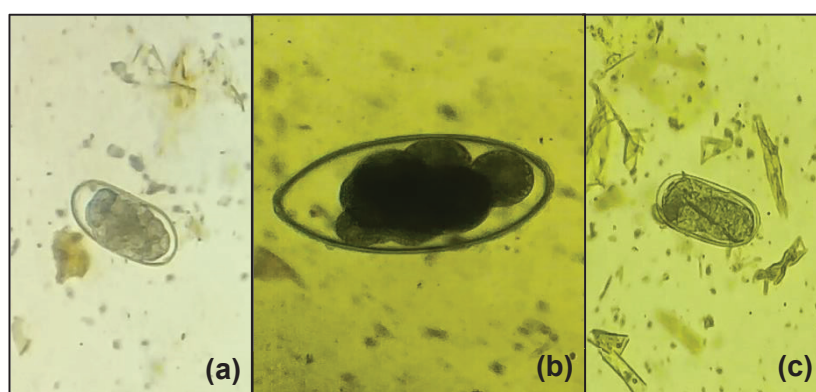


Figure 2: Œufs de strongle (a), de Nematodirus sp. (b) et de Strongyloides sp. (c) vus au microscope optique, x200

Source : Roussel Adrien

La méthode historique de coproscopie est la méthode McMaster, développée en 1939. Elle utilise seulement la flottaison et est donc simple d'utilisation. Elle est cependant peu précise car sa résolution est de 50 opg, c'est-à-dire qu'un œuf lu correspond à 50 opg (lecture de 0,3ml avec une dilution au 1/15^e), pouvant descendre à 15 opg en lisant la totalité de la lame. L'excrétion des bovins étant relativement faible, de l'ordre de la centaine d'opg, cette méthode n'est pas assez précise pour estimer avec fiabilité l'excrétion des bovins (Bosco et al., 2014).

La méthode FLOTAC, développée en 2010, permet une plus grande précision. Elle nécessite une centrifugation, une filtration et une translation en plus de la flottaison, permettant une résolution de 1 opg et apportant un meilleur confort de lecture (Cringoli et al., 2010).

La méthode mini-FLOTAC, développée en 2017, permet de s'affranchir de l'étape de centrifugation, avec une résolution de 5 opg (lecture de 2 ml avec une dilution au 1/10^e). Le temps de préparation et de lecture d'un dispositif mini-FLOTAC est de 12 minutes, permettant à cette méthode d'avoir le meilleur compromis entre simplicité d'utilisation, rapidité et précision (Cringoli et al., 2017; Dias de Castro et al., 2017).

b. Par dosage du pepsinogène sérique

Comme vu en Partie 1.1.4, une infestation parasitaire par *O. ostertagi* entraîne une hausse du pepsinogène sérique. Le dosage du pepsinogène sérique est donc une méthode de diagnostic indirect, réalisé en laboratoire.

Lors du dosage, le pepsinogène est converti en pepsine sous l'action de la température et d'un pH acide, de la même manière que dans la caillette des bovins. Elle agit ensuite sur un substrat riche en acides aminés aromatiques, libérant ainsi des radicaux aromatiques. Ceux-ci sont dosés par colorimétrie, et les résultats sont comparés à une gamme étalon de tyrosine, qui est un des acides aminés libérés par la pepsine. Les résultats sont ensuite exprimés en milli-unités de tyrosine (mUTyr) (Kerboeuf, 2004).

Ce dosage est cependant peu reproductible d'un laboratoire à l'autre et présente de nombreuses variations individuelles au sein d'un même troupeau, il est donc principalement utile pour réaliser des diagnostics de troupeau (Charlier et al., 2011). Pour ce faire, le prélèvement de huit animaux permet le plus souvent d'obtenir un résultat fiable pour des lots allant jusqu'à 30 génisses. Cependant, selon la taille du lot et le risque parasitaire, cette taille d'échantillon peut varier : cinq prélèvements peuvent être suffisants si le risque parasitaire est élevé ou faible, mais jusqu'à 16 prélèvements peuvent être nécessaires pour des lots de 30 animaux présentant un risque parasitaire modéré (Hoisnard, 2024).

Cet indicateur est principalement utile chez les animaux de première saison de pâture, l'immunité des vaches adultes empêchant l'installation et l'hypobiose des larves. De plus, le pepsinogène sérique peut être augmenté par d'autres affections (ulcère de caillette, déplacement de caillette...) chez les adultes. Les valeurs usuelles chez un veau sain sont de moins 1000 mUTyr. Lors d'une ostertagiose de type I ou II des valeurs supérieures à 3000 mUTyr sont observées. Des valeurs intermédiaires sont indicatrices d'atteintes subcliniques en saison de pâture ou de risque d'ostertagiose de type II au printemps si le dosage est effectué à la rentrée en étable (Berghen et al., 1993; Kerboeuf, 2004).

c. Par dosage des anticorps anti-O. ostertagi

Depuis les années 1980, des tests ELISA permettant de doser la concentration d'anticorps anti-*O. ostertagi* dans le lait ou le sérum ont été développés. Ceux-ci quantifient les IgG réagissant avec des protéines extraites de vers adultes d'*O. ostertagi*. La mesure est réalisée par spectrophotométrie et un ratio densité optique (RDO) est calculé grâce à un contrôle positif et un contrôle négatif (Charlier, Höglund, et al., 2009; Ravinet et al., 2014).

L'inconvénient principal de cette méthode est le risque de réaction croisée avec des antigènes de *Dictyocaulus viviparus* ou *Fasciola hepatica*. Une réaction croisée avec d'autres SGI est tout aussi probable mais moins problématique car le test permettrait tout de même de quantifier l'exposition aux SGI (Charlier, Höglund, et al., 2009).

Il a récemment été montré une corrélation entre le RDO obtenu à partir de sérum et le dosage du pepsinogène sérique, permettant d'établir un seuil pour un RDO de 0,72 correspondant à un dosage de 2000 mUTyr pour un prélèvement en fin de première saison de pâture, et donc à une atteinte subclinique. De plus, comme la

concentration des anticorps diminue moins rapidement que celle du pepsinogène après un traitement ou l'entrée en hypobiose des larves, sa mesure pourrait permettre de mieux évaluer l'exposition des animaux aux SGI en fin de première saison de pâture. Cependant, l'immunité des animaux de première saison de pâture étant encore en développement, son utilisation au cours de la saison de pâture reste plus hasardeuse que la mesure de la concentration en pepsinogène sérique (Charlier et al., 2023).

Chez les vaches laitières, il est possible de réaliser ce test sur des prélèvements de lait, mais cette mesure peut varier au cours de la lactation et selon la production et peut donc être corrigée (Sanchez, Markham, et al., 2004). Contrairement à ce qui était pensé jusqu'alors, le RDO n'est pas un bon indicateur prédictif de la perte de production laitière du fait des nombreux facteurs pouvant l'influencer au sein d'un même élevage (Ravinet et al., 2022).

8. Identification des espèces de strongles

Comme vu en Partie 1.1.4, les différentes espèces de SGI n'ont pas le même pouvoir pathogène. L'identification d'une espèce dans un élevage peut alors permettre d'établir un pronostic sanitaire et économique précis, ainsi que de mettre en œuvre des mesures de lutte adaptées. Dans le cadre de l'apparition de résistances aux AH, l'identification des espèces de SGI résistantes permet également de déterminer la gravité de l'apparition de ces résistances selon leur pouvoir pathogène.

a. Identification morphologique des espèces après coproculture

La coproculture consiste à faire éclore les œufs présents dans les fèces et à permettre le développement des larves jusqu'au stade L3 afin de pouvoir les identifier par observation au microscope optique ou méthode biomoléculaire. Elle est souvent effectuée à la suite de la coproscopie afin de la préciser. Pour permettre le développement des larves, des fèces sont mélangées à de la vermiculite et le mélange est incubé pendant 7-10 jours à 26-28°C, tout en maintenant une humidité suffisante (Wyk & Mayhew, 2013). Les larves sont ensuite récupérées par une méthode de Baermann. Celle-ci consiste à placer le mélange sur un filtre dans un entonnoir rempli d'eau et bouché par un tube. La lumière va stimuler les larves et celles-ci vont tomber par gravité dans le tube. Celui-ci est récupéré au bout de 12 à 24h et le culot est lu au microscope.

Cependant, les conditions réunies ne peuvent pas être optimales pour toutes les espèces de SGI, entraînant un développement hétérogène des différentes espèces présentes, et l'identification microscopique est complexe, demandant de prêter attention à de nombreux détails (taille des larves, morphologie de la tête, de la queue...), faisant de la coproculture une méthode avec une sensibilité et une spécificité moyennes (Höglund et al., 2013).

b. Identification des espèces par analyses moléculaires

Deux méthodes d'analyses moléculaires sont décrites pour détecter les espèces de SGI utilisant des œufs, des L1 ou des L3 obtenues par coproculture : la PCR multiplexe et le metabarcoding.

La PCR multiplexe utilisant des œufs a été développée par Roeber et al. (2017). Cette PCR est plus rapide, spécifique et sensible qu'une PCR multiplexe classique à partir de L3 ou qu'une identification des larves au microscope. En effet, la possibilité d'utiliser les œufs permet au processus de ne prendre qu'un à deux jours contre une à deux semaines autrement. Cette méthode permet de connaître la proportion de chaque espèce détectée, sans en connaître la quantité. Cependant, seules les espèces dont les amorces PCR ont été introduites dans la réaction peuvent être détectées. Il y a donc un risque de passer à côté d'une espèce non attendue et de perdre en fiabilité.

Le metabarcoding a été utilisé par Avramenko et al. (2015a) pour l'analyse du néмобиome. Il s'agit d'amplifier par PCR un gène marqueur d'espèce, qui présente une forte variabilité interspécifique mais une faible variabilité intraspécifique. Le gène utilisé ici est l'ITS-2, provenant de l'ADN ribosomal. Cette méthode peut s'effectuer sur des L3, des L1 ou des œufs (Borkowski et al., 2020; Francis & Šlapeta, 2022). Elle permet d'éviter les a priori sur les espèces présentes dans les fèces, contrairement à la PCR multiplexe. Elle est également très sensible, pouvant détecter une espèce présente à 0,1% dans la coproculture.

Les SGI entraînent donc des conséquences importantes sur la productivité et la santé des élevages bovins. Une fois le niveau d'infestation établi, il est donc nécessaire de mettre en place des méthodes de lutte afin de limiter leur impact.

II. Méthodes de lutte contre les strongles gastro-intestinaux

La lutte contre les SGI s'effectue selon deux grands axes : l'adaptation de la conduite d'élevage et l'utilisation de molécules anthelminthiques, méthode majoritaire depuis leur découverte.

1. Adaptation de la conduite d'élevage

a. Stratégie préventive

La stratégie préventive consiste à introduire des animaux sains sur une pâture saine. Les animaux sains sont des animaux jeunes n'ayant pas encore pâturé ou, théoriquement, des adultes ayant reçu un traitement AH efficace.

Une pâture est saine si elle a été laissée suffisamment longtemps au repos, c'est-à-dire non occupée, pour que les stades L3 infestants ne soient plus, ou peu, présents. Cette durée est principalement dépendante du climat : les larves infestantes peuvent survivre jusqu'à 12 mois en climat froid, alors qu'en cas de sécheresse dans un climat plus chaud la pâture est assainie en un mois et demi. Cet assainissement est d'autant plus rapide si la pâture était auparavant occupée par des animaux immuns, qui ont une excrétion plus faible. Ce faible niveau initial d'infestation de l'environnement par les L3 permet de diminuer l'infestation primaire des animaux en première saison de pâture et donc de retarder le risque parasitaire : en effet, plus la charge parasitaire de la pâture est faible, plus les pics d'excrétion et du nombre de parasites adultes présents sont retardés (Craig, 2018; Dimander et al., 2003; J. a. N. Filipe et al., 2023; Michel, 1976; Stromberg & Averbeck, 1999).

b. Stratégie évasive

La stratégie évasive consiste à effectuer des rotations de pâture avant que le risque parasitaire ne devienne important : les animaux en première saison de pâture sont déplacés sur une nouvelle pâture saine. Cette stratégie est la plus efficace si les animaux sont déplacés au plus toutes les trois semaines, c'est-à-dire sur une durée plus courte que la période prépatente des parasites, et si le retour sur les pâtures précédentes s'effectue une fois celles-ci assainies. Cela évite alors de nouvelles infestations (Dimander et al., 2003; Michel, 1976; Stromberg & Averbeck, 1999).

c. Stratégie de dilution

La stratégie de dilution consiste à diminuer la charge parasitaire d'une pâture en diversifiant les espèces l'occupant. En effet, plusieurs espèces de SGI ont des hôtes spécifiques, les larves L3 ingérées par d'autres animaux ne contribueront donc pas à augmenter la charge parasitaire de la pâture. Cette stratégie peut être utilisée en faisant pâture simultanément plusieurs espèces, diminuant ainsi la pression parasitaire pour toutes, ou en faisant pâture plusieurs espèces successivement, sur des périodes d'au moins un mois, assainissant ainsi la pâture lorsque l'espèce précédente y sera à nouveau introduite. Le pâturage simultané de plusieurs espèces va également permettre de diminuer la densité de bovins, diminuant du même coup l'excrétion parasitaire et donc le risque d'infestation (J. a. N. Filipe et al., 2023; Hoste et al., 2003; Michel, 1976; Rocha et al., 2008).

Si ces stratégies ne sont pas suffisantes pour diminuer le risque d'infestation parasitaire à un niveau raisonnable, il devient nécessaire d'utiliser des molécules AH afin de gérer le risque parasitaire.

2. Utilisation d'anthelminthiques

a. Les benzimidazoles

Il s'agit d'une classe d'antiparasitaires utilisée depuis les années 1960 avec la découverte de l'activité anthelminthique du thiabendazole par Brown et al. (1961).

Leur biodisponibilité est faible et leur résorption lente, raison pour laquelle ils sont administrés par voie orale. Le rumen agit comme un réservoir qui les libère progressivement dans le reste du tractus digestif avec un pic de concentration en deux à trois jours. La portion absorbée subit ensuite un cycle gastro-entérique avec sécrétion dans l'abomasum ainsi qu'un cycle entéro-hépatique, augmentant les concentrations intestinales et l'exposition des parasites (Claerebout & Lanusse, 2025; Hennessy, 1993; Heracek, 2020; Taylor et al., 2015a).

Leur action anthelminthique est double. Ils interfèrent avec le réseau microtubulaire en bloquant sa polymérisation et en le désagrégeant. Cela entraîne une immobilisation du parasite et son décrochement de la paroi intestinale, permettant son élimination dans les selles. Ils diminuent également le métabolisme énergétique en inhibant la fumarate réductase, une enzyme mitochondriale des helminthes. Ils sont actifs sur tous les stades parasitaires, y compris les L4 enkystées et les œufs (Claerebout & Lanusse, 2025; Heracek, 2020; Taylor et al., 2015a).

Ils présentent un index thérapeutique élevé, et donc une faible toxicité. Ils ont cependant des propriétés embryotoxiques et tératogènes, en particulier l'albendazole et le nébimévin chez toutes les espèces et l'oxfendazole chez les ovins. Ces molécules sont donc contre-indiquées pendant le premier tiers de gestation chez les espèces concernées (Claerebout & Lanusse, 2025; Heracek, 2020; Taylor et al., 2015a).

Les différentes molécules disponibles en médecine bovine en France sont résumées dans le Tableau I.

Tableau I : Principales caractéristiques des benzimidazoles utilisées en médecine bovine en France

Source : Heracek (2020) [Consulté le 19/04/2025]

Molécules (noms déposés)	Forme galénique	Posologie	Temps d'attente	
			Lait (jours)	Viande (jours)
Albendazole (ALBEX GOLD®, VALBAZEN®)	Suspension buvable	7,5mg/kg	3,5	7
Albendazole (MEDIAMIX V DISTHELM®)	Aliment médicamenteux	2,5mg/kg pendant 3 jours	1,5	10
Fébantel (RINTAL®)	Suspension buvable	7,5mg/kg	6,5	8
Fenbendazole (PANACUR®)	Suspension buvable	7,5mg/kg	6	11
Nétobimin (HAPADEx®)	Suspension buvable	7,5mg/kg	3	6
Oxfendazole (OXFENIL®, SYNANTHIC®)	Suspension buvable	4,5mg/kg	7	15
Oxfendazole (REPIDOSE®)	Dispositif intraruminal à relargage séquentiel	1 bolus / animal	Interdit	6 mois

b. Les imidazothiazoles

Les imidazothiazoles comptent un seul représentant en médecine vétérinaire : le lévamisole. Cette famille d'antiparasitaire a été découverte par Thienpont et al. (1966) avec le tétramisole, dont le lévamisole est la forme lévogyre.

Le lévamisole peut s'administrer par voie orale, transcutanée ou intramusculaire. Sa résorption est rapide et complète. Les pics de concentration sont observés en 2 à 6h par voie orale, 1h en intramusculaire et 4 à 6h par voie transcutanée. Il subit des biotransformations importantes dans le foie et est rapidement éliminé par voie urinaire. Sa demi-vie est de 4 à 6h (Claerebout & Lanusse, 2025; Heracek, 2020; Taylor et al., 2015a).

Il s'agit d'un antagoniste cholinergique nicotinique qui provoque une paralysie spastique entraînant la mort des vers. Il stimule également le péristaltisme par des effets cholinomimétiques sur le tractus digestif de l'hôte, facilitant l'élimination des parasites par les fèces (Claerebout & Lanusse, 2025; Heracek, 2020; Taylor et al., 2015a).

Le lévamisole est un strongylicide adulticide strict, il n'agit donc pas sur les L4 enkystées ou les stades immatures (Heracek, 2020).

Le lévamisole a un index thérapeutique faible et possède donc un potentiel toxique non négligeable. Les symptômes d'une toxicité sont muscariniques (ptyalisme, vomissements, diarrhée, dyspnée) et nicotiniques (ataxie, parésie postérieure, trémulations, convulsions). Ils sont cependant peu observés chez les ruminants (Claerebout & Lanusse, 2025; Heracek, 2020; Taylor et al., 2015a).

Les différentes spécialités disponibles en France s'appliquent à 7,5mg/kg pour les formes orales et injectables, et à 10mg/kg pour les formes transcutanées. Le

lévamisole est interdit en production laitière et son temps d'attente pour la viande est de trois jours. Les différentes spécialités disponibles en France sont (Heracek, 2020):

- Solution buvable : ANTHELMINTICIDE®, BIAMINTHIC®, CAPIZOL®, LEVAMISOLE 3,75%®, POLYSTRONGLE®;
- Solution injectable : ANTHELMINTICIDE®, LÉVISOLE®, NÉMISOL® Injectable ;
- Solution *pour-on* : NÉMISOL® Transcutané.

c. Les lactones macrocycliques

Cette famille d'antiparasitaires a été découverte et développée dans les années 70, et est arrivée sur le marché de la médecine vétérinaire en 1981 avec l'ivermectine (Campbell, 2016; Gilleard et al., 2021).

Les LM sont des antiparasitaires produits par des bactéries du genre *Streptomyces* et sont divisées en deux groupes : les avermectines et les milbémycines. Ce sont les antiparasitaires les plus utilisés du fait de leur action endectocide, c'est-à-dire qu'ils sont actifs aussi bien sur des parasites internes que sur des parasites externes (Claerebout & Lanusse, 2025; Heracek, 2020; Taylor et al., 2015a).

Ce sont des molécules liposolubles et leur résorption est lente et faible par voie orale mais bonne par voie transcutanée, malgré des variabilités inter-individuelles. Elles s'administrent donc en *pour-on* ou par voie sous-cutanée. Leur liposolubilité permet une bonne diffusion et un stockage dans les tissus riches en lipides, engendrant un effet rémanent. Lors d'administration orale, elles subissent un cycle entéro-hépatique et sont peu métabolisées par le foie. L'élimination est très lente, leur demi-vie est de trois jours, et se fait majoritairement par voie biliaire, sous forme active, ainsi que par voie mammaire, en dehors de l'éprinomectine (Claerebout & Lanusse, 2025; Heracek, 2020; Taylor et al., 2015a).

Leur mode d'action n'est pas encore totalement élucidé. L'ivermectine se lie aux canaux chlorures glutamate-dépendants et sur les récepteurs GABA des cellules nerveuses et musculaires des parasites. Cela entraîne une augmentation de la perméabilité membranaire aux ions chlorure et une hyperpolarisation des cellules conduisant à une paralysie flasque et à la mort du parasite (Claerebout & Lanusse, 2025; Heracek, 2020; Taylor et al., 2015a).

Les LM sont actives sur tous les stades des SGI, y compris les L4 enkystées (Heracek, 2020).

Leur toxicité est faible car elles ne franchissent pas la barrière hémato-méningée et car leur cible moléculaire n'est pas présente. En effet, le canal chlorure glutamate-dépendant n'existe pas chez les mammifères (Heracek, 2020; Taylor et al., 2015a).

Du fait de leur élimination sous forme active, les LM présentent un fort risque de toxicité environnementale. Les résidus excrétés sont néfastes pour les insectes coprophages et peuvent impacter négativement leur reproduction pendant plusieurs semaines après le traitement. Elles sont de plus hautement toxiques pour la faune aquatique et les animaux traités ne doivent pas avoir accès à un cours d'eau pendant jusque cinq semaines après le traitement. En particulier, la moxidectine remplit les

critères de classification des substances persistantes, bioaccumulables et toxiques (EMA, 2017; Heracek, 2020).

Les spécialités disponibles en médecine bovine en France sont détaillées dans le Tableau II.

Tableau II : Principales caractéristiques des lactones macrocycliques utilisées en médecine bovine en France

Source : Heracek (2020) [Consulté le 19/04/2025]

Groupe	Molécules (noms déposés)	Forme galénique	Posologi e	Rémanence (jours)	Temps d'attente	
					Lait (jours)	Viande (jours)
Avermectines	Doramectine (DECTOMAX®)	Solution injectable	0,2mg/kg	21	Interdit	70
	Doramectine (DECTOMAX®, DORIMEC®)	Solution <i>pour-on</i>	0,5mg/kg	28	Interdit	35
	Éprinomectine (ELIVEC®, EPRINECTINE®, EPRINEX®, EPRIVALAN®, NEOPRINIL®)	Solution <i>pour-on</i>	0,5mg/kg	21	0	15
	Éprinomectine (EPRECIS®)	Solution injectable	0,2mg/kg	14	0	63
	Ivermectine (ANIMEC®, BIMECTIN®, CEVAMEC®, CEVAMECTIN®, IVERTIN®, IVOMECE®, VIRBAMEC®)	Solution injectable	0,2mg/kg	21	Interdit	49
	Ivermectine (BAYMEC®, ENDECTINE®, IVOMECE®, POUROMECE®, TOPIMEC®)	Solution <i>pour-on</i>	0,5mg/kg	21	Interdit	16 à 31
Milbémécines	Moxidectine (CYDECTINE®)	Solution <i>pour-on</i>	0,5mg/kg	35	6	14
	Moxidectine (CYDECTINE®)	Solution injectable	0,2mg/kg	35	Interdit	65
	Moxidectine (CYDECTINE LA®, MOXISOLV®)	Solution injectable intra- auriculaire	1mg/kg	120	Interdit	108

III. Apparition de résistances aux anthelminthiques

L'usage important de molécules AH dans la gestion du parasitisme a conduit à la sélection de résistances à ces molécules, similairement à la sélection de résistances bactériennes aux antibiotiques.

1. Définitions

La résistance des SGI aux AH a été suspectée pour la première fois chez des bovins à la fin des années 80 (Geerts et al., 1987). Elle a été principalement décrite et étudiée chez les petits ruminants du fait de sa prévalence et de son impact important, mais est également investiguée chez les bovins (Kaplan, 2020a).

La résistance aux AH est un trait héritable et est définie comme l'augmentation de la proportion de parasites non affectés par une dose d'un AH au sein d'une population parasitaire habituellement sensible, ou la nécessité d'augmenter la dose de l'AH pour atteindre un seuil d'efficacité. Ce seuil d'efficacité pour lequel une population parasitaire est considérée sensible est de 99% selon les dernières recommandations (Kaplan et al., 2023).

On parle de co-résistance lorsque la résistance concerne plusieurs molécules de la même famille avec un mode d'action similaire, et de résistance multiple lorsque la population parasitaire est résistante à des molécules de différentes familles avec des modes d'action différents.

