

Université d'Angers
Faculté des Sciences
2 boulevard Lavoisier
49045 Angers

Ligue pour la Protection des
Oiseaux Auvergne
14 avenue Tony Garnier
69000 Lyon

**Effets des pratiques d'élevage et du paysage local sur les
communautés de coléoptères coprophages dans le
département de l'Allier**

Rapport de stage de Master II

Mention BEE

Parcours Gestion de la Biodiversité dans les Socio-
écosystèmes

Présenté par Louis GUILLAUME

Année universitaire : 2023 – 2024

Promotion 2022

Université d'Angers Faculté des Sciences 2 boulevard Lavoisier 49045 Angers Cedex	Master 2 Biodiversité, Ecologie, Evolution Parcours Gestion de la biodiversité dans les socio-écosystèmes
Responsable Master 2 : Alain PAGANO	
Auteur : Louis GUILLAUME	Organisme d'accueil : Ligue pour la Protection des oiseaux Auvergne
Année universitaire : 2023 - 2024	Maître de stage : Simon MILLIET
Effets des pratiques d'élevage et du paysage local sur les communautés de coléoptères coprophages dans le département de l'Allier	
<p>Résumé : Les coléoptères coprophages sont vecteurs de services écosystémiques. Ils soutiennent les activités d'élevage en dégradant les fèces ce qui permet, entre autre, d'enrichir le sol et de lutter contre le développement de diptères parasites. Pourtant, l'utilisation de produits antiparasitaires chimiques dans les élevages font diminuer la diversité et la biomasse de ces coprophages en étant particulièrement toxiques pour les larves. Certaines molécules se retrouvent sous forme actives dans les bouses ce qui est létal pour les larves et perturbent le comportement des adultes. D'autres pratiques font varier les communautés de coléoptères comme l'intensité de pâturage et le paysage local. Pour cette étude, il a été choisi de poser des transects de pièges à fosse avec des appâts dans 13 élevages. Des entretiens ont été réalisés avec chaque éleveurs pour récolter des données sur leur pratiques, leur vision des coléoptères coprophages et des produits antiparasitaires. Aucun des tests n'a permis de montrer que l'intensité du pâturage, l'utilisation des produits antiparasitaires ainsi que la présence de surfaces boisées ne font varier significativement les communautés de coléoptères coprophages. Les conditions météorologiques très pluvieuse de ce printemps n'ont pas permis d'avoir une bonne représentation des communautés de coléoptères coprophages. Seules l'augmentation en surface boisée et l'absence de traitements avec des molécules toxiques ont montré une tendance vers l'augmentation de la diversité et de la biomasse.</p> <p>Mots clés : coléoptères coprophages – services écosystémiques – produits antiparasitaires – intensité de pâturage – paysage</p>	
<p>Abstract : dung beetles provide ecosystem services. They support livestock activities by degrading faeces which, among other things, enrich the soil and fight against the development of parasitic dipterans. However, the use of chemical antiparasitic products on farms reduces the diversity and biomass of these coprophages by being particularly toxic to the larvae. Some molecules are found in active form in dung, which is lethal for larvae and disrupts the behavior of adults. Other practices cause beetle communities to vary, such as grazing intensity and local landscape. For this study, it was chosen to set transects of pitfall traps with bait on 13 farms. Interviews were carried out with each breeder to collect data on their practices, their vision of coprophagous beetles and antiparasitic products. None of the tests showed that grazing intensity, the use of antiparasitic products as well as the presence of wooded areas do not significantly vary the communities of coprophagous beetles. This spring, rainy weather conditions did not allow to have a good representation of the coprophagous beetle communities.</p> <p>Only the increase in wooded surface area and the absence of treatments with toxic molecules showed a trend towards an increase in diversity and biomass.</p> <p>Key-words : dung beetles – ecosystem services – pest control products – grazing intensity - landscape</p>	

ENGAGEMENT DE NON PLAGIAT

Je, soussigné (e) ... Louis GUILLAUME,
déclare être pleinement conscient(e) que le plagiat de documents ou d'une partie d'un
document publiés sur toutes formes de support, y compris l'internet, constitue une violation
des droits d'auteur ainsi qu'une fraude caractérisée. En conséquence, je m'engage à citer
toutes les sources que j'ai utilisées pour écrire ce rapport ou mémoire.

Signature :

Louis GUILLAUME

Remerciements

Je remercie chaudement mon tuteur, Simon MILLIET, qui a encadré une seconde fois mon stage. Un énorme merci pour la confiance accordée, l'aide et les supers moments partagés pendant les inventaires et suivis.

Je remercie toute l'équipe Allier de la LPO Auvergne pour l'ambiance de travail et l'entraide constante qui rassure et soutien dans les moments plus compliqués de l'étude. Je remercie particulièrement Marc BERTHELEMOT qui m'a aidé pour la mise en place des pièges.

Un grand merci à Pascale WALRAVENS qui a participé à l'identification des coléoptères.

Enfin, merci à William PERRIN, Benjamin CALMONT et Pierre RIGAUD qui m'ont permis d'affiner et de valider le protocole mis en place.

Sommaire

Remerciements	
Sommaire	
Liste des figures et tableaux	
Préambule.....	
Introduction	1
Matériel et méthodes	6
Zone d'étude.....	6
Collecte des données	6
Analyse des données	8
Résultats	9
Entretiens.....	9
Coléoptères coprophages	10
Diversité alpha	11
Biomasse et nombre d'individus.....	13
Guilde.....	13
Discussion	14
Bibliographie.....	20
Annexe	25

Liste des figures et tableaux

Figure 1 : Piège type CSR avec appât	7
Figure 2 : Utilisation d'antiparasitaires et niveau de connaissance des éleveurs sur les coléoptères coprophages.....	10
Tableau I : Résumé des données de coléoptères piégés et le nombre d'espèces présentes estimé par l'indicateur ACE avec l'erreur standard (entre parenthèse).....	11
Figure 3 : Diversité alpha des coléoptères coprophages dans les élevages bovins	12
Figure 4 : Diversité alpha des coléoptères coprophages dans des secteurs boisées	12
Figure 5 : Biomasse des coléoptères coprophages selon différentes pratiques d'élevage : en a) l'utilisation d'ivermectines et de pyréthrinoloïde et en b) le chargement dans les pâtures.....	13

Préambule

La Ligue pour la Protection des oiseaux (LPO) est une association de protection de l'environnement de loi 1901. La LPO Auvergne fait partie du réseau d'associations locales de la LPO France, toutes liées par une convention. L'antenne d'Auvergne a des missions de sensibilisation à l'environnement, menées par une équipe d'animateurs nature. L'association se place aussi comme un acteur important dans la gestion du territoire en étant la structure gestionnaire de plusieurs réserves naturelles, dont la réserve naturelle nationale du val d'Allier. Aussi, la LPO travaille avec le monde agricole dans le cadre de différents projets allant de la mise en place de nichoirs lors de la rénovation du bâti jusqu'à la coordination d'un projet national sur l'impact des produits antiparasitaires dans les élevages sur l'environnement, le projet EleVE (pour Eleveurs Vétérinaire Environnement). Largement inspiré par ce projet, ce stage sur l'étude des communautés de coléoptères coprophages avait comme objectif de poursuivre l'étude des coléoptères dans les prairies d'élevage et de sensibiliser les éleveurs sur la toxicité des molécules chimiques et de leur impact sur la biodiversité. L'étude s'est largement appuyée sur le carnet de contact d'éleveurs avec qui l'association travaille dans le cadre de la gestion de mesures compensatoires des travaux de l'autoroute A79.

L'étude s'est appuyée sur l'expertise de vétérinaires et d'entomologistes pour valider le protocole et les variables étudiées. Toutes les données ont été produites dans le cadre de cette étude. Certains individus de coléoptères coprophages présentant des difficultés dans leur détermination ont été déterminés avec une naturaliste expérimentée ayant déjà participé au projet EleVE.

Introduction

Etudier des phénomènes biologiques avec une approche par les socio-écosystèmes permet d'aller là où l'Ecologie s'arrêtait traditionnellement. L'intégration des phénomènes sociaux et économiques avec ceux biologiques permet de décrire plus justement le contexte d'un objet d'étude qui est le fruit de l'évolution et de l'enchevêtrement de tous ces paramètres (Giraudoux, 2022). Cette approche (re)met l'humain dans son environnement et les écosystèmes dont il a été longtemps soustrait alors que ceux-ci sont inextricables, chacun agissant et modifiant l'autre. Par exemple, l'intensification de l'agriculture, depuis la deuxième moitié du XX^e siècle, a considérablement changé les paysages dans certains endroits faisant passer un système pâturé bocager (déjà issu de la main de l'humain) à un système de grande culture. Dans le cas inverse, il a été largement observé que la présence d'espaces verts était un levier important pour le bien-être humain. Maas et *al.* (2009) notaient que les habitants proches d'espaces verts contractaient moins de maladies que ceux plus éloignés. Ce changement de point de vue sur la place de l'humain dans les sciences de l'environnement s'observe aussi dans le milieu de la recherche. Lowe et *al.* (2009) ont montré comment l'Ecologie percevait d'abord l'humain comme un « agent écologique » externe pour le considérer par la suite comme un « objet écologique » qui interagit avec son milieu et les autres espèces « non-humaines ». Cette approche se justifie d'autant plus que l'impact de l'humain a atteint un tel niveau que certains proposent de nommer « Anthropocène », la période allant de la révolution industrielle (1850) jusqu'à aujourd'hui (Crutzen et Stoermer, 2000). Les marqueurs de l'impact des activités humaines montrent l'augmentation exponentielle des émissions de certains gaz à effet de serre comme le dioxyde de carbone (CO₂) et le méthane (CH₄) (Raynaud et *al.*, 2003) ou encore le fait que 30 à 50% des terres ont changé de nature (Crutzen et Stoermer, 2000) depuis 1850. Tous ces grands bouleversements ont un impact sur l'environnement et qui, par répercussion, ruissellent jusqu'aux sociétés humaines qui tiraient profit jusqu'alors des écosystèmes. De la dépollution naturelle des eaux jusqu'à la production agricole en passant par le bien-être, toutes ses ressources tirées des écosystèmes, appelés services écosystémiques, sont altérées par les modifications, et bien souvent la détérioration, des milieux naturels. Les services écosystémiques donc, ont été définis comme les bienfaits que les écosystèmes produisent pour les sociétés humaines par l'Evaluation des écosystèmes pour le millénaire (2005). Ces externalités positives, produites par les écosystèmes, sont notables sur le plan culturel, social et économique (Costanza et *al.*, 1997). C'est d'ailleurs sur le plan économique que ces services rendus sont flagrants et revêtent d'une grande importance pour nos sociétés. Costanza et *al.*

