

A Monsieur le Professeur Jean-Louis FONVIEILLE

Professeur des Universités

Praticien hospitalier

Zoologie-Parasitologie

Pour avoir accepté de présider ce Jury.

A Monsieur le Docteur Philippe JACQUIET

Maître de Conférences de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse

Parasitologie et maladies parasitaires

Pour son encadrement, sa disponibilité et ses conseils.

A Monsieur le Professeur Philippe DORCHIES

Professeur de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse

Parasitologie et maladies parasitaires

Pour avoir accepté de participer au Jury de thèse, pour ses conseils.

A Monsieur le Docteur Hervé HOSTE

Docteur Vétérinaire

Pour son encadrement, sa disponibilité et son soutien constant.

AVEC LE SOUTIEN DE :



Etablissement Public Local
d'Enseignement Agricole
Olivier de Serres

Exploitation agricole

Cultiver et transmettre

Domaine Olivier de Serres
Exploitation Agricole
Le Pradel
07170 MIRABEL

Tél. 04 75 36 74 37
Fax 04 75 36 76 80

Ministère de l'Agriculture et de la Forêt



Station Expérimentale
Caprine du Pradel

07170 MIRABEL

Tél. 04.75.36.74.37
Fax. 04.75.36.76.80



UMR 1225 I.N.R.A./E.N.V.T.
"Interactions Hôtes-Agents Pathogènes"
23, chemin des Capelles
31 076 Toulouse.

Et sous l'égide du Pôle d'Expérimentation
et de Progrès Caprin Rhône-Alpes.

REMERCIEMENTS

Pour leur contribution à cette étude, je remercie :

- **Alain Sixtre** : Responsable d'Antenne du Domaine Olivier de Serres.

- **Yves Lefrileux** : Responsable des expérimentations à la Station Caprine du Pradel.

- **Hervé Hoste** : Vétérinaire chargé de Recherche de 1^{ère} classe à l'unité de recherche UMR 1225 I.N.R.A./E.N.V.T. "Interactions Hôtes-Agents Pathogènes"

- **Philippe Jacquet** : Maître de Conférences à l'UMR 1225 I.N.R.A./E.N.V.T. "Interactions Hôtes-Agents Pathogènes".

Pour leur aide dans la réalisation de l'étude :

- **Alain Pommaret, Alain Raymond.**

- **Nicolas Crin et Marie Soubeyrat.**

- IV -
Remerciements.

Pour la participation aux analyses coproscopiques ainsi que leur accueil :

- **Hervé Hoste et toute l'équipe de l'unité associée UMR 1225 I.N.R.A. / E.N.V.T. "Interactions Hôtes-Agents Pathogènes." Dont Françoise Prévot, Christelle Grisez, Jean-Paul Bergeaud, Virginie Paolini.**

Pour leur accueil chaleureux et leur aide précieuse :

- **L'équipe du Pradel dont : Françoise Raoux, Jacques Sangouard, Sylvie Morge et Heïdi.**

L'auteur souhaite remercier pour son support financier l'Union européenne à travers le Contrat WORMCOPS (numéro QLK5-CT 2001-01843), qui fait partie d'une collaboration entre le Danemark, le Royaume-Uni, les Pays-Bas, la Suède, l'Espagne et la France.

A ma famille pour son support moral et affectif,

A Agnès,

A mes professeurs pour leur enseignement,

A l'équipe du service de parasitologie-dermatologie, les professeurs Michel Franc, Philippe Dorchies, Jacques Ducos de Lahitte, aux Docteurs Marie-Christine Cadiergues, Cédric Petit et Marie Larcher, et à mes camarades Amel, Céline, Delmine, Virginie, Fanny et Sébastien.

A la A-Team, Jésus, Patrice, Séverine, Sophie, Valérie et Filipe.

A mes amis.

A 014, 905, 807, 756, 674, 555, 470, 9304, 8206 et leurs copines, chèvres du Pradel, sans qui cette étude n'aurait pas été possible.

A la chèvre de M. Seguin, la première de toute.

A la personne que j'ai oubliée...

SOMMAIRE

Introduction	8
Etude bibliographique	10
Première Partie : Contexte de l'étude	11
1. Les strongyloses caprines	11
1.1 Eléments de biologie	11
1.1.1 Strongles gastro-intestinaux présents chez la chèvre	11
1.1.2 Cycle parasitaire des strongles gastro-intestinaux	12
1.2 Epidémiologie des strongyloses digestives	13
1.3 Helminthoses digestives : signes cliniques et conséquences sur les performances	13
1.3.1 Mécanismes physiopathologiques	13
1.3.2 Réduction des performances et conséquences économiques	14
1.3.2.1 Conséquences sur la production laitière	14
1.3.2.2 Conséquences sur la prolificité	15
1.3.2.3 Conséquences sur la croissance des chevreaux	15
1.3.3 Notion de résistance et de résilience	15
1.3.4 Méthodes de détection du parasitisme par les strongles	16
1.3.4.1 Analyses effectuées chez l'animal	16
1.3.4.2 Analyses effectuées à partir du pâturage	17
2. Méthodes allopathiques de lutte contre les strongles digestifs chez la chèvre	17

2.1 Anthelminthiques disponibles et utilisation chez la chèvre laitière -----	17
2.1.1 Anthelminthiques disponibles -----	17
2.1.2 Particularités d'utilisation en élevage caprin laitier -----	19
2.2 Phénomènes de résistance aux anthelminthiques -----	19
2.2.1 Définition -----	19
2.2.2 Méthodes de détection -----	20
2.2.2.1 Méthodes biologiques -----	20
2.2.2.2 Méthodes biochimiques -----	21
2.2.3 Situation mondiale des résistances aux anthelminthiques chez les strongles -----	21
2.2.3.1 Molécules concernées -----	21
2.2.3.2 Répartition et prévalence -----	21
2.2.3.3 Espèces parasites concernées -----	22
2.2.3.4 Espèces hôtes concernées -----	22
2.2.4 Situation en France, chez la chèvre -----	23
2.2.5 Facteurs de développement des résistances et application à la situation chez la chèvre -----	23
2.2.5.1 Facteurs de développement des résistances -----	23
2.2.5.2 Causes de la prévalence élevée des résistances chez la chèvre -----	25
2.2.6 Prévention de l'apparition des résistances aux anthelminthiques	26
3. Méthodes alternatives de lutte contre les strongyloses caprines -----	26
3.1 Intérêt -----	26
3.2 Utilisation raisonnée des anthelminthiques -----	27
3.2.1 Traitement sélectif -----	27
3.2.1.1 Méthode FAMACHA -----	28
3.2.1.2 Détection des animaux forts excréteurs par coproscopie -----	28
3.2.1.3 Traitement des catégories les plus à risque -----	28
3.2.2 Choix du moment de traitement et conduite d'élevage -----	29
3.3 Stratégies d'augmentation des défenses de l'hôte -----	30

3.3.1 Augmentation de l'immunité -----	30
3.3.1.1 Vaccination -----	30
3.3.1.2 Sélection génétique -----	30
3.3.2 Amélioration de la nutrition -----	31
3.3.2.1 Principe général -----	31
3.3.2.2 Sources protéiques utilisables -----	31
3.3.2.3 Utilisation en agriculture biologique -----	32
3.3.2.4 Utilisation des tanins condensés -----	32
3.4 Techniques de diminution de la contamination des pâtures -----	33
3.4.1 Méthodes de conduite d'élevage -----	33
3.4.1.1 Influence du chargement à l'hectare -----	33
3.4.1.2 Méthode de pâturage mixte -----	33
3.4.2 Méthodes de gestion des parcelles -----	34
3.4.2.1 Retournement régulier -----	34
3.4.2.2 Rotation des parcelles -----	34
3.4.3 Méthodes de lutte biologique -----	35
3.4.3.1 Utilisation de la faune naturelle du sol -----	35
3.4.3.2 Utilisation de la microflore naturelle du sol : cas des champignons nématophages -----	35
Seconde partie : Utilisation de champignons nématophages pour le contrôle des contaminations au pâturage -----	36
1. Définition -----	36
1.1 Mode d'action -----	36
1.2 Caractères généraux -----	38
1.3 Intérêt dans la lutte contre les strongyloses des ruminants -----	38
2. Historique -----	39
3. Propriétés et utilisation pratique de <i>Duddingtonia flagrans</i> -----	39
3.1 Conditions d'emploi -----	39

3.1.1 Capacités à survivre au transit digestif chez l'hôte -----	39
3.1.2 Conditions de croissance optimale de <i>Duddingtonia flagrans</i> --	40
3.1.3 Principes d'utilisation -----	40
3.1.4 Posologie, voie et durée d'administration -----	41
3.1.5 Mode d'administration -----	42
3.1.5.1 Administration avec l'aliment -----	42
3.1.5.3 Administration au pâturage -----	42
3.2 Efficacité et spectre d'activité -----	43
3.2.1 Efficacité sur les strongles digestifs -----	43
3.2.1.1 Efficacité <i>in vitro</i> -----	43
3.2.1.2 Efficacité en terme de rendement de coproculture ----	43
3.2.1.3 Efficacité lors de 'Plot-Study' -----	43
3.2.1.4 Efficacité <i>in vivo</i> -----	44
3.2.1.5 Efficacité clinique et zootechnique -----	44
3.2.2 Espèces hôtes envisagées -----	45
3.2.3 Spectres d'activité chez les ruminants -----	45
4. Toxicité, écotoxicité et limites d'utilisation de <i>Duddingtonia flagrans</i> -----	46
4.1 Toxicité -----	46
4.2 Ecotoxicité -----	46
4.3 Limites d'utilisation -----	47
Conclusion de la partie bibliographique -----	47
Etude Expérimentale -----	48
1. Objectifs de l'étude -----	49
1.1 Evaluation de la capacité de <i>Duddingtonia flagrans</i> à limiter l'infestation des chèvres au pâturage (Etude n°1) -----	49
1.2 Evaluation de l'impact sur la production de lait (Etude n°2) -----	49
2. Matériel et méthodes -----	49

2.1 Matériel biologique -----	49
2.1.1 Les chèvres -----	49
2.1.2 Les champignons -----	50
2.2 Protocole -----	51
2.2.1 Mise en lots -----	51
2.2.2 Administration des spores -----	52
2.2.3 Etude n°1 -----	54
2.2.3.1 Analyse des matières fécales -----	54
2.2.3.2 Prélèvements de sang -----	55
2.2.3.3 Prélèvements d'herbe au pâturage -----	55
2.2.3.4 Mesure de la quantité de lait produite -----	56
2.2.4 Etude n°2 -----	56
2.2.4.1 Prélèvement d'échantillons de lait, eau et fromage ----	56
2.2.4.2 Analyse de la contamination des liquides (lait, eau de rinçage) -----	57
2.2.4.3 Analyse de la contamination des lingettes -----	58
2.2.4.4 Analyse de la contamination des fromages -----	58
2.3 Analyses statistiques -----	59
3. Résultats -----	59
3.1 Etude n°1 : mesure de l'efficacité -----	59
3.1.1 Résultats des coproscopies -----	59
3.1.2 Résultats des coprocultures -----	61
3.1.3 Résultats des analyses d'herbe -----	61
3.1.4 Résultats des analyses sanguines -----	62
3.1.5 Impact sur la résilience des animaux traités -----	63
3.1.5.1 Quantité de lait produite -----	63
3.1.5.2 Taux protéique -----	64
3.1.5.3 Taux butyreux -----	65
3.1.5.4 Impact sur la résilience -----	66
3.2 Etude 2 : Mesure de l'impact qualitatif sur les productions -----	66
3.2.1 Analyse de la contamination des liquides -----	66

Sommaire.

3.2.2 Analyse de la contamination des lingettes -----	67
3.2.3 Analyse de la contamination des fromages -----	67
3.2.3.1 Evaluation de la contamination de surface -----	67
3.2.3.2 Evaluation de la contamination interne -----	67
4. Discussion -----	68
4.1 Etude 1 : efficacité de l'administration de spores de <i>D. flagrans</i> -----	68
4.1.1 Influence sur le développement larvaire des strongles -----	68
4.1.2 Influence sur la contamination des parcelles -----	70
4.1.3 Influence sur la contamination des animaux -----	71
4.1.4 Influence sur la résilience -----	73
4.1.5 Conclusion de l'étude 1 -----	73
4.2 Etude 2 -----	74
4.2.1 Etude de la contamination des productions -----	74
4.2.2 Contamination de la machine à traire -----	74
4.2.3 Contamination des mamelles des chèvres -----	75
4.2.4 Influence des conditions d'élevage du Pradel -----	75
Conclusion -----	76
Bibliographie -----	77
Annexes : textes des documents non publiés -----	86

INTRODUCTION

La filière caprine française compte un cheptel d'environ un million de chèvres, à vocation presque exclusivement laitière. Il se compose à 95% des races Alpine chamoisée et Saanen. Le lait est ensuite transformé en fromage (70 000 tonnes par an), dont le marché se développe depuis 30 ans. Sur les 10 000 éleveurs considérés comme 'professionnels' – ceux ayant plus de dix chèvres – on compte en moyenne 72 chèvres par troupeau. [63 : données de 1999]

La France détient 11% du cheptel caprin de l'Union européenne, ce qui la place en 4^e position. En France, les régions Poitou-Charentes et Centre représentent 50% de la production nationale et sont surtout tournées vers une production de type industrielle, avec des troupeaux de grande taille. La région Rhône-Alpes, avec 13% de la production nationale, compte au contraire une majorité d'élevages fermiers de taille plus modeste. [63]

Les installations laitières industrielles, assurant 80 % de la production française (55 000 tonnes de fromages en 1999), reposent essentiellement sur l'élevage hors-sol, mais le marché des fromages fermiers, et plus encore les productions A.O.C. (Appellation d'Origine Contrôlée) et biologiques, connaissent un essor important et concernent des élevages de chèvres au pâturage [63].

Les strongyloses gastro-intestinales représentent la pathologie dominante des élevages caprins au pâturage. Le développement de ce type d'élevage, accéléré par l'attente de produits plus "naturels" par les consommateurs, accroît le risque parasitaire [36].

Il s'agit donc d'infestations très fréquentes et génératrices de conséquences économiques importantes. Jusqu'à présent, le contrôle de ces helminthoses a reposé pour l'essentiel sur l'utilisation répétée de traitements anthelminthiques. Le mode d'utilisation intensif de ces molécules, associé aux particularités physiologiques et d'élevages des chèvres, a conduit à l'apparition de nombreuses résistances. Pour faire face à ce problème, le contrôle des strongyloses nécessite donc la mise en place de méthodes de lutte alternatives. En outre, le

développement de la filière biologique, dont le cahier des charges limite grandement l'emploi des traitements chimiques, incite également au développement de telles méthodes.

Dans une première partie bibliographique, nous décrirons les méthodes alternatives de luttés contre les strongles dans un contexte de développement de résistances aux anthelminthiques. Nous nous intéresserons plus particulièrement dans ce cadre à l'utilisation d'un champignon nématophage, *Duddingtonia flagrans*, comme méthode de lutte biologique permettant une réduction de la contamination des pâturages. La connaissance des caractéristiques et des données scientifiques actuelles sur cette méthode de lutte a servi de base à notre travail expérimental effectué dans le cadre d'un des premiers essais d'utilisation de ce champignon dans un élevage caprin laitier.

ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

STRONGYLOSES CAPRINES ET METHODES DE LUTTE

PREMIERE PARTIE :

Contexte de l'étude.

Dans la première partie de notre étude bibliographique, nous nous attacherons à décrire les strongyloses caprines, les stratégies de contrôle allopathiques et biologiques, avant de détailler dans une seconde partie l'état d'avancement des recherches concernant l'utilisation des champignons nématophages dans le contrôle biologique des strongyloses digestives des ruminants.

1. Les strongyloses caprines

Nous centrerons notre étude sur les strongles gastro-intestinaux responsables des parasitoses digestives chez la chèvre au pâturage. Nous n'évoquerons donc pas les strongyloses respiratoires.

1.1 Eléments de biologie

1.1.1 Strongles gastro-intestinaux présents chez la chèvre

Plusieurs études recensent les principaux strongles gastro-intestinaux affectant les chèvres au pâturage en France. Toutes s'accordent à démontrer que quelque soit la région considérée, les deux principales espèces rencontrées sont *Teladorsagia circumcincta*, strongle parasite de l'abomasum des petits ruminants, et *Trichostrongylus colubriformis*, appartenant au genre *Trichostrongylus*, qui parasite l'intestin grêle [25 ; 29 ; 30].

La prévalence chez les chèvres laitières de chacune de ces espèces est supérieure à 90 %, loin devant *Haemonchus contortus* (40 %) [8].

La présence régulière des strongles intestinaux *Nematodirus* spp. a également été relevée, mais dans des proportions moindres [29]. D'autres espèces sont moins fréquentes encore. Notre étude expérimentale concernera essentiellement *Trichostrongylus colubriformis*

et *Teladorsagia circumcincta*, de loin les plus fréquents sur le site où a eu lieu l'expérimentation.

1.1.2 Cycle parasitaire des strongles gastro-intestinaux

L'œuf est émis avec les matières fécales dans le milieu extérieur. Le stade infestant est représenté par la larve de troisième âge : L₃ (Figure 1).

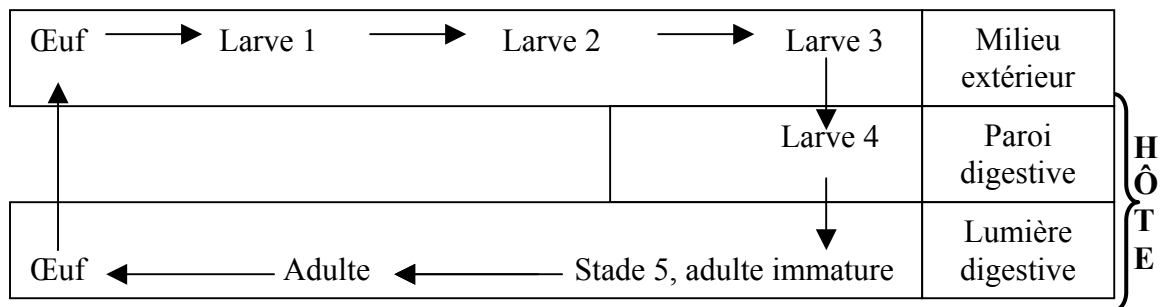


Figure 1 : Cycle biologique des strongles gastro-intestinaux.

(d'après Dorchies, cours D₃ 2001-2002 [64]).

Les stades libres (surtout œufs et L₃, L₁ et L₂ étant plus fragiles) sont relativement résistants aux conditions extérieures (capacité de survie de plusieurs mois). Toutefois, les conditions optimales de développement des strongles digestifs nécessitent des températures extérieures proches de 20°C et une humidité importante. Un hiver rigoureux ou un été chaud et sec sont donc plutôt défavorables à ces parasites, tandis qu'un été humide et un hiver doux favoriseront l'évolution en L₃ et la survie de celles-ci pendant l'hiver [2].

La contamination des chèvres s'effectue au pâturage par ingestion de L₃. La larve L₃ pénètre dans la paroi du tube digestif de l'hôte où elle évolue en larve L₄, avant de regagner la lumière digestive sous forme d'adulte immature (stade 5). Après passage au stade adulte, une reproduction sexuée aboutit à la ponte par les femelles d'œufs émis avec les fèces, à l'origine de la contamination des pâtures. La durée du cycle est de l'ordre de 1 à 2 mois lorsque les conditions sont favorables (printemps ou automne), dont 2 à 3 semaines passées chez l'hôte.

1.2 Epidémiologie des strongyloses digestives

Les strongyloses gastro-intestinales concernent essentiellement les élevages de chèvres au pâturage. L'excrétion d'œufs dans les fèces conduit à la contamination des parcelles. Les chèvres s'infestent en pâturant sur les parcelles contaminées. Ce risque parasitaire augmente avec le chargement à l'hectare, qui tend à augmenter la concentration en larves infestantes des pâtures (plus de larves émises, moins d'herbe disponible) [43].

L'infestation des chèvres au pâturage évolue à bas bruit tout au long de l'année, mais présente un à deux pics. Un premier pic d'infestation est fréquemment décrit en fin de printemps : les larves de stade 3 ayant survécu à l'hiver infestent les chèvres en première saison de pâture, qui n'ont pas encore développé d'immunité vis-à-vis des parasites. Ceux-ci peuvent alors pondre abondamment ce qui permet une contamination massive des pâtures. L'infestation des chèvres est massive, à l'origine du pic parasitaire [25 ; 29 ; 30].

Un second pic a lieu à l'automne, quand les conditions extérieures sont favorables à l'évolution des œufs en larves. La diminution de la quantité d'herbe disponible assure une augmentation de la concentration en L₃ au pâturage. Les animaux se contaminent massivement [51].

Il existe des différences de sensibilité aux strongles entre les différentes catégories d'animaux. Ces différences s'expriment en fonction de l'âge (sensibilité accrue des plus jeunes individus), du niveau de production (les meilleures productrices sont plus sensibles au parasitisme par les strongles), voire de la race (les Saanen semblent plus sensibles que les Alpines chamoisées) [22 ; 25 ; 26 ; 29 ; 30 ; 43].

