



Étude exploratoire des effets des caractéristiques des végétations et des pratiques sur la charge des parcelles en larves infestantes de strongles gastro-intestinaux en élevage ovin

Gwendoline Bracco

► To cite this version:

Gwendoline Bracco. Étude exploratoire des effets des caractéristiques des végétations et des pratiques sur la charge des parcelles en larves infestantes de strongles gastro-intestinaux en élevage ovin. Agronomie. 2023. dumas-04449025

HAL Id: dumas-04449025

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-04449025>

Submitted on 25 Mar 2024

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

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

Mémoire de fin d'études

présenté pour l'obtention du Diplôme d'Ingénieur Agronome
Option : Systèmes d'élevage (SYSTEL)

**Étude exploratoire des effets des caractéristiques
des végétations et des pratiques sur la charge des
parcelles en larves infestantes de strongles gastro-
intestinaux en élevage ovin**



par Gwendoline BRACCO

Année de soutenance : 2023

Organismes d'accueil : INRAE de Toulouse & SCOPELA

Mémoire de fin d'études

**présenté pour l'obtention du Diplôme d'Ingénieur Agronome
Option : Systèmes d'élevage**

Étude exploratoire des effets des caractéristiques des végétations et des pratiques sur la charge des parcelles en larves infestantes de strongles gastro- intestinaux en élevage ovin



par Gwendoline BRACCO

Année de soutenance : 2023

Mémoire préparé sous la direction de :
Amandine LURETTE

Organismes d'accueil : INRAE &
SCOPELA

Présenté le : 19/09/2023
devant le jury :

Caroline CONSTANCIS
Claire MANOLI

Maîtres de stage : Marion SAUTIER,
Sarah MIHOUT

RESUME

Notre étude s'intègre dans des travaux de recherche sur la gestion du parasitisme gastro-intestinal par le pâturage en vue d'une réduction des intrants médicamenteux et d'une gestion agroécologique des élevages.

L'objectif de l'étude est d'explorer les interactions en conditions réelles entre les caractéristiques des végétations naturelles, les pratiques mises en place par l'éleveur et la charge des parcelles en larves infestantes (L3) de strongles gastro-intestinaux (SGI) en élevage ovin. Pour ce faire, nous avons estimé la charge en larves L3 des parcelles à partir de prélèvements d'herbe et de comptages au microscope. Nous avons également caractérisé les zones de prélèvement par des variables associées à la végétation et des variables associées aux pratiques. Nous avons sélectionné 12 zones de prélèvement localisées dans deux élevages ovins situés en Ariège.

Les variables étudiées en lien avec les caractéristiques des végétations sont : le type de milieu, le relief, l'altitude, l'exposition, la présence d'ombrage, l'humidité du sol, l'occupation du sol, la composition floristique, la diversité, la phénologie du couvert, la saisonnalité et précocité de la végétation, le nombre de strates, la hauteur moyenne de l'herbe, la densité sur pied, la fréquentation par les animaux et la présence de fèces sur la parcelle.

Celles associées aux pratiques sont : le nombre de jours de pâturage, le nombre d'ovins au dernier pâturage et le nombre de jours écoulés depuis le dernier pâturage.

L'analyse statistique des interactions entre le nombre de L3 par kilogramme de matière sèche (kgMS) et les variables sélectionnées a permis de développer un modèle d'estimation de la charge parasitaire des parcelles. L'analyse a également permis de mettre en avant que le nombre de L3 par kgMS augmente avec la présence d'ombrage sur une parcelle, la fréquentation des animaux, la durée et le nombre d'ovins présents sur la parcelle au dernier pâturage. Pour l'évolution du nombre de L3 par kgMS en fonction de la hauteur moyenne et du pourcentage de matière sèche de l'herbe, nous obtenons deux résultats contradictoires. Nous n'avons pas obtenu de résultats significatifs pour les autres variables.

Globalement, cette étude renforce des hypothèses concernant l'impact de certaines pratiques et des végétations sur la charge en L3 des parcelles, tout en soulignant la complexité des interactions entre ces variables en conditions réelles. Des données supplémentaires seront nécessaires pour valider les résultats obtenus afin de contribuer à une meilleure compréhension des stratégies envisageables pour une gestion agroécologique du parasitisme gastro-intestinal par le pâturage.

MOTS CLES

Gestion du parasitisme ; strongles gastro-intestinaux ; larves infestantes ; ovin ; couverts végétaux ; pâturage ; comptage larvaire

ABSTRACT

Title: Exploratory study of the effects of the characteristics of the vegetation and farming practices on the gastro-intestinal strongyle infective larvae burden in plots of sheep farming.

Our study is part of research projects on the management of gastrointestinal parasitism through grazing in order to reduce the use of chemicals treatments and to manage livestock farms in an agro-ecological way.

The aim of the study is to explore the interactions under real conditions between the characteristics of the vegetation, the practices and the load of infesting larvae (L3) of gastrointestinal strongyles (GIS). To do this, we estimated the number of L3 larvae in the plots by using the pasture larval count method. We also characterized the sampling zones by variables associated with vegetation and practices. We selected 12 sampling zones on two sheep farms in Ariège.

The variables studied for the characteristics of the vegetation are: type of environment, relief, altitude, exposure, presence of shade, soil moisture, soil occupation, floristic composition, species diversity, phenology of the cover, seasonality and earliness of vegetation, number of strata, average grass height, density, frequentation by animal and presence of feces on the plot.

Those associated with practices are: number of days grazed, number of sheep at last grazing and number of days since last grazing.

Statistical analysis of the interactions between the number of L3 per kilogram of dry matter (kgDM) and the selected variables was used to develop a model for estimate the parasite load on plots. The analysis also showed that the number of L3 per kgDM increases with the presence of shade on a plot, animal frequentation, duration and number of sheep on the plot at the last grazing. For the evolution of the number of L3 per kgDM with the average height and the percentage of dry matter of grass, we founded two contradictory results. No significant results were obtained for the other variables.

Overall, this study reinforces hypotheses concerning the impact of some practices and vegetation on the L3 load of paddocks, while highlighting the complexity of the interactions between these variables under real conditions. Additional data will be required to validate the results obtained to contribute to a better understanding of possible strategies for the agroecological management of gastrointestinal parasitism through grazing.

KEY WORDS

Parasitism management ; gastrointestinal strongyles ; infesting larvae ; sheep ; plant cover ; grazing ; pasture larval count

REMERCIEMENTS

Je souhaite avant tout remercier mes deux maîtres de stage Sarah Mihout et Marion Sautier. Merci de m'avoir permis de réaliser ce stage de 6 mois, de m'avoir fait confiance, de m'avoir encadrée et formée. Merci aussi de m'avoir soutenue et guidée tout au long du projet. Votre aide et vos conseils ont été précieux dans la réalisation du stage.

Merci aux éleveurs qui ont accepté de répondre à mes questions et particulièrement aux deux éleveurs qui nous ont accompagné pendant ces 6 mois. Merci également à toutes les personnes qui m'ont apporté leurs conseils lorsque nous avons rencontré certaines difficultés. Le stage n'aurait pas pu aboutir sans eux alors merci.

Je tiens également à remercier toute l'équipe Sysed pour l'accueil au sein de l'équipe et votre aide. Un grand merci à Carole, pour nous avoir accompagné sur le terrain et aidé lors des périodes de laboratoire.

Quelques mots pour remercier l'équipe pédagogique de l'Institut Agro Montpellier et particulièrement merci ma tutrice Amandine Lurette et à Jean-Baptiste Menassol pour avoir suivi l'évolution de mon stage, m'avoir soutenue et aidée à surmonter les défis rencontrés pendant mon stage.

Je remercie la petite équipe des « non permanents » de l'INRAE, les moments de détente autour de jeux de société lors des pauses déjeuner étaient les bienvenus au milieu de nos journées. Remerciements spéciaux pour Coralie, Thibault et Manon avec qui j'ai partagé la majorité des repas dans la joie et la bonne humeur (plus ou moins en fonction de la météo et du menu au self). Merci à Coralie et Manon d'avoir suivi les aléas de ma vie pendant ces 6 mois.

Enfin, je remercie particulièrement l'ensemble des mes amis qui ont suivi de près ou de loin mon stage et qui m'ont apporté beaucoup de soutien. Vos encouragements, rires et les moments passés ensemble ont été essentiels. Merci pour le support moral non négligeable. Gros cœurs sur AOC et beaucoup d'amour à Micka et Yaël pour avoir été là.

Merci à tous ceux qui ont contribué à cette aventure. Votre appui a été précieux et a grandement enrichi mon stage. Merci à chacun d'entre vous.

TABLE DES MATIERES

RESUME.....	2
MOTS CLES.....	2
ABSTRACT	3
KEY WORDS	3
REMERCIEMENTS.....	4
TABLE DES MATIERES	5
AVANT-PROPOS	8
SIGLES ET ACRONYMES	9
I - INTRODUCTION	10
1. IMPORTANCE SANITAIRE ET ECONOMIQUE DES PARASITES GASTRO-INTESTINAUX DANS LES ELEVAGES OVINS.....	10
2. UNE GESTION DU PARASITISME GASTRO-INTESTINAL PAR L'USAGE D'ANTIPARASITAIRES.....	11
2.1. L'utilisation d'intrants médicamenteux.....	11
2.2. Une utilisation raisonnée des antiparasitaires pour réduire les résistances des parasites gastro-intestinaux	11
3. DES ALTERNATIVES NON CHIMIQUES POUR LA GESTION DES PARASITES GASTRO-INTESTINAUX	11
3.1. La vaccination et la génétique pour améliorer la résistance des ovins face aux parasites gastro-intestinaux	11
3.2. L'alimentation du troupeau pour limiter et lutter contre les infestations	12
3.2.1. Médecines alternatives et les alicaments.....	12
3.2.2. Le pâturage, un levier pour limiter les infestations	12
4. CONTEXTE ET OBJECTIFS DU STAGE	13
5. PROBLEMATIQUE	13
II – REVUE BIBLIOGRAPHIQUE : LES STRONGLES GASTRO-INTESTINAUX EN ELEVAGE OVIN ET DYNAMIQUE D'INFESTATION DES PARCELLES	14
1. LES STRONGLES GASTRO-INTESTINAUX EN ELEVAGE OVIN	14
1.1. Une diversité d'espèces	14
1.2. Des cycles de développement communs impactés par les conditions environnementales.....	14
2. DES CONDITIONS DE TEMPERATURE ET D'HUMIDITE MODULANT LES CYCLES DES STRONGLES GASTRO-INTESTINAUX	15
2.1. Descriptif du parasite et impact en élevage ovin.....	15
2.2. Conditions de développement et de survie de <i>H. contortus</i>	16
2.2.1. Survie des œufs	16
2.2.2. Développement des œufs en larves infestantes	16

2.2.3. Survie et montée sur l'herbe des larves infestantes.....	17
3. EVOLUTION DE L'INFESTATION DES PARCELLES PAR LES STRONGLES GASTRO- INTESTINAUX	18
3.1. Dynamique d'infestation des parcelles par les strongles gastro-intestinaux.....	18
3.2. Effets des caractéristiques des végétations sur la dynamique d'infestation des parcelles par les strongles gastro-intestinaux	19
3.3. Effets des pratiques sur la charge parasitaire des parcelles, les végétations et l'estimation du risque d'infestation du troupeau.....	19
III - MATERIEL ET METHODES.....	21
1. ÉCHANTILLONNAGE DES ELEVAGES ET DES ZONES DE PRELEVEMENT D'HERBE	21
1.1. Enquêtes pour la sélection des élevages supports	21
1.1.1. Critères de sélection des éleveurs enquêtés.....	21
1.1.2. Objectifs des enquêtes auprès d'éleveurs	22
1.1.3. Analyse des enquêtes et sélection de deux fermes expérimentales.....	23
1.2. Enquêtes auprès des fermes sélectionnées pour le choix des zones de prélèvement 24	
1.2.1. Objectifs pour la sélection des zones de prélèvement.....	24
1.2.2. Les zones de prélèvement sélectionnées	25
2. METHODE EXPERIMENTALE	25
2.1. Sélection des variables à relever sur le terrain	25
2.2. Protocole de prélèvement de l'herbe	29
2.3. Estimation de la charge parasitaire des parcelles	29
2.3.1. Extraction des larves de parasites présentes sur l'herbe et matière sèche de l'herbe 29	
2.3.2. Comptage des larves.....	30
2.4. Recueil des caractéristiques des végétations des zones de prélèvement	32
2.5. Recueil des pratiques de pâturage et de gestion des parcelles	33
2.6. Analyse statistique pour l'estimation de la charge parasitaire des parcelles en lien avec les caractéristiques des végétations et les pratiques.....	33
2.6.1. Sélection des données et des variables à analyser.....	33
2.6.2. Analyse des données obtenues	34
IV - RESULTATS	36
1. ANALYSE DES VARIABLES QUALITATIVES.....	36
1.1. Étude des liens entre les variables qualitatives	36
1.2. Étude des liens entre les variables qualitatives et le nombre de L3 par kgMS	38
2. ANALYSE DES VARIABLES QUANTITATIVES.....	39
2.1. Interactions entres variables quantitatives.....	39
2.2. Modèle de régression linéaire.....	39
2.3. Analyse des conditions d'application du modèle	41
2.4. Identification de groupes de zones à « risques »	42
2.4.1. ACP	42
2.4.2. Groupes de zones de prélèvement	43
V- DISCUSSION	47
1. RESULTATS PRINCIPAUX DE L'ETUDE	47
1.1. Résultats issus de l'analyse	47
1.2. Vérification des hypothèses émises sur l'impact des végétations et des pratiques	

sur la charge paritaire des parcelles.....	49
2. METHODE ET PROPOSITIONS D'AMELIORATIONS	50
2.1. Choix des élevages supports	50
2.2. Méthode expérimentale	51
2.3. Méthode d'analyse statistique	51
CONCLUSION.....	53
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	54
LISTE DES FIGURES.....	58
LISTE DES TABLEAUX	59
ANNEXES.....	60

AVANT-PROPOS

Ce mémoire est l'aboutissement de mon stage de fin d'études d'une durée de 6 mois réalisé d'avril à septembre 2023. Ce stage s'inscrit dans le cadre de mon cursus universitaire au sein de l'institut Agro Montpellier en vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur agronome, option systèmes d'élevage.

Les organismes commanditaires de mon stage sont la structure SCOPELA et l'INRAE de Toulouse.

SCOPELA est une structure de conseil, de formation et d'accompagnement des acteurs de l'élevage et de l'environnement. Son objectif principal est de contribuer à l'amélioration de l'autonomie alimentaire des élevages d'herbivores et à l'autonomie de décision des éleveurs. Pour ce faire, la structure est engagée dans l'accompagnement de projets agroenvironnementaux, la formation d'éleveurs, techniciens et enseignants. De plus, elle participe à la production de références techniques permettant d'ajuster les pratiques d'élevage.

La structure intervient sur l'ensemble du territoire français et collabore avec de nombreux acteurs (éleveurs, techniciens, acteurs territoriaux et institutionnels) pour faire le lien entre les systèmes d'alimentation des troupeaux, les végétations, la santé animale, le bien-être des éleveurs et les réalités environnementales et économiques.

Au sein de SCOPELA, j'ai été encadrée par Sarah MIHOUT, formatrice, chargée de projets et animatrice du réseau Pâtur'Ajuste. Pâtur'Ajuste est un réseau national de professionnels ayant pour but de mettre en avant les projets et les savoir-faire des éleveurs sur la valorisation des végétations spontanées dans le système d'élevage.

D'un point de vue organisationnel, mon stage s'est déroulé à l'INRAE de Toulouse. L'INRAE est l'organisme de recherche public pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement. Son objectif principal est de produire, diffuser et de mobiliser des connaissances scientifiques au service de l'innovation, de l'expertise et de l'appui aux politiques publiques.

J'ai été accueillie par l'unité de recherche GenPhySE (Génétique Physiologie et Système d'Elevage). Cette unité est constituée de chercheurs, techniciens, ingénieurs, de doctorants et post-doctorants. GenPhySE est divisée en plusieurs équipes et pendant mon stage j'ai intégré l'équipe SYSED (SYstèmes d'Elevage Durable). Cette équipe développe des travaux de recherches sur l'évaluation multicritère des systèmes d'élevage et la conception de systèmes innovants (évaluation environnementale et de durabilité).

A l'INRAE, j'ai été encadrée par Marion SAUTIER, enseignante chercheuse à l'Ecole Nationale Supérieure Agronomique de Toulouse (ENSAT). Ses travaux des recherches actuels s'articulent autour d'une gestion intégrée de la santé animale par le pâturage.

SIGLES ET ACRONYMES

ENSAT : Ecole Nationale Supérieure Agronomique de Toulouse

GenPhySE : Génétique Physiologie et Système d’Elevage

INRAE : Institut National de la Recherche Agronomique et environnementale

SYSED : SYStèmes d’Elevage Durable

SGI : strongles gastro-intestinaux

L3 par kgMS : L3 par kilogramme de matière sèche

I - INTRODUCTION

Dans un contexte de réchauffement climatique et d'évolution des attentes des consommateurs en termes d'éthique animale, certains élevages amorcent une transition vers des systèmes plus durables et respectueux de l'environnement et de l'animal. On parle d'une transition agroécologique des élevages. Elle repose sur les principes suivants (Dumont et al. 2013) :

- Mettre en place une gestion intégrée pour améliorer la santé animale
- Diminuer les intrants nécessaires à la production
- Optimiser les systèmes d'élevage pour réduire les pollutions
- Utiliser la diversité au sein des élevages pour renforcer leur résilience
- Préserver la biodiversité en adaptant les pratiques

Le pâturage est l'une des solutions pour favoriser la transition agroécologique des élevages. Il permet de réduire la dépendance en intrants alimentaires en contribuant au maintien de la biodiversité et des milieux (Jouven, Stark, et Moulin 2022). Cependant, cette pratique pose des questionnements quant à la santé animale, notamment par rapport au parasitisme gastro-intestinal au pâturage. En effet, les animaux pâturant sont exposés aux strongles gastro-intestinaux (SGI) présents sur les parcelles. De plus, le contrôle du parasitisme repose majoritairement sur l'utilisation d'antiparasitaires (Cabaret 2004 ; Jacquet, Fidelle, et al. 2014). Cela soulève des préoccupations en termes d'efficacité des traitements, de la durabilité des systèmes d'élevage et de la préservation de l'environnement. Rechercher des méthodes de lutte alternatives aux antiparasitaires est nécessaire en vue d'une réduction des intrants médicamenteux et d'une gestion agroécologique des élevages.

Tout au long de ce mémoire le terme « charge parasitaire » renvoie au nombre de larves infestantes (L3) de SGI présentes sur les parcelles. Le terme « caractéristiques des végétations » renvoie à l'ensemble des caractéristiques intrinsèques à la parcelle (topographie, exposition, type de sol, état de la végétation...) et aux caractéristiques propres à la végétation (composition floristique, saisonnalité, précocité, hauteur de l'herbe ...). Le terme « pratiques » englobe l'ensemble des pratiques mises en place par l'éleveur en lien avec les parcelles (fauche, déprimage...), le pâturage (dates de pâturage, nombre d'animaux au pâturage...) et la gestion du parasitisme à l'échelle du troupeau (type de traitement antiparasitaire, date de traitement ...). Enfin, le terme « risque d'infestation » fait référence à la probabilité d'infestation des animaux par les SGI.

1. Importance sanitaire et économique des parasites gastro-intestinaux dans les élevages ovins

Les principaux problèmes sanitaires en cas d'infestation par des SGI sont des problèmes digestifs caractérisés par une perte de poids et de l'appétit (Lescarret, 2019 ; Sykes & Coop, 2001). Si les parasites infestants sont hématophages, c'est-à-dire qu'ils se nourrissent du sang de l'hôte, des problèmes anémiques peuvent être observés (Lescarret, 2019 ; Sykes & Coop, 2001). La sévérité des problèmes dépend de l'âge, de la race, de la résistance génétique des animaux aux SGI et de l'état de santé des animaux (Cabaret, 2004). Par exemple, ayant une plus faible immunité, les agneaux de moins de 6 mois ou les brebis autour de la mise-bas sont plus sensibles aux strongles digestifs (Beasley, Kahn, et Windon 2010 ; Greer et Hamie 2016).

Le caractère pathogène des SGI est responsable de pertes économiques dans les élevages. En effet, la revue bibliographique effectuée par Mavrot *et al* en 2015, montre que les animaux parasités par des SGI ont une production de lait diminuée de 22%, de laine de 10% et une baisse du gain de poids des agneaux de 15%. En Europe, ces diminutions de production correspondraient à une perte de 334 millions d'euros pour les élevages ovins viande (Mavrot 2016). Il est important de noter que ces coûts sont sous-estimés car ils ne prennent pas en compte les coûts associés à la maîtrise du parasitisme et à la mortalité des animaux.

2. Une gestion du parasitisme gastro-intestinal par l'usage d'antiparasitaires

2.1. L'utilisation d'intrants médicamenteux

Les parasites gastro-intestinaux peuvent impacter les systèmes d'élevage dont l'alimentation du troupeau repose sur le pâturage. Aujourd'hui, l'utilisation de traitements médicamenteux est le principal moyen utilisé par les éleveurs pour limiter l'impact du parasitisme (Jacquiet et al., 2014). Cependant, l'administration systématique d'antiparasitaires en prévention de l'infestation favorise le développement de résistances, voire de multi-résistantes des populations parasites face aux traitements (Jacquiet et al., 2022). De plus, certains résidus d'antiparasitaires excrétés dans les fèces des animaux sont néfastes pour l'environnement, la composition, la structure des sols et les populations de coprophages (Beynon 2012). Prenons l'exemple d'une famille de molécules d'antiparasitaires : les lactones macrocycliques (LM) (Jacquiet et al. 2014). Certaines molécules des LM peuvent être stockées longtemps dans les sols (Mougin et al. 2003) et impacter les organismes fongiques (Kollmann et al. 2003). Les résidus de LM peuvent également être léthales pour des populations coprophages structurant les sols comme les bousiers (Hempel et al. 2006).

2.2. Une utilisation raisonnée des antiparasitaires pour réduire les résistances des parasites gastro-intestinaux

Pour maintenir l'efficacité des traitements, les éleveurs peuvent limiter l'apparition de populations de strongles résistantes (Jacquiet et al. 2022) en traitant de façon raisonnée les animaux. Cela consiste à ne pas traiter tout le troupeau en prévention de l'infestation, à alterner la famille de molécules d'antiparasitaires utilisée et procéder à des traitements ciblés sur les animaux présentant des signes cliniques d'infestation (Hoste et al. 2009). En effet, cela permet de limiter les SGI sélectionnés pour leur résistance lors de l'utilisation d'un antiparasitaire et contribue à diminuer le nombre d'individus résistants au sein de la population (Jacquiet et al. 2014).

Traiter les animaux présentant des signes cliniques d'infestation implique une reconnaissance de ces signes. Cependant, les indicateurs existants pour détecter les animaux malades sont encore difficilement utilisables par les éleveurs. En effet, des évaluations de santé individuelles par coproscopie, observation de l'animal (méthode FAMACHA©) ou encore avec une évaluation de la note d'état corporel sont chronophages (Cabaret 2017). Ces méthodes sont peu réalisables à l'échelle d'un troupeau ayant un effectif élevé (Cabaret 2017) comme les élevages ovins français. Des méthodes d'évaluation à l'échelle du lot comme la coproscopie de mélange se développent mais elles ne permettent pas l'identification ciblée des animaux malades (Cabaret 2017).

3. Des alternatives non chimiques pour la gestion des parasites gastro-intestinaux

L'apparition grandissante de populations résistantes couplée aux impacts environnementaux des antiparasitaires est l'une des raisons expliquant la recherche de nouvelles méthodes de lutte contre les parasites. Plusieurs études s'intéressent à des alternatives aux antiparasitaires notamment par la vaccination, la sélection génétique ou par le biais d'une modification de la gestion des pratiques.

3.1. La vaccination et la génétique pour améliorer la résistance des ovins face aux parasites gastro-intestinaux

La vaccination est l'une des stratégies étudiées pour maîtriser le parasitisme gastro-intestinal chez les

ovins. Pour l'instant, *Haemonchus contortus* est la seule espèce pour laquelle un vaccin est disponible (Jacquet P et al. 2018). Ce vaccin permettrait de stimuler la réponse immunitaire des animaux en réduisant en moyenne de 80% le nombre d'œufs excrétés et de 50% le nombre de vers internes (Emery, Hunt, et Le Jambre 2016).

Parallèlement à la vaccination, la sélection d'individus résistants aux strongles digestifs apparaît comme un levier efficace pour la maîtrise du parasitisme (Bath 2014). La résistance aux strongles digestifs est évaluée par le taux d'excrétion des œufs dans les fèces. Ce taux est corrélé à l'intensité de l'infestation de l'animal par les vers parasites (McKenna 1987 ; McKenna et Simpson 1987). Chez les ovins, la résistance aux strongles est un caractère héritable avec une héritabilité moyenne entre 0.2 et 0.4 en fonction des études ou des races (Jacquet P et al., 2022). Ainsi, il est possible de sélectionner les animaux les plus résistants aux SGI. Cela permettrait de réduire la fréquence et l'intensité des infestations. Cependant, des questions sont encore sans réponse concernant l'efficacité et les effets de la sélection en conditions d'élevage sur le long terme. Par exemple, est-ce que la sélection est efficace pour toutes les conduites du troupeau ? Est-ce la sélection d'animaux sur leur immunité entraîne une perte de production ? etc. (Jacquet P et al. 2018). De plus, à ce jour de réels protocoles de sélection facilement applicables par les éleveurs n'existent pas.

3.2. L'alimentation du troupeau pour limiter et lutter contre les infestations

3.2.1. Médecines alternatives et les alicaments

L'homéopathie, la phytothérapie et l'aromathérapie sont des traitements utilisés dans l'alimentation pour lutter contre les SGI. De nombreux traitements sont proposés aux éleveurs mais peu d'études parviennent à démontrer leur efficacité (Hoste et al., 2009). Cependant, des auteurs montrent que l'utilisation d'huiles essentielles dans l'alimentation permet d'inhiber l'éclosion des œufs de strongles (Saha et Lachance 2020), le développement et la vitalité des larves voire de les tuer (Ferreira et al. 2016 ; Helal et al. 2020).

L'utilisation d'aliments peut aussi être un moyen de lutte face aux SGI. Les alicaments sont des aliments dont la composition implique un effet actif sur la santé de l'animal. En élevage, il s'agit généralement de fourrages distribués à l'auge ou consommés au pâturage. Les plantes à tanins condensés (lotier et sainfoin) pourraient diminuer le nombre d'œufs de SGI excrétés par l'animal, altérer l'éclosion des œufs et le développement des larves (Min et Hart 2003). Cependant, les résultats sont variables d'une étude à l'autre et certains auteurs n'ont pas trouvé des résultats significatifs en conditions d'élevage quant à l'effet de ces plantes sur les SGI (Jacquet et al., 2022).

3.2.2. Le pâturage, un levier pour limiter les infestations

Une autre approche pour la maîtrise du parasitisme gastro-intestinal chez les ovins est la gestion du pâturage. En effet, d'après la synthèse effectuée par Jacquet P *et al.* en 2018 certaines pratiques permettraient de réduire la charge parasitaire dans la parcelle et de limiter l'exposition des animaux aux parasites. Par exemple la rotation des parcelles, des temps de séjour courts et de retour sur parcelle longs, la diversification des espèces fourragères et/ou l'utilisation de pâturages mixtes limiteraient les infestations du troupeau. De plus, des études tendent à montrer qu'en fonction des pratiques de pâturage mises en place, la charge en parasites digestifs est influencée par les conditions pédoclimatiques des parcelles (humidité de l'air et du sol, température, ensoleillement, vitesse du vent, pluie ...) et les caractéristiques des végétations (hauteur de l'herbe, densité...)(Avram 2010 ; Krecek et al. 1995).

Cependant, ces alternatives aux traitements chimiques ne sont pas facilement actionnables par les éleveurs. En effet, à ce jour, il y a un réel manque de références sur leur mise en œuvre et leur

efficacité en conditions d'élevage (SCOPELA 2018).