(1997) estimaient à 33 mille milliards de dollars américains la valeur des services écosystémiques planétaire en citant les services rendus à l'agriculture, la production de bois ou l'épuration de l'eau par les milieux humides par exemple. Cette approche monétaire (bien que l'évaluation des écosystèmes pour le millénaire a montré que les services sont multidimensionnels) est souvent un argument de poids pour les organes décisionnaires, qu'ils soient politiques ou économiques (Scarlett et Boyd, 2015 ; Houdet et *al.*, 2012). Cette nouvelle approche est un vrai tournant dans la protection de la nature puisque celle-ci n'est plus vue comme seulement un poste de dépense mais aussi une source de revenu que ça soit à l'échelle d'une commune jusqu'à celle d'un pays.

Les coléoptères coprophages sont des espèces clés dans les systèmes de prairies pâturées. Ces coléoptères sont à la fois à la base du réseau trophique et un agent décomposeur des fèces du bétail primordial pour les éleveurs. En ce sens, ce taxon est une porte d'entrée intéressante pour étudier le système de prairie pâturée par une approche socio-écosystémique. En effet, les coléoptères coprophages remplissent de multiples services écosystémiques. En colonisant rapidement les déjections des animaux d'élevages, ils contrôlent la prolifération des diptères nuisibles (Bornemissza 1970 ; Ridsdill-Smith 1988), participent directement à la dégradation des déchets organiques et facilitent l'arrivée d'autres décomposeurs comme les vers de terre (Wall and Strong 1987). L'enfouissement des déjections opéré par ces coléoptères réduit la production d'ammoniac (NH_3) (Nichols et *al.*, 2008) et, par le même procédé, rend l'azote disponible pour les plantes améliorant ainsi la fertilité des sols (Nichols et *al.*, 2008 ; Kazuhira et *al.*, 1991). Enfin, ces coprophages font partie du régime alimentaire de beaucoup d'espèces dont certaines sont en nette régression et sont protégées. C'est le cas par exemple du Grand rhinolophe (*Rhinolophus ferrumequinum*), un chiroptère protégé à l'échelle européenne, et dont le régime alimentaire, pendant la saison de reproduction, se constitue à 50% de coléoptères (Soler et Soler 1993). Les services rendus par ces espèces ont été chiffrés à 380 millions de dollars américains par an aux Etats-Unis (Losey et Vaughan, 2006) quant au Royaume-Uni, ceux-ci sont estimés à 367 millions de livres sterling (Beynon et *al.*, 2015). Autre exemple, dans les années soixante, l'Australie s'est vue obligée de financer un programme d'introduction de coléoptères coprophages à hauteur de 23 millions de dollars américains. En cause, d'importants problèmes de salissement des pâtures dû à l'incapacité pour les détritivores à dégrader les fèces du bétail. Bien que leur rôle agronomique soit largement connu dans la bibliographie, certaines pratiques agricoles ne permettent plus à ces coléoptères

coprophages de réaliser leur cycle ce qui entraîne, dans le même temps, la perte des services écosystémiques cités plus haut.

Les antiparasitaires sont des produits utilisés par les éleveurs pour lutter contre les parasites externe et internes des animaux d'élevages. Pour les éleveurs, ce sont des outils primordiaux afin d'avoir un cheptel en bonne santé pour des raisons économiques et de bien-être animal. Un animal infesté et sans immunité mange moins, perd du poids ce qui peut conduire jusqu'à sa mort et revient à un manque à gagner pour l'éleveur. Au-delà de la raison purement économique, la question du bien-être de leurs bêtes est importante pour les éleveurs qui, pour certains, se refusent de laisser un individu malade sans intervenir. Pour éviter d'en arriver là, les éleveurs ont généralement recours à l'utilisation systématique de produits antiparasitaires en traitant les animaux tous les ans avant la mise à l'herbe en prévention de futures infestations. Pour autant, le traitement est une source de dépense non négligeable pour les éleveurs. Une étude dans le sud de la France (Bousala et *al.*, 2022) a montré que chez un éleveur sur trois, au moins 60% des frais de soin étaient alloués à l'achat des produits antiparasitaires. Cette même étude met aussi en avant la réflexion des éleveurs sur ces produits et le manque d'appui technique auquel ils font face sur la gestion sanitaire de leurs troupeaux : seulement 25% d'entre eux étaient formés sur la gestion sanitaire d'un élevage quand 40% des éleveurs utilisaient des antiparasitaires sans l'avis d'un vétérinaire ni d'analyses coprologiques.

Ces antiparasitaires se retrouvent dans les écosystèmes à travers le dépôt des fèces des animaux d'élevage ce qui n'est pas sans conséquence, en particulier sur la faune coprophage. Leur impact varie énormément puisqu'il est fonction d'une pluralité de facteurs. La molécule utilisée, la quantité administrée ou encore le mode d'administration sont autant de facteurs qui n'impacteront pas de la même façon les espèces coprophages. Des études ont néanmoins montré que certaines molécules sont létales : le groupe des avermectines (des lactones macrocycliques) sont particulièrement toxiques (Lumaret et Errouissi, 2002) avec en chef de file, l'ivermectine, médicament le plus utilisé pour lutter contre les nématodes gastro-intestinaux (Alvinerie et *al.*, 2021). Mal métabolisé par les bovins, cette molécule se retrouve sous sa forme inchangée dans les fèces (Floate et *al.*, 2005 ; Lumaret et *al.*, 1993). Ses effets sont particulièrement toxiques pour les coprophages qui passent une partie de leur cycle de vie et y déposent leurs œufs. En appliquant la dose recommandée aux bovins, Sommer et *al.* (1992) ont montré que le taux de

mortalité des larves de diptères dans une bouse était de 100% dans les deux jours qui suivaient le traitement. Le constat est sensiblement le même pour Errouissi et *al.* (2001) qui ont noté que la molécule était particulièrement létale pour ce groupe avec un fort taux de rémanence du médicament actif dans les bouses. Ces molécules agissent aussi sur les adultes. Verdù et *al.* (2015) montrait que des doses d'ivermectine, inférieures à celles prescrites dans les médicaments, diminuaient leurs capacités olfactives et locomotrices. Beaucoup d'autres études ont montré la variabilité du taux de mortalité sur les larves de coprophages en fonction de la dose d'antiparasitaire dans les fèces comme Lumaret et *al.* (1993) qui ont observé que le taux de mortalité variait selon l'espèce de diptère. Dans l'ensemble, il est admis que les avermectines exercent une forte pression de mortalité sur les œufs et larves des coprophages qui ne permettent pas le renouvellement des populations. Un autre groupe de molécule est particulièrement toxique, celui des pyréthrinoïdes dont l'une des molécules, la deltaméthrine, est largement utilisée dans les élevages.

D'autres forces influencent les communautés de coléoptères coprophage dans les prairies pâturées. La disparition de leurs habitats en est une et s'inscrit comme un facteur important sur la santé des populations. En Europe, la domestication ayant débuté il y a 10 000 ans, les coléoptères coprophages se sont organisés autour des animaux d'élevage (Martin-Piera et Lobo, 1996) et sont affiliés à des espaces ouverts. Ces espèces sont donc héliophiles et souffrent des changements agricoles opérés depuis 1950 qui voient un recul net des surfaces en prairies : entre 1967 et 2007, la France a perdu 4 millions d'hectares de prairie permanente soit 33 % de la surface totale (Eurostat). L'abandon de l'élevage est un trait marquant de ces dernières décennies et participe activement à la diminution des populations de coléoptères coprophages (Carpaneto et *al.*, 2007 ; Tonnalli et *al.*, 2017). Autre fait marquant depuis la période d'après-guerre : l'intensification des pratiques d'élevage. Le traitement, combiné à des apports d'engrais et de pesticides synthétiques sont des paramètres limitants pour les coléoptères coprophages par rapport à des systèmes d'élevages biologiques où les produits phytosanitaires sont interdits (Hutton et Giller, 2003).

Le chargement en bétail dans les prairies joue aussi un rôle dans l'expression de certains traits fonctionnels des communautés de coléoptères coprophages. Doube (1990) a mis en évidence différentes stratégies de reproduction chez les coléoptères, notamment dans la façon de pondre leurs œufs. Perrin et *al.* (2020) ont montré que la guildes des coléoptères paracoprides, ceux qui creusent des galeries sous les bouses pour y déposer leurs œufs, réagissaient négativement à de

fortes pressions de pâturage.