Trois étapes successives aboutissent à l'apparition d'une population parasitaire résistante : certains SGI possèdent un allèle résistant à une molécule AH, cela dépend de la taille et de la diversité de la population, ainsi que de la fréquence de mutation du gène. Lors de l'utilisation d'un AH, une pression de sélection s'exerce sur la population, conduisant à la survie des parasites résistants et leur procurant ainsi un avantage sélectif (fitness). Leur descendance est ainsi proportionnellement plus grande à la génération suivante, ce qui augmente la prévalence de l'allèle de résistance au fil des générations parasitaires (Phillipi-Taylor et al., 2022; Wolstenholme et al., 2004).

Il existe quatre mécanismes de résistance aux AH : une modification de la cible moléculaire empêchant l'AH de la reconnaître et le rendant inefficace ; une modification métabolique qui inactive, détruit ou prévient l'activation de l'AH ; une modification de la distribution de l'AH dans l'organisme qui l'empêche d'atteindre sa cible, ou l'amplification du gène de la cible pour compenser l'action de l'AH. La résistance aux BZ ferait intervenir le premier mécanisme avec une mutation des gènes codant pour l'isotype 1 de la β -tubuline, la variation d'un seul acide aminé étant suffisante pour bloquer l'action AH. De la même manière, la résistance au lévamisole consiste en une modification du récepteur nicotinique à l'acétylcholine par la mutation ou la sous-expression des gènes codant pour ses sous-unités. La résistance aux LM ferait intervenir les premier et quatrième mécanismes, avec des mutations au niveau des gènes codant pour les récepteurs GABA ou des canaux à chlorure glutamate-dépendants, ainsi que par une surexpression de la glycoprotéine P, permettant d'évacuer plus rapidement la molécule AH de la cellule, diminuant ainsi sa concentration intra-cellulaire et son efficacité (Fissiha & Kinde, 2021; Wolstenholme et al., 2004).

2. Facteurs de risque d'apparition de résistance

Comme vu dans la section précédente, l'apparition d'une résistance aux AH nécessite une pression de sélection, qui est ici l'administration d'un AH. Plusieurs facteurs de risque augmentent la probabilité pour une population de devenir résistante aux AH, en affectant la pression de sélection ou la disponibilité des larves résistantes dans l'environnement.

Le facteur de risque le plus important est l'absence de population refuge. Une population refuge est une sous-population parasitaire non soumise à l'administration de l'AH. Cette sous-population est constituée des stades larvaires libres présents sur la pâture, des stades parasites non-atteints par certains antiparasitaires, et des parasites présents chez les animaux non traités. La préservation d'une population refuge permet la dilution des parasites résistants sélectionnés par le traitement parmi les individus sensibles. Cette approche permet de réduire la pression de sélection et donc de retarder le développement des résistances. Les seules études réalisées sur le concept de population refuge l'ont été avec des modèles informatiques : la durée nécessaire et les nombreux paramètres à monitorer rendent des études terrains trop complexes à réaliser et à financer (Greer et al., 2020; Phillipi-Taylor et al., 2022; Ravinet et al., 2017; Sutherland & Leathwick, 2011). Le principe général de la population refuge est présenté en *Figure 3*.

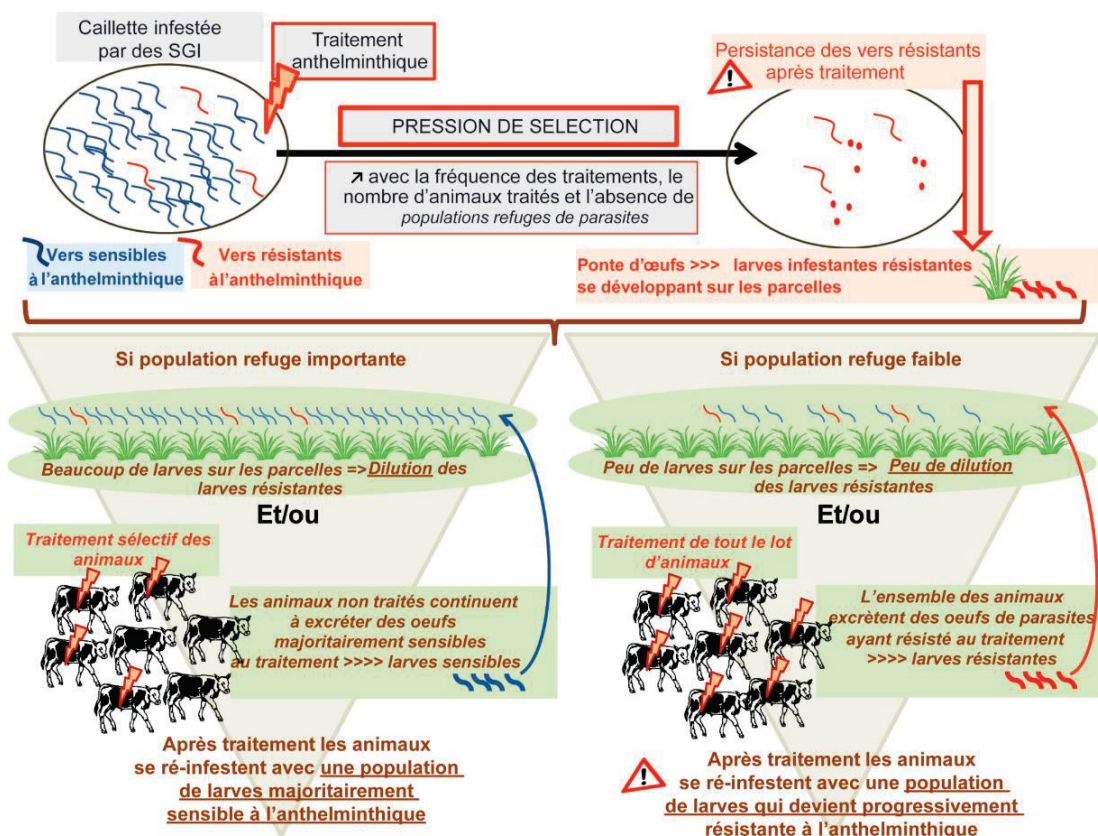


Figure 3 : Importance de la population refuge dans la sélection de résistances aux anthelminthiques

Source : Ravinet et al., 2017

La pression de sélection est affectée par de multiples facteurs de risque. En particulier, une fréquence élevée des traitements AH augmente le risque de sélection de résistance en appliquant de manière répétée une pression de sélection importante sur la population parasitaire. Il s'agit d'un des mécanismes majoritaires dans l'apparition de résistances chez les ovins (Phillipi-Taylor et al., 2022; Ravinet et al., 2017; Sutherland & Leathwick, 2011). Cette administration répétée de traitement AH peut également avoir lieu *via* des traitements contre les ectoparasites si les molécules utilisées sont des endectocides, telles que les LM (Phillipi-Taylor et al., 2022). L'utilisation de cette famille de molécules va également augmenter la pression de sélection par sa rémanence, qui allonge la durée pendant laquelle la pression de sélection s'applique, et son spectre d'activité plus large (adulticide et larvicide). Le sous-dosage des AH augmente lui aussi le risque de sélection de résistance : une dose plus faible que la dose nécessaire peut permettre à des parasites faiblement résistants de survivre, augmentant la proportion de l'allèle de résistance dans la population. Trois facteurs favorisent le sous-dosage. Le premier est l'estimation du poids des animaux, souvent sous-évalué, lors de l'administration des traitements AH. Le deuxième est l'utilisation de molécules rémanentes, dont la concentration diminue dans l'organisme hôte jusqu'à permettre la survie des L3 résistantes, mais pas des L3 sensibles. Le troisième est l'utilisation de traitements en *pour-on*, pour lesquels la biodisponibilité inter-individuelle est très variable et qui peuvent être diffusés à des animaux non-traités par léchage, entraînant alors un traitement sous dosé aussi bien chez les animaux traités que non traités (Ravinet et al., 2017; Sutherland & Leathwick, 2011; Wolstenholme et al., 2004).

Enfin, l'intégration de nouveaux animaux porteurs de strongles résistants sans application d'un traitement efficace contre leur population parasitaire favorise logiquement l'apparition de résistance dans un élevage (Phillipi-Taylor et al., 2022; Sutherland & Leathwick, 2011). A cela s'ajoute la pratique de l'estive et de la transhumance, comme récemment montré chez les ovins par Jouffroy et al. (2025). En effet, lors d'une saison en estive, les animaux de plusieurs élevages sont mélangés, chacun avec leur propre population parasitaire. Si des SGI résistants au traitement classiquement fait à la montée en estive sont présents, ils seront facilement transmis aux autres animaux. De la même manière, des ruminants sauvages peuvent pâture sur les parcelles d'estive et servir de réservoir de SGI résistants, recontaminant les parcelles avant l'arrivée des animaux d'élevage (Beaumelle et al., 2024).

La lutte contre l'apparition des résistances aux AH consiste à diminuer ces facteurs de risque, et donc à éviter autant que possible l'utilisation de traitements AH, principalement en adaptant la conduite d'élevage pour diminuer le risque parasitaire. Lorsque ces traitements s'avèrent indispensables, ils doivent alors être administrés de manière raisonnée. Les principales méthodes ont pour but de préserver la population refuge. Pour ce faire, il est possible de réaliser un traitement ciblé, en prenant en compte le risque parasitaire du lot d'animaux, les conditions météorologiques et les parcelles disponibles pour éviter d'effectuer un traitement lorsque la population refuge externe est faible. Cela comprend d'éviter la pratique de « *dose and move* » consistant à traiter des animaux avant de les introduire sur une nouvelle parcelle, qu'il contaminerait alors exclusivement avec des larves résistantes. Il est également possible de réaliser un traitement ciblé-sélectif, en traitant seulement les animaux le plus infestés et/ou les plus sensibles aux SGI, les autres animaux permettant de

conserver la population refuge (Greer et al., 2020; Ravinet et al., 2017). Ces deux approches sont principalement décrites chez les petits ruminants, et une dernière approche peut être plus adaptée aux bovins. Elle consiste en un non-traitement sélectif, c'est-à-dire à ne pas traiter les animaux ayant la meilleur apparence, à l'appréciation de l'éleveur au moment de l'application du traitement (Kaplan, 2020a).

3. Evaluation de la résistance

a. Taux de réduction d'excrétion fécale (TREF)

La description de la réalisation d'un TREF est basée sur les recommandations de la WAAVP (World Association for the Advancement of Veterinary Parasitology) présentées par Kaplan et al. (2023).

Le TREF est la méthode de choix pour diagnostiquer une résistance aux AH. Il s'agit de la réalisation de deux séries de coproscopies individuelles sur les mêmes animaux, la première en même temps que l'administration du traitement, et la seconde après un intervalle de temps dépendant de la molécule testée :

- 10 à 14 jours pour les traitements non-rémanents (lévamisole et BZ) ;
- 14 à 17 jours pour les avermectines ;
- 17 à 21 jours pour la moxidectine ;
- 21 à 28 jours pour les LM avec une formulation longue action ;
- 14 jours lors du test de LM et de molécules non rémanentes dans la même étude, s'il n'est pas possible de faire plusieurs coproscopies post-traitement.

Cet intervalle de temps permet l'expulsion complète des œufs pondus par les femelles éliminées par le traitement et le retour à une ponte normale pour les femelles résistantes ayant survécu.

D'autres conditions permettent la bonne réalisation d'un TREF et l'exploitabilité des résultats :

- La dernière administration d'AH devrait être la plus ancienne possible afin de pas le fausser par une sélection récente de SGI résistants, en pratique un minimum de 8 à 12 semaines après la fin de l'effet du dernier AH suffit dans la plupart des cas ;
- L'administration de l'AH testé devrait être réalisée à une dose appropriée, si possible en pesant individuellement les animaux, ou à défaut en administrant à tous la dose pour l'animal le plus lourd du lot ;
- Les mêmes animaux devraient être prélevés pré- et post-traitement, en identifiant les prélèvements. Si ce n'est pas possible, un minimum de 30 animaux doit être prélevé ;
- Idéalement, le genre et/ou l'espèces des parasites devrait être identifié pré- et post-traitement, par coproculture ou une méthode par PCR, telles que présentées en Partie 1.1.7 ;
- Le test devrait être effectué sur des bovins âgés de moins de 16 mois ; la faible excrétion des animaux adultes diminuant la sensibilité du TREF ;

- La méthode de comptage des œufs devrait être une méthode de McMaster ou Mini-FLOTAC ;
- Le nombre d'animaux inclus dans le TREF devrait permettre de lire un nombre moyen d'œufs suffisant (cf. Tableau III). Il s'agit bien de la moyenne d'œufs lus et non du résultat en opg, qui augmente donc avec le facteur de lecture.

Tableau III : Nombre minimum d'animaux nécessaire à la validité d'un TREF selon la moyenne d'œufs lus

Moyenne d'œufs lus	Nombre minimum d'animaux pour un protocole clinique	Nombre minimum d'animaux pour un protocole de recherche
40	8	15
15	11	22
8	14	31

Le TREF peut ensuite être calculé selon la formule :

$$TREF(\%) = \frac{\text{Moyenne pré traitement} - \text{Moyenne post traitement}}{\text{Moyenne pré traitement}} \times 100$$

Il faut ensuite estimer l'incertitude liée au TREF. La méthode statistique devrait avoir un risque d'erreur de première espèce de 5%, correspondant à un intervalle de confiance de 90%. Cela s'explique par l'utilisation de deux tests unilatéraux pour la résistance et la sensibilité, contrairement aux test bilatéraux classiquement utilisés qui donnent une incertitude de 2,5% à chaque extrémité de l'intervalle de confiance. L'utilisation d'intervalles de confiance à 90% permet donc l'obtention d'un risque de première espèce de 5% à la borne supérieure de l'intervalle de confiance. Pour le calcul de ces intervalles de confiance, il est recommandé d'utiliser une approche bayésienne développée et testée pour l'analyse des TREF. Deux outils statistiques sont conseillés par les auteurs des recommandations de la WAAVP :

- Le logiciel eggCounts développé par Torgerson et al. (2014) et Wang et al (2018) ;
- L'application web fecrt.com développée par Denwood et al. (2019, 2023).

Pour un protocole clinique, le TREF peut alors être interprété comme décrit dans le Tableau IV.

Tableau IV : Interprétation d'un TREF selon les intervalles de confiance pour un protocole clinique

D'après Kaplan et al. (2023)

Sensibilité	Résultats
Sensible	Borne inférieure de l'intervalle de confiance ≥ 90 % et borne supérieure ≥ 99 %
Résistant	Borne supérieure de l'intervalle de confiance ≤ 99 % Si la borne inférieure est ≥ 90 %, on considère le lot comme faiblement résistant
Douteux	Non-respect des critères des catégories précédentes

L'interprétation pour un protocole de recherche est similaire, mais en comparant la borne inférieure de l'intervalle de confiance par rapport à 95% d'efficacité.

b. Tests in vitro

Il existe plusieurs tests *in vitro* permettant de détecter une résistance aux AH, suivant tous un principe similaire. Ils sont réalisés à partir d'éléments parasitaires provenant des fèces d'animaux non traités. Le phénotype résistant ou sensible des SGI est évalué par le développement du parasite, sa motricité ou sa viabilité après exposition des concentrations croissantes d'AH (Chartier & Bourgoïn, 2023). Ils sont présentés dans le Tableau V.

Tableau V : Tests in vitro permettant de détecter une résistance aux AH chez les ruminants
D'après Charlier et al., 2022

Test in vitro	Anthelminthique	Principe
Test d'éclosion des œufs	BZ (seuls AH avec une action ovicide)	Inhibition de l'éclosion des œufs
Test de paralysie-motilité larvaire Test d'inhibition de migration larvaire	LM, lévamisole, morantel	Paralysie du stade L3
Test de développement larvaire	BZ, lévamisole, avermectine, milbémycine	Inhibition du développement du stade L3
Test d'inhibition d'alimentation larvaire	LM, lévamisole	Paralysie des muscles pharyngés du stade L1
Test de développement des adultes	BZ	Inhibition du développement d'un SGI adulte
Test de liaison à la tubuline	BZ	Différence de liaison des BZ à la tubuline

Les tests *in vitro* ont une sensibilité bien supérieure au TREF, pouvant mettre en évidence des résistances débutantes, non suspectées par un TREF (Königová et al., 2021). Leurs autres avantages consistent à la moindre logistique nécessaire pour les mettre en place, nécessitant un seul prélèvement et aucun traitement. Ils nécessitent cependant que le test soit mis rapidement en place après le prélèvement, avec une bonne conservation des échantillons. Enfin, certains tests ne sont applicables qu'à une seule classe de molécules, diminuant leur intérêt en routine (Charlier et al., 2022; Chartier & Bourgoïn, 2023).

c. Tests moléculaires

Il existe des tests moléculaires utilisant la PCR, capables de détecter une résistance sans utilisation d'un TREF préalable. Cependant, ces tests ne peuvent être utilisés que pour détecter une résistance aux BZ ou au lévamisole, étant donné que ce sont les seuls AH pour lesquels le gène de résistance a été identifié. Ces tests montrent une sensibilité bien supérieure aux TREF et méthodes *in vitro*, pouvant détecter des allèles de résistance présents à une fréquence allant jusqu'à 0,1% au sein de la population de SGI (Antonopoulos et al., 2024; Avramenko et al., 2019;

Charlier et al., 2022; Chartier & Bourgoïn, 2023; Charvet et al., 2018; Königová et al., 2021).

4. Etat des lieux de la résistance

L'organisation mondiale de la santé animale (OIE) a publié en 2022 un rapport d'enquête s'intéressant à la résistance aux AH (Phillipi-Taylor et al., 2022). Celui-ci indique que pour toutes les régions de l'OIE, le statut de résistance aux AH est souvent inconnu, ou connu seulement pour certaines espèces de parasites, les causes étant soit un manque de formation des professionnels vis-à-vis de cette problématique, soit un manque de données. Dravigney (2023c) a réalisé un état des lieux de la résistance aux AH chez les bovins en France, en Europe et dans le monde, à l'exception de l'Afrique et de l'Asie.

En France, les études ne sont pas nombreuses mais montrent des résistances aux avermectines. La majorité ont été réalisées dans le Grand Ouest et montrent des résistances aux avermectines dans cinq troupeaux sur 19 étudiés. La moxidectine a été étudiée dans huit troupeaux dont trois présentaient des résistances, et les BZ semblent pour l'instant épargnés (Bertocchi, 2019; Chartier et al., 2020; Dravigney, 2023c; Dufourd, 2018; Geurden et al., 2015; Hirschauer, 2019). Dravigney et al. (2022) ont montré dans le Cantal des résistances avérées aux avermectines dans six troupeaux sur 11 (et cinq troupeaux au statut douteux selon Kaplan 2020, qui seraient résistants selon Kaplan 2023) et aux BZ dans deux troupeaux sur 11. Le lévamisole n'a pas encore été étudié en France. Les genres concernés étaient aussi bien *Cooperia* qu'*Ostertagia*, augmentant le risque associé à ces résistances étant donné la pathogénicité du second.

Au niveau européen, les BZ conservent relativement bien leur efficacité, jusqu'à une étude irlandaise récente (Kelleher et al., 2020). Les avermectines sont cependant plus fréquemment concernées par des résistances, de même que la moxidectine, même si les études la concernant sont peu nombreuses. Le lévamisole a été trop peu étudié pour déterminer son statut. Les genres concernés sont encore une fois *Cooperia* et *Ostertagia* (Dravigney, 2023c).

Au niveau mondial, Dravigney (2023c) montre des résistances importantes aux avermectines sur tous les continents considérés, ainsi que pour les BZ en Océanie et Amérique du Sud. La moxidectine semble également être sujette à des résistances mais reste peu étudiée. Le lévamisole semble peu concerné par l'apparition de résistances, mais il s'agit également de l'AH le moins étudié. Une étude récente aux Etats-Unis a montré de fortes résistances aux avermectines dans tous les troupeaux testés concernant majoritairement *Cooperia*, et *Ostertagia* dans une moindre mesure. L'efficacité des BZ reste cependant bien conservée (Gianchini et al., 2025).

PARTIE 2 : ETUDE EXPERIMENTALE

Dans la partie précédente, nous avons vu que les résistances des SGI aux AH sont une problématique importante et insuffisamment étudiée pour en mesurer l'ampleur réelle. Les premières études réalisées en France sont rassurantes sur l'efficacité des BZ mais montrent des résistances aux LM, et le lévamisole n'a pas encore été étudié (Dravigney, 2023c). De plus, des travaux récents ont montré que des SGI résistants pouvaient être transmis d'un élevage à l'autre via la transhumance chez les petits ruminants (Jouffroy et al., 2025), mais l'impact de l'estive collective sur la transmission de résistances aux AH chez les bovins est encore inconnue.

Récemment, le Dv. Laurent Dravigney, vétérinaire praticien à la clinique vétérinaire de la Haute Auvergne à Saint-Flour, Cantal, a contribué à monter depuis 2021 le projet RESPECT ! (Responsabilisation de l'Emploi des Strongylicide par une Prescription basée sur l'Efficacité et la Cohérence des Traitements) avec Oniris et l'INRAE, afin de créer un observatoire des résistances aux AH en France (Dravigney, 2023b).

Cette étude s'inscrit donc dans la continuité du projet RESPECT ! et vise à compléter l'étude réalisée préalablement par Grelaud (2023) sur les résistances des SGI à l'ivermectine et à l'oxfendazole en estive dans le Cantal, en étudiant les résistances aux LM (doramectine, ivermectine et moxidectine, respectivement abrégées DOR, IVM et MOX ci-dessous), ainsi que les résistances au lévamisole (abrégé LEV). Elle est également en accord avec les recommandations du CGAAER pour lutter contre l'apparition des résistances aux AH (Guériaux & Clément, 2025). Cette étude cherche également à déterminer si un TREF indicateur de résistance peut être prédictif d'une diminution du GMQ des animaux, ainsi qu'à évaluer l'impact de la rémanence d'un traitement AH sur l'excrétion deux mois post-traitement.

I. Matériel et méthode

1. Recrutement

Les élevages recrutés faisaient tous partie d'une coopérative d'estive du Cantal : soit la COPTASA, soit la coopérative d'estive du Mont Mouchet. Ils ont été sélectionnés sur la base de leur motivation à participer et leur accord pour ne réaliser qu'un seul traitement AH au milieu de la saison de pâture.

En 2023, 10 élevages ont été sélectionnés via la COPTASA pour constituer un lot de bovins allaitants (Aubrac, Salers et croisés) en première saison de pâture. Il s'agit du lot DOR-MOX.

En 2024, 17 élevages ont été étudiés à la COPTASA pour constituer deux lots de bovins allaitants (Aubrac, Salers et croisés) en première saison de pâture, comprenant 7 et 10 élevages. Ce sont respectivement les lots LEV et DOR-LEV. Neuf élevages du lot DOR-LEV avaient déjà participé à l'étude en 2023. De plus, six élevages ont été recrutés via la coopérative d'estive du Mont Mouchet pour former un lot de bovins (Limousines, Montbéliardes, Prim'Holstein et croisés) de deuxième saison de pâture. Il s'agit du lot IVM-MOX.

La composition des différents lots est présentée en Annexe 1.

2. Protocole de terrain

Au sein des lots DOR-MOX, DOR-LEV et IVM-MOX, deux molécules ont été testées, correspondant au nom attribué au lot. Chaque molécule a été évaluée sur la moitié des bovins du lot, en conservant cette répartition au sein de chaque élevage. Seul le lévamisole a été testé dans le lot LEV.

Pour chaque lot, la première visite (V1) a eu lieu entre le 15 juin et le 15 juillet, soit au moins trois semaines après leur arrivée dans l'estive. Elle a consisté à trier les jeunes bovins des bovins adultes, puis à les mener dans un couloir de contention (*Figure 4*), dans lequel les prélèvements étaient effectués par voie rectale. Les échantillons étaient conservés dans les gants de palpation transrectale identifiés du numéro du bovin prélevé. Une fois prélevés, les bovins étaient conduits dans une balance, où une dose d'AH correspondant à leur lot était administrée. La dose administrée correspondait à la cinquantaine supérieure à leur poids afin d'éviter le sous-dosage (un jeune bovin pesant 210 kg recevait donc une dose pour 250 kg). Ainsi les bovins ont chacun reçu une injection selon la molécule testée, en accord avec les résumés des caractéristiques du produit (RCP) :

- De doramectine : DECTOMAX® 10 mg/ml (0,2 mg/kg, ZOETIS) ;
- D'ivermectine : ANIMEC® (0,2 mg/kg, Laboratoires Biové S.A.S) ;
- De moxidectine : CYDECTINE® 0,5% (0,2 mg/kg, ZOETIS) ;
- De lévamisole : NEMISOL® (7,5 mg/kg, DOPHARMA).