4. Contexte et objectifs du stage

Mon stage est un stage de recherche exploratoire ayant pour but d'améliorer les connaissances sur la gestion du parasitisme par le pâturage. Il provient d'un consensus entre les travaux de recherche de Marion Sautier sur la thématique, la volonté de Sarah Mihout d'accompagner les éleveurs dans leur gestion du parasitisme et de l'alimentation du troupeau et d'une demande des éleveurs du réseau Pâtur'Ajuste. Pour améliorer leur autonomie alimentaire, ces derniers souhaitent faire pâturer au maximum les animaux sur des parcelles constituées de végétations spontanées. Cependant, ces pratiques soulèvent des questions en termes de santé animale car les animaux sont exposés aux parasites gastro-intestinaux des prairies pendant de longues périodes. Les éleveurs cherchent à comprendre comment ajuster la gestion du pâturage pour limiter voire supprimer l'utilisation d'antiparasitaires tout en faisant pâturer le plus possible les animaux.

Etant donné l'état des connaissances sur le sujet, cette compréhension passe par l'acquisition de connaissances sur le développement et la survie des parasites selon les types de parcelles et des pratiques de pâturage mises en place. L'enjeu à long terme est de fournir des informations permettant par exemple, d'évaluer à l'instant t la charge parasitaire d'une parcelle et le risque d'infestation des animaux en fonction des caractéristiques des végétations et des pratiques. Puis d'élargir à une prédiction de la charge parasitaire des parcelles afin d'adapter les pratiques de pâturage pour limiter le risque d'infestation des animaux. Les éleveurs pourront identifier des indicateurs et des leviers d'action pour gérer de façon agroécologique le parasitisme en adaptant les pratiques de pâturage.

Les principaux objectifs du stage sont les suivants :

- Améliorer les connaissances sur l'interaction entre les caractéristiques des parcelles et leur charge parasitaire (caractéristiques étant influencées par les pratiques d'élevage et les conditions climatiques).
- Mettre en place et appliquer un protocole pour évaluer le lien entre charge parasitaire et caractéristiques des parcelles en ajustant les méthodes de prélèvement et d'analyse d'herbe et de fèces existantes.
- Constituer un premier jeu de données pour étudier les corrélations entre charge parasitaire, caractéristiques des parcelles pâturées et pratiques. Ce jeu de données servira de base à des travaux futurs et permettra de formuler des hypothèses sur les chaînes de causalités entre charge parasitaire, caractéristiques des végétations et pratiques des éleveurs
- Proposer un modèle statistique permettant d'évaluer la charge parasitaire d'une parcelle et de caractériser le niveau de risque d'infestation en fonction des caractéristiques des végétations et d'utilisation des parcelles.

5. Problématique

Pour répondre aux objectifs énoncés ci-dessus, la problématique identifiée est la suivante : **Comment évaluer en conditions d'élevage, la charge en larves infestantes de strongles gastro-intestinaux et le risque d'infestation du troupeau en fonction des caractéristiques des végétations et des pratiques mises en place par l'éleveur ?**

II – REVUE BIBLIOGRAPHIQUE : LES STRONGLES GASTRO-INTESTINAUX EN ELEVAGE OVIN ET DYNAMIQUE D'INFESTATION DES PARCELLES

Afin de répondre à la problématique et de faire évoluer les connaissances sur les interactions entre les parcelles pâturées, les SGI et les pratiques, il faut comprendre comment se développent et survivent les SGI sur les parcelles. Cette revue bibliographique permet de faire un état des lieux des connaissances. Nous pourrions ensuite sélectionner des paramètres pertinents à recueillir et à analyser pour proposer un modèle statistique d'estimation de la charge parasitaire et pour émettre des hypothèses sur l'impact des pratiques et des végétations sur la charge en SGI des parcelles.

1. Les strongles gastro-intestinaux en élevage ovin

1.1. Une diversité d'espèces

Il existe une diversité d'espèces parasites du tractus gastro-intestinal des ovins. On retrouve les nématodes (SGI), les cestodes (vers plats), les trématodes (douve) et des protozoaires de type *Cryptosporidium spp* (Cabaret 2004). Ces espèces se distinguent les unes des autres par leur cycle de développement, leur prolificité, l'hôte et l'organe ciblés ou leur pathogénicité (Cabaret 2004).

Au cours de ce mémoire, nous nous focaliserons sur les SGI. Ces parasites sont des vers ingérés lors du pâturage qui se développent dans la caillette ou dans les intestins des ruminants (hôte définitif). Les trois espèces les plus présentes chez les ovins sont *Haemonchus contortus*, *Teladorsagia circumcincta* et *Trichostrongylus colubriformis* (O'Connor et al., 2006). *H. contortus* est l'espèce la plus pathogène dû à sa forte fécondité (Abbott et Taylor 2012 ; Dilrukshi Herath, Taki, et al 2021) et sa capacité à s'adapter à son environnement (O'Connor et al. 2006). Cependant, les deux autres espèces engendrent également de fortes pertes économiques liées à une diminution de la production. (Mavrot, Hertzberg, et Torgerson 2015).

1.2. Des cycles de développement communs impactés par les conditions environnementales

Le cycle biologique des SGI (fig.1) se décompose en deux phases : une phase interne dans l'organisme de l'animal et une phase externe. (Veglia s. d.).

Les œufs sont excrétés dans les fèces de l'animal. C'est au sein des fèces qu'ils vont se développer jusqu'à atteindre le stade de larve infestante L3 (Besier et al. 2016). Trois stades larvaires interviennent pendant le développement des SGI à l'extérieur de l'animal : le stade L1, L2 et L3. Les deux premiers stades peuvent se diviser en 2 phases : une phase active et une phase léthargique (F. Veglia. n. d.).

Après éclosion de l'œuf, la phase active de la larve L1 lui permet de se nourrir des nutriments présents dans les fèces. Après quelques heures, la larve entre dans un état léthargique pour continuer son développement. Cette phase est levée par la mue de la larve L1 en larve L2. De la même façon que la larve L1, la larve L2 entre en dormance après une phase active d'alimentation. Enfin, dans des conditions humides et chaudes, la larve L2 effectue une mue partielle en L3. (F. Veglia, n. d.). Cette mue partielle permet aux L3 de conserver la cuticule des larves L2, leur conférant une protection. Cependant, la cuticule des L3 ne leur permet pas de s'alimenter. Si elles ne sont pas ingérées par des animaux avant d'avoir épuisé leurs réserves personnelles elles meurent. (Abbott et Taylor 2012). Les larves L3 vont ensuite sortir des fèces et migrer sur le couvert végétal bas où elles pourront être ingérées par les animaux au pâturage (Veglia s. d.). Dans des conditions de développement optimales, le développement des œufs en stade larvaire L3 s'effectue en 4 à 5 jours après excrétion (Abbott et

II - Revue bibliographique : les strongles gastro-intestinaux en élevage ovin et dynamique d'infestation des parcelles
Taylor 2012).

Après ingestion des larves L3 par les animaux, elles vont se développer en larve adulte L4 en 15 à 30 jours et se reproduire au sein de la caillette ou des intestins de l'animal. (Abbott et Taylor 2012)

La durée totale du cycle peut varier de quelques semaines à plusieurs mois en fonction des conditions du milieu extérieur et des espèces. (Veglia s. d.).

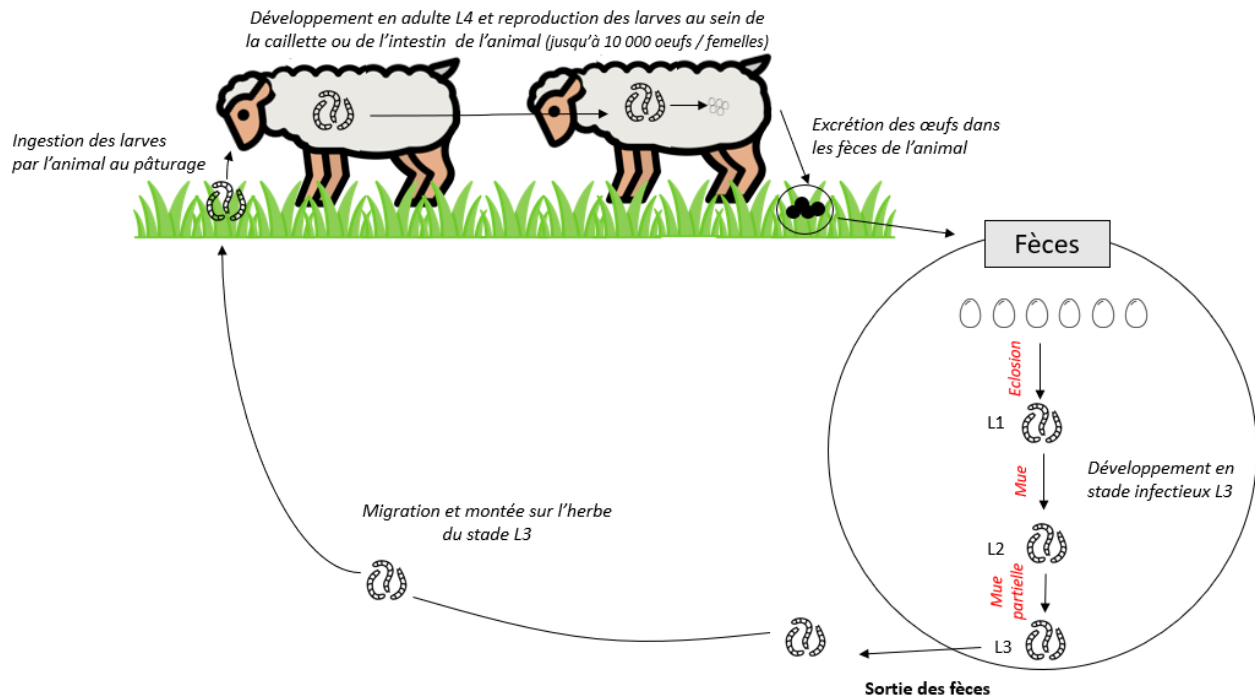


Figure 1: Cycle biologique des parasites gastro-intestinaux (Abbott & Taylor, 2012 ; Besier et al., 2016)

2. Des conditions de température et d'humidité modulant les cycles des strongles gastro-intestinaux

Les conditions optimales et limites de développement et de survie des SGI sont variables d'une espèce à l'autre et modifient la durée du cycle (Abbott et Taylor 2012). Pour chaque espèce, la survie et le développement des œufs en larves infestantes sont permis par un intervalle de température et d'humidité des fèces et de l'herbe (Besier et al. 2016).

Dans cette partie, nous nous focaliserons sur *H. contortus*, l'espèce de SGI la plus pathogène en ovin, pour comprendre comment les conditions du milieu impactent le développement des SGI. Cela nous permettra de sélectionner des indicateurs pertinents pour évaluer la charge parasitaire des parcelles.

2.1. Descriptif du parasite et impact en élevage ovin

H. contortus est un nématode se nourrissant du sang de son hôte (Besier et al. 2016). Sa forte fécondité lui confère un pouvoir pathogène important. En effet, *H. contortus* peut produire entre 1300 à 10 000 œufs / femelle / jour. (Abbott et Taylor 2012 ; Dilrukshi Herath et al. 2021). De plus, il est capable d'entrer en hypobiose (arrêt momentané du développement) au sein de son hôte et de reprendre son développement lorsque les conditions extérieures sont favorables à sa survie (Abbott et Taylor 2012). Cette capacité adaptative lui permet de survivre plus longtemps à l'intérieur de l'animal et de produire

des œufs qui seront excrétés quand le milieu extérieur est favorable à leur développement.

H. contortus est un parasite ayant été très souvent observé dans des régions tropicales. Cependant, son haut niveau de polymorphisme génétique lui permet de se développer dans tous types de milieu (Besier et al. 2016). On le retrouve maintenant dans un très large panel d'environnement et de climat, notamment en Europe (Besier et al. 2016).

En élevage ovin, l'occurrence et la mortalité rapide qu'il engendre en cas d'infestation, fait de *H. contortus* l'une des espèces de strongles digestifs engendrant une forte perte économique (Besier et al. 2016).

En termes de santé animale, l'apparition des signes cliniques d'une infestation par *H. contortus* est dépendante de l'intensité de l'infestation (Besier et al. 2016). Cependant, le symptôme le plus prédominant est une anémie dû au caractère hématophage du parasite. A long terme, cette anémie entraîne une diminution de la production de lait, de la croissance des agneaux, du rendement carcasse et peut conduire à la mort de l'individu (Naeem, Iqbal, et Roohi 2021).

2.2. Conditions de développement et de survie de *H. contortus*

Dans cette partie nous nous intéresserons aux conditions optimales et limites de développement et de survie de *H. contortus* aux trois moments du cycle de développement qui conditionnent le nombre de L3 sur la parcelle.

2.2.1. Survie des œufs

Les œufs de *H. contortus* sont de forme ovale et mesurent en moyenne 70 µm x 45 µm (Veglia s. d.). La revue bibliographique de Besier *et al.* en 2016 montre qu'en conditions de laboratoire, les embryons contenus dans les œufs peuvent survivre jusqu'à 2 mois dans les fèces lorsque les températures sont comprises entre 0 et 4°C. Il montre aussi que des températures inférieures à 0°C entraînent leur mortalité. De plus, les œufs ont besoin d'un environnement humide pour survivre car ils sont sensibles à la dessiccation : à 20°C, une humidité à l'intérieur des fèces inférieure à 88% est responsable de la mort des œufs (Besier et al. 2016).

Dans des conditions de laboratoire, l'exposition directe au UV entraîne une mortalité totale des œufs (Levine et Todd 1975).

2.2.2. Développement des œufs en larves infestantes

Les températures optimales de développement des embryons contenus dans les œufs sont comprises entre 10°C et 36°C (Bordes 2022 ; Zajac 2006). La durée de développement des œufs en larves infestantes est conditionnée par la température. En effet, une augmentation de la température dans l'intervalle de températures optimales diminue la durée du développement en larves infestantes (Besier et al. 2016). A 10°C, 2 à 4 semaines peuvent s'écouler avant l'éclosion des œufs (Besier et al. 2016). Entre 35°C et 37°C, le développement dure en moyenne 3 jours (Besier et al. 2016 ; Veglia s. d.). Pour des températures inférieures à 8°C et supérieures à 40°C peu ou pas d'œufs se développent en larves infestantes (Besier et al. 2016 ; Veglia s. d.). L'ensemble des données ci-dessus ont été obtenues en conditions de laboratoire.

II - Revue bibliographique : les strongles gastro-intestinaux en élevage ovin et dynamique d'infestation des parcelles

Les informations présentées dans les deux points ci-dessus sont récapitulées dans la Figure 2, la Figure 3 et la Figure 4.

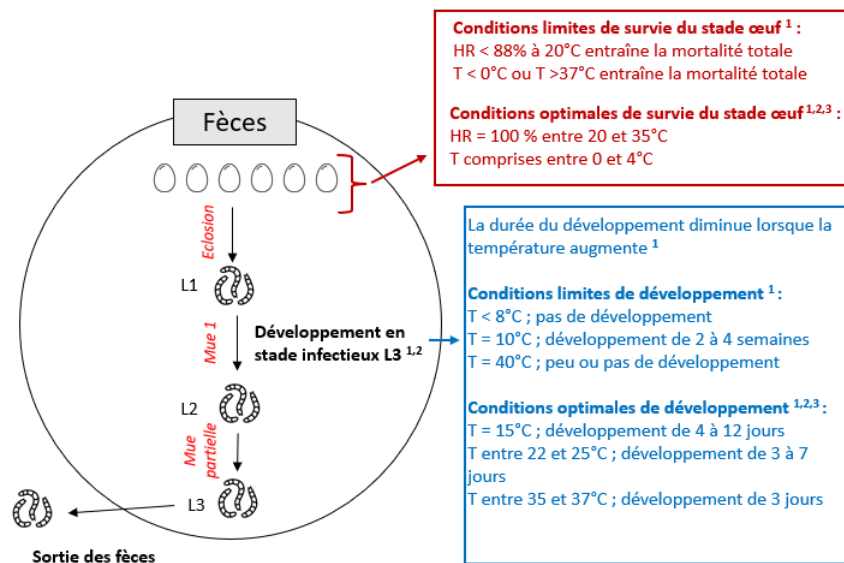
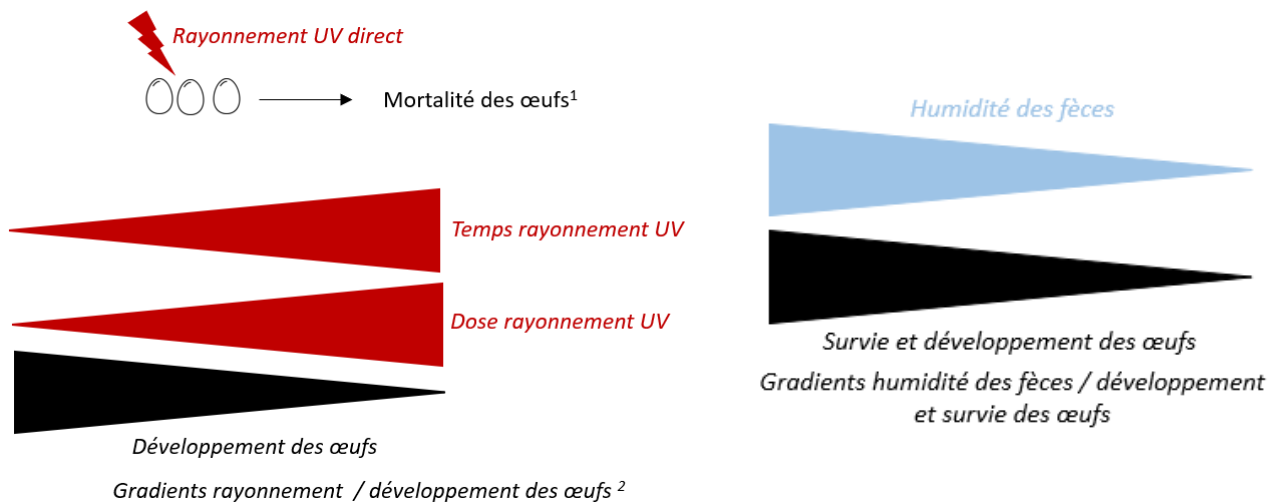


Figure 2: Conditions de température et d'humidité pour le développement et la survie des œufs de *H. contortus* (1. (Besier et al., 2016), 2. (Bordes, 2022), 3. (Veglia, s. d.)). HR = humidité relative de l'air et T= température



2.2.3. Survie et montée sur l'herbe des larves infestantes

Pour des températures sous couvert comprises entre 5 et 10°C, les larves infestantes (L3) de *H. contortus* peuvent survivre des mois dans le milieu extérieur (Besier et al. 2016). Cependant, la montée des larves sur l'herbe est réduite lorsque les températures sous couvert sont inférieures à 15°C ou supérieures à 40°C (Singhal et al. 1981 ; Singhal, Agrawal, et Varshney 1983). Dans ces gammes de températures, le risque de contamination du troupeau est plus limité car les larves ne se trouvent pas sur l'herbe mais au niveau du sol. Enfin, l'espérance de vie des larves infestantes est réduite à quelques jours lorsque les températures sont inférieures à 0°C ou supérieures à 40°C.

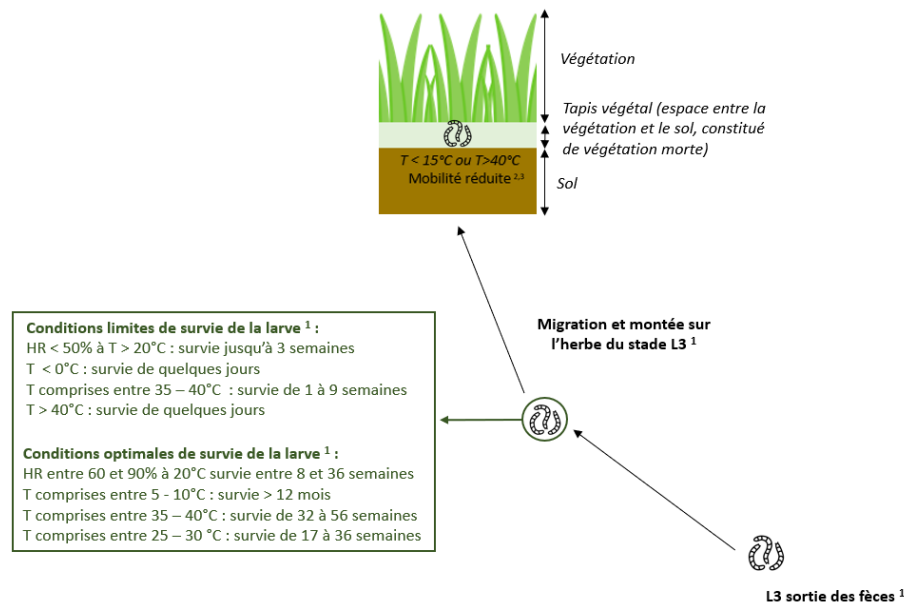


Figure 5: Conditions de température et d'humidité pour la survie et la montée sur l'herbe des larves infestantes de *H. contortus* (1. (Besier et al., 2016), 2. (Singhal et al., 1981), 3. (Krecek et al., 1995))

Les connaissances ci-dessus mettent en avant le rôle du microclimat de la strate herbacée sur le développement et la survie de *H. contortus* et plus largement des SGI. Dans le cadre de notre étude, il faudra intégrer des mesures de températures, d'humidité, d'ensoleillement au sein du couvert pour évaluer la charge en SGI des parcelles. La vitesse du vent pourra aussi être intégrée dans les mesures. En effet, il semble que le nombre de L3 sur l'herbe diminue lorsque la vitesse du vent augmente (Krecek, Groeneveld, et Maritz 1992). Tous ces paramètres sont modulés par les caractéristiques des végétations et les pratiques mises en place par l'éleveur (Galliot et Hulien 2020).

3. Evolution de l'infestation des parcelles par les strongles gastro-intestinaux

Pour comprendre l'impact des SGI sur le troupeau et évaluer l'intensité de l'infestation, on s'intéresse à la cinétique d'infestation des parcelles par les SGI. Celle-ci est modulée par le climat, les caractéristiques des végétations, les pratiques et par le potentiel excréteur des animaux.

3.1. Dynamique d'infestation des parcelles par les strongles gastro-intestinaux

La dynamique typique de l'infestation des parcelles par les L3 de SGI est représentée dans la Figure 6.

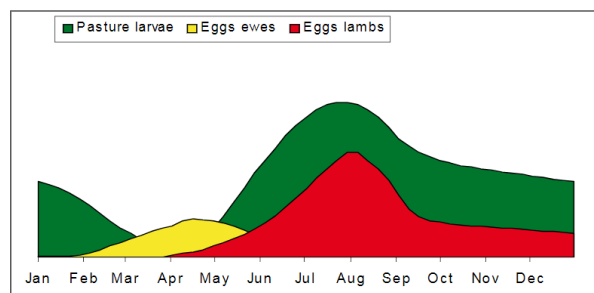


Figure 6: Dynamique de l'infestation des parcelles par les SGI (Abbott & Taylor, 2012)

II - Revue bibliographique : les strongles gastro-intestinaux en élevage ovin et dynamique d'infestation des parcelles

D'autres auteurs ont montré des dynamiques d'infestation des parcelles similaires à la figure 6. C'est le cas de H. Crofton en 1948 qui a évalué les fluctuations des effectifs de L3 de trichostrongles en fonction du temps en Angleterre. Il a montré que le nombre de L3 par kg d'herbe augmente fortement de juin à septembre-octobre et diminue jusqu'à décembre. Dans l'étude, les températures moyennes de juin à octobre étaient comprises entre 8 et 11°C. A Foix, en Ariège ces températures sont atteintes à la mi-printemps et à l'automne (Weatherspark s. d.). On peut ainsi penser que ces périodes sont les plus favorables au développement des SGI dans les parcelles. Des œufs de SGI déposés à ces périodes se développeront rapidement en L3.

Le paragraphe précédent montre que les effectifs de L3 ne sont pas homogènes au court du temps et dépendent des conditions de température. Il faut prendre en compte que les graphiques obtenus lors des deux études sont issus de pratiques de pâturage propres à l'élevage suivi. Ils ne sont donc pas génériques et applicables avec tous types de pratiques. Nous pouvons cependant supposer que si des œufs de SGI ont été déposés sur les parcelles à la mi-printemps et que les taux d'humidité ont été suffisants, nous retrouverons des larves L3 sur les parcelles pendant l'été (période de terrain de mon stage).

3.2. Effets des caractéristiques des végétations sur la dynamique d'infestation des parcelles par les strongles gastro-intestinaux

Evaluer les interactions entre les caractéristiques des végétations et la dynamique d'infestation des parcelles par les SGI est une tâche complexe. En effet, de nombreuses variables sont à considérer. D'un point de vue des végétations, une parcelle est caractérisée par les espèces la constituant, la hauteur de la végétation, la maturité, la phénologie et la densité du couvert (SCOPELA 2022). Ces caractéristiques sont modulées par les conditions climatiques et les attributs topo-morphologiques de la parcelle tels que le type de sol, l'exposition de la parcelle, le relief, la présence d'ombrage ou le type de milieu (prairie humide, bois, landes, pré de fauche etc...)(Galliot et Hulien 2020). Les pratiques de pâturage et de gestion des parcelles modulent également les caractéristiques des végétations (SCOPELA 2018).

Ces caractéristiques peuvent influencer le développement et la survie des SGI. En effet, les végétations peuvent créer un microclimat plus ou moins favorable aux parasites. Par exemple, un couvert dense peut permettre une protection contre les chaleurs trop importantes, un maintien de l'humidité au niveau de la strate herbacée, une protection contre les UV (Avram 2010). De plus, certaines espèces végétales pourraient favoriser la survie de certains parasites (Bath 2014). Par exemple, en Afrique du Sud, l'herbe Kikuyu produit un tapis végétal dense qui limite la dessiccation du sol et favorise donc la survie des L3 (Bath 2014). Mais ce point ne fait pas encore consensus et la majorité des expérimentations a été effectuée soit en laboratoire, soit avec des espèces végétales qui ne sont pas présentes en Europe (Carneiro et Amarante 2008).

Les paragraphes ci-dessus mettent en avant que les L3 de SGI sont sensibles à la température et l'humidité du couvert et que les caractéristiques des parcelles ont un effet sur ces conditions. Ainsi, il semble pertinent pour notre étude de relever les caractéristiques topo-morphologiques des parcelles, des paramètres intrinsèques à la végétation (hauteur de végétation, phénologie du couvert etc...) et les conditions microclimatiques.

3.3. Effets des pratiques sur la charge parasitaire des parcelles, les végétations et l'estimation du risque d'infestation du troupeau

La charge en SGI dépend de la mortalité, de la survie des L3 et des œufs déposés sur la parcelle ayant

II - Revue bibliographique : les strongles gastro-intestinaux en élevage ovin et dynamique d'infestation des parcelles

terminé leur développement. Les œufs se trouvant dans les fèces des animaux, la charge en SGI dépend de l'accumulation de fèces dans les parcelles (Gruner et al. 1983), de leur dégradation dans le temps et de la capacité des animaux à excréter des œufs. L'accumulation de fèces dans une parcelle est corrélée au nombre d'animaux pâturant et à la durée du pâturage (Gruner et al. 1983). Pour la capacité des animaux à excréter des œufs, la revue bibliographique de Greer & Hamie, 2016 montre que le stade physiologique impacte le pouvoir excréteur des brebis. Par exemple, autour de la mise bas, le nombre d'œufs par gramme de fèces excrétés par les brebis infestées par les SGI augmente. Ainsi, des parcelles pâturées par des brebis autour de la mise bas sont propices à des charges parasitaires élevées. De plus, le pouvoir excréteur est également lié à l'utilisation de traitements chimiques ou non contre les SGI. En effet le nombre d'œufs excrétés après un traitement diminue (Chroust 1997). Par ailleurs, pour caractériser l'état sanitaire initial de la parcelle, on peut réaliser des coproscopies pour compter les œufs par gramme de fèces que peuvent excréter les animaux.

Les pratiques de pâturage jouent aussi un rôle dans l'évolution des caractéristiques végétales (SCOPELA 2018) et peuvent par conséquent impacter la charge en parasites gastro-intestinaux des parcelles. Les choix de fréquence, d'intensité et de durée du pâturage influencent la composition floristique de la parcelle, la structure végétale et la qualité nutritive. Par exemple, un pâturage continu et long sur une même parcelle peut entraîner une réduction de la diversité végétale, favorisant certaines espèces avec une faible hauteur de végétation. Or les SGI se situent en majorité dans les 5 premiers centimètres de végétation (Avram 2010) donc des végétations à faible hauteur augmentent le risque d'infestation du troupeau. Ainsi, pour estimer ce risque, il est nécessaire de prendre en compte ce type de pratique qui expose davantage les animaux aux parasites (Bath 2014). De plus, d'autres pratiques peuvent être mises en place pour limiter l'infestation des parcelles et diminuer le risque d'infestation du troupeau. Par exemple, certaines études s'intéressent à l'impact du pâturage tournant ou du pâturage mixte sur la charge parasitaire des parcelles pour limiter les infestations des animaux (Sagot s. d.). Ces pratiques permettraient de rompre le cycle parasitaire en laissant un temps de repos à la parcelle et en bloquant l'accès aux animaux hôtes (Sagot s. d.).