Beaucoup moins connu, le rôle des haies, qui ont largement été détruites depuis la période d'après-guerre, pourraient constituer une zone d'abri pour les coléoptères, en particulier lors de fortes chaleurs. Elles créent un microclimat autour d'elles en conservant des températures plus fraîches en période estivale et fonctionnent comme brise-vent : autant de paramètres qui pourraient influencer la présence de coléoptères coprophages dans des prairies. D'ailleurs, Jay-Robert et *al.* (2008) ont montré que les milieux avec des couverts herbacés et arbustifs hétérogènes comportaient une plus grande diversité d'espèces de coléoptères coprophages.

L'objectif de cette étude était d'évaluer l'impact des pratiques d'élevages sur les communautés de coléoptères coprophages dans les prairies pâturées par des bovins. Afin de décrire au mieux le rôle que peut avoir l'activité agricole, plusieurs variables ont été retenues. L'impact des produits antiparasitaires est aujourd'hui abondamment montré dans la bibliographie, notamment grâce aux travaux de J-P. Lumaret. Dans la présente étude, ont été comparées aux relevés des coléoptères, l'utilisation historique d'antiparasitaires (le type de molécule, le mode d'administration et la période d'administration des produits). Aussi, le chargement en bétail dans les parcelles a été pris en compte pour caractériser la pression de pâturage. Pour ces deux premières variables, les données ont été récoltées lors d'un entretien semi-directif réalisé avec chaque éleveur volontaire pour faire partie de l'étude. Enfin, comme troisième variable, la densité de haie et la superficie en espace boisé autour des zones échantillonnées ont été retenues pour comparer ces données à celles des relevés coléoptères. Cette approche paysagère se veut plutôt exploratoire puisqu'à ce jour, la bibliographie ne permet pas de connaître l'impact du paysage sur ce taxon et notamment leur utilisation. Ainsi, l'étude a essayé de répondre à trois questions : est-ce que le type de molécule ainsi que les modalités de leur administration font varier les communautés de coléoptères coprophages ? Est-ce qu'un fort chargement Unité Gros Bétail (UGB) est une force qui sélectionne une guildes spécifique chez les coléoptères coprophages ? Est-ce qu'il existe une interaction entre une densité de haie et une superficie boisée importante avec la diversité et la biomasse en coléoptères coprophages ?

Il est attendu à ce que l'utilisation importante d'ivermectines, en particulier en saison de pâture, rende la communauté de coléoptère peu diversifiée et plus faible en nombre d'individu. Aussi, l'hypothèse faite au sujet du chargement UGB est que dans les prairies sujettes à une forte pression de pâturage soient observées une prédominance de la guildes des endocoprines plutôt

que celle des paracoprides. Concernant la variable paysagère, il est attendu à ce que la diversité d'espèces de coléoptères piégés dans des zones à forte densité de haies et de bois soit plus importante que dans des zones faiblement arborées.

Matériel et méthodes

Zone d'étude

L'étude prend place dans le département de l'Allier en région Auvergne-Rhône-Alpes. L'Allier est un département rural, dominé par l'agriculture et particulièrement l'élevage bovin : 42% des exploitations sont en bovin viande (Agreste, 2018). Le département se divise en deux zones climatiques avec le nord et l'ouest en zone océanique et le sud en zone de climat montagnard. La température moyenne annuelle est de 11°C, de 6°C en hiver et de 20°C en été (infoclimat.fr).

Compte tenu de la plus grande proportion d'élevage bovin et des contacts déjà établis entre la Ligue de Protection pour les Oiseaux (LPO) Auvergne et certains éleveurs, l'étude s'est portée naturellement vers l'élevage bovin. Au total, 13 éleveurs ont accepté de faire partie de l'étude. Tous se situent au nord du département, au-dessus de Montluçon (46° 20' 27" N, 2° 36' 12" E) sauf une ferme, située dans le sud du département sur la commune de Busset (46° 03' 46" N, 3° 30' 48" E).

Collecte des données

Un entretien semi-directif a été réalisé avec chaque éleveur lors de la première rencontre en avril, avant les sessions de capture. Ce temps d'échange s'est appuyé sur un guide d'entretien pour homogénéiser l'ensemble des rencontres avec chaque paysan (Annexe I). Ce guide a permis d'aborder des questions générales sur la ferme (taille du troupeau, race...), d'autres sur leur vision de la biodiversité, en particulier des auxiliaires de culture, et enfin de discuter des produits antiparasitaires utilisés et de leur réflexion tant sur les raisons de leur utilisation que sur le type de molécule choisie. Ainsi, sur les 13 fermes échantillonnées, 12 sont en bovin viande et une seule est en mélange lait et viande.

L'acquisition des données des variables paysagères étudiées (haies et bois) ont été acquises sur la plateforme « Géoservices » de l'Institut National de l'Information Géographique et

Forestière. Les données extraites pour cette étude étaient datées de 2023 et ont été retravaillées sur un système d'information géographique, le logiciel QGIS, pour corriger et compléter les données acquises. Les statistiques réalisées sur ces deux variables ont été faites avec l'extension « GroupStats » de QGIS puis exportées sur R pour les analyses.

Les relevés coléoptères ont été réalisés avec des pièges type CSR, (Veiga *et al.*, 1989) largement utilisés pour les études sur les insectes marcheurs. Un piège consistait en une bassine en plastique ronde (200 x 200 x 80mm) enterrée à la hauteur du sol avec par-dessus, une grille à grandes mailles (20 x 20mm) et une grille à petites mailles (13 x 13mm) attachées (Figure 1). Les grilles permettaient de positionner des excréments frais de vache pour attirer les coléoptères coprophages et les faire chuter dans la bassine à travers les mailles. Un transect de 5 pièges, espacés de 10m chacun, était installé dans une parcelle par ferme ce qui reprend différents travaux réalisés en milieu tempéré (Lobo *et al.*, 1998, 2006 ; Jay-Robert *et al.*, 2008). Deux transects ont été installés chez trois éleveurs dans deux parcelles différentes puisque celles-ci avaient initialement deux chargements UGB bien différents. Ainsi, 16 transects ont été installés chez les 13 éleveurs bovin. Une session de pose des pièges a été organisée. La session de piégeage s'est étalée du 13 mai au 6 juin. Les conditions météorologiques très pluvieuses du printemps 2024 ont forcé cet étalement de la session de capture. Aussi, il avait été prévu, sans pouvoir le réaliser à cause de la météo, de réaliser une autre session de piégeage en juillet pour solidifier le jeu de données et contacter les espèces les plus tardives, en particulier les Geotrupidae (Waßmer, 1994). Les transects de pièges ont été installés sur une période de sept jours. Une fois récoltés, les coléoptères étaient conservés dans de l'alcool pour mieux les conserver avant leur identification. Chaque individu a été identifié jusqu'à l'espèce pour décrire au mieux la composition de la communauté échantillonnée. Après identification, tous les coléoptères ont été stockés pour sécher à l'air libre afin de les peser et obtenir une biomasse sèche pour chaque site d'étude.

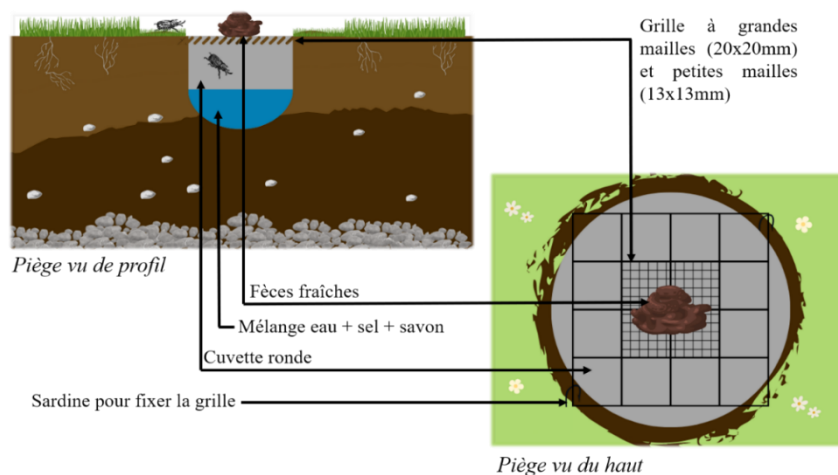


Figure 1 : Piège type CSR avec appât

Analyse des données

Les analyses statistiques ont toutes été réalisées sur le logiciel R.

Les données UGB utilisées dans le cadre de cette étude sont celles instantanées et non pas par rapportées à l'année comme c'est souvent le cas. Pour calculer l'indice UGB, il a été choisi de se référer aux indices du site des statistiques européennes Eurostat. Dans le cas présent, une génisse avait un indice de 0.8 UGB, une mère tout comme un taureau récoltait un indice de 1 UGB et un veau avait un indice de 0.4 UGB. Ensuite, le rapport entre la somme des UGB et la surface de la prairie était calculé.

Il a été fait le choix de comptabiliser les kilomètres de haie et les hectares de bois, sur le logiciel QGIS, dans un rayon d'un kilomètre autour des transects. La bibliographie actuelle n'a pas encore identifié comment les coléoptères coprophages utilisent le paysage et quelles sont les distances parcourues par les espèces. Seuls les travaux de Roslin (Roselin, 2000 ; Roselin, 2001) permettent d'apporter des éléments de réponse puisque des Captures-Marquages-Recaptures (CMR) sur des Aphodiens ont montré que ces coléoptères coprophages ne se dispersaient pas au-delà d'un kilomètre.