Pour les lots DOR-MOX, DOR-LEV et IVM-MOX, la deuxième visite (V2) a eu lieu respectivement 17 jours, 10 jours et 18 jours après V1. Le déroulé a été similaire à V1, sans injection d'AH ni pesée. Cette visite n'a pas eu lieu pour le lot LEV à cause de contraintes logistiques rendant une deuxième contention à cette période trop complexe.



Figure 4 : Couloir de contention de la COPTASA

Source : Roussel Adrien

Une dernière visite (V3) a eu lieu au cours de la dernière quinzaine d'août pour les lots DOR-MOX, DOR-LEV et LEV. Le déroulé a été similaire aux visites précédentes. Cette visite n'a pas eu lieu pour le lot IVM-MOX car la cage de pesée n'était pas disponible. Au sein des lots DOR-LEV et LEV, des prélèvements de matières fécales ont eu lieu pour les bovins de l'élevage avec le plus grand effectif afin d'obtenir une idée de la charge parasitaire deux mois post-traitement, respectivement les élevages 5 et 13. Les GMQ étaient calculés en direct au moment de la pesée et les bovins pour lesquels le GMQ était inférieur à un certain seuil ont reçu une injection de lévamisole. Ces seuils ont été déterminés à partir des moyennes de GMQ par race de 2023 pour la classe d'âge 120-210 jours (IDELE, 2024b) et avec l'aide d'un technicien du Conseil Bovin Viande présent le jour de la pesée (*Tableau VI* et *VII*).

Tableau VI : GMQ moyens pour la classe d'âge 120-210 jours en races Aubrac et Salers

Source : IDELE (2024b)

Sexe et race	Mâle Aubrac	Femelle Aubrac	Mâle Salers	Femelle Salers
GMQ moyen entre 120 et 210 jours (g/j)	1187	919	1141	954

Tableau VII : Seuils de GMQ motivant un second traitement anthelminthique

Sexe et race	Mâle croisé Aubrac x Charolais	Femelle croisée Aubrac x Charolais	Mâle Aubrac ou Salers	Femelle Aubrac ou Salers
GMQ (g/j)	1100	1000		900

3. Analyses coproscopiques et fiabilité du TREF

a. Méthode d'analyse coproscopique

La lecture coproscopique a été effectuée avec les dispositifs Mini-FLOTAC® et Fill-FLOTAC®, développés par l'université de Naples. Il s'agit, avec la méthode de McMaster, d'une des deux techniques recommandées par Kaplan et al. (2023). Elle présente l'avantage d'avoir une meilleure sensibilité et répétabilité (Dias de Castro et al., 2017).

Le protocole utilisé (cf. Annexe 2) est une version modifiée de celui décrit par Cringoli et al. (2017) permettant la conservation des échantillons afin de pouvoir étaler la période de lecture. En effet, la conservation des échantillons en milieu réfrigéré et anaérobie permet de conserver les œufs de SGI jusqu'à 21 jours après prélèvement (L. Rinaldi et al., 2011). Dans notre protocole, la centrifugation dans de l'eau permet de créer une colonne d'eau anaérobie au-dessus du culot contenant les œufs. Cette méthode a également permis de faciliter la lecture coproscopique grâce à l'élimination de débris en même temps que du surnageant. Le liquide de flottation utilisé était une solution de chlorure de sodium à saturation de densité 1,2, qui permet une bonne sensibilité des coproscopies pour les strongles gastro-intestinaux (L. Rinaldi et al., 2011).

Les échantillons étaient lus au grossissement x40, qui permettait le même dénombrement qu'au grossissement x100 tout en accélérant la vitesse de lecture. Les œufs de SGI étaient dénombrés sans distinction, en dehors des œufs de *Nematodirus* sp. comptés à part. Les œufs de *Strongyloides* sp. ont également été dénombrés, ainsi que les œufs de *Moniezia* sp. lorsqu'ils étaient présents en quantité importante.

b. Fiabilité du TREF

Pour déterminer dans quels élevages notre protocole permettait d'obtenir des résultats exploitables, nous avons défini une méthode permettant de déterminer la « fiabilité du TREF » en prenant pour base les recommandations internationales de la WAAVP (Kaplan et al., 2023).

Nous nous sommes basés sur les recommandations concernant la taille des lots et le nombre d'œufs comptés à la coproscopie pré-traitement, telles que présentées dans le Tableau III en Partie 1.III.3.a. Nous avons tracé une courbe de tendance à partir de ces données. Celle-ci nous permet de déterminer visuellement la fiabilité du TREF pour un lot, en positionnant chaque lot par rapport à la courbe selon le nombre d'animaux et le nombre moyen d'œufs lus par animal.

Si le lot contient au moins cinq animaux et est situé au-dessus de la courbe (Figure 5), son TREF est considéré comme fiable et ses résultats exploitables. Une deuxième lecture de tous les échantillons du lot était effectuée lorsque les critères de fiabilité n'étaient pas remplis, à partir du second tube préparé tel que décrit en Annexe 2. Cela permettait d'augmenter le nombre d'œufs lus pour le lot, augmentant alors la précision du TREF et la probabilité qu'il soit considéré comme fiable. Si les critères de fiabilité n'étaient toujours pas atteints après cette seconde lecture, le TREF était considéré comme non fiable. Si les échantillons d'un lot étaient lus deux fois pré-traitement, ils étaient également lus deux fois post-traitement afin de conserver la même résolution entre les deux lectures.

Par exemple, dans le lot LEV, deux lectures ont été effectuées pour les sept animaux de l'élevage 3 traités au lévamisole. A la première lecture, 40 œufs ont été lus en moyenne puis 64 à la deuxième lecture. Comme montré sur la *Figure 5*, cela a permis de positionner le lot au-dessus de la courbe après la deuxième lecture, permettant alors la fiabilité du TREF.

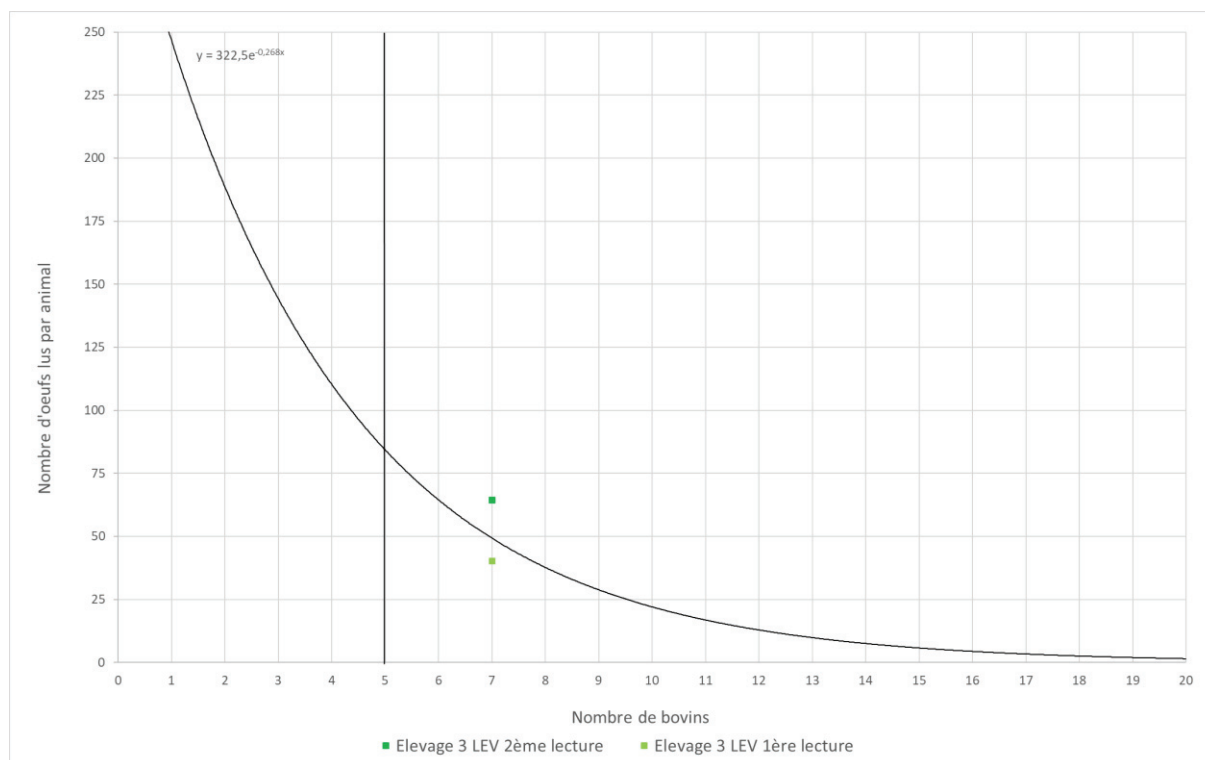


Figure 5 : Courbe permettant de déterminer la fiabilité d'un TREF à partir des résultats de coproscopie pré-traitement

Si un lot contient au moins 5 animaux et est situé au-dessus de la courbe, son TREF est considéré comme fiable et donc exploitable.

D'après Kaplan et al. (2023).

4. Coprocultures et identification larvaire

Des coprocultures avant et après traitement ont été réalisées pour chaque lot afin d'identifier les SGI présentant des résistances, à l'exception du lot DOR-MOX pour lequel les coprocultures n'ont été réalisées qu'en post-traitement pour des raisons de faisabilité. Pour cela, les fèces excédentaires après préparation des tubes pour coproscopies ont été placées dans une boîte de 35x18cm identifiée pour chaque lot et mélangées au même volume de vermiculite (cf. *Figure 6*). Les boîtes ont ensuite été placées dans une pièce entre 20 et 25°C pendant deux semaines. Tous les deux jours, les fèces étaient aérées en les mélangeant délicatement et étaient humidifiées par vaporisation si besoin après vérification visuelle du taux d'humidité.

Après la période de culture, le contenu des boîtes était filtré en plusieurs fois par une méthode de Baermann (comme décrit en Partie 1.1.2.) pendant au moins 12h.



Figure 6 : Photo d'une coproculture

Source : Roussel Adrien

Le contenu du tube à essai était récupéré et le tube était rincé deux fois à l'eau du robinet. Le filtrat était ensuite conservé au froid positif dans un flacon avec bouchon ventilé jusqu'à identification larvaire.

Les larves ont ensuite été identifiées au microscope optique à partir des descriptions et de l'arbre d'identification, présenté en Annexe 3, réalisés par Wyk et Mayhew (2013). Quelques gouttes du filtrat étaient déposées sur une lame, qui était ensuite maintenue quelques secondes au-dessus d'un briquet allumé afin de tuer les larves pour faciliter leur observation, et donc leur identification. Sur chaque larve observée, une attention particulière était apportée aux extrémités crâniale et caudale. *Cooperia* sp. était identifié grâce à la présence de deux corps réfringents à son extrémité crâniale (cf. Figure 7). De plus, les extensions caudales de la gaine étaient mesurées ; celle de *O. ostertagi* mesurant moins de 70µm tandis que celle de *C. oncophora* mesure plus de 70µm (C. Chartier, communication personnelle). Les mesures étaient effectuées à partir du logiciel Bresser® MikroCamLabII®. Un total d'au moins 100 larves par lot était compté afin d'avoir un échantillon représentatif de la population larvaire.

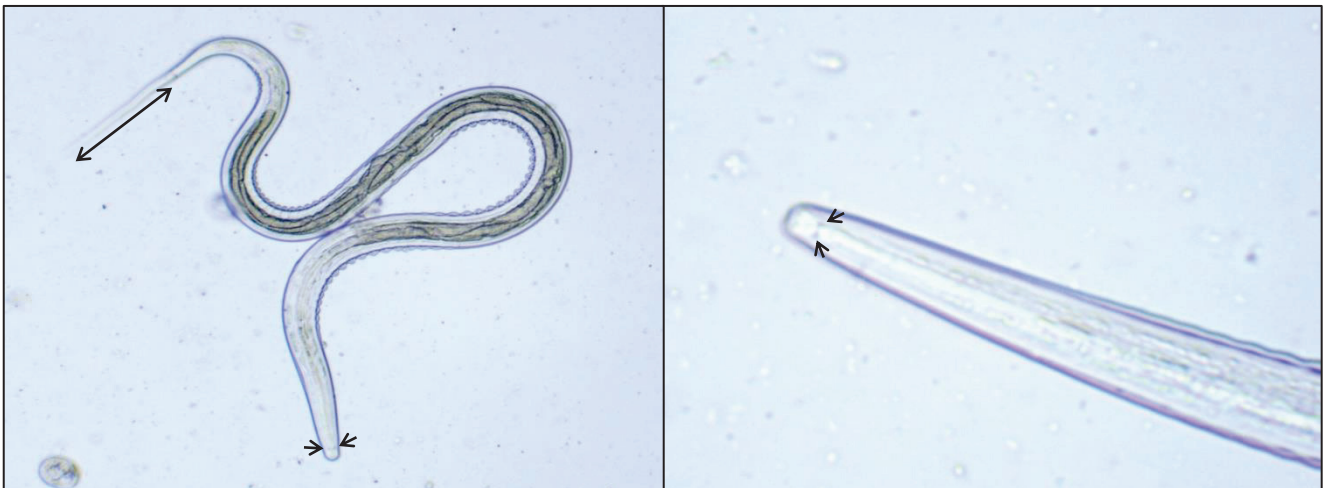


Figure 7 : Photos d'une larve L3 de *C. oncophora* (droite) et de l'extrémité crâniale d'une larve de *C. oncophora* (gauche)

Flèches simples : corps réfringents ; Double flèche : extrémité caudale de la gaine

Source : Roussel Adrien

5. Données météorologiques

Afin de déterminer si des variations de GMQ entre les lots pouvaient être imputables à de fortes différences météorologiques, les données météorologiques sur la période de pâture ont été compilées pour chaque lot dont le GMQ a été calculé. Ces données sont celles de la station météorologiques d'Anzat-le-Luguet, la plus proche de l'estive, récupérées à partir du site web meteociel.fr (Meteociel, 2024). Les bilans climatiques de Météo-France concernant les étés 2023 et 2024, et plus particulièrement le mois de juillet, et les notes agro-climatiques de l'Institut de l'Élevage concernant les étés 2023 et 2024 ont également été consultés, afin de comparer les conditions météorologiques aux normales de saison et d'obtenir un aperçu de la qualité de l'herbe (IDELE, 2023, 2024a; Météo-France, 2024, 2025).

6. Analyses statistiques

Au cours de l'étude, les données ont été compilées sur Microsoft Excel®.

Les TREF ont d'abord été calculés selon leur définition :

$$TREF(\%) = 100 \times \left(1 - \frac{\text{Moyenne post traitement}}{\text{Moyenne pré traitement}}\right)$$

Comme recommandé par la WAAVP, les analyses statistiques ont ensuite été effectuées via une application web, disponible sur www.fecrt.com, utilisant une méthode hybride fréquentiste et bayésienne (Denwood et al., 2023; Kaplan et al., 2023). Cette application web utilise cinq méthodes statistiques distinctes pour déterminer la sensibilité ou la résistance d'un lot à un AH : deux via des approximations des intervalles de confiance à 90% et trois via le test de deux hypothèses nulles. Les deux méthodes d'approximation des intervalles de confiance sont les suivantes :

- La méthode Delta utilise la loi Gamma, dont les paramètres sont obtenus par la méthode delta (Denwood et al., 2019; Levecké et al., 2014). C'est une des méthodes à privilégier dans l'interprétation des données (Denwood et al., 2023) ;
- La méthode WAAVP est une méthode d'approximation normale (Coles et al., 1992; Denwood et al., 2019; Pepper et al., 2003).

Ces deux méthodes sont non paramétriques, donc fiables vis-à-vis des hypothèses de répartition, et les variances des données pré- et post-traitement sont calculées séparément. Elles sont toutes deux fiables lorsque le lot contient au moins cinq animaux et lorsqu'au moins trois observations pré-traitement sont non nulles. Elles ne peuvent pas être utilisées si toutes les observations post-traitement sont nulles. (Denwood et al., 2023). Pour ces deux méthodes, les intervalles de confiance sont ensuite comparés à ceux définis dans les recommandations internationales (cf. Partie 1.III.3.a, Tableau IV).

Les trois autres méthodes sont trois versions (A, B et C) basées sur une méthode nommée BNB. Cette méthode est paramétrique et part du principe que les données suivent une loi binomiale négative. Elle considère deux hypothèses nulles utilisant un essai d'infériorité unilatéral pour montrer une diminution d'efficacité, et un essai de non-infériorité unilatéral pour montrer une efficacité adaptée. Une p-value est associée à chaque hypothèse nulle, une valeur inférieure à 0,05 la vérifiant de la même manière que les intervalles de confiance à 90%. Les différences exactes

entre les versions A, B et C ne sont pas explicitées, mais leurs spécificités d'application sont les suivantes (Denwood et al., 2019, 2023) :

- La version A estime la surdispersion indépendamment entre les données pré- et post- traitement. Elle est fiable si le lot contient au moins cinq animaux et si moins de trois observations pré-traitement sont non-nulles. Elle a donc le même domaine d'application que les méthodes Delta et WAAVP ;
- La version B estime la surdispersion de l'excrétion à partir des données pré-traitement, et celle des données post-traitement y est considérée proportionnelle. Elle est fiable si le lot contient au moins cinq animaux, sans conditions sur le nombre d'observations pré-traitement non-nulles. Il s'agit de la méthode à privilégier lorsque le lot contient au moins cinq animaux et lorsque moins de trois observations post-traitement sont non-nulles ;
- La version C est la seule des cinq méthodes proposées permettant d'analyser un lot comprenant moins de cinq individus. La surdispersion de l'excrétion est considérée comme suivant les estimations de la littérature, cette méthode n'est donc pas fiable si la surdispersion réelle est différente.

Le Tableau VIII présente les domaines d'application privilégiés de chacune des 5 méthodes.

Tableau VIII : Domaines d'application privilégiés des différentes méthodes d'analyse statistique

Source : Denwood et al. (2023)

Méthode	Delta	WAAVP	BNB A	BNB B	BNB C
Nombre d'animaux	≥ 5	≥ 5	≥ 5	≥ 5	/
Nombre d'observations non-nulles	≥ 3	≥ 3	≥ 3	/	/

Afin d'utiliser l'application web, les données ont été compilées dans des fichiers « .csv », selon le lot et le facteur de multiplication utilisé lors de la lecture de coproscopies. Pour chaque lot, une feuille était utilisée pour chaque élevage et chaque molécule. Les données étaient exprimées en opg et réparties sur deux colonnes pour les données pré- et post-traitement. Les paramètres sélectionnés correspondaient à une recherche clinique, pour des bovins. Le facteur de multiplication était de 5 ou de 2,5, selon si une ou deux lames de Mini-FLOTAC avait été lue. Le nombre de lames lues était identique en post-traitement.

Les résultats ont ensuite été interprétés en prenant en compte les méthodes Delta et BNB, en utilisant la version la plus adaptée tel que décrit ci-dessus. Si les interprétations obtenues par les deux méthodes sont différentes, celle retenue pour l'établissement du statut du lot est, de la même manière, la plus adaptée au lot. Pour certains élevages, la méthode Delta n'a pas pu être utilisée car toutes les observations post-traitement étaient nulles. Dans ce cas, seule la méthode BNB version B a été utilisée.

L'analyse des mesures de GMQ a été réalisée avec R® (R Core Team, 2025). Afin de s'affranchir d'une possible mauvaise répartition des races et des sexes entre les lots, les analyses statistiques ont été conduites sur les écarts aux seuils de GMQ.

L'évaluation de l'effet des différents traitements au sein d'un même lot a été réalisée avec des tests de Student bilatéraux homoscedastiques comparant les différences de GMQ entre l'ensemble des animaux ayant reçu chaque traitement. Si une différence significative était mise en évidence, de nouveaux tests de Student étaient effectués au sein de chaque élevage entre les animaux ayant reçu des traitements différents, en corrigeant les risques de première espèce par la méthode de Bonferroni-Holm.

L'effet du statut de résistance des élevages sur la croissance a été évalué par une ANOVA 1 comparant les écarts aux seuils de GMQ entre les animaux sensibles, faiblement résistants et résistants. Si une différence significative était observée, des tests de Student bilatéraux homoscedastiques étaient réalisés entre les différents statuts, en corrigeant le risque de première espèce par la méthode de Bonferroni-Holm. Les écarts aux seuils de GMQ entre élevages ayant reçu le même traitement dans chaque lot, ainsi qu'entre les élevages ayant participé en 2023 et 2024 ont été comparés de la même manière.

Les données météorologiques relevées à la station d'Anzat-le-Luguet ont également été analysées avec des ANOVA 1, afin de déterminer si des différences au niveau des conditions météorologiques pouvaient être mises en évidence et expliquer d'éventuelles différences de GMQ.

7. Questionnaire

Afin de connaître, pour chaque élevage, les habitudes de traitement, la date de mise à l'herbe et les objectifs de GMQ, un questionnaire a été rempli auprès des éleveurs des lots DOR-MOX et DOR-LEV (Annexe 4). Son exploitation a été réalisée avec R®.

8. Ethique

L'étude a été approuvée par le comité d'éthique Jacques Bonnod de VetAgro Sup sous le numéro 2442.

II. Résultats

1. Synthèse des travaux réalisés

L'expérimentation a été conduite sur 422 animaux répartis en trois lots sur deux estives. Les bovins provenaient de 23 élevages différents, dont neuf ont participé aux deux années sur lesquelles l'étude a eu lieu. Au total, 747 prélèvements ont été réalisés, et 881 lectures coproscopiques ont été effectuées, en comptant les échantillons lus deux fois. Trente-deux coprocultures ont été réalisées, concernant 16 élevages.

2. Fiabilité des TREF

Les résultats des coproscopies pré-traitement des différents élevages ont permis d'établir la fiabilité des TREF tel qu'établi en Partie 2.1.1. La *Figure 8* détaille la fiabilité des TREF effectués selon le nombre d'œufs lus par animal et le nombre d'animaux dans chaque élevage. Au total, six TREF sont jugés fiables pour le lévamisole, deux pour la moxidectine et un pour la doramectine et un pour l'ivermectine. Pour les lots entiers, le TREF est toujours fiable.

Concernant *Nematodirus* sp., l'excrétion n'a atteint dans aucun élevage un niveau suffisant pour permettre la réalisation de TREF fiables.

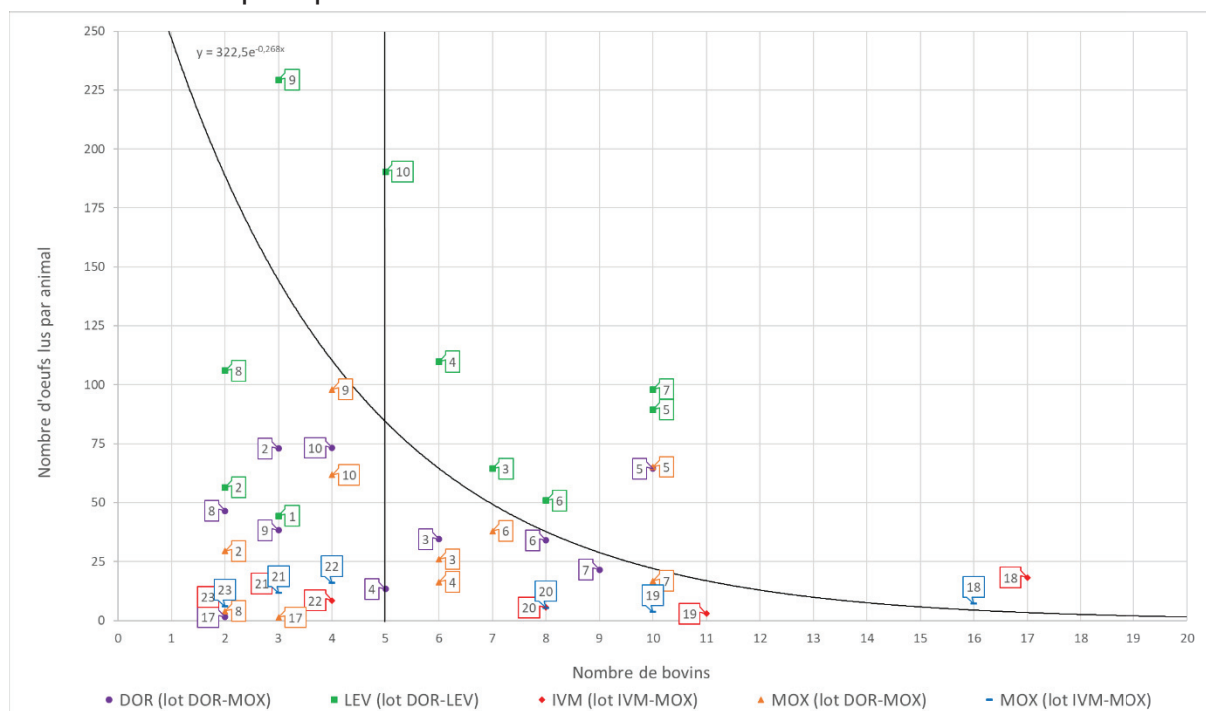


Figure 8: Résultats du nombre d'œufs lus en pré-traitement et évaluation de la fiabilité des TREF par élevage et molécule testée

Le TREF est considéré fiable pour les élevages situés au-dessus de la courbe et comprenant au moins cinq animaux.