Ainsi, les paragraphes ci-dessus montrent que les pratiques peuvent influencer la charge parasitaire des parcelles. Pour notre étude il semble pertinent de récolter des informations concernant les pratiques de pâturage et de gestion du parasitisme mises en place par l'éleveur. Ces informations s'intégreront au modèle pour estimer la charge parasitaire des parcelles.

Cette revue bibliographique nous a permis d'identifier des informations qui semblent pertinentes à relever pour notre étude. Ces informations sont synthétisées dans le schéma ci-dessous :

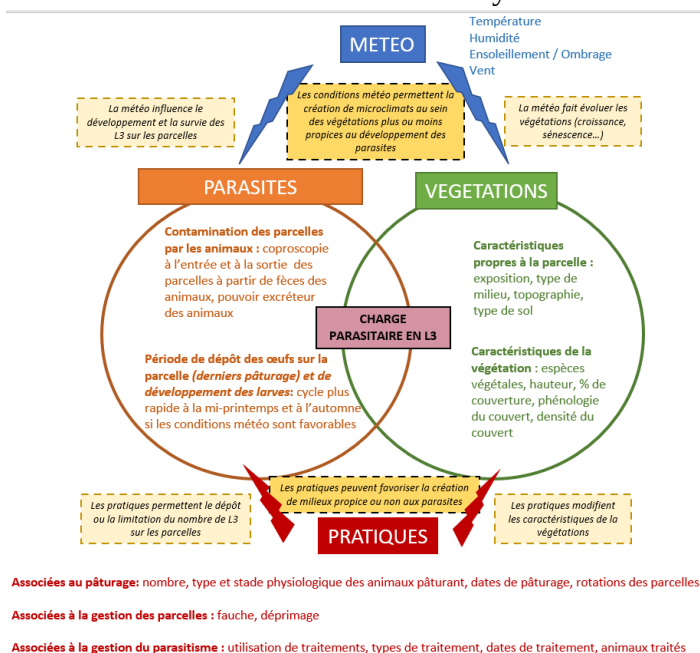


Figure 7: Schéma bilan des informations à relever pour la réalisation de l'étude

III - Matériel et méthodes

Cette partie présente la méthode mise en place dans le cadre de mon projet de fin d'études pour étudier la charge parasitaire des parcelles et répondre à la problématique énoncée en fin d'introduction.

Les études sur le terrain contribuent à caractériser les interactions entre pratiques de pâturage, caractéristiques des végétations et charge parasitaire des parcelles en conditions d'élevage. A ce jour, peu d'études s'intéressent à ces interactions en conditions réelles, la plupart des études étant réalisées en conditions contrôlées de laboratoire. En ce sens, notre étude est une étude novatrice qui grâce à la méthode présentée ci-dessous permettra dans un premier temps d'évaluer et d'émettre des hypothèses sur les interactions entre pratiques, végétations et charge parasitaire. Sur le long terme, les résultats obtenus en conditions réelles et ceux obtenus en conditions contrôlées de laboratoire pourront être confrontés. Cela permettrait d'ajuster les conditions de survie et de développement des L3 de SGI pour correspondre aux conditions réelles des parcelles. Cela contribuera également à prendre en compte la complexité de la réalité des fermes pour permettre une meilleure mise en pratique des leviers existants sur la gestion du risque parasitaire au pâturage.

III - MATERIEL ET METHODES

La méthode repose sur une estimation de la charge parasitaire à partir de prélèvements d'herbe sur une parcelle, d'une caractérisation de la végétation, d'un recueil des pratiques auprès d'éleveurs et de coproscopies à partir de prélèvements de fèces. Pour la tester, l'affiner et la mettre en œuvre, nous avons sélectionné des éleveurs acceptant de nous donner un accès aux parcelles pour réaliser des prélèvements d'herbe et de nous aider dans le bon déroulement du projet.

1. Échantillonnage des élevages et des zones de prélèvement d'herbe

1.1. Enquêtes pour la sélection des élevages supports

1.1.1. Critères de sélection des éleveurs enquêtés

L'objectif des enquêtes auprès d'éleveurs est de sélectionner des fermes dans lesquelles nous pouvons effectuer les prélèvements d'herbe sur des zones différentes en termes de végétations et de pratiques. Pour participer au projet, les fermes doivent répondre aux critères ci-dessous :

- L'éleveur est adhérent au réseau Pâtur'Ajuste
Cela permet d'avoir une connaissance initiale des éleveurs et de répondre aux objectifs de SCOPELA : améliorer les capacités de la SCOP à accompagner les éleveurs du réseau sur la question du parasitisme. De plus, ces éleveurs font pâturer les animaux sur des végétations spontanées, sont intéressés par la recherche d'alternatives aux antiparasitaires et s'interrogent sur leurs pratiques de pâturage.
- Type d'élevage : être en élevage ovin viande ou ovin lait.
Le projet s'articule autour du parasitisme en élevage ovin.
- Localisation : être localisé à maximum 2 heures de route du laboratoire situé à Toulouse.
Plusieurs phases de terrain se déroulent de juillet à septembre 2023, il est nécessaire que les élevages supports soient proches du centre INRAE de Toulouse.
- Parcellaire : avoir un parcellaire diversifié en termes de végétation, microclimat et pratiques.
L'un des objectifs de mon stage est de formuler des hypothèses sur l'impact des végétations et des pratiques sur la charge parasitaire des parcelles. Pour ce faire, on s'intéresse à un panel de milieux différents. Des parcelles conduites de la même façon mais avec un faciès de végétation différent nous permettrons d'émettre des hypothèses

sur l'impact du faciès sur la charge parasitaire. A l'inverse, nous formulerons des hypothèses sur l'impact des pratiques sur la charge en L3 de SGI avec des végétations similaires mais des pratiques différentes. Enfin, avec des microclimats différents nous pourrions essayer de comprendre comment ils influencent les végétations et la charge parasitaire.

- Antécédents parasitaires et pâturage : avoir eu des infestations par des SGI dans l'année et des animaux ayant pâture différents types de parcelles pendant l'hiver ou au début printemps.
Pour évaluer l'impact des végétations et des pratiques sur la charge parasitaire il faut s'assurer de la présence de SGI sur les parcelles. Pour cela il est nécessaire que des animaux contaminés aient excrété des œufs sur les parcelles. De plus, selon la revue bibliographique effectuée précédemment nous savons que l'une des périodes favorables pour le développement des SGI est le printemps. Ainsi, et sachant que les L3 de SGI peuvent survivre plusieurs mois sur les parcelles (O'Connor et al. 2006) : un dernier pâturage à l'hiver ou début printemps, nous assure de la présence de L3 sur les parcelles si les animaux étaient contaminés.
- Historique des pratiques ayant eu lieu sur les parcelles : l'éleveur possède un historique des pratiques et est d'accord pour le partager.
Nous cherchons à avoir accès à l'historique des pratiques pour voir comment les pratiques modifient les faciès de végétations et impactent la charge parasitaire. Par exemple on peut supposer qu'un long pâturage par des ovins a modifié les caractéristiques des végétations (herbe rase, diminution de la diversité floristique...) et a favorisé le dépôt d'œufs de nématodes gastro-intestinaux sur la parcelle. On peut s'attendre à obtenir un nombre élevé de L3 sur ces zones.
- Motivation et disponibilité : l'éleveur est motivé pour nous aider et est disponible pendant l'été 2023 pour réaliser une visite de ferme, nous aider dans la sélection des zones de prélèvement, nous envoyer des échantillons de fèces et nous laisser accéder à ses parcelles.
Les périodes de prélèvements ont lieu pendant l'été 2023, il est nécessaire que les éleveurs sélectionnés soient disponibles pendant cette période.

1.1.2. Objectifs des enquêtes auprès d'éleveurs

En fonction des disponibilités et de la motivation des éleveurs à participer au projet, j'ai enquêté 5 éleveurs sur une quinzaine (localisés dans la zone d'étude) contactés initialement par ma maître de stage Sarah Mihout pour introduire l'étude. Il s'agit d'enquêtes semi-directives effectuées au téléphone ou par visioconférence. Le guide d'enquête utilisé est présent en annexe (Annexe 1). Les objectifs visés par ces enquêtes sont présentés dans le Tableau 1.

Tableau 1: Objectifs et critères vérifiés lors des enquêtes auprès des éleveurs

Objectif visé	Critère vérifié (cf. partie 1.1.1)
Comprendre rapidement le fonctionnement de la ferme et le positionnement de l'éleveur par rapport au parasitisme	- Type d'élevage - Localisation - Motivation et disponibilité
Savoir si le parcellaire de la ferme est diversifié	- Parcellaire
Connaître les antécédents parasitaires et les dates de pâturage	- Antécédents parasitaires et pâturage
Savoir si l'historique des pratiques est disponible	- Historique des pratiques ayant eu lieu sur les parcelles

1.1.3. Analyse des enquêtes et sélection de deux fermes expérimentales

❖ Analyse des enquêtes

A l'issue de chaque enquête, j'ai rempli la grille d'analyse présente en annexe (Annexe 2) et j'ai dressé des tableaux bilans tels que le Tableau 2 pour chaque éleveur afin de les comparer.

Tableau 2: Bilan d'enquête auprès d'un éleveur

BILAN			
Distance			
Type d'élevage		Présence d'équins	
Infestation récente			
Parcellaire diversifié avec zone humide			
Pâturage début printemps / fin hiver			
Disponibilité	A indiquer pouvoir se libérer de temps en temps		
Calendrier de pâturage		Pas à jour	
Historique des pratiques + antécédent vétérinaires			
Motivation			

Etant donné le temps et les ressources humaines disponibles pour les prélèvements et les analyses, nous nous sommes limités à deux fermes supports. Les éleveurs sélectionnés sont ceux qui répondent le mieux à nos critères d'échantillonnage. Par exemple, certains éleveurs rentraient dans la plupart de nos critères mais il était difficile d'avoir un accès aux parcelles pendant notre période de travail.

❖ Fermes supports sélectionnées

Par soucis d'anonymat, le nom des éleveurs sélectionnés a été modifié.

- La ferme de Paul

Paul est éleveur d'ovins de race tarasconnaise. Il gère son exploitation avec sa femme en Ariège. L'un de ses objectifs est de limiter l'utilisation d'intrants et de favoriser au maximum une alimentation au pâturage. Il fait partie du réseau Pâtur'Ajuste et est très investi dans l'exploration d'approches alternatives aux antiparasitaires chimiques pour lutter contre les parasites gastro-intestinaux.

Concernant nos critères de sélection, l'élevage de Paul répond à tous les critères :

- Paul fait partie du réseau Pâtur'Ajuste et élève des ovins à proximité du centre INRAE de Toulouse.
- Parcellaire : Les parcelles de Paul sont diversifiées. Il possède des prairies en bords de rivière, des prairies avec un sol séchant, des zones à forte et faible pente, des prés de fauche et des prairies exclusivement pâturées, des prairies irriguées et non irriguées et des prairies situées à différentes altitudes. Les parcelles sont orientées au sud.
- Antécédents parasitaires et pâturage : Paul a rencontré une infestation de ses brebis par des SGI en mai 2023 diagnostiquée grâce à la méthode FAMACHA®. Cela s'est traduit par une dégradation de l'état de santé des animaux. Les derniers pâturages ont eu lieu au printemps.
- Historique des pratiques ayant eu lieu sur les parcelles : Paul peut nous fournir l'historique des pratiques de pâturage et de gestion des parcelles. Cela correspond aux dates de passage des animaux sur les parcelles et les effectifs, les dates des traitements antiparasitaires, les dates de fauches etc... Il a l'habitude de noter ces informations pour son usage personnel.
- Motivation et disponibilité : Paul est très motivé pour participer au projet car il s'intéresse aux leviers alternatifs aux antiparasitaires chimiques. Pour lui, obtenir des informations

concernant les liens entre caractéristiques des végétations, pratiques et charge parasitaire est essentiel pour mettre en place des leviers de gestion du risque parasitaire au pâturage efficaces. De plus, il est disponible pour nous accompagner tout au long du projet.

❖ *La ferme de Steven*

Steven est éleveur d'ovins de race basco béarnaise en Ariège. Son objectif principal est de faire reposer l'alimentation du troupeau sur l'herbe. Steven vise l'autonomie de sa ferme, il est aujourd'hui autonome en fourrage mais pas totalement en céréales. Dans cette recherche d'autonomie il souhaite limiter l'utilisation d'intrants et par extension d'antiparasitaires chimiques. Pour cela il s'intéresse aux leviers alternatifs existants afin de réduire les infestations des animaux par les SGI.

Concernant nos critères de sélection :

- Steven fait partie du réseau Pâtur'Ajuste et élève des ovins à proximité du centre INRAE de Toulouse.
- Parcellaire : Les parcelles de Steven sont diversifiées. Il possède des prairies humides (présence d'une source naturelle), des prairies plus sèches, des prés de fauche et des prairies exclusivement pâturées, des zones boisées, des prairies d'altitudes différentes et des zones à faible et forte pente. Contrairement à Paul, ses parcelles sont orientées au nord.
- Antécédents parasitaires et pâturage : Steven a suspecté une infestation par des SGI à l'automne 2022. Il observé un déclin de l'état de santé de certains animaux et il a traité au cas par cas les animaux malades. Les animaux ont pâturé les parcelles au printemps.
- Historique des pratiques ayant eu lieu sur les parcelles : Steven peut nous fournir les dates de passage des animaux sur les parcelles et les effectifs, les dates des traitements antiparasitaires, les dates de fauches etc... Il a l'habitude de noter ces informations pour son usage personnel.
- Motivation et disponibilité : Steven estime qu'il est nécessaire d'aider la recherche pour comprendre les liens entre les caractéristiques des végétations, les pratiques et la charge parasitaire. Il s'intéresse à l'évolution des connaissances sur le parasitisme en élevage. Il est d'accord pour nous laisser un accès à ses parcelles et participer au projet.

1.2. **Enquêtes auprès des fermes sélectionnées pour le choix des zones de prélèvement**

1.2.1. Objectifs pour la sélection des zones de prélèvement

Une fois les fermes supports sélectionnées, nous avons déterminé les zones de prélèvement. Selon le critère « parcellaire » présenté dans la partie III-1.1.1, les zones de prélèvement doivent-être diversifiées en termes de végétation et de pratiques.

La sélection des zones repose sur l'analyse du calendrier de pâturage, d'une visite de ferme d'une demi-journée et d'une discussion avec l'éleveur pour faire une caractérisation rapide des parcelles.

Les zones de prélèvement sont classées en fonction de différents objectifs :

- Objectif 1 : comprendre quel est l'effet des caractéristiques des végétations sur la charge parasitaire.
Nous souhaitons formuler des hypothèses sur l'impact des végétations sur la charge parasitaire.
- Objectif 2 : comprendre l'effet des pratiques de gestion du pâturage sur la charge parasitaire.
Le but est de formuler des hypothèses sur l'effet des différentes pratiques (nombre de jours de pâturage, des espèces et du nombre d'animaux au pâturage, du stade physiologique des animaux, des temps de retours sur parcelle...) sur la charge parasitaire.

III - Matériel et méthodes

- Objectif 3 : comprendre quel est l'effet des pratiques de gestion des parcelles sur la charge parasitaire.

Le but est d'émettre des hypothèses sur l'impact de certaines pratiques comme la fauche ou le déprimage sur la charge parasitaire.

1.2.2. Les zones de prélèvement sélectionnées

Le tableau ci-dessous récapitule les zones sélectionnées dans les différents élevages avec les objectifs associés.

Tableau 3: Zones de prélèvement sélectionnées en fonction des objectifs

Objectif visé	Zones de prélèvement sélectionnées
Comprendre l'impact du milieu et des caractéristiques des végétations sur la charge parasitaire	- Sélection de zones avec des faciès de végétation et/ou un état de la végétation différents sur une même parcelle où les pratiques sont les mêmes - Sélection de zones sur les mêmes parcelles conduites de la même façon mais avec des types de milieux différents (par exemple : zones humides et zones plus sèches)
Comprendre l'impact des pratiques de pâturage sur la charge parasitaire	- Sélection de zones fortement fréquentées par les ovins selon l'éleveur (zones de couchage ou zones avec un pâturage plus long) et de zones moins fréquentées
Comprendre l'impact des pratiques de gestion des parcelles sur la charge parasitaire	- Sélection de zones de fauche et de zones exclusivement pâturées

2. Méthode expérimentale

2.1. Sélection des variables à relever sur le terrain

La revue de la littérature m'a permis d'identifier plusieurs paramètres pouvant impacter les végétations et la charge en L3 de SGI. Ces paramètres doivent être pris en compte afin de proposer un modèle statistique d'estimation de la charge en L3 des parcelles en fonction des caractéristiques des végétations et des pratiques.

Ainsi, je fais l'hypothèse que l'ensemble des variables ci-dessous et leurs interactions expliquent le nombre de L3 par kg de matière sèche sur les parcelles.

Le Tableau 4 présente les variables caractérisant les parcelles et la végétation. Le Tableau 5, les variables associées aux pratiques. Le Tableau 6, celles en lien avec l'état sanitaire du troupeau et Tableau 7 présente les variables liées au microclimat de la strate herbacée.

Tableau 4: Variables associées aux caractéristiques des parcelles et des végétations

Nom de la variable	Hypothèses associées
Type de milieu (Qualitatif)	Pour les types de milieu, on retrouve des prairies, des prairies de montagne, des zones humides, des bois, des landes etc... <u>Hypothèse</u> : le type de milieu peut influencer le type de végétation présent sur la parcelle et par extension le nombre de L3.
Relief (Qualitatif)	<u>Hypothèse</u> : le relief d'une parcelle peut impacter l'humidité, la fertilité et la structure des sols. Cela influence le type de végétation présent sur la parcelle et par extension le nombre de L3.
Altitude (Classe)	<u>Hypothèse</u> : l'altitude conditionne la température et l'humidité de l'air de la parcelle. Cela peut influencer la végétation et par extension le nombre de L3 sur les parcelles.
Exposition (Qualitatif)	L'exposition renvoie à la position de la parcelle par rapport au soleil <u>Hypothèse</u> : l'exposition au soleil peut modifier le microclimat au sein de la strate herbacée et donc favoriser ou non le développement et la survie des L3. Par exemple une exposition sud en été peut créer un microclimat chaud et sec non favorable aux L3.
Ombrage (Qualitatif)	<u>Hypothèse</u> : la présence d'ombre sur une parcelle peut maintenir une certaine humidité au niveau du sol favorisant le développement et la survie des L3. Inversement l'absence d'ombre peut expliquer un faible nombre de L3 car le sol est plus sec et les L3 sont exposées aux rayons du soleil
Humidité du sol (Qualitatif)	<u>Hypothèses</u> : les L3 sont sensibles à l'humidité du milieu extérieur donc : - un sol humide peut créer un microclimat humide propice au développement et à la survie des L3 - un sol sec peut créer un microclimat sec défavorisant le développement et la survie des L3
Occupation du sol (Quantitatif)	<u>Hypothèses</u> : - les L3 se situent sur l'herbe donc une parcelle avec une dominance de roche et de sol à nu, ne favorise pas la présence de L3 sur la parcelle. À l'inverse une parcelle avec une dominance d'herbe favorise la présence de L3 - la présence d'arbres et d'arbustes peut créer de l'ombrage et des microclimats favorables ou non au développement et à la survie des L3
Composition floristique (Quantitatif)	<u>Hypothèses</u> : - les espèces de plantes présentes sur la parcelle peuvent influencer le nombre de L3
Diversité d'espèces (Classe)	- une zone faiblement appétente attire moins les animaux, l'excrétion d'œufs et donc nombre de L3 peuvent être moins importants dans ces zones.
Appétence (Qualitatif)	
Stade phénologique de l'herbe (Qualitatif)	La variable stade phénologique renvoie à l'état de la végétation (en pousse, au stade épi) La variable phénologie du couvert renvoie aux pourcentages en feuille et en tige
Phénologie du couvert (Quantitatif)	Les L3 se situent à la base et sur les feuilles de l'herbe <u>Hypothèse</u> : - une végétation au stade feuille peut-être plus appétente pour les animaux qu'une végétation au stade épi et ainsi favoriser le nombre de L3 sur les parcelles car ces zones seront plus fréquentées par les animaux.
Saisonnalité ou saison de végétation (Qualitatif)	La saisonnalité est le période de l'année entre l'apparition des feuilles et le jaunissement de la végétation La précocité correspond au nombre de jours entre le démarrage de la végétation et l'épiaison / floraison. Le terme « précoce » renvoie à une végétation qui parvient au stade épi / fleur tôt dans la saison de végétation.
Précocité (Qualitatif)	<u>Hypothèse</u> : précocité et saisonnalité impactent la disponibilité en herbe dans le temps. On peut supposer que plus l'herbe est disponible plus les animaux fréquenteront la zone. On retrouvera donc plus de L3 sur la zone.
Nombre de strates	Les différentes strates présentes sur une parcelle peuvent être : la strate composée de mousse, la strate herbacée, la strate arbustive et la strate

III - Matériel et méthodes

(Quantitatif)	arborée <u>Hypothèse</u> : un nombre de strates élevé peut créer un microclimat favorable ou non au développement et à la survie des L3. Par exemple, si une zone est constituée d'une strate herbacée et arbustive, les arbustes peuvent protéger la strate herbacée des rayonnements directs du soleil ou maintenir une humidité favorable aux L3
Densité sur pied (Qualitatif)	La densité sur pied correspond au nombre de pousses par m². <u>Hypothèse</u> : on peut supposer qu'un couvert dense peut influencer le nombre de L3 sur la parcelle en créant un environnement favorable ou non à leur développement et à leur survie
Hauteur moyenne de l'herbe (Quantitatif)	Le pourcentage de matière sèche et la hauteur d'herbe sont corrélés positivement (Oudshoorn, Hansson, et Hansen 2011). <u>Hypothèse</u> : L'herbe haute permet de maintenir un microclimat favorable aux L3. Donc les zones avec une hauteur d'herbe élevée et par extension un pourcentage de matière sèche important sont plus propices à un nombre de L3 élevé que les zones avec une hauteur d'herbe basse.
Pourcentage de matière sèche (Quantitatif)	
Fréquentation par les animaux (Qualitatif)	La variable fréquentation par les animaux est associée au temps passé par les animaux dans la zone. <u>Hypothèses</u> : - une forte fréquentation des animaux sur une zone suppose un fort taux d'excrétion d'œufs et par extension si les conditions le permettent un grand nombre de L3 sur la zone - une faible fréquentation des animaux sur une zone suppose un faible taux d'excrétion d'œufs et par extension un petit nombre de L3 sur la zone

Tableau 5: Variables associées aux pratiques de pâturage et d'entretiens des parcelles

Nom de la variable	Hypothèses associées
Nombre de jours de pâturage sur une parcelle	Les dates de pâturage permettent de calculer le nombre de jours de pâturage sur une parcelle. Selon certaines études, la fauche permet d'assainir la parcelle <u>Hypothèses</u> : - plus le nombre de jours de pâturage est élevé, plus le nombre de L3 l'est - le nombre de L3 est moins important sur les parcelles fauchées récemment
Nombre de jours depuis la fauche	
Nombre d'animaux au pâturage (Quantitatif)	<u>Hypothèse</u> : plus le nombre d'animaux au pâturage est élevé plus le nombre de L3 est important
Pâturage d'autres animaux que les ovins (Qualitatif)	<u>Hypothèses</u> : - en pâturant plus ras que les ovins, certaines espèces peuvent diminuer le nombre de L3 sur les parcelles - des espèces ayant des parasites similaires (par exemple <i>H. contortus</i> peut également infester les bovins et les équins) peuvent recontaminer la parcelle et faire augmenter le nombre de L3
Espèce pâturant (Qualitatif)	
Type d'ovins pâturant (Qualitatif)	Le niveau d'excrétion des œufs varie en fonction de type et du stade physiologique de l'animal.
Stade physiologique des ovins pâturant (Qualitatif)	<u>Hypothèses</u> : une zone ayant été pâturée par des mères autour de la mise bas est plus susceptible d'avoir un grand nombre de L3

Tableau 6: Variables associées à l'état sanitaire des animaux pâturant

Nom de la variable	Hypothèses associées
Résultats de coproscopie (Quantitatif)	Les nombres d'œufs de strongles gastro-intestinaux par gramme dans les fèces permet de caractériser l'état sanitaire des animaux entrant et sortant de la parcelle. <u>Hypothèse</u> : des animaux avec un résultat de coproscopie élevé, peuvent contaminer fortement la parcelle et par extension, si les conditions le permettent le nombre de L3 est élevé
Traitement parasitaire (Qualitatif)	Les traitements ont pour but d'assainir le troupeau.
Animaux traités (Qualitatif)	<u>Hypothèses</u> : - après un traitement sur tout le troupeau, le taux d'excrétion des œufs est faible donc le nombre de L3 dans la zone est faible - après un traitement ciblé sur les animaux malades, des animaux contaminés mais n'ayant pas de signes cliniques de la maladie peuvent continuer d'excréter sur la parcelle. Le nombre de L3 ne varie pas forcément.
Date de traitement parasitaire (Date)	

Tableau 7: Variables associées au microclimat de la strate herbacée

Nom de la variable	Hypothèses associées
Température (Quantitatif)	Le microclimat au niveau de la strate herbacée peut favoriser ou non le développement et la survie du nombre de L3. Par exemple, un climat chaud et humide est très propice au développement de L3. A l'inverse, un climat froid et sec ne l'est pas.
Rayonnement (Quantitatif)	
Humidité de l'air (Qualitatif)	
Vitesse du vent (Quantitatif)	

L'ensemble du protocole expérimental énoncé ci-dessous est présent en annexe (Annexe 3)

2.2. Protocole de prélèvement de l'herbe

Les prélèvements d'herbe sont effectués mensuellement sur les deux fermes supports sélectionnées entre juillet et septembre 2023 pour évaluer le nombre de L3 de SGI présentes sur l'herbe. Selon la bibliographie, il est recommandé d'effectuer les prélèvements d'herbe le matin avant midi car l'humidité présente avec la rosée favoriserait la montée des larves sur l'herbe (Gevrey et Lestra 1970). Deux personnes peuvent réaliser les prélèvements sur trois zones en une matinée. Ainsi, avec nos ressources humaines et le temps disponible nous avons sélectionné 6 zones de prélèvement par élevage soit un total de 12 zones de prélèvement suivies qui permettent de tester les hypothèses énoncées précédemment.

L'herbe est collectée le matin en suivant la méthode des transects en W mise en avant par de nombreux auteurs (McFarland et al., 2022 ; Taylor, 1939). Il s'agirait de la méthode permettant de couvrir une large partie de la parcelle et d'obtenir le plus de larves (Verschave et al. 2015). L'herbe est coupée en marchant le long de deux transects en W (Figure 8).

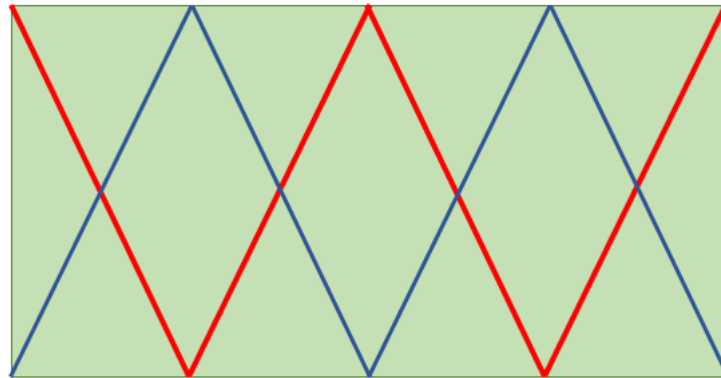


Figure 8: Transects en W sur une zone de prélèvement (en rouge et bleu les trajets respectifs des personnes collectrices).