1.3 Helminthoses digestives : signes cliniques et conséquences sur les performances

1.3.1 Mécanismes physiopathologiques

L'infestation par les strongles digestifs est souvent sub-clinique, mais peut, si elle est massive (ex. pics de parasitisme) être responsable de pertes d'appétit, de maldigestion et de malabsorption intestinale liée à l'altération de la muqueuse intestinale [23]. Une tendance à la

maigreur de l'animal peut ainsi être observée [2]. *Teladorsagia circumcincta* est surtout responsable de pertes d'appétit, *Trichostrongylus colubriformis* de troubles de l'absorption intestinale [23]. Des diarrhées sont également décrites chez les jeunes animaux. Les chevrettes ne pâturent pas en général dans les élevages français, ce sont essentiellement les chèvres de 1 an, en première saison de pâtures, qui en sont victimes [2].

Les spoliations dues aux parasites engendrent des pertes en oligo-éléments, vitamines et surtout protéines. Les pertes protéiques sont soit directes, dans la lumière du tube digestif, en raison de fuites plasmatiques et de maldigestions, soit indirectes en raison du développement d'une réponse immune face aux parasites (augmentation des sécrétions de mucus, des synthèses d'immunoglobulines et du renouvellement des epithelia) [2 ; 23]. Le métabolisme énergétique paraît moins concerné [2]. Le comblement des pertes protéiques, associé à la réparation des lésions dues aux vers, occasionne une augmentation des besoins alimentaires en protéines dont l'ampleur peut atteindre 30 % [23].

Ainsi, le risque lié aux parasites augmente avec le surpâturage, cause de réduction d'apports et de sous-nutrition. L'insuffisance de couverture des besoins des animaux parasités en conditions usuelles d'élevage peut également être à l'origine de l'apparition de maladies intercurrentes, également favorisées par les lésions digestives [2].

1.3.2 Réduction des performances et conséquences économiques

Le parasitisme par les strongles digestifs, bien qu'il soit souvent sub-clinique, s'accompagne d'une diminution sensible des performances zootechniques, à l'origine de pertes financières non négligeables à l'échelle du troupeau.

1.3.2.1 Conséquences sur la production laitière

Les strongyloses digestives s'accompagnent d'une diminution de la production laitière de 6 % en moyenne lors des trois premiers mois de lactation, pouvant même atteindre 18 % chez les meilleures productrices [25]. La perte de production laitière au pic de lactation peut ainsi atteindre un litre par jour [29]. Cette perte est surtout sensible au moment du pic de lactation, et se fait moins sentir ensuite. Un défaut de couverture des besoins protéiques lié au parasitisme est mis en cause [2 ; 23].

1.3.2.2 Conséquences sur la prolificité

L'étude de ROSSANIGO et FRIGERIO (2000) [49] compare les performances de chèvres traitées tous les 30 jours au moyen d'ivermectines (mimant l'absence de parasitisme) à celles de témoins non traités. Cette étude met en évidence une prolificité moindre des chèvres adultes parasitées (1.1 contre 0.63 chevreaux/chèvre adulte/an pour les chèvres traitées et non traitées, respectivement).

1.3.2.3 Conséquences sur la croissance des chevreaux

Selon cette même étude [49], la croissance des chevreaux élevés sous les mères traitées est nettement supérieure à celles des chevreaux élevés sous les témoins (production de viande par chevreau de 10.10 kg contre 5.44, respectivement). Ceci peut être la traduction de la diminution de production laitière des mères infestées, diminution touchant peut-être également la production colostrale.

1.3.3 Notion de résistance et de résilience

La résistance des chèvres envers les strongles représente leurs capacités à développer une réponse immune modulant les traits de vie des vers (limitation de l'installation et de la fertilité des parasites). La résilience représente la capacité des animaux à ne pas exprimer de signes cliniques de l'infestation et à maintenir leur production en présence de parasites. Les mécanismes physiologiques impliqués dans la résilience sont encore mal identifiés.

Au contact des vers, la chèvre met progressivement en place une immunité, expliquant la plus faible résistance des chèvres en première saison de pâture. Cependant, cette immunité est faible (bien moins efficace que chez le mouton ou les bovins) et peu efficace pour le contrôle de l'installation ou de la fertilité du parasite. La durée de lactation plus importante des caprins par rapport aux ovins serait mise en cause mais ne permet pas d'expliquer les faibles résistance et résilience des chèvres productrices de fibres (Angora et Cachemire) hors lactation. D'autres facteurs physiologiques propres aux caprins entrent donc vraisemblablement en jeu [29].

1.3.4 Méthodes de détection du parasitisme par les strongles [33]

1.3.4.1 Analyses effectuées chez l'animal

1.3.4.1.1 Analyses parasitologiques [33]

La mise en évidence de l'infestation par les strongles gastro-intestinaux peut se faire au moyen de la coproscopie ou de la coproculture.

La **coproscopie** permet le dénombrement des œufs dans les fèces, leur quantification, exprimée en opg (œufs par gramme de fèces), étant corrélée à l'intensité du parasitisme chez la chèvre [2 ; 4 ; 33 ; 47].

La **coproculture** permet surtout d'identifier les genres parasites présents, ce qui est pratiquement impossible en coproscopie. Elle consiste en un maintien des fèces à l'étuve suivi du recueil des L₃ provenant de l'évolution des œufs. La diagnose des genres se fait sur les L₃ obtenues.

1.3.4.1.2 Analyses sérologiques [33]

Les strongles présents dans la caillette (dont *Teladorsagia circumcincta*) provoquent des lésions de la paroi, surtout lors de leur migration, et induisent l'augmentation du pH abomasal. L'augmentation du pH ne permet plus la production de pepsine à partir du pepsinogène. Celui-ci s'accumule alors dans la lumière puis reflue vers le sang, avec pour conséquence l'augmentation de concentration sérique en pepsinogène. Le **dosage du pepsinogène sérique** à l'échelle du troupeau est corrélé au niveau d'infestation de la chèvre.

La présence de strongles dans l'intestin (dont *Trichostrongylus colubriformis*) est associée à des lésions de la muqueuse intestinale à l'origine de malabsorption de nombreux nutriments dont le phosphore. Le dosage du phosphate inorganique sérique permet ainsi d'évaluer l'intensité de cette malabsorption. A l'échelle du troupeau, le taux de **phosphate inorganique sérique** est corrélé à l'intensité du parasitisme de l'intestin grêle.

Ces deux techniques, coûteuses, sont surtout utilisées en conditions expérimentales.

1.3.4.2 Analyses effectuées à partir du pâturage

Des prélèvements d'échantillons d'herbe [17] permettent le dénombrement et l'identification des L₃. Cette analyse donne une évaluation de la contamination des parcelles.

2. Méthodes allopathiques de lutte contre les strongles digestifs chez la chèvre

2.1 Anthelminthiques disponibles et utilisation chez la chèvre laitière

2.1.1 Anthelminthiques disponibles

Depuis la mise sur le marché des premiers anthelminthiques à large spectre (thiabendazole, famille des benzimidazoles) dans les années 1960, de nombreuses molécules ont été développées et utilisées, appartenant aux trois familles principales d'anthelminthiques à large spectre actuellement disponibles : les benzimidazoles, les plus utilisés, le lévamisole, et les lactones macrocycliques, les plus récents.

Le tableau I résume les caractéristiques des principaux anthelminthiques disponibles. Seuls les délais d'attente lait sont indiqués, bien qu'il existe des délais d'attente pour la viande, la production de viande de chèvre étant marginale en France.

Famille	Principe actif	Posologie pour les S.G.I.	Recommandation pour les caprins	Délai d'attente en lactation	Autres parasites traités
Benzimidazoles (BZM)	Oxfendazole	5 mg/kg	2 jours de suite	nul	strongles respiratoires, <i>Moniezia</i>
	Fenbendazole	5 mg/kg	2 jours de suite	nul	strongles respiratoires, <i>Moniezia</i>
	Fébantel	5 mg/kg	2 jours de suite	nul	strongles respiratoires, <i>Moniezia</i>
	Mébéndazole	15 mg/kg	2 jours de suite	interdit	strongles respiratoires, <i>Moniezia</i>
	Albendazole	3,8 mg/kg	2 jours de suite	interdit	strongles respiratoires, <i>Moniezia</i>
	Thiabendazole	50 mg/kg	2 jours de suite	6 traites	strongles respiratoires, <i>Moniezia</i>
Imidazo-thiazoles	Lévamisole	7,5 mg/kg en PO	12 mg/kg	interdit	strongles respiratoires
Lactones macro-cycliques	Ivermectine *	0,2 mg/kg (ovins ; pas d'AMM caprins)	0,4 mg/kg (hors AMM)	interdit	strongles respiratoires, oestres, poux, gale (en injectable)
	Eprinomectine	0,5 mg/kg (bovins ; pas d'AMM caprins)	1,0 mg/kg (hors AMM)	hors AMM (bovins : nul)	strongles respiratoires, oestres, poux, gale
	Doramectine **	0,5 mg/kg en Pour On ou 0,2 mg/kg SC (bovins ; pas d'AMM caprins)	1 mg/kg en Pour On ou 0,4 mg/kg SC (hors AMM)	interdit	strongles respiratoires, oestres, poux, gale (en injectable)
	Moxidectine **	0,2 mg/kg (ovins ; pas d'AMM caprins)	0,4 mg/kg (hors AMM)	interdit	strongles respiratoires, oestres, poux, gale

Tableau I : Principaux anthelminthiques utilisés en élevage caprin, dose recommandées et spectre d'activité. S.G.I. : strongles gastro-intestinaux. [2 ; 65].

* : utilisation au tarissement interdite dans les 21 jours précédant l'agnelage chez les ovins.

** : utilisation au tarissement interdite chez l'espèce objet de l'AMM. Doramectine interdite également dans les 2 mois précédant la première mise bas.

2.1.2 Particularités d'utilisation en élevage caprin laitier

L'examen du Tableau I révèle le faible nombre d'anthelminthiques à délai d'attente nul pour le lait [65]. Les éleveurs ont donc tendance à utiliser des anthelminthiques appartenant à la même famille (les benzimidazoles), les élevages français étant essentiellement tournés vers la production laitière. Les benzimidazoles représentent de ce fait 80 % des traitements utilisés, tandis que seules 15 % des fermes utilisent du lévamisole et 27 % des avermectines [24].

Afin de préserver l'efficacité des anthelminthiques, il est recommandé de varier les familles utilisées, en changeant d'anthelminthique entre la période de lactation et la période de tarissement. On constate sur le terrain que ces recommandations sont très rarement suivies [24].

Cet état de fait participe au développement de phénomènes de résistance aux anthelminthiques.

2.2 Phénomènes de résistance aux anthelminthiques

2.2.1 Définition [55 ; 65]

La résistance est un phénomène génétique, héritable, qui confère à une souche de parasites la capacité de survivre à des concentrations d'antiparasitaires habituellement léthales pour les individus sensibles de l'espèce. Ce phénomène est dépendant d'une pression de sélection due à l'utilisation des traitements. On considère qu'une résistance est présente au sein d'un troupeau quand l'efficacité du traitement anthelminthique considéré induit une réduction de l'excrétion fécale d'œufs du parasite inférieure à 90 %, et ce alors que le traitement est correctement effectué. L'efficacité de la molécule utilisée peut alors être considérablement réduite, voire nulle. Les résistances peuvent être simples (dirigées contre une famille d'anthelminthiques) ou multiples (dirigées contre plusieurs voire toutes les familles).

Ce phénomène correspond donc à la perte d'efficacité de la molécule utilisée vis-à-vis de sa cible. Il s'agit d'un problème important en élevage car, à terme, il risque de laisser les éleveurs victimes de résistances multiples démunis face au parasitisme de leur troupeau, n'ayant plus de traitement efficace.

2.2.2 Méthodes de détection [32]

La présence de résistances dans un élevage doit être suspectée lors de l'inefficacité apparente d'un traitement [65]. Il est alors souhaitable d'explorer ce phénomène. Plusieurs techniques de détection ont été mises au point.

2.2.2.1 Méthodes biologiques

Pour objectiver l'absence de résistance, la réduction du taux d'excrétion fécale (Fecal Egg Count Reduction Test : FECRT) est évaluée sur l'effectif du troupeau par coproscopie avant (J0) et 10 à 14 jours après traitement (J14). On considère qu'il y a résistance si le FECRT : $((\text{opg}_{J0} - \text{opg}_{J14}) \times 100) / \text{opg}_{J0}$, est inférieur à 90 % [32 ; 33 ; 65]. L'avantage de cette méthode est qu'il s'agit d'une méthode *in vivo* qui tient compte de la métabolisation du produit dans l'organisme. Il s'agit de la technique de référence pour la détection des résistances. Elle est très utilisée.

La mise en culture de fèces exposées à des doses croissantes d'anthelminthiques permet de réaliser un test d'éclosion des œufs en laboratoire. La comparaison du nombre de larves obtenues, à l'issue de la culture, à une concentration en anthelminthique donnée, avec le nombre de larves obtenues par culture en l'absence d'anthelminthique permet d'estimer l'efficacité de l'anthelminthique à la dose envisagée. Utilisée avant et deux semaines après un traitement, cette technique permet d'estimer l'apparition et l'ampleur de résistances aux benzimidazoles. Ce test est particulièrement employé pour évaluer l'efficacité des benzimidazoles [32]. Il permet également d'obtenir des L₃ dont la diagnose renseigne sur les différences de sensibilité à l'anthelminthique utilisé des différents strongles présents dans le troupeau [32 ; 33 ; 65].

D'autres tests *in vitro* évaluant la capacité d'embryonnement des œufs ou la paralysie des larves (pour le lévamisole) en présence de doses croissantes d'anthelminthique peuvent également être mis en oeuvre [32]. Ces tests sont cependant assez difficiles à réaliser et coûteux et sont donc principalement utilisés en expérimentation.

2.2.2.2 Signes biochimiques [32]

Des dosages biochimiques effectués sur un broyat de L₃ permettent de mettre en évidence des molécules impliquées dans le phénomène de résistance (estérases, tubulines de faible affinité envers les benzimidazoles). Le nombre important de L₃ requis ainsi que le matériel nécessaire rendent ces techniques onéreuses et difficiles à mettre en œuvre. Ces tests sont donc très peu employés.

2.2.3 Situation mondiale des résistances aux anthelminthiques chez les strongles

2.2.3.1 Molécules concernées

Les benzimidazoles représentent 80 % des traitements effectués [24], et constituent la famille d'anthelminthiques la plus ancienne après le lévamisole. Ils sont de ce fait impliqués dans la plupart des résistances rencontrées. En outre, la prévalence plus importante des résistances aux benzimidazoles s'explique aussi parce qu'elles seraient de nature monogénique, tandis que les résistances au lévamisole et aux avermectines seraient de déterminisme multigénique, donc de transmission moins aisée [3].

Dans une moindre mesure, on note également l'émergence de résistances au lévamisole et au pyrantel [25 ; 50]. Des résistances se développent aussi pour les avermectines, y compris la moxidectine [25 ; 50 ; 58].

2.2.3.2 Répartition et prévalence

Toutes les régions d'élevage sont touchées par ce phénomène. Les résistances, surtout aux benzimidazoles, sont décrites partout dans le monde.

Elles sont particulièrement présentes en région tropicale et sub-tropicale. Elles y sont responsables de lourdes pertes économiques, ces régions ayant un climat particulièrement favorable au parasitisme. En outre l'élevage y est essentiellement pâturant. Les traitements anthelminthiques en sont d'autant plus fréquents, accentuant la sélection des souches résistantes. Dans leur étude de 1999 en Afrique du Sud, VAN WYK et al. recensent des

résistances dans toutes les fermes testées sur *Haemonchus contortus* en élevage ovin et caprin. Plus encore, 16 % des souches d' *Haemonchus contortus* étaient sensibles à moins de 60 % envers 3 des 4 anthelminthiques testés (albendazole, lévamisole, ivermectine et rafoxanide), 8 % l'étaient à moins de 40 % envers les quatre anthelminthiques [55]. Des résistances à tous les anthelminthiques à large spectre sont également décrites en Amérique latine [58] et en Malaisie [5].

Les pays tempérés sont également touchés. Des résistances ont été relevées dans pratiquement toute l'Europe [58] et notamment en France [7 ; 25], et au Royaume-Uni [50]. Selon les pays et les espèces considérés, des souches de strongles résistants aux benzimidazoles seraient présentes dans de nombreux élevages. Chez les petits ruminants par exemple, ces souches existeraient dans 80 % à 100 % des élevages [25 ; 50]. Un nombre croissant d'élevages est confronté à l'émergence de ces souches au sein des populations de strongles, au point d'atteindre une efficacité insuffisante des anthelminthiques utilisables en lactation.

2.2.3.3 Espèces parasites concernées

Les vers présentant des résistances sont principalement *Haemonchus contortus* et *Teladorsagia circumcincta*, dans une moindre mesure *Trichostrongylus colubriformis* [3].

2.2.3.4 Espèces hôtes concernées

Les résistances aux anthelminthiques concernent particulièrement les chèvres, bien plus que les ovins ou les chevaux. Les bovins sont encore peu touchés [3]. Les résistances se développent particulièrement chez la chèvre en raison de la physiologie particulière de cette espèce ainsi que de particularités dans la conduite d'élevage caprin (*cf* 2.2.5.2).

2.2.4 Situation en France, chez la chèvre

En France, l'existence de résistances aux anthelminthiques est décrite depuis 1985 [21]. Depuis, sur 18 fermes caprines testées, CHARTIER et al. (2001) ont décrit des résistances aux benzimidazoles dans 15 fermes [7]. Ce phénomène tend à grandement s'amplifier depuis 15 ans [21 ; 25]. Le développement rapide de résistances aux benzimidazoles touche donc l'essentiel des élevages caprins français, pour les trois principales espèces de strongles digestifs rencontrées : *Haemonchus contortus*, *Teladorsagia circumcincta* et *Trichostrongylus colubriformis* [21].

Les résistances au lévamisole sont évaluées en France par CHARTIER et al. (2001) à 2 fermes sur les 18 testées [7]. L'existence en France de résistances aux lactones macrocycliques est suspectée mais non encore démontrée, bien que des cas aient déjà été signalés en Europe [21].

2.2.5 Facteurs de développement des résistances et application à la situation chez la chèvre

2.2.5.1 Facteurs de développement des résistances

2.2.5.1.1 Facteurs déterminants

Des résistances peuvent survenir dans un élevage d'où elles étaient jusqu'alors absentes lors de l'achat et introduction dans l'élevage de chèvres porteuses de vers résistants [52]. Ce fut certainement le cas lors d'importation dans de nombreux pays de chèvres angoras porteuses de vers résistants [3]. La transmission de résistances entre élevages est également favorisée lors de pâturages en commun ou de transhumance [52].

Toutefois, une fois l'élevage constitué, les troupeaux caprins sont en général gérés par auto-renouvellement (hors maladie ou circonstance exceptionnelle). Les élevages constitués avant ou au début de la mise sur le marché des premiers anthelminthiques sont donc souvent épargnés, contrairement aux élevages plus récents [52].

2.2.5.1.2 Facteurs favorisants

La sélection de populations résistantes dépend d'abord du **mode d'utilisation des anthelminthiques**. Le développement de résistances à ces molécules dans un élevage est favorisé par une importante fréquence d'utilisation, un sous-dosage, l'absence d'alternance entre familles de molécules, ou un mauvais choix du moment du traitement ou des animaux à traiter.

En zone tropicale et sub-tropicale, le climat favorise le développement de l'œuf à la L₃ tout au long de l'année (absence de période hivernale), même s'il est défavorable à une survie prolongée des L₃. L'élevage étant essentiellement intensif au pâturage, les conditions sont génératrices d'un risque parasitaire important. La fréquence des traitements anthelminthiques est donc importante, ce qui favorise le développement de résistances en "concentrant" les allèles de résistance dans la population vermineuse [59].

L'utilisation d'un anthelminthique unique, sans changement périodique de famille, due au faible nombre d'anthelminthiques sans délai d'attente disponibles, et une fréquence importante de traitement contribuent à développer des résistances [52].

Les vers sensibles à l'anthelminthique sont éliminés par le traitement, tandis que les résistants se multiplient. La fréquence relative de l'allèle de résistance augmente dans la population et le phénomène de résistance s'en voit amplifié [52]. On remarque une fréquence de traitements accrue dans les fermes présentant des résistances aux benzimidazoles (2.8 vs 1.0 traitement/an), sans toutefois qu'il soit possible d'en déduire que ce soit une cause ou une conséquence de l'existence de résistances [7].

Le **moment du traitement** favoriserait également les résistances dans certains cas. Le pâturage est un refuge pour le parasite face à l'antiparasitaire, car il héberge une population de vers non exposés au traitement. L'administration d'anthelminthiques au moment où il y a beaucoup de L₃ au pâturage permet donc de diluer les œufs de strongles résistants qui seront éliminés après le traitement, au milieu de la population présente au pâturage, limitant l'impact des résistances. Si au contraire l'administration est effectuée au moment du passage sur une pâture assainie, les œufs de strongles résistants qui seront émis constitueront la population

principale au pâturage, concentrant les résistances. La stratégie dite du *treat and move* est donc déconseillée en présence de résistances [50].

Selon le même principe, une période hivernale longue passée en chèvrerie, avec traitement à la rentrée, accroît les risques de résistance si l'on utilise pour ce traitement un anthelminthique de la même famille que celle utilisée en période de pâturage : peu de L₃ sensibles ont survécu à l'hiver au pâturage, et l'émission d'oeufs au retour à l'herbe provient de l'infestation par les vers qui auront survécu au traitement d'entrée en chèvrerie [52].

2.2.5.2 Causes de la prévalence élevée des résistances chez la chèvre

La prévalence importante des résistances aux anthelminthiques chez la chèvre s'explique par une physiologie particulière associée à une pratique antiparasitaire souvent inadaptée [21 ; 25 ; 65].