Pour estimer si la session de piégeage avait permis de représenter fidèlement le nombre d'espèces présentes sur les différentes fermes étudiées, l'estimateur ACE (Abundance-based coverage estimator) a été calculé pour chacun des sites.

Pour avoir une vue d'ensemble de la composition des communautés de chaque ferme, une courbe de rang-fréquence a été construite ce qui a permis aussi de choisir les indices de diversité les plus adaptés au jeu de données. Etant donné la composition des différentes communautés, avec à la fois des espèces abondantes mais aussi des espèces avec seulement quelques individus, il a été choisi de calculer deux indices de diversités : celui de Shannon et de Simpson. Le premier étant plus sensible aux espèces rares tandis que le second donne plus de poids aux espèces abondantes. Un test de corrélation a ensuite été réalisé entre ces deux indices pour observer si ces deux variables réponses apportaient ou non la même information.

Un test de Kolmogorov-Smirnov (1933) était réalisé pour vérifier que la variable expliquée de chaque modèle avait une distribution normale et que des tests paramétriques pouvaient être engagés. De multiples analyses par régression linéaire ont été réalisées pour tester le lien et l'influence du chargement UGB, des variables paysagères et de l'utilisation des produits antiparasitaires sur la composition des communautés de coléoptères par site. La date de pose des pièges n'étant pas la même pour tous les transects, celle-ci a été fixée dans les modèles.

Les modèles présentés ci-dessus, en prenant comme variable expliquée, la communauté de coléoptère, ont aussi été réalisés en étudiant plutôt le nombre d'individus par piège et la biomasse. Aussi, une approche fonctionnelle des communautés de coléoptères a été entreprise, notamment pour analyser les stratégies fonctionnelles des coléoptères coprophages en fonction du chargement bovin dans les prairies.

Résultats

Entretiens

A l'issue des entretiens réalisés avec les 13 éleveurs qui ont participé à l'étude, deux classes ont été mises en évidence. Neuf éleveurs étaient sur un modèle de lutte chimique contre les parasites internes et externes des bovins, trois éleveurs luttaient contre les parasites par les plantes et un seul n'utilisait aucun produit (il a été choisi de le mettre dans la même catégorie que les éleveurs en naturopathie). Parmi les neuf éleveurs utilisant des antiparasitaires chimiques, sept d'entre-eux (Figure 2) utilisaient au moins une fois dans l'année un médicament avec comme substance active de l'ivermectine, ce qui en fait la molécule la plus utilisée parmi les éleveurs dans une stratégie de lutte chimique. Les formes buvables et pour-on des médicaments sont les plus utilisées puisque plus des trois quarts des produits sont administrés sous ces deux formules (Figure 2). Aussi, sept des neuf éleveurs luttant chimiquement contre les parasites traitaient leur troupeau en saison de pâture quand les vaches sont dans les prairies.

Les entretiens ont mis en évidence un manque de connaissances sur les antiparasitaires chimiques utilisés et leur impact tant sur la construction de l'immunité des bovins que sur la biodiversité. Plus de la moitié des éleveurs n'avaient pas connaissance de la toxicité des médicaments pour la biodiversité et en particulier pour la faune coprophage (Figure 2). D'ailleurs, cinq éleveurs avouaient ne pas savoir ce qu'étaient des coléoptères coprophages ou ne connaissaient pas leur rôle de décomposeur de matières fécales (Figure 2). Le niveau de satisfaction de l'efficacité des médicaments était élevé puisque la moyenne des notes était de 8 sur 10. Quant à la somme déboursée pour l'achat des produits ainsi que les coûts liés aux analyses coprologiques, trois éleveurs affirmaient déboursier plus de 6000€ par an, un éleveur environ 1000€ et un autre 500€ (les quatre autres éleveurs utilisant des antiparasitaires n'ont pas voulu ou étaient dans l'incapacité de répondre à la question). Concernant la méthodologie

pour l'utilisation des médicaments, 22 médicaments sur les 30 administrés aux bovins dans cette étude le sont de façon systématique sans analyses coprologiques ou d'observations de symptômes au préalable.

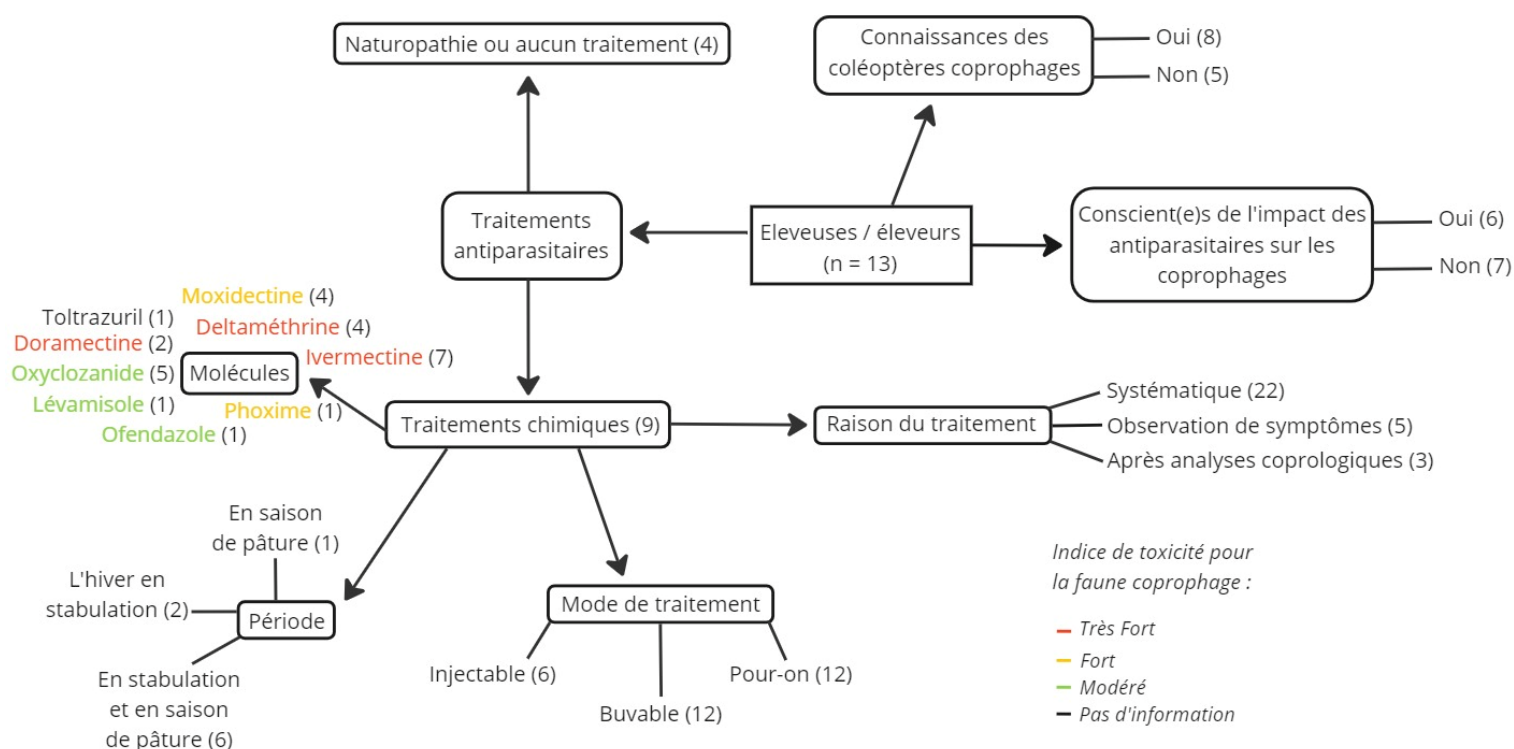


Figure 2 : Utilisation d'antiparasitaires et niveau de connaissance des éleveurs sur les coléoptères coprophages

Coléoptères coprophages

Au total, 8463 individus appartenant à 27 espèces ont été capturés et identifiés (13 espèces de Scarabeinae et 14 espèces d'Aphodiinae). 65% des individus appartenaient à la sous-famille des Scarabeinae quand 35% des coléoptères piégés étaient des Aphodiinae. Trois espèces ont été largement piégées et se retrouvent dans presque tous les sites échantillonnés : *Colobopterus erraticus* (n = 2340), *Onthophagus vacca_medius* (n = 1777) et *Caccobius schreberi* (n = 1466). Ces trois espèces représentent à elles seules 66% du jeu de données récoltés. En parallèle, sur les 27 espèces identifiées, 9 espèces ont une abondance maximale de 10 individus.

L'estimateur ACE (Chao et Lee, 1992), qui calcule l'abondance à travers l'estimation du taux

de couverture, révèle que pour 12 transects sur 16 (Tableau), au moins une espèce n'a pas été contactée dans les pièges (quand $S.ACE - Nb.sp > 1$).