Chaque transect est divisé en 50 points de coupes (environ 12 – 13 points de coupes par ligne du W). A chaque point de coupe, la personne collectrice place un quadrat en bois de 10cm² au sol devant elle et coupe l'herbe située dans le quadrat. Il faut veiller à couper le plus proche du sol possible sans prélever le sol. L'herbe coupée est placée dans un sac plastique. La personne collectrice reproduit le même fonctionnement de coupe ci-dessus en plaçant le quadrat derrière elle. Lorsqu'elle a réalisé ces 2 prélèvements, elle se déplace jusqu'au prochain point de coupe sur le transect. Les sacs contenant l'herbe sont placés dans une glacière pour être transportés au laboratoire.

2.3. Estimation de la charge parasitaire des parcelles

2.3.1. Extraction des larves de parasites présentes sur l'herbe et matière sèche de l'herbe

Dans cette partie, le terme échantillon renvoie à l'herbe collectée sur une zone de prélèvement.

Au laboratoire, les échantillons sont mélangés dans des seaux de 30L par zone de prélèvement pour les homogénéiser. 100g d'herbe sont récupérés par échantillon et placés à l'étuve à 60°C pendant 48h pour déterminer le taux de matière sèche.

Les larves de nématodes sont extraites de l'herbe en procédant à une série d'étapes de lavage et de sédimentation. Le protocole d'extraction est adapté du protocole utilisé par McFarland *et al.*, 2022.

III - Matériel et méthodes

Des étamines (tissus perméables) sont remplies avec une quantité connue d'herbe de chaque échantillon et placées dans un seau de 30L muni d'un robinet positionné à quelques centimètres du fond. De l'eau et quelques millilitres de liquide vaisselle sont ajoutés dans le seau jusqu'à ce que le sac soit immergé. Une grille en plastique est placée au fond du seau pour que le sac ne touche pas le fond. Après sédimentation pendant une nuit, les sacs sont essorés au-dessus des seaux et jetés. A la suite d'une deuxième sédimentation d'une heure, les seaux sont en partie vidés en ouvrant légèrement les robinets. L'eau restante est vidée dans des éprouvettes de 2L étiquetées pour une troisième sédimentation d'une heure. Les éprouvettes sont vidées à l'aide d'une trompe à eau jusqu'à atteindre 1cm au-dessus de la ligne de sédimentation et le contenu de l'éprouvette est vidé dans des flacons de 50mL.

Les nématodes sont isolés du sédiment en utilisant plusieurs séries de centrifugations à 2000rcf (relative vertical force) pendant 3 minutes. En résumé, la première centrifugation permet de concentrer le sédiment. Le culot est ensuite mis en suspension dans une solution sucrée avant l'ajout de 5mL d'eau. Après la deuxième centrifugation les larves sont concentrées dans la couche supérieure d'eau. Cette couche est prélevée, diluée avec le double de quantité d'eau et centrifugée à nouveau pour concentrer les larves au fond du flacon de 50mL. Le volume des flacons est après réduit à 10mL par échantillon. Les flacons sont ensuite stockés au réfrigérateur à 4°C jusqu'à comptage au microscope.

2.3.2. Comptage des larves

Pour quantifier les L3 de SGI, on place 1mL de chaque flacon obtenu dans l'étape précédente sur une lame McMaster avec quelques gouttes de Lugol. On observe la lame au microscope avec un grossissement x100. Le Lugol est une solution d'iodure de potassium permettant d'immobiliser les nématodes et de faciliter la visualisation des L3 qui ne se teintent pas intensément.

❖ Identification des L3 gastro-intestinaux

L'identification visuelle des L3 gastro-intestinaux peut se révéler compliquée. En effet, la variabilité des apparences des différents stades larvaires de SGI et la présence de nématodes en phase libre peut entraîner une confusion dans le comptage. Comme le montre la Figure 9 pour un œil non expérimenté, nématodes en phase libre et L3 peuvent être confondus.



Figure 9 : Photographies au microscope (x100) d'un nématode libre (à gauche) et d'une phase L3 de SGI (à droite)

Pour surmonter cette complexité, j'ai sollicité l'expertise de chercheurs et de vétérinaires spécialisés dans le domaine. Je me suis également appuyée sur des clés de diagnoses existantes telles que celle produite par Van Wyk & Mayhew, 2013.

Six critères ont été utilisés pour identifier les L3 (Knoll et al. 2021 ; Van Wyk et Mayhew 2013) :

- Apparence générale : cf. Figure 10
- Forme de la tête : la tête des SGI est lisse et arrondie.
- Présence d'une gaine : seules les L3 possèdent une gaine.
- Organisation interne : aspect de l'œsophage et cellules intestinales. L'œsophage des L3 est fin et précède une ou plusieurs rangées de cellules intestinales plus ou moins bien dessinées.
- Aspect de la queue et taille de la portion distale : la gaine des L3 se poursuivent après la terminaison de leur queue et peuvent aboutir sur un filament. La distance entre la fin de la queue et la fin du filament est appelée la portion distale et sa taille caractérise l'espèce de parasite.
- Taille totale : chez les petits ruminants la taille des L3 les plus communs varie entre 630 et 950µm.

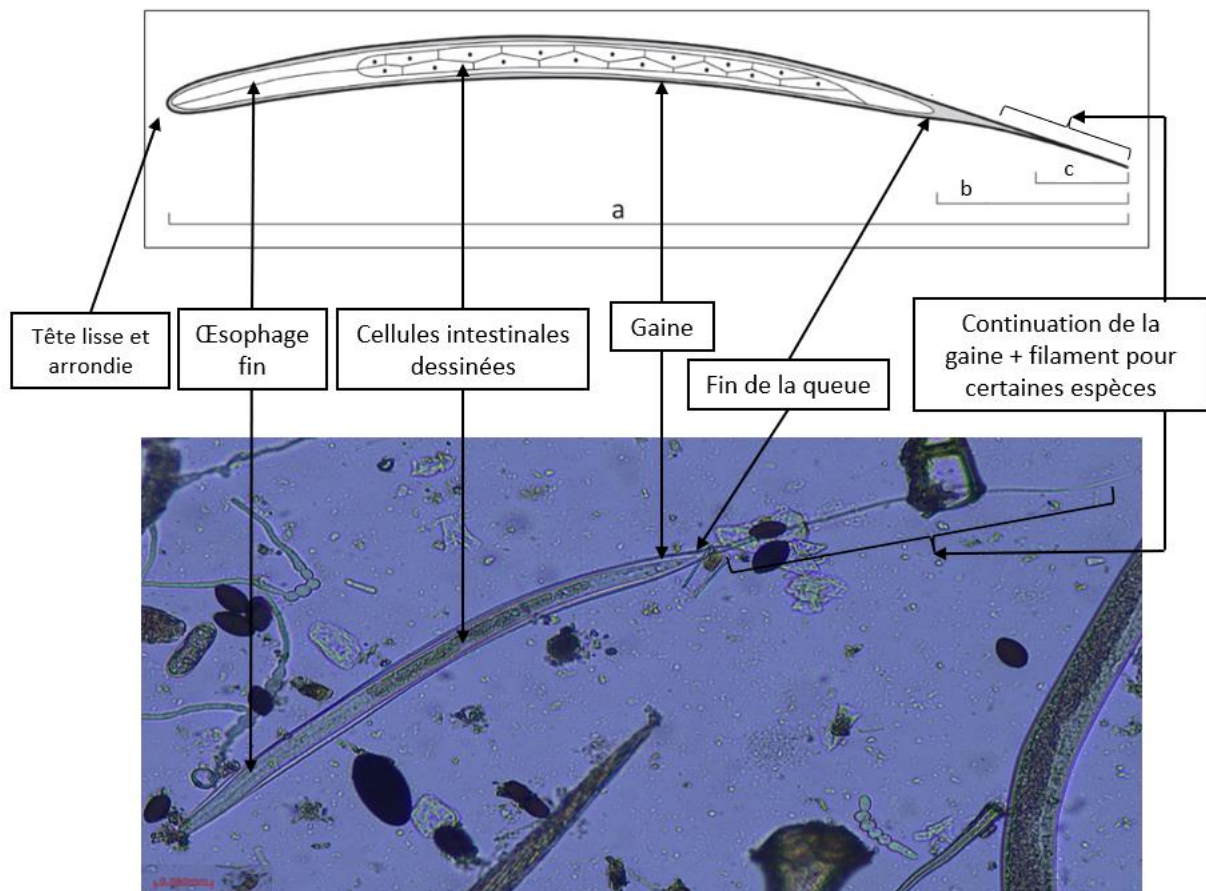


Figure 10 : Apparence d'un stade L3 de SGI. En haut, schéma d'un strongle gastro-intestinal : a-longueur totale, b-portion distale, c-filament (Drawn from Borgsteede, F.H.M. & Hendriks, J., 1974, identification of infective larvae of gastrointestinal nematodes in cattle, Tijdschrift Diergeneeskunde 99, 103–113). En bas photographie au microscope (x100) d'un strongle gastro-intestinal.

❖ Estimation du nombre de L3 par échantillon

On multiplie le nombre de larves comptées sur les lames McMaster (1mL de solution) par 10 pour obtenir le nombre de larves présentes dans les flacons de 10mL. Le nombre de L3 est ensuite converti en nombre de L3 par kg de matière sèche en appliquant la formule suivante :

$$Nb_{L3_{kgMS}} = \frac{Nb_{L3_{comptées}} \times 10}{(MF \times \%MS) \div 1000} \quad (1)$$

avec, $Nb_{L3\text{comptées}}$, le nombre de L3 comptées sur une lame McMaster

MF, la masse d'herbe placée dans l'étamine en grammes (cf. partie 2.3.1)

%MS, le pourcentage de matière sèche de l'échantillon en notation décimale (cf. partie 2.3.1)

2.4. Recueil des caractéristiques des végétations des zones de prélèvement

Les 12 zones de prélèvement sélectionnées (6 par élevage) sont caractérisées à chaque phase de prélèvement pour obtenir des données associées aux variables présentées dans les Tableau 4. Le Tableau 8 présente leur méthode d'acquisition. L'annexe 4 montre un exemple de recueil des caractéristiques des végétations.

Tableau 8: Recueil des caractéristiques des parcelles et de la végétation

Nom de la variable	Méthode d'acquisition de et fiabilité	Valeurs prises par la variable
Type de milieu (Qualitatif)	<u>Méthode d'acquisition</u> : caractérisation par un expert <u>Fiabilité</u> : forte	Prairie de montagne, prairie humide, pré de fauche, prairie Le terme « prairie de montagne » renvoie aux prairies situées à plus de 900m d'altitude, en dessous de cette limite on définit le milieu par le terme « prairie ». Le terme « prairie humide » renvoie à des prairies où le sol est humide et « pré de fauche » à des prés qui sont fauchés.
Relief (Qualitatif)	<u>Méthode d'acquisition</u> : caractérisation visuelle <u>Fiabilité</u> : faible	Plat, faible pente, moyenne pente, forte pente
Altitude (Classe)	<u>Méthode d'acquisition</u> : caractérisation par l'éleveur <u>Fiabilité</u> : forte	<600m, 600m – 900m, 900m-1300m
Exposition (Qualitatif)	<u>Méthode d'acquisition</u> : caractérisation par l'éleveur <u>Fiabilité</u> : forte	Sud, nord, ouest, est Les termes « sud », « nord », « est », « ouest » renvoient respectivement à une exposition de la parcelle au « sud », au « nord », à l'« est », à l'« ouest ».
Ombrage (Qualitatif)	<u>Méthode d'acquisition</u> : caractérisation visuelle <u>Fiabilité</u> : forte	Oui, non Le terme « oui » et « non » renvoient respectivement à la présence, l'absence d'arbres ou arbustes créant de l'ombre sur la parcelle.
Humidité du sol (Qualitatif)	<u>Méthode d'acquisition</u> : caractérisation visuelle et par l'éleveur <u>Fiabilité</u> : moyenne	Sec, neutre, humide, très humide Le terme « sec » renvoie aux prairies avec un sol portant et séchant, « neutre » renvoie aux prairies où le sol est portant et peut s'engorger d'eau temporairement, « humide » correspond aux prairies où le sol n'est pas portant à cause d'un engorgement d'eau, « très humide » renvoie aux prairies où le sol est engorgé une majeure partie de l'année.
Occupation du sol (Quantitatif)	<u>Méthode d'acquisition</u> : caractérisation par expert à partir de photographies <u>Fiabilité</u> : moyenne	Pourcentages en herbe, arbres, arbustes, roches, à nu
Composition floristique (Quantitatif)	<u>Méthode d'acquisition</u> : caractérisation par expert à partir de photographies	Pourcentages en graminées, légumineuses, autres
Diversité d'espèce (Classe)		<10 espèces, <30 espèces, <50 espèces, >50 espèces
Appétence (Qualitatif)	<u>Fiabilité</u> : moyenne	Forte, moyenne, faible
Stade phénologique de l'herbe (Qualitatif)	<u>Méthode d'acquisition</u> : caractérisation par expert à partir de photographies	Pousse, épié
	<u>Fiabilité</u> : moyenne	Le terme « pousse » renvoie à une végétation en court de croissance : les feuilles constituent une partie importante de la biomasse. Le terme « épié » renvoie à une végétation au stade épi : la tige constitue une partie importante de la biomasse.
Phénologie du couvert (Quantitatif)	<u>Méthode d'acquisition</u> : caractérisation par expert à partir de photographies	Pourcentage en feuille et en tige
Saisonnalité ou saison de végétation (Qualitatif)	<u>Fiabilité</u> : moyenne	Printanier, estival, hivernal, automnal La saisonnalité est la période de l'année entre l'apparition des feuilles et le jaunissement de la végétation
Précocité (Qualitatif)		Précoce, tardif, intermédiaire La précocité correspond au nombre de jours entre le démarrage de la végétation et l'épiaison / floraison. Le terme « précoce » renvoie à une végétation qui parvient au stade épi / fleur tôt dans la saison de végétation.
Nombre de strates (Quantitatif)	<u>Méthode d'acquisition</u> : caractérisation visuelle et par un expert à partir de photographies <u>Fiabilité</u> : moyenne	Chiffre compris entre 1 et 4 Les différentes strates présentes sur une parcelle peuvent être : la strate composée de mousse, la strate herbacée, la strate arbustive et la strate arborée
Densité sur pied (Qualitatif)	<u>Méthode d'acquisition</u> : caractérisation par expert à partir de photographies <u>Fiabilité</u> : moyenne	Très bonne, bonne, moyenne, faible, très faible La densité sur pied correspond au nombre de pousse par m ² .
Hauteur moyenne de l'herbe (Quantitatif)	<u>Méthode d'acquisition</u> : mesure effectuée à l'herbomètre en marchant le long des transects en W (cf. Figure 8) <u>Fiabilité</u> : moyenne	Chiffre en millimètre
Fréquentation par les animaux (Qualitatif)	<u>Méthode d'acquisition</u> : caractérisation par l'éleveur <u>Fiabilité</u> : forte	Forte, modérée, faible Les termes « forte », « modérée » et « faible » sont associés au temps passé par les animaux dans la zone. Par exemple une zone de couchage sera qualifiée par le terme « forte ».

Les paramètres ci-dessus ont été sélectionnés de façon à caractériser au mieux les zones de prélèvement. Leur analyse en lien avec les pratiques de pâturage et le nombre de L3 par parcelle permettront de dégager des hypothèses sur les paramètres influençant la charge parasitaire.

2.5. Recueil des pratiques de pâturage et de gestion des parcelles

Les pratiques de pâturage, de gestion des parcelles et des indicateurs de l'état sanitaire des animaux sont recueillies pour obtenir des données sur les variables présentées dans les Tableau 5 et Tableau 6. Le Tableau 9 présente leur méthode d'acquisition.

Tableau 9: Recueil des données associées aux pratiques

Nom de la variable	Méthode d'acquisition et fiabilité	Valeurs prises par la variable
Nombre de jours de pâturage sur la zone (Quantitatif)	<u>Méthode d'acquisition</u> : calcul à partir des dates de pâturage fournies par l'éleveur <u>Fiabilité</u> : forte	Nombre entier
Nombre de jours depuis la fauche (Quantitatif)	<u>Méthode d'acquisition</u> : calcul à partir des dates de fauche fournies par l'éleveur <u>Fiabilité</u> : forte	Nombre entier
Nombre d'animaux pâturage (Quantitatif)	<u>Méthode d'acquisition</u> : dires de l'éleveur <u>Fiabilité</u> : forte	Nombre entier
Pâturage d'autres animaux que les ovins (Qualitatif)		Oui, non
Espèce pâturant (Qualitatif)		Ovin, caprin, bovin, équidé
Type d'ovins pâturant (Qualitatif)		Brebis, jeune, bélier
Stade physiologique des ovins pâturant (Qualitatif)		Gestante, vide
Résultat coproscopie (Quantitatif)	<u>Méthode</u> : prélèvement de fèces fraîches à l'entrée et à la sortie des animaux sur les zones. Réalisation de coproscopie de mélange selon le protocole en Annexe 3 <u>Fiabilité</u> : moyenne	Nombre d'œufs de strongles par gramme de fèces (epg)
Traitement parasitaire (Qualitatif)	<u>Méthode d'acquisition</u> : dires de l'éleveur <u>Fiabilité</u> : forte	Chimique, homéopathique, autre
Animaux traités (Qualitatif)		Troupeau, animal malade
Nombre de jours depuis un traitement parasitaire (Qualitatif)	<u>Méthode d'acquisition</u> : calcul effectué à partir des dates de traitements parasitaires fournies par l'éleveur <u>Fiabilité</u> : forte	Nombre entier

Par manque de temps et du matériel adéquat, les variables associées au microclimat de la strate herbacée (cf. Tableau 7) n'ont pas pu être recueillies.

2.6. Analyse statistique pour l'estimation de la charge parasitaire des parcelles en lien avec les caractéristiques des végétations et les pratiques

2.6.1. Sélection des données et des variables à analyser

Comme évoqué dans les parties III-1.1.3 et III-2.2, nous avons effectué 2 phases de terrain sur les 2 fermes supports. Nous avons ainsi recueilli 24 points qui constituent notre jeu de données. Il s'agit d'un faible nombre de points pour lequel toute l'analyse statistique présente de forts risques d'erreur.

Je présente ici une méthode d'analyse statistique dans l'optique de renforcer des hypothèses qui seront à vérifier avec l'analyse d'un plus grand jeu de données.

De plus, j'ai exclu certaines variables du jeu de données par manque d'informations. C'est le cas notamment des variables ci-dessous :

- Appétence : l'appétence a pu être définie seulement sur 4 zones de prélèvement.
- Stade physiologique des animaux pâturant : sur la période de récolte de données les brebis étaient non gestantes.
- Résultats de coproscopie à l'entrée et à la sortie des parcelles : sur la période de mon stage nous avons pu obtenir uniquement 4 résultats de coproscopie.
- Traitement parasitaire, animaux traités et nombre de jours depuis le traitement parasitaire : sur la période de récolte de données, il n'y a pas eu de traitements parasitaires du troupeau. En amont de la période de terrain, trop peu de traitements parasitaires ont été effectués pour les prendre en compte dans l'analyse.

2.6.2. Analyse des données obtenues

L'analyse statistique est effectuée sur le logiciel R v4.1.2 à partir d'un fichier Excel contenant les données après nettoyage (sélection des variables). Pour faciliter l'analyse, j'ai traité indépendamment les variables qualitatives et quantitatives.

❖ *Analyse des variables qualitatives*

Les variables qualitatives analysées sont : l'humidité du sol, l'exposition, le type de milieu, le relief, la saisonnalité, la précocité, l'ombrage, le stade phénologique, la densité sur pied, la fréquentation par les animaux et la présence de fèces sur la zone de prélèvement.

- Étude des liens entre les variables qualitatives :

Etudier les liens entre les variables qualitatives permettrait pour la suite du projet de sélectionner un nombre limité de variables à relever.

J'ai effectué des tableaux de contingence sur les paires de variables qualitatives et des tests du Chi-2 pour étudier les liens entre ces variables. L'hypothèse nulle (H_0) est : la variable 1 et la variable 2 ne dépendent pas l'une de l'autre. La p-value est la probabilité de rejeter H_0 . J'ai considéré que les résultats sont significatifs lorsque la p-value est inférieure à 0.05 : les variables 1 et 2 ne sont pas indépendantes.

J'ai ensuite effectué une analyse des résidus pour comprendre comment les variables qualitatives s'impactent entre elles. Par exemple, lorsque les résidus entre une modalité de la variable 1 et une modalité de la variable 2 sont élevés cela signifie que l'on retrouve le plus souvent ces modalités ensemble.

- Étude des liens entre les variables qualitatives et le nombre de L3 par kgMS

J'ai réalisé des boxplots pour visualiser la distribution du nombre de L3 par kgMS en fonction des catégories de chaque variable qualitative et pour détecter d'éventuelles différences.

Pour confirmer ou non ces différences j'ai réalisé des ANOVA entre le nombre de L3 par kgMS et les variables qualitatives. L'hypothèse nulle (H_0) est : les moyennes du nombre de L3 par kgMS sont égales pour chaque catégorie des variables qualitatives. La p-value est la probabilité de rejeter H_0 . J'ai considéré que les résultats sont significatifs lorsque la p-value est inférieure à 0.05.

J'ai ensuite vérifié si les résultats respectaient les conditions d'application de l'ANOVA. J'ai utilisé

le test de Shapiro pour vérifier la normalité des résidus et le test de Bartlett pour tester l'homogénéité des variances.

Lorsque les résultats ne respectaient pas les conditions d'application de l'ANOVA j'ai effectué un test de Kruskal-Wallis entre le nombre de L3 par kgMS et les variables. Les résultats sont significatifs lorsque la p-value est inférieure à 0.05.

Enfin, pour les résultats significatifs issus des ANOVA et des tests de Kruskal-Wallis, j'ai respectivement effectué un test de « Tukey » et de « Conover » pour déterminer les catégories significativement différentes des autres au sein d'une variable. Pour les tests de Conover, les résultats sont significatifs lorsque la p-value est inférieure à 0.025.

❖ *Analyse des variables quantitatives*

- Étude des liens entre les variables quantitatives :

Etudier les liens entre les variables quantitatives permettrait pour la suite du projet de sélectionner un nombre limité de variables à relever.

J'ai réalisé une matrice de corrélation pour visualiser les liens entre chaque paire de variables quantitatives. J'ai ensuite visualisé ces tendances grâce à des graphiques de dispersion.

- Étude des liens entre les variables quantitatives et le nombre de L3 par kgMS

J'ai réalisé un modèle de régression linéaire pour expliquer le nombre de L3 par kgMS en fonction des variables quantitatives et des interactions entre certaines variables. J'ai pris en compte uniquement les variables qui n'étaient pas linéairement liées entre elles (coefficient de corrélation égal à 1 ou -1) ainsi que les interactions de variables à priori dépendantes (les pourcentages en herbe, en arbres, en arbustes, de sol à nu, en roches par exemple). Ce modèle m'a permis d'identifier les variables influençant le plus le nombre de L3 par kgMS.

J'ai ensuite fait varier les coefficients du modèle statistique obtenu pour déterminer les conditions d'application du modèle.

- Identification de groupes de parcelles à « risques »

J'ai réalisé une ACP sur toutes les variables quantitatives (explicatives du nombre de L3 par kgMS) pour réduire le nombre de variables. Les dimensions sont sélectionnées pour avoir environ 95% de la variance expliqués. Ensuite pour déterminer à quelles dimensions contribuaient le plus les variables, j'ai analysé les contributions et les cos2 de chacune d'entre elles.

J'ai ensuite réalisé une classification ascendante hiérarchique à partir des coordonnées des individus issues de l'ACP pour identifier des groupes de parcelles. Les distances entre les coordonnées ont été calculées avec la méthode euclidienne (méthode par défaut).

J'ai effectué un test de Kruskal-Wallis entre le nombre de L3 par kgMS et les différents groupes si les résultats ne respectaient pas les conditions d'application de l'ANOVA. Puis, un test de Conover a permis de tester les différences intergroupes.

J'ai projeté les groupes obtenus sur les dimensions de l'ACP pour observer la position des groupes en fonction des dimensions.

IV - RESULTATS

1. Analyse des variables qualitatives

1.1. Étude des liens entre les variables qualitatives

Le Tableau 10 présente les résultats significatifs issus des tests du Chi-2 effectués entre les variables 1 et 2.

Tableau 10: Résultats significatifs des tests du chi-2 effectués sur les paires de variables qualitatives

Variable 1	Variable 2	p-value
Humidité du sol	Type de milieu	3.274e-06
	Saisonnalité	5.87e-05
	Fréquentation par les animaux	0.02192
	Précocité	2.123e-06
	Ombrage	0.002
Exposition	Précocité	0.049
	Ombrage	0.0116
Type de milieu	Saisonnalité	0.0016
	Fréquentation par les animaux	0.001
	Précocité	0.0003
	Ombrage	0.032
	Stade phénologique	0.04
	Densité sur pied	5.87e-05
Saisonnalité	Fréquentation par les animaux	7.39e-05
	Précocité	0.0007
	Ombrage	0.014
Fréquentation par les animaux	Présence de fèces	0.023
Précocité	Ombrage	0.0004

Pour chaque couple de variable, l'analyse des résidus a permis d'identifier comment les variables s'impactent entre elles.

Ci-dessous un exemple de résultats du test du Chi-2 entre l'humidité du sol et le type de milieu.

Tableau 11 : Résidus du test du Chi2 entre la variable humidité du sol et le type de milieu

	Prairie de montagne	Prairie humide	Pré de fauche
Frais	<u>1.7</u>	-1	-1.41
Humide	-1.41	<u>4.08</u>	-1.54
Neutre	-0.37	-1.52	<u>1.54</u>

Grâce au tableau 11, on peut déduire que les sols frais sont plus souvent retrouvés dans les prairies de montagne, les sols humides dans les prairies humides et les sols ni frais ni humide dans les prés de fauche (couples de modalités où les résidus sont les plus élevés ; soulignés en gras dans le tableau 11).

De la même façon, on détermine pour les autres résultats du test du chi 2, les cas où la modalité d'une variable est la plus présente. Cela est résumé dans les tableaux ci-dessous :

Tableau 12: Représentation des variables où les modalités de "Humidité du sol" sont les plus présentes

	Modalités	Type de milieu	Saisonnalité	Fréquentation par les animaux	Précocité	Ombrage
Humidité du sol	Frais	Prairie de montagne	Printanier ; estival	Forte	Intermédiaire	Oui
	Humide	Pairie humide	Estival	Faible	Tardif	Oui
	Neutre	Pré de fauche	Printanier	Forte ; modérée	Précoce	Non

La lecture du Tableau 12 et des tableaux qui suivent s'effectue par ligne. Par exemple, ici pour la modalité sol « frais » on peut dire que : les sols frais sont plus souvent retrouvés dans les prairies de montagne, où la saisonnalité est « printanier ; estival », la fréquentation des animaux est « forte », la précocité de la végétation est « intermédiaire » et dans des zones où de l'ombrage est présent.

Tableau 13: Représentation des variables où les modalités de "Exposition" sont les plus présentes

	Modalités	Précocité	Ombrage
Exposition	Nord	Intermédiaire	Oui
	Sud	Tardif	Non

Tableau 14: Représentation des variables où les modalités de "Type de milieu" sont les plus présentes

	Modalités	Saisonnalité	Fréquentation par les animaux	Précocité	Ombrage	Stade phénologique	Densité sur pied
Type de milieu	Prairie de montagne	Printanier ; estival	Forte	Intermédiaire	Oui	Repousse	Très bonne
	Prairie humide	Estival	Faible	Tardif	Oui	Pousse	Moyenne
	Pré de fauche	Printanier	Modérée	Précoce	Non	Epiée	Bonne

Tableau 15 : Représentation des variables où les modalités de "Saisonnalité" sont les plus présentes

	Modalités	Fréquentation par les animaux	Précocité	Ombrage
Saisonnalité	Printanier ; estival	Forte	Tardif	Oui
	Estival	Faible	Tardif	Oui
	Printanier	Modérée	Précoce	Non

Tableau 16 : Représentation des variables où les modalités de "Fréquentation par les animaux" sont les plus présentes

	Modalités	Présence de fèces sur la parcelle
Fréquentation par les animaux	Forte	Oui
	Faible	Non
	Modérée	Non

Tableau 17: Représentation des variables où les modalités de "Précocité" sont les plus présentes

	Modalités	Ombrage
Précocité	Précoce	Non
	Intermédiaire	Oui
	Tardif	Oui

1.2. Étude des liens entre les variables qualitatives et le nombre de L3 par kgMS

❖ Résultats ANOVA

Après avoir réalisé un test de Shapiro sur les résidus issus des tests ANOVA, on remarque que la condition de normalité des résidus de l'ANOVA n'est pas respectée. Il n'est pas possible d'interpréter les résultats des ANOVA.