La réponse immunitaire développée par les chèvres vis-à-vis des strongles est très faible. La lutte contre ces parasites conduit donc à une **augmentation de la fréquence d'utilisation des anthelminthiques dans cette espèce**, augmentant ainsi le risque d'émergence des résistances [21].

La **vocation** de l'élevage caprin en France est quasi **exclusivement laitière**. La longue durée de la lactation chez la chèvre (10 mois) est presque superposable à la période de pâturage, donc au risque parasitaire. **L'usage en lactation** et le respect des délais d'attente limitent le choix de la molécule aux **seuls anthelminthiques ayant un temps d'attente nul pour le lait**. De plus, l'espèce caprine ne représente pas un marché suffisant pour que les laboratoires étendent systématiquement l'AMM de leurs molécules aux caprins. En l'absence d'AMM caprine pour l'éprinomectine, les seuls anthelminthiques utilisables chez la chèvre en lactation appartiennent à la famille des benzimidazoles [21].

Selon une étude sur questionnaire menée par HOSTE et al. (2000) auprès d'éleveurs de caprins laitiers en France, près de 3 traitements par an sont effectués en moyenne, avec peu ou pas d'alternance de molécule. Parmi ceux qui changent de molécule, seuls 37 % choisissent une famille différente entre la période de lactation et la période de tarissement [24].

De plus, la chèvre présente une **métabolisation des xénobiotiques différente** de celle du mouton. La demi-vie plasmatique des molécules anthelminthiques est sensiblement réduite chez les caprins [21]. L'obtention de concentrations tissulaires efficaces nécessite donc l'application de doses supérieures aux doses ovines. Les doses caprines recommandées ont été évaluées comme étant en général 1,5 à 2 fois la dose ovine [52], ou bien l'application de la dose ovine deux fois à 12 ou 24 heures d'intervalle. Une administration correcte du médicament doit se faire en arrière de la langue, sous le plus petit volume possible [65]. La découverte relativement récente (années 1980-1990) de cet état de fait a conduit à un sous-dosage fréquent des anthelminthiques chez la chèvre. L'application des doses ovines a été relevée dans 55 % des fermes caprines en France [25] malgré la diffusion de ces informations.

Le calcul de la dose d'anthelminthique administrée en fonction du poids moyen des animaux du troupeau (50 à 60 kg), recensé chez environ 100 % des éleveurs [24], **au lieu de la fonder sur le poids de l'animal le plus lourd** (pouvant atteindre 70 kg), accentue encore ce phénomène de sous-dosage, et donc le développement des résistances [25 ; 52].

2.2.6 Prévention de l'apparition des résistances aux anthelminthiques

La prévention de l'apparition ou du développement des résistances, ainsi que la lutte contre les résistances installées reposent soit sur une meilleure utilisation des anthelminthiques, soit sur la mise en place de méthodes alternatives de lutte contre les strongyloses. Ces techniques sont détaillées ci-après.

3. Méthodes alternatives de lutte contre les strongyloses caprines

3.1 Intérêt

Classiquement, le contrôle des strongyloses digestives chez la chèvre impliquait les anthelminthiques. Mais le développement des résistances, ainsi que les problèmes liés à l'écotoxicité par destruction de l'entomofaune des prairies, suspectée pour certaines familles, et aux résidus de ces médicaments, oriente vers la recherche d'une stratégie d'utilisation plus restreinte de ces molécules, voire vers des méthodes de lutte biologique.

D'autre part, le cahier des charges de l'Agriculture Biologique interdit *l'utilisation préventive de médicaments allopathiques chimiques de synthèse* (Règlement Européen n°1804/1999 du 19/08/99) [48] dont font partie les anthelminthiques. Or il s'agit d'élevages devant *avoir accès à des aires d'exercice ou de pacage en plein air*. Le risque parasitaire est donc important. Il en va de même pour les élevages fermiers et A.O.C., les consommateurs recherchant de plus en plus des produits *naturels*, issus d'élevages pratiquant le pâturage et limitant les intrants chimiques.

On observe donc une tendance actuelle au développement des méthodes nouvelles de contrôle des strongles pour répondre à ces attentes. Elles s'articulent sur un principe d'amélioration de la résistance et de la résilience des animaux, de dilution des allèles de résistance au sein des populations de parasites, ou sur la réduction des contaminations du pâturage.

3.2 Utilisation raisonnée des anthelminthiques

Les stratégies développées ici s'appuient sur la nécessité de préserver au sein des populations de parasites une grande proportion d'individus sensibles aux anthelminthiques. Cela consiste à éviter de sélectionner les individus résistants en éliminant tous les individus sensibles. Il s'agit donc d'une application raisonnée des traitements anthelminthiques (traitements ciblés), ou bien d'une bonne gestion du moment des traitements et de la conduite du troupeau.

3.2.1 Traitement sélectif

Dans un troupeau, une minorité d'individus sont responsables d'une part importante de l'excrétion totale des œufs de strongles [25]. Traiter uniquement les forts excréteurs permet de limiter l'émission d'œufs au pâturage, tout en conservant des chèvres, plus faibles excrétrices, émettant des œufs de strongles sensibles aux anthelminthiques, n'ayant pas eu de contact avec les molécules. Une telle stratégie implique l'identification des animaux les plus parasités et/ou les plus forts excréteurs.

3.2.1.1 Méthode FAMACHA ®

La méthode FAMACHA ® [25 ; 54 ; 56] repose sur un traitement individuel des animaux les plus parasités par *Haemonchus contortus*. Le traitement est décidé en fonction du diagnostic clinique de l'anémie causée par ce ver hématophage. Ce diagnostic est réalisé selon une méthode semi-quantitative d'évaluation de la couleur des muqueuses oculaires. Cette méthode, très bon marché, a donné de bons résultats, mais elle ne peut s'appliquer à la détection des animaux parasités par les strongles digestifs en France, car les plus fréquents d'entre eux ne sont pas hématophages.

3.2.1.2 Détection des animaux forts excréteurs par coproscopie

La détection des individus les plus forts excréteurs peut se réaliser avant chaque traitement au moyen de coproscopies individuelles réalisées sur l'ensemble du troupeau [25]. Cette méthode est efficace, mais présente un coût très important.

Une étude a montré qu'un animal fort excréteur en une occasion a de grande chance d'avoir en permanence une forte excrétion [27]. Ceci montre que les forts excréteurs sont toujours les mêmes au sein du troupeau. Des études ont donc été entreprises pour déterminer les catégories d'animaux responsables de la majorité des excréctions.

3.2.1.3 Traitement des catégories les plus à risque

Des études ont montré que les chèvres primipares, en première saison de pâture excrétaient plus que le reste du troupeau [25 ; 26 ; 28]. Il en est de même pour les chèvres hautes productrices de lait [22 ; 25 ; 28 ; 29 ; 30].

La différence entre les excréctions des primipares par rapport aux multipares proviendrait du développement à l'issue de la première saison de pâture d'une immunité relative, partielle, contre les strongles. Cette immunité ne serait cependant pas très efficace pour limiter l'installation et la fertilité des parasites, puisque les multipares présentent tout de même un pic de parasitisme à l'automne [29].

Les chèvres considérées comme hautes productrices de lait sont issues du premier quartile du troupeau en matière de production laitière, sur le premier mois de lactation, ceci de manière à être évaluées sur une période où elles sont peu parasitées et où le challenge parasitaire n'affecte pas leur production [25 ; 28]. Il a été montré qu'elles présentaient un taux d'excrétion fécale significativement supérieur associé à une moindre résilience et une moindre résistance en comparaison aux faibles productrices (dernier quartile) [25 ; 27]. Leur forte excrétion proviendrait de défenses affaiblies pour des raisons nutritionnelles ou hormonales.

Des études menées sur deux ans et comparant l'application d'un traitement anthelminthique systématique au traitement sélectif des seules primipares et hautes productrices n'a montré aucune différence significative en matière d'excrétion ou de production laitière entre les deux stratégies [26]. Le traitement sélectif fondé sur ces critères apparaît donc comme une alternative souhaitable et bon marché au traitement systématique. Il convient désormais d'évaluer le nombre d'individus minimal à traiter pour obtenir ces résultats et de tester ce traitement sélectif sur le terrain [25].

3.2.2 Choix du moment de traitement et conduite d'élevage

Comme nous l'avons vu (*cf* 2.2.4.1), en présence de résistances aux anthelminthiques, la stratégie dite du *treat and move*, consistant à déplacer les animaux sur une parcelle saine vis-à-vis du parasite immédiatement après le traitement, est à déconseiller. Elle favorise la diffusion de la résistance en contaminant la nouvelle parcelle exclusivement avec les œufs des strongles résistants ayant survécu au traitement [50].

L'utilisation hors lactation d'anthelminthiques de famille différente de ceux utilisés en lactation permet d'éviter de sélectionner des souches de vers résistants aux molécules utilisées en saison de pâture. L'hiver est défavorable aux L₃ présentes sur les parcelles, d'autant plus que les chèvres étant en chèvrerie, elles ne contaminent plus le pâturage. La population de L₃ sur les parcelles diminue donc grandement en hiver. Les chèvres sont traitées à l'entrée en chèvrerie. En l'absence de recontamination par la pâture, les souches de strongles qu'elles hébergent sont donc issues des vers ayant résisté au traitement d'entrée en chèvrerie. A la mise à l'herbe, ce sont les œufs issus de ces vers qui vont recontaminer les parcelles. Il est donc important qu'ils ne soient pas de souche résistante aux anthelminthiques utilisés en lactation, le choix de ceux-ci étant limité à quelques benzimidazoles sans délai d'attente pour le lait.

Le choix d'une dose inadaptée aux spécificités caprines conduit, nous l'avons vu, à l'augmentation du risque de développement de résistances aux anthelminthiques. L'application correcte des doses caprines telles que détaillées en 2.2.5.2, fondée sur le poids de l'animal le plus lourd est donc nécessaire à un bon emploi des anthelminthiques.

3.3 Stratégies d'augmentation des défenses de l'hôte

3.3.1 Augmentation de l'immunité

3.3.1.1 Vaccination

Il y a 30 ans, des tentatives de vaccinations au moyen de larves de *Dictyocaulus viviparus* irradiées (Dictol®) ou de larves de strongles digestifs ont été effectuées. Le Dictol® s'est montré efficace mais a été supplanté par les anthelminthiques, conduisant à l'abandon de cette technique.

Une nouvelle génération de vaccins à base d'extraits antigéniques purifiés (antigènes cachés de l'intestin des vers) semble efficace sur les parasites hématophages comme *Haemonchus contortus*, sans que l'on sache si cette technique est efficace pour les autres strongles digestifs [cité par 43].

Cependant, étant donnée la faible réponse développée naturellement par la chèvre vis à vis des strongles digestifs, on peut douter de l'efficacité dans cette espèce de la vaccination.

3.3.1.2 Sélection génétique

La sélection génétique fondée sur des critères de résistance aux helminthoses vise à créer des races d'animaux peu sensibles aux strongles en croisant les animaux les plus résistants entre eux. C'est une méthode lourde qui nécessite une longue période avant d'être efficace. En outre, elle ne doit pas être défavorable aux critères zootechniques [cité par 43].

Il serait nécessaire de développer un schéma national collectif d'amélioration à grande échelle. Ce schéma existe en France chez la chèvre et est conduit par un seul organisme :

Étude du traitement par un champignon nématophage, *Duddingtonia flagrans*, contre les strongyloses digestives chez la chèvre laitière au pâturage.

CAPRIGENE France. En 1999, la base de sélection comptait 1 000 élevages adhérents soit 150 000 chèvres. Pour l'heure, la sélection se limite à des critères zootechniques. L'insémination artificielle concerne 60 000 chèvres, dont l'essentiel appartient à des troupeaux de la base de sélection [63]. Ces bases de sélection devraient être beaucoup élargies pour être efficaces, ce qui ne correspond pas encore à l'évolution de la filière.

3.3.2 Amélioration de la nutrition

3.3.2.1 Principe général

L'augmentation de la quantité de protéines de la ration permet de couvrir l'augmentation des besoins nutritionnels occasionnée par les strongyloses (*cf 1.2.1*). Il a été montré qu'une augmentation de la quantité de protéines apportée à l'animal permettait d'éviter le *periparturient rise*, qui est une augmentation de l'excrétion chez la femelle survenant autour de la mise bas, liée à une baisse de résistance d'origine hormonale [23]. L'amélioration de la nutrition permet également de favoriser la résistance et la résilience des animaux par des mécanismes non encore élucidés.

3.3.2.2 Sources protéiques utilisables

3.3.2.2.1 Rations hyperprotéinées, flushing protéique

Il s'agit d'apporter à l'animal des aliments riches en protéines (tourteaux tannés, farines de poisson, soja, etc.).

De telles mesures diététiques permettent de diminuer les pertes de productions dues au parasitisme et de diminuer l'excrétion fécale des œufs [25]. Cependant la ration apportée aux chèvres est déjà fréquemment riche en protéines. Les sources de protéines supplémentaires font alors défaut. Les rations hyperprotéinées présentent également des inconvénients métaboliques et économiques, avec un coût de l'aliment plus élevé [25].

3.3.2.2.2 L'azote non protéique (ANP)

Un mélange d'urée et de mélasse s'est avéré efficace lorsque la ration était pauvre (foin, paille). L'urée augmente l'appétit et favorise les synthèses protéiques bactériennes. Ces apports amènent une augmentation de la résilience des productions [cité par 23].

3.3.2.2.3 Les acides aminés protégés

L'apport d'acides aminés isolés (méthionine, lysine), protégés par un enrobage leur assurant un passage vers l'intestin, a été testé. Ces acides aminés, sélectionnés sur leur implication dans la synthèse de protéines de l'immunité ou de constituants du lait, étaient prometteurs. Les résultats furent cependant décevants puisqu'ils entraînent, malgré une augmentation de la résilience, une légère augmentation de l'excrétion fécale [23].

3.3.2.3 Utilisation en agriculture biologique

Les intrants interdits en agriculture biologique sont précisés dans le Règlement Européen n°1804/1999 du 19/08/99 (R.E.P.A.B.) [48]. La plupart des produits envisagés ci-avant sont interdits en élevage biologique. Ainsi, la mélasse, les acides aminés protégés et les tourteaux tannés sont interdits [23 ; 48].

3.3.2.4 Utilisation des tannins condensés

Les tannins sont des molécules permettant une diminution des dégradations de protéines dans le rumen et une augmentation de leur absorption dans l'intestin. Ils augmentent ainsi l'efficacité de la digestion. Leur incorporation dans la ration permettrait une réduction du parasitisme. Il s'agit d'une voie prometteuse faisant l'objet de nombreuses études en cours [23].

Leur administration en élevage pratiquant l'agriculture biologique peut se faire sous forme de plantes riches en tanins.

3.4 Techniques de diminution de la contamination des pâtures

Ces techniques regroupent des techniques de conduite d'élevage et de gestion des parcelles, souvent contraignantes et pas nécessairement efficaces mais très utilisées sur le terrain, ainsi que des méthodes de lutte biologique encore à l'étude.

3.4.1 Méthodes de conduite d'élevage

3.4.1.1 Influence du chargement à l'hectare

Une densité à l'hectare élevée augmente le risque parasitaire. Le grand nombre d'animaux procure en effet une large contamination de la pâture (concentration des œufs émis par un nombre accru d'animaux). De plus, le surpâturage, en concentrant les L₃ dans une plus faible quantité d'herbe, favorise l'ingestion des stades infestants [43].

3.4.1.2 Méthode de pâturage mixte

Il s'agit ici d'une méthode contraignante qui consiste à alterner sur une même parcelle d'une année sur l'autre plusieurs espèces animales, ou des animaux d'âge différents. Ainsi, la parcelle peut, par exemple, recevoir des ovins les années paires, des bovins les années impaires. On peut de même alterner veau et vaches adultes, etc. [1]. Cette technique repose sur le principe selon lequel l'année où l'hôte préférentiel est absent, de nombreuses L₃ sont éliminées, soit du fait de l'intervalle de temps, soit recyclées par le deuxième hôte, qui représente une impasse évolutive. Le pâturage mixte pourrait d'autant plus trouver son utilité en région tropicale ou sub-tropicale, où les conditions climatiques sont plus défavorables à une survie prolongée des L₃ [1].

Le pâturage mixte peut également être simultané, avec des troupeaux mélangeant bovins et ovins, ou veaux et vaches. L'espèce à laquelle le parasite n'est pas adapté absorbe une partie de ses larves qui ne pourront pas achever leur cycle de développement et seront donc détruites. Chaque espèce dilue donc les formes infestantes pour l'autre espèce, limitant ses contaminations. Pour le pâturage mixte veau/vache, l'adulte, ayant développé une immunité au contact du ver, a une résistance supérieure à celle du jeune. La proportion d'œufs excrétés en fonction du nombre de larves infestantes absorbées est sensiblement inférieure à celle

permise par le jeune animal. L'adulte dilue donc également les L₃ sur les parcelles, limitant ainsi la contamination des jeunes.

Les résultats d'une telle conduite d'élevages sont plutôt favorables, surtout pour les petits ruminants. Il existe cependant des risques d'adaptation des parasites à un hôte pour lequel ils n'étaient pas pathogènes jusqu'alors [22]. Des études semblent écarter cette possibilité à court terme (peu d'infestations croisées, et dans ce cas, pas de pathogénicité ni de ponte des parasites), mais aucune donnée n'est disponible à propos du long terme [1].

3.4.2 Méthodes de gestion des parcelles

3.4.2.1 Retournement régulier

Le retournement régulier des parcelles par labour permet une diminution du nombre de L₃ au pâturage [22].

3.4.2.2 Rotation des parcelles

Il s'agit d'une méthode reposant sur le principe qu'un intervalle de temps sans hôte (jachère) permet la mort des L₃ au pâturage. C'est l'application d'une conduite des parcelles par planning rotatif, aussi appelé pâturage tournant, par opposition au pâturage continu d'une même parcelle. Le changement de parcelle en pâturage tournant est piloté par la hauteur d'herbe dans la pâture. Les parcelles utilisées sont de petite taille et le chargement instantané à l'hectare est important. La rotation s'effectue donc tous les 4 à 6 jours [29]. La contamination des parcelles ne devrait pas être importante au vu du faible temps passé sur chacune.

Cependant, des études sur le terrain ont montré la faible efficacité de cette technique en milieu tempéré. Les parcelles finissent par se contaminer, et n'ont pas le temps de se décontaminer entre deux utilisations, du fait de la bonne capacité de survie des L₃ sous nos latitudes [9]. Cette stratégie peut cependant trouver un intérêt en milieu tropical ou subtropical, où les capacités de survie des L₃ sont limitées par le climat.

3.4.3 Méthodes de lutte biologique

Les techniques étudiées ici évaluent l'intérêt de l'augmentation artificielle au pâturage de populations d'agents biologiques capables de diminuer la contamination en L₃ des pâturages, que ce soit par prédation ou par action mécanique. Deux exemples en sont présentés.

3.4.3.1 Utilisation de la faune naturelle du sol

L'impact d'hôtes naturels du sol tels que les bousiers ou les vers de terre sur l'importance de la contamination des pâtures a été évaluée [57]. Si l'action des bousiers semble accroître le risque parasitaire, les vers de terre en revanche semblent diminuer la contamination des parcelles. Leur utilisation pratique n'est cependant pas d'actualité.

3.4.3.2 Utilisation de la microflore naturelle du sol : cas des champignons nématophages

De nombreuses études se sont attachées à évaluer l'intérêt de l'utilisation de champignons prédateurs de façon à diminuer la contamination des pâtures. Les résultats sont très prometteurs. La deuxième partie de cette étude bibliographique propose une synthèse des données actuelles sur l'utilisation de ces champignons, de façon à mieux situer dans son contexte la partie expérimentale de notre travail, portant sur le premier test de terrain chez la chèvre laitière de cette méthode de lutte et sur une première évaluation des résidus dans le lait.

SECONDE PARTIE :

Utilisation de champignons nématophages pour le contrôle des contaminations au pâturage.

Parmi les méthodes de lutte biologique contre les strongyloses des ruminants, une des plus prometteuses repose sur l'administration de champignons nématophages aux animaux.

1. Définition

1.1 Mode d'action

Les champignons nématophages sont des prédateurs obligatoires ou facultatifs des larves de nématodes libres ou parasites du sol. On peut les classer en deux grands groupes selon leur mode d'action [36 ; 39].

Un premier groupe rassemble des espèces hyphomycètes, produisant des spores qui germent pour former des hyphes capables de piéger les larves puis de les digérer. Pour ce faire, les hyphes peuvent prendre la forme de nœuds gluants, de branches, de réseaux collants tridimensionnels ou d'anneaux (sortes de collets) qui peuvent ou non être constricteurs et qui vont emprisonner les larves (*cf Figure 1*). D'autres espèces possèdent un matériel gluant directement sur l'hyphe. Dans tous les cas, la formation de ces réseaux mycéliens est souvent activée par les mouvements des larves de nématodes [13 ; 14 ; 35 ; 39 ; 62]. On trouve notamment dans ce groupe les champignons appartenant au genre *Arthrobotrys* comme *Arthrobotrys oligospora* ou au genre *Duddingtonia* dont *Duddingtonia flagrans*.