3. Résultats des TREF

a. Pour le lévamisole (2024)

Pour le lévamisole, les TREF ont été réalisés sur les 57 animaux du lot DOR-LEV traités au lévamisole. Les TREF sont fiables pour 6 élevages, représentant 46 animaux, ainsi que pour la totalité du lot. Parmi ces 6 élevages, 1 est résistant, 2 sont faiblement résistants et 3 sont sensibles. Parmi les quatre élevages pour lesquels le TREF n'est pas fiable, deux sont suspectés résistants et deux sont suspectés douteux. Le lot dans sa totalité est quant à lui faiblement résistant. Les résultats détaillés sont présentés dans le Tableau IX.

Tableau IX : Résultats des TREF pour le lévamisole

* = double lecture ; R = Résistant ; FR = Faiblement Résistant ; S = Sensible ; D = Douteux ; ? = résultat indicatif en absence de fiabilité du TREF

LOT	Elevage	Nombre d'animaux	Excrétion moyenne à V1 (opg)	Excrétion moyenne à V2 (opg)	TREF fiable ?	Méthode Delta		Méthode BNB				Statut
						IC90 (%)	Statut	Version	Test R	Test S	Statut	
DOR-LEV	1	3	221,7	16,7	Non	81,9 98,7	R ?	C	0,011	0,483	R ?	R ?
	2	2	282,5	15	Non	83,9 99,7	D ?	C	0,044	0,430	R ?	R ?
	3*	7	177,9	6,1	Oui	93,8 98,9	FR	A	0,001	0,004	FR	FR
	4*	6	274,6	10,8	Oui	91,6 99,1	S	A	0,012	0,074	R	S
	5	10	447,5	12	Oui	94,8 99,1	S	A	0,006	<0,001	FR	S
	6	8	254,4	18,8	Oui	86,4 97,2	R	A	<0,001	0,292	R	R
	7	9	533,3	24,4	Oui	90,7 98,6	FR	A	0,002	0,071	R	FR
	8	3	353,3	11,7	Non	93,9 98,7	FR ?	C	0,108	0,245	D ?	D ?
	9	3	1146,7	23,3	Non	95,6 99,5	S ?	C	0,212	0,138	D ?	D ?
	10	5	952	21	Oui	96 99,1	S	A	0,024	<0,001	FR	S
	Tous	56	406,9	15,9	Oui	95,2 97,4	FR	A	<0,001	<0,001	FR	FR

b. Pour la doramectine (2023)

Pour la doramectine, les TREF ont été réalisés en 2023 sur les 53 animaux du lot DOR-MOX traités à la doramectine. Les TREF sont fiables pour un élevage, représentant 10 animaux, ainsi que pour la totalité du lot. Cet élevage est faiblement résistant. Les neuf autres élevages sont suspectés résistants pour quatre d'entre eux et douteux pour les cinq restants. Le lot dans sa totalité est quant à lui faiblement résistant. Les résultats détaillés sont présentés dans le Tableau X.

Tableau X : Résultats des TREF pour la doramectine

* = double lecture ; R = Résistant ; FR = Faiblement Résistant ; S = Sensible ; D = Douteux ; ? = résultat indicatif en absence de fiabilité du TREF

L O T	Elevage	Nombre d'animaux	Excrétion moyenne à V1 (opg)	Excrétion moyenne à V2 (opg)	TREF fiable ?	Méthode Delta		Méthode BNB				Statut
						IC90 (%)	Statut	Version	Test R	Test S	Statut	
D O R - M O X	2	3	365	35	Non	76,2 98,6	R ?	C	0,005	0,558	R ?	R ?
	3	6	172,5	3,3	Non	95,1 99,7	S ?	B	0,205	0,016	D ?	D ?
	4	5	67	19	Non	9,8 99,1	D ?	B	<0,001	1	R ?	R ?
	5*	10	161	7,5	Oui	91,2 98,5	FR	A	<0,001	0,081	R	FR
	6*	8	85	6,6	Non	85,6 97,4	R ?	A	<0,001	0,364	R ?	R ?
	7*	9	34,4	1,9	Non	86,9 99,3	D ?	A	0,006	0,306	R ?	D ?
	8	3	155	6,7	Non	93,6 99,6	S ?	C	0,256	0,311	D ?	D ?
	9	3	191,7	5	Non	89,5 100	D ?	C	0,196	0,224	D ?	D ?
	10	4	366,3	17,5	Non	88,2 99,3	D ?	C	0,029	0,287	R ?	R ?
	17	2	7,5	0	Non	/	/	C	1	0,737	D ?	D ?
	Tous	53	143	10	Oui	91,1 96,4	FR	A	<0,001	0,047	FR	FR

c. Pour la moxidectine (DOR-MOX 2023 et IVM-MOX 2024)

Pour la moxidectine, les TREF ont été réalisés sur les animaux des lots DOR-MOX et IVM-MOX traités à la moxidectine, représentant respectivement 54 et 43 animaux. Les TREF sont fiables pour un élevage dans chaque lot, représentant 10 et 16 animaux, ainsi que pour la totalité des lots. Ces élevages sont résistants. Les 14 autres élevages sont suspectés résistants pour huit d'entre eux et douteux pour les six restants. Les lots dans leur totalité sont également résistants. Les résultats détaillés sont présentés dans le Tableau XI.

Tableau XI : Résultats des TREF pour la moxidectine

* = double lecture ; R = Résistant ; FR = Faiblement Résistant ; S = Sensible ; D = Douteux ; ? = résultat indicatif en absence de fiabilité du TREF

LOT	Elevage	Nombre d'animaux	Excrétion moyenne à V1 (opg)	Excrétion moyenne à V2 (opg)	TREF fiable ?	Méthode Delta		Méthode BNB				Statut
						IC90 (%)	Statut	Version	Test R	Test S	Statut	
DOR-MOX	2	2	147,5	10	Non	88,8 96,6	R ?	C	0,065	0,508	D ?	D ?
	3	6	130	40,8	Non	36,4 90,5	R ?	A	<0,001	1	R ?	R ?
	4	6	81,7	109,2	Non	-250 84,6	R ?	A	<0,001	1	R ?	R ?
	5*	10	163	91,5	Oui	-4 75,9	R	A	<0,001	1	R	R
	6*	7	95	66,4	Non	-34,1 75,4	R ?	A	<0,001	1	R ?	R ?
	7*	10	42	30,8	Non	-43,1 75,1	R ?	A	<0,001	1	R ?	R ?
	8	2	20	175	Non	-3700 99,7	D ?	C	<0,001	1	R ?	R ?
	9	4	490	161,3	Non	22,4 94	R ?	C	<0,001	1	R ?	R ?
	10	4	308,8	27,5	Non	80,1 98	R ?	C	0,003	0,517	R ?	R ?
	17	3	6,7	0	Non	/	/	C	1	0,681	D ?	D ?
	Tous	54	139,5	68	Oui	23,3 67,4	R	A	<0,001	1	R	R
IVM-MOX	18	16	36,3	8,8	Oui	51,1 92,7	R	A	<0,001	1	R	R
	19	10	18	0	Non	/	/	B	1	0,073	D ?	D ?
	20	8	26,9	0,6	Non	91,6 100	S ?	B	0,352	0,311	D ?	D ?
	21	3	58,3	0	Non	/	/	C	1	0,176	D ?	D ?
	22	4	80	1,3	Non	94,8 100	S ?	C	0,456	0,160	D ?	D ?
	23	2	30	5	Non	43,1 99,7	D ?	C	0,032	1	R ?	R ?
	Tous	43	35,6	3,7	Oui	79,7 96,4	R	A	<0,001	1	R	R

d. Pour l'ivermectine (2024)

Pour l'ivermectine, les TREF ont été réalisés sur les 45 animaux du lot IVM-MOX traités à l'ivermectine. Le TREF n'est fiable que pour un élevage représentant 17 animaux, ainsi que pour la totalité du lot. Cet élevage est résistant. Les cinq autres élevages sont suspectés résistants pour deux d'entre eux et douteux pour les trois restants. Le lot dans sa totalité est également résistant. Les résultats détaillés sont présentés dans le Tableau XII.

Tableau XII : Résultats des TREF pour l'ivermectine

R = Résistant ; FR = Faiblement Résistant ; S = Sensible ; D = Douteux ; ? = résultat indicatif en absence de fiabilité du TREF

L O T	Elevage	Nombre d'animaux	Excrétion moyenne à V1 (opg)	Excrétion moyenne à V2 (opg)	TREF fiable ?	Méthode Delta		Méthode BNB				Statut
						IC90 (%)	Statut	Version	Test R	Test S	Statut	
I V M - M O X	18	17	90,9	28,2	Oui	45,2 86,7	R	A	<0,001	1	R	R
	19	11	14,6	0	Non	/	/	B	1	0,121	D ?	D ?
	20	8	27,5	1,3	Non	87,6 99,6	D ?	B	0,109	0,351	D ?	D ?
	21	3	78,3	1,7	Non	92,8 100	S ?	C	0,374	0,263	D ?	D ?
	22	4	42,5	5	Non	62,9 99,1	D ?	C	0,005	1	R ?	R ?
	23	2	50	10	Non	39,3 99,1	D ?	C	0,010	1	R ?	R ?
	Tous	45	54	11,9	Oui	62,2 90	R	A	<0,001	1	R	R

e. Récapitulatif des statuts des élevages

Au total, six TREF concernant le lévamisole sont fiables : un élevage est résistant, deux sont faiblement résistants et trois sont sensibles. Pour les quatre autres élevages, deux sont suspectés résistants au lévamisole et deux sont douteux. Deux TREF concernant les avermectines sont fiables : un élevage est résistant et l'autre est faiblement résistant. Pour les 14 autres élevages, six sont suspectés résistants et huit sont douteux. Deux TREF concernant la moxidectine sont fiables : les deux élevages sont résistants. Pour les 14 autres élevages, huit sont suspectés résistants et six sont douteux.

Parmi les élevages pour lesquels les TREF sont fiables, deux présentent une résistance multiple aux avermectines et à la moxidectine. Parmi les autres, une résistance multiple est suspectée chez sept élevages.

Le Tableau XIII récapitule les résultats des TREF pour chaque élevage.

Tableau XIII : Récapitulatif des résultats des TREF par élevage

R = Résistant ; FR = Faiblement Résistant ; S = Sensible ; D = Douteux ; ? = résultat indicatif en absence de fiabilité du TREF ; élevage en italique : résistance confirmée ; élevage en gras et italique : résistance multiple confirmée

Elevage	Statut LEV	Statut DOR	Statut IVM	Statut MOX
1	R ?	/	/	/
2	R ?	R ?	/	D ?
3	FR	D ?	/	R ?
4	S	R ?	/	R ?
5	S	FR	/	R
6	R	R ?	/	R ?
7	FR	D ?	/	R ?
8	D ?	D ?	/	R ?
9	D ?	D ?	/	R ?
10	S	R ?	/	R ?
17	/	D ?	/	D ?
18	/	/	R	R
19	/	/	D ?	D ?
20	/	/	D ?	D ?
21	/	/	D ?	D ?
22	/	/	R ?	D ?
23	/	/	R ?	R ?

4. Evaluation de l'impact d'un traitement rémanent ou non

a. Au sein du lot DOR-LEV

Le prélèvement a été réalisé 49 jours après traitement sur 8 animaux traités à la doramectine et 7 traités au lévamisole, provenant tous de l'élevage 5. L'excrétion moyenne était respectivement de 88,8 et 282,1 opg. La différence n'est pas significative ($p = 0,058$). Les moyennes d'excrétion pré-traitement de ces animaux étaient respectivement de 364,4 et 247,9 opg. Cette diminution d'excrétion est significative pour la doramectine ($p = 0,020$) mais pas pour le lévamisole ($p = 0,740$). L'élevage 5 est sensible au lévamisole et faiblement résistant à la doramectine. Les niveaux d'excrétion des animaux à chaque visite sont présentés dans la Figure 9.

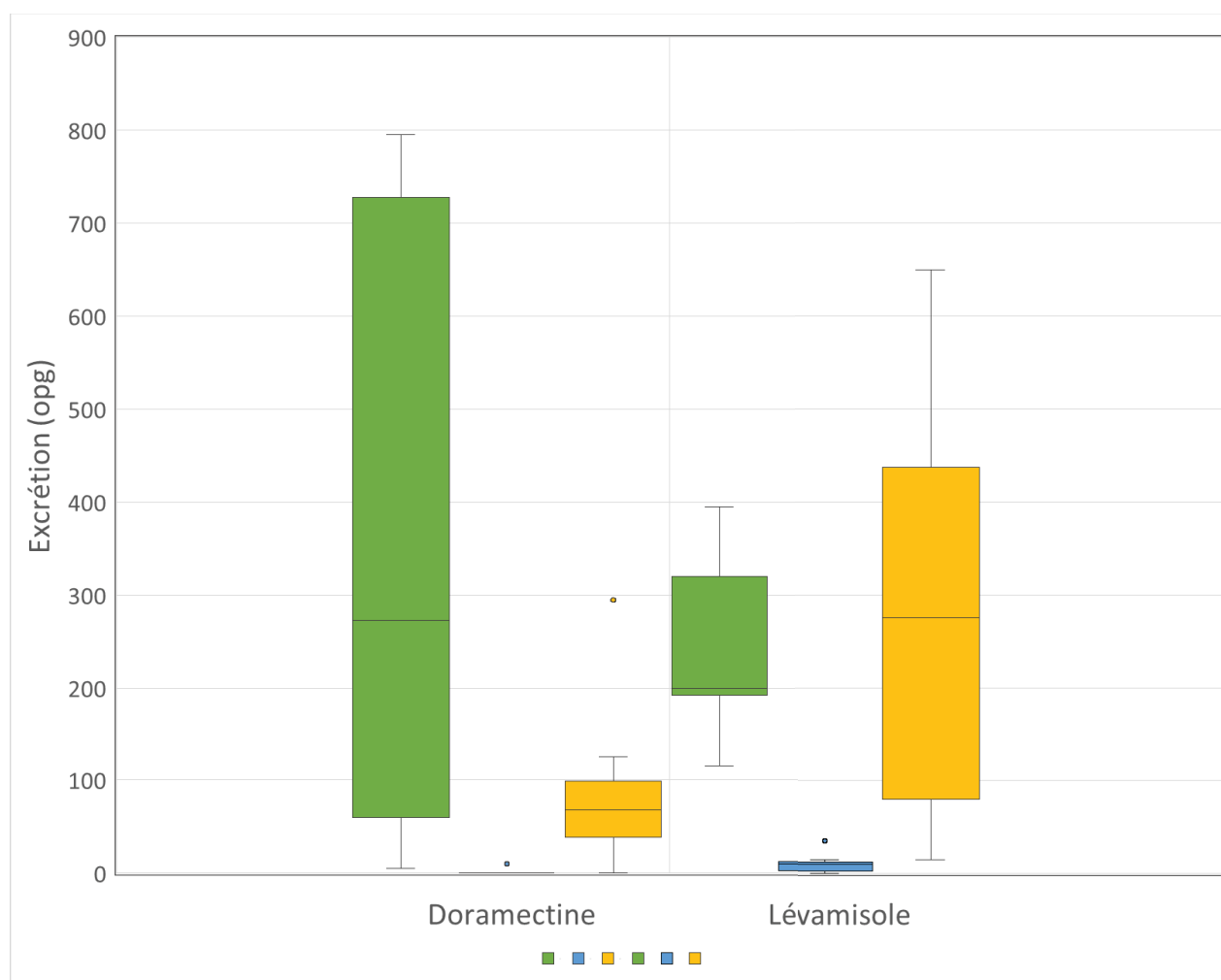


Figure 9 : Evolution de l'excrétion à V1, V2 et V3 pour les animaux prélevés à trois reprises au sein du lot DOR-LEV

b. Au sein du lot LEV

Le prélèvement a été réalisé 56 jours après traitement sur 28 animaux traités au lévamisole provenant de l'élevage 13. L'excrétion moyenne était de 272,9 opg à ce moment-là. La moyenne d'excrétion pré-traitement de ces animaux était de 545,5 opg. Cette diminution d'excrétion est significative ($p = 0,003$). Les niveaux d'excrétion des animaux à chaque visite sont présentés dans la *Figure 10*.

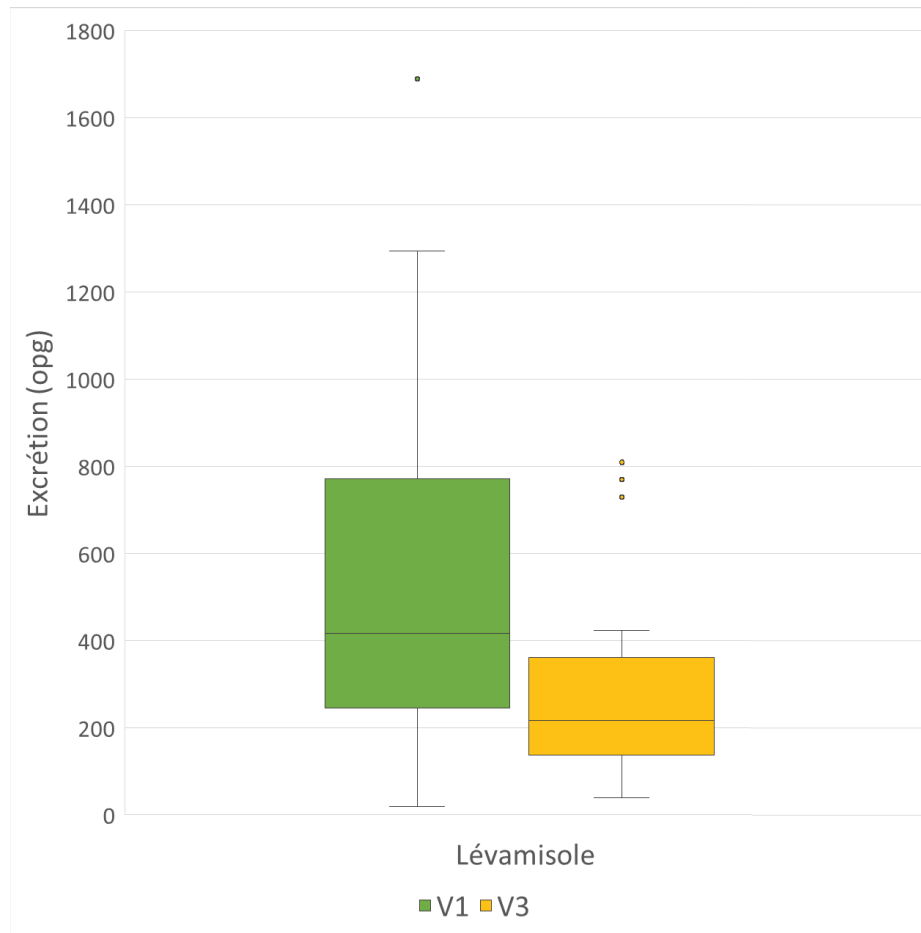


Figure 10 : Evolution de l'excrétion à V1 et V3 pour les animaux prélevés deux fois au sein du lot LEV

5. Résultats des coprocultures

a. Pour les animaux traités au lévamisole

Afin de déterminer quels SGI étaient résistants au lévamisole, des coprocultures pré- et post-traitement ont été réalisées à partir des fèces des animaux des élevages 3, 4, 5, 6, 7 et 10 traités au lévamisole. Le protocole n'a cependant pas permis d'obtenir de larves L3, probablement par un excès d'humidification.

b. Pour les animaux traités à la doramectine

Afin de déterminer quels SGI étaient résistants à la doramectine, des coprocultures pré- et post-traitement ont été réalisées à partir des fèces des animaux des élevages 4, 5 et 6 traités à la doramectine. Le protocole a permis d'obtenir des larves L3 seulement pour les coprocultures post-traitement. Pour chacun des trois

élevages, 100% des larves L3 observées possédaient des corps réfringents ainsi qu'une extension caudale de la gaine d'une longueur supérieure à 70µm, correspondant à des larves de *Cooperia* sp.

c. Pour les animaux traités à la moxidectine

Afin de déterminer quels SGI étaient résistants à la moxidectine, des coprocultures post-traitement ont été réalisées à partir des fèces des animaux des élevages 3, 4, 5, 6, 7 et 18 traités à la moxidectine. Pour tous ces élevages, de 99 (élevage 4) à 100% des larves L3 observées possédaient des corps réfringents ainsi qu'une extension caudale de la gaine d'une longueur supérieure à 70µm, correspondant à des larves de *Cooperia* sp. Une seule larve provenant de l'élevage 4 ne possédait pas de corps réfringents et avait une extension caudale de la gaine mesurant 69µm, correspondant à une larve d'*O. ostertagi*.

d. Pour les animaux traités à l'ivermectine

Afin de déterminer quels SGI étaient résistants à l'ivermectine, des coprocultures pré- et post-traitement ont été réalisées à partir des fèces des animaux de l'élevage 18 traité à l'ivermectine. Le protocole a permis d'obtenir des larves L3 seulement pour les coprocultures post-traitement. Pour cet élevage, 98% des larves L3 observées possédaient des corps réfringents ainsi qu'une extension caudale de la gaine d'une longueur supérieure à 70µm, correspondant à des larves de *Cooperia* sp. Seules deux larves ne possédaient pas de corps réfringents et avaient une extension caudale de la gaine mesurant moins de 70µm (57 et 69µm), correspondant à des larves d'*O. ostertagi*.

Ces résultats sont synthétisés dans le Tableau XIV.

Tableau XIV : Synthèse des larves observées aux coprocultures post-traitement

Traitement	Elevages	% <i>Cooperia</i> sp.	% <i>O. ostertagi</i>
Lévamisole	3 ; 4 ; 5 ; 6 ; 7 ; 10	Echec culture	Echec culture
Doramectine	4 ; 5 ; 6	100	0
Moxidectine	4	99	1
	3 ; 5 ; 6 ; 7 ; 18	100	0
Ivermectine	18	98	2

6. Résultats des mesures de GMQ

a. Par lot

Pour le lot LEV, l'intervalle entre les deux pesées a été de 56 jours. Le GMQ moyen était de 893 g/j. Au total, 50 animaux avaient des valeurs de GMQ supérieures de 118g/j en moyenne aux seuils fixés mais 64 animaux avaient des valeurs inférieures aux seuils de 165 g/j en moyenne. Ces animaux n'atteignant pas les seuils de GMQ ont été traités une seconde fois. Les écarts aux seuils de GMQ ne sont pas significativement différents entre les différents élevages ($p = 0,087$). Les résultats par élevage sont détaillés dans le *Tableau XV*.