<i>Site</i>	Nb.indiv	Nb.sp	S.ACE (se.ACE)
<i>Chemilly_1</i>	567	8	9.89 (± 1.71)
<i>Montbeugny_2</i>	241	12	13.3 (± 1.78)
<i>Busset</i>	156	13	13.94 (± 1.72)
<i>Montbeugny_1</i>	19	9	18.03 (± 2.46)
<i>Martin_2</i>	207	9	10.16 (± 1.48)
<i>Martin_1</i>	1800	17	19.16 (± 1.86)
<i>Beaulon_2</i>	488	14	14.5 (± 1.87)
<i>Veudre</i>	1162	13	13.4 (± 1.74)
<i>Villeneuve</i>	451	14	21.17 (± 2.36)
<i>Venas_2</i>	462	11	12.35 (± 1.78)
<i>Venas_1</i>	756	15	17.11 (± 2.16)
<i>Marigny</i>	1068	17	19.61 (± 1.57)
<i>Pouzy</i>	375	13	17.28 (± 1.77)
<i>Toulon</i>	158	14	16.58 (± 2.14)
<i>Beaulon_1</i>	339	13	13.51 (± 1.79)
<i>Chemilly_2</i>	196	13	17.71 (± 2.1)

Tableau I : Résumé des données de coléoptères piégés et le nombre d'espèces présentes estimé par l'indicateur ACE avec l'erreur standard (entre parenthèse)

Diversité alpha

Les analyses de diversité ont été réalisées avec l'indice de Shannon puisque le test de corrélation avec l'indice de Simpson s'est révélé positif, validant l'hypothèse comme quoi les deux variables réponses étaient positivement corrélées ($P < 0.05$, $ddl = 1$, $F = 212.04$, $R^2 = 0.93$). Au vu de la pluralité des pratiques d'usage des produits antiparasitaires, il a été choisi de faire des analyses selon trois niveaux classés dans l'ordre croissant de l'impact supposé de ces pratiques sur les communautés de coléoptères coprophages : utilisation d'ivermectines et de pyréthriinoïdes en pour-on en saison de pâture, utilisation d'ivermectines et de pyréthriinoïdes en saison de pâture, utilisation d'ivermectines et de pyréthriinoïdes.

Aucun des tests n'a montré de liens significatifs entre ces trois niveaux de pratique d'utilisation des antiparasitaires et les indices de diversité. Un autre test, plus général, mais toujours pas significatif, montre un niveau de diversité légèrement plus élevé dans les prairies où aucun

traitement n'est appliqué aux bovins (Figure 3). La variabilité du niveau de diversité dans les élevages traités semble aussi plus importante laissant apparaître l'intervention d'autres facteurs alors que les communautés de coléoptères coprophages se maintiennent à des niveaux de diversité similaires et plus élevés dans les élevages sans traitements chimiques.

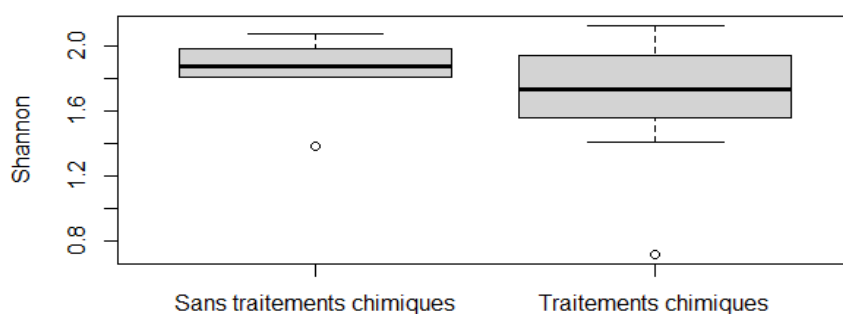


Figure 3 : Diversité alpha des coléoptères coprophages dans les élevages bovins

Aucune interaction significative n'a été trouvée entre le nombre de kilomètre de haies et le nombre d'hectares de bois présent dans un rayon d'un kilomètre autour des transects. Aussi, ni la variable « Haies » ($F = 1.67$, $P = 0.217$), ni la variable « Bois » ($F = 2.25$, $P = 0.156$), testée séparément, n'a d'influence sur la variabilité de la diversité. Néanmoins, comme pour la variable « traitements » présentée précédemment, une certaine tendance se dégage de la régression linéaire avec la variable « Bois ». La diversité augmente légèrement avec le nombre d'hectare de bois présent dans un rayon d'un kilomètre autour des sites échantillonnés. C'est notamment le cas à partir de 80 hectares de bois où les indices de Shannon se maintiennent presque tous au-dessus d'un indice de 1.8 (Figure 4).

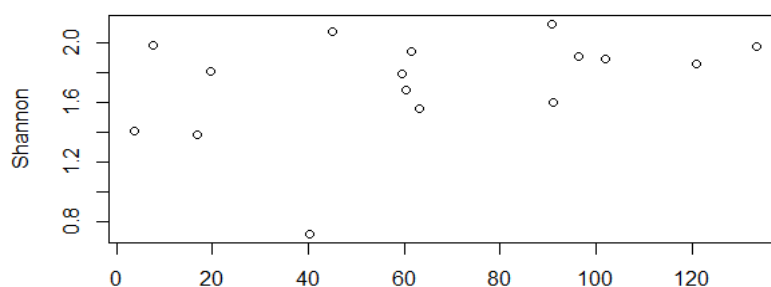


Figure 4 : Diversité alpha des coléoptères coprophages dans des secteurs boisés

Biomasse et nombre d'individus

Le lien statistique entre l'abondance des coléoptères et les biomasses enregistrées par site ayant été vérifié ($P < 0.05$, ddl = 1, $F = 46.32$, $R^2 = 0.75$), la variable « Biomasse » a été conservée comme variable réponse. Une transformation racine carrée a été appliquée sur la variable réponse biomasse pour améliorer sa distribution qui était déjà normalement distribuée. Aucune interaction significative n'a été trouvée entre le chargement UGB, les variables paysagères et les traitements administrés aux bovins.

Cependant, sans être significatif ($F = 1.9$, $P = 0.19$), une tendance semble se dessiner puisque la biomasse de coléoptères piégés dans les fermes où aucune molécule du groupe des avermectines (ivermectine, doramectine, moxidectine) et des pyréthriinoïdes (deltaméthrine), n'étaient utilisées, était globalement plus importante que dans celles où ces molécules étaient administrées aux bovins (Figure 5). Néanmoins, les élevages avec des traitements à base d'ivermectines et pyréthriinoïdes montrent une dispersion importante de valeur de biomasse ce qui laisse penser que d'autres facteurs interviennent et explique ces variations de biomasse. Aucune autre variable ne montre quelconque tendance à l'image de l'UGB. Malgré différents chargements dans les prairies, les valeurs de biomasse ne varient pas significativement ($F = 0.48$, $P = 0.63$) (Figure 5).

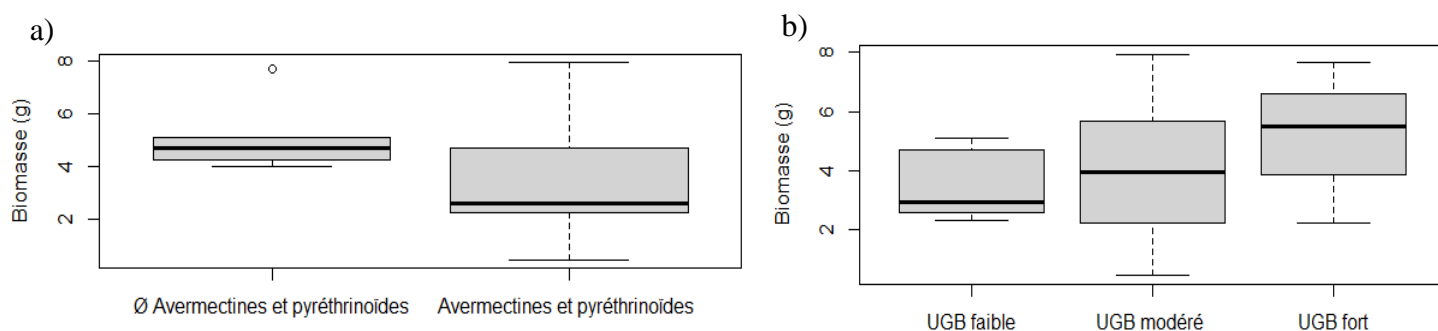


Figure 5 : Biomasse des coléoptères coprophages selon différentes pratiques d'élevage : en a) l'utilisation d'ivermectines et de pyréthriinoïde et en b) le chargement dans les pâtures

Guilde

Sur les 8463 coléoptères capturés, 94% des individus appartenaient à la guilde des paracoprides et 6% étaient des endocoprides. Chez les paracoprides, 16 espèces étaient

représentées (principalement le genre *Onthophagus*) contre 11 espèces pour les endocoprïdes. Un test de Kruskal-Wallis a été appliqué pour les données d'abondance de la guildes des endocoprïdes puisque celles-ci ne suivaient pas une loi Normale.

Aucun lien statistique n'a été identifié entre les différents niveaux de chargement et l'expression des guildes de coléoptères coprophages (paracoprïdes : $F = 0.35$, $P = 0.71$; endocoprïdes : $H = 0.69$, $P = 0.71$).

D'autres analyses impliquant la richesse spécifique par guildes en fonction du chargement n'ont pas non plus montré de significativité (paracoprïdes : $F = 0.1$, $P = 0.90$; endocoprïdes : $F = 0.47$, $P = 0.63$).