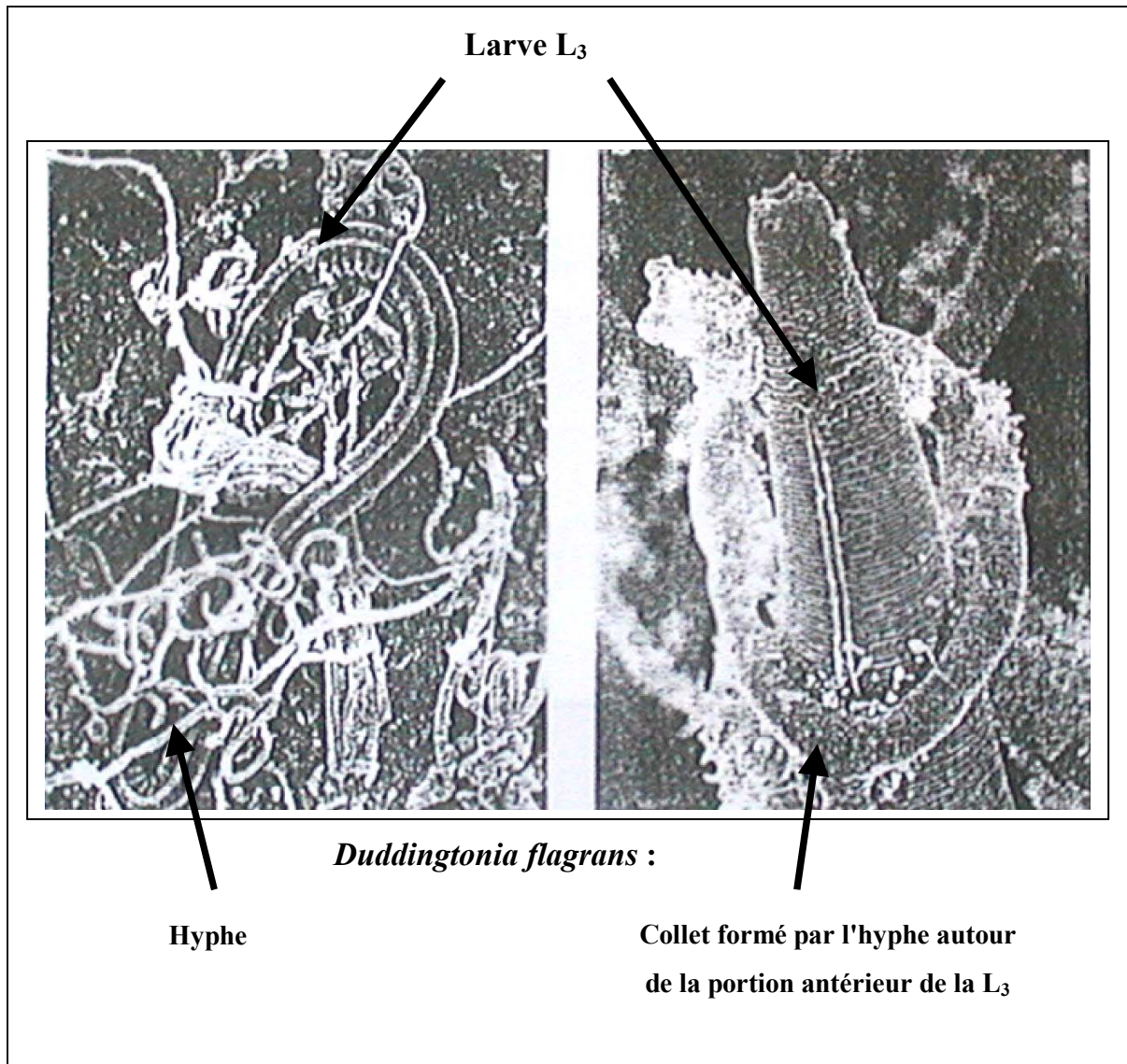


Figure 1 : Mode d'action de *Duddingtonia flagrans* : formation par le champignon nématophage d'un réseau tridimensionnel piégeant une L₃.

L'autre groupe comprend des champignons endoparasites, produisant soit des spores pouvant transperser et pénétrer la gaine du nématode, soit des spores de petite taille destinées à être ingérées par le ver pour atteindre son œsophage [39]. La spore germe alors en un filament capable de coloniser puis de digérer le contenu du nématode. On trouve par exemple dans ce groupe l'espèce *Harposporium anguillulae*.

Dans les deux cas, la prédation s'effectue sur les stades larvaires, dans le milieu extérieur. Il ne semble pas y avoir d'action sur les œufs [39].

Etude bibliographique : Utilisation des champignons nématophages.

Actuellement, le champignon le plus prometteur comme agent destructeur de nématodes est *Duddingtonia flagrans*. Ce champignon forme des réseaux gluants tridimensionnels ainsi qu'un grand nombre de structures contenant des spores : les chlamydospores. C'est un parasite facultatif, qui peut survivre dans le sol en exploitant de la matière organique en décomposition [36]. Il piège la larve de nématode par son réseau, et produit des enzymes capables de dégrader la gaine du ver. Il pénètre alors à l'intérieur de sa proie par action mécanique, où il forme un bulbe infectieux, empêchant l'entrée de bactéries ou d'autres micro-organismes. L'hyphomycète a alors le temps de digérer le contenu de la larve et d'en acheminer les produits vers le reste du mycellium [39].

1.2 Caractères généraux

Les champignons nématophages sont pour la plupart des *Deuteromycetes* de la classe des champignons imparfaits, et sont des prédateurs naturels des nématodes [38 ; 39]. Ils sont naturellement ingérés puis excrétés par les animaux en pâture, dans les fèces desquels ils ont pu être isolés en faible quantité [35]. Il a également été montré un envahissement rapide de fèces fraîchement déposées sur le sol par ces champignons, probablement transportés par des nématodes libres infestés mais survivants [18].

Ils semblent être relativement ubiquistes car ils ont été isolés du sol de nombreux pays, dont l'Australie [37], les îles Fidji [42], la Malaisie [5], mais aussi en Amérique (USA, Canada, Mexique), en Europe (France, Grande Bretagne, Danemark,...), en Asie (Inde, Russie) etc. [20 ; 62]. Il s'agit donc d'hôtes normaux de la microflore du sol [36].

1.3 Intérêt dans la lutte contre les strongyloses des ruminants

Les capacités de prédatons de ces champignons envers les nématodes peuvent être mises à profit pour détruire les larves de strongles au pâturage, diminuant l'infestivité de ce dernier, et par suite la contamination des ruminants. Ce sont des hôtes naturels du sol, et ils pourraient probablement trouver une application en agriculture biologique, mais aussi fermière ou A.O.C. C'est également une alternative possible aux traitements allopathiques, dans le cadre de la lutte contre la résistance aux anthelminthiques.

Enfin, l'utilisation de tels champignons laisse persister un parasitisme résiduel suffisant pour établir et entretenir l'immunité de l'hôte envers les strongles.

2. Historique

Le concept d'utilisation des champignons nématophages comme agents de lutte contre les nématodes n'est pas récent. Dans les années 1930, LINFORD et al. [cité par 39] les ont expérimentés pour le contrôle de nématodes parasites de l'ananas à Hawaï. D'autres expérimentations ont été menées à l'Institut Pasteur en France dans les années 1930-1940, sur des nématodes parasites d'animaux. Ces expérimentations ne conduisirent vers aucune application pratique, notamment par défaut de moyen de propagation efficace du champignon vers sa cible [62].

L'application de telles méthodes de lutte biologique aux strongles digestifs a été développée depuis une dizaine d'année, initiée par GRØNVOLD et al. (1993) [14]. Pour des raisons pratiques, les recherches se sont concentrées sur une administration de spores de champignons par voie orale aux animaux. Les spores sont ingérées, transitent par voie digestive et sont émises en quantité au sein des matières fécales où elles peuvent germer. Ceci permet d'obtenir une grande concentration de spores au contact des larves de parasites, puisque celles-ci sont issues des œufs, également émis dans les fèces.

Plus de 200 espèces de champignons ont été évaluées. Seule une vingtaine d'espèces se sont avérées efficaces, et *Duddingtonia flagrans* s'est révélée la plus prometteuses à l'issue des tests *in vitro* et *in vivo* grâce à sa capacité à survivre au transit digestif de l'hôte [36].

3. Propriétés et utilisation pratique de *Duddingtonia flagrans*

3.1 Conditions d'emploi

3.1.1 Capacité à survivre au transit digestif chez l'hôte

L'administration *per os* de spores de champignons nématophages à des animaux implique la capacité de ces spores à transiter par le tube digestif en conservant leur efficacité de germination et de prédation. Aucune espèce de champignon endoparasite n'a rempli ce

Etude bibliographique : Utilisation des champignons nématophages.

critère. Parmi plusieurs souches de champignons hyphomycètes, dont deux espèces très étudiées pour leur grande efficacité *in vitro*, *Arthrobotrys oligospora* et *Duddingtonia flagrans*, seule la seconde s'est avérée apte à conserver toute son efficacité après passage par voie digestive [5 ; 10 ; 15 ; 35 ; 36 ; 38 ; 39 ; 62]. Cette résistance lui serait conférée par l'épaisseur des parois de ses chlamydo-spores, contrairement à *Arthrobotrys oligospora* qui produit des conidies à paroi fine [35]. La majorité des études suivantes a donc été menée avec *Duddingtonia flagrans*. Ainsi, la suite de cette revue sera exclusivement consacrée à ce champignon.

3.1.2 Conditions de croissance optimale de *Duddingtonia flagrans*

L'utilisation de *Duddingtonia flagrans* pour lutter contre les strongles nécessite une vitesse de croissance optimale du champignon de façon à ce qu'il puisse capturer et détruire les larves avant qu'elles ne sortent des fèces.

***Duddingtonia flagrans* ne se développe qu'en aérobiose. Son développement nécessite une oxygénation des fèces par des insectes coprophages [16].**

Duddingtonia flagrans présente une vitesse de croissance doublée dans des fèces fraîches/humides par rapport à des fèces sèches (15-20 mm/15j contre 7-10 mm/15j respectivement). Sa vitesse de croissance est de 15 à 60 mm/semaine entre 20 et 30 °C [16].

La croissance de *Duddingtonia flagrans* est induite par la présence de nématodes en mouvement, d'autant plus qu'ils sont plus mobiles [13 ; 14].

3.1.3 Principe d'utilisation

Au début du printemps, au moment de la mise à l'herbe, les parcelles sont faiblement contaminées par les larves de strongles (survie faible des L₃ aux rigueurs de l'hiver). En temps normal, les chèvres s'infestent en ingérant les L₃ survivantes. Une fois leur cycle de développement terminé, les strongles adultes issus de ces L₃ pondent et contaminent massivement les parcelles. La réinfestation des animaux est en conséquence elle aussi massive.

Etude bibliographique : Utilisation des champignons nématophages.

L'administration de champignons nématophages dès la mise à l'herbe permet l'émission, dès le deuxième jour suivant l'administration, de spores de ces champignons, simultanément aux œufs de strongles, au sein des fèces [46]. Ceci met en contact au pâturage proies et prédateurs. L'action de ces derniers permet de limiter la contamination des parcelles. Les animaux se recontaminent donc moins. Puis, les animaux sont rentrés pendant l'été, pendant lequel il ne recontaminent plus les pâtures. Le retour à l'herbe du troupeau a lieu en automne. Les individus ayant reçu les champignons pâturent alors sur des parcelles plus faiblement contaminées. Cette gestion des contaminations permet une bonne résilience, c'est-à-dire le maintien du troupeau à un niveau de parasitisme qui ne diminue pas ses productions.

3.1.4 Posologie, voie et durée d'administration

L'administration de spores de *Duddingtonia flagrans* aux animaux a lieu par voie orale.

De nombreuses **doses** de spores ont été évaluées. Les doses efficaces relevées varient, selon les auteurs, de $2,5 \cdot 10^4$ à 10^6 spores par kg de poids vif et par jour (sp/kg PV/j) [5 ; 38 ; 45 ; 46 ; 53]. Le recoupement des différents articles permet de fixer une dose raisonnable de 10^5 à $5 \cdot 10^5$ sp/kg PV/j.

L'administration quotidienne de grains porteurs de *Duddingtonia flagrans* à des moutons a permis l'évaluation de la rémanence à 2 jours au-delà de la durée d'administration [60]. D'autres études confirment cet état de fait en fixant une rémanence de 12 à 24 heures après l'arrêt de l'administration, durée portée à 2 ou 3 jours en cas de forte dose [39]. Cette faible rémanence permet une compatibilité avec les principes de l'agriculture biologique [36].

La **durée d'administration** nécessaire a été évaluée à 6 à 8 semaines en début de saison de pâture [19].

En conclusion, **on recommande l'administration de 10^5 à $5 \cdot 10^5$ sp/kg PV *per os* quotidiennement pendant les 2 premiers mois de pâture, de façon à obtenir une faible contamination du pâturage.**

3.1.5 Mode d'administration

La capacité de *Duddingtonia flagrans* à conserver son efficacité après passage par le tube digestif permet l'administration du champignon par voie orale. Ce mode d'administration permet une distribution relativement aisée aux animaux, même dans de grands effectifs.

3.1.5.1 Administration avec l'aliment

Duddingtonia flagrans est actuellement cultivée sur des grains d'orge, les céréales étant le meilleur substrat selon la littérature [5]. Il est donc possible de l'administrer aux animaux sous cette forme, sans qu'il soit nécessaire de modifier la ration [39]. La distribution peut également s'effectuer **en mélangeant les spores sous forme sèche à un Complément Minéral Vitaminé**, de façon à obtenir une bonne appétence nécessaire à l'absorption d'une dose correcte, en évitant le biais des variations de consommation entre animaux [34 ; 35]. En effet, la capacité des spores, sous forme sèche, à conserver leur activité même après un stockage prolongé a été démontrée [41].

Ces modes d'administration sont bien adaptés aux animaux laitiers à qui les champignons peuvent être fournis à l'auge. Avec un cornadis, il est possible de fournir aux animaux une dose équivalente. Pour les animaux destinés à la production de viande, le traitement est moins aisé et nécessite le développement de systèmes de distribution au pâturage [35].

3.1.5.2 Administration au pâturage

L'administration de spores de *Duddingtonia flagrans* au pâturage peut se faire par leur **intégration dans un bloc à lécher**. Des études ont montré la capacité des spores à conserver leur efficacité à l'issue du processus de fabrication des pierres à lécher [60]. L'efficacité de tels dispositifs serait équivalente à l'administration de l'orge [62]. **On peut cependant s'interroger sur la dose réellement absorbée par les animaux avec ce système.**

L'efficacité de **dispositifs intra-ruminaux à relargage progressif** a également été évaluée [61]. Les spores conservent leur capacité à germer et capturer les larves de strongles à l'issue du processus de fabrication [61]. Cependant, d'autres études de faisabilité sont nécessaires,

Étude du traitement par un champignon nématophage, *Duddingtonia flagrans*, contre les strongyloses digestives chez la chèvre laitière au pâturage.

ce système n'étant pas encore économiquement intéressant [35]. Il présenterait néanmoins l'avantage de permettre l'administration aux animaux d'une dose calculée et constante au cours du temps, évitant les biais de distribution. Il nécessite une manipulation de chaque animal du troupeau qui n'est pas nécessaire avec les dispositifs à lècher.

3.2 Efficacité et spectre d'activité

3.2.1 Efficacité sur les strongles digestifs

3.2.1.1 Efficacité *in vitro*

Des études ont été menées *in vitro* pour montrer la capacité de *Duddingtonia flagrans* à détruire les larves de strongles digestifs [35]. Ces études, qui mettent en contact champignon prédateur et larve de strongle, ont permis l'observation du mode d'action de ces champignons.

3.2.1.2 Efficacité en terme de rendement de coproculture

Le mélange de spores de *Duddingtonia flagrans* avec des fèces d'animaux excréteurs d'œufs de strongles a permis une réduction pouvant atteindre 90 % de la proportion d'œufs de strongles évoluant jusqu'au stade de larve L₃ [35 ; 36]. Le mélange de fèces d'animaux excréteurs d'œufs de strongles avec des fèces d'individus non parasités à qui des spores de *Duddingtonia flagrans* ont été administrées, met en évidence une réduction de plus de 90 % des rendements de coproculture, et ce dès le deuxième jour après administration des spores [46].

3.2.1.3 Efficacité lors de 'Plot Study'

Les 'plot studies' sont des études fondées sur l'ensemencement artificiel de prairies, non contaminées par des strongles, au moyen de fèces chargées ou non en spores [6 ; 12 ; 35]. Des individus traceurs, non porteurs de parasites, ont pâturé ces parcelles, puis leur niveau d'excrétion fécale en œufs de strongles a été mesuré. Les traceurs ayant parcouru les parcelles où avaient été déposées les fèces chargées en spores présentent un niveau d'excrétion significativement inférieur (de l'ordre de 90 % de réduction par rapport au témoin) à celui

Etude bibliographique : Utilisation des champignons nématophages.

mesuré sur les traceurs ayant pâture les parcelles témoins. Ces études ont ainsi révélé une capacité à limiter l'excrétion, et donc l'infestation d'animaux traceurs pâture sur ces prairies.

3.2.1.4 Efficacité *in vivo*

Une corrélation entre l'efficacité du champignon et les niveaux d'excrétion fécale (FEC : Fecal Egg Count) des animaux traités a été démontrée [11]. L'efficacité de l'administration de spores de *Duddingtonia flagrans* aux animaux a donc été évaluée au moyen de test de réduction des FEC.

Duddingtonia flagrans permet également la diminution de l'infestivité des pâtures. Cette infestivité réduite peut être mesurée par prélèvements d'herbe au pâture (*via* le nombre de L₃ par kg de matière sèche de l'herbe) ou en évaluant la réduction du FEC obtenu auprès d'animaux traceurs, comparé à des témoins. Dans ce cas, les spores sont apportées aux animaux, qui contaminent plus ou moins le pâture selon qu'ils reçoivent ou non les spores. Puis, des traceurs, non parasités, sont introduits sur la pâture où ils se contaminent en proportion du nombre de L₃ qui y sont présentes. Ceci mime l'infestation naturelle des animaux en début de saison de pâture [12 ; 35 ; 36].

L'administration de spores de *Duddingtonia flagrans* permet une diminution des FEC de 80 à 90 % [5 ; 12 ; 34 ; 38 ; 45]. Or, une simulation mathématique indique qu'une réduction de 75 % de la contamination du pâture pendant 60 jours équivaut à 3 traitements anthelminthiques [36]. Ces résultats seraient compatibles avec l'utilisation de *Duddingtonia flagrans* en tant qu'alternative aux anthelminthiques.

3.2.1.5 Efficacité clinique et zootechnique

De façon clinique, il a été montré que l'utilisation de *Duddingtonia flagrans* permet de prévenir l'apparition de signes cliniques des strongyloses, et de diminuer le nombre de cas cliniques [35 ; 40]. Elle tendrait également à améliorer le GMQ (gain moyen quotidien en poids) des animaux traités (augmentation de GMQ due aux strongles chez les animaux traités par rapport aux témoins) [34].

L'utilisation de *Duddingtonia flagrans* permettrait donc d'augmenter la résistance et la résilience des animaux des troupeaux traités.

3.2.2 Espèces hôtes envisagées

L'efficacité de *Duddingtonia flagrans* dans la lutte contre les strongyloses a fait l'objet de nombreuses études. L'essentiel de ces études évaluait l'utilisation de ce champignon chez le cheval, ou chez les ruminants. Parmi ces derniers, son usage chez les bovins ou les ovins est bien documenté. Les études portant sur l'espèce caprine en revanche sont rares, et l'utilisation de champignons prédateurs dans des conditions pratiques d'élevage n'a jamais été testée sur les chèvres laitières.

3.2.3 Spectre d'activité chez les ruminants

L'efficacité de l'utilisation de *Duddingtonia flagrans* sur *Haemonchus contortus*, strongle digestif hématophage des petits ruminants, a été jugée modérée à bonne, suivant la dose employée. Le taux de réduction d'excrétion fécale d'individus traceurs par rapport à des témoins atteint 90 % [5 ; 46 ; 53].

Une efficacité comparable a également été démontrée envers la majorité des strongles gastro-intestinaux des petits ruminants, dont *Teladorsagia circumcincta* et *Trichostrongylus colubriformis* [6 ; 11 ; 35 ; 44 ; 43].

L'activité de *Duddingtonia flagrans* à l'égard de *Nematodirus* spp. semble nulle en revanche [12 ; 20 ; 35]. Le développement de ce parasite s'effectue jusqu'au stade L₃ à l'intérieur de l'œuf. La formation des réseaux de capture du champignon ne peut ainsi pas être induite par le mouvement des larves.

Chez les bovins, et en particulier chez le veau, *Duddingtonia flagrans* aurait une bonne activité contre *Ostertagia* spp. et *Cooperia* spp. [40 ; 57].

Concernant les strongles respiratoires, l'action de *Duddingtonia flagrans* sur les larves de *Dictyocaulus viviparus* chez les bovins est contestée [19 ; 20], tandis qu'elle semble nulle sur *Muellerius capillaris* chez la chèvre [43 ; 44]. **Les larves peu mobiles des strongles**

respiratoires paraissent en effet peu capables d'induire la formation de réseaux par le champignon.

Exception faite de *Nematodirus* spp., *Duddingtonia flagrans* semble avoir une bonne efficacité de destruction des larves de strongles digestifs. Ce champignon présente donc des perspectives intéressantes de contrôle des strongyloses gastro-intestinales.

4. Toxicité, écotoxicité et limites d'utilisation de *Duddingtonia flagrans*

4.1 Toxicité

Duddingtonia flagrans est un champignon qui nécessite des conditions aérobies pour se développer. Ses spores sont donc incapables de germer à l'intérieur du tube digestif de l'animal traité [39]. L'inhalation des spores est également impossible du fait de la taille importante des chlamydospores [36].