Tableau XV : Résultats des mesures de GMQ pour le lot LEV

Elevage	11	12	13	14	15	16	17	Tous
GMQ moyen (g/j)	956	931	805	929	899	838	1096	893
Ecart moyen aux seuils de GMQ et écart-type (g/j)	+ 4 ± 211	+ 31 ± 111	- 98 ± 155	- 26 ± 164	- 35 ± 122	- 98 ± 145	+ 96 ± 212	- 41 ± 175

Pour le lot DOR-LEV, l'intervalle entre les deux pesées a été de 49 jours. Le GMQ moyen était de 1032 g/j pour les animaux traités à la doramectine et de 994 g/j pour ceux traités au lévamisole. Pour chaque traitement, 30 animaux avaient des valeurs de GMQ supérieures aux seuils fixés, en moyenne 181 g/j pour la doramectine et 150 g/j pour le lévamisole. Vingt-huit animaux traités à la doramectine et 29 animaux traités au lévamisole avaient des valeurs de GMQ inférieures aux seuils fixés, en moyenne de 157 et 164 g/j respectivement. Ces animaux n'atteignant pas les seuils de GMQ ont été traités une seconde fois. Les écarts aux seuils de GMQ ne sont pas significativement différents entre les différents élevages ($p_{DOR} = 0,420$ et $p_{LEV} = 0,905$), ni entre les deux traitements ($p = 0,155$). Les résultats par élevage sont détaillés dans le *Tableau XVI*. Le statut de résistance vis-à-vis de la doramectine est celui établi pour l'élevage l'année précédente au sein du lot DOR-MOX. L'écart aux seuils de GMQ n'est pas significativement différent avec ceux du lot LEV, que ce soit en considérant seulement les animaux traités au lévamisole ou les lots dans leur ensemble ($p = 0,582$ et $0,082$ respectivement).

Tableau XVI : Résultats des mesures de GMQ pour le lot DOR-LEV

Elevage		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Tous
D O R	GMQ moyen (g/j)	985	1150	969	1163	980	915	1059	888	1179	1015	1032
	Ecart moyen aux seuils de GMQ et écart-type (g/j)	- 90 ± 294	+ 250 ± 10	+ 69 ± 108	+ 103 ± 131	+ 67 ± 153	- 56 ± 191	- 1 ± 154	-162 ± 407	+ 154 ± 170	+ 18 ± 271	+ 34 ± 213
	Statut (2023)	/	R ?	D ?	R ?	FR	R ?	D ?	D ?	D ?	R ?	/
L E V	GMQ moyen (g/j)	1034	990	915	976	953	989	998	796	1259	1143	994
	Ecart moyen aux seuils de GMQ et écart-type (g/j)	+ 1 ± 229	+ 90 ± 51	+ 15 ± 253	- 74 ± 182	- 4 ± 147	- 34 ± 277	- 72 ± 98	-271 ± 165	+ 159 ± 67	+ 47 ± 109	- 24 ± 204
	Statut (2024)	R ?	R ?	FR	S	S	R	FR	D ?	D ?	S	FR

Pour le lot DOR-MOX, l'intervalle entre les deux pesées a été de 47 jours. Le GMQ moyen était de 1199 g/j pour les animaux traités à la doramectine et de 1193 g/j pour ceux traités à la moxidectine. Respectivement, 46 et 49 animaux avaient des valeurs de GMQ supérieures aux seuils fixés, de 281 et 263 g/j en moyenne. La différence de GMQ entre les deux traitements est non significative pour la totalité du lot ainsi que pour chaque élevage. Les écarts aux seuils de GMQ ne sont pas significativement différents entre les différents élevages ($p_{DOR} = 0,358$ et $p_{MOX} = 0,190$), ni entre les deux traitements ($p = 0,944$). Ils sont également significativement supérieurs à ceux des lots DOR-LEV et LEV que ce soit en considérant seulement les animaux traités à la doramectine ou les lots dans leur ensemble : $p < 0,001$ dans tous les cas. Les résultats par élevage sont détaillés dans le *Tableau XVII*. Un bovin a été exclu pour l'élevage 9 DOR ainsi que pour l'élevage 8 MOX car les valeurs de GMQ étaient négatives, probablement lié à une mauvaise mesure.

Tableau XVII : Résultats des mesures de GMQ pour le lot DOR-MOX

* = $p < 0,001$

Elevage		2	3	4	5	6	7	8	9	10	17	Tous
D O R	GMQ moyen (g/j)	1085	1248	1315	1121	1266	1264	1128	1255	1330	1277	1199
	Ecart moyen aux seuils de GMQ et écart-type (g/j)	+ 185 ± 80	+ 348 ± 163	+ 255 ± 143	+ 201 ± 149	+ 292 ± 109	+ 204 ± 172	+ 61 ± 159	+ 255 ± 36	+ 280 ± 394	+177 ± 106	+ 235 ± 187
	Statut	R ?	D ?	R ?	FR	R ?	D ?	D ?	D ?	R ?	D ?	FR
M O X	GMQ moyen (g/j)	1000	1220	1383	1177	1104	1283	1043	1330	1266	1234	1193
	Ecart moyen aux seuils de GMQ et écart-type (g/j)	+ 100 ± 64	+ 320 ± 93	+ 316 ± 180	+ 267 ± 110	+ 141 ± 200	+ 233 ± 123	- 57 ± 0	+ 255 ± 54	+216 ± 157	+ 201 ± 180	+ 233 ± 158
	Statut	D ?	R ?	R ?	R	R ?	R ?	R ?	R ?	R ?	D ?	R

b. Selon la molécule utilisée

Tous lots confondus, les différences entre les écarts aux seuils de GMQ entre chaque traitement sont significatives ($p < 0,001$ entre chaque traitement). Les moyennes des écarts aux seuils de GMQ sont de $+232 \pm 162$ g/j pour les animaux traités à la moxidectine, $+134 \pm 225$ g/j pour les animaux traités à la doramectine et -35 ± 186 g/j pour les animaux traités au lévamisole.

c. Selon l'année

Les écarts aux seuils de GMQ obtenus en 2023 sont significativement supérieurs à ceux obtenus en 2024, que l'on considère tous les animaux ou seulement ceux traités à la doramectine. En appliquant la correction de Bonferroni-Holm, les écarts aux seuils de GMQ des animaux traités à la doramectine étaient supérieurs en 2023 pour l'élevage 6 seulement. En considérant tous les animaux et avec la même correction, cinq élevages avaient des écarts aux seuils de GMQ supérieurs en 2023 par rapport à 2024. Le *Tableau XVIII* présente ces résultats en détails.

Tableau XVIII : Résultats des tests de Student entre les écarts aux seuils de GMQ obtenus en 2023 et 2024

En gras : résultat significatif en tenant compte de la correction de Bonferroni-Holm

Elevage	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Tous
Doramectine	0,318	0,010	0,156	0,095	0,001	0,016	0,554	0,532	0,333	<0,001
Tous traitements	0,579	<0,001	0,002	<0,001	0,005	<0,001	0,198	0,146	0,110	<0,001

d. Selon le statut de résistance

En comparant les écarts aux seuils de GMQ selon le statut de résistance des élevages pour chaque traitement, aucune différence significative n'a pu être mise en évidence.

En réitérant cette comparaison tous traitements confondus, aucune différence significative n'est objectivée en considérant uniquement les élevages pour lesquels le TREF est jugé fiable. En effet, l'ANOVA 1 nous donne $p = 0,232$. En incluant les élevages pour lesquels le TREF n'est pas jugé fiable, une différence significative entre les écarts aux seuils de GMQ est mise en évidence. Les élevages ayant un statut résistant ont alors un écart aux seuils de GMQ significativement supérieur à ceux ayant un statut sensible ou faiblement résistant. Le Tableau XIX présente ces résultats en détails.

Tableau XIX : Comparaison des écarts aux seuils de GMQ selon le statut de résistance

En gras : résultat significatif en tenant compte de la correction de Bonferroni-Holm

Statut	R	FR	S	ANOVA 1
Effectif	102	27	17	/
Ecart moyen aux seuils de GMQ (g/j)	174 ± 222	52 ± 206	2 ± 150	0,001
Test de Student avec le statut suivant	0,012	0,401	0,003	/

e. Par race

Au sein d'un même lot, les animaux de même race ayant reçu un traitement différent ont des GMQ non significativement différents. A l'exception de ceux de race Salers, tous les animaux du lot DOR-MOX ont des valeurs de GMQ significativement supérieures aux seuils. Les résultats détaillés sont présentés dans le Tableau XX.

Tableau XX : Résultats des GMQ par race au sein d'un même lot selon le traitement anthelminthique utilisé

En gras : résultat significatif en tenant compte de la correction de Bonferroni-Holm

Lot	Race	Traitement	Ecart moyen aux seuils de GMQ (g/j)	Test de conformité aux seuils de GMQ	Test de Student entre deux traitements
LEV	Aubrac	Lévamisole	- 21	0,247	/
	Croisé		- 160	0,007	
DOR-LEV	Aubrac	Doramectine	+ 109	0,019	0,397
		Lévamisole	+ 53	0,398	
	Salers	Doramectine	- 36	0,036	0,553
		Lévamisole	- 10	0,910	
	Croisé	Doramectine	+ 7	0,920	0,250
		Lévamisole	- 62	0,086	
DOR-MOX	Aubrac	Doramectine	+ 254	<0,001	0,669
		Moxidectine	+ 279	<0,001	
	Salers	Doramectine	+ 230	0,006	0,281
		Moxidectine	+ 129	0,259	
	Croisé	Doramectine	+ 228	<0,001	0,840
		Moxidectine	+ 236	<0,001	

7. Données météorologiques

Les températures moyennes et le volume de précipitations ont été relevés pour chaque lot à partir de la station météorologique d'Anzat-le-Luguet pour la période entre V1 et V3. Elles sont présentées dans le Tableau XXI. Aucune différence significative n'a pu être mise en évidence entre les différents lots.

Tableau XXI : Données météorologiques moyennes pendant la période de mesure de GMQ pour chaque lot

Lot	T _{max} moyenne (°C)	T _{min} moyenne (°C)	Précipitations (mm)
LEV	22,2	11,5	132,5
DOR-LEV	22,5	11,6	108
DOR-MOX	21,4	11,3	127,6
ANOVA	0,351	0,879	0,907

D'après les bilans climatiques de Météo-France, les précipitations et l'ensoleillement étaient proches des moyennes de saison pendant les étés et les mois de juillet 2023 et 2024. Les températures étaient respectivement 1,5°C et 1°C au-dessus des moyennes de saison au cours des étés et 1°C au-dessus des moyennes de saison pour les mois de juillet 2023 et 2024 (Météo-France, 2024, 2025).

D'après les notes agro-climatiques de l'Institut de l'Elevage, les étés 2023 et 2024 ont permis une pousse de l'herbe proche des références de saison sur les territoires d'altitude du Massif Central (IDELE, 2023, 2024a).

8. Résultats du questionnaire

a. Durée de pâturage avant le début de l'étude

Les animaux des lots DOR-MOX et DOR-LEV ont respectivement pâturé en moyenne $29,4 \pm 13$ et $31,5 \pm 32,5$ jours avant de monter en estive puis 22 et 42 jours en estive avant le début du protocole. Seuls quatre élevages ont effectué des rotations de pâture en 2023 (lot DOR-MOX) et aucun en 2024 (lot DOR-LEV). Les jeunes bovins pâturaient avec leur mère. Les résultats par élevage sont présentés dans le Tableau XXII. Les animaux de l'élevage 7 n'ont pas tous pâturé la même durée sans indication de quels animaux étaient dans quelle situation. Cet élevage a donc été exclu de la suite des analyses.

Tableau XXII : Durée de pâturage et excrétion moyenne par élevage au début du protocole

NR : Non Réponse au questionnaire

Elevage	Lot DOR-MOX			Lot DOR-LEV		
	Durée de pâturage avant montée en estive (j)	Durée maximale sur une même parcelle (j)	Excrétion moyenne à V1	Durée de pâturage avant montée en estive (j)	Durée maximale sur une même parcelle (j)	Excrétion moyenne à V1
1	/	/	/	31	31	229
2	15	8	278	6	6	240
3	40	40	151,25	41	41	283,5
4	35	4	75	39	39	367,3
5	33	33	162	NR	NR	468,5
6	35	35	89,67	26	26	489
7	49	25	45,25	127	16	515,25
8	15	15	101	11	11	611
9	27	27	362	11	11	672
10	5	5	337,5	7	7	767
17	40	25	7	/	/	/
Moyenne	29,4	24,8	160,87	31,5	33,2	464

La *Figure 11* montre l'excrétion moyenne des animaux par élevage en fonction du temps de pâturage. Visuellement, une tendance à la diminution semble se dégager au sein de chaque lot. Celle-ci est confirmée par un test de corrélation de Spearman pour le lot DOR-MOX : $\rho_{DOR-MOX} = -0,75$; $p = 0,013$ mais infirmée pour le lot DOR-LEV : $\rho_{DOR-LEV} = -0,37$; $p = 0,365$.

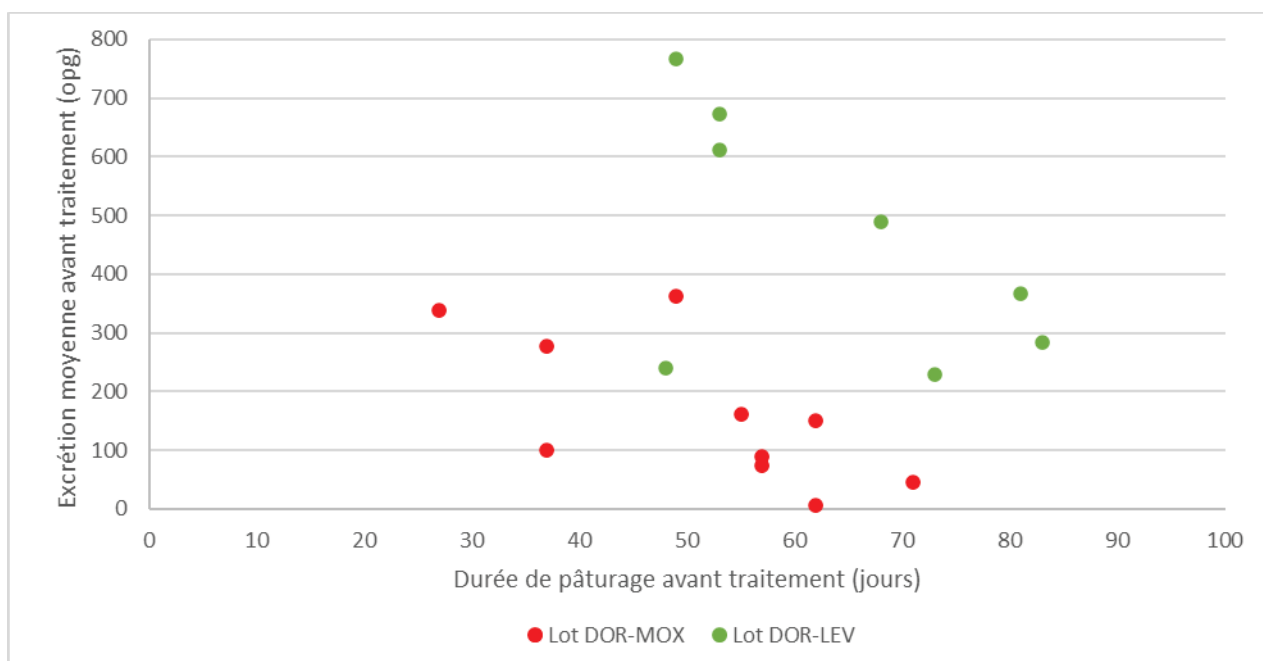


Figure 11 : Excrétion moyenne en fonction de la durée de pâturage avant administration d'un traitement anthelmintique

b. Habitudes de traitement

Avant le début de l'étude, la COPTASA traitait tous les animaux à la moxidectine, avec un protocole différent selon les animaux. Les brouards étaient traités deux fois par an avec de la CYDECTINE® *pour-on* et les génisses de deuxième année de pâture une fois avec de la CYDECTINE LA® au moment de l'arrivée en estive. Le *Tableau XXIII* montre les habitudes de traitement par élevage au sein des lots DOR-MOX et DOR-LEV. En effet, ce traitement AH est commun pour tous les élevages, nous nous intéressons donc plus spécifiquement aux habitudes de traitement propres à chaque élevage. Seul l'élevage 7 a traité ses animaux avant la montée en estive avec du VIRBAMEC® *pour-on*. Deux élevages n'utilisent pas de traitement anthelmintiques de façon systématique, et seulement lorsque des signes cliniques évoquant du parasitisme sont observés (amaigrissement, toux, diarrhée). Pour 10 élevages, la famille d'AH utilisée est toujours la même. Sept élevages utilisent des avermectines, parmi lesquels 6 les utilisent en *pour-on* et 3 utilisent de la moxidectine en *pour-on*. Les bovins reçoivent en général un à deux traitements tous les ans, dont au moins un à la rentrée en stabulation.

Tableau XXIII : Habitudes de traitement anthelminthique par élevage

AVM : avermectine ; SC : Signes Cliniques ; R : Résistant ; FR : Faiblement Résistant ; D : Douteux ; S : Sensible ; A : Alternance d'anthelminthique ; X : traitement en élevage ; C : protocole de la COPTASA

Elevage	Traitement utilisé habituellement					Nombre de traitements annuels			Statut vis-à-vis de l'AH testé		
	MOX	DOR	Autres AVM	LEV	Utilisation en <i>pour-on</i>	A la mise à l'herbe	Au pâturage	A la rentrée en stabulation	DOR	MOX	LEV
1	C	-	-	-	-	-	-	-	/	/	R ?
2	C	-	X	-	Oui	1	-	1	R ?	D ?	R ?
3	C	-	X	-	Oui	-	1	-	D ?	R ?	FR
4	C	-	X	-	-	-	SC	-	R ?	R ?	S
5	C	-	-	X	-	-	-	1	FR	R	S
6	X+C	-	X	-	Oui	-	-	1	R ?	R ?	R
7	C	-	X	-	Oui	1	-	1	D ?	R ?	FR
8	C	-	X	-	Oui	-	-	1	D ?	R ?	D ?
9	X+C	-	-	-	Oui	1	-	1	D ?	R ?	D ?
10	X+C	-	-	-	Oui	-	1	-	R ?	R ?	S
17	C	A	A	-	Oui	1	-	1	D ?	D ?	/

III. Discussion

Cette étude cherche à déterminer si des populations de SGI résistants au lévamisole, à la doramectine, à l'ivermectine ou à la moxidectine sont présentes dans le Massif central. Elle cherche également à déterminer si un TREF indicateur de résistance peut être prédictif d'une diminution du GMQ des animaux, ainsi qu'à évaluer l'impact de la rémanence d'un traitement AH sur l'excrétion deux mois post-traitement.

1. Synthèse des résultats

a. Concernant les TREF

La réalisation des TREF a concerné 23 élevages et a porté sur quatre molécules anthelmintiques :

- **Le lévamisole a été testé chez 10 élevages regroupés en un unique lot, parmi lesquels seulement trois sont sensibles et cinq sont résistants**, dont deux faiblement. Il n'est pas possible de conclure pour les deux élevages restants. D'après les recommandations de Kaplan et al. (2023), ces TREF sont fiables pour six élevages, dont les trois sensibles, un résistant et deux faiblement résistants. L'ensemble du lot est également à considérer comme faiblement résistant ;
- **La doramectine a été testée chez 10 élevages regroupés en un unique lot, parmi lesquels aucun n'est sensible et cinq sont résistants**, dont un faiblement. Il n'est pas possible de conclure pour les cinq élevages restants. D'après les recommandations de Kaplan et al. (2023), ces TREF sont fiables pour seulement un élevage, qui est faiblement résistant. Ici aussi, le lot dans sa totalité est considéré comme faiblement résistant ;
- **La moxidectine a été testée chez 16 élevages regroupés en deux lots, parmi lesquels aucun n'est sensible et 10 sont résistants**. Il n'est pas possible de conclure pour les six élevages restants. D'après les recommandations de Kaplan et al. (2023), ces TREF sont fiables pour seulement deux élevages, qui sont résistants. Les lots dans leur globalité sont considérés comme résistants ;
- **L'ivermectine a été testée chez six élevages regroupés en un unique lot, parmi lesquels aucun n'est sensible et trois sont résistants**. Il n'est pas possible de conclure pour les trois élevages restants. D'après les recommandations de Kaplan et al. (2023), ces TREF sont fiables pour seulement un élevage, qui est résistant. Le lot dans sa totalité est aussi considéré comme résistant.

b. Concernant les coprocultures

La coproculture des élevages traités au lévamisole n'a pas permis d'obtenir de résultats. Celles des élevages traités à la doramectine, à la moxidectine et à l'ivermectine ont permis de mettre en évidence que **les strongles présents à l'issue du traitement anthelmintique appartenaient presque exclusivement au genre *Cooperia* sp.** Ainsi *Cooperia* sp. est résistant à une avermectine chez 25 % (4/16) des élevages testés et à la moxidectine chez 31 % (5/16) d'entre eux. *O. ostertagi* présente

une faible résistance à une avermectine chez 6 % (1/16) des élevages testés et à la moxidectine chez 6 % (1/16) d'entre eux.

c. Concernant les GMQ

Le GMQ n'est pas significativement différent entre des animaux provenant d'un même élevage et ayant reçu des traitements AH différents, ni entre les animaux d'une même race ayant reçu un traitement différent au sein du même lot. Il n'est pas significativement différent non plus entre deux lots ayant reçu des traitements différents. En revanche, en le comparant par race et tous lots confondus, **le GMQ des animaux traités au lévamisole est significativement inférieur à celui des animaux traités à la doramectine ou à la moxidectine**. En le comparant par année, **le GMQ des animaux ayant participé en 2023 est significativement supérieur à celui des animaux ayant participé en 2024**.

d. Concernant l'excrétion deux mois post-traitement

Au sein du lot DOR-LEV, la doramectine a permis une réduction significative de l'excrétion deux mois post-traitement, contrairement au lévamisole, et ce malgré une faible résistance à la doramectine et une sensibilité au lévamisole dans l'élevage prélevé. La rémanence d'un traitement semble donc réduire l'excrétion de manière plus durable qu'un traitement non rémanent, et ce même si un faible niveau de résistance est présent. Cependant, peu d'animaux ont été prélevés au sein du lot DOR-LEV, ce qui diminue la fiabilité de ces tests.

2. Critique du matériel et méthode

a. Recrutement

Le recrutement a été effectué sur la base du volontariat des éleveurs après accord de la COPTASA et de la coopérative d'estive du Mont Mouchet pour participer à l'étude. Les décisions de quelles mesures pratiquer sur quel lot ont été prises selon des contraintes logistiques : à la COPTASA, en 2024, les TREF n'ont pas été calculés sur le lot LEV du fait de la distance de la parcelle avec les équipements de contention. De la même manière, le GMQ n'a pas été calculé pour le lot IVM-MOX car la balance de pesée n'était pas disponible pour effectuer une seconde mesure. Les animaux du lot IVM-MOX sont de deuxième année de pâture, augmentant la difficulté d'interprétation des TREF du fait de l'excrétion réduite.

b. Protocole des TREF

Le protocole de l'étude a été élaboré à partir des recommandations de Kaplan (2020a) avant la publication des recommandations internationales présentées par Kaplan et al. (2023) et n'a pas été modifié par la suite. Prêter une meilleure attention aux nouvelles recommandations aurait permis de tester à nouveau la doramectine en 2024 en effectuant le second prélèvement du lot DOR-LEV 14 jours après le premier, au lieu de 10.

Lorsque deux traitements étaient testés au sein d'un même lot, les animaux de tous les élevages ont été répartis entre les deux traitements. Lorsque le nombre

d'animaux de l'élevage était faible, i.e. lorsqu'il comportait moins de 10 animaux, il aurait pu être plus intéressant de traiter la totalité de l'élevage avec la même molécule afin d'assurer la fiabilité du TREF. Cependant, les éleveurs attendaient un retour individualisé sur l'efficacité des molécules testées dans leur élevage, même si la fiabilité du test ne pouvait être garantie, ce qui a motivé cette décision.