Discussion

Si dans la bibliographie scientifique l'impact des antiparasitaires sur la faune coprophage est largement montré, le sujet reste plus flou et moins intériorisé chez les agriculteurs. Il semblerait aussi que les vétérinaires, qui prescrivent et commandent les médicaments, ne soient pas toujours avertis de la toxicité des produits pour la biodiversité. Sans pour autant pouvoir apporter de chiffres, Bousala *et al.* (2022) expliquaient que très peu de vétérinaires étaient impliqués dans un projet de gestion raisonnée des antiparasitaires dans le Gard et l'Hérault. Certains, qui avaient été interrogés, témoignaient du peu de temps consacré aux antiparasitaires dans leur formation. En Auvergne, la région a vu le Groupement Technique Vétérinaire d'Auvergne (GTV) monter le projet EleVE avec la LPO, depuis 2014, afin d'accompagner 30 vétérinaires et travailler sur une utilisation plus raisonnée des produits antiparasitaires dans les élevages et de sensibiliser à leur toxicité pour la biodiversité. La formation des vétérinaires sur cette thématique paraît primordiale puisque lors d'infections, les éleveurs se tournent vers eux pour l'achat des produits et bien souvent, la solution est celle des médicaments. Une éleveuse se confiait à ce sujet lors d'un entretien qui, en parlant des vétérinaires, expliquait qu'on lui « propose systématiquement des produits chimiques ». Le sujet semble peu à peu investir le monde agricole et plus en plus de formations sur une utilisation plus douce et plus réfléchie des antiparasitaires à destination des agriculteurs voient le jour (par exemple la chambre d'agriculture des Haute Marne l'année dernière ou encore les Groupes de Défense Sanitaire, les GDS, un peu partout en France).

Il reste cependant une grande marge de progression pour que le sujet de l'impact des antiparasitaires, tant sur la construction de l'immunité des animaux que sur l'environnement, conquiert véritablement l'agriculture. Dans cette étude, un seul éleveur confiait qu'il avait suivi une formation sur la lutte antiparasitaire (en naturopathie) tandis qu'un autre, en lutte chimique, avait participé au premier projet EleVE dans la région. Les autres éleveurs, en lutte chimique, n'ont pas suivi de formation sur cette problématique. Bousala et *al.* (2022) montraient aussi que dans leur étude, une majorité des éleveurs n'avaient jamais suivi de formations sur ce sujet (75% des éleveurs interrogés).

Ce constat permet sûrement d'expliquer, en partie, le grand nombre de médicaments utilisés de façon systématique. Dans l'Allier, les entretiens ont révélé que quasiment les trois quarts des médicaments recensés (73%) étaient administrés systématiquement aux bovins en « prévention » de futures infestations. Ce résultat ne suit pas ceux enregistrés dans le sud de la France par Bousala et *al.* (2022) puisqu'ils notaient que la majorité des éleveurs interrogés engageaient un traitement après la détection de parasitoses. A noter que dans leur cas, les éleveurs faisaient partie d'un projet de compensation environnemental et que les éleveurs étaient soumis à un cahier des charges limitant notamment l'utilisation d'antiparasitaires. Peu d'études sur le comportement des éleveurs et leur réflexion quant à l'utilisation des médicaments existent à ce jour. Quelques données existent dans la littérature grise où il est noté, par exemple dans les Pays de la Loire, que dans des élevages ovins en agriculture biologique, tous les éleveurs ($n = 6$) avaient recours à des produits antiparasitaires de façon systématique. Ce même document montre aussi que le nombre de traitements administrés aux moutons était plus important lors des années humides (2007 et 2008 dans l'étude en question), réflexion qui est revenue plusieurs fois lors des entretiens avec les éleveurs auvergnats à cause du printemps particulièrement humide de cette année.

Le traitement par les plantes a du mal à convaincre les éleveurs. L'efficacité des traitements par les molécules chimiques satisfait les éleveurs et tous admettaient leur dépendance vis-à-vis de ces produits. Selon eux, il ne serait pas viable économiquement de s'abstenir des médicaments de peur de voir leurs vaches tomber malade, perdre du poids (donc des revenus) voire de mourir. Deux éleveurs en lutte chimique se disaient prêts à arrêter la chimie si on leur proposait des remèdes alternatifs efficaces. Pour les sept autres, aucune

alternative n'était envisageable. Bousala et *al.* (2022) recueillaient les mêmes propos et montraient cependant une plus faible proportion d'éleveurs tenant ce discours (31%). Autre élément différent avec l'étude sur les éleveurs dans le sud de la France, le type de molécule utilisée. Les éleveurs du sud utilisaient autant de molécules de la famille des benzimidazoles (moins toxiques) que de molécules de la famille des pyréthrinoïdes et lactones macrocycliques (les plus toxiques) additionnées quand ceux de l'Allier utilisaient majoritairement les lactones macrocycliques et pyréthrinoïdes (par exemple, sept élevages sur neuf utilisaient de l'ivermectine). L'utilisation majoritaire de ces molécules toxiques est l'illustration des pratiques mondiales puisque l'ivermectine est l'une des molécules les plus utilisées dans l'élevage. Dans la littérature grise, il est montré que selon certaines études, l'ivermectine représente 40% du marché de l'endectocide.

Les trois éleveurs en naturopathie étaient satisfaits de l'efficacité de ce mode de traitement. Dans leur cas, l'approche est tout autre puisqu'il s'agit de faire des cures par les plantes, l'huile de foie de poisson et d'huile essentielle pour améliorer et stimuler l'immunité des bovins. La réflexion par le préventif est de préparer les animaux à être parasité sans pour autant tomber malade quand la lutte par la chimie consiste à détruire les parasites mais aussi l'immunité des bovins. Le traitement par des solutions naturelles est à nuancer puisqu'à priori, elle perd de son efficacité quand une vache tombe malade. Une éleveuse en naturopathie confiait que dans des cas où une vache tombe sévèrement malade, la solution chimique reste la seule solution efficace.

Cette étude n'a pas permis de montrer d'effets significatifs des variables étudiées sur les communautés de coléoptères coprophages. Pourtant, le protocole a suivi ce qui est couramment fait sur les études sur ce taxon. Lobo et *al.* (1998) montraient que l'utilisation entre deux et cinq pièges suffisaient pour avoir une bonne photographie des communautés de coléoptères coprophages présentes sur site. Peu de gros individus (essentiellement *Copris lunaris*) ont été capturés et aucun individu de la famille des Geotrupidae n'a été trouvé dans les pièges. Pourtant, une attention particulière a été prise lors de la construction des pièges pour faire des mailles assez grandes et éviter que les gros individus ne passent sur le piège sans tomber dans la bassine. La mauvaise météo de ce printemps 2024 pourrait expliquer, en partie, l'absence de résultats significatifs dans cette étude. Les pièges ont été posés sur des périodes pluvieuses ne permettant pas aux coléoptères coprophages de s'exprimer convenablement. Lobo et *al.* (1998) montraient que les plus basses abondances de coléoptères piégés étaient

observées lors de périodes pluvieuses et expliquaient que la radiance était le principal facteur d'activité des coléoptères coprophages.

Les résultats n'ont donc pas pu montrer d'effets significatifs de la pression de pâturage sur les communautés de coléoptères coprophages. Malgré tout, une tendance semble montrer que la biomasse augmente sur des sites avec une densité de vache, et donc de bouses, plus importante à l'hectare. Ce résultat semble suivre un grand principe de l'Ecologie où l'augmentation de la ressource disponible entraîne l'augmentation du nombre d'individu. Cependant, se pose la question de l'impact d'un chargement trop élevé sur le sol. Un fort chargement ne permet plus à la guilda des paracoprides de s'exprimer (Perrin, 2020). Le tassement du sol trop important empêche ces coléoptères fouisseurs de creuser leur galerie et y installer leurs œufs. Ce constat n'a pas pu être observé dans cette étude.

Bien que cette étude n'ait pas montré de lien entre la diversité et le chargement, Tonnelli et *al.* (2017) expliquaient que l'extensification faisait diminuer la diversité des communautés en perdant notamment les plus gros coléoptères coprophages qui ont besoin d'importantes quantités de fèces. Cela a été particulièrement notable avec *Teuchestes fossor*, un gros Aphodiinae, présent en grand nombre dans deux sites avec un indice de chargement important (6,1 UGB et 28,5 UGB). Sur les 66 individus collectés, 35 étaient présents sur ces deux sites. Néanmoins, ce constat n'a pas été observé avec *Copris lunaris*, un gros Scarabeinae, puisque 41% des individus ont été capturés sur deux sites au chargement modéré (2 UGB et 3,2 UGB). D'autres études montrent l'exact inverse des observations de Tonnelli et *al.* (2017). Noriega et *al.* (2023) expliquaient que les sites avec une faible intensité de pâturage avaient une richesse spécifique significativement plus importante que dans des prairies au chargement plus important. Ils montraient même qu'une fois les effets du climat contrôlés, ni l'intensité de pâturage, ni l'utilisation de produits anthelminthiques ne faisait varier la diversité alpha.

Ces résultats sont surprenants étant donné le nombre conséquent de papiers sur l'impact négatif des médicaments sur les coléoptères coprophages. Par exemple, Tonnelli et *al.* (2017) montraient que la biomasse et la diversité d'espèces étaient significativement moins importantes dans les prairies où des traitements antiparasitaires chimiques étaient utilisés

historiquement. C'est aussi le cas pour Beynon et *al.* (2012) qui trouvaient moins d'individus et moins de biomasse dans des prairies en Grande-Bretagne où les vaches étaient traitées à l'ivermectine ainsi qu'Hutton et Giller (2003) qui montraient une plus grande richesse spécifique, une biomasse plus importante et une diversité plus importante dans une ferme en agriculture biologique sans traitements antiparasitaires chimiques. Les résultats de Noriega et *al.* (2023) ne doivent pas remettre en question l'impact négatif des molécules chimiques sur les coprophages mais montrent que ce n'est pas la seule variable discriminante qui peut faire varier la composition des communautés.