La toxicité pour l'animal traité semble nulle [62 ; 36] et aucun impact n'a encore été mis en évidence [20]. Des essais effectués avec 10 fois la dose recommandée semblent confirmer cette innocuité [36]. De plus, cette famille de champignons n'héberge aucun pathogène connu, que ce soit pour l'Homme ou les animaux [36].

4.2 Ecotoxicité

Elle semble limitée, car *Duddingtonia flagrans* a été mise en évidence à l'état naturel dans de nombreuses régions du monde [5 ; 20 ; 37 ; 42 ; 62]. Quelle que soit la nature du sol, il a été montré que des bouses, ne contenant pas de champignons nématophages, déposées sur le sol, en étaient rapidement colonisées, de façon naturelle [18]. Nous sommes donc en présence d'hôtes naturels de nos prairies. Leur administration n'est donc pas l'introduction d'une espèce nouvelle dans un biotope, mais l'augmentation artificielle de la population d'une espèce naturellement présente.

Le risque de déséquilibre du biotope semble limité car il a été montré que cette administration provoquait une augmentation de la concentration en *Duddingtonia flagrans* dans les matières fécales, mais des compétitions avec le reste de la microflore du sol semblent

Etude bibliographique : Utilisation des champignons nématophages.

limiter cette surprésence à l'environnement proche de la bouse. Les contaminations du sol à distance seraient en effet très réduites, voire inexistantes [39].

De plus, la rémanence limitée (2 jours après arrêt du traitement) limiterait l'impact lié à des résidus. L'administration de ce champignon sous forme de système intra-ruminal à relargage progressif procurerait cependant une rémanence plus importante du traitement [36].

L'impact sur la microfaune du sol a été partiellement évalué. Il ne semble pas y avoir d'effet délétère sur les vers de terre. L'impact sur les nématodes libres du sol reste toutefois à évaluer.

4.3 Limites d'utilisation

Actuellement, aucune étude ne démontre l'absence de **résidus dans les produits animaux**, que ce soit pour le **lait** ou la **viande**. L'influence de ce traitement sur la capacité de **transformation de ces produits** n'a pas été évaluée. De même, **aucune donnée n'est encore disponible sur l'estimation des effets d'un tel traitement sur la population de nématodes libres du sol, et aucune étude d'impact à long terme n'a encore été entreprise.** Toutefois, on peut supposer, étant données les caractéristiques connues de ces champignons, que l'impact sur l'environnement soit plus réduit que celui des traitements à base d'anthelminthiques, connus pour générer des résidus abondants.

Conclusion de la partie bibliographique :

L'efficacité du traitement par *Duddingtonia flagrans* a été démontrée expérimentalement sur les strongles digestifs les plus fréquents chez la chèvre [6 ; 44 ; 43]. Cependant, aucune étude n'a encore été effectuée chez la chèvre laitière ni dans des conditions naturelles d'élevage chez les caprins. Notre travail expérimental a donc pour but de **démontrer l'efficacité de ce traitement au sein d'un élevage laitier tourné vers la production de fromage Picodon A.O.C.** La seconde partie de notre travail expérimental vise à pallier le manque de données en terme de **résidus chez la chèvre laitière en évaluant la contamination du lait et/ou des fromages et l'impact du traitement sur la qualité du lait produit et sur les critères de fromageabilité.**

ETUDE EXPERIMENTALE

**EFFICACITE ET IMPACT
TECHNOLOGIQUE
DE *DUDDINGTONIA FLAGRANS*
chez la chèvre laitière au pâturage.**

L'étude bibliographique a montré la nécessité et l'intérêt de développer des méthodes alternatives de lutte contre les strongyloses caprines, telle que l'administration de spores de *Duddingtonia flagrans* afin de limiter la contamination des pâturages. L'étude expérimentale a donc pour objectif de démontrer l'efficacité de l'utilisation de *Duddingtonia flagrans* en conditions d'élevage et d'évaluer son impact sur les productions.

1. Objectifs de l'étude

1.1 Evaluation de la capacité de *Duddingtonia flagrans* à limiter l'infestation des chèvres au pâturage (Etude n°1)

L'objectif est de démontrer en conditions d'élevage que la distribution de spores de *Duddingtonia flagrans* peut diminuer la contamination des pâturages en larves infestantes de strongles digestifs, et donc réduire les infestations des animaux.

1.2 Evaluation de l'impact sur la production de lait (Etude n°2)

L'examen de critères technologiques qualitatifs nous permettra de rechercher un éventuel impact de l'utilisation de *Duddingtonia flagrans* sur les productions de lait et de fromage.

2. Matériel et méthodes

2.1 Matériel biologique

2.1.1 Les chèvres

L'étude est menée sur 121 chèvres laitières âgées de 1 à 9 ans, de race Alpine Chamoisée. Les chèvres appartiennent à l'élevage de la station expérimentale caprine sise au domaine Olivier de Serres, le Pradel, en Ardèche. Le lait produit est transformé dans la fromagerie de la ferme en fromages Picodon A.O.C.

Les chèvres sont sorties au pâturage de début mars à juillet, puis de septembre à décembre 2001. L'ensemble du troupeau est maintenu à l'intérieur pendant environ deux mois

Etude expérimentale : Efficacité et impact technologique de *Duddingtonia flagrans*.

l'été (de fin juillet à mi-septembre) en raison du manque d'herbe au pâturage. Une rotation des parcelles est pratiquée. Le pâturage s'effectue sur graminées (ray grass, fétuque ou dactyle) jusqu'en juin, puis les chèvres sont transférées sur légumineuses (luzerne) avec une transition de deux semaines (*cf* *Tableau II*). Les chèvres reçoivent en complément du foin à l'auge, de la luzerne déshydratée et de l'orge. L'entrée "env. 0" dans le *Tableau II* représente les mois passés en chèvrerie, du fait des conditions climatiques incompatibles avec le pâturage.

	pâture	foin	luzerne déshydratée	concentré (orge)
mars	graminées	1 kg	0,2 kg	0,8 kg : 20% MAT
avril		0,5 kg	0 kg	
mai		0 kg		
juin	gram./luz.	0,5 kg	0,2 kg	0,8 kg : 18% MAT
juillet	luzerne	0,5 à 2,8 kg	0 kg	
août	env. 0	2,8 kg	0,2 kg	0,7 kg : 18% MAT
septembre		3,1 kg		
octobre	gram./luz.	1,65 kg	0,2 à 0 kg	0,7 à 0,3 kg
novembre				
décembre	env. 0	2,5 kg	0 kg	0,5 kg

Tableau II : Alimentation des chèvres en 2001.

Les chèvres sont contaminées naturellement au pâturage par des strongles digestifs, essentiellement par *Teladorsagia circumcincta* et *Trichostrongylus colubriformis*, les deux espèces dominantes sur le site [29]. Durant l'hiver précédant la sortie au pâturage, les chèvres sont vermifugées au moyen d'un anthelminthique à large spectre (Synanthic® : Oxfendazole, MERIAL) utilisé à la dose ovine recommandée répétée deux fois à 24 heures d'intervalle. Dans le cadre de l'essai, aucun traitement anthelminthique n'est prévu pendant le pâturage sauf si le parasitisme atteint un niveau où il s'exprime cliniquement.

2.1.2 Les champignons

Les champignons utilisés sont des spores de *Duddingtonia flagrans* fournies par la firme danoise CHR HANSEN Biosystems DK-2970 HØRSBOLM. Elles ont été produites sur

Etude expérimentale : Efficacité et impact technologique de *Duddingtonia flagrans*.

grains de millet et conservées à l'état sec dans un conditionnement à l'abri de la lumière, sous forme d'une poudre contenant $1,3.10^7$ spores par gramme.

2.2 Protocoles

2.2.1 Mise en lots

Les 121 chèvres sont conduites en **deux lots séparés**. Chaque lot dispose en chèvrerie d'une aire paillée séparée, comprenant auge et cornadis (*cf photo 1*). Les chèvres des deux lots pâturent sur des **parcelles séparées, équivalentes en taille et en type de végétation**. Un lot ne passe donc jamais sur une parcelle utilisée par l'autre lot.

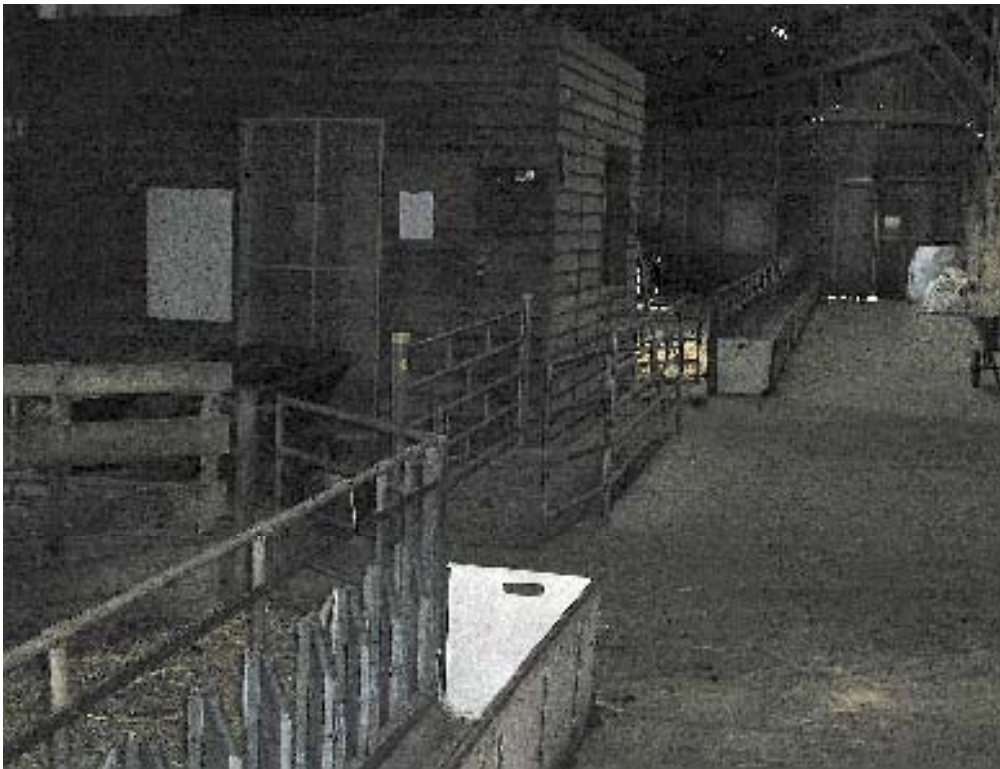


Photo 1 : Chèvrerie avec aires paillées, auges et cornadis séparés, permettant la conduite du troupeau en deux lots : lot témoin et lot traité.

Les deux lots sont constitués de 60 chèvres, réparties en fonction de leur rang de lactation et par appariement (*cf* *Tableau III*). Le lot traité regroupe les chèvres recevant les spores de *Duddingtonia flagrans*.

	lot traité	lot témoin
primipares	12	12
multipares	48	49
total lot	60	61
total	121	

Tableau III : Répartition des chèvres par lot

2.2.2 Administration des spores

Les spores sont distribuées après mélange manuel à un complément minéral appétent Polycalcium® de la société Néolait. Le mélange est effectué tous les matins avant distribution, jusqu'à obtenir une poudre de coloration homogène (*cf* *Photo 2*).

Les chèvres du lot traité reçoivent en moyenne **2,5.10⁵ spores par kg de poids vif et par jour** (soit 1,3 g par chèvre), **distribuées le matin pendant 8 semaines, de la mise à l'herbe (début mars) à la mi-mai**, conformément aux précédents résultats obtenus chez les petits ruminants (*cf* *Partie bibliographique – 2^e partie – 3.4*).

Le mélange est réparti sur toute la longueur de l'auge quand tous les animaux sont bloqués au cornadis (*cf* *photo 3*). Lorsque les chèvres ont consommé le mélange, des bouchons de luzerne sont distribués afin que les chèvres nettoient bien l'auge, et consomment le reste des spores.

Les chèvres du lot témoin reçoivent le complément minéral et la luzerne, sans les spores. **En automne, les deux groupes sont toujours menés sur pâtures séparées mais ne reçoivent plus de spores de *Duddingtonia flagrans*.**



Photo 2 : Aspect du mélange des spores de *Duddingtonia flagrans* avec un complément minéral appétent.



Photo 3 : Chèvres ingérant le mélange spores de *Duddingtonia flagrans*/complément minéral au cornadis.

2.2.3 Etude n°1

2.2.3.1 Analyses des matières fécales

2.2.3.1.1 Prélèvement des échantillons

Les **féces sont récoltées individuellement** sur toutes les chèvres des deux lots en intra-rectal, lorsque les chèvres sont au cornadis. Les gants sont succinctement lavés dans de l'eau entre chaque chèvre et changés entre les deux lots.

Les prélèvements sont effectués au début de chaque mois depuis la mise à l'herbe début avril 2001 jusqu'à fin novembre. Un second prélèvement mensuel est effectué en début de troisième semaine de chaque mois en octobre et novembre, période où se situe habituellement le pic de parasitisme dans l'élevage considéré [29]. Au total, 10 séries de prélèvements sont analysées.

2.2.3.1.2 Analyses effectuées

2.2.3.1.2.1 Coproscopies

Des coproscopies individuelles ont été effectuées sur les 10 séries de prélèvements, selon la méthode de Mac Master modifiée [47]. Les analyses sont menées sur 3 grammes de féces afin de déterminer le niveau d'excrétion en œufs de strongles (opg : œufs par gramme de féces) des chèvres de chaque lot (*cf Annexe*).

2.2.3.1.2.2 Coprocultures

Les coprocultures sont initiées à partir des prélèvements déjà utilisés pour les coproscopies, selon la méthode décrite par KERBOEUF et al. (1997) [33]. Cinq grammes de féces sont placés en récipient étanche à l'étuve à 24°C, à l'obscurité pendant 11 jours. Les prélèvements sont humidifiés et aérés 3 fois par semaine. A l'issue de la culture, les larves sont récoltées selon la technique de Baermann, puis dénombrées. Un taux de développement larvaire à partir des œufs est obtenu selon le calcul suivant :

$\frac{\text{Nombre total de larves collectées}}{\text{Nombre total d'œufs dans les fèces}} \times 100$

Les coprocultures ont été effectuées en avril, mai, mi-mai et en septembre, pour les deux lots, à partir de 4 échantillons de fèces par lot. Chacun de ces échantillons est composé des fèces de plusieurs chèvres (10 à 12), appariées à poids égal.

2.2.3.2 Prélèvements de sang

Des prises de sang sont effectuées sur chaque animal, en double exemplaire, simultanément aux prélèvements de fèces. Les prélèvements se font sur tube sec et sont expédiés à l'unité 1225 INRA/ENVT de Toulouse pour analyses biologiques sur les sera.

Les prélèvements sanguins ont permis la **mesure des taux sériques de pepsinogène**, dosé selon la méthode décrite par KERBOEUF (1975) [31].

Les mesures des taux sériques de pepsinogène ont été effectuées sur la moitié de l'effectif de chaque lot, soit sur les sera de 30 animaux prélevés au hasard au sein de chaque lot en respectant les proportions respectives de primipares et multipares.

2.2.3.3 Prélèvements d'herbe au pâturage

Des prélèvements d'herbe ont été effectués pour mesurer la contamination des pâtures. L'échantillonnage a été effectué selon la technique décrite par GRUNER et RAYNAUD (1980) [17]. Les analyses ont lieu à la SRPC/AFSSA de Niort. Ces prélèvements ont été réalisés **avant la mise à l'herbe** (28/02/2001), **en milieu** (12/06/2001) **et en fin de saison de pâture** (25/10/2001).

Le dénombrement des larves infestantes au pâturage a été conduit selon la technique décrite par GRUNER et RAYNAUD (1980) [17].

2.2.3.4 Mesure de la quantité de lait produite

Les données individuelles concernant la production laitière des chèvres (quantité, taux butyreux et protéique) ont été collectées chaque semaine. Leur analyse renseigne sur la résilience des chèvres de chaque lot.

2.2.4 Etude n°2

2.2.4.1 Prélèvement d'échantillons de lait, d'eau et de fromages

Plusieurs types de prélèvements ont été effectués le 11 avril 2001, un mois après la mise à l'herbe des chèvres, en période de distribution des spores, puis congelés, afin d'objectiver d'éventuelles contamination des produits.

Les mamelles de 10 chèvres par lot (20 prélèvements) sont lavées au moyen de lingettes qui sont récupérées et identifiées pour analyse de la contamination de surface par des spores de *Duddingtonia flagrans*.

Des échantillons de lait prélevés manuellement sont récupérés et identifiés en fonction du numéro de travail de la chèvre et de la fraction de traite. Pour chaque chèvre, un premier prélèvement provient des 30 premiers mL traits (premier lait de traite), un second des 30 suivants. Ceci permet de discriminer une contamination des premiers jets de la traite (contamination d'origine exogène : environnement), d'une contamination endogène du lait de traite. 10 chèvres par lot sont prélevées.

Trois prélèvement par lot de lait de mélange ont été effectués le soir, à distance de l'administration des spores, afin d'établir la contamination en fonction du temps et l'importance du moment de distribution.

Trois prélèvements de lait U.H.T. passé dans la machine avant la traite ont été examinés. De même, trois échantillons de la troisième eau de lavage de la machine ont été récupérés. Ceci permet de vérifier l'efficacité du lavage et les contaminations de la machine avant et après la traite.

Enfin, des analyses ont intéressé des fromages obtenus à partir du lait produit le 11 avril 2001. Trois fromages par lot ont été prélevés à J4 et J20, afin de mesurer les contaminations à 4 et 20 jours de maturation du fromage, ainsi que l'impact éventuel sur la fromageabilité. La contamination de la machine à traire a été évaluée.

2.2.4.2 Analyse de la contamination des liquides (lait, eau de rinçage)

Pour chaque échantillon, après agitation, deux prélèvements de 2 mL chacun sont effectués. Ils subissent une centrifugation 10 min. à 3000 t/min. Le culot de centrifugation (20 µL) est déposé entre lame et lamelle. **Chaque lame est lue au microscope optique.** Les spores de *Duddingtonia flagrans*, d'environ 30 à 40 µm de diamètre, sont aisément dénombrées.

Des témoins de lecture sont élaborés, afin d'établir le seuil de détection de la technique. Quatre solutions-témoins sont obtenues à partir d'une préparation de *Duddingtonia flagrans* à 250 000 spores/g diluée dans du lait de chèvre U.H.T. du commerce :

S1 = 2g de *Duddingtonia flagrans* dans 25 mL de lait de chèvre. Concentration C1 = 20 000 spores/mL.

S2 = 1 mL de S1 dans 9 mL de lait de chèvre. C2 = 2 000 sp/mL.

S3 = 1 mL de S2 dans 9 mL de lait de chèvre. C3 = 200 sp/mL.

S4 = 1 mL de S3 dans 9 mL de lait de chèvre. C4 = 20 sp/mL.

L'analyse des solutions-témoins a lieu dans les mêmes conditions que celle des échantillons.

2.2.4.3 Analyse de la contamination des lingettes

Après décongélation, 50 mL d'eau chaude sont ajoutés dans le sac contenant chaque lingette. Des pressions manuelles multiples sont effectuées pendant 30 secondes de façon à faire circuler l'eau dans les fibres des lingettes et à récupérer les poussières qui en sont prisonnières. L'eau est récupérée par essorage de chaque lingette, puis deux fois 2 mL d'eau de rinçage sont prélevés après agitation. Ces prélèvements sont centrifugés 10 min. à 3000 t/min. Le culot de centrifugation (20 µL) est déposé entre lame et lamelle. Chaque lame est lue au microscope optique. Les spores de *Duddingtonia flagrans* sont dénombrées.

Un témoin de lecture est obtenu en contaminant artificiellement une lingette avec des spores déposées sur une surface plane. L'excédent de poussière est brossé puis la lingette subit le même protocole que les échantillons (*cf ci-dessus*).

2.2.4.4 Analyse de la contamination des fromages

2.2.4.4.1 Evaluation de la contamination de surface

La lecture s'effectue après **calque à l'aide d'une lame sur la surface du fromage décongelé et lecture directe au microscope (X100)**.

2.2.4.4.2 Evaluation de la contamination interne

Pour chaque échantillon, 5 mL de fromage sont prélevés. Après ajout de 50 mL d'eau tiède et agitation pendant 2 min, deux prélèvements de 2 mL du liquide obtenu sont effectués. Les prélèvements sont centrifugés 10 min. à 3000 t/min. Le culot de centrifugation (20 µL) est lu entre lame et lamelle au microscope (X100).

Des témoins de lecture sont élaborés comme suit en utilisant la préparation de *Duddingtonia flagrans* à 250 000 spores par gramme.

S0 = 5 g de fromage dans eau tiède qsp 50 mL.

Etude expérimentale : Efficacité et impact technologique de *Duddingtonia flagrans*.

S1 = 5g de fromage dans eau tiède qsp 50 mL + 1g *Duddingtonia flagrans* :
Concentration C1 = 50 000 spores/g de fromage.

S2 = 1 mL de S1 dans 9 mL de S0. C2 = 5 000 spores/g.

S3 = 1 mL de S2 dans 9 mL de S0. C3 = 500 spores/g.

S4 = 1 mL de S3 dans 9 mL de S0. C4 = 50 spores/g.

L'analyse des solutions-témoins a lieu dans les mêmes conditions que celle des échantillons.