Le deuxième prélèvement du lot IVM-MOX a eu lieu 18 jours après le premier au lieu de 17 car les éleveurs n'étaient pas disponibles pour réaliser la contention des animaux le jour prévu. Les résultats concernant l'ivermectine peuvent donc être faussés.

c. Protocole des coprocultures

Le protocole de coproculture a été modifié entre 2023 et 2024 : en 2023, elles ont été réalisées dans des boîtes de 10 cm de diamètre avec 100 g de bouse, alors qu'en 2024 toute la bouse non utilisée pour les coproscopies a été mise en culture dans des boîtes de 35x18 cm. L'utilisation des grandes boîtes en 2024 a conduit à un nombre de larves extrêmement faible et non-exploitable pour les animaux traités au lévamisole du lot DOR-LEV. Après échange avec un chercheur de l'INRAE, l'hypothèse principale concernant cet échec est un excès d'humidité de ces coprocultures. Cet échec des coprocultures concernant le lévamisole, et donc l'impossibilité de déterminer quelles espèces de SGI présentent une résistance, diminue la portée de cette étude.

d. Récupération des données météorologiques

Les données météorologiques ont été récupérées sur la station la plus proche, située à Anzat-le-Luguet, ainsi qu'évaluée à partir de la carte de France des bilans climatiques publiés par Météo-France. Elles consistent donc en une approximation grossière des conditions climatiques de la zone plutôt des données propres à chaque parcelle, qui ont pu différer, et ne permettent donc pas de connaître précisément les températures, la pluviométrie ni l'ensoleillement. Il apparaît cependant que les conditions météorologiques semblent avoir été relativement similaires entre 2023 et 2024 sur la période d'estive. De même, les notes agro-climatiques de l'Institut de l'Élevage donnent une tendance générale sur la pousse et la qualité de l'herbe sans étudier spécifiquement chaque parcelle. Ces données sont donc difficiles à interpréter et à mettre en relation avec les variations de GMQ. La différence significative entre les GMQ de 2023 et 2024 pour les neuf élevages ayant participé les deux années, y compris ayant reçu la même molécule, tendrait vers une influence indirecte de la météo sur la croissance des bovins. Cette différence pourrait passer par une modification de la pousse de l'herbe, aussi bien au niveau de sa quantité que de sa qualité.

3. Interprétation des résultats

a. Un niveau de résistance important

Parmi les élevages sur lesquels des TREF ont été réalisés, 29% (5/17) présentent une résistance confirmée et 47% (8/17) une résistance suspectée à au moins un AH.

Sur les 16 élevages pour lesquels les LM ont été testées, aucun ne présente une sensibilité à une LM. Nous avons trouvé que 13% (2/16) des élevages présentent une résistance confirmée à la moxidectine et celle-ci est suspectée chez 50% (8/16) d'entre eux. Les 37% (6/16) restants ont un statut douteux. Concernant les avermectines, 13% (2/16) des élevages testés y sont résistants, dont un faiblement, et 38% (6/16) sont suspectés de l'être. Les 50% (8/16) restants ont un statut douteux. Les élevages présentant une résistance à la moxidectine sont les mêmes que ceux résistants à une avermectine. Ainsi, 13% (2/16) des élevages présentent une résistance multiple à la moxidectine et à une avermectine et 25% (4/16) en sont suspectés. Dans les études précédentes menées en France, une résistance à la moxidectine a été mise en évidence chez 38% (3/8) des élevages testés et aux avermectines chez 37% (11/30) des élevages testés. Parmi ceux-ci, 11 élevages étaient également situés dans le Massif central, dont 55% (6/11) présentaient une résistance à une avermectine (Chartier et al., 2020; Dufourd, 2018; Geurden et al., 2015; Grelaud, 2023).

Au niveau européen, une méta-analyse de 2020 révélait une incidence de résistance de 21% à la moxidectine et de 52% aux avermectines chez les bovins (Vineer et al., 2020).

A notre connaissance, cette étude est la première en France à s'intéresser au statut de résistance des SGI des bovins vis-à-vis du lévamisole. Le taux de résistance confirmée est de 30% (3/10), dont deux élevages faiblement résistants, et 20% (2/10) des élevages sont suspectés résistants. Il s'agit de la seule molécule testée par cette étude pour laquelle une sensibilité a pu être mise en évidence avec 30% (3/10) des élevages sensibles. Les 20% (2/10) des élevages restants ont un statut douteux. Au niveau européen peu d'études concernant le lévamisole ont été réalisées. La prévalence moyenne de résistance au lévamisole est de 48% en Europe, mais les études restent contrastées. Il en est de même au niveau mondial, peu d'études ont été menées et montrent des résultats hétérogènes (Dravigney, 2023c; Vineer et al., 2020).

Un élevage présente une résistance multiple au lévamisole, à la doramectine et à la moxidectine, un au lévamisole et à la doramectine, et deux sont faiblement résistants au lévamisole et résistants à la doramectine. Cinq élevages présentent une résistance à une avermectine et à la moxidectine. Ainsi, 12% (2/17) 53% (9/17) des élevages testés présentent une résistance multiple confirmée, et celle-ci est suspectée chez 41% (7/17) des élevages.

Cette étude montre donc des taux de résistances à la moxidectine et aux avermectines plus importants que dans les études précédemment menées en France mais un taux de résistance aux avermectines similaire à celui déjà trouvé dans la même région. Le taux de résistance à la moxidectine est plus important que la moyenne européenne, tandis que les taux de résistances aux avermectines et au lévamisole y sont similaires.

b. Des résistances retrouvées majoritairement chez un seul genre

Dans notre étude, les résistances ont été très majoritairement identifiées chez *Cooperia* sp., chez 25 % des élevages testés avec une avermectine et 31 % de ceux testés avec une moxidectine. Ces taux de résistance de *Cooperia* sp. sont cohérents avec ceux trouvés globalement en Europe, où ce genre de SGI a été identifié comme résistant à une avermectine dans 37 % des élevages testés et à la moxidectine dans 27%. *O. ostertagi* a été retrouvé en très faibles proportions dans nos coprocultures post traitement, chez seulement deux élevages (un traité avec une avermectine et l'autre avec de la moxidectine), représentant 6 % des élevages testés pour chaque traitement. Au niveau européen, ce SGI a été retrouvé résistant chez respectivement 14 % et 4 % des élevages testés (Dravigney, 2023c).

D'après l'analyse réalisée par Cote (2022), *Cooperia* sp. est également plus fréquemment identifié comme résistant que *O. ostertagi* au niveau mondial. Ainsi, 82 % des études analysées indiquaient une résistance de *Cooperia* sp., contre 46 % pour *O. ostertagi*.

c. Facteurs de risque d'apparition de résistances

D'après le Tableau XXII, les élevages présentant une résistance au lévamisole ne sont pas traités avec cette molécule habituellement, et nous n'avons pas détecté de résistance dans le seul élevage l'utilisant régulièrement. Nous ne pouvons donc pas conclure sur le risque d'apparition de résistance au lévamisole selon les pratiques habituelles des élevages.

Les élevages présentant une résistance à la doramectine n'utilisent pas cette molécule mais utilisent habituellement d'autres avermectines. Le seul élevage l'utilisant occasionnellement présente un statut douteux à son égard. L'exposition régulière aux avermectines semble donc favoriser l'apparition de résistance à la doramectine.

Parmi les huit élevages présentant une résistance à la moxidectine, trois l'utilisent habituellement, quatre utilisent des avermectines et un n'utilise aucune LM. Cependant, tous les élevages adhérents à la COPTASA sont traités tous les ans avec de la moxidectine *pour-on* ou longue action selon l'âge des animaux (CYDECTINE® *pour-on* ou LA). L'utilisation répétée de moxidectine semble donc être un facteur de risque d'apparition de résistance.

d. Impact de la résistance aux AH sur la croissance

En comparant la croissance des animaux, aucun impact de la résistance des parasites sur la croissance n'a pu être mis en évidence. En effet, au sein d'un même lot, les moyennes de GMQ ne sont pas significativement différentes selon le statut de résistance de l'élevage. En comparant la totalité des élevages résistants, faiblement résistants et sensibles, les élevages résistants avaient une moyenne de GMQ significativement supérieure à ceux des deux autres catégories. Cependant, des sensibilités aux AH n'ont pu être mises en évidence que vis-à-vis du lévamisole et dans seulement trois élevages. Cela peut complexifier l'interprétation de ces données car son effet est exclusivement adulticide et non rémanent, contrairement aux LM. En effet, leur spectre plus large (adulticide et larvicide) et leur rémanence peuvent présenter un intérêt supérieur vis-à-vis du GMQ par rapport au lévamisole, même si

celui-ci est initialement plus efficace. Cette différence de mode d'action des différents traitements AH empêche donc de tirer une réelle conclusion à partir de ces données.

e. Impact du traitement AH sur la croissance

Au sein d'un même lot, aucune différence significative de GMQ n'a pu être mise en évidence selon le traitement. Cependant, en comparant les écarts aux seuils de GMQ entre les traitements, il apparaît que les animaux traités à la moxidectine ont un GMQ significativement supérieur à ceux traités à la doramectine, et eux-mêmes ont un GMQ significativement supérieurs à ceux traités au lévamisole. Concernant le lévamisole, ce GMQ plus faible s'explique probablement par sa non-rémanence ainsi que par son effet seulement adulticide, entraînant une hausse plus rapide de la population parasitaire après traitement. La doramectine et la moxidectine sont par contre actives sur tous les stades parasitaires et rémanentes, avec une efficacité respective de 21 jours contre *C. oncophora* et 35 jours contre *O. ostertagi*, et de 5 semaines contre *O. ostertagi* (Heracek, 2020). Cela est confirmé par l'excrétion deux fois plus importante deux mois après traitement des animaux traités au lévamisole par rapport à ceux traités à la doramectine.

Néanmoins, en comparant les lots, les animaux du lot DOR-MOX, ayant participé à l'étude en 2023, ont un GMQ significativement supérieur aux autres lots, ayant participé à l'étude en 2024. Cette différence de GMQ est également présente entre les animaux traités à la doramectine en 2023 et en 2024 tandis qu'aucune différence significative n'a pu être mise en évidence entre les animaux traités à la doramectine et à la moxidectine en 2023, ni entre ceux traités à la doramectine et au lévamisole en 2024. Cet « effet année » peut donc fausser la fiabilité des différences de GMQ mises en évidence dans le paragraphe précédent. D'autres facteurs doivent alors être pris en compte : la qualité et la quantité précises d'herbe de chaque parcelle sur la saison d'estive ne sont pas connues et peuvent facilement influencer sur le GMQ des jeunes bovins. De plus, l'utilisation de deux traitements dans un même lot peut bénéficier aux animaux traités par un AH non rémanent ou non efficace sur leur population parasitaire : la charge parasitaire globale du lot se retrouve diminuée par l'autre traitement AH, rémanent, en limitant la contamination de l'environnement par ces animaux (pas d'excrétion d'œufs pendant la durée d'efficacité du produit et mort des L3 ingérées). Il est donc difficile de réellement conclure à partir de cette étude sur l'impact du traitement AH sur la croissance des jeunes bovins.

f. Transmission des résistances entre les élevages

Cette étude n'a pas été conçue pour répondre à cette question, mais celle-ci reste un facteur de préoccupation comme récemment montré par Jouffroy et al. (2025).

Lors de cette étude, les animaux étaient déjà présents sur l'estive depuis une durée allant de 22 à 51 jours selon les lots, sans traitement préalable, à l'exception d'un élevage. On peut donc estimer qu'une contamination entre animaux d'élevages différents est possible. Les élevages présents en estive sont les mêmes d'une année sur l'autre, avec des mises en lot similaires, ce qui permettrait une contamination sur plusieurs années. Cependant, en dehors des conditions de l'étude, les animaux sont habituellement traités avec de la moxidectine *pour-on* à l'arrivée en estive, ce qui théoriquement devrait permettre de réduire la contamination des pâtures et les transmissions de SGI entre troupeaux. Cependant, ces traitements systématiques

avec une molécule rémanente et toxique pour l'environnement utilisée en *pour-on*, sont des facteurs favorisant de l'apparition de résistances, notamment par la réduction de populations refuges et le risque de sous-dosage, comme vu en Partie 1.III.2. Ce protocole correspond également à du *dose and move* avec traitement de tous les bovins, empêchant ainsi le maintien d'une population refuge de SGI sensibles. Les SGI arrivant alors sur l'estive sont donc exclusivement des SGI résistants, augmentant alors le risque de transmission de résistances entre les élevages. La forte résistance observée à la moxidectine confirme ces doutes quant à la capacité de ce traitement à suffisamment protéger les animaux d'une contamination inter-élevages.

Les résistances observées correspondent pour la majorité aux habitudes de traitement des élevages et de la COPTASA, en dehors de celles au lévamisole, pour lesquelles aucune corrélation n'est identifiable entre les habitudes de traitement et les statuts de résistance. La transmission de résistances ne permettrait donc pas d'expliquer les résistances pour lesquelles aucun autre facteur de risque n'a pu être identifié.

Cette étude ne permet donc pas de conclure sur le risque de transmission de résistances inter-élevages. Ce facteur de risque pourrait être déterminé en réalisant des TREFS au moment de la montée et de la descente de l'estive pour comparer les niveaux de résistances entre les élevages et entre les deux périodes. Le rôle de l'environnement, au travers de larves ayant survécu à l'hiver ou de la faune sauvage, devrait cependant être lui aussi évalué.

4. Perspectives d'application

Dans un premier temps, cette étude peut permettre de modifier les habitudes de traitement des coopératives d'estive. En effet, l'usage répété de moxidectine longue action a conduit à de forts taux de résistance à cette molécule, pouvant à terme conduire à des pertes de production et donc des pertes économiques. Par le biais de cette étude, nous encourageons donc la COPTASA à modifier son protocole de traitement AH afin de conserver son efficacité et de prévenir l'apparition de résistances supplémentaires. Cela peut s'effectuer par une modification de la période de traitement ou par la réalisation de coproscopies lors de l'arrivée à l'estive afin d'identifier les lots et les animaux présentant la plus grande charge parasitaire afin de ne traiter que ceux-ci, permettant ainsi de conserver une population refuge chez les animaux moins excréteurs. En effet, le protocole de traitement appliqué actuellement rejoint la technique appelée *dose and move* : les animaux sont traités lors de leur arrivée à l'estive, ce qui est reconnu comme étant un facteur de risque d'apparition de résistances (Craig, 2018). De telles modifications seront probablement difficiles à mettre en place du fait des fortes contraintes logistiques liées au nombre important de bovins – plus de 4000 – et à la distance séparant les parcelles des moyens de contention.

Cette étude peut également permettre de sensibiliser les éleveurs ayant participé à l'étude au risque d'apparition de résistance aux AH lors de traitements répétés et non réfléchis. Cette sensibilisation est un levier important pour la gestion du parasitisme et la surveillance de l'apparition de résistances (Vercruysse et al., 2018).

La sensibilisation des vétérinaires à l'apparition de résistances aux AH est également importante : ce sont les prescripteurs des traitements et les éleveurs peuvent les solliciter dans l'élaboration d'un plan de gestion du parasitisme. Ce sont

également les principaux acteurs susceptibles de vérifier l'efficacité des molécules anthelminthiques par la réalisation occasionnelle de TREF. Cette tâche fastidieuse peut être allégée par la réalisation de tests simplifiés. Ceux-ci ont été évalués dans la thèse d'exercice vétérinaire de Mickaël Lopez (2023), qui montre qu'ils permettent de détecter des résistances aux AH avec fiabilité tout en diminuant les contraintes liées à la réalisation d'un TREF. Des automates permettant de réaliser des coproscopies sont également arrivés sur le marché ces dernières années, en conservant de bonnes spécificités et sensibilités, mais leur coût ou celui de l'analyse n'est pas accessible facilement (Bucki et al., 2023; Chartier et al., 2020; Elghryani et al., 2023; Nagamori et al., 2021; Rashid et al., 2018; Slusarewicz et al., 2019). Les données récoltées par de tels TREF pourraient ensuite être compilées via un document Excel partagé afin d'avoir un aperçu des résistances aux AH au niveau national, comme suggéré par Dravigney (2023a).

5. Perspectives de recherche

Pour compléter cette étude, la réalisation de coprocultures pré- et post-traitement associées à des TREF portant sur le lévamisole et les LM permettrait de connaître la ou les espèces de SGI porteuses de la résistance, afin d'évaluer la sévérité des impacts possibles de cette résistance. En effet, la présence de résistance chez *Cooperia* sp. est moins critique que chez *O. ostertagi* du fait de sa pathogénicité moindre et de la mise en place plus précoce d'une immunité protectrice, même si elle reste alarmante. De la même manière, réaliser des coprocultures pré- et post-traitement permettrait de déterminer la proportion de chaque espèce de SGI avant et après administration, et donc de savoir si certaines espèces SGI ne présentent pas de résistances ou n'étaient simplement pas présentes.

Cette étude s'est intéressée aux résistances des SGI à deux des trois familles de molécules AH disponibles en France sur les bovins en estive à la COPTASA. Il pourrait être intéressant de connaître le statut de ces élevages vis-à-vis des BZ afin de pouvoir établir un plan de traitement adapté à la plus grande coopérative d'estive de France.

Enfin, la forte population de bovins dans cette estive et la quantité importante de traitements AH associée pourrait permettre d'étudier l'effet des résidus des molécules AH sur la biodiversité des pâtures de l'estive.

CONCLUSION

Cette étude avait pour objectif principal de déterminer le niveau de résistance des strongles digestifs des bovins au lévamisole, à la doramectine, à la moxidectine et à l'ivermectine dans deux coopératives d'estive collective du Cantal. Nous avons aussi évalué la possibilité qu'un TREF indicateur de résistance soit prédictif d'une baisse de GMQ chez des bovins de première année de pâture.

Les niveaux de résistance observés sont élevés. Pour le lévamisole, elle est avérée chez 30% (3/10) des élevages et suspectée chez 20% (2/10), et seuls 30% (3/10) sont sensibles. Il s'agit de la première mise en évidence de résistance au lévamisole en France. Concernant la doramectine, 10% (1/10) des élevages sont résistants, 40% (4/10) sont suspectés de l'être et 50% (5/10) douteux. La résistance à l'ivermectine est présente chez 17% (1/6) des élevages et suspectée chez 33% (2/6). Les 50% (3/6) restants ont un statut douteux. Ainsi, 13% (2/16) des élevages sont résistants aux avermectines et 38% (6/16) sont suspectés de l'être. La résistance à la moxidectine est également prononcée, avec 13% (2/16) des élevages résistants, 50% (8/16) suspectés de l'être et 37% (6/16) douteux. Plusieurs de ces résistances sont multiples : elles sont confirmées pour 12% (2/17) des élevages et suspectées pour 41% (7/17). Aucun impact lié au traitement AH ou à la présence de résistances n'a pu être mis en évidence sur la croissance des jeunes bovins.

Ces résultats sont alarmants et doivent motiver les vétérinaires et les éleveurs à réfléchir leur utilisation des anthelminthiques pour diminuer le risque de développer davantage de résistances, que ce soit à d'autres molécules ou chez d'autres espèces plus pathogènes, comme *Ostertagia ostertagi*. Un usage raisonné peut passer par l'adaptation de la conduite de pâture, la réalisation d'examens complémentaires pour objectiver la nécessité d'un traitement anthelminthique, et, en cas de nécessité de traiter, le bannissement des formulations *pour-on*, une pesée précise des animaux avant traitement, et l'adoption d'un protocole de traitement ciblé-sélectif. Toutes ces stratégies doivent être conseillées par le vétérinaire auprès des éleveurs et permettront le maintien d'une population refuge, ralentissant ainsi l'apparition de résistances. La sensibilisation des éleveurs à cette problématique est indispensable pour conserver l'efficacité de notre arsenal thérapeutique limité.

Cette étude doit également inciter les vétérinaires à prêter une plus grande attention à l'efficacité des anthelminthiques qu'ils prescrivent, notamment par la réalisation de TREF, via des méthodes simplifiées ou des automates. De tels résultats pourront ensuite être compilés à l'échelle nationale afin de pouvoir suivre efficacement la progression des résistantes aux anthelminthiques, comme le RESAPATH permet de suivre les résistances aux antimicrobiens.

BIBLIOGRAPHIE

- Agneessens, J., Claerebout, E., Dorny, P., Borgsteede, F. H. M., & Vercruysse, J. (2000). Nematode parasitism in adult dairy cows in Belgium. *Veterinary Parasitology*, 90(1), 83-92. [https://doi.org/10.1016/S0304-4017\(00\)00232-6](https://doi.org/10.1016/S0304-4017(00)00232-6)
- Anderson, N. (1988). Aspects of the biology of *Ostertagia ostertagi* in relation to the genesis of ostertagiasis. *Veterinary Parasitology*, 27(1), 13-21. [https://doi.org/10.1016/0304-4017\(88\)90057-X](https://doi.org/10.1016/0304-4017(88)90057-X)
- Antonopoulos, A., Charvet, C. L., Maitland, K., Doyle, S. R., Neveu, C., & Laing, R. (2024). Functional validation of novel levamisole resistance marker S168T in *Haemonchus contortus*. *International Journal for Parasitology: Drugs and Drug Resistance*, 24, 100524. <https://doi.org/10.1016/j.ijpddr.2024.100524>
- Avramenko, R. W., Redman, E. M., Lewis, R., Yazwinski, T. A., Wasmuth, J. D., & Gilleard, J. S. (2015b). Exploring the gastrointestinal “nemabiome”: Deep amplicon sequencing to quantify the species composition of parasitic nematode communities. *PLOS ONE*, 10(12), e0143559. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0143559>
- Avramenko, R. W., Redman, E. M., Melville, L., Bartley, Y., Wit, J., Queiroz, C., Bartley, D. J., & Gilleard, J. S. (2019). Deep amplicon sequencing as a powerful new tool to screen for sequence polymorphisms associated with anthelmintic resistance in parasitic nematode populations. *International Journal for Parasitology*, 49(1), 13-26. <https://doi.org/10.1016/j.ijpara.2018.10.005>
- Beaumelle, C., Toïgo, C., Papet, R., Benabed, S., Beurier, M., Bordes, L., Brignone, A., Curt-Grand-Gaudin, N., Garel, M., Ginot, J., Jacquet, P., Miquel, C., Poirel, M.-T., Serafino, A., Vannard, E., Bourgoïn, G., & Yannic, G. (2024). Cross-transmission of resistant gastrointestinal nematodes between wildlife and transhumant sheep. *Peer Community Journal*, 4. <https://doi.org/10.24072/pcjournal.477>
- Berghen, P., Hilderson, H., Vercruysse, J., & Dorny, P. (1993). Evaluation of pepsinogen, gastrin and antibody response in diagnosing ostertagiasis. *Veterinary Parasitology*, 46(1), 175-195. [https://doi.org/10.1016/0304-4017\(93\)90057-T](https://doi.org/10.1016/0304-4017(93)90057-T)
- Bertocchi, M. (2019). *Résistances des strongles digestifs aux benzimidazoles chez les bovins laitiers du Grand Ouest* [Thèse d'exercice, Ecole Nationale Vétérinaire de Nantes]. http://doc-veto.oniris-nantes.fr/GEIDFile/na_19_043.pdf?Archive=196289191446&File=na_19_043_pdf
- Borkowski, E. A., Redman, E. M., Chant, R., Avula, J., Menzies, P. I., Karrow, N. A., Lillie, B. N., Sears, W., Gilleard, J. S., & Peregrine, A. S. (2020). Comparison of ITS-2 rDNA nemabiome sequencing with morphological identification to quantify gastrointestinal nematode community species composition in small ruminant feces. *Veterinary Parasitology*, 282, 109104. <https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2020.109104>
- Bosco, A., Rinaldi, L., Maurelli, M., Musella, V., Coles, G., & Cringoli, G. (2014). The comparison of FLOTAC, FECPAK and McMaster techniques for nematode egg counts in cattle. *Acta Parasitologica*, 59(4), 625-628. <https://doi.org/10.2478/s11686-014-0282-7>
- Brown, H. D., Matzuk, A. R., Ilves, I. R., Peterson, L. H., Harris, S. A., Sarett, L. H., Egerton, J. R., Yakstis, J. J., Campbell, W. C., & Cuckler, A. C. (1961). Antiparasitic drugs. IV. 2-(4'-thiazolyl)-benzimidazole, a new anthelmintic. *Journal of the American Chemical Society*, 83(7), 1764-1765. <https://doi.org/10.1021/ja01468a052>