❖ Résultats des tests de Kruskal-Wallis

Les variables pour lesquelles les tests de Kruskal-Wallis ont une p-value < 0.05 (ou très proche) sont :

- Précocité : p-value est de 0.045
- Ombrage : p-value = 0.02
- Fréquentation des animaux : p-value = 0.055

Les nombres de L3 par kgMS sont significativement différents pour les catégories de ces variables.

Les résultats issus des « Conover test » pour déterminer les différences significatives inter-groupes dans les variables sont présentés dans le tableau 18, 19 et 20. Les résultats d'un Conover test sont significatifs pour p-value < 0.025 .

- Précocité

Tableau 18: Résultats Conover test pour la variable précocité (* = résultat significatif)

	Intermédiaire	Précoce
Précoce	Différence entre les moyennes de L3= 1.8 p-value = 0.04	
Tardif	Différence entre les moyennes de L3 = -0.4 p-value = 0.33	Différence entre les moyennes de L3 = -2.6 p-value = 0.009*

Le tableau ci-dessus montre que les nombres de L3 par kgMS sont significativement différents entre les parcelles ayant une végétation tardive et précoce.

- Ombrage

Tableau 19: Résultats Conover test pour la variable ombrage (* = résultat significatif)

	Non
Oui	Différence entre les moyennes de L3= -2.48 p-value = 0.01*

- Fréquentation par les animaux

Tableau 20 : Résultats Conover test pour la variable fréquentation par les animaux (* = résultat significatif)

	Faible	Forte
Forte	Différence entre les moyennes de L3= 0.19 p-value = 0.42	
Modérée	Différence entre les moyennes de L3= 1.64 p-value = 0.06	Différence entre les moyennes de L3= 2.24 p-value = 0.018*

IV - Résultats

Sur le tableau ci-dessus on voit que :

- Les nombres de L3 par kgMS sont significativement différents entre les catégories « forte » et « modérée »

2. Analyse des variables quantitatives

2.1. Interactions entre variables quantitatives

Les résultats de la matrice de corrélation sont présentés ci-dessous :

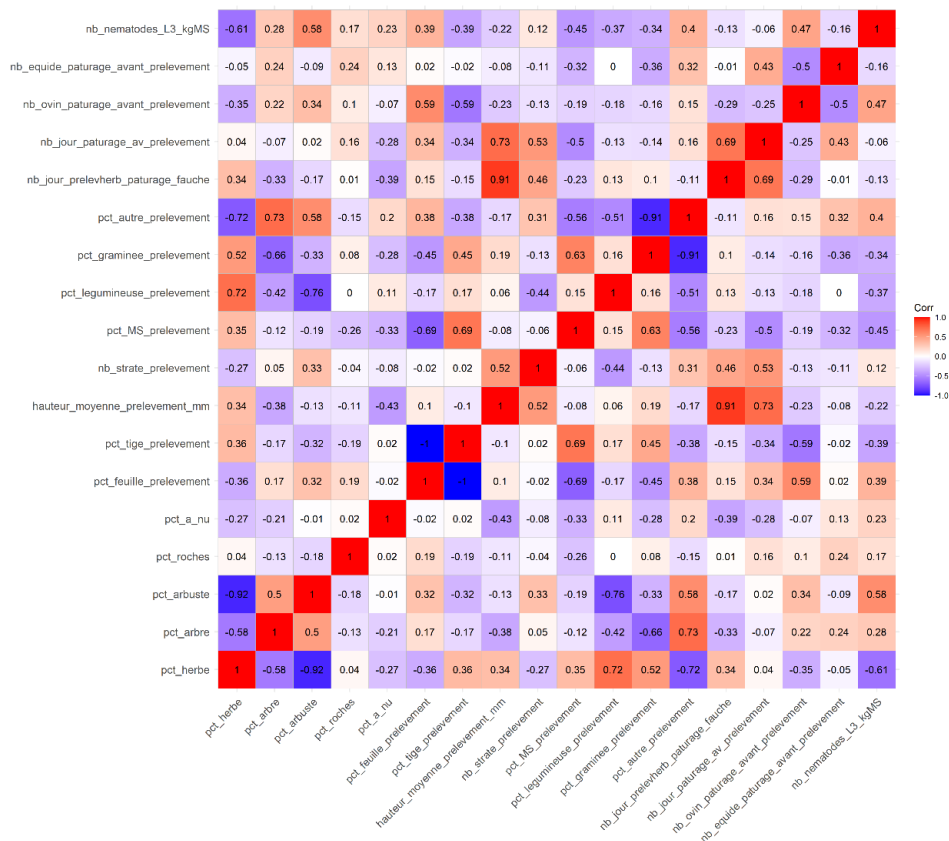


Figure 11 : Matrice de corrélation entre les variables quantitatives

Nous pouvons visualiser sur la Figure 11 les variables corrélées positivement (coefficient proche ou égal à 1, couleur rouge) et les variables corrélées négativement (coefficient proche ou égal à -1, couleur bleue).

Les variables corrélées positivement entre elles sont :

- Hauteur de l'herbe et nombre de jours depuis le dernier prélèvement par pâturage ou fauche (coefficient de corrélation = 0.91)

Les variables corrélées négativement entre elles sont :

- Le pourcentage en herbe et le pourcentage en arbuste (coefficient de corrélation = -0.92)
- Le pourcentage en feuille et le pourcentage en tige (coefficient de corrélation = -1)
- Le pourcentage en graminées et le pourcentage en autres (coefficient de corrélation = -0.91)

2.2. Modèle de régression linéaire

Les variables « pourcentage en feuille » et « pourcentage en tige » sont strictement corrélées (coefficient de corrélation = -1). Nous n'intégrons pas la variable « pourcentage en tige » au modèle (cf. partie IV-2.1).

IV - Résultats

D'après la partie précédente, il n'y a pas d'autres variables qui sont strictement corrélées entre elles. Cependant, par construction des variables nous savons que :

- Les pourcentages en herbe, arbres, arbustes, roches et sol à nu sont corrélés entre eux. Nous conservons donc seulement la variable pourcentage en herbe.
- Le pourcentage en « autres » est déduit à partir de la somme du pourcentage en graminées et légumineuses. Nous conservons donc seulement les variables pourcentage en graminées et pourcentage en légumineuses

Le modèle proposé prend en compte les variables : pourcentage en herbe, en graminées, en légumineuses, en matière sèche, le nombre de strates, la hauteur moyenne de l'herbe, le nombre de jours depuis le dernier prélèvement par pâturage ou fauche, le nombre de jours du dernier pâturage et le nombre d'ovins au dernier pâturage.

Le modèle prend aussi en compte les interactions entre les variables 1 et 2 ci-dessous :

Tableau 21: Interactions entre variables prises en compte dans le modèle

Variable 1	Variable 2
Pourcentage en légumineuses	Pourcentage en graminées
Pourcentage de matière sèche	Pourcentage en herbe
	Pourcentage en feuille
	Hauteur moyenne de l'herbe
Hauteur moyenne de l'herbe	Nombre de strates
	Nombre de jour de pâturage avant prélèvement
	Pourcentage en feuille
	Nombre d'ovin au pâturage avant prélèvement

Avec ce modèle, $R^2=0.95$: le modèle semble être adapté. Le test de significativité globale du modèle fournit une p-value égale à 0.06. On peut dire avec que le modèle est significatif avec un risque d'erreur de 6%.

Les coefficients significatifs dans le modèle (p-value < 0.05) sont ceux des variables « nombre de jours de pâturage avant prélèvement » et « pourcentage de matière sèche ».

2.3. Analyse des conditions d'application du modèle

Pour les variables incluses dans le modèle, j'ai choisi arbitrairement les intervalles de variations des valeurs suivants présentés dans le tableau

Tableau 22 : Intervalles de variations des valeurs des variables du modèle

Variable	Intervalle de variation des valeurs
Pourcentage en feuille	[0 ; 100]
Pourcentage en herbe	[0 ; 100]
Pourcentage en légumineuses	[0 ; 100]
Pourcentage en graminées	[0 ; 100]
Nombre de strate	[1 ; 4]
Hauteur moyenne de l'herbe (mm)	[Minimum des hauteurs dans le jeu de données ; maximum des hauteurs dans le jeu de données] ici [45 ; 225]
Pourcentage de matière sèche	[0 ; 100]
Nombre de jours de pâturage	[0 ; maximum du nombre de jour de pâturage dans le jeu de données] ici [0 ; 11]
Nombre d'ovin au pâturage	[0 ; maximum du nombre d'ovins dans le jeu de données] ici [0 ; 11]
Nombre de jours depuis le dernier prélèvement par pâturage ou fauche	[0 ; maximum du nombre de jour depuis le dernier prélèvement par pâturage ou fauche dans le jeu de données] ici [0 ; 96]

Pour chaque variable on a utilisé le modèle pour prédire le nombre de L3 par kgMS lorsque la variable prend toutes les valeurs de l'intervalle avec un pas de 1. Lorsque on teste toutes les valeurs d'une variable, les autres prennent la valeur de la moyenne du jeu de donnée.

On obtient pour chaque variable des graphiques tels celui ci-dessous :

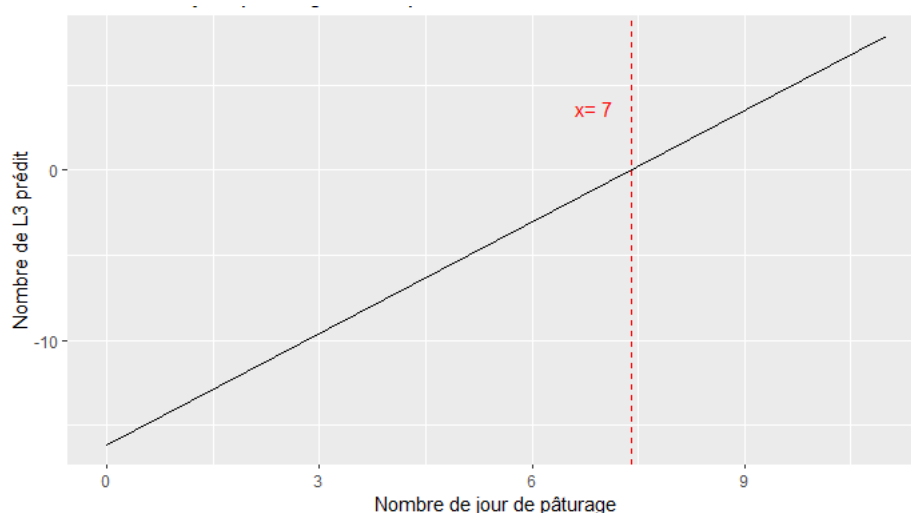


Figure 12: Représentation du nombre de L3 prédit par le modèle en fonction du nombre de jours de pâturage

La droite $x = 7$ représente la valeur du nombre de jours de pâturage à partir duquel le nombre de L3 par kgMS est positif. Pour toutes les autres droites à coefficient directeur positif on note cette valeur. On note aussi pour les droites à coefficient directeur négatif, la valeur de x , à partir de laquelle le nombre de L3 par kgMS devient négatif.

IV - Résultats

On obtient les valeurs de x suivantes pour toutes les variables :

Tableau 23: résultats des conditions d'application du modèle

Variable	Nombre de L3 par kgMS positif lorsque :
Nombre de jours de pâturage au dernier pâturage	>7
Nombre de jours depuis le dernier prélèvement par pâturage ou fauche	>38
Nombre d'ovins au dernier pâturage	>97
Pourcentage de matière sèche	<19
Hauteur de l'herbe	<98
Pourcentage en feuille	<56
Pourcentage en graminée	Nombre de L3 par kgMS toujours >0
Pourcentage en légumineuse	Nombre de L3 par kgMS toujours >0
Nombre de strates	>3

Le nombre L3 par kgMS ne peut pas être négatif. On peut donc déduire du Tableau 23 que le modèle est cohérent lorsque :

- Le nombre de jours de pâturage au dernier pâturage est supérieur à 7, le nombre de jours depuis le dernier prélèvement par pâturage ou fauche est supérieur à 38, le nombre d'ovins au dernier pâturage est supérieur à 97 et le nombre de strates est supérieur à 3
- Le pourcentage en matière sèche est inférieur à 19, le pourcentage en herbe est inférieur à 56 et la hauteur d'herbe est inférieure à 98mm
- Le modèle est cohérent pour tous les pourcentages de graminées et légumineuses

2.4. Identification de groupes de zones à « risques »

2.4.1. ACP

L'ACP est effectuée sur les variables quantitatives sélectionnées. En traçant un diagramme de Pareto on obtient le résultat suivant :

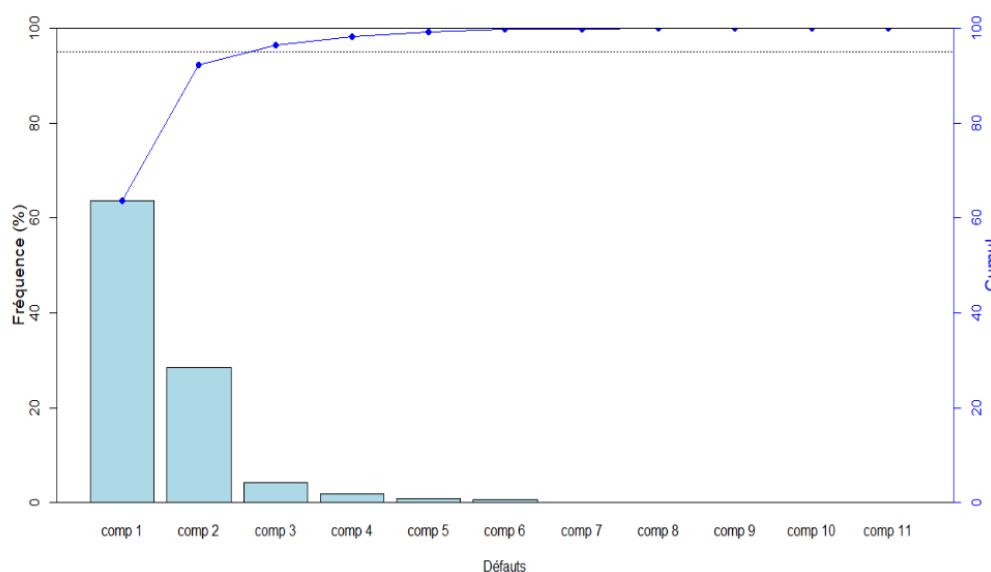


Figure 13 : Diagramme de Pareto de l'ACP. Ligne à 95% de variabilité

Le diagramme de Pareto montre que les 3 premières composantes couvrent presque 95% de la variabilité. Nous nous limiterons donc à l'analyse des 3 premières composantes pour la suite de notre étude.

IV - Résultats

Le tableau ci-dessous présente les variables contribuant le plus aux 3 premières dimensions et leur qualité de représentation sur le graphique de l'ACP (cos2). Les contributions de l'ensemble des variables sont reportées en annexe (Annexe 5)

Tableau 24 : Contribution et qualité de représentation des variables aux dimensions de l'ACP

Dimension	Variable	Contribution (%)	Cos2
1	Nombre d'ovins au dernier pâturage	87.9	0.96
2	Hauteur moyenne de l'herbe	72.6	0.81
	Nombre de jour depuis le dernier prélèvement par pâturage ou fauche	16.05	0.67
3	Pourcentage en herbe	24.1	0.36
	Pourcentage en feuille	50.3	0.43
	Pourcentage en graminées	13.7	0.50

On remarque que la dimension 1 est représentée majoritairement par une pratique de pâturage : le nombre d'ovins au dernier pâturage. La dimension 2 est caractérisée par l'état de la végétation dans le temps (hauteur moyenne de l'herbe et nombre de jours depuis le dernier prélèvement par pâturage ou fauche). La dimension 3 correspond à la phénologie du couvert.

2.4.2. Groupes de zones de prélèvement

❖ Réalisation des groupes de parcelles

La figure ci-dessous présente les résultats de la classification ascendante hiérarchique :

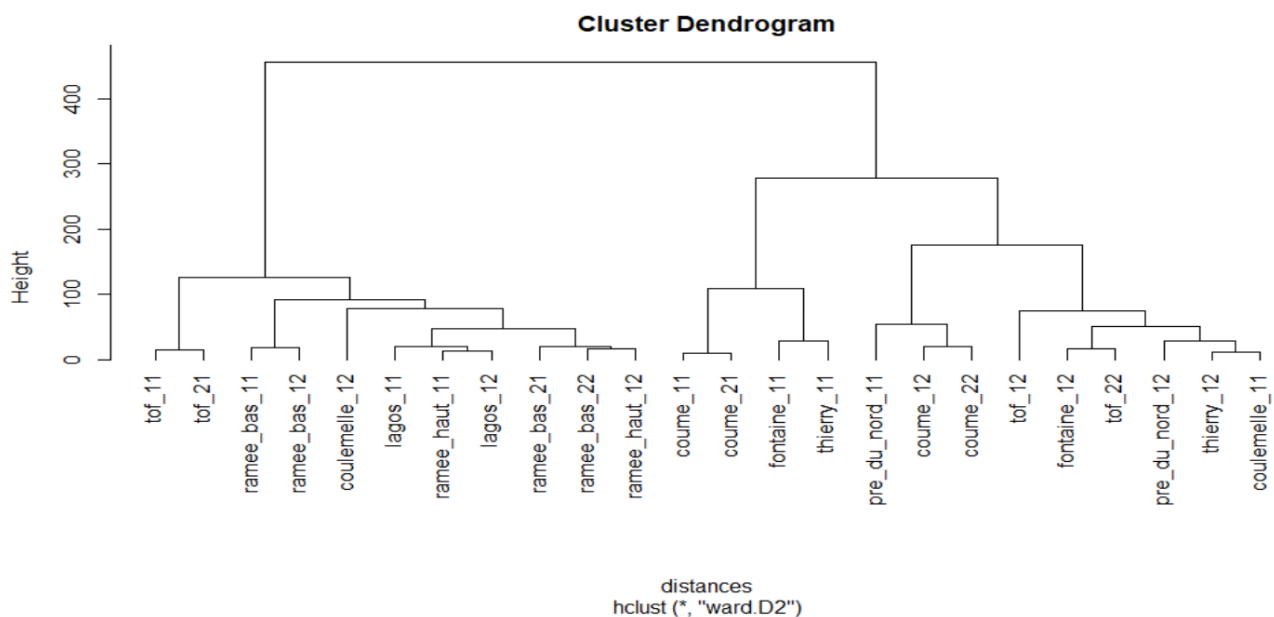


Figure 14: Dendrogramme des zones de prélèvement étudiées

Pour identifier le nombre de groupes différents après l'ACP on représente l'inertie des données en fonction d'un nombre de classes.

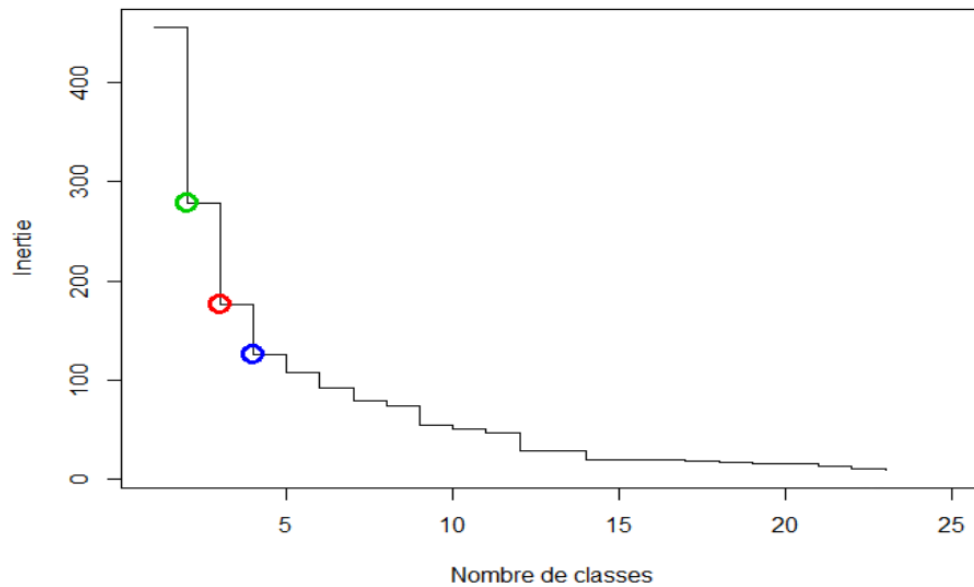


Figure 15: Représentation de l'inertie des données en fonction du nombre de classe

Sur la Figure 15 on remarque 3 sauts d'inertie pour des nombres de classes égaux à 2 (cercle vert), 3 (cercle rouge) et 4 (cercle bleu).

Pour la suite de l'analyse j'ai reparti les données en 4 classes pour correspondre aux 3 premiers sauts d'inertie. Cela permet de faire 4 groupes de parcelles ayant des coordonnées proches selon l'ACP.

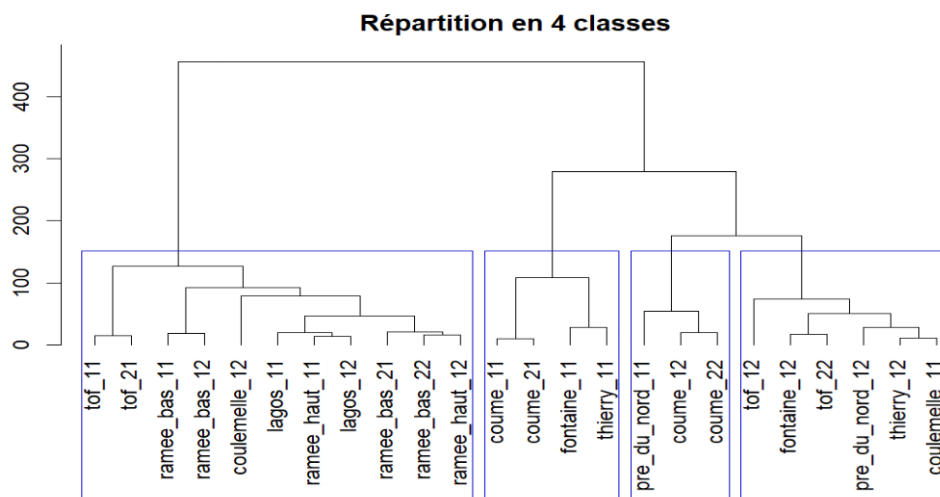


Figure 16 : Répartition des zones de prélèvement en 4 classes (rectangles bleus)

Les résultats d'ANOVA entre le nombre de L3 par kgMS et les groupes de parcelles ne respectent pas les conditions d'application des ANOVA.

J'ai donc fait un test de Kruskal-Wallis. La p-value est égal à 0.04 : les groupes sont différents.

Le test de Conover pour savoir quels groupes sont différents donne les résultats présentés dans le tableau 25. Les résultats d'un test de Conover sont significatifs pour p-value < 0.025.

Tableau 25 : résultats du test de Conover entre le nombre de L3 par kgMS et les groupes de parcelles identifiés par l'ACP (* = résultats significatifs)

	Groupe 1	Groupe 2	Groupe 3
Groupe 2	Différence entre les moyennes de L3= -2 p-value = 0.0294		
Groupe 3	Différence entre les moyennes de L3= 0.13 p-value = 0.4462	Différence entre les moyennes de L3= 1.95 p-value = 0.0322	
Groupe 4	Différence entre les moyennes de L3= -0.16 p-value = 0.4364	Différence entre les moyennes de L3= 2.1 p-value = 0.0243*	Différence entre les moyennes de L3= - 0.29 p-value = 0.3851

Le tableau ci-dessus montre que :

- Le nombre de L3 par kgMS des groupes 2 et 4 sont différents

❖ Projection des groupes dans les dimensions de l'ACP

La projection des différents groupes dans les dimensions de l'ACP donne les résultats suivants :

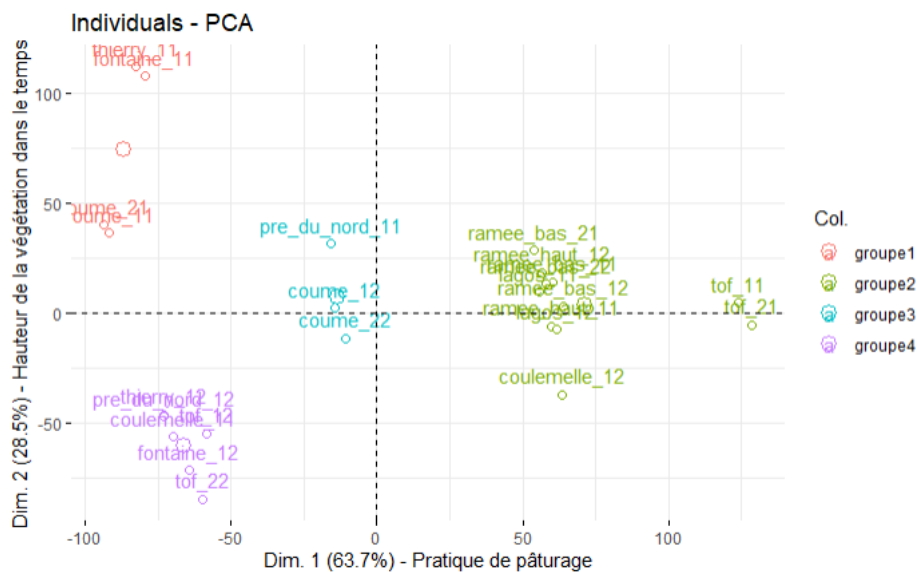


Figure 17 : Projection des groupes de zones de prélèvements sur les dimensions 1 et 2 de l'ACP

On s'intéresse aux groupes 2 et 4 qui sont significativement différents. Les groupes se situent de part et d'autre de l'axe de la dimension 1. Les zones de prélèvement du groupe 2 sont majoritairement au-dessus et proche de l'axe de la dimension 2.

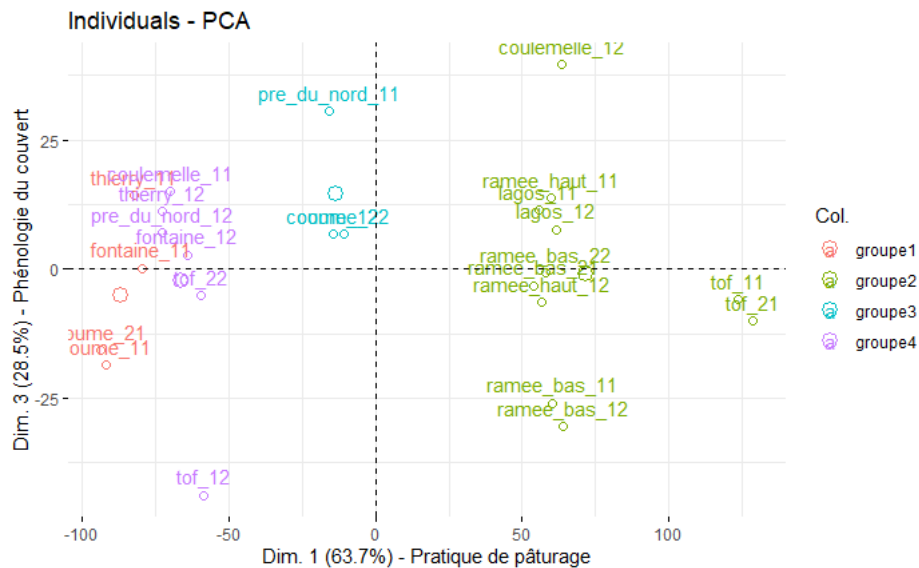


Figure 18: Projection des groupes de zones de prélèvements sur les dimensions 1 et 3 de l'ACP

Sur la figure ci-dessus on remarque que la majorité des individus du groupe 4 sont situés proches et au-dessus de l'axe de la dimension 3. Les individus du groupe 2 sont répartis de part et d'autre de l'axe.

V- DISCUSSION

1. Résultats principaux de l'étude

1.1. Résultats issus de l'analyse

Dans un premier temps, les enquêtes auprès des éleveurs et nos relevés de terrain nous ont permis d'obtenir des informations pour établir un modèle d'estimation du nombre de L3 par kgMS en fonction des caractéristiques des végétations et des pratiques. Cela nous a aussi permis de caractériser les couverts végétaux des parcelles pâturées par les ovins en lien avec les pratiques de pâturage.