Les études sur le paysage ont montré que c'est une variable importante dans l'expression des communautés de coléoptères coprophages. Pourtant, aucun lien significatif entre la présence de l'arbre et la diversité ou la biomasse n'a été identifié dans cette étude. Seulement une tendance montrant une augmentation de la diversité alpha avec l'augmentation en surface boisée a été observée. Aucune étude de ce genre n'a été trouvée en milieu tempéré afin de comparer ces résultats. Seul Jay-Robert et *al.* (2008) montrait que l'hétérogénéité de la strate herbacée et arbustive dans des prairies avec une faible intensité de pâturage permettait d'augmenter le nombre d'espèces de coléoptères. Ici, il a été choisi d'étudier si la présence de l'arbre dans les pâtures pouvait augmenter la diversité de coléoptères. L'intensification de l'agriculture s'est notamment traduite par la disparition de l'arbre dans les prairies ce qui a fait passer des paysages historiquement bocagers à des systèmes très ouverts. Il a été montré que ces changements avaient des impacts sur la biodiversité, en particulier pour l'avifaune (Vallé et *al.* 2023). Pour les coléoptères coprophages, aucune étude ne permet de montrer l'impact de la disparition de l'arbre sur les populations. Les arbres permettent pourtant de garder une certaine fraîcheur et humidité dans les parcelles ce qui peut directement influencer la colonisation des bouses par les coléoptères puisque ceux-ci ont besoin de pondre dans des bouses humides pour que les jeunes adultes puissent sortir sans être bloqués par la formation d'une croûte sèche sur le dessus. Aussi, la présence d'haies et de bois pourraient offrir des sites pour certaines espèces qui hibernent ou même des zones de repos pendant des épisodes de sécheresse ou de pluie. On peut supposer aussi que la présence de structures boisées permet à la faune sauvage, en particulier aux ongulés (sangliers, cerfs, chevreuils...) de s'exprimer (Carpaneto, 1986) et de favoriser la présence des coprophages comme le suggère Carbero et *al.* (1999) bien qu'en France, les coléoptères coprophages sont bien plus dépendants des animaux d'élevages.

Ainsi, dans une optique de conservation des coléoptères coprophages, le maintien de l'élevage est incontournable. La présence d'activités d'élevage autour des zones échantillonnées n'a pas pu être pris en compte dans cette étude mais Lobo et *al.* (1998) montraient que l'abondance et la diversité de coléoptères étaient plus importantes dans les secteurs où l'élevage était dominant et présent depuis longtemps. Dans une autre étude, Lobo (2006) expliquait que l'abondance de coléoptères coprophages était plus importante dans des zones où l'élevage de moutons étaient important.

Les efforts sur la sensibilisation et l'accompagnement des éleveurs sur des modèles basés sur les produits naturels doivent continuer. Il ne s'agit pas pour autant d'interdire l'usage des molécules chimiques mais de permettre aux éleveurs de se réapproprier l'usage de ces médicaments en leur proposant des formations. Le travail sur le pâturage semble aussi être une façon efficace de lutter contre le parasitisme en privilégiant, par exemple, le pâturage des zones humides par des vaches adultes, qui ont un système immunitaire bien établi, par rapport à de jeunes veaux.

Bibliographie

- Barbero, E., Palestini, C., Rolando, A., 1999. Dung beetle conservation : effects of habitat and resource selection (Coleoptera : Scarabaeoidea). *J. Insect Conserv*, 3, 75–84.
- Bebermans, J., Fagot, J., Francis, F., 2016. Contribution à l'écologie des coléoptères coprophiles et coprophages en Belgique : diversité spécifique, préférences stercoarles et phénologie. *Faun. Entomol*, 69, 125–138.
- Beynon, S.A., Mann, D.J., Slade, E.M., Lewis, O.T., 2012. Species-rich dung beetle communities buffer ecosystem services in perturbed agro-ecosystems. *J. Appl. Ecol*, 49, 1365–1372.
- Beynon, S.A., Wainwright, W.A., Christie, M., 2015. The application of an ecosystem services framework to estimate the economic value of dung beetles to the U.K. cattle industry. *Ecological Entomology*, 40, 124–135.
- Bornemissza, G.F., 1970. Insectary studies on the control of dung breeding flies by the activity of the dung beetle, *onthophagus gazella* f. (coleoptera: scarabaeinae). *Australian Journal of Entomology*, 9, 31–41.
- Bouasla, I., Binot, A., Jacquet, P., 2022. Gestion raisonnée des traitements antiparasitaires vétérinaires dans le sud-est de la France dans une approche One Health EcoHealth. *Rev. D'élevage Médecine Vét. Pays Trop*, 75, 55–63.
- Carpaneto, G.M., Mazziotta, A., Valerio, L., 2007. Inferring species decline from collection records : roller dung beetles in Italy (Coleoptera, Scarabaeidae). *Diversity and Distributions*, 13, 903–919.
- Costanza, R., d'Arge, R., de Groot, R., 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 387, 253–260.
- Crutzen, P.J., Stoermer, E.F., 2021. The 'Anthropocene' (2000), in: Benner, S., Lax, G., Crutzen, P.J., Pöschl, U., Lelieveld, J., Brauch, H.G. (Eds.), *Paul J. Crutzen and the Anthropocene: A New Epoch in Earth's History, The Anthropocene: Politik—Economics—Society—Science*. Springer International Publishing, 19–21.
- Dormont, L., Epinat, G., Lumaret, J.-P., 2004. Trophic Preferences Mediated by Olfactory Cues in Dung Beetles Colonizing Cattle and Horse Dung. *Environ. Entomol*, 33, 370–377.
- Doube, B.M., 1990. A functional classification for analysis of the structure of dung beetle assemblages. *Ecological Entomology*, 15, 371–383.
- Eider, J.-F., Petillon, J., 2010. Déterminants écologiques d'un peuplement prairial de coléoptères Scarabaeoidea laparosticti (Manche, France). *Rev. Ecol*, 65, 225–233.

- Errouissi, F., Haloti, S., Jay-robert, P., Janati-idrissi, A., Lumaret, J.-P., 2004. Effects of the Attractiveness for Dung Beetles of Dung Pat Origin and Size Along a Climatic Gradient. *Environ. Entomol.*, 33, 45–53.
- Errouissi, F., Alvinerie, M., Galtier, P., Kerboeug, D., Lumaret, J.-P., 2001. The negative effects of the residues of ivermectin in cattle dung using a sustained-release bolus on *Aphodius constans* (Duft.) (Coleoptera: Aphodiidae). *Veterinary Research*, 32, 421–427
- Floate, K.D., Colwell, D.D., Fox, A.S., 2002. Reductions of non-pest insects in dung of cattle treated with endectocides : a comparison of four products. *Bull. Entomol. Res.*, 92, 471–481.
- Floate, K.D., Wardhaugh, K.G., Boxall, A.B.A., Sherratt, T.N., 2005. Fecal residues of veterinary parasiticides : Nontarget Effects in the Pasture Environment. *Annu. Rev. Entomol.*, 50, 153–179.
- Giraudoux, P., 2022. Ecosystem health : what is the definition ? *Bulletin de l'Académie Vétérinaire de France*, 175, 120–139.
- Gotcha, N., Machekano, H., Cuthbert, R.N., Nyamukondiwa, C., 2021. Heat tolerance may determine activity time in coprophagic beetle species (Coleoptera: Scarabaeidae). *Insect Sci.*, 28, 1076–1086.
- Haloti, S., Janati-idrissi, A., Chergui, H., Lumaret, J.-P., 2006. Structure des communautés de Scarabéides coprophages du Maroc nord-occidental (Coleoptera, Scarabaeoidea). *Bull. Inst. Sci. Rabat*, 28, 25–34.
- Houdet, J., Trommetter, M., Weber, J., 2012. Understanding changes in business strategies regarding biodiversity and ecosystem services. *Ecological Economics*, 73, 37–46.
- Hutton, S.A., Giller, P.S., 2003a. The effects of the intensification of agriculture on northern temperate dung beetle communities. *J. Appl. Ecol.*, 40, 994–1007.
- Hutton, S.A., Giller, P.S., 2003b. The effects of the intensification of agriculture on northern temperate dung beetle communities. *J. Appl. Ecol.*, 40, 994–1007.
- Jay-Robert, P., Niogret, J., Errouissi, F., Labarussias, M., Paoletti, É., Luis, M.V., Lumaret, J.-P., 2008. Relative efficiency of extensive grazing vs. wild ungulates management for dung beetle conservation in a heterogeneous landscape from Southern Europe (Scarabaeinae, Aphodiinae, Geotrupinae). *Biological Conservation*, 141, 2879–2887.
- Kadiri, N., Lobo, J.M., Lumaret, J.-P., 1997. Conséquences de l'interaction entre préférences pour l'habitat et quantité de ressources trophiques sur les communautés d'insectes coprophages (Coleoptera: Scarabaeoidea). *Acta Oecologica*, 18, 107–119.
- Kazuhira, Y., Hdeaki, K., Takuro, K., Toshiharu, A., 1991. Nitrogen mineralization and microbial populations in cow dung, dung balls and underlying soil affected by paracoprid dung beetles. *Soil Biology and Biochemistry*, 23, 649–653.