- Bucki, M., Dhufaigh, K. N., O'Brien, C., Weatherley, A., Walshe, N., & McElligott, T. (2023). Comparison of ovine faecal strongyle egg counts from an accredited laboratory and a rapid, on-site parasite diagnostic system utilising a smartphone app and machine learning. *Veterinary Parasitology*, 320, 109976. <https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2023.109976>
- Campbell, W. C. (2016). Lessons from the history of ivermectin and other antiparasitic agents. *Annual Review of Animal Biosciences*, 4(Volume 4, 2016), 1-14. <https://doi.org/10.1146/annurev-animal-021815-111209>
- Charlier, J., Bartley, D. J., Sotiraki, S., Martinez-Valladares, M., Claerebout, E., von Samson-Himmelstjerna, G., Thamsborg, S. M., Hoste, H., Morgan, E. R., & Rinaldi, L. (2022). Chapter Three - Anthelmintic resistance in ruminants : challenges and solutions. In D. Rollinson & R. Stothard (Éds.), *Advances in Parasitology* (Vol. 115, p. 171-227). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/bs.apar.2021.12.002>
- Charlier, J., De Cat, A., Forbes, A., & Vercruysse, J. (2009). Measurement of antibodies to gastrointestinal nematodes and liver fluke in meat juice of beef cattle and associations with carcass parameters. *Veterinary Parasitology*, 166(3), 235-240. <https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2009.09.040>
- Charlier, J., Dorny, P., Levecke, B., Demeler, J., von Samson-Himmelstjerna, G., Höglund, J., & Vercruysse, J. (2011). Serum pepsinogen levels to monitor gastrointestinal nematode infections in cattle revisited. *Research in Veterinary Science*, 90(3), 451-456. <https://doi.org/10.1016/j.rvsc.2010.06.029>
- Charlier, J., Höglund, J., Morgan, E. R., Geldhof, P., Vercruysse, J., & Claerebout, E. (2020). Biology and epidemiology of gastrointestinal nematodes in cattle. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice*, 36(1), 1-15. <https://doi.org/10.1016/j.cvfa.2019.11.001>
- Charlier, J., Höglund, J., von Samson-Himmelstjerna, G., Dorny, P., & Vercruysse, J. (2009). Gastrointestinal nematode infections in adult dairy cattle : Impact on production, diagnosis and control. *Veterinary Parasitology*, 164(1), 70-79. <https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2009.04.012>
- Charlier, J., Rinaldi, L., Musella, V., Ploeger, H. W., Chartier, C., Vineer, H. R., Hinney, B., von Samson-Himmelstjerna, G., Băcescu, B., Mickiewicz, M., Mateus, T. L., Martinez-Valladares, M., Quealy, S., Azaiz, H., Sekovska, B., Akkari, H., Petkevicius, S., Hektoen, L., Höglund, J., ... Claerebout, E. (2020). Initial assessment of the economic burden of major parasitic helminth infections to the ruminant livestock industry in Europe. *Preventive Veterinary Medicine*, 182, 105103. <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2020.105103>
- Charlier, J., Van der Voort, M., Hogeveen, H., & Vercruysse, J. (2012). ParaCalc®—A novel tool to evaluate the economic importance of worm infections on the dairy farm. *Veterinary Parasitology*, 184(2), 204-211. <https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2011.09.008>
- Charlier, J., van der Voort, M., Kenyon, F., Skuce, P., & Vercruysse, J. (2014). Chasing helminths and their economic impact on farmed ruminants. *Trends in Parasitology*, 30(7), 361-367. <https://doi.org/10.1016/j.pt.2014.04.009>
- Charlier, J., Wang, T., Verschave, S. H., Höglund, J., & Claerebout, E. (2023). Review and evaluation of *Ostertagia ostertagi* antibody ELISA for application on serum samples in first season grazing calves. *Animals*, 13(13), Article 13. <https://doi.org/10.3390/ani13132226>
- Chartier, C., & Bourgoïn, G. (2023). *De la résistance ? Pas chez moi ! Détecter les résistances avant qu'il ne soit trop tard. Outils diagnostiques validés et prospective en clientèle vétérinaire rurale et en recherche.* Journées Nationales des Groupements Techniques Vétérinaires. 567 p. <https://hal.inrae.fr/hal-04461794>

- Chartier, C., Ravinet, N., Bosco, A., Dufourd, E., Gadanho, M., Chauvin, A., Charlier, J., Maurelli, M. P., Cringoli, G., & Rinaldi, L. (2020). Assessment of anthelmintic efficacy against cattle gastrointestinal nematodes in western France and southern Italy. *Journal of Helminthology*, 94, e125. <https://doi.org/10.1017/S0022149X20000085>
- Charvet, C. L., Guégnard, F., Courtot, E., Cortet, J., & Neveu, C. (2018). Nicotine-sensitive acetylcholine receptors are relevant pharmacological targets for the control of multidrug resistant parasitic nematodes. *International Journal for Parasitology: Drugs and Drug Resistance*, 8(3), 540-549. <https://doi.org/10.1016/j.ijpddr.2018.11.003>
- Claerebout, E., & Lanusse, C. E. (2025). Anthelmintic drugs for animals. In *MSD Veterinary Manual* (Vol. 2025). Consulté le 10/08/2025 à l'adresse : <https://www.msddvetmanual.com/pharmacology/anthelmintics/anthelmintic-drugs-for-animals>
- Claerebout, E., & Vercruysse, J. (2000). The immune response and the evaluation of acquired immunity against gastrointestinal nematodes in cattle : A review. *Parasitology*, 120(7), 25-42. <https://doi.org/10.1017/S0031182099005776>
- Claerebout, E., Vercruysse, J., Dorny, P., Demeulenaere, D., & Dereu, A. (1998). The effect of different infection levels on acquired resistance to gastrointestinal nematodes in artificially infected cattle. *Veterinary Parasitology*, 75(2), 153-167. [https://doi.org/10.1016/S0304-4017\(97\)00218-5](https://doi.org/10.1016/S0304-4017(97)00218-5)
- Coles, G. C., Bauer, C., Borgsteede, F. H. M., Geerts, S., Klei, T. R., Taylor, M. A., & Waller, P. J. (1992). World Association for the Advancement of Veterinary Parasitology (W.A.A.V.P.) methods for the detection of anthelmintic resistance in nematodes of veterinary importance. *Veterinary Parasitology*, 44(1), 35-44. [https://doi.org/10.1016/0304-4017\(92\)90141-U](https://doi.org/10.1016/0304-4017(92)90141-U)
- Cote, É. (2022). *État des lieux de la résistance aux anthelminthiques dans les troupeaux de bovins à l'échelle mondiale* [Thèse d'exercice, Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse]. <https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-03967555v1/file/T-2022-092.pdf>
- Craig, T. M. (2009). CHAPTER 22—Helminth parasites of the ruminant gastrointestinal tract. In D. E. Anderson & D. M. Rings (Éds.), *Food Animal Practice (Fifth Edition)* (p. 78-91). W.B. Saunders. <https://doi.org/10.1016/B978-141603591-6.10022-3>
- Craig, T. M. (2018). Gastrointestinal nematodes, diagnosis and control. *The Veterinary Clinics of North America. Food Animal Practice*, 34(1), 185-199. <https://doi.org/10.1016/j.cvfa.2017.10.008>
- Cringoli, G., Maurelli, M. P., Levecke, B., Bosco, A., Vercruysse, J., Utzinger, J., & Rinaldi, L. (2017). The Mini-FLOTAC technique for the diagnosis of helminth and protozoan infections in humans and animals. *Nature Protocols*, 12(9), 1723-1732. <https://doi.org/10.1038/nprot.2017.067>
- Cringoli, G., Rinaldi, L., Maurelli, M. P., & Utzinger, J. (2010). FLOTAC : New multivalent techniques for qualitative and quantitative copromicroscopic diagnosis of parasites in animals and humans. *Nature Protocols*, 5(3), 503-515. <https://doi.org/10.1038/nprot.2009.235>
- Delafosse, A. (2013). The association between *Ostertagia ostertagi* antibodies in bulk tank milk samples and parameters linked to cattle reproduction and mortality. *Veterinary Parasitology*, 197(1), 212-220. <https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2013.05.023>
- Denwood, M. J., Innocent, G., Prentice, J., Matthews, L., Reid, S., Pipper, C., Levecke, B., Kaplan, R., Kotze, A., Keiser, J., Palmeirim, M., & McKendrick, I. (2019). *A hypothesis testing framework for the ratio of means of two negative binomial distributions : Classifying the efficacy of anthelmintic treatment against intestinal parasites* (No. arXiv:1910.06667). arXiv. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1910.06667>

- Denwood, M. J., Kaplan, R. M., McKendrick, I. J., Thamsborg, S. M., Nielsen, M. K., & Levecke, B. (2023). A statistical framework for calculating prospective sample sizes and classifying efficacy results for faecal egg count reduction tests in ruminants, horses and swine. *Veterinary Parasitology*, 314, 109867. <https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2022.109867>
- Dias de Castro, L. L., Abrahão, C. L. H., Buzatti, A., Molento, M. B., Bastianetto, E., Rodrigues, D. S., Lopes, L. B., Silva, M. X., de Freitas, M. G., Conde, M. H., & Borges, F. de A. (2017). Comparison of McMaster and Mini-FLOTAC fecal egg counting techniques in cattle and horses. *Veterinary Parasitology: Regional Studies and Reports*, 10, 132-135. <https://doi.org/10.1016/j.vprsr.2017.10.003>
- Dimander, S.-O., Höglund, J., Uggla, A., Spörndly, E., & Waller, P. J. (2003). Evaluation of gastro-intestinal nematode parasite control strategies for first-season grazing cattle in Sweden. *Veterinary Parasitology*, 111(2), 193-209. [https://doi.org/10.1016/S0304-4017\(02\)00380-1](https://doi.org/10.1016/S0304-4017(02)00380-1)
- Dorny, P., Claerebout, E., Vercruysse, J., Hilderson, H., & Huntley, J. F. (1997). The influence of a *Cooperia oncophora* priming on a concurrent challenge with *Ostertagia ostertagi* and *C. Oncophora* in calves. *Veterinary Parasitology*, 70(1), 143-151. [https://doi.org/10.1016/S0304-4017\(96\)01142-9](https://doi.org/10.1016/S0304-4017(96)01142-9)
- Dravigney, L. (2023a). Proposition de mise en place d'un Observatoire de l'Efficacité des Anthelminthiques chez les bovins à partir d'un Test de Réduction d'Excrétion Fécal de mélange (TREFm). Journées Nationales des Groupements Techniques Vétérinaires. 567 p. <https://www2.sngtv.org/article-bulletin/proposition-de-mise-en-place-dun-observatoire-de-lefficacite-des-anthelminthiques-chez-les-bovins-a-partir-dun-test-de-reduction-dexcretion-fecal-de-melange-trefm/>
- Dravigney, L. (2023b). RESPECT : Pour une prescription efficace ! *Bulletin des G.T.V.*, 112. <https://www2.sngtv.org/article-bulletin/respect-pour-une-prescription-efficace/>
- Dravigney, L. (2023c). *Seuls au monde ? Etat des lieux des résistances des strongles gastro-intestinaux chez les bovins en France et dans le reste du Monde*. Journées Nationales des Groupements Techniques Vétérinaires. 567 p.
- Dravigney, L., Ravinet, N., Jozan, T., Grelaud, P., Ledieu, L., Lopez, M., & Christophe, C. (2022). Émergence de résistance aux anthelminthiques dans des élevages de bovins du Haut Cantal. *Bulletin des G.T.V.*, 106, 47-54.
- Dufourd, E. (2018). *Etude comparative des techniques de coproscopie individuelle et de mélange dans le test de réduction d'excrétion fécale post-traitement chez les bovins* [Thèse d'exercice, Ecole Nationale Vétérinaire de Nantes]. http://doc-veto.oniris-nantes.fr/GEIDFile/na_18_019.pdf?Archive=195711391399&File=na_18_019_pdf
- Elghryani, N., McAloon, C., Mincher, C., McOwan, T., & de Waal, T. (2023). Comparison of the automated OvaCyte telenostic faecal analyser versus the McMaster and Mini-FLOTAC techniques in the estimation of helminth faecal egg counts in equine. *Animals*, 13(24), Article 24. <https://doi.org/10.3390/ani13243874>
- EMA. (2017, octobre 24). *Moxidectin-containing veterinary medicines used in cattle, sheep and horses—Referral | European Medicines Agency (EMA)*. Consulté le 10/08/2025 à l'adresse : <https://www.ema.europa.eu/en/medicines/veterinary/referrals/moxidectin-containing-veterinary-medicines-used-cattle-sheep-horses>
- Fanke, J., Charlier, J., Steppin, T., von Samson-Himmelstjerna, G., Vercruysse, J., & Demeler, J. (2017). Economic assessment of *Ostertagia ostertagi* and *Fasciola hepatica* infections in dairy cattle herds in Germany using Paracalc®. *Veterinary Parasitology*, 240, 39-48. <https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2017.03.018>

- Fiel, C. A., Fernández, A. S., Rodríguez, E. M., Fusé, L. A., & Steffan, P. E. (2012). Observations on the free-living stages of cattle gastrointestinal nematodes. *Veterinary Parasitology*, 187(1), 217-226. <https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2012.01.011>
- Filipe, J. a. N., Kyriazakis, I., McFarland, C., & Morgan, E. R. (2023). Novel epidemiological model of gastrointestinal nematode infection to assess grazing cattle resilience by integrating host growth, parasite, grass and environmental dynamics. *International Journal for Parasitology*, 53(3), 133-155. <https://doi.org/10.1016/j.ijpara.2022.11.009>
- Fissiha, W., & Kinde, M. Z. (2021). Anthelmintic resistance and its mechanism : A review. *Infection and Drug Resistance*, 14, 5403-5410. <https://doi.org/10.2147/IDR.S332378>
- Fox, M. T. (1993). Pathophysiology of infection with *Ostertagia ostertagi* in cattle. *Veterinary Parasitology*, 46(1), 143-158. [https://doi.org/10.1016/0304-4017\(93\)90055-R](https://doi.org/10.1016/0304-4017(93)90055-R)
- Fox, M. T. (1997). Pathophysiology of infection with gastrointestinal nematodes in domestic ruminants : Recent developments. *Veterinary Parasitology*, 72(3), 285-308. [https://doi.org/10.1016/S0304-4017\(97\)00102-7](https://doi.org/10.1016/S0304-4017(97)00102-7)
- Francis, E. K., & Šlapeta, J. (2022). A new diagnostic approach to fast-track and increase the accessibility of gastrointestinal nematode identification from faeces : FECPAKG2 egg nemabiome metabarcoding. *International Journal for Parasitology*, 52(6), 331-342. <https://doi.org/10.1016/j.ijpara.2022.01.002>
- Gasbarre, L. C., Leighton, E. A., & Sonstegard, T. (2001). Role of the bovine immune system and genome in resistance to gastrointestinal nematodes. *Veterinary Parasitology*, 98(1), 51-64. [https://doi.org/10.1016/S0304-4017\(01\)00423-X](https://doi.org/10.1016/S0304-4017(01)00423-X)
- Geerts, S., Brandt, J., Kumar, V., & Biesemans, L. (1987). Suspected resistance of *Ostertagia ostertagi* in cattle to levamisole. *Veterinary Parasitology*, 23(1), 77-82. [https://doi.org/10.1016/0304-4017\(87\)90026-4](https://doi.org/10.1016/0304-4017(87)90026-4)
- Geurden, T., Chartier, C., Fanke, J., di Regalbono, A. F., Traversa, D., von Samson-Himmelstjerna, G., Demeler, J., Vanimiseti, H. B., Bartram, D. J., & Denwood, M. J. (2015). Anthelmintic resistance to ivermectin and moxidectin in gastrointestinal nematodes of cattle in Europe. *International Journal for Parasitology: Drugs and Drug Resistance*, 5(3), 163-171. <https://doi.org/10.1016/j.ijpddr.2015.08.001>
- Gianchini, L. S., Paras, K. L., George, M. M., Howell, S. B., Storey, B., Denwood, M. J., & Kaplan, R. M. (2025). Multiple-species resistance to avermectin anthelmintics on beef cattle farms in Georgia, USA. *Veterinary Parasitology*, 336, 110435. <https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2025.110435>
- Gilleard, J. S., Kotze, A. C., Leathwick, D., Nisbet, A. J., McNeilly, T. N., & Besier, B. (2021). A journey through 50 years of research relevant to the control of gastrointestinal nematodes in ruminant livestock and thoughts on future directions. *International Journal for Parasitology*, 51(13), 1133-1151. <https://doi.org/10.1016/j.ijpara.2021.10.007>
- Greer, A. W., Van Wyk, J. A., Hamie, J. C., Byaruhanga, C., & Kenyon, F. (2020). Refugia-based strategies for parasite control in livestock. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice*, 36(1), 31-43. <https://doi.org/10.1016/j.cvfa.2019.11.003>
- Grelaud, P. (2023). *Résistance des strongles digestifs à l'ivermectine et l'oxfendazole chez des bovins de première saison de pâture dans la clientèle de la clinique vétérinaire de Saint Flour* [Thèse d'exercice, Ecole Nationale Vétérinaire de Nantes]. https://doc-veto.oniris-nantes.fr/GED_CHN/198085791626/N-2023-046.pdf

- Grenfell, B. T., Smith, G., & Anderson, R. M. (1986). Maximum-likelihood estimates of the mortality and migration rates of the infective larvae of *Ostertagia ostertagi* and *Cooperia oncophora*. *Parasitology*, 92 (Pt 3), 643-652. <https://doi.org/10.1017/s0031182000065501>
- Guériaux, D., & Clément, T. (2025). *Impact de la résistance aux médicaments antiparasitaires sur les animaux en France* (No. 24066; p. 114). CGAAER. <https://agriculture.gouv.fr/impact-de-la-resistance-aux-medicaments-antiparasitaires-sur-les-animaux-en-france>
- Hennessy, D. R. (1993). Pharmacokinetic disposition of benzimidazole drugs in the ruminant gastrointestinal tract. *Parasitology Today*, 9(9), 329-333. [https://doi.org/10.1016/0169-4758\(93\)90232-5](https://doi.org/10.1016/0169-4758(93)90232-5)
- Heracek, H. (2020). *Dictionnaire des médicaments vétérinaires et des produits de santé animale (DMV)* (23^e éd.). Editions du Point Vétérinaire.
- Hirschauer, L. (2019). *Résistance des strongles digestifs aux benzimidazoles chez les bovins allaitants du Grand Ouest* [Thèse d'exercice, Ecole Nationale Vétérinaire de Nantes]. <http://doc-veto.oniris-nantes.fr/ListRecordVisio.htm?idlist=7&record=19321362124911495449>
- Höglund, J., Engström, A., von Samson-Himmelstjerna, G., Demeler, J., & Tydén, E. (2013). Real-time PCR detection for quantification of infection levels with *Ostertagia ostertagi* and *Cooperia oncophora* in cattle faeces. *Veterinary Parasitology*, 197(1), 251-257. <https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2013.04.044>
- Hoisnard, C. (2024). *Optimisation de la stratégie d'échantillonnage intra-lot pour le dosage de pepsinogène sérique chez les génisses de première saison de pâturage* [Ecole Nationale Vétérinaire de Nantes]. <https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-04848955>
- Hoste, H., Guitard, J.-P., & Pons, J. (2003). Pâturage mixte entre ovins et bovins : Intérêt dans la gestion des strongyloses gastro-intestinales. *Fourrages*, 176, Article 176.
- IDELE. (2023, septembre 18). *Septembre 2023 : Un très bel été pour les fourrages dans la moitié Nord, un bilan plus mitigé dans la moitié Sud*. Institut de l'Élevage. Consulté le 15/07/2025 à l'adresse : <https://idele.fr/detail-article/note-agro-climatique-et-prairies-numero-6>
- IDELE. (2024a, septembre 20). *Septembre 2024 : Un été orageux favorable au pâturage*. Institut de l'Élevage. Consulté le 15/07/2025 à l'adresse : <https://idele.fr/detail-article/septembre-2024-un-ete-orageux-favorable-au-paturage>
- IDELE. (2024b, octobre 22). *Résultats 2023 des élevages suivis par Bovins Croissance*. Institut de l'Élevage. Consulté le 15/07/2025 à l'adresse : <https://idele.fr/detail-article/resultats-2023-des-elevages-suivis-par-bovins-croissance>
- Johnson, J., Kasimanickam, V. R., Kastelic, J. P., & Kasimanickam, R. K. (2020). Reduced gastrointestinal worm burden following long term parasite control improves body condition and fertility in beef cows. *Veterinary Parasitology*, 287, 109259. <https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2020.109259>
- Jouffroy, S., Girard, C., Giraud, E., Beaumelle, C., Bourgoin, G., Bordes, L., Christelle, G., Anne, L., Achard, D., Yannic, G., & Jacquet, P. (2025). *Transhumance as a key factor of eprinomectin resistance of Haemonchus contortus in dairy sheep flocks of the French Pyrenees* (SSRN Scholarly Paper No. 5104792). Social Science Research Network. <https://doi.org/10.2139/ssrn.5104792>
- Kaplan, R. M. (2020b). Biology, epidemiology, diagnosis, and management of anthelmintic resistance in gastrointestinal nematodes of livestock. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice*, 36(1), 17-30. <https://doi.org/10.1016/j.cvfa.2019.12.001>
- Kaplan, R. M., Denwood, M. J., Nielsen, M. K., Thamsborg, S. M., Torgerson, P. R., Gilleard, J. S., Dobson, R. J., Vercruysse, J., & Levecke, B. (2023). World Association for the Advancement of

Veterinary Parasitology (W.A.A.V.P.) guideline for diagnosing anthelmintic resistance using the faecal egg count reduction test in ruminants, horses and swine. *Veterinary Parasitology*, 318, 109936. <https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2023.109936>

Kelleher, A. C., Good, B., de Waal, T., & Keane, O. M. (2020). Anthelmintic resistance among gastrointestinal nematodes of cattle on dairy calf to beef farms in Ireland. *Irish Veterinary Journal*, 73(1), Article 1. <https://doi.org/10.1186/s13620-020-00167-x>

Kerboeuf, D. (2004). Apport des tests de laboratoire dans le diagnostic des strongyloses gastro-intestinales des ruminants et le choix des traitements. *Bulletin de l'Académie Vétérinaire de France*, 157(4), 17-23. <https://doi.org/10.4267/2042/47733>

Königová, A., Urda Dolinská, M., Babják, M., von Samson-Himmelstjerna, G., Komáromyová, M., & Várady, M. (2021). Experimental evidence for the lack of sensitivity of in vivo faecal egg count reduction testing for the detection of early development of benzimidazole resistance. *Parasitology Research*, 120(1), 153-159. <https://doi.org/10.1007/s00436-020-06965-0>

Levecke, B., Montresor, A., Albonico, M., Ame, S. M., Behnke, J. M., Bethony, J. M., Noumedem, C. D., Engels, D., Guillard, B., Kotze, A. C., Krolewiecki, A. J., McCarthy, J. S., Mekonnen, Z., Periago, M. V., Sopheak, H., Tchuem-Tchuenté, L.-A., Duong, T. T., Huong, N. T., Zeynudin, A., & Vercruysse, J. (2014). Assessment of anthelmintic efficacy of mebendazole in school children in six countries where soil-transmitted helminths are endemic. *PLOS Neglected Tropical Diseases*, 8(10), e3204. <https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0003204>

Lopez, M. (2023). *Évaluation de méthodes simplifiées de test de réduction d'excrétion fécale pour le diagnostic de résistance des strongles digestifs aux anthelminthiques chez les bovins* [Thèse d'exercice, Ecole Nationale Vétérinaire de Nantes]. <https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-04355429>

May, K., Brügemann, K., König, S., & Strube, C. (2017). Patent gastrointestinal nematode infections in organically and conventionally pastured dairy cows and their impact on individual milk and fertility parameters. *Veterinary Parasitology*, 245, 119-127. <https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2017.08.024>

Merial. (2015). *Gutworm affecting fertility in 80% of UK dairy herds*. Consulté le 07/04/2025 à l'adresse : <https://www.vetsurgeon.org/b/veterinary-news/posts/139673>

Meteociel. (2024). Consulté le 20/06/2025 à l'adresse : https://www.meteociel.fr/climatologie/obs_villes.php?code=63006002&mois=7&annee=2024

Météo-France. (2024, janvier 29). *2023 : Les bilans climatiques | Météo-France*. meteofrance.fr. Consulté le 15/07/2025 à l'adresse : <https://meteofrance.fr/actualite/publications/2023-les-bilans-climatiques>

Météo-France. (2025, février 11). *2024 : Les bilans climatiques | Météo-France*. meteofrance.fr. Consulté le 15/07/2025 à l'adresse : <https://meteofrance.fr/actualite/publications/2024-les-bilans-climatiques>

Michel, J. F. (1976). The epidemiology and control of some nematode infections in grazing animals. In B. Dawes (Éd.), *Advances in Parasitology* (Vol. 14, p. 355-397). Academic Press. [https://doi.org/10.1016/S0065-308X\(08\)60517-5](https://doi.org/10.1016/S0065-308X(08)60517-5)

Mihi, B., Van Meulder, F., Rinaldi, M., Van Coppennolle, S., Chiers, K., Van den Broeck, W., Goddeeris, B., Vercruysse, J., Claerebout, E., & Geldhof, P. (2013). Analysis of cell hyperplasia and parietal cell dysfunction induced by *Ostertagia ostertagi* infection. *Veterinary Research*, 44(1), 121. <https://doi.org/10.1186/1297-9716-44-121>