Dans un second temps, la méthode de prélèvement de l'herbe et celle mise en place au laboratoire a permis d'obtenir un nombre de L3 par kgMS. Les effectifs obtenus varient de 0 à 613 L3 par kgMS. Nous avons effectué les prélèvements sur une période qui s'avère habituellement propice à la présence de parasites (cf. partie II-3.1). Cependant, nos effectifs sont bas. En effet, bien qu'il n'y ait pas de consensus sur les valeurs limites Chauvin *et al.*, 2009 et Shaw *et al.*, 1997 considèrent qu'une parcelle est fortement infestée pour un nombre de L3 par kgMS supérieur à 1000.

Le faible nombre de L3 par kgMS pourrait s'expliquer par les événements météorologiques ayant eu lieu dans la zone d'étude avant les prélèvements d'herbe. En effet, les mois de mai et juin particulièrement pluvieux (Weatherspark s. d.) ont pu influencer la période propice au développement des L3. Nous pouvons également supposer que les larves présentes sur l'herbe se soient retrouvées au niveau du sol à cause de la percolation. Nos résultats pourraient aussi s'expliquer par l'imprécision de la méthode de prélèvement et de laboratoire mise en place. Par exemple, les nombres de L3 par kgMS ont pu être sous-estimés dû à la complexité de reconnaissance des larves au microscope. Nos échantillons étant encore disponibles, des experts du domaine pourraient effectuer les comptages ; ces experts n'ayant pas pu être disponibles pendant la durée de mon stage.

L'analyse des variables qualitatives entre elles montre qu'il existe des liens entre les variables associées à la caractérisation des parcelles. Certains liens sont évidents comme la présence de fèces sur les zones fortement fréquentées par les animaux ou la présence de sols humides dans les prairies humides. D'autres, nécessiteraient une analyse approfondie pour tirer des conclusions. Par exemple, à la lecture de la littérature, je n'ai pas trouvé d'études explicitant l'impact du type de milieu et de l'humidité du sol sur la précocité de la végétation. Il est connu que le milieu conditionne la présence de certaines espèces végétales (Galliot et Hulien 2020), cependant, il n'est pas montré que les prairies de montagne, les prairies humides et les prés de fauche aient respectivement une végétation à dominance intermédiaire, tardive et précoce. Les résultats tirés de l'analyse pourraient être dû aux similarités des deux fermes supports en termes de localisation. Des jeux de données plus conséquents avec une diversité de fermes et de milieux permettraient d'étudier de façon plus approfondie les liens entre variables. Si les liens identifiés sont confirmés il sera possible de réduire le nombre de variables qualitatives à prendre en compte pour estimer le nombre de L3 par kg de matière sèche sur une parcelle. Cela représentera un gain de temps dans la récolte et l'analyse des données.

D'après les résultats, le nombre de L3 par kgMS est plus élevé sur les parcelles avec de l'ombrage que sur celles sans ombrage. Des études ont montré que la présence d'ombrage sur une parcelle permettait de diminuer la température de 3°C à 6°C pendant les périodes chaudes et inversement pendant les périodes froides (augmentation de 3°C à 6°C) (Béral et al. 2018). Cet effet « tampon » de l'ombrage permettrait le maintien de conditions de température et d'humidité du couvert favorables au développement et à la survie des L3. Dans ce sens, Avram, 2010 a montré que le microclimat en lien avec la température et l'humidité influençaient la charge parasitaire des parcelles. De plus, l'ombrage permet de limiter la quantité de rayonnement UV reçu au niveau du sol. Les L3 sont sensibles aux rayonnements UV (Levine et Todd 1975). Or, nos prélèvements ont eu lieu en été où les temps d'ensoleillement sont les plus importants (Weatherspark s. d.). L'ombrage a donc pu créer

un environnement propice au L3 en protégeant le sol des rayonnements UV et expliquant le nombre de larves plus élevé dans les zones ombragées que dans celles sans ombrage. Pour aller plus loin dans l'interprétation, il faudrait qualifier le microclimat au niveau de la strate herbacée en quantifiant les facteurs climatiques (température, humidité, rayonnement...) à l'aide de capteurs météo placés sur la parcelle.

Le nombre de L3 par kgMS est aussi plus élevé dans des zones fortement fréquentées par les animaux. Dans notre étude, les zones fortement fréquentées sont des zones de couchage. Nos résultats s'expliquent par le fait que sur une parcelle les ovins défèquent le plus dans les zones de couchage (Gruner et al. 1983). Cette relation entre fréquentation par les ovins et nombre de L3 par kgMS a aussi été mise en avant par Gruner *et al.* A priori, ces zones ne sont pas à risque pour les animaux car les ovins évitent de les pâturer (Crofton 1958). Cependant, lorsque la disponibilité en herbe sur la parcelle diminue, les animaux peuvent se rapprocher de ces zones où le nombre de L3 est élevé (Gruner et Sauve 1982). Ainsi, pour diminuer le risque d'infestation, les éleveurs pourraient s'appuyer sur deux leviers :

- Diminuer le temps de séjour sur une parcelle pour ne pas épuiser la disponibilité en herbe et pousser les animaux à s'alimenter à proximité des zones de couchage.
- Faire varier les positions des zones de couchage pour les animaux par le biais de clôtures ou filets. Cela permettrait d'éviter un accès long à ces zones et que les animaux s'y alimentent.

L'analyse des variables quantitatives a permis la mise en place d'un modèle d'estimation du nombre de L3 par kgMS en fonction de la structure de la végétation (phénologie du couvert, hauteur d'herbe, nombre de strates et pourcentage de matière sèche) et des pratiques de pâturage (nombre de jours de pâturage et nombre d'ovins pâturant). Le modèle est globalement significatif avec un risque d'erreur à 6%. Cependant, seuls deux coefficients sont significatifs. L'augmentation du nombre de jeux de données permettra de valider ou non le modèle.

L'estimation du nombre de L3 par kgMS en fonction du nombre de jours de pâturage lors du dernier passage montre que le nombre L3 par kgMS augmente avec le nombre de jours de pâturage. Cette augmentation peut être liée à l'accumulation de matière fécale sur la parcelle plus le nombre de jours de pâturage augmente (Gruner et al. 1983). Nous avons montré que le modèle s'applique pour des durées de pâturage supérieures à 7 jours. Des études montrent que le pâturage tournant avec un temps de séjour de 7 jours maximum par parcelle permet de limiter le risque d'infestation des animaux (Sagot s. d.). Pour les éleveurs utilisant cette pratique, il ne sera pas possible d'estimer la charge parasitaire des parcelles avec ce modèle.

L'estimation du nombre de L3 par kgMS en fonction du pourcentage de matière sèche montre que le nombre de L3 par kgMS diminue lorsque le pourcentage de matière sèche augmente. Ce résultat est en accord avec ceux montrant une diminution du nombre L3 par kgMS lorsque la hauteur d'herbe augmente. En effet, la teneur en matière sèche est corrélée positivement à la hauteur d'herbe mesurée à l'herbomètre (Oudshoorn et al. 2011). Cependant, ces résultats sont en contradiction avec ceux obtenus par Gruner *et al.*, 1983 qui montrent une augmentation du nombre de L3 par kgMS lorsque la hauteur de l'herbe augmente. Sachant que la hauteur de l'herbe permet de maintenir un microclimat favorable aux L3 (Khadijah et al. 2013), il est cohérent que le nombre de L3 soit plus élevé dans les zones avec une végétation haute que dans celles avec une végétation basse. Nous pouvons supposer que les méthodes de récolte de l'herbe et de comptage des L3 mises en place pendant l'étude ne permettent pas d'appréhender correctement le nombre de L3 lorsque l'herbe est haute. Nous pouvons aussi penser que les animaux de nos élevages supports fréquentent moins les zones où l'herbe est haute, il y aurait donc moins de dépôts de fèces. Ces deux hypothèses pourraient expliquer l'incohérence de nos résultats. Par ailleurs, le modèle utilisé est valable pour les valeurs de matière sèche inférieure à 19% et les hauteurs d'herbe inférieures à 10cm. La matière sèche de l'herbe fraîche est comprise en moyenne entre 15 et 30% (Inra 2018) le modèle ne pourra pas s'appliquer à tous les types de prairies.

Le modèle et ses conditions d'application pourront être affinés par des répétitions de l'expérimentation dans une diversité de fermes et de milieux.

Les résultats de l'ACP montrent que les variables quantitatives peuvent être décrites par 3 dimensions. La dimension 1 représente les pratiques de pâturage par la variable « nombre d'ovins au dernier pâturage », la dimension 2 la hauteur de la végétation dans le temps et la dimension 3 correspond à la phénologie du couvert avec les variables « pourcentages en herbe », « graminées » et « feuilles ». La classification ascendante hiérarchique a permis de séparer les zones de prélèvement en 4 groupes par rapport aux variables quantitatives. Le test de Kruskal-Wallis suivi du test de Conover a permis de mettre en évidence une différence de nombre de L3 par kgMS entre le groupe 2 et le groupe 4. Les zones de prélèvement du groupe 2 ont un plus grand nombre de L3 par kgMS que celles du groupe 4. La projection des groupes 2 et 4 sur l'axe de la dimension 1 de l'ACP permet de conclure que le groupe 2 est associé à un nombre d'ovins au dernier pâturage plus élevé que le groupe 4. Ainsi, on peut dire qu'un effectif d'ovins au dernier pâturage élevé est associé à un nombre de L3 élevé. Ces résultats pourraient être reliés à l'accumulation de matière fécale sur la parcelle lorsque le nombre d'ovins au pâturage augmente (Gruner et al. 1983). On pourrait considérer que les parcelles avec un nombre d'ovins au pâturage élevé sont plus à risque que celle avec un nombre faible. Cependant pour qualifier le niveau de risque réel pour le troupeau, le nombre d'ovins au pâturage doit être mis en lien avec la durée du pâturage, le comportement alimentaire et la résistance des animaux aux SGI.

La projection des deux groupes sur l'axe de la dimension 2 de l'ACP montre que le groupe 2 est associé à une végétation plus haute que le groupe 4. On peut donc dire que le nombre de L3 par kgMS dans les zones avec une hauteur de végétation élevée est plus important que celui dans les zones avec une hauteur de végétation faible. Cela s'accorde avec les conclusions obtenues par Gruner *et al.*, 1989 : le nombre de larves de *H. contortus* était plus élevé dans les zones avec une herbe haute (20-30cm) que dans celles où l'herbe était basse (7cm). De plus, ce résultat renforce l'incohérence de nos résultats obtenus grâce au modèle entre le nombre de L3 par kgMS, le pourcentage de matière sèche et la hauteur de l'herbe présenté plus haut. On peut penser que la hauteur d'herbe et par extension le pourcentage de matière sont des facteurs modulant le microclimat de la strate herbacée permettant un maintien des conditions de température et d'humidité favorables aux L3 (Khadijah et al. 2013). Il est donc cohérent d'avoir un nombre de L3 élevé dans les zones avec une hauteur de végétation importante. Pour évaluer le risque d'infestation pour le troupeau, il faudrait s'intéresser au comportement alimentaire des ovins lorsque la végétation est haute sachant que les larves se situent dans les premiers centimètres de la végétation (H. D. Crofton, 1948).

La projection des deux groupes sur l'axe de la dimension 3 de l'ACP ne montre pas de réelles différences entre les groupes. Le groupe 2 est cependant plus réparti que le groupe 4 de part et d'autre de l'axe. On peut penser que la phénologie du couvert avec un facteur caractéristique des zones de groupe 4 contrairement au groupe 2.

1.2. **Vérification des hypothèses émises sur l'impact des végétations et des pratiques sur la charge paritaire des parcelles**

Nous avons obtenu des résultats significatifs pour les variables : « ombrage », « fréquentation par les animaux », « pourcentage de matière sèche », « nombre de jours de pâturage », « nombre d'ovins au dernier pâturage » et « hauteur de l'herbe ». Pour les autres variables nous ne pouvons pas conclure sur les hypothèses.

Le jeu de données disponible possède un faible nombre d'entrées donc les hypothèses émises dans la partie III-2.1 ne peuvent pas être validées mais certains résultats les renforcent. C'est le cas pour les liens entre le nombre de L3 par kgMS et les variables « ombrage », « fréquentation des animaux »,

« nombre de jours de pâturage » et « nombre d'ovins au dernier pâturage ». Le tableau ci-dessous permet de résumer les hypothèses émises et les résultats obtenus lors de notre étude.

Tableau 26: Récapitulatif des hypothèses émises et des résultats significatifs sur les liens entre le nombre de L3 par kgMS et les variables explicatives

Variable	Hypothèse initiale	Résultats obtenus pendant l'étude
Ombre	La présence d'ombre sur une parcelle peut maintenir une certaine humidité au niveau du sol favorisant le développement et la survie des L3. Inversement l'absence d'ombre peut expliquer un faible nombre L3 car le sol est plus sec et les L3 sont exposés aux rayons du soleil	Le nombre de L3 par kgMS est plus élevé dans les zones ombragées
Fréquentation des animaux	- une forte fréquentation des animaux sur une zone suppose un fort taux d'excrétion d'œufs et par extension si les conditions le permettent un grand nombre de L3 sur la zone - une faible fréquentation des animaux sur une zone suppose un faible taux d'excrétion d'œufs et par extension un faible nombre de L3	Le nombre de L3 par kgMS est plus élevé dans les zones fortement fréquentées
Nombre de jour de pâturage	Plus le nombre de jours de pâturage est élevé, plus le nombre de L3 l'est	Le nombre de L3 par kgMS augmente avec le nombre de jours de pâturage
Nombre d'ovins au dernier pâturage	Plus le nombre d'animaux au pâturage est élevé plus le nombre de L3 est important	Le nombre de L3 augmente avec le nombre d'ovins au dernier pâturage

Pour les variables « hauteur de l'herbe » et « pourcentage de matière sèche », les résultats sont mitigés. Pour ces variables l'hypothèse émise est : « L'herbe haute permet de maintenir un microclimat favorable aux L3. Donc les zones avec une hauteur d'herbe élevée et par extension un pourcentage de matière important sont plus propices à un nombre de L3 élevé que les zones avec une hauteur d'herbe basse »

Le modèle linéaire mis en place ne valide pas l'hypothèse. Cependant, les résultats obtenus avec l'ACP et la classification ascendante hiérarchique permettent de la renforcer. Des jeux de données plus conséquents permettront de valider ou non l'hypothèse.

2. Méthode et propositions d'améliorations

2.1. Choix des élevages supports

Le réseau Pâtur'Ajuste a été un bon point de départ pour sélectionner les fermes supports de l'étude. En effet, grâce à l'implication des éleveurs dans le réseau nous avons pu avoir des connaissances initiales sur les systèmes et être en contact avec des éleveurs préoccupés par la gestion du parasitisme. Cependant, ces éleveurs ont un objectif de limitation des antiparasitaires chimiques et mettent en place des solutions alternatives aux intrants médicamenteux. Les deux éleveurs sélectionnés utilisent des traitements aux huiles essentielles sur le troupeau et adaptent les pratiques de pâturage : les temps de séjour sur les parcelles sont courts (entre 2 à 7 jours) et les temps de retour sont longs (plusieurs semaines). Cela peut également expliquer les faibles effectifs de L3 comptés.

De plus, l'échantillon utilisé pour cette étude est limité pour représenter la diversité des pratiques et des milieux en élevage ovin. Par exemple, pendant la période de l'étude nous n'avons pas pu nous intéresser au pâturage des jeunes ou des mères autour de la mise bas. S'intéresser à ces animaux permettrait d'améliorer la compréhension de la capacité de contamination des parcelles par les ovins. Il serait ainsi pertinent pour la continuité du projet d'effectuer des prélèvements sur des fermes plus

diversifiées en termes de pratiques et de végétations.

2.2. Méthode expérimentale

La méthode de prélèvement de l'herbe mise en place a permis d'obtenir des larves de nématodes gastro-intestinaux. Cependant, c'est une méthode chronophage notamment lorsque la végétation est haute. De plus, nos résultats montrent un manque de cohérence par rapport à la variable « hauteur de l'herbe ». Il serait intéressant de modifier la méthode de prélèvement en fonction de la hauteur de l'herbe sur la parcelle. Par exemple, sachant que les L3 se situent à la base l'herbe (H. D. Crofton 1948), le haut de la végétation pourrait ne pas être inclut dans les prélèvements. Cela permettrait de réduire l'effet de dilution de la hauteur d'herbe sur le nombre de L3 et fournir une meilleure estimation de cet effectif. Cependant, pour estimer le risque d'infestation du troupeau par les L3, il ne faut pas négliger l'aspect « hauteur d'herbe » qui influe sur le comportement alimentaire des animaux (Dias-Silva et Filho 2021).

La sélection des zones de prélèvement a permis d'identifier des zones où les végétations et les pratiques étaient différentes. Cependant, pour estimer le risque d'infestation du troupeau par les SGI, nous pourrions réaliser en amont des prélèvements, des observations comportementales du troupeau. En effet, pour s'alimenter les ovins sont sélectifs et se dirigent en priorité vers des zones préférentielles (Dias-Silva et Filho 2021). Cibler ces zones et y effectuer le comptage larvaire permettraient de mieux définir le risque d'infestation du troupeau. Cela sera aussi à mettre en lien avec les pratiques de pâturage et la disponibilité en herbe qui influenceront le comportement des ovins.

Au cours de cette étude, les observations au microscope des nématodes ont mis en évidence la complexité de la reconnaissance morphologique des SGI. C'est un processus chronophage et qui nécessite une expertise. Pour faciliter l'identification des SGI il serait possible de s'appuyer sur des méthodes de PCR (polymerase chain reaction). Ces méthodes permettent une identification rapide et fiable des nématodes gastro-intestinaux (Reslova et al. 2021).

2.3. Méthode d'analyse statistique

Au cours de ce mémoire, j'ai pu mettre en place une méthode d'analyse statistique du nombre de L3 en fonction des caractéristiques de la végétation et des pratiques de pâturage. J'ai ainsi réalisé un code R applicable à l'ensemble des données récoltées. J'ai effectué l'analyse sur les variables qualitatives et quantitatives de façon indépendante. Par manque de temps, je n'ai pas pu intégrer les interactions entre ces types de variables. Pour avoir une compréhension d'ensemble des facteurs influençant le nombre de L3 par kgMS il serait possible d'effectuer une AFP.

De plus, un certain nombre de variables n'a pas pu être intégré à l'étude par manque de données. Dans la continuité du projet et pour affiner les analyses effectuées il sera nécessaire de compléter les jeux de données. Par exemple nous pourrions intégrer à l'analyse des variables quantitatives, l'état parasitaire initial de la parcelle en prenant en compte le pouvoir excréteur des animaux et les résultats de coproscopie à l'entrée et à la sortie des parcelles. Ces informations pourraient aussi être intégrées à des modèles de dynamique des populations de parasites existants comme le modèle GLOWORM pour évaluer le risque d'infestation d'une parcelle. Ce modèle permet de prédire à partir du nombre d'œufs par gramme de fèces et du poids de l'animal, l'évolution de la charge parasitaire en fonction des conditions météorologiques et des caractéristiques biologiques du parasite (Rose et al. 2015).

Enfin, au cours de l'étude, nous n'avons pas pu collecter les informations relatives au microclimat de la strate herbacée. Cela pourra constituer l'objectif d'un travail futur pour comprendre comment les végétations influencent le microclimat et favorisent ou non la présence de nématodes gastro-intestinaux. Il existe des études sur l'impact de la température, l'humidité, les rayonnements UV et la

V - Discussion

vitesse du vent sur la survie et le développement des SGI (Besier et al. 2016 ; Dijk et al. 2009 ; Krecek et al. 1992). Toutes s'accordent à montrer que ces paramètres influencent le cycle développement des SGI. Cependant, ces études ont été effectuées en conditions de laboratoire et ne reflètent pas de la complexité des interactions entre ces paramètres en conditions réelles. Continuer le projet présenté dans ce mémoire, en intégrant ces paramètres permettrait d'étudier l'effet du microclimat en conditions réelles sur la charge parasitaire.

CONCLUSION

Par l'identification des interactions entre les caractéristiques des végétations, les pratiques et la charge parasitaire en L3 de SGI des parcelles, la poursuite de notre étude contribuera à une meilleure compréhension des mécanismes complexes régissant ces interactions en vue de l'exploration des stratégies possibles pour une gestion agroécologique du parasitisme gastro-intestinal chez les ovins.

Les résultats obtenus ont permis de renforcer certaines hypothèses tout en soulignant la complexité des interactions en conditions réelles entre caractéristiques des végétations, pratiques et charge parasitaire. Même si nos résultats nécessitent d'être approfondis par un nombre de données plus important, ils permettent d'apporter les premières pistes de recherche par rapport à l'estimation de la charge parasitaire des parcelles en conditions réelles d'élevage. La poursuite de cette étude permettra d'identifier des indicateurs pour estimer la charge parasitaire d'une parcelle et le risque d'infestation du troupeau. Ces indicateurs pourront être intégrés dans des arbres d'aide à la décision pour permettre aux acteurs de l'élevage de comprendre comment évolue la charge parasitaire des parcelles et de proposer des stratégies de lutte adaptées. En ce sens, cette étude s'intègre pleinement dans les travaux de recherche sur la gestion de la santé animale par le pâturage.

Néanmoins, la mise en œuvre concrète en élevage fait face à plusieurs barrières sociotechniques, notamment quant à l'intérêt que les éleveurs pourraient porter à la question de réduction de l'usage d'antiparasitaires par le pâturage. D'autres sujets, tels que l'adaptation au changement climatique peuvent apparaître plus prioritaires aux yeux des éleveurs. De tels freins renforcent le besoin d'aboutir à des références qui soient facilement applicables par les éleveurs en routine dans la gestion du troupeau. Cette intégration nécessitera une collaboration étroite entre la recherche et les éleveurs.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Abbott, K. A., et M. Taylor. 2012. *A Technical Manual for Veterinary Surgeons and Advisers SUSTAINABLE WORM CONTROL STRATEGIES FOR SHEEP 4th Edition Sustainable Control of Parasites in Sheep*.
- Avram, Eugeniu. 2010. « Effect of microclimate on the distribution of L3 of gastrointestinal nematodes of cattle on pastures from Satu-Mare County, Romania ». *Sci Parasitol* 11(2):83-87.
- Bath, G. F. 2014. « The “BIG FIVE” - A South African perspective on sustainable holistic internal parasite management in sheep and goats ». *Small Ruminant Research* 118(1-3):48-55. doi: 10.1016/j.smallrumres.2013.12.017.
- Beasley, A. M., L. P. Kahn, et R. G. Windon. 2010. « The periparturient relaxation of immunity in Merino ewes infected with *Trichostrongylus colubriformis*: Parasitological and immunological responses ». *Veterinary Parasitology* 168(1-2):60-70. doi: 10.1016/j.vetpar.2009.08.028.
- Béral, C., D. Andueza, C. Ginane, M. Bernard, F. Liagre, Girardin, J. C. Emile, S. Novak, D. Grandgirard, V. Deiss, D. Bizeray, J. C. Moreau, Pottier, M. Thiery, A. Rocher, et ADEME. 2018. *Agroforesterie en système d'élevage ovin : étude de son potentiel dans le cadre de l'adaptation au changement climatique. Synthèse*.
- Besier, R. B., L. P. Kahn, N. D. Sargison, et J. A. Van Wyk. 2016. « The Pathophysiology, Ecology and Epidemiology of *Haemonchus contortus* Infection in Small Ruminants ». *Advances in Parasitology* 93:95-143. doi: 10.1016/bs.apar.2016.02.022.
- Beynon, S. A. 2012. « Potential environmental consequences of administration of anthelmintics to sheep ». *Veterinary Parasitology* 189:113-24. doi: 10.1016/j.vetpar.2012.03.040.
- Bordes, Léa. 2022. « Approche intégrée du contrôle des strongyloses gastro-intestinales chez les ovins en région Nouvelle-Aquitaine ». Thèse en vue de l'obtention du doctorat de l'université de Toulouse, Université Toulouse 3 - Paul Sabatier.
- Cabaret, J. 2004. « Parasitisme helminthique en élevage biologique ovin réalités et moyens de contrôle ». *INRA Productions animales* 145-54.
- Cabaret, J. 2017. « Parasitisme interne des ruminants (strongles) et utilisation du pâturage : comment faire durablement bon ménage ? » *Fourrages* 229:37-45.
- Carneiro, R. D., et A. F. T. Amarante. 2008. *Seasonal effect of three pasture plants species on the free-living stages of Haemonchus contortus*.
- Chambre d'agriculture d'Ariège. s. d. *Bien gérer le parasitisme*.
- Chartier, C., I. Pors, J. Hubert, D. Rocheteau, C. Benoit, et N. Bernard. 1998. « Prevalence of anthelmintic resistant nematodes in sheep and goats in Western France ». *Small Ruminant Research* 29:33-41.
- Chauvin, A., F. Manolaraki, C. Arroyo Lopez, et H. Hoste. 2009. *Le risque parasitaire au pâturage et sa maîtrise*.
- Chroust, T. 1997. « Control of gastrointestinal helminthiasis in pasture-reared lambs ».
- Crofton, H. D. 1948. « The ecology of immature phases of trichostrongyle nematodes. 1. The vertical distribution of infective larvae of trichostrongylus retortaeformis in relation to their habitat ». *Parasitology* 39:17-26.
- Crofton, H. D. 1958. « Nematode parasite populations in sheep on lowland farms. VI Sheep behaviour and nematode infections ». P. 251-61 in *Parasitology*. Vol. 48.
- Crofton, H. D. 1948. « The ecology of immature phases of trichostrongyle nematodes. 3. Larval populations on hill pastures ». *Parasitology* 39:273-80.
- Dias-Silva, Tairon Pannunzio, et Adibe Luiz Abdalla Filho. 2021. « Sheep and goat feeding behavior profile in grazing systems ». *Acta Scientiarum - Animal Sciences* 43(1):1-10.
- Dijk, J. van, M. D. E. de Louw, L. P. A. Kalis, et E. R. Morgan. 2009. « Ultraviolet light increases mortality of nematode larvae and can explain patterns of larval availability at

- pasture ». *International Journal for Parasitology* 39:1151-56. doi: 10.1016/j.ijpara.2009.03.004.
- Dilrukshi Herath, H. M. P., Aya C. Taki, et al. 2021. « Advances in the discovery and development of anthelmintics by harnessing natural product scaffolds ». P. 203-51 in *Advances in Parasitology*. Vol. 111. Academic Press.
- Dumont, B., L. Fortun-Lamothe, M. Jouven, M. Thomas, et M. Tichit. 2013. « Prospects from agroecology and industrial ecology for animal production in the 21st century ». *Animal* 7(6):1028-43. doi: 10.1017/S1751731112002418.
- Emery, David L., Peter W. Hunt, et Leo F. Le Jambre. 2016. « Haemonchus contortus: the then and now, and where to from here? » *International Journal for Parasitology* 46(12):755-69.
- Ferreira, Luis E., Bruno I. Benincasa, Ana L. Fachin, Suzelei C. França, Silvia S. H. T. Contini, Ana C. S. Chagas, et Rene O. Beleboni. 2016. « Thymus vulgaris L. essential oil and its main component thymol: Anthelmintic effects against Haemonchus contortus from sheep ». *Veterinary Parasitology* 228:70-76. doi: 10.1016/j.vetpar.2016.08.011.
- Galliot, Jean-Noël, et Sophie Hulien. 2020. *Typologie multifonctionnelle des prairies du massif central*.
- Geurden, Thomas, Herve Hoste, Philippe Jacquet, Donato Traversa, Smaragda Sotiraki, Antonio Frangipane di Regalbono, Nikolaos Tzanidakis, Despoina Kostopoulou, Christie Gaillac, Simon Privat, Annunziata Giangaspero, Claudia Zanardello, Laura Noé, Bindu Vanimisetti, et David Bartram. 2014. « Anthelmintic resistance and multidrug resistance in sheep gastro-intestinal nematodes in France, Greece and Italy ». *Veterinary Parasitology* 201:59-66. doi: 10.1016/j.vetpar.2014.01.016.
- Gevrey, J., et Thérèse Lestra. 1970. *Etude du peuplement d'une prairie naturelle par les larves infestantes de « strongles » parasites du tractus digestif des ovins. II- Déplacements larvaires verticaux*. Vol. 1.
- Greer, A. W., et J. C. Hamie. 2016. « Relative maturity and the development of immunity to gastrointestinal nematodes in sheep: An overlooked paradigm? » *Parasite Immunology* 38(5):263-72. doi: 10.1111/pim.12313.
- Gruner, L., P. Berbigier, J. Cortet, et C. Sauve. 1989. « Effects of irrigation on appearance and survival of infestive larvae of goat gastro-intestinal nematodes in Guadeloupe (French west indies) ». *International Journal for Parasitology* 19(4):409-15.
- Gruner, L., Nicole Bouley, D. Hubert, H. Mauléon, et Christine Sauvé. 1983. « Caractérisation des zones à risque parasitaires pour des ovins élevés en liberté sur les parcours des causses 1. Méthodologie d'études et application aux strongles gastro-intestinaux ». *Annales de Recherches Vétérinaires* 14(3):287-300.
- Gruner, L., et Christine Sauve. 1982. « The distribution of trichostrongyle infective larvae on pasture and grazing behaviour in calves ». *Veterinary Parasitology*, 203-13.
- Helal, Mohamed A., Ahmed M. Abdel-Gawad, Omnia M. Kandil, Marwa M. E. Khalifa, Gareth W. V. Cave, Alison A. Morrison, David J. Bartley, et Hany M. Elsheikha. 2020. « Nematocidal effects of a coriander essential oil and five pure principles on the infective larvae of major ovine gastrointestinal nematodes in vitro ». *Pathogens* 9(740). doi: 10.3390/pathogens9090740.
- Hempel, Hella, Adam Scheffczyk, Hans-Joachim Schallna, Jean-Pierre Lumaret, Michel Alvinerie, et Jorg Rombke. 2006. « Toxicity of four veterinary parasiticides on larvae of the dung beetle Aphodius Constans in the laboratory ». *Environmental Toxicology and Chemistry* 25(12):3155-63.
- Hoste, H., J. Cabaret, G. Grosmond, et J. P. Guitard. 2009. « Alternatives aux traitements anthelminthiques en élevage biologique des ruminants ». *Inra Productions animales* 22(3):245-54.
- Inra. 2018. *Alimentation des ruminants*. Editions Quae. Versailles, France.
- Jacquet P, Aguerre S, Ruiz-Huidobro C, Grisez C, Prévot F, Milhes M, Sagot L, Astruc JM, Fidelle F, Vial-Novella C, et Moreno C. 2018. « Comment lutter contre les strongles gastro-

intestinaux résistants ? »