2.3 Analyses statistiques

Les résultats sont analysés selon une analyse de variance en données répétées (logiciel SYSTAT Software Science Ltd) afin de comparer, pour chaque date, les différences entre les deux groupes expérimentaux, et ce pour les paramètres parasitologiques, physiopathologiques et de production de lait. Les résultats de coproscopies (exprimés en opg) ont été transformés en $\log(x+1)$ avant analyse.

3. Résultats

3.1 Etude 1 : Mesure de l'efficacité

3.1.1 Résultats des coproscopies

Les résultats des analyses de coproscopie concernant les deux lots sont présentés dans la *figure 2*.

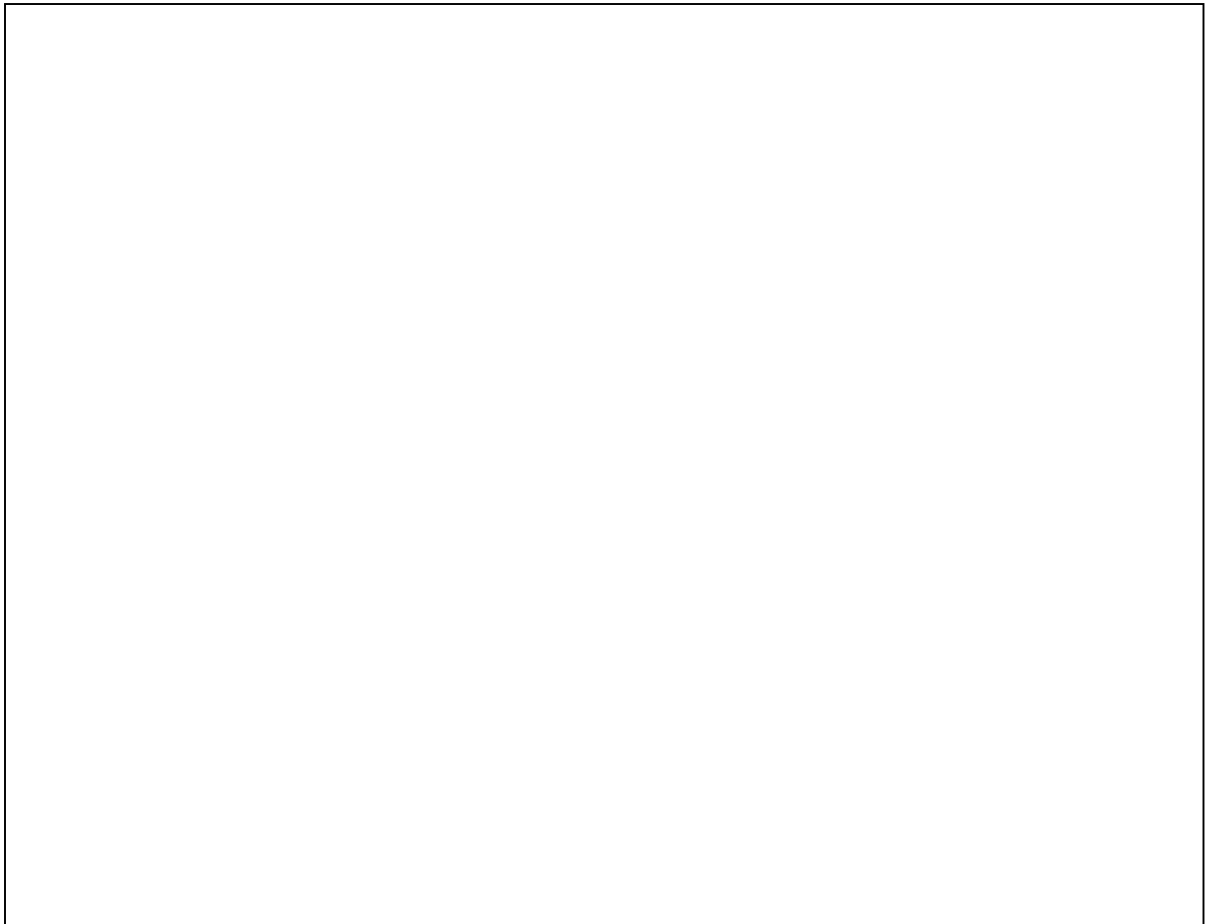


Figure 2 : excrétion moyenne (en opg) des lots de chèvres au cours de la saison 2001. Les barres d'erreurs représentent l'écart-type de l'excrétion du troupeau à la date envisagée (sous forme d'intervalle : moyenne +/- écart-type).

Dans les deux lots, l'excrétion moyenne n'a jamais dépassé 500 opg. L'analyse des différences d'excrétion en œufs de strongles entre les 2 groupes n'a révélé **aucune différence significative pendant toute la saison de pâture**.

3.1.2 Résultats des coprocultures

Les résultats des rendements moyens des coprocultures sont présentés dans le *Tableau IV*.

	Avril	Mai	Mi-mai	Septembre
Lot traité	15,97%	7,93%	3,70%	10,83%
Lot témoin	29,77%	24,45%	23,43%	13,90%
variation	- 46,36%	- 67,59%	- 84,21%	- 22,12%

Tableau IV : Pourcentage de développement larvaire pour chaque lot au cours de la saison de pâture. Calcul de la réduction obtenue par administration des champignons $\frac{\%Lot1-\%Lot2}{\%Lot2} \times 100$.

Au cours du printemps, période de distribution des spores, les rendements du développement larvaire obtenus à partir du lot témoin sont restés stables, tandis que ceux obtenus à partir du lot traité montrent une décroissance constante. En conséquence, les réductions de développement larvaire liées à l'action des champignons augmentent aussi avec le temps.

Une différence significative de développement larvaire entre les deux lots a été observée mi-mai. En automne, en l'absence de distribution des spores, aucune différence significative n'a été mesurée entre les deux groupes.

3.1.3 Résultats des analyses d'herbe

Les résultats de contamination des pâtures en fonction des lots au cours de la saison de pâturage sont présentés dans le *tableau V*.

	28/02/2001	12/06/2001	25/10/2001
Lot traité	326,75	3176	438,25
Lot témoin	582,25	3954	451,75
Différence	-255,5	-778	-13,5
Variation	-43,88%	-19,68%	-2,99%

Tableau V : Contamination moyenne des parcelles (en L₃/ha) en fonction des lots et pourcentage de réduction de la contamination entre le lot traité et le lot témoin.

Avant la saison de pâturage, la contamination des pâtures correspondant à chaque lot est équivalente (différence non significative). A l'issue du printemps, période de distribution des spores, la différence de contamination entre les deux séries de parcelles n'est pas significative et ne permet pas de conclure à une action des champignons. En fin de saison de pâturage, la contamination des parcelles des deux lots est équivalente. Quelle que soit la période envisagée, on observe donc **aucune différence significative entre parcelles du lot témoin et parcelles du lot traité**.

3.1.4 Résultats des analyses sanguines

Les résultats des dosages de pepsinogènes sont présentés dans la *Figure 3*.

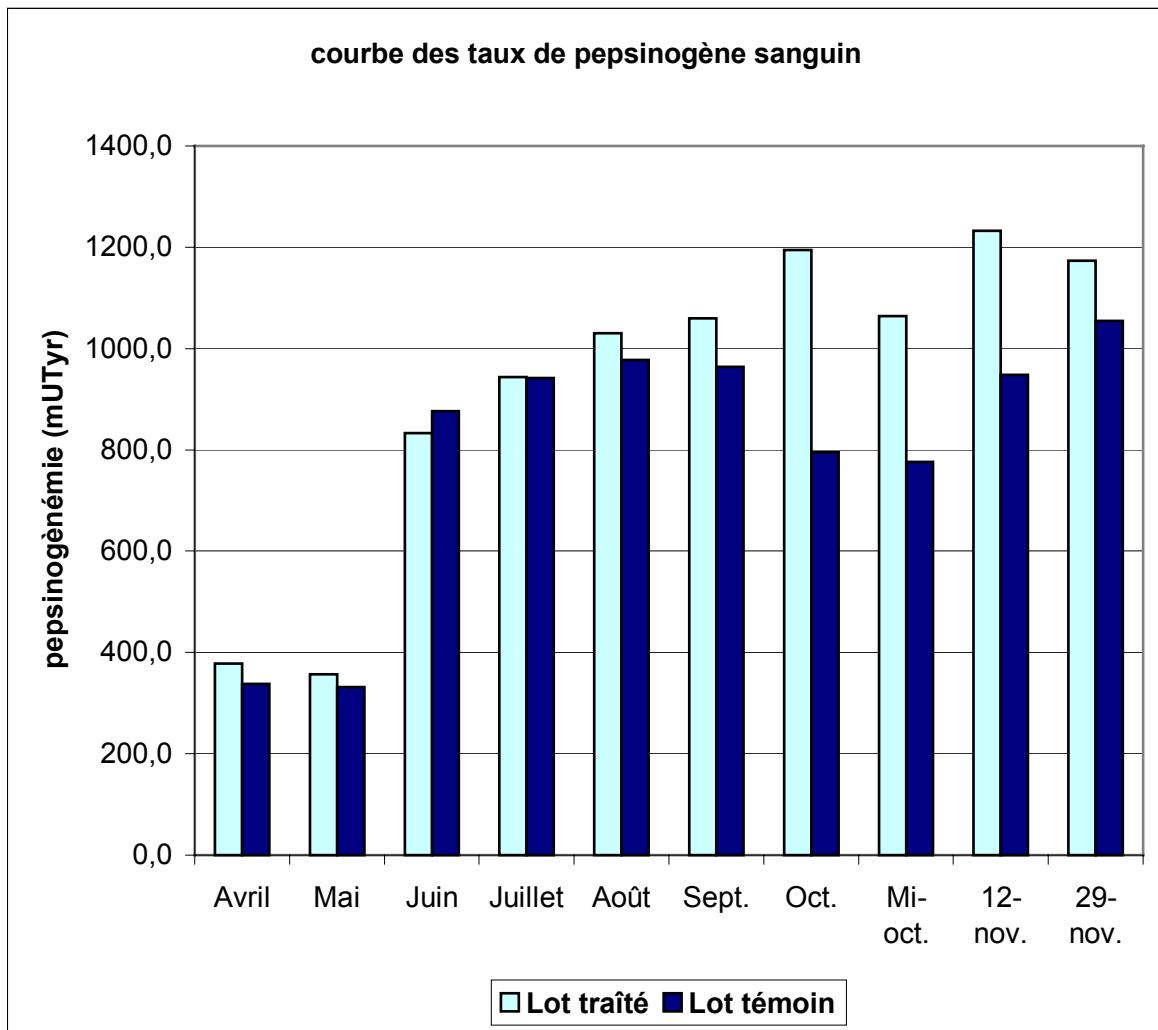


Figure 3 : concentration en pepsinogène sérique des deux lots au cours de la saison d'herbe.

Aucune différence significative n'a pu être mesurée entre les deux lots au cours de la saison, y compris en tenant compte du rang de lactation des animaux.

3.1.5 Impact sur la résilience des animaux traités

3.1.5.1 Quantité de lait produite

La Figure 4 présente la courbe de lactation moyenne de chaque lot.

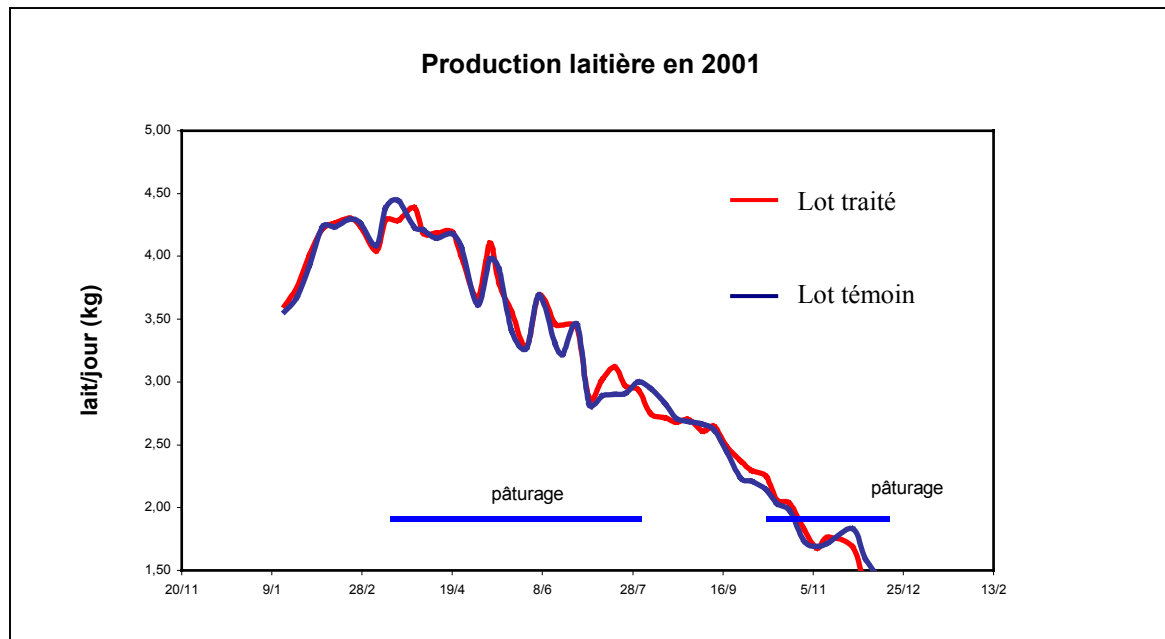


Figure 4 : Production moyenne journalière (en kg de lait/chèvre/jour) en fonction des lots.

Aucune différence significative de production laitière n'est observée au cours de la lactation 2001 entre les lots traité et témoin.

3.1.5.2 Taux protéique

La *Figure 5* présente le taux protéique moyen journalier en fonction des lots au cours de la saison 2001.

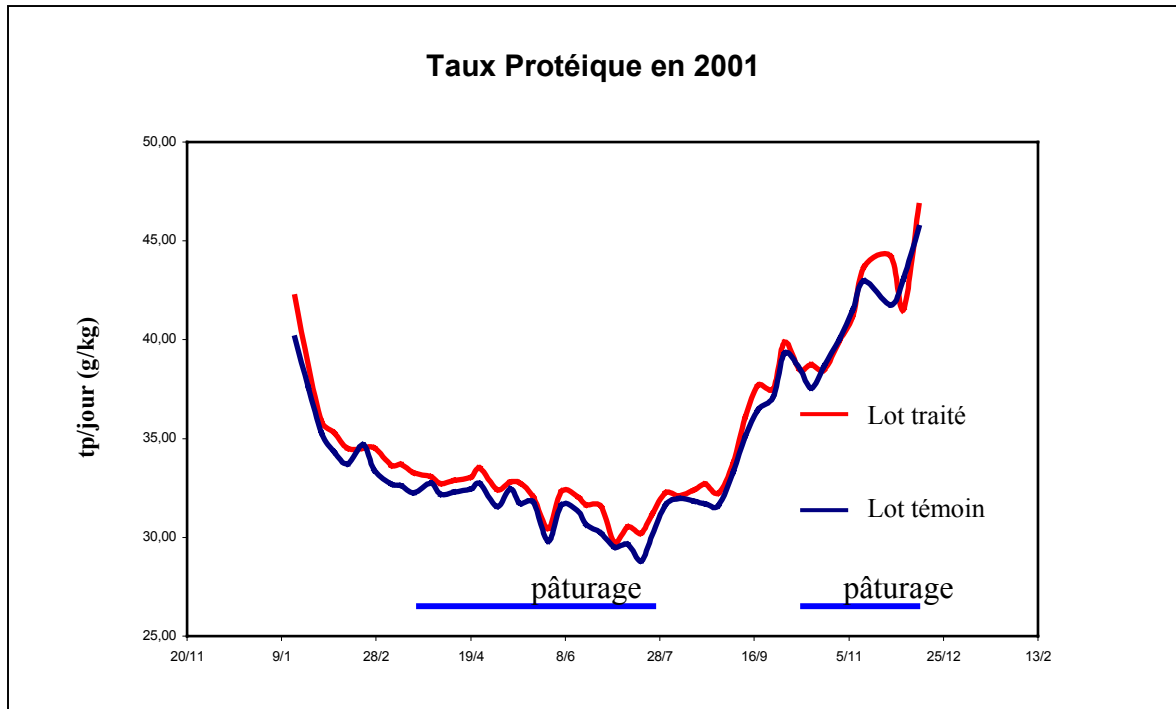


Figure 5 : Taux protéique moyen journalier en fonction des lots au cours de la saison 2001.

Aucune différence significative n'est démontrée entre les taux protéiques moyens journaliers des deux lots.

3.1.5.3 Taux butyreux

La *Figure 6* présente le taux butyreux moyen journalier en fonction des lots au cours de la saison 2001.

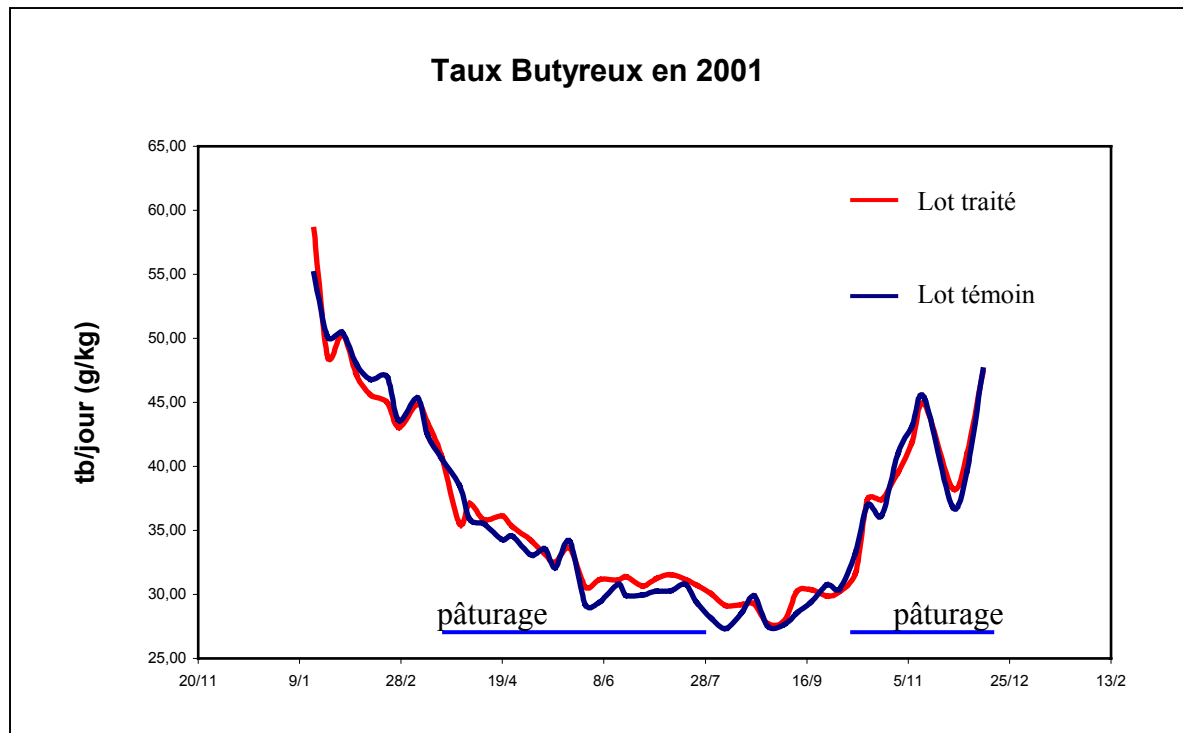


Figure 6 : Taux butyreux moyen journalier en fonction des lots au cours de la saison 2001.

Aucune différence significative n'est démontrée entre les taux butyreux moyens journaliers des deux lots.

3.1.5.4 Impact sur la résilience

Les points précédents indiquent qu'il n'y aurait aucune différence significative de résilience entre les chèvres traitées et les témoins. Seule une tendance à maintenir un meilleur taux protéique est observable auprès du lot traité.

3.2 Etude 2 : Mesure de l'impact qualitatif sur les productions

3.2.1 Analyse de la contamination des liquides

L'examen microscopique des témoins de lecture a révélé la présence de spores détectables dès la plus basse concentration testée (20 spores par mL). L'utilisation de la centrifugation permet la concentration des spores dans le culot, augmentant ainsi la sensibilité

Etude expérimentale : Efficacité et impact technologique de *Duddingtonia flagrans*.

du test par rapport à la solution non centrifugée. Des solutions moins concentrées en spores auraient permis d'affiner le seuil de détection des spores.

A l'examen des prélèvements de lait et de liquides de lavage de la machine à traire, aucune spore n'a été détectée. Les liquides testés présentent donc une contamination éventuelle inférieure à 20 spores/mL.

3.2.2 Analyse de la contamination des lingettes

L'analyse du témoin de lecture s'est révélée fortement positive. La méthode d'obtention du témoin ne permet cependant pas d'évaluer le nombre de spores présentes. Une méthode permettant une appréciation semi-quantitative du nombre de spores présentes sur la lingette aurait permis l'établissement d'un seuil de détection.

Le liquide de rinçage de chacune des lingettes ne recelait pas de spores en quantité détectable.

3.2.3 Analyse de la contamination des fromages

La production de fromages de type Picodon à partir du mélange de lait des deux lots n'a pas été altérée durant la période de l'étude. Les critères de fromageabilité semblent préservés.