- Lobo, J.M., Hortal, J., Cabrero-Sañudo, F.J., 2006. Regional and local influence of grazing activity on the diversity of a semi-arid dung beetle community. *Divers. Distrib.*, 12, 111–123.
- Lobo, J.M., Lumaret, J.-P., Jay-Robert, P., 1998. Sampling dung beetles in the French Mediterranean area: effects of abiotic factors and farm practices. *Pedobiologia*, 42, 252–266.
- Losey, J.E., Vaughan, M., 2006. The Economic Value of Ecological Services Provided by Insects. *BioScience*, 56, 311.
- Lowe, P., Whitman, G., Phillipson, J., 2009. Ecology and the social sciences. *Journal of Applied Ecology*, 46, 297–305.
- Lumaret, J.-P., 1995. Dessication rate of excrement : a selective pression on dung beetle (Coleoptera : Scarabaeoidae). *Time Scales Biol. Response Water Constraints*, 105–118.
- Lumaret, J.-P., Errouissi, F., 2002. Use of anthelmintics in herbivores and evaluation of risks for the non target fauna of pastures. *Vet. Res.*, 33, 547–562.
- Lumaret, J.-P., Errouissi, F., Floate, K., Rombke, J., Wardhaugh, K., 2012. A Review on the Toxicity and Non-Target Effects of Macrocyclic Lactones in Terrestrial and Aquatic Environments. *Curr. Pharm. Biotechnol.*, 13, 1004–1060.
- Lumaret, J.P., Galante, E., Lumbreras, C., Mena, J., Bertrand, M., Bernal, J.L., Cooper, J.F., Kadir, N., Crowe, D., 1993. Field Effects of Ivermectin Residues on Dung Beetles. *The Journal of Applied Ecology*, 30, 428.
- Lumaret, J.P., Kadir, N., Bertrand, M., 1992. Changes in Resources: Consequences for the Dynamics of Dung Beetle Communities. *J. Appl. Ecol.*, 29.
- Martin-Piera, F., Lobo, J.-M., 1996. A comparative discussion of trophic preferences in dung beetle communities. *Miscel lania Zoologica*, 19, 13-31
- Nichols, E., Spector, S., Louzada, J., Larsen, T., Amezcua, S., Favila, M.E., 2008. Ecological functions and ecosystem services provided by Scarabaeinae dung beetles. *Biological Conservation*, 141, 1461–1474.
- Noriega, J.A., Hortal, J., deCastro-Arrazola, I., Alves-Martins, F., Ortega, J.C.G., Bini, L.M., Andrew, N.R., Arellano, L., Beynon, S., Davis, A.L.V., Favila, M.E., Floate, K.D., Horgan, F.G., Menéndez, R., Milotic, T., Nervo, B., Palestini, C., Rolando, A., Scholtz, C.H., Senyüz, Y., Wassmer, T., Ádam, R., Araújo, C.D.O., Barragan-Ramírez, J.L., Boros, G., Camero-Rubio, E., Cruz, M., Cuesta, E., Damborsky, M.P., Deschodt, C.M., Rajan, P.D., D'hondt, B., Díaz Rojas, A., Dindar, K., Escobar, F., Espinoza, V.R., Ferrer-Paris, J.R., Gutiérrez Rojas, P.E., Hemmings, Z., Hernández, B., Hill, S.J., Hoffmann, M., Jay-Robert, P., Lewis, K., Lewis, M., Lozano, C., Marín-Armijos, D., De Farias, P.M., Murcia-Ordoñez, B., Karimbumkara, S.N., Navarrete-Heredia, J.L., Ortega-Echeverría, C., Pablo-Cea, J.D., Perrin, W., Pessoa, M.B., Radhakrishnan, A., Rahimi, I., Raimundo, A.T., Ramos, D.C., Rebolledo, R.E., Roggero, A., Sánchez-Mercado, A., Somay, L., Stadler, J., Tahmasebi, P., Triana Céspedes, J.D., Santos,

- A.M.C., 2023. Dung removal increases under higher dung beetle functional diversity regardless of grazing intensification. *Nat. Commun.*, 14.
- Maas, J., Verheij, R.A., De Vries, S., Spreeuwenberg, P., Schellevis, F.G., Groenewegen, P.P., 2009. Morbidity is related to a green living environment. *Journal of Epidemiology & Community Health*, 63, 967–973.
- Perrin, W., Moretti, M., Vergnes, A., Borcard, D., Jay-Robert, P., 2020. Response of dung beetle assemblages to grazing intensity in two distinct bioclimatic contexts. *Agric. Ecosyst. Environ.*, 289.
- Ridsdill-Smith, T.J., Matthiessen, J.N., 1988. Bush fly, *Musca vetustissima* Walker (Diptera: Muscidae), control in relation to seasonal abundance of scarabaeine dung beetles (Coleoptera: Scarabaeidae) in south-western Australia. *Bull. Entomol. Res.*, 78, 633–639.
- Roslin, T., 2000. Dung beetle movements at two spatial scales. *Oikos*, 91, 323–335.
- Roslin, T., 2001. Large-scale spatial ecology of dung beetles. *Ecography*, 24, 511–524.
- Roslin, T., Koivunen, A., 2001. Distribution and abundance of dung beetles in fragmented landscapes. *Oecologia*, 127, 69–77.
- Scarlett, L., Boyd, J., 2015. Ecosystem services and resource management : Institutional issues, challenges, and opportunities in the public sector. *Ecological Economics*, 115, 3–10.
- Soler, J.J., Soler, M., 1993. Diet of the Red-billed Chough *Pyrrhocorax pyrrhocorax* in south-east Spain. *Bird Study*, 40, 216–222.
- Sommer, C., Steffansen, B., Nielsen, B.O., Grønvold, J., Vagn Jensen, K.-M., Brøchner Jespersen, J., Springborg, J., Nansen, P., 1992. Ivermectin excreted in cattle dung after subcutaneous injection or pour-on treatment: concentrations and impact on dung fauna. *Bull. Entomol. Res.*, 82, 257–264.
- Tonelli, M., Verdú, J.R., Zunino, M.E., 2017. Effects of grazing intensity and the use of veterinary medical products on dung beetle biodiversity in the sub-mountainous landscape of Central Italy. *PeerJ*, 5.
- Vallé, C., Le Viol, I., Kerbiriou, C., Bas, Y., Jiguet, F., Princé, K., 2023. Farmland biodiversity benefits from small woody features. *Biol. Conserv.*, 286.
- Veiga, C.M., Lobo, J.M., Martin-Piera, F., 1989. Las trampas pitfall con cebo, sus posibilidades en el estudio de las comunidades coprofagas de Scarabaeoidea (Col.). II : Analisis de efectividad. *Rev. Ecol. Biol. Sol.*, 26, 91–109.
- Verdú, J.R., Cortez, V., Ortiz, A.J., González-Rodríguez, E., Martínez-Pinna, J., Lumaret, J.-P., Lobo, J.M., Numa, C., Sánchez-Piñero, F., 2015. Low doses of ivermectin cause sensory and locomotor disorders in dung beetles. *Sci Rep.*, 5.

- Wall, R., Strong, L., 1987. Environmental consequences of treating cattle with the antiparasitic drug ivermectin. *Nature*, 327, 418–421.
- Waßmer, T., 1994. Seasonality of coprophagous beetles in the Kaiserstuhl area near Freiburg (SW-Germany) including the winter months. *Acta Oecologica*, 15, 607–631.

Annexe

Entretien semi-directif avec des éleveurs de l'Allier sur leur gestion des parasites

(~1h)

AXE I : Description de la ferme et de la production

- Présentation générale de la ferme (histoire de la ferme, date d'installation, produits vendus, taille, superficie des parcelles, surface en herbe, surface en culture, présence haies, bois et zones humides)
- Approfondissement production animale (taille troupeau, races, date de mise en herbe / de rentrée à l'étable, aliments utilisés et si ça vient de la ferme (origine ?), système d'abreuvement, zone de nourrissage) + évolution
- Gestion des génisses : est-ce que les veaux sont laissés avec les mères ou si à part.
- Gestion parcelles (charge UGB.ha.an sur la ferme et par parcelle, temps moyen passé par un lot dans une parcelle, traitement chimique, épandage fumier, éclatement des bouses, gestion haies) + évolution

AXE II : Vision de la biodiversité et des auxiliaires de culture

- Quels sont les auxiliaires de culture et estimation de leur impact sur la ferme
- Zoom sur les insectes coprophages, leur impact dans les prairies et leur rôle écologique
- Dégradation des bouses + évolution, facteur influençant leur dégradation
- Place de la haie dans la ferme : régression ou extension

AXE III : Traitements antiparasitaires

- Quel est le type de traitement appliqué (molécules chimiques, plantes médicinales ou autre) et depuis quand
- Méthodologie de traitement :
 1. Systématique ou ciblé sur les animaux avec des symptômes (si systématique, à quel moment de la saison et à quelle fréquence) + évolution
 2. Le mode d'application des traitements (injection, voix orale, pour-on, pulvérisation (pour **parasites externes**)) + évolution
 3. Les molécules ou plantes utilisées (à défaut, le nom du médicament) et leur dose + évolution
- Raisonnement de l'utilisation des antiparasitaires :
 4. Avant l'utilisation des produits, y-a-t-il un examen fait par un vétérinaire
 5. Traitement de tout un lot ou seulement des animaux avec des symptômes
 6. Quels sont les symptômes pour lesquels un traitement antiparasitaire est engagé
 7. Les raisons de ces pratiques
- Avis et retour sur les traitements utilisés :
 8. Le regard général sur les traitements antiparasitaires (niveau de confiance sur l'origine, la fabrication et leur niveau de connaissance sur les produits et leur impact dans le métabolisme)
 9. Niveau de satisfaction sur les traitements (entre 1 et 10)
 10. Y-a-t-il le souhait de changer de mode de traitement (molécules, mode d'application)
 11. Niveau d'impact des antiparasitaires sur la biodiversité puis zoom sur les coprophages
 12. Y-a-t-il un lien entre l'utilisation des produits et la dégradation des bouses

Annexe I : Guide d'entretien pour les interviews avec les éleveurs