- Jacquet, Philippe, Léa Bordes, et al. 2022. *Lutte contre les strongles digestifs : Une nouvelle donne, de nouvelles pratiques, des perspectives prometteuses*.
- Jacquet, Philippe, Francis Fidelle, et al. 2014. « Etat des lieux résistance anthelminthiques en France, chez les ovins ». *Le nouveau praticien vétérinaire élevage et santé* 7.
- Jouven, Magali, Fabien Stark, et Charles-Henri Moulin. 2022. « Agroécologie, élevage et changement climatique ». *Viandes et produits carnés*.
- Khadijah, S., L. P. Kahn, S. W. Walkden-Brown, J. N. Bailey, et S. F. Bowers. 2013. « Translation of *H. contortus* and *T. colubriformis* from egg to establishment in grazing sheep is unaffected by rainfall timing, rainfall amount and herbage height under conditions of high soil moisture in the Northern Tablelands of NSW ». *Veterinary Parasitology* 197(1-2):204-11. doi: 10.1016/j.vetpar.2013.06.003.
- Knoll, Stephane, Giorgia Dessì, Claudia Tamponi, Luisa Meloni, Lia Cavallo, Naunain Mehmood, Philippe Jacquet, Antonio Scala, Maria Grazia Cappai, et Antonio Varcasia. 2021. « Practical guide for microscopic identification of infectious gastrointestinal nematode larvae in sheep from Sardinia, Italy, backed by molecular analysis ». *Parasites and Vectors* 14(505). doi: 10.1186/s13071-021-05013-9.
- Kollmann, Albert, Isabelle Touton, Agathe Brault, Michel Alvinerie, Pierre Galtier, et Christian Mougin. 2003. « Effect of the endectocide ivermectin on filamentous fungi ». *Environmental Chemistry Letters* 1(4):215-18. doi: 10.1007/s10311-003-0049-0.
- Krecek, R. C., I_ H. T. Groeneveld, et J. I. Maritz. 1992. « A Preliminary study of the effect of microclimate on third-stage larvae of *Haemonchus contortus* and *Haemonchus Placei* on irrigated pasture ». *International Journal for Parasitology* 22(6):747-52.
- Krecek, R. C., R. Hartman, H. T. Groeneveld, et A. Thorne. 1995. *Microclimatic effect on vertical migration of Haemonchus contortus and Haemonchus placei third-stage larvae on irrigated Kikuyu pasture*. Vol. 62.
- Lescarret, Anne-Laure. 2019. « Relation entre le microbiote ruminal et le parasitisme gastro-intestinal chez 2 lignées divergentes de moutons résistante et sensible aux strongles digestifs ». Thèse d'exercice, Médecine vétérinaire, Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse - ENVT.
- Levine, N. D., et K. S. Todd. 1975. *Micrometeorological Factors Involved in Development and Survival of Free-Living Stages of the Sheep Nematodes Haemonchus contortus and Trichostrongylus colubriformis. A Review**. Vol. 19.
- Mavrot, F. 2016. « Livestock Nematode Infection in a Changing World: Investigating the European Situation ». PhD thesis, Universität Zürich.
- Mavrot, Fabien, Hubertus Hertzberg, et Paul Torgerson. 2015. « Effect of gastro-intestinal nematode infection on sheep performance: A systematic review and meta-analysis ». *Parasites and Vectors* 8(557).
- McFarland, Christopher, Hannah Rose Vineer, Lauren Chesney, Nicole Henry, Claire Brown, Paul Airs, Christine Nicholson, Nigel Scollan, Francis Lively, Ilias Kyriazakis, et Eric R. Morgan. 2022. « Tracking gastrointestinal nematode risk on cattle farms through pasture contamination mapping ». *International Journal for Parasitology* 52(10):691-703. doi: 10.1016/j.ijpara.2022.07.003.
- McKenna, P. B. 1987. « The estimation of gastrointestinal strongyle worm burdens in young sheep flocks: a new approach to the interpretation of faecal egg counts. I - Development ». *New Zealand Veterinary Journal* 35(6):94-97. doi: 10.1080/00480169.1987.35396.
- McKenna, P. B., et B. H. Simpson. 1987. « The estimation of gastrointestinal strongyle worm burdens in young sheep flocks: a new approach to the interpretation of faecal egg counts. II- Evaluation ». *New Zealand Veterinary Journal* 35(6):98-100. doi: 10.1080/00480169.1987.35397.
- Min, B. R., et S. P. Hart. 2003. « Tannins for suppression of internal parasites ». *Animal Science*.
- Mougin, Christian, Albert Kollmann, Jacqueline Dubroca, Paul Henri Ducrot, Michel Alvinerie,

- et Pierre Galtier. 2003. « Fate of the veterinary medicine ivermectin in soil ». *Environmental Chemistry Letters* 1(2):131-34. doi: 10.1007/s10311-003-0032-9.
- Naeem, Muhammad, Zahid Iqbal, et Nabila Roohi. 2021. « Ovine haemonchosis: a review ». *Tropical Animal Health and Production* 53(19). doi: 10.1007/s11250-020-02439-8.
- O'Connor, Lauren J., Stephen W. Walkden-Brown, et Lewis P. Kahn. 2006. « Ecology of the free-living stages of major trichostrongylid parasites of sheep ». *Veterinary Parasitology* 142(1-2):1-15.
- Oudshoorn, F. W., S. F. Hansson, et H. Hansen. 2011. « Calibration of the C-Dax Pasture Meter in a Danish grazing system ». *Grassland Science in Europe* 16:166-68.
- Reslova, Nikol, Lucie Skorpikova, Iveta Angela Kyrianova, Jaroslav Vadlejch, Johan Höglund, Philip Skuce, et Martin Kasny. 2021. « The identification and semi-quantitative assessment of gastrointestinal nematodes in faecal samples using multiplex real-time PCR assays ». *Parasites and Vectors* 14(1). doi: 10.1186/s13071-021-04882-4.
- Rose, Hannah, Tong Wang, Jan van Dijk, et Eric R. Morgan. 2015. « GLOWORM-FL: A simulation model of the effects of climate and climate change on the free-living stages of gastro-intestinal nematode parasites of ruminants ». *Ecological Modelling* 297:232-45. doi: 10.1016/j.ecolmodel.2014.11.033.
- Sagot, Laurence. s. d. *Pâturage cellulaire et parasitisme en production ovine : bilan de deux campagnes de suivi*.
- Saha, S., et S. Lachance. 2020. « Effect of essential oils on cattle gastrointestinal nematodes assessed by egg hatch, larval migration and mortality testing ». *Journal of Helminthology* 94(e111):1-7. doi: 10.1017/S0022149X19001081.
- SCOPELA. 2018. *Faire évoluer la végétation par les pratiques*.
- SCOPELA. 2022. « Une manière d'aborder la maîtrise du risque parasitaire interne des ruminants au pâturage. » in *De retour des pâtures*. Vol. 6.
- Shaw, D. J., J. Vercruysse, E. Claerebout, J. Agneessens, et P. Dorny. 1997. « Gastrointestinal nematode infections of first-season grazing calves in Belgium: general patterns and the effect of chemoprophylaxis ». *Veterinary Parasitology* 69:103-16.
- Singhal, K. C., Rashmi Agrawal, et K. G. Varshney. 1983. « Influence of moisture and porosity of soil on the transformation of *Haemonchus contortus* eggs to infective larvae ». *Indian Journal of Parasitology* 7(1):65-67.
- Singhal, K. C., P. Rai, R. Kumar, et M. Ajmal. 1981. « Influence of soil matrix on the development of *Haemonchus contortus* eggs to infective larvae ». *Indian Journal of Parasitology* 5(1):101-3.
- Sykes, A. R., et R. L. Coop. 2001. « Interaction between nutrition and gastrointestinal parasitism in sheep ». *New Zealand Veterinary Journal* 49(6):222-26. doi: 10.1080/00480169.2001.36236.
- Taylor, E. L. 1939. « Technique for the estimation of pasture infestation by strongyloid larvae ». *Parasitology* 31(4):473-78.
- Veglia, Frank. s. d. *The Anatomy and Life-History of the Haemonchus Contortas (Rud)*.
- Verschave, S. H., B. Leveck, L. Duchateau, J. Vercruysse, et J. Charlier. 2015. « Measuring larval nematode contamination on cattle pastures: Comparing two herbage sampling methods ». *Veterinary Parasitology* 210(3-4):159-66. doi: 10.1016/j.vetpar.2015.03.031.
- Weatherspark. s. d. « Climate and Average Weather Year Round in Foix ». Consulté le 24 août 2023 (<https://weatherspark.com/y/46012/Average-Weather-in-Foix-France-Year-Round>).
- Van Wyk, J. A., et E. Mayhew. 2013. « Morphological identification of parasitic nematode infective larvae of small ruminants and cattle: A practical lab guide ». *Onderstepoort Journal of Veterinary Research* 80(1). doi: 10.4102/ojvr.v80i1.539.
- Zajac, Anne M. 2006. « Gastrointestinal Nematodes of Small Ruminants: Life Cycle, Anthelmintics, and Diagnosis ». *Veterinary Clinics of North America - Food Animal Practice* 22(3):529-41.

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Cycle biologique des parasites gastro-intestinaux (Abbott & Taylor, 2012 ; Besier et al., 2016)	15
Figure 2: Conditions de température et d'humidité pour le développement et la survie des œufs de <i>H. contortus</i> (1. (Besier et al., 2016), 2. (Bordes, 2022), 3. (Veglia, s. d.)). HR = humidité relative de l'air et T= température	17
Figure 3 : Impact de l'exposition aux UV sur la survie et le développement des œufs de <i>H. contortus</i> (1. (Levine & Todd, 1975), 2. (Dijk et al., 2009))	17
Figure 4: Gradients représentant l'impact de l'humidité des fèces sur la survie et le développement des œufs de <i>H. contortus</i> (Besier et al., 2016)	17
Figure 5: Conditions de température et d'humidité pour la survie et la montée sur l'herbe des larves infestantes de <i>H. contortus</i> (1. (Besier et al., 2016), 2. (Singhal et al., 1981), 3. (Krecek et al., 1995))	18
Figure 6: Dynamique de l'infestation des parcelles par les SGI (Abbott & Taylor, 2012).....	18
Figure 7: Schéma bilan des informations à relever pour la réalisation de l'étude.....	20
Figure 8: Transects en W sur une zone de prélèvement (en rouge et bleu les trajets respectifs des personnes collectrices).	29
Figure 9 : Photographies au microscope (x100) d'un nématode libre (à gauche) et d'une phase L3 de SGI (à droite)	30
Figure 10 : Apparence d'un stade L3 de SGI. En haut, schéma d'un strongle gastro-intestinal : a-longueur totale, b-portion distale, c-filament (<i>Drawn from Borgsteede, F.H.M. & Hendriks, J., 1974, identification of infective larvae of gastrointestinal nematodes in cattle, Tijdschrift Diergeneeskunde</i> 99, 103–113). En bas photographie au microscope (x100) d'un strongle gastro-intestinal.....	31
Figure 11 : Matrice de corrélation entre les variables quantitatives	39
Figure 12: Représentation du nombre de L3 prédit par le modèle en fonction du nombre de jours de pâturage.....	41
Figure 13 : Diagramme de Pareto de l'ACP. Ligne à 95% de variabilité	42
Figure 14: Dendrogramme des zones de prélèvement étudiées.....	43
Figure 15: Représentation de l'inertie des données en fonction du nombre de classe.....	44
Figure 16 : Répartition des zones de prélèvement en 4 classes (rectangles bleus)	44
Figure 17 : Projection des groupes de zones de prélèvements sur les dimensions 1 et 2 de l'ACP ...	45
Figure 18: Projection des groupes de zones de prélèvements sur les dimensions 1 et 3 de l'ACP	46

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Objectifs et critères vérifiés lors des enquêtes auprès des éleveurs	22
Tableau 2: Bilan d'enquête auprès d'un éleveur	23
Tableau 3: Zones de prélèvement sélectionnées en fonction des objectifs	25
Tableau 4: Variables associées aux caractéristiques des parcelles et des végétations	26
Tableau 5: Variables associées aux pratiques de pâturage et d'entretiens des parcelles	27
Tableau 6: Variables associées à l'état sanitaire des animaux pâturant	28
Tableau 7: Variables associées au microclimat de la strate herbacée	28
Tableau 8: Recueil des caractéristiques des parcelles et de la végétation	32
Tableau 9: Recueil des données associées aux pratiques	33
Tableau 10: Résultats significatifs des tests du chi-2 effectués sur les paires de variables qualitatives	36
Tableau 11 : Résidus du test du Chi2 entre la variable humidité du sol et le type de milieu	36
Tableau 12: Représentation des variables où les modalités de "Humidité du sol" sont les plus présentes	37
Tableau 13: Représentation des variables où les modalités de "Exposition" sont les plus présentes	37
Tableau 14: Représentation des variables où les modalités de "Type de milieu" sont les plus présentes	37
Tableau 15 : Représentation des variables où les modalités de "Saisonnalité" sont les plus présentes	37
Tableau 16 : Représentation des variables où les modalités de "Fréquentation par les animaux" sont les plus présentes	37
Tableau 17: Représentation des variables où les modalités de "Précocité" sont les plus présentes	37
Tableau 18: Résultats Conover test pour la variable précocité (* = résultat significatif)	38
Tableau 19: Résultats Conover test pour la variable ombrage (* = résultat significatif)	38
Tableau 20 : Résultats Conover test pour la variable fréquentation par les animaux (* = résultat significatif)	38
Tableau 21: Interactions entre variables prises en compte dans le modèle	40
Tableau 22 : Intervalles de variations des valeurs des variables du modèle	41
Tableau 23: résultats des conditions d'application du modèle	42
Tableau 24 : Contribution et qualité de représentation des variables aux dimensions de l'ACP	43
Tableau 25 : résultats du test de Conover entre le nombre de L3 par kgMS et les groupes de parcelles identifiés par l'ACP (* = résultats significatifs)	45
Tableau 26: Récapitulatif des hypothèses émises et des résultats significatifs sur les liens entre le nombre de L3 par kgMS et les variables explicatives	50

ANNEXES

Annexe 1 : Guide d'enquête pour la sélection des fermes supports

Légende :

- ❖ *Questions principales à poser*
- 1) *Sous-questions, précisions d'informations*

Objectifs de cette première phase d'enquête :

Déterminer si l'élevage enquêté correspond à nos critères d'échantillonnage (proximité de l'éleveur, élevage en ovin lait ou ovin viande, parcelles pâturées uniquement par la troupe ovine, antécédents avec des strongles gastro-intestinaux récents, dernier passage : pâturage en fin d'hiver ou début printemps, parcellaire pour le pâturage diversifié dont au moins une zone humide)

Certaines questions seront davantage détaillées dans la 2^{ème} phase d'enquête, notamment concernant le calendrier de pâturage, le détail des parcelles pâturées par les animaux (surface, chargement, type de végétation pâturée), la classification des parcelles par l'éleveur, les périodes les plus à risque pour les animaux d'un point de vue parasitisme, potentiel excréteur des animaux, détail des caractéristiques des végétations par parcelles

Modalités d'enquête :

Enquête téléphonique
Temps estimé : 40 min

PRESENTATION DU PROJET

Premier contact avec l'éleveur au téléphone, mise en confiance, icebreaker

Texte introductif :

- *Merci d'avoir répondu positivement à notre requête*
- *Ma présentation : « Bonjour, je suis Gwendoline stage pour l'INRAE et SCOPELA etc... »*
- *Revenir sur le mail envoyé*
- *Repréciser rapidement le projet et le protocole (expliquer le but de l'étude et ce qu'on a envie de faire)*
- *Dire que à la suite de cette enquête on va sélectionner 2 élevages pour faire des prélèvements dans l'été (préciser les dates) et demander si c'est ok pour lui et le temps qu'il peut nous accorder pendant ces périodes*
- ❖ **Pourquoi avoir accepté de participer à notre étude ? Avez-vous eu des problèmes d'infestation récents ? qu'est-ce qu'il vous intéresse sur le projet et quelles sont vos attentes à l'issue de celui-ci ?**

Informations attendues :

- *Positionnement et attentes de l'éleveur par rapport au projet*
- *Raison de la participation au projet*
- *Savoir si l'éleveur est ok pour la visite de ferme + les prélèvements*

L'ELEVEUR ET ORIENTATION DE LA FERME

Objectif : Comprendre rapidement l'orientation de la ferme et le positionnement de l'éleveur par rapport à la gestion du parasitisme. La première question permet de lancer la discussion et de créer une relation de confiance avec l'éleveur, en fonction des dires de l'éleveur certaines questions dans la suite du guide auront pu déjà être évoquées.

- ❖ **Pour commencer, pouvez-vous vous décrire ainsi que votre exploitation ?**
- ❖ **Aujourd'hui quelle est votre principale préoccupation sur l'exploitation ? Où placez-vous la gestion sanitaire du parasitisme ?**

Informations attendues :

- Nombre de personne travaillant sur l'exploitation
- Type d'activité : ovin lait / ovin viande
- Grandes orientations stratégiques du système, objectifs et préoccupations de l'éleveur
- Positionnement de la gestion sanitaire du parasitisme dans les préoccupations de l'éleveur

L'ELEVAGE

Objectif : savoir quels sont les animaux présents sur la ferme. Comprendre rapidement comment l'éleveur organise l'allotement. Connaître les périodes où les animaux sont mis à l'extérieur pour vérifier le critère « pâturage en fin d'hiver ou début printemps »

- ❖ **Quelle est la race des animaux présents sur la ferme ?**
- ❖ **Combien en moyenne possédez-vous d'animaux ?**
- ❖ **Organisez-vous le pâturage en lot ?**
- ❖ **(Si oui) Comment faites-vous les lots au pâturage ?**
- ❖ **Possédez-vous un calendrier de pâturage pour la gestion de l'alimentation du troupeau ?**
- ❖ **(Si oui) Est-ce qu'il serait possible de me l'envoyer ?**
- ❖ **Quelles sont les grandes périodes de pâture pour vos animaux ?**

Informations attendues :

- Race des animaux
- Nombre de mère
- Nombre d'agneaux
- Nombre de lot
- Constitution des lots et raisons
- Possession d'un calendrier de pâturage
- Savoir si des parcelles ont été pâturées en fin d'hiver et / ou début de printemps. Si oui, quels types de parcelles

LE PARASITISME SUR LA FERME

Objectif : savoir si l'éleveur à connu des problèmes plus ou moins récents en lien avec le parasitisme. Préciser les stratégies mises en place en lien avec le parasitisme. Vérifier le critère « antécédents avec des strongles gastro-intestinaux »

- ❖ **Quels ont été les problèmes sanitaires de votre troupeau ces dernières années ?**
- ❖ **Plus précisément, avez-vous eu des infections de parasites gastro-intestinaux récemment ? (2 ans)**
 - 1) A quand remonte la dernière infection ?
 - 2) Comment l'avez-vous su ?
 - 3) Avez-vous effectué des tests en laboratoires ? *(Lesquels, qu'est ce qui a été recherché pendant ces tests)*
- ❖ **(Si oui) Quels parasites ? Sur quels animaux ? (Âge, stade physio, nombre d'animaux) et comment cela a-t-il impacté votre activité ? (Pertes économique, pertes de production etc...)**
- ❖ **(Si oui) Avez-vous associé ces problèmes avec des types de parcelles, des modalités de pâturage ?**
- ❖ **(Si oui) Qu'avez-vous fait lorsque vous avez remarqué l'infestation ?**
 - 1) Avez-vous traité vos animaux ? *(Si oui, avec quoi ? Quand ? Pendant combien de temps ? Sur quels animaux ?)*
 - 2) Avez-vous modifié vos pratiques ?
- ❖ **(Si non) Depuis combien de temps n'avez-vous pas eu de problème ? De quand date votre dernier problème ?**
- ❖ **(Si non) Comment pouvez-vous l'expliquer ?**
 - 1) Réalisez-vous des traitements préventifs ? *(Si oui, avec quoi ? Quand ? sur quels animaux ?)*
 - 2) Ajustez-vous vos pratiques de pâturage en fonction du parasitisme ?

Informations attendues :

- Problèmes sanitaires du troupeau
- Date de la dernière infection par des SGI
- Tests effectués pour diagnostiquer l'infection
- Contamination par les strongles : sur quels animaux (âge, stade physio, nombre d'animaux), par quels parasites, impact du parasitisme sur l'activité
- Hypothèses de l'éleveur sur les raisons de la contamination
- Moyens mis en place pour lutter contre le parasitisme : traitements (lesquels, quand, pendant combien de temps, sur quels animaux), gestion du pâturage

LES PARCELLES

Objectif : Comprendre rapidement s'il existe une diversité des parcelles pâturée sur l'exploitation. Si oui, lesquelles. Vérifier le critère « parcellaire diversifié avec au moins une zone humide »

- ❖ **Quelle est votre SFP ?** (*SFP : surface fourragère pâturée*)
 - ❖ **Combien possédez-vous de parcelles ? Et combien sont destinées au pâturage des animaux ?**
 - ❖ **Combien d'animaux faites-vous pâturer par parcelle ? Connaissez-vous les chargements de vos parcelles ?**
 - 1) (Si oui) Quel est le chargement moyen ?
 - 2) (Si oui) Y a-t-il une période dans l'année où le chargement est le plus élevé ?
 - ❖ **Vos parcelles pâturées sont-elles diversifiées ?** (*En termes de surface, exposition, accès, type de végétation etc...*)
 - 1) Quels types de parcelles possédez-vous ? (*Prairies, landes, bois, zones humides etc...*)
 - 2) Vos parcelles sont-elles très hétérogènes ? (*En termes de végétations, exposition, sols etc...*)
 - ❖ **(Si plusieurs lots) Est-ce que tous les lots pâturent les mêmes parcelles ? Ou est-ce que certaines parcelles sont spécifiques à certains lots ? Pourquoi ?**
 - ❖ **(Si plusieurs lots) Comment sont attribuées les parcelles à pâturer aux différents lots ?**
- Le but des 2 questions suivantes est de voir si de façon globale (sans rentrer dans les détails) l'éleveur estime la charge parasitaire de ses parcelles et le risque d'infection de ses animaux*
- ❖ **Etablissez-vous un classement de vos parcelles en fonction du risque parasitaire qu'elles représentent pour votre troupeau ?**
 - ❖ **(Si oui) Sur quoi vous basez vous pour effectuer ce classement ?**

Informations attendues :

- Nombres de parcelles et surface
- Nombres de parcelles destinées au pâturage
- Types de parcelles pâturées présentes sur l'exploitation : prairies / landes / bois / zones humides etc...
- Types de parcelles allouées au pâturage des animaux et pourquoi
- Diversité des parcelles en termes de surface, taille, exposition, accès, type de végétation etc...
- Existence d'un classement des parcelles en fonction du risque parasitaire

CONCLUSION ENQUETE

Remercier l'éleveur du temps accordé. Lui demander s'il a des questions ou souhaite des précisions. Expliquer la suite : on va sélectionner deux élevages pour effectuer des prélèvements. Je le recontacte très prochainement etc...

Annexe 2 : Grille d'analyse des enquêtes

Thème	Question générale	Réponse attendue	Question de relance
Présentation du projet	Pourquoi avoir accepté de participer à notre étude ?		
	Avez-vous eu des problèmes d'infestations récents ?	OUI / NON Date : Par quoi :	De quand date-t-il ? Par quels parasites avez-vous été touché ?
	Qu'est-ce qu'il vous intéresse dans le projet et quelles sont vos attentes ?		
	Seriez-vous d'accord pour une visite de ferme prochaine ?	OUI / NON Disponibilités :	
	Seriez-vous d'accord et disponible pour les prélèvements qui auront lieu une fois par mois à partir de mi juin ?	OUI / NON	
L'éleveur et orientation de la ferme	Pouvez-vous me décrire votre exploitation et vos objectifs ?	Nombre de personne travaillant : Type d'activité : OL / OV / autre : Objectifs :	Qui travaille avec vous sur la ferme ? Quels sont vos objectifs ? Quels sont les animaux présents sur la ferme ?

	Aujourd'hui quelles est votre principale préoccupation sur l'exploitation ?		
	Où placez-vous la gestion sanitaire du parasitisme ?		Est-ce que vous pour vous la gestion du parasitisme est une priorité ? Est-ce le parasitisme est votre première préoccupation sur la ferme ?
L'élevage	Quelle est la race d'animaux présents sur la ferme ?	Race femelle : Race mâle :	
	Combien possédez-vous d'animaux ?	Mère : Agneaux : Réforme : Bélier :	Si on décompose votre troupeau, combien possédez-vous de mère ? d'agneau ? des réformes etc...
	Organisez vous le pâturage en lot ?	OUI / NON	
	Comment faites vous les lots au pâturage ?	Nombre de lot : Composition des lots : Raisons de ces lots :	Est-ce que les animaux sont réparties dans les lots en fonction de leur besoin ? de leur âge par exemple ? Pouvez-vous me décrire la composition des lots ? Combien et quels animaux ?
	Possédez-vous un calendrier de pâturage ?	OUI / NON	

	Pouvez-vous me l'envoyer ?	OUI / NON	
	Quelles sont les grandes périodes de pâture pour vos animaux ?		Quand les animaux ont-ils accès à l'extérieur ?
	Est-ce que vos animaux ont pâture en fin d'hiver ? ou en début de printemps	OUI / NON Types de parcelles : landes / prairies / bois / zones humides / autres :	
Le parasitisme sur la ferme	Quels ont été les problèmes sanitaires de votre troupeau ?		
	Avez-vous eu des infestations de PGI ? De quand date le dernier problème ? Comment l'avez-vous su ?	OUI / NON Date : Manière de s'en rendre compte : Test en laboratoire : OUI / NON (lesquels :)	
	Quels parasites et quels animaux ont été impactés ?	Parasites : Animaux impactés : Nombre : Age : Stade physio :	
	Impact sur l'activité		

	Avez-vous relié l'infestation avec types de parcelles, des modalités de pâturage ?	Type de parcelle : OUI / NON (lesquelles :) Modalité de pâturage : OUI / NON (lequelles :)	Comment pouvez-vous expliquer l'infestation ?
	Qu'avez-vous fait lorsque vous avez remarqué l'infestation ? Avez-vous traité vos animaux ? Avez-vous modifié vos pratiques de pâturage ?	Traitement : OUI / NON Date : Traitement utilisé : Animaux traités : Nombre : Age : Stade physio : Modification pratiques : OUI / NON Explication :	
	Si pas de problème : comment l'expliquez-vous ?	Traitement préventif : OUI / NON Date : Traitement utilisé : Animaux traités : Nombre : Age : Stade physio : Ajustement des pratiques en fonction du parasitisme : OUI / NON Explication :	

Les parcelles	Quelle est votre SFP ?	SFP :	
	Combien possédez-vous de parcelles et combien sont destinées au pâturage des animaux ?	Nombre de parcelle : Nombre de parcelles destinées aux animaux :	
	Combien d'animaux faites-vous pâturer par parcelle en moyenne ?	Nombre d'animaux moyen par parcelle :	
	Y a-t-il une période où le chargement est plus élevé ? ou uniforme dans l'année ?	Connaissance des chargements des parcelles : OUI / NON Période où le chargement est élevé :	
	Quels types de parcelles possédez-vous ?	Landes : OUI / NON (nombre ou proportion :) Prairies : (nombre ou proportion :) Bois : (nombre ou proportion :) Zones humides : (nombre ou proportion :) Autres :	
	Est-ce que vos parcelles sont hétérogènes ? Si oui en quoi le sont-elles ?	OUI / NON En quoi : - Taille : OUI / NON - Végétation : OUI / NON - Types de sols : OUI / NON - Diversité des milieux : OUI / NON - Autres :	Est-ce que par exemple vous avez des parcelles avec des prairies et des bois ? De parcelles avec différents types de sols ? Est-ce que la végétation de vos parcelles est hétérogène ?