3.2.3.1 Evaluation de la contamination de surface

Un calque effectué sur un fromage contaminé artificiellement a permis la détection de spores de *Duddingtonia flagrans*. Comme pour les lingettes, l'absence de témoins dont la contamination serait mesurée ne permet pas l'établissement d'un seuil de détection. **Les calques effectués sur les fromages testés étaient tous négatifs.**

3.2.3.2 Evaluation de la contamination interne

L'analyse des témoins de lecture s'est révélée pour les deux témoins les plus riches en spores respectivement fortement et faiblement positifs. Aucune spore n'a pu être isolée des

Etude expérimentale : Efficacité et impact technologique de *Duddingtonia flagrans*.

témoins plus faiblement contaminés. Le seuil de détection élevé de 5000 spores/g ne permet de détecter qu'une contamination massive des fromages. Ce seuil de détection élevé est certainement liée à l'épaisseur des solutions. Une digestion chimique préalable pourrait permettre de mieux évaluer la présence de spores dans le fromage en fluidifiant les solutions, ce qui permettrait d'obtenir un gradient de centrifugation favorable au recueillement des spores dans le culot de centrifugation, et éventuellement en libérant les spores.

Aucun fromage testé n'atteint le seuil de détection.

4. Discussion

4.1 Etude 1 : efficacité de l'administration de spores de *Duddingtonia flagrans*

4.1.1 Influence sur le développement larvaire des strongles

Les résultats de rendements de coproculture (*cf* *Tableau IV*) montrent que **l'administration de 250 000 spores de *Duddingtonia flagrans* par kg de poids vif** aux chèvres permet une **diminution significative du rendement d'éclosion des œufs de strongles dans les fèces**. Cette diminution de rendement atteint progressivement 84 % 2 mois après le début de l'administration, avec une réduction de seulement 46 % en avril et 68 % en mai. A l'automne, cet écart de rendement de coproculture n'est plus sensible, ce qu'explique l'absence de distribution de spores à cette période.

Les différences de rendement de coproculture du lot traité par rapport au témoin sont en accord avec les données de la littérature [35 ; 36 ; 45 ; 46]. Cependant, dans les conditions expérimentales utilisées, une réduction de 84 % du rendement de coproculture ne survient que 2 mois après la mise à l'herbe (46 % en avril et 68 % en mai), en fin d'administration des spores. Des études sur le mouton montrent pourtant que ce niveau d'efficacité est atteint dès le 2^{ème} jour suivant le début de l'administration des spores [46].

L'importance et la vitesse d'établissement de la réduction du développement larvaire dépend directement de la concentration des fèces en spores de *Duddingtonia flagrans* [46]. L'hypothèse la plus vraisemblable pour expliquer le retard d'efficacité constaté dans notre

Etude expérimentale : Efficacité et impact technologique de *Duddingtonia flagrans*.

étude met en cause la **concentration en spores des fèces des chèvres**. Une concentration en spores insuffisante peut s'expliquer par l'administration d'une quantité insuffisante par animal, par un déficit d'ingestion des spores, par une destruction d'une partie des spores lors du transit digestif, ou par une inefficacité relative des spores utilisées.

La dose de 250 000 spores/kg PV/j employée peut être incriminée. Des études postérieures à la nôtre [43 ; 45] ont obtenu une meilleure efficacité du traitement en appliquant une dose de 500 000 spores/kg PV/j.

Dans notre étude, les spores de *Duddingtonia flagrans* ont de plus été administrées sous une forme très concentrée (cf 2.1.2). L'application de la dose de 250 000 spores/kg PV/j aux animaux correspondant à l'administration de 1,3 grammes de poudre par chèvre, diluée à la main dans un complément minéral. Le manque d'homogénéité du mélange obtenu allié à la faible quantité de poudre constituant la dose de spores par chèvre, ainsi que l'administration des spores à l'auge au cornadis, ont pu conduire à un **sous-dosage chez certaines chèvres**. En outre, les chèvres nourries à l'auge ont tendance à trier leur nourriture. Un **tri défavorable à l'ingestion des spores peut donc également être suspecté**.

L'utilisation de spores sous forme moins concentrées, éventuellement associée à une administration individuelle, permettrait un meilleur respect de la posologie recommandée.

Une inefficacité relative des spores émises dans les fèces pourrait être suspectée mais la destruction ou la perte d'efficacité d'une partie des spores lors du transit digestif n'a pas été décrite chez *Duddingtonia flagrans*. Au contraire, cette espèce a été sélectionnée pour sa **capacité de survie au transit digestif, sans perte d'efficacité** [5 ; 10 ; 15 ; 35 ; 36 ; 38 ; 39 ; 62]. Un tel phénomène est donc peu probable, d'autant plus que l'efficacité à titre individuel de l'utilisation de *Duddingtonia flagrans* chez la chèvre a été montrée [43 ; 45]. Une éventuelle inefficacité des spores émises serait à mettre en relation avec une inefficacité préalable à l'administration, liée à de mauvaises conditions de stockage. Toutefois des précautions ont été prises pour éviter de telles conséquences. Les spores ont été fournies à l'état sec sous conditionnement hermétique, et à l'abri de la lumière. Elles ont été reconditionnées sur place peu avant l'étude en sacs hermétiques contenant chacun la quantité journalière à distribuer et conservés à l'abri de la lumière. Ce reconditionnement a permis de limiter le contact des spores avec l'air, à l'abri de l'humidité. En outre, la bonne résistance des

Étude du traitement par un champignon nématophage, *Duddingtonia flagrans*, contre les strongyloses digestives chez la chèvre laitière au pâturage.

Etude expérimentale : Efficacité et impact technologique de *Duddingtonia flagrans*.

spores au stockage prolongé à l'état sec a été démontrée expérimentalement [41]. Une mauvaise conservation des spores est donc peu probable, mais l'évaluation de l'efficacité des spores *in vitro* avant l'étude aurait permis de s'en assurer.

4.1.2 Influence sur la contamination des parcelles

Aucune différence de contamination entre les parcelles des deux lots n'a pu être mise en évidence, pour aucune des dates testées. Cette absence de différence significative peut être rapprochée des résultats de rendements de coproculture. En effet, l'atteinte tardive de la pleine efficacité du traitement en terme de rendement de coproculture peut être corrélée à une efficacité tardive à limiter la contamination des parcelles (*cf 4.1.1*). Là encore, la dose et les modalités d'administration sont mises en cause.

A l'automne, la contamination des pâtures entre les deux lots atteint un même niveau de très faible contamination, bien inférieur à celui obtenu fin juin. Cette diminution importante du nombre de L_3 à l'hectare survient **après un été particulièrement chaud et sec** (*cf Figure 7*), défavorable à la survie des L_3 . Or il est établi que la sécheresse prolongée contribue à réduire la durée de vie des L_3 . De plus ces conditions météorologiques exceptionnelles ont nécessité la rentrée des animaux en chèvrerie pendant 2 mois. Ainsi, la décontamination des parcelles s'est accompagnée d'une absence de recontamination par les animaux au pâturage pendant l'été.

La *Figure 7* présente la pluviométrie cumulée enregistrée en printemps-été (entre avril et août) ainsi que la moyenne des températures minimales et maximales enregistrées en été (juin, juillet et août) à la station météorologique du Pradel pour les années 1996 à 2001. En 2001 et contrairement aux années précédentes, l'été est chaud : température moyenne de 21,4°C, à comparer à la moyenne des températures des années 1996 à 2000 sur la même période : 20,9°C. Cette situation survient sur une période de faibles précipitations qui dure depuis avril et qui perdure pendant l'été : 260,5 mm de cumul de précipitations sur avril-août 2001 contre 430,0 mm de cumul moyen sur la même période des années 1996 à 2000. Or des conditions de sécheresse et de fortes températures sont défavorables à la survie des larves de strongles. Cet été chaud et sec assainit donc les parcelles [2].



Figure 7 : conditions météorologiques enregistrées à la station du Pradel d'avril (cumul de précipitations) ou juin (température moyenne) à août pour les années 1996 à 2001.

4.1.3 Influence sur la contamination des animaux

L'analyse des données reflétant la contamination des animaux (résultats de coproscopie : *Figure 2* ou pepsinogène sérique *Figure 3*) ne permet pas de mettre en évidence de différence significative entre les deux lots. Il faut cependant souligner que **le niveau de contamination des deux lots reste faible** : l'année 2001, de même que 2000 dans une moindre mesure, se démarque des années précédentes par l'absence de pic de parasitisme en automne (*Figure 8*).

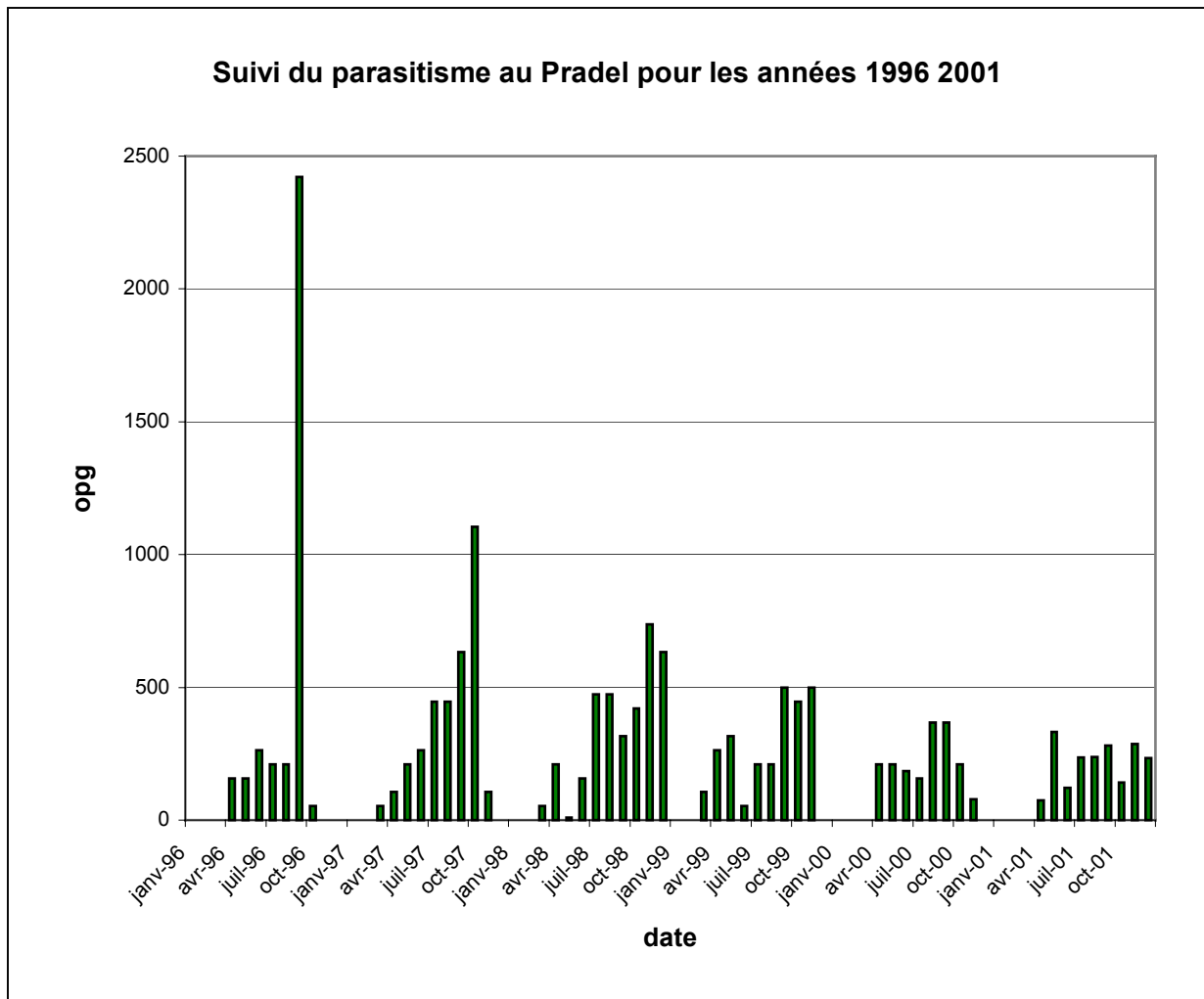


Figure 8 : parasitisme moyen du troupeau du Pradel de janvier 1996 à décembre 2001.

L'absence de différence significative de niveau de parasitisme entre les deux lots peut être liée à la faible différence de contamination des pâtures (*cf* 4.1.2). Si les contaminations des pâtures sont à peu près équivalentes, les animaux pâturant doivent se recontaminer dans les mêmes proportions, puisque les spores n'ont aucune action sur les vers déjà présents ou en cours d'installation dans l'organisme de la chèvre.

L'administration des spores au printemps devait permettre d'obtenir une moindre contamination des parcelles à l'issue de cette période pour le lot traité. A l'automne, les chèvres auraient pâturé des parcelles plus faiblement contaminées et se seraient moins infestées. La survenue d'un été chaud et sec (*Figure 7*) a permis l'assainissement de toutes les parcelles, traitées et témoins. La mise à l'herbe automnale s'effectue donc sur des parcelles déparasitées, masquant ainsi l'éventuelle efficacité du traitement. L'absence de pic automnal

Etude expérimentale : Efficacité et impact technologique de *Duddingtonia flagrans*.

de parasitisme au Pradel en 2000 et surtout 2001 (*Figure 8*) correspond à des années associant faibles précipitations d'avril à août et températures estivales élevées, contrairement aux années 1996 à 1999, plus fortement pluvieuses en printemps-été.

Enfin, l'infestation constamment faible des animaux atténue grandement les différences qui pourraient exister entre les lots.

4.1.4 Influence sur la résilience

L'examen des *Figures 3, 4, 5 et 6* ne montre aucune différence significative entre les deux lots en terme de concentration en pepsinogène sérique, de quantité de lait produite, de taux protéique moyen ou de taux butyreux moyen lors de la lactation 2001. Aucune amélioration de la résilience liée au traitement ne peut être démontrée. Ceci est à rapprocher à l'absence de différences entre lot traité et lot témoin.

4.1.5 Conclusion de l'étude 1

La faible efficacité de l'administration des spores, probablement liée à une dose employée insuffisante ou à un tri des chèvres à l'auge, n'a pas permis de mettre en évidence d'impact sur la contamination des animaux, compte tenu d'un contexte climatique fortement défavorable au parasitisme associé à une longue période estivale de rentrée en chèvrerie.

De nouvelles études seront menées pour préciser l'efficacité des spores de *Duddingtonia flagrans* pour contrôler le parasitisme par les strongles gastro-intestinaux chez la chèvre :

- **La dose à administrer devra être précisée pour la chèvre en étudiant l'efficacité en terme de rendement de coproculture pour des doses déterminées et administrées de façon certaine** (administration forcée individuelle).
- Un système de distribution devra ensuite être adapté à la chèvre pour des études ultérieures, tel que notamment l'utilisation de spores sous forme moins concentrée.

Etude expérimentale : Efficacité et impact technologique de *Duddingtonia flagrans*.

- La reconduite de l'étude sur le site du Pradel doit permettre de retrouver des conditions météorologiques différentes, potentiellement moins défavorables au parasitisme, pour ne pas masquer l'effet du traitement par l'influence d'une rentrée estivale prolongée associée à un assainissement climatique des parcelles. Une autre option consiste à appliquer cette étude dans une autre localisation où les conditions climatologiques seraient moins contraignantes pour les parasites. Cependant, se pose alors la question de la faisabilité de ce type d'étude en élevage traditionnel.

4.2 Etude 2

4.2.1 Etude de la contamination des productions

La recherche de spores de *Duddingtonia flagrans* dans le lait (30 premiers mL ou suivants) a révélé une absence de spores détectables pour tous les échantillons testés. Ceci signifie que la contamination du lait, au regard des témoins de lecture, est inférieure à 20 spores par mL. La contamination endogène du lait est improbable, les spores n'étant pas absorbées dans le tube digestif. La contamination exogène, essentiellement suite à des souillures de la mamelle ne semble pas exister dans les conditions d'hygiène de traite appliquées du Pradel.

La contamination de surface des fromages semble faible à nulle également, confirmant l'absence ou la faible contamination aéroportée au Pradel. Leur contamination interne n'a pu être évaluée mais est à mettre en relation avec l'absence de contamination du lait dont ils sont issus. En outre, la fromageabilité n'est pas altérée lors du traitement.

4.2.2 Contamination de la machine à traire

L'absence de contamination détectée d'échantillons de lait stérilisé UHT passé dans la machine avant la traite, comme celle de prélèvements d'eaux de rinçage de la machine démontrent l'absence de contamination importante des laits puis de la machine.

4.2.3 Contamination des mamelles des chèvres

L'absence de spores détectées dans le produit de rinçage des lingettes permet de conclure à une contamination faible à absente des mamelles des chèvres dans les conditions d'élevage du Pradel.

4.2.4 Influence des conditions d'élevage du Pradel

La chèvrerie du Pradel est constituée de deux aires paillées séparées, avec parcours extérieurs également distincts. Ces aires paillées où évoluent les chèvres disposent chacune d'un cornadis, avec une auge profonde (*cf Photo 1*). La zone de traite est située en face de l'espace séparant les cornadis, sans mur de séparation. La distribution des spores a lieu au cornadis, séparément de la traite.

L'absence de contamination détectée pour chacun des points testés indique une **absence de contamination importante des productions, liée à l'absence de contamination des mamelles ou du lait de manière aéroportée**. Ceci peut s'expliquer par le poids important des spores de *Duddingtonia flagrans*. Lors de l'administration, les poussières contenant les spores retombent vite et à une faible distance du point de distribution. Compte tenu de la disposition des chèvres au moment de la distribution, avec la mamelle située plus basse que l'auge et abritée par le corps de l'animal, la contamination des mamelles semble limitée. La zone de traite paraît suffisamment éloignée pour ne pas être contaminée par les poussières de spores.

L'hygiène de traite avec nettoyage des mamelles est probablement un élément supplémentaire limitant les contaminations des productions laitières.

Pour confirmer ces hypothèses, des études pourraient être menées pour établir l'aire contaminée par les spores autour de la zone de distribution. Une meilleure appréciation de l'absence de contamination des produits pourrait être obtenue **en utilisant des techniques plus sensibles que l'observation microscopique après enrichissement par centrifugation utilisée ici**. La mise en culture d'échantillons permettrait de préciser l'ampleur d'une éventuelle contamination à une échelle de concentrations inférieure à celle permise par notre étude.

CONCLUSION

Notre étude a évalué dans un premier temps l'efficacité de l'utilisation de spores de *Duddingtonia flagrans* dans la lutte contre les strongyloses digestives de la chèvre laitière au pâturage. Les résultats obtenus montrent une faible aptitude à limiter la contamination des parcelles et les infestations des chèvres. L'origine ce manque d'efficacité semble associée soit à une dose insuffisante, soit à un mode de distribution inadéquat. En outre, l'année 2001 a été marquée par des conditions météorologiques défavorables au parasitisme, avec un été chaud et sec ayant conduit à une rentrée estivale prolongée en chèvrerie. Le faible niveau de parasitisme du troupeau s'est avéré peu favorable à l'appréciation de l'efficacité du traitement.

Le second volet de notre étude évaluait l'impact technologique de l'administration des spores sur les productions laitières. Aucune contamination du lait produit pendant l'étude ni des fromages qui en sont issus n'ont été mis en évidence. De plus, l'administration des spores ne s'accompagne d'aucune altération des capacités de transformation du lait. Des études complémentaires effectuées dans des conditions d'élevages différentes et avec des techniques de détection des contaminants plus sensibles permettraient de confirmer cette absence de résidus liés à l'administration des spores de *Duddingtonia flagrans*.

BIBLIOGRAPHIE

1. BAIRDEN, K., ARMOUR, J., DUNCAN, J.L. A 4-year study on the effectiveness of alternate grazing of cattle and sheep in the control of bovine parasitic gastro-enteritis. *Veterinary Parasitology*. 1995, **60** : 119-132.
2. BRARD, C., CHARTIER, C. Quand suspecter une strongylose digestive chez les ovins et les caprins et conduite à tenir. *Le Point Vétérinaire*. 1997, **28** (numéro spécial) : 1865-1870.
3. CABARET, J. Anthelmintic resistance in goats : from fiction to facts. 7th *International Conference on goats – Proceeding*. 2000, **2** : 793-794.
4. CABARET, J., GASNIER, N., JACQUIET, P. Faecal egg counts are representative of digestive-tract strongyle worm burdens in sheep and goats. *Parasite*. 1998, **5** : 137-142.
5. CHANDRAWATHANI, P., JAMNAH, O., WALLER, P.J., HÖGLUND, J., LARSEN, M., ZAHARI, W.M. Nematophagous fungi as a biological control agent for nematode parasites of small ruminants in Malaysia : a special emphasis on *Duddingtonia flagrans*. *Veterinary Research*. 2002, **33** : 685-696.
6. CHARTIER, C., PORS, I. Effect of the nematophagous fungus, *Duddingtonia flagrans*, on the larval development of goat digestive nematodes : a plot study. *Novel Approches Meeting III*. 1st – 5th July 2002. WS4.O1.
7. CHARTIER, C., SOUBIRAC, F., PORS, I., SILVESTRE, A., HUBERT, J., COUQUET, C., CABARET, J. Prevalence of anthelmintic resistance in gastrointestinal nematodes of dairy goats under extensive management conditions in southwestern France. *Journal of Helminthology*. 2001, **75** : 1-6.