- Nagamori, Y., Sedlak, R. H., DeRosa, A., Pullins, A., Cree, T., Loenser, M., Larson, B. S., Smith, R. B., Penn, C., & Goldstein, R. (2021). Further evaluation and validation of the VETSCAN IMAGYST : In-clinic feline and canine fecal parasite detection system integrated with a deep learning algorithm. *Parasites & Vectors*, 14(1), 89. <https://doi.org/10.1186/s13071-021-04591-y>
- Nogareda, C., Mezo, M., Uriarte, J., Lloveras, J., & Cordero del Campillo, M. (2006). Dynamics of infestation of cattle and pasture by gastrointestinal nematodes in an atlantic temperate environment. *Journal of Veterinary Medicine, Series B*, 53(9), 439-444. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0450.2006.00979.x>
- Pepper, P. M., Swain, A. J., & Lyndal-Murphy, M. (2003). Using simulation techniques to investigate methods to determine resistance of helminths to anthelmintic treatment. *International Congress, Modelling and Simulation*.
- Phillipi-Taylor, A., O'Brien, A., Hart, E., Sangster, N., Cyrus, B., & Nicorescu, V. (2022). *Usage responsable et prudent des produits chimiques anthelminthiques en vue d'aider à contrôler la résistance aux anthelminthiques chez le bétail au pâturage* (p. 40). OIE. <https://www.woah.org/app/uploads/2021/12/fr-oie-anthelmintics-prudent-and-responsible-use-v4-web.pdf>
- R Core Team. (2025). *_R: A language and environment for statistical computing_*. [Logiciel]. R Foundation for Statistical Computing. <https://www.R-project.org/>
- Rashid, M. H., Stevenson, M. A., Waenga, S., Mirams, G., Campbell, A. J. D., Vaughan, J. L., & Jabbar, A. (2018). Comparison of McMaster and FECPAKG2 methods for counting nematode eggs in the faeces of alpacas. *Parasites & Vectors*, 11(1), 278. <https://doi.org/10.1186/s13071-018-2861-1>
- Ravinet, N., Bareille, N., Lehebel, A., Ponnau, A., Chartier, C., & Chauvin, A. (2014). Change in milk production after treatment against gastrointestinal nematodes according to grazing history, parasitological and production-based indicators in adult dairy cows. *Veterinary Parasitology*, 201(1), 95-109. <https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2013.12.031>
- Ravinet, N., Barreto, T., Chartier, C., Madouasse, A., Lehébel, A., Brisseau, N., & Chauvin, A. (2022). *La DO lait de tank est-elle un bon outil de prédiction de l'impact de l'infestation par les strongles digestifs chez les vaches laitières ?* Journées Nationales des Groupements Techniques Vétérinaires. 591 p. <https://hal.inrae.fr/hal-03681964>
- Ravinet, N., Chartier, C., Hoste, H., Mahieu, M., Duvauchelle-Wache, A., Merlin, A., Bareille, N., Jacquiet, P., & Chauvin, A. (2017). Enjeux et outils du traitement raisonné contre les strongles gastro-intestinaux chez les bovins et les petits ruminants. *INRAE Productions Animales*, 30(1), Article 1. <https://doi.org/10.20870/productions-animales.2017.30.1.2233>
- Rew, R. S. (1999). Production-based control of parasitic nematodes of cattle. *International Journal for Parasitology*, 29(1), 177-182. [https://doi.org/10.1016/S0020-7519\(98\)00197-0](https://doi.org/10.1016/S0020-7519(98)00197-0)
- Rinaldi, L., Coles, G. C., Maurelli, M. P., Musella, V., & Cringoli, G. (2011). Calibration and diagnostic accuracy of simple flotation, McMaster and FLOTAC for parasite egg counts in sheep. *Veterinary Parasitology*, 177(3), 345-352. <https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2010.12.010>
- Rinaldi, M., & Geldhof, P. (2012). Immunologically based control strategies for ostertagiosis in cattle : Where do we stand? *Parasite Immunology*, 34(5), 254-264. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3024.2011.01313.x>
- Rocha, R. A., Bresciani, K. D. S., Barros, T. F. M., Fernandes, L. H., Silva, M. B., & Amarante, A. F. T. (2008). Sheep and cattle grazing alternately : Nematode parasitism and pasture decontamination. *Small Ruminant Research*, 75(2), 135-143. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2007.09.001>

- Roeber, F., Hassan, E. B., Skuce, P., Morrison, A., Claerebout, E., Casaert, S., Homer, D. R., Firestone, S., Stevenson, M., Smith, L., & Larsen, J. (2017). An automated, multiplex-tandem PCR platform for the diagnosis of gastrointestinal nematode infections in cattle : An Australian-European validation study. *Veterinary Parasitology*, 239, 62-75. <https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2017.04.011>
- Sanchez, J., Dohoo, I., Carrier, J., & DesCôteaux, L. (2004). A meta-analysis of the milk-production response after anthelmintic treatment in naturally infected adult dairy cows. *Preventive Veterinary Medicine*, 63(3), 237-256. <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2004.01.006>
- Sanchez, J., Markham, F., Dohoo, I., Sheppard, J., Keefe, G., & Leslie, K. (2004). Milk antibodies against *Ostertagia ostertagi*: relationships with milk IgG and production parameters in lactating dairy cattle. *Veterinary Parasitology*, 120(4), 319-330. <https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2004.01.010>
- Shaw, D. J., Vercruysse, J., Claerebout, E., & Dorny, P. (1998). Gastrointestinal nematode infections of first-grazing season calves in Western Europe : General patterns and the effect of chemoprophylaxis. *Veterinary Parasitology*, 75(2), 115-131. [https://doi.org/10.1016/S0304-4017\(97\)00214-8](https://doi.org/10.1016/S0304-4017(97)00214-8)
- Slusarewicz, M., Slusarewicz, P., & Nielsen, M. K. (2019). The effect of counting duration on quantitative fecal egg count test performance. *Veterinary Parasitology*, 276, 100020. <https://doi.org/10.1016/j.vpoa.2019.100020>
- Stromberg, B. E. (1997). Environmental factors influencing transmission. *Veterinary Parasitology*, 72(3), 247-264. [https://doi.org/10.1016/S0304-4017\(97\)00100-3](https://doi.org/10.1016/S0304-4017(97)00100-3)
- Stromberg, B. E., & Auerbeck, G. A. (1999). The role of parasite epidemiology in the management of grazing cattle. *International Journal for Parasitology*, 29(1), 33-39. [https://doi.org/10.1016/S0020-7519\(98\)00171-4](https://doi.org/10.1016/S0020-7519(98)00171-4)
- Sutherland, I. A., & Leathwick, D. M. (2011). Anthelmintic resistance in nematode parasites of cattle : A global issue? *Trends in Parasitology*, 27(4), 176-181. <https://doi.org/10.1016/j.pt.2010.11.008>
- Taylor, M., Coop, R., & Wall, R. (2015a). Antiparasitics. In *Veterinary Parasitology* (p. 313-335). John Wiley & Sons, Ltd. <https://doi.org/10.1002/9781119073680.ch5>
- Taylor, M., Coop, R., & Wall, R. (2015b). Veterinary Helminthology. In *Veterinary Parasitology* (p. 1-109). John Wiley & Sons, Ltd. <https://doi.org/10.1002/9781119073680.ch1>
- Thienpont, D., Vanparijs, O. F. J., Raeymaekers, A. H. M., Vandenberg, J., Demoen, P. J. A., Allewijn, F. T. N., Marsboom, R. P. H., Niemegeers, C. J. E., Schellekens, K. H. L., & Janssen, P. a. J. (1966). Tetramisole (R 8299), A new, potent broad spectrum anthelmintic. *Nature*, 209(5028), 1084-1086. <https://doi.org/10.1038/2091084a0>
- Torgerson, P. R., Paul, M., & Furrer, R. (2014). Evaluating faecal egg count reduction using a specifically designed package “eggCounts” in R and a user friendly web interface. *International Journal for Parasitology*, 44(5), 299-303. <https://doi.org/10.1016/j.ijpara.2014.01.005>
- Vercruysse, J., Charlier, J., Dijk, J. V., Morgan, E. R., Geary, T., Samson-Himmelstjerna, G. von, & Claerebout, E. (2018). Control of helminth ruminant infections by 2030. *Parasitology*, 145(13), 1655-1664. <https://doi.org/10.1017/S003118201700227X>
- Vercruysse, J., & Claerebout, E. (1997). Immunity development against *Ostertagia ostertagi* and other gastrointestinal nematodes in cattle. *Veterinary Parasitology*, 72(3), 309-326. [https://doi.org/10.1016/S0304-4017\(97\)00103-9](https://doi.org/10.1016/S0304-4017(97)00103-9)
- Vineer, H. R., Morgan, E. R., Hertzberg, H., Bartley, D. J., Bosco, A., Charlier, J., Chartier, C., Claerebout, E., Waal, T. de, Hendrickx, G., Hinney, B., Höglund, J., Ježek, J., Kašný, M., Keane, O. M., Martínez-Valladares, M., Mateus, T. L., McIntyre, J., Mickiewicz, M., ... Rinaldi, L. (2020).

Increasing importance of anthelmintic resistance in European livestock : Creation and meta-analysis of an open database. *Parasite*, 27, 69. <https://doi.org/10.1051/parasite/2020062>

Walker, R. S., Miller, J. E., Monlezun, C. J., LaMay, D., Navarre, C., & Ensley, D. (2013). Gastrointestinal nematode infection and performance of weaned stocker calves in response to anthelmintic control strategies. *Veterinary Parasitology*, 197(1), 152-159. <https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2013.07.011>

Wang, C., Torgerson, P. R., Kaplan, R. M., George, M. M., & Furrer, R. (2018). Modelling anthelmintic resistance by extending eggCounts package to allow individual efficacy. *International Journal for Parasitology: Drugs and Drug Resistance*, 8(3), 386-393. <https://doi.org/10.1016/j.ijpddr.2018.07.003>

Warembourg, C., Béral, M., Camuset, P., Bineau, S., & Philizot, S. (2021). *Visite sanitaire bovine en France métropolitaine—Campagne 2020 « Les enjeux liés à l'utilisation d'antiparasitaires »* (p. 26). SNGTV. <https://agriculture.gouv.fr/visites-sanitaires-obligatoires-en-elevage#section-5>

Wolstenholme, A. J., Fairweather, I., Prichard, R., von Samson-Himmelstjerna, G., & Sangster, N. C. (2004). Drug resistance in veterinary helminths. *Trends in Parasitology*, 20(10), 469-476. <https://doi.org/10.1016/j.pt.2004.07.010>

Wyk, J. A. van, & Mayhew, E. (2013). Morphological identification of parasitic nematode infective larvae of small ruminants and cattle : A practical lab guide. *Onderstepoort Journal of Veterinary Research*, 80(1), Article 1. <https://doi.org/10.4102/ojvr.v80i1.539>

ANNEXES

Annexe 1 : Composition des troupeaux étudiés par lot

Lot DOR-LEV :

Traitement	Elevage	Nombre femelles Aubrac	Nombre mâles Salers	Nombre femelles Salers	Nombre mâles croisés	Nombre femelles croisées	Total	Âge moyen à V1 (j)
Doramectine	1	/	/	/	3	1	4	90
	2	3	/	/	/	/	3	188
	3	6	/	/	/	/	6	210
	4	/	/	/	3	2	5	168
	5	7	/	/	/	1	8	185
	6	/	/	4	2	1	7	207
	7	/	/	/	6	4	10	162
	8	/	/	/	1	1	2	169
	9	/	/	/	1	3	4	167
	10	/	/	/	3	2	5	160
	Tous	16	0	4	19	15	54	174
Lévamisole	1	/	/	/	1	2	3	95
	2	2	/	/	/	/	2	197
	3	7	/	/	/	/	7	210
	4	/	/	/	3	3	6	152
	5	4	/	/	1	2	7	183
	6	/	4	1	3	1	9	202
	7	/	/	/	7	3	10	164
	8	/	/	/	2	1	3	172
	9	/	/	/	3	/	3	173
	10	/	/	/	4	1	5	168
	Tous	13	4	1	24	13	55	175

Lot LEV :

Elevage	Mâles Aubrac	Femelles Aubrac	Mâles croisés	Femelles croisées	Total	Âge moyen à V1 (j)
11	2	13	2	6	23	176
12	/	8	/	/	8	118
13	1	31	/	/	32	197
14	4	14	4	/	22	118
15	3	6	/	/	9	107
16	1	10	1	2	14	210
17	3	1	1	/	5	76
Tous	14	83	8	8	113	161

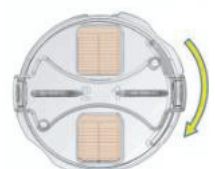
Lot DOR-MOX :

Traitement	Elevage	Nombre mâles Aubrac	Nombre femelles Aubrac	Nombre mâles Salers	Nombre femelles Salers	Nombre mâles croisés	Nombre femelles croisées	Total	Âge moyen à V1 (j)
Doramectine	2	/	3	/	/	/	/	3	170
	3	/	6	/	/	/	/	6	193
	4	/	/	/	/	3	2	5	137
	5	2	8	/	/	/	/	10	188
	6	/	/	2	3	1	2	8	184
	7	/	/	/	/	6	4	10	144
	8	/	/	/	/	2	1	3	152
	9	/	/	/	1	1	1	3	142
	10	/	/	/	/	2	2	4	140
	17	/	/	/	/	2	/	2	59
	Tous	2	17	2	4	17	12	54	161
Moxidectine	2	/	2	/	/	/	/	2	176
	3	/	6	/	/	/	/	6	186
	4	/	/	/	/	4	2	6	131
	5	1	9	/	/	/	/	10	194
	6	/	/	3	2	1	2	8	184
	7	/	/	/	/	5	5	10	142
	8	/	/	/	/	1	1	2	153
	9	/	/	/	/	3	1	4	135
	10	/	/	/	/	2	2	4	140
	17	/	/	/	/	1	2	3	57
	Tous	1	17	3	2	17	15	55	157

Lot IVM-MOX :

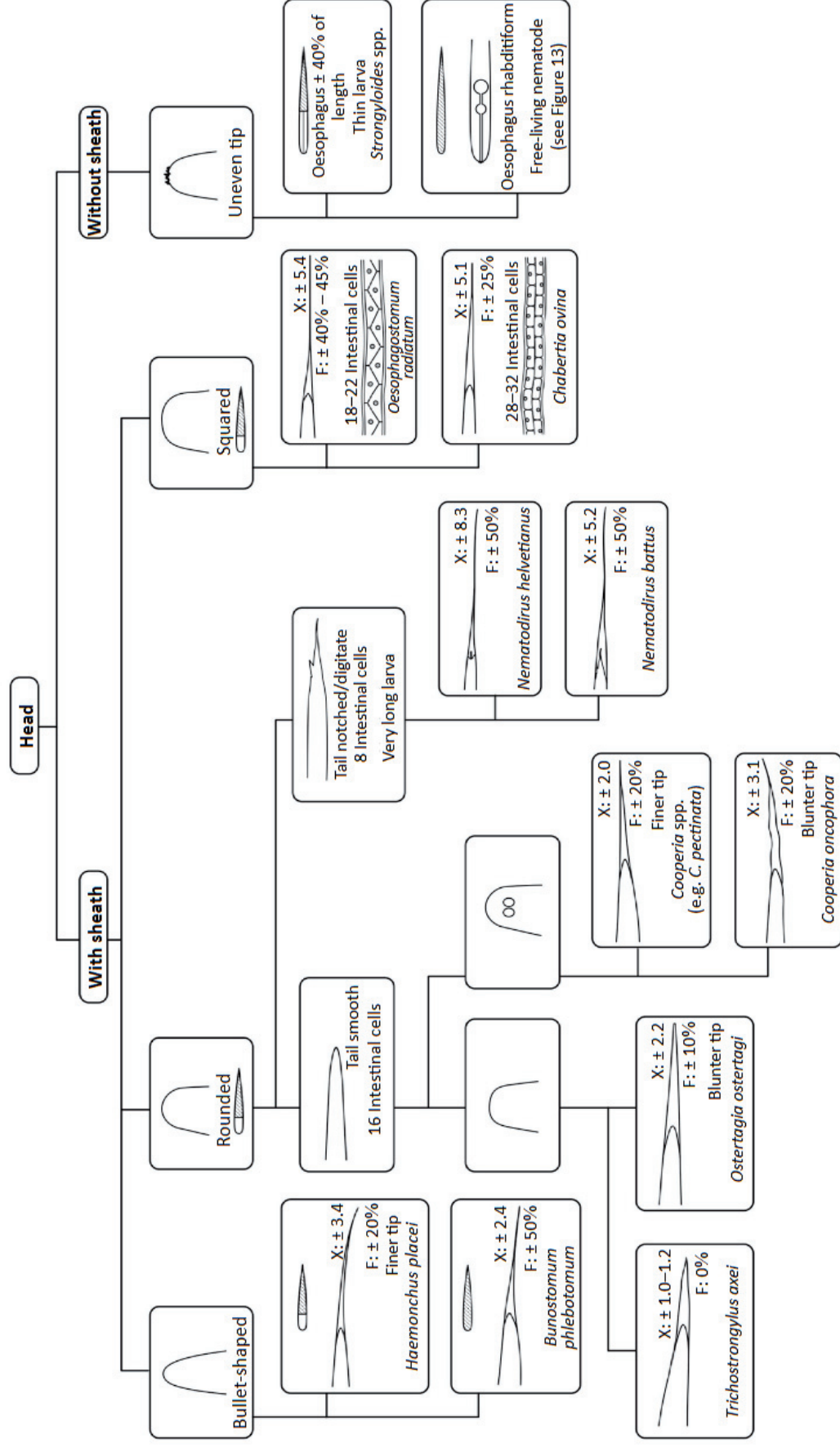
Traitement	Elevage	Femelles Limousines	Femelles Aubrac	Femelles Montbéliardes	Femelles Prim'Holstein	Total	Âge moyen à V1 (j)
Ivermectine	18	18	/	/	/	18	647
	19	/	/	9	2	11	627
	20	/	/	/	8	8	763
	21	/	/	/	3	3	662
	22	/	/	/	4	4	638
	23	/	2	/	/	2	721
	Tous	18	2	9	17	46	666
Moxidectine	18	18	/	/	/	18	640
	19	/	2	8	/	10	637
	20	/	/	/	8	8	842
	21	/	/	/	3	3	598
	22	/	/	/	4	4	650
	23	/	2	/	/	2	857
	Tous	18	4	8	15	45	683

Annexe 2 : Détail des étapes du protocole de coproscopie
Sources : Cringoli et al. (2017a) ; Roussel Adrien

<u>Matériel</u> : Dispositifs Fill-FLOTAC® et Mini-FLOTAC®, eau, solution de chlorure de sodium à saturation, tubes de prélèvement secs, pipettes		
<u>Etape 1</u> : Verser 45ml d'eau dans le Fill- FLOTAC®. 	<u>Etape 2</u> : Peser 5g de fèces dans le Fill- FLOTAC®. 	<u>Etape 3</u> : Homogénéiser doucement. 
<u>Etape 4</u> : Verser 3,5ml de la solution dans deux tubes à prélèvement secs identifiés, jusqu'au repère rouge. 	<u>Etape 5</u> : Centrifuger les deux tubes à 2000rpm pendant 15 minutes de façon à obtenir un culot marqué.  Conservation au froid positif d'au moins un des deux tubes.	<u>Etape 6</u> : Eliminer délicatement le surnageant d'un tube dans l'évier puis ajouter de la solution de chlorure de sodium saturée jusqu'au repère rouge. Homogénéiser doucement avec une pipette, en produisant aussi peu de bulles que possible.
<u>Etape 7</u> : Remplir des chambres du Mini-FLOTAC® en prélevant la solution dans le tube avec une pipette. Attendre 10 minutes puis tourner la clé. 	<u>Etape 8</u> : Lire les deux chambres au microscope optique, grossissement x40 ou x100. Dénombrer les œufs de SGI.	<u>Etape 9</u> : Déterminer la fiabilité du TREF une fois tous les tubes du lot lus. Si l'élevage se situe sous la courbe, effectuer une seconde lecture avec les tubes conservés au froid positif.
<u>Interprétation</u> : Si 2 chambres ont été lues, multiplier le nombre total d'œufs lus par bovin par 5 pour avoir une excrétion en opg. Si 4 chambres ont été lues, multiplier le nombre total d'œufs lus par bovin par 2,5.		

Annexe 3 : Arbre d'identification des larves de strongles gastro-intestinaux et respiratoires des bovins (Wyk & Mayhew, 2013)

X : 33µm, taille moyenne de l'extension caudale de la gaine de *Trichostrongylus axei* et *Tr. colubriformis* ; F : taille de la portion filamenteuse de l'extension caudale de la gaine, en pourcentage de sa longueur totale.



Annexe 4 : Questionnaire rempli auprès des éleveurs participant à l'étude

Questionnaire élevage saison 2024

Elevage	
Date de mise à l'herbe	
Nombre de parcelles avant estive	
Dates changement si plusieurs parcelles	

Habitudes de traitement

Traitements utilisés		Veaux/bROUTARDS	Doublonnes	Tersonnes	Vaches
IVOMEK/VIRBAMEK/ CEVAMEK	Inj				
DECTOMAX	Inj				
EPRECIS	Inj				
CYDECTINE	Inj				
CYDECTINE	LA				
IVOMEK/VIRBAMEK/ CEVAMEK	Pour-on				
DECTOMAX	Pour-on				
EPRINEX/EPRIZERO	Pour-on				
CYDECTINE	Pour-on				
OXFENIL/PANACUR	Buvable				
REPIDOSE	Bolus				
NEMISOL	Inj				
NEMISOL	Pour-on				
CHRONOMINTIC	Bolus				

Objectifs de croissance

Femelle pure	Femelle croisée	Mâle pur	Mâle croisé

EVALUATION DE LA RESISTANCE DES STRONGLES GASTRO-INTESTINAUX AU LEVAMISOLE ET AUX LACTONES MACROCYCLIQUES CHEZ DES BOVINS EN ESTIVE DANS LE CANTAL

Auteur

Roussel Adrien

Résumé

La résistance des strongles gastro-intestinaux des bovins aux anthelminthiques est un problème en progression. Cette étude s'intéresse aux résistances aux lactones macrocycliques et, pour la première fois en France, au lévamisole. Des tests de réduction d'excrétion fécale ont été réalisés dans 17 élevages participant à deux estives collectives pour évaluer l'efficacité de quatre molécules au total. Les GMQ des bovins de première saison de pâture ont été mesurés sur les deux mois d'été dans 18 élevages. Neuf élevages ont participé à l'étude deux années consécutives. Des coprocultures ont été réalisées afin d'identifier les strongles porteurs de résistance. La résistance au lévamisole est avérée dans 30 % (3/10) des élevages testés, suspectée dans 20 % (2/10) d'entre eux et seulement 30 % (3/10) y sont sensibles. Concernant les lactones macrocycliques, aucune sensibilité n'a été détectée pour les avermectines et la moxidectine. Les premières ont un taux de résistance avérée de 13 % (2/16) et suspectée de 38 % (6/16). La résistance à la moxidectine a été détectée dans 13 % (2/16) des élevages et est suspectée dans 50 % (8/16) d'entre eux. Au total, 12 % (2/17) des élevages testés présentent des résistances multiples et 41 % (7/17) en sont suspectés. Après traitement, les strongles retrouvés étaient majoritairement des *Cooperia* sp. Des facteurs de risque liés aux traitements habituellement réalisés ont pu être observés concernant les avermectines et la moxidectine. Le suivi des GMQ n'a pas permis de mettre en évidence d'impact de la résistance, ni du choix du traitement anthelminthique, sur la croissance des jeunes bovins. Ces résistances doivent motiver les vétérinaires et les éleveurs à réviser leur gestion du parasitisme afin de conserver l'efficacité de notre arsenal thérapeutique limité.

Mots-clés

Bovin, Strongles gastro-intestinaux, Résistances aux anthelminthiques

Jury

Président du jury	:	Pr.	ARCANGIOLI Marie-Anne
Directeur de thèse	:	Dr.	BOURGOIN Gilles
2ème assesseur	:	Pr.	ZENNER Lionel
Membre invité	:	Dv.	DRAVIGNEY Laurent