	Est-ce que tous les lots pâturent les mêmes parcelles ?	OUI / NON Pourquoi :	
	Comment sont attribuées les parcelles aux différents lots ?		
	Etablissez-vous un classement de vos parcelles en fonction du risque parasitaire qu'elles représentent pour le troupeau ?	OUI / NON Pourquoi :	

PROTOCOLE PROJET MODELAGE

ETAPES PRELIMINAIRES

1. Déroulement général du projet

Mai 2023 : sollicitation des éleveurs à participer au travail

Fin mai – mi juin 2023 : enquêtes auprès d'éleveurs

Mi juin – mi novembre 2023 (une fois par mois): Prélèvements sur le terrain (herbes et fèces), caractérisation des couverts et premières analyses (comptage larvaire)

Après le stage : Analyse en laboratoire (extraction ADN et PCR)

2. Sélection des élevages à étudier

Enquêtes auprès d'éleveurs pour obtenir des informations générales sur la ferme, le parcellaire et sa diversité, les animaux, les saisons et événements météo, les conduites de pâturage, la santé et le parasitisme interne du troupeau : types de parasites, niveau d'infestation de certains animaux selon les périodes, résultats de coprologies, traitements le cas échéant, préoccupations sur ce sujet, risque estimé sur les différentes parcelles au printemps/été, potentiel excréteur des animaux selon les périodes, etc.

Type d'enquête : enquêtes semi-directives de 40 minutes effectuées au téléphone

Types d'élevage :

- Éleveurs partenaires de SCOPELA
- Elevages ovins
- Alimentation des animaux au pâturage sur de la végétation spontanées
- Localisé en Haute-Garonne ou départements limitrophes
- Ayant eu des antécédents d'infestations par des strongles gastro-intestinaux récents

Matériel :

- Fiche récapitulative du projet envoyée aux éleveurs lors du premier contact (*annexe 1*)
- Guide d'enquête (*annexe 2*)
- Bloc note + stylo

Effectifs d'élevage enquêtés :

- Mail envoyé à 5 éleveurs
- Réponses positives : 4
- Pas de réponses : 1
- Enquêtes réalisées : 4

Résultats des enquêtes :

- Nombre d'élevage correspondant à nos critères : 3
- Nombre d'élevage retenus pour la suite du projet : 2

3. Sélection des parcelles à étudier

Enquêtes auprès des élevages retenus pour la sélection des parcelles à étudier afin de choisir des parcelles pour lesquelles on estime des niveaux de charge parasitaire différents. L'objectif est d'obtenir des informations détaillées sur le parcellaire (caractéristiques générales de chaque parcelle et état de saisonnalité de la végétation), sur les pratiques passées et en cours sur les parcelles et la façon dont l'éleveur caractérise la végétation de ses parcelles et leur niveau de risque parasitaire.

Type d'enquête : enquêtes semi-directives lors d'une visite de ferme

Matériel :

- Guide d'enquête
- Bloc note + stylo

Effectifs d'élevage enquêtés : 2 Élevage

Résultats des enquêtes :

- Nombre de zones de prélèvement sélectionnées pour l'étude : 9 – 12 / élevages

DEROULEMENT DU DISPOSITIF EXPERIMENTAL

Périodes et durée du terrain :

- Tous les mois à partir de mi-juin 2023 jusqu'à novembre 2023 (6 phases de terrain)
- Durée d'une phase de terrain : 1 semaine

Déroulement détaillé pour un jour de chantier :

Rendez-vous à l'INRAE de Toulouse à 6h du matin

Préparation du matériel et départ autour de 6h15 / 6h30

Arrivée sur les élevages au plus tard à 8h / 8h30

Prélèvement d'herbe et mesure de la hauteur d'herbe à l'herbomètre dans la matinée

Retour sur Toulouse en début d'après-midi

Lancement du protocole de laboratoire

Ressources humaines : 4 personnes (2 équipes de 2. Chaque équipe fait les prélèvements sur 3 zones)

MODES OPERATOIRES

1 – PRELEVEMENTS D'HERBE PAR ZONE DE PRELEVEMENT

MATÉRIEL

Appareil :

- 2 Mini-tondeuse

Matériel

- 2 Quadrat carré de 25cm²
- 3 Sacs plastiques de 50L

Autres :

- 2 paires gants de jardinage
- 2 cottes ou surpantalon
- 2 paires de chaussures adaptées
- 2 Feutre indélébiles

RESSOURCES HUMAINES

2 personnes

DÉROULEMENT

A l'arrivée sur la zone de prélèvement, les 2 personnes se placent à deux extrémités de celle-ci.

Les échantillons d'herbe sont collectés en marchant selon un transect en W (annexe 1). Chaque transect est divisé en 50 points de coupe (environ 12 – 13 points par ligne du W).

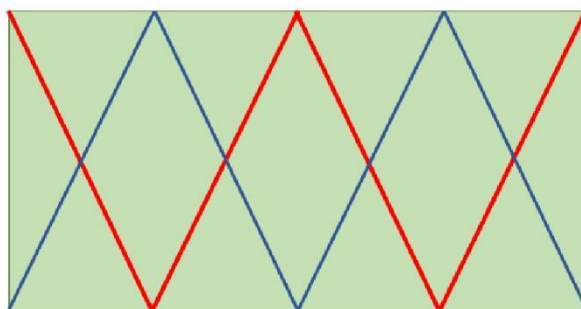
A chaque point de coupe, la personne collectrice place le quadrat au sol devant elle et veille à couper l'herbe située dans le quadrat en coupant le plus proche du sol possible. L'herbe coupée est placée dans un sac plastique.

La personne collectrice reproduit le même fonctionnement de coupe ci-dessus en plaçant le quadrat derrière elle. Lorsqu'elle a réalisé les 2 prélèvements, elle se déplace jusqu'au prochain point de coupe sur le transect.

INFORMATIONS OBTENUES

- Echantillons d'herbe

ANNEXE 1.1 : TRANSECT EN W



En rouge et bleu, les trajets respectifs des deux personnes collectrices

2 – CARACTERISATION DU COUVERT

MATÉRIEL

Appareil :

- Mini-tondeuse
- Herbomètre

Matériel :

- Quadrat carré de 25 cm²

Autres :

- Bloc note + stylos

RESSOURCES HUMAINES

2 personnes

DÉROULEMENT

Mesure de la hauteur et la densité de l'herbe

Les mesures sont effectuées en marchant selon un transect en W (annexe 1). Chaque transect est divisé en 50 points de mesures (environ 12 – 13 points par ligne du W).

A chaque point de mesure, on utilise l'Herbomètre pour mesurer la hauteur

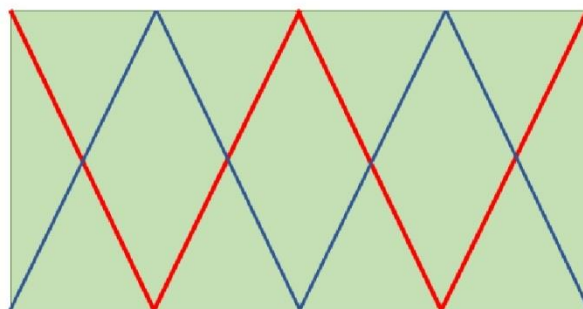
Caractérisation visuelle du couvert :

Prendre en note l'ensemble des informations permettant de caractériser le couvert

MESURES RELEVÉES

- Hauteur de l'herbe
- Informations sur le couvert

ANNEXE 2.1 : TRANSECT EN W



En rouge et bleu, les trajets respectifs des deux personnes collectrices

3 – EXTRACTION DES LARVES

MATÉRIEL

Appareil :

- Trompe à eau
- Balance

Matériel :

- Echantillons d'herbe obtenus après la manipulation « 1 – Prélèvement d'herbe par zone de prélèvement »
- Seau de 30 L munie d'un robinet placé à quelques cm du fond
- Bassine de 30 L
- Etamine
- Ficelle
- Eprouvette graduée de 2L
- Flacons de 50mL
- Grille de support
- Passoire

Consommable :

- Marqueur et étiquette
- Liquide vaisselle
- Sacs poubelles

RESSOURCES HUMAINES

2 personnes

DÉROULEMENT

Mise en place :

- 1- Etiqueter le seau avec le numéro de l'échantillon
- 2- Placer le seau sur un support en hauteur et fermer le robinet
- 3- Placer la grille de support au fond du seau

Préparation des sacs d'herbe :

- 4- Placer un autre seau sur la balance et tarer avec l'étamine
- 5- Mélanger l'herbe prélevée dans une bassine
- 6- Prélever 100g d'échantillon pour le calcul de la matière sèche de l'herbe (*cf. « 5 – Obtention de la matière sèche »*)
- 7- Remplir l'étamine avec l'échantillon d'herbe, noter la masse d'herbe placée dans l'étamine
- 8- Fermer le sac à l'aide d'une ficelle
- 9- Placer le sac d'herbe dans le seau étiqueté

Sédimentation 1 :

- 10- Rincer la bassine utilisée pour le mélange et les sacs en plastiques utilisés pour le transport de l'herbe
- 11- Verser l'eau de rinçage sur l'étamine dans le seau
- 12- Remplir le seau avec de l'eau tiède. Veiller à verser l'eau sur l'échantillon.
- 13- Ajouter 2ml de liquide vaisselle sur l'échantillon

- 14- Remuez
- 15- Laisser reposer le sac dans le seau pendant la nuit

Sédimentation 2 :

- 16- Le lendemain matin, retirer le sac et l'essorer au-dessus du seau
- 17- Laisser reposer le seau pendant 1 heure

Préparation échantillons :

- 18- Ouvrir légèrement le robinet du seau et laisser l'eau s'écouler jusqu'à ce qu'elle ne coule plus
- 19- Fermer le robinet
- 20- Placer un entonnoir et une passoire sur une éprouvette étiquetée de 2L et y vider le contenu du seau
- 21- Laisser reposer pendant 1 heure
- 22- A l'aide de la trompe à eau prélever la couche supérieure d'eau jusqu'à atteindre 1 cm au-dessus de la ligne de sédimentation
- 23- Mélanger l'éprouvette
- 24- Verser le contenu de l'éprouvette dans un ou plusieurs flacons de 50 mL en complétant à l'eau si nécessaire.
- 25- Penser à rincer l'éprouvette et verser le liquide de lavage dans les flacons de 50 mL

INFORMATIONS OBTENUES

Flacons de 50 mL contenant les larves de l'échantillon d'herbe

4 – COMPATAGE DES LARVES

MATÉRIEL

Appareil :

- Centrifugeuse
- Microscope
- Compteur
- Trompe à eau

Matériel :

- Flacons de 50 mL obtenus après la manipulation « 3 – Extraction des larves »
- Flacons de 50 mL propres
- Portoir pour tube de 50 mL
- Eprouvette graduée
- Becher
- Entonnoir
- Lame McMaster

Consommable :

- Solution sucrée : 454 g de sucre dans 355 mL d'eau
- Lugol
- Lamelles
- Pipettes pasteur

RESSOURCES HUMAINES

2 personnes

DÉROULEMENT

Préparation :

- 1- Vérifier que les tubes sont équilibrés en poids avant la centrifugation

Centrifugeuse 1 :

- 2- Remuer les tubes 6 fois
- 3- Les placer dans la centrifugeuse et centrifuger à 2000 rcf (4035 rpm) pendant 3 minutes
- 4- Vider le surnageant (si le culot dépasse les 5 mL, ajouter une partie de l'échantillon dans un autre tube de 50mL)

Centrifugeuse 2 :

- 5- Ajouter la solution sucrée jusqu'à la marque 45 mL
- 6- Agiter le tube
- 7- Avec une pipette pasteur, compléter avec de l'eau jusqu'à la marque des 50 mL
- 8- Centrifuger à 2000 rcf pendant 3 minutes

Centrifugeuse 3 :

- 9- A l'aide d'une pipette pasteur, prélever la couche supérieure d'eau et la verser dans un autre tube étiqueté
- 10- Ajouter le double de la quantité d'eau dans le tube
- 11- Centrifuger à 2000 rcf pendant 3 minutes

Observation au microscope

- 12- Vider le surnageant jusqu'à 10 mL en veillant à ne pas perturber le sédiment
- 13- Inverser le tube 5 fois, prélever 1 mL et le placer sur une lame McMaster
- 14- Ajouter 5 gouttes de Lugol
- 15- Placer une lamelle par-dessus
- 16- Placer la lame sur un microscope et observer à un grossissement x10

Nombre de larves dans l'échantillon :

- 17- Compter le nombre de larve observée
- 18- Multiplier ce nombre par 10 pour trouver le nombre de larve dans 10 mL
- 19- Diviser ce nombre par (*masse humide du sac x masse sèche*) / 1000

MESURE RELEVÉES

Nombre de larve dans les flacons de dilution

MESURE CALCULÉE

Nombre de larves dans l'échantillon d'herbe collecté
Nombre de larves estimé sur la parcelle

5 – OBTENTION DE LA MATIERE SECHE DE L'HERBE

MATÉRIEL

Appareil :

- Etuve
- Balance

Matériel :

- Echantillon de 100 g d'herbe
- Bac allant à l'étuve

RESSOURCES HUMAINES

1 personne

DÉROULEMENT

Prérequis :

- 1- Prélever 100g d'herbe fraîche issue des prélèvements

Obtention de la matière sèche :

- 2- Placer l'échantillon de 100g dans un bac allant à l'étuve
- 3- Placer le bac à l'étuve pendant 48h à 60°C
- 4- Peser de nouveau l'échantillon à la sortie de l'étuve

Le pourcentage de matière sèche est obtenu en divisant la masse de l'échantillon à la sortie de l'étuve par sa masse humide (ici 100g)

MESURE RELEVÉE

Masse de l'échantillon sec

MESURE CALCULÉE

% de matière sèche

6 – COPROSCOPIE

MATÉRIEL

Appareil :

- Balance
- Microscope
- Agitateur aimanté

Matériel :

- Echantillons fèces
- Mortier
- 2 bols
- Passoire
- Pipette pasteur
- Erlenmeyer
- Barreau aimanté
- Entonnoir
- Lame mcmaster

Consommable

- Solution saline (360g de sel dans 1 L d'eau)

RESSOURCES HUMAINES

1 personne

DÉROULEMENT

Préparation solution saline

- 1- Mettre dans l'erenmeyer le barreau aimanté et 1 L d'eau
- 2- Placer l'erenmeyer sur l'agitateur aimanté
- 3- Verser progressivement dans l'erenmeyer 360g de sel à l'aide de l'entonnoir

Préparation du mélange :

- 1- Mélanger l'échantillon de fèces
- 2- Prélever 3g du mélange et les placer dans la passoire

Préparation de la solution microscope :

- 3- Verser 42 mL de la solution saline sur le mélange
- 4- Broyer en un mélange homogène
- 5- Patienter 5 minutes
- 6- Mélanger et procéder à 3 chargements / déchargements avec la pipette
- 7- Remplir les chambres de la lame mcmaster et observer au microscope

MESURE RELEVÉE

- Nombre d'œuf de nématodes dans l'échantillon

MESURE CALCULÉE

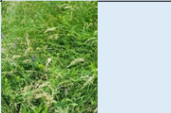
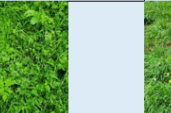
- Nombre d'œuf de nématodes par gramme de fèces

Annexes

Annexe 4 : Exemple du recueil des informations de végétation

Caractéristiques parcelles (topomorphologie)		Coume_Z1	Coume_Z2	Fontaine	Thierry	Tof_Z1	Tof_Z2
Surface (en ha)							
Humidité du sol à LT (sec ; frais ; humide ; très humide)		ni sec ni humide	ni sec ni humide	ni sec ni humide	ni sec ni humide	Humide et surtout frais (bords de rivières et ombragé)	frais
Type de sol (sableux ; limoneux ; argileux ; humifère ; autres)		A demander à l'éleveur					
Occupation du sol	% en herbe	> 80%	> 90%	100%	100%	75%	75%
	% en arbre	0 à 5%	0 à 5%			5 à 10%	0 à 5%
	% en arbustes	10 à 15%	0 à 5%			5 à 10%	0 à 5%
	% roches	0 à 5%	0 à 5%			0 à 5%	0 à 5%
	% à nu	5 à 10%	0 à 5%			5 à 10%	10 à 15%
Exposition (nord ; sud ; est ; ouest)		Nord - Pour moi c'est plus sud ouest	Nord - Pour moi c'est plus Sud	sud	sud		
Ombrage		NON	NON	NON	NON	OUI	OUI ; nord et ouest de la parcelle
Altitude (<600 ; 600 - 900 ; 900 - 1300)		900 - 1300	900 - 1300	600 - 900	600 - 900	600 - 900	900 - 1300
Type de milieu (prairie humide ; prairie ; bois ; landes ; pré de fauche ; autres)		prairie de montagne	prairie de montagne	pré de fauche	pré de fauche	prairie humide de bords de rivière	prairie ; zone de couchage
Topographie / relief (pentu ; bosse ; rupture de pente ; plat ; butte etc...)		pentu - faible	pentu - faible	pentu - moyen	pentu	plat ; bord de rivière (cuvette entre deux vallées)	pentu
Saisonnalité et maintien sur pied		printanier moyen	printanier moyen	printanier moyen (fraicheur)	printanier faible	printanier et estival oui fraicheur	printanier et estival moyen
Précocité de démarrage de croissance		précoce mais moins que pré de fauche au vu de l'altitude (fin mars)	précoce mais moins que pré de fauche au vu de l'altitude	précoce : un peu plus tardive que Thierry ? (début mars)	précoce	tardif	tardif
Fréquentation par les animaux (peu ; modérée ; forte)							forte
Photo de loin de la parcelle							
Caractéristiques des végétations lors du prélèvement (état de la végétation)		Coume_Z1	Coume_Z2	Fontaine	Thierry	Tof_Z1	Tof_Z2
Date du prélèvement 1		26-Jun-23	26-Jun-23	26-Jun-23	26-Jun-23	26-Jun-23	26-Jun-23
Stade phénologique de l'herbe au moment du prélèvement		végétation en pousse lors du prélèvement	végétation en pousse lors du prélèvement 1	végétation épiée lors du prélèvement 1	végétation épiée lors du prélèvement 1	végétation en repousse lors du prélèvement 1	végétation en repousse lors du prélèvement 1

Annexes

Phénologie du couvert par strates	% en feuille	> 75%	> 75%	70%	60%	85%	95%
	% en tige	< 25%	< 25%	30%	40%	15%	5%
Hauteur moyenne (mm)		153	157	209.00	226	71	57
Structure du couvert (nb de strates et lesquelles)		3 strates : légum, graminées diverses, fougères	2 strates : légum, graminées diverses,	3 strates : basses, moyennes, épis	2 strates mais surtout haute	1 strate voire deux avec la feuille ligneuse	1 strate
Densité sur pied		très bonne	très bonne	très bonne	très bonne	moyenne	bonne hormis zone de sol nu
% MS		15.88	18.11%	15.42%	19.94%	15.57%	9.49%
Composition floristique	% légumineuse	10%	20%	20%	15%	15%	15%
	% graminées	70%	60%	60%	65%	40%	55%
	% autres	20%	20%	20%	20%	45%	30%
Diversité (<10 espèces ; < 30 espèces ; <50 espèces ; > 50 espèces)		50	> 50	50	50	30	30
Appétence (faible ; modérée ; forte)		forte	forte				
Présence de fécès et état de dégradation		non	non	non	non	non	fécès plus ou moins dégradés
Photo de près de la végétation de la parcelle							

Annexe 5 : Variables par rapport aux dimensions de l'ACP

	coord.Dim.1	coord.Dim.2	coord.Dim.3	coord.Dim.4	coord.Dim.5	cor.Dim.1	cor.Dim.2	cor.Dim.3	cor.Dim.4	cor.Dim.5	cos2.Dim.1	cos2.Dim.2
pct_herbe	-5.5683634	2.60973416	7.99081836	8.323797762	1.101695862	-0.42109584	0.19735569	0.60428893	0.62946981	0.08331345	0.17732171	0.03894927
pct_feuille_prelevement	9.30168888	7.03489301	-11.537641	5.166912168	2.691557696	0.531917226	0.40229047	-0.6597802	0.29546995	0.15391677	0.28293594	0.16183762
hauteur_moyenne_prelevement_mm	-16.514786	36.1782848	1.71403977	-2.713181122	2.597024092	-0.41298224	0.90470378	0.04286268	-0.067848	0.06494331	0.17055433	0.81848893
nb_strate_prelevement	-0.1536659	0.32571059	-0.112467	-0.416842817	-0.07183758	-0.21069019	0.44657945	-0.1542027	-0.5715302	-0.098496	0.04439036	0.19943321
pct_MS_prelevement	-0.7649821	-0.9854573	3.39946058	-0.801891159	0.30408212	-0.16989286	-0.2188576	0.75497729	-0.1780899	0.0675328	0.02886358	0.04789866
pct_legumineuse_prelevement	-0.7175555	0.0162315	1.29463087	2.431722772	-0.10451278	-0.19651066	0.00444518	0.35454926	0.66595471	-0.028622	0.03861644	1.98E-05
pct_graminee_prelevement	-1.7945724	0.7362198	6.01214508	0.613305561	0.971874366	-0.21218937	0.08705027	0.71087311	0.07251695	0.11491395	0.04502433	0.00757775
nb_jour_prelevherb_paturage_fauche	-9.4279737	17.0083654	-2.0749285	2.541489421	-6.45474629	-0.45378174	0.81863675	-0.0998693	0.12232549	-0.3106761	0.20591787	0.67016613
nb_jour_paturage_av_prelevement	-1.1376127	1.97034345	-1.2398947	-0.059715683	0.325157502	-0.36766281	0.63679141	-0.4007191	-0.0192994	0.10508701	0.13517594	0.4055033
nb_ovin_paturage_avant_prelevement	59.5761949	11.9071694	2.89848393	-0.340068167	-0.57685437	0.979422774	0.19575189	0.0476506	-0.0055907	-0.0094834	0.95926897	0.0383188
nb_equide_paturage_avant_prelevement	-0.8301217	-0.4978581	-0.9278553	0.237944974	0.288989145	-0.4355879	-0.2612399	-0.4868714	0.12485633	0.15164062	0.18973682	0.0682463
	cos2.Dim.3	cos2.Dim.4	cos2.Dim.5	contrib.Dim.1	contrib.Dim.2	contrib.Dim.3	contrib.Dim.4	contrib.Dim.5				
pct_herbe	0.36516512	0.39623224	0.00694113	0.768480353	0.377956421	24.14985376	59.175404	2.07683213				
pct_feuille_prelevement	0.43530987	0.08730249	0.02369037	2.144377515	2.746402466	50.3461206	22.8013389	12.3961078				
hauteur_moyenne_prelevement_mm	0.00183721	0.00460335	0.00421763	6.759639028	72.63486502	1.111152774	6.28717813	11.5406405				
nb_strate_prelevement	0.02377848	0.32664677	0.00970146	0.000585238	0.005887256	0.004783903	0.14840305	0.00883042				
pct_MS_prelevement	0.5699907	0.03171601	0.00456068	0.014503745	0.053892065	4.370710159	0.54919812	0.1582194				
pct_legumineuse_prelevement	0.12570518	0.44349567	0.00081922	0.012761114	1.46E-05	0.6339046	5.05040627	0.01869032				
pct_graminee_prelevement	0.50534058	0.00525871	0.01320522	0.079817772	0.030079054	13.67070439	0.32125655	1.61621157				
nb_jour_prelevherb_paturage_fauche	0.00997387	0.01496353	0.09651964	2.202999236	16.05367035	1.628314416	5.51664204	71.2912631				
nb_jour_paturage_av_prelevement	0.1605758	0.00037247	0.01104328	0.032074988	0.215443331	0.581435523	0.00304561	0.18091122				
nb_ovin_paturage_avant_prelevement	0.00227058	3.13E-05	8.99E-05	87.96768206	7.868034426	3.177413837	0.09877116	0.56939064				
nb_equide_paturage_avant_prelevement	0.23704374	0.0155891	0.02299488	0.017078952	0.013754989	0.325606039	0.0483561	0.14290289				

Résumé

Notre étude s'intègre dans des travaux de recherche sur la gestion du parasitisme gastro-intestinal par le pâturage en vue d'une réduction des intrants médicamenteux et d'une gestion agroécologique des élevages.

L'objectif de l'étude est d'explorer les interactions en conditions réelles entre les caractéristiques des végétations naturelles, les pratiques mises en place par l'éleveur et la charge des parcelles en larves infestantes (L3) de strongles gastro-intestinaux (SGI) en élevage ovin. Pour ce faire, nous avons estimé la charge en larves L3 des parcelles à partir de prélèvements d'herbe et de comptages au microscope. Nous avons également caractérisé les zones de prélèvement par des variables associées à la végétation et des variables associées aux pratiques. Nous avons sélectionné 12 zones de prélèvement localisées dans deux élevages ovins situés en Ariège.

Les variables étudiées en lien avec les caractéristiques des végétations sont : le type de milieu, le relief, l'altitude, l'exposition, la présence d'ombrage, l'humidité du sol, l'occupation du sol, la composition floristique, la diversité, la phénologie du couvert, la saisonnalité et précocité de la végétation, le nombre de strates, la hauteur moyenne de l'herbe, la densité sur pied, la fréquentation par les animaux et la présence de fèces sur la parcelle.

Celles associées aux pratiques sont : le nombre de jours de pâturage, le nombre d'ovins au dernier pâturage et le nombre de jours écoulé depuis le dernier pâturage.

L'analyse statistique des interactions entre le nombre de L3 par kilogramme de matière sèche (kgMS) et les variables sélectionnées a permis de développer un modèle d'estimation de la charge parasitaire des parcelles. L'analyse a également permis de mettre en avant que le nombre de L3 par kgMS augmente avec la présence d'ombrage sur une parcelle, la fréquentation des animaux, la durée et le nombre d'ovins présents sur la parcelle au dernier pâturage. Pour l'évolution du nombre de L3 par kgMS en fonction de la hauteur moyenne et du pourcentage de matière sèche de l'herbe, nous obtenons deux résultats contradictoires. Nous n'avons pas obtenu de résultats significatifs pour les autres variables.

Globalement, cette étude renforce des hypothèses concernant l'impact de certaines pratiques et des végétations sur la charge en L3 des parcelles, tout en soulignant la complexité des interactions entre ces variables en conditions réelles. Des données supplémentaires seront nécessaires pour valider les résultats obtenus afin de contribuer à une meilleure compréhension des stratégies envisageables pour une gestion agroécologique du parasitisme gastro-intestinal par le pâturage.

Mots clés : Gestion du parasitisme ; strongles gastro-intestinaux ; larves infestantes ; ovin ; couverts végétaux ; pâturage ; comptage larvaire

Pour citer cet ouvrage : [BRACCO Gwendoline, (2023). Étude exploratoire des effets des caractéristiques des végétations et des pratiques sur la charge des parcelles en larves infestantes de strongles gastro-intestinaux en élevage ovin. Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme d'ingénieur agronome, option système d'élevage, l'institut Agro Montpellier. 80p]

L'institut agro Montpellier, Institut national d'études supérieures agronomiques de Montpellier, 2 place Pierre Viala, 34060 Montpellier cedex 02. <http://www.supagro.fr>