8. CHARTIER C., RECHE, B. Gastrointestinal helminths and lungworms of french dairy goats : prevalence and geographical distribution in Poitou-Charentes. *Veterinary Research Communications*. 1992, **16** : 327-335.
9. EYSKER, M., BOERSEMA, J.H., CORNELISSEN, J.B.W.J., KOOYMAN, F.N.J., DE LEEUW, W.A., SAATKAMP, H.W. The effect of rotational grazing for periods of one or two weeks on the build-up of lungworm and gastrointestinal nematode infections in calves. *Veterinary Quarterly*. 1993, **15** : 20-24.
10. FAEDO, M., LARSEN, M., WALLER, P.J. The potential of nematophagous fungi to control the free-living stages of nematode parasites of sheep : Comparison between Australian isolates of *Arthrobotrys* spp. and *Duddingtonia flagrans*. *Veterinary Parasitology*. 1997, **72** : 149-155.
11. GAWOR, J., BORECKA, A., LARSEN, M. Efficacy of *Duddingtonia flagrans* against trichostrongylids larvae in goats. In : *Abstracts 17th International Conference of the World Association for the Advancement of Veterinary Parasitology* 15-19/08/1999, Copenhagen.
12. GITHIGIA, S.M., THAMSBORG, S.M., LARSEN, M., KYVSGAARD, N.C., NANSEN, P. The preventive effect of the fungus *Duddingtonia flagrans* on trychostrongyle infections of lambs on pasture. *International Journal for Parasitology*. 1997, **27** : 931-939.
13. GRØNVOLD, J., NANSEN, P., HENRIKSEN, S.A., LARSEN, M., WOLSTRUP, J., BRESCIANI, J., RAWAT, H., FRIBERT, L. Induction of traps by *Ostertagia ostertagi* larvae, chlamydospore production and growth rate in the nematode-trapping fungus *Duddingtonia flagrans*. *Journal of Helminthology*. 1996, **70** ; 291-297.
14. GRØNVOLD, J., WOLSTRUP, J., NANSEN, P., HENRIKSEN, S.A. Nematode-trapping fungi against parasitic cattle nematodes. *Parasitology Today*. 1993, **9**, 4 ; 137-140.

15. GRØNVOLD, J., WOLSTRUP, J., NANSEN, P., HENRIKSEN, S.A., LARSEN, M., BRESCIANI, J. Biological control of nematode parasites in cattle with nematode-trapping fungi : a survey of Danish studies. *Veterinary Parasitology*. 1993, **48** ; 311-325.
16. GRØNVOLD, J., WOLSTRUP, J., NANSEN, P., LARSEN, M., HENRIKSEN, S.A., KIRCHEINER, K., LASSEN, K., RAWAT, H., KRISTIANSEN, H.I. Biotic and abiotic factors influencing growth rate and production of traps by the nematode-trapping fungus *Duddingtonia flagrans* when induced by *Cooperia oncophora* larvae. *Journal of Helminthology*, 1999, **73** : 129-136.
17. GRUNER, L., RAYNAUD, J.P. Technique allégée de prélèvements d'herbe et de numération pour juger de l'infestation des pâturages de bovins par les larves de nématodes parasites. *Revue de Médecine Vétérinaire*. 1980, **7** : 521-529.
18. HAY, F.S., NIEZEN, J.H., MILLER, C., BATESON, L., ROBERTSON, H. Infestation of sheep dung by nematophagous fungi and implications for the control of free-living stages of gastro-intestinal nematodes. *Veterinary Parasitology*. 1997, **70** : 247-254.
19. HENRIKSEN, S.A., LARSEN, M., GRØNVOLD, J., NANSEN, P., WOLSTRUP, J. Nematode-trapping fungi in biological control of *Dictyocaulus viviparus*. *Acta Veterinaria Scandinavica*. 1997, **38** : 175-179.
20. HERTZBERG, H., LARSEN, M., MAURER, V. Biologische Helminthenkontrolle bei Weidetieren mit nematophagen Pilzen. *Berliner und Münchener Tierärztliche Wochenschrift*. 2002, **115** : 278-285.
21. HOSTE, H. Gestion des strongyloses et des résistances aux anthelminthiques chez les caprins. *Journées Nationales GTV*. Tours 2002.
22. HOSTE, H., CHARTIER, C. Gestion du parasitisme chez les ruminants : Réduire la contamination parasitaire du milieu. *Le Point Vétérinaire*. 2002, **231** : 44-46.

23. HOSTE, H., CHARTIER, C., ETTER, E., COOP, R.L., KYRIAZAKIS, I. Intéraction nutrition parasitisme : l'alimentation peut-elle représenter une alternative aux traitements antiparasitaires ? *Bulletin des GTV*. Hors série Elevage et Agriculture Biologique. 2001. 71-75.
24. HOSTE, H., CHARTIER, C., ETTER, E., GOUDEAU, C., SOUBIRAC, F., LEFRILEUX, Y. A questionnaire survey on the practices adopted to control gastrointestinal nematode parasitism in dairy goat farms in France. *Veterinary Research Communications*. 2000, **24** : 459-469.
25. HOSTE, H., CHARTIER, C., LEFRILEUX, Y. Control of gastrointestinal parasitism with nematodes in dairy goats by treating the host category at risk. *Veterinary Research*. 2002, **33** : 531-545.
26. HOSTE, H., CHARTIER, C., LEFRILEUX, Y., GOUDEAU, C., BROQUA, C., PORS, I., BERGEAUD, J.P., DORCHIES, P. Targeted application of anthelmintics to control trichostrongylosis in dairy goats : result from a 2-year survey in farms. *Veterinary Parasitology*. 2002, **110**, 101-108.
27. HOSTE, H., LEFRILEUX, Y., GOUDEAU, C., CHARTIER, C., PORS, I., BROQUA, C., BERGEAUD, J.P. Distribution and repeatability of nematode faecal egg counts in dairy goats : a farm survey and implications for worm control. *Research in Veterinary Science*. 2002, **72** : 211-215.
28. HOSTE, H., LEFRILEUX, Y., POMMARET, A. Comparison of selective and systematic treatments to control nematode infection of the digestive tract in dairy goats. *Veterinary Parasitology*. 2002, **106** : 345-355.
29. HOSTE, H., LEFRILEUX, Y., POMMARET, A., GRUNNER, L., VAN QUACKEBEKE, E., KOCH, C. Importance du parasitisme par des strongles gastro intestinaux chez les chèvres laitières dans le Sud-Est de la France. *I.N.R.A. Productions Animales*. 1999, **12 (5)** : 377-389.

30. HOSTE, H., LEFRILEUX, Y., POMMARET, A., KOCH, C., VAN QUACKEBEKE, E. Parasitisme des chèvres laitières par des Trichostrongles du tube digestif : influence du mode de pâturage et du niveau de production des animaux. *Rencontres Recherches Ruminants*. 1998, **5** : 348.

31. KERBOEUF, D. Le dosage du pepsinogène sanguin. *Pfizer Actualités*. 1975, **65** : 9-16.

32. KERBOEUF, D. Résistance des strongles vis-à-vis des anthelminthiques : détection, quantification, interprétation des résultats. *Revue de Médecine Vétérinaire*. 1991, **142**, 8-9 : 637-644.

33. KERBOEUF, D., HUBERT, J., HOSTE, H. Le diagnostic de laboratoire des strongyloses des ruminants. *Le Point Vétérinaire*. 1997, **28** (numéro spécial) : 1871-1878.

34. KNOX, M.R., FAEDO, M. Biological control of field infections of nematode parasites of young sheep with *Duddingtonia flagrans* and effects of spore intake on efficacy. *Veterinary Parasitology*. 2001, **101** : 155-160.

35. LARSEN, M. Biological control of helminths. *International Journal for Parasitology*. 1999, **29** : 139-146.

36. LARSEN, M. Méthodes de contrôle biologique des helminthes : exemple de l'action de champignons prédateurs sur les larves de nématodes. *Bulletin des GTV*. Hors série Elevage et Agriculture Biologique. 76-78.

37. LARSEN, M., FAEDO, M., WALLER, P.J. The potential of nematophagous fungi to control the free-living stages of nematode parasites of sheep : survey for the presence of fungi in fresh faeces of grazing livestock in Australia. *Veterinary Parasitology*. 1994, **53** : 275-281.

38. LARSEN, M., FAEDO, M., WALLER, P.J., HENNESY, D.R. The potential of nematophagous fungi to control the free-living stages of nematode parasites of sheep : studies with *Duddingtonia flagrans*. *Veterinary Parasitology*. 1998, **76** : 121-128.
39. LARSEN, M., NANSEN, P., GRØNVOLD, J., WOLSTRUP, J., HENRIKSEN, S.A. Biological control of gastro-intestinal nematodes – facts, future, or fiction ? *Veterinary Parasitology*. 1997, **72** : 479-492.
40. LARSEN, M., NANSEN, P., WOLSTRUP, J., GRØNVOLD, J., HENRIKSEN, S.A., ZORN, A. Biological control of trichostrongyles in calves by the fungus *Duddingtonia flagrans* fed to animals under natural grazing conditions. *Veterinary Parasitology*. 1995, **60** : 321-330.
41. LUKYANCHENKO, T.A. The demonstration of nematophagous activity of dried *Duddingtonia flagrans* preparation after its prolonged storage. In : *Abstracts 17th International Conference of the World Association for the Advancement of Veterinary Parasitology 15-19/08/1999, Copenhagen*.
42. MANUELI, P.R., WALLER, P.J., FAEDO, M., MAHOMMED, F. Biological control of nematode parasites of livestock in Fiji : screening of fresh dung of small ruminants for the presence of nematophagous fungi. *Veterinary Parasitology*. 1999, **81** : 39-45.
43. PARAUD, C. Efficacité du champignon nématophage *Duddingtonia flagrans* sur *Teladorsagia circumcincta* et *Muellerius capillaris* chez la chèvre. Th. : Med.vet. : Toulouse : 2001-TOU 3-4050.
44. PARAUD, C., CHARTIER, C., Biological control of infective larvae of a gastro-intestinal nematode (*Teladorsagia circumcincta*) and a small lungworm (*Muellerius capillaris*) by *Duddingtonia flagrans* in goat faeces. *Parasitology Research*. 2003, **89** : 102-106.
45. PARAUD, C., CHARTIER, C. Le contrôle biologique par les champignons nématophages comme méthode alternative à l'utilisation des anthelminthiques chez la

chèvre : étude de l'efficacité, interaction avec un traitement par le thiabendazole. 9^{èmes} *Rencontres Recherche Ruminants*. Paris. 4-5 décembre 2002. 415-418.

46. PENA, M.T., MILLER, J.E., FONTENOT, M.E., GILLESPIE, A., LARSEN, M. Evaluation of *Duddingtonia flagrans* in reducing infective larvae of *Haemonchus contortus* in feces of sheep. *Veterinary Parasitology*. 2002, **103** : 259-265.
47. RAYNAUD, J.P. Etude de l'efficacité d'une technique de coproscopie quantitative pour le diagnostic de routine et le contrôle des infestations parasitaires des bovins, ovins, équins et porcins. *Annales de Parasitologie Humaine et Comparée*. 1970, **45** : 321-342.
48. REGLEMENT EUROPEEN n° 1804/1999 modifiant, pour y inclure les productions animales, le règlement (CEE) n°2092/91 concernant le mode de production biologique de produits agricoles et sa présentation sur les produits agricoles et les denrées alimentaires. *Journal officiel* n° L 222, 24/08/1999, 0001-0028.
49. ROSSANIGO, C.E., FRIGERIO, K. Epidemiology and effects of nematode infections on the production of Criolla goats. 7th *International Conference on Goats – Proceeding*. 2000, **2** : 802-805.
50. SARGISON, N.D., SCOTT, P.R. Survey of sheep nematode parasite control methods in south-east Scotland. *Veterinary Record*. 2003, **152** : 51-52.
51. SAUL, G.R. Effects of two pasture systems on faecal nematode egg counts in breeding ewes. *Australian Veterinary Journal*. 1996, **74** : 154-155.
52. SILVESTRE, A., LEIGNEL, V., BERRAG, B., GASNIER, N., HUMBERT, J.F., CHARTIER, C., CABARET, J. Sheep and goat nematode resistance to anthelmintics : pro and cons among breeding management factor. *Veterinary Research*. 2002, **33** : 465-480.
53. TERRILL, T.H., MILLER, J.E., LARSEN, M., KAPLAN, R.M. Biological control of gastrointestinal nematodes using nematode-trapping fungi : sheep and goat studies

from the Southeastern US. . *Novel Approches Meeting III*. 1st – 5th July 2002. WS4.O2.

- 54.** VAN WYK, J.A., BATH, G.F. Practical methods of identifying individual animals for anthelmintic treatment within a group. *Veterinary Research*. 2002, **33**.
- 55.** VAN WYK, J.A., STENSON, M.O., VAN DER MERWE, J.S., VORSTER, R.J., VILJOEN, P.G. Anthelmintic resistance in South Africa : surveys indicate an extremely serious situation in sheep and goat farming. *Onderstepoort Journal of Veterinary Research*. 1999, **66** : 273-284.
- 56.** VATTA, A.F., LETTY, B.A., VAN DER LINDE, M.J., VAN WIJK, E.F., HANSEN, J.W., KRECEK, R.C. Testing for clinical anemia caused by *Haemonchus* spp. in goat farmed under resource-poor conditions in South Africa using an eye colour chart developed for sheep. *Veterinary Parasitology*. 2001, **99** : 1-14.
- 57.** WAGHORN, T.S., LEATHWICK, D.M., CHEN, L.Y., GRAY, R.A.J., SKIPP, R.A. Influence of nematophagous fungi, earthworms and dung burial on development of the free-living stages of *Ostertagia (Teladorsagia) circumcincta* in New-Zealand. *Veterinary Parasitology*. 2002, **104(2)** : 119-129.
- 58.** WALLER, P.J. Anthelmintic resistance. *Veterinary Parasitology*. 1997, **72** : 391-412.
- 59.** WALLER, P.J. Nematode parasite control of livestock in the tropics/subtropics : the need for novel approaches. *International Journal for Parasitology*. 1997, **27(10)** : 1193-1201.
- 60.** WALLER, P.J., KNOX, M.R., FAEDO, M. The potential of nematophagous fungi to control the free-living stages of nematode parasites of sheep : feeding and block studies with *Duddingtonia flagrans*. *Veterinary Parasitology*. 2001, **102** : 321-330.
- 61.** WALLER, P.J., FAEDO, M., ELLIS, K. The potential of nematophagous fungi to control the free-living stages of nematode parasites of sheep : towards the

development of a fungal controlled release device. *Veterinary Parasitology*. 2001, **102** : 299-308.

62. YEATES, G. Progress in the application of nematophagous fungi – *Per os*. (Page consultée le 9 novembre 2002). Site de l'Australian Association of Nematologists, [en ligne]. Adresse URL :
<http://www.waite.adelaide.edu.au/AAN/Jan00/duddingtonia.htm>

Documents non publiés (voir Annexes) :

63. ANONYME. La Filière Caprine Française. *Institut de l'élevage*. 2000.
64. DORCHIES, P., Cours de Parasitologie D3. 2001-2002.
65. HOSTE, H., CHARTIER, C., LEFRILEUX, Y. Les résistances aux anthelminthiques. *En Détail...*(fiche zootechnie du Pôle Expérimentation et Progrès Caprin). 1998, D-98 208.

ANNEXES :

Textes des documents non publiés.

[N.B : les illustrations ne sont pas reprises]

63. ANONYME. La Filière Caprine Française. *Institut de l'élevage*. 2000.

Le cheptel caprin

La France compte un cheptel de 922 000 chèvres adultes, dont la production est exclusivement orientée vers la production de lait. Le lait est transformé en fromages dont le marché se développe depuis 30 ans.

La France détient 11 % du cheptel de l'Union Européenne et se classe en 4^{ème} position, derrière la Grèce (46 %) et l'Espagne (21 %), au même niveau que l'Italie (13 %).

10 000 exploitations caprines

Sur environ 10 000 exploitations caprines comptant plus de 100 chèvres, la répartition est la suivante :

- 5000 producteurs transforment le lait à la ferme en fromages fermiers (49 % des exploitations),
- 4200 producteurs livrent leur lait aux fromageries industrielles (43 % des exploitations),
- 800 producteurs sont mixtes, livreurs de lait et fromages fermiers (8 % des exploitations).

En moyenne 72 chèvres par troupeau

Au total, la France compte 28 400 éleveurs possédant des chèvres mais deux sur trois ont moins de 10 chèvres. Ces petits troupeaux représentent 7 % du cheptel national. Si on ne

Étude du traitement par un champignon nématophage, *Duddingtonia flagrans*, contre les strongyloses digestives chez la chèvre laitière au pâturage.

compte que les 10 000 éleveurs détenant plus de 10 chèvres, considérés comme "professionnels", le cheptel moyen atteint 72 têtes par troupeau.

En moyenne, les troupeaux des livreurs sont 2 fois plus grands que ceux des fromagers :

- 97 chèvres pour les livreurs de lait,
- 48 chèvres pour les fromagers fermiers.

Ces fortes disparités se retrouvent dans les régions : la moyenne dépasse nettement 100 têtes dans le Centre-Ouest, contre moins de 50 en Rhône-Alpes ou en Bourgogne. Dans la première zone les livreurs dominant nettement, alors que dans les dernières régions, les fromagers sont de loin les plus nombreux.

Races Alpine et Saanen : 95 % des chèvres françaises.

Le schéma d'amélioration génétique concerne surtout les deux races principales

Le schéma national collectif d'amélioration génétique des races caprines françaises est conduit par un seul organisme : CAPRIGENE France. Ce schéma de sélection est mené en collaboration avec CAPRI-IA pour la production de semences d'insémination artificielle.

Le contrôle laitier officiel est réalisé dans 2300 troupeaux sur 270 000 chèvres.

La base nationale de sélection est constituée de 1000 élevages adhérents de CAPRIGENE France avec 150 000 chèvres.

Les critères de sélection retenus sont : la quantité de matière protéique par lactation, le taux protéique, la quantité de matière grasse et le taux butyreux.

L'insémination artificielle est pratiquée sur 60 000 chèvres, dont la majorité appartient à des troupeaux de la base de sélection. 60 % des inséminations concernent la race Alpine et 40 % la race Saanen.

70 000 tonnes de fromages de chèvre

La collecte industrielle de lait de chèvre est de 330 millions de litres de lait. Les entreprises industrielles qui collectent les 2/3 de la production laitière française ont fabriqué 55 000 tonnes de fromages de chèvre. Cette fabrication industrielle est en forte croissance : +35 % en 10 ans.

La plupart des fromages fabriqués en France sont des purs chèvres, seuls 6 % des fromages sont issus de lait de mélange (vache + chèvre). La réglementation française protège la définition du fromage pur chèvre et réserve aux seuls fromages de chèvres quelques formes caractéristiques traditionnelles (bûche, pyramide).

Huit fromages de chèvre traditionnels sont protégés par une Appellation d'Origine Contrôlée et représentent 5000 tonnes. En 1998, les producteurs fermiers fabriquaient 40 % de ces AOC et les fromageries industrielles 60 %. Le "Crottin de Chavignol" est la plus importante de ces appellations, avec 30 % des volumes AOC.

La production fromagère fermière est estimée à environ 15 000 tonnes.

La production totale de fromages de chèvres s'établit à 70 000 tonnes.

Les entreprises de collecte industrielle sont surtout situées au Centre-Ouest, tandis que les fabrications fermières dominent au Sud-Est. Les entreprises les plus importantes sont des coopératives spécialisées en lait de chèvre. GLAC-LESCURE et EURIAL-POITOURAINE ont collecté respectivement 115 et 71 millions de litres en 1998, surtout dans les régions Poitou-Charentes, Centre et Pays-de-la-Loire. Viennent ensuite les groupes privés BESNIER et TRIBALLAT.

La consommation française de fromages de chèvre progresse régulièrement

L'essentiel de la production de fromages, industrielle comme fermière, est destinée au marché national. Environ 5500 tonnes sont exportées, surtout vers l'Allemagne, la Belgique et le Royaume-Uni.

En France, la consommation des fromages de chèvre augmente plus rapidement que celle des fromages de vache :

- 75 % des ménages en consomment,
- en moyenne chaque ménage consomme 2 kg par an,
- + 35 % de consommation en 10 ans,
- prix moyen du fromage de chèvre au détail : 68 FF/kg,
- les $\frac{3}{4}$ des fromages de chèvre sont vendus en grandes et moyennes surfaces, principalement en libre-service.

La croissance de consommation est favorisée par une segmentation du marché : à côté des fromages traditionnels, sont offerts de nouveaux types de fromages modernes adaptés aux nouveaux comportements des consommateurs.

65. HOSTE, H., CHARTIER, C., LEFRILEUX, Y. Les résistances aux anthelminthiques. *En Détail...*(fiche zootechnie du Pôle Expérimentation et Progrès Caprin). 1998, D-98 208.

Qu'est-ce que c'est ?

La résistance aux anthelminthiques (autrement dit aux vermifuges) correspond à l'apparition, chez différentes espèces de vers parasites du tubes digestifs (strongles gastro-intestinaux), de populations peu ou pas sensibles à diverses classes de molécules anthelminthiques.

Pratiquement, la présence de ces populations particulières conduit à une inefficacité, totale ou partielle des traitements employés.

Les résistances aux anthelminthiques ont été décrites à travers le monde entier, surtout chez les petits ruminants. Des cas ont aussi été mentionnés chez les bovins, porcins ou chevaux.

Comment les détecter dans les élevages ?

On soupçonnera une résistance aux anthelminthiques lorsqu'un traitement correctement appliqué donnera l'impression d'être inefficace sans conduire à une amélioration des signes cliniques ou des performances zootechniques. Toutefois l'absence de réponse des animaux ne suffit pas pour mettre en évidence un phénomène de résistance.

En pratique, cette suspicion sera confirmée sur le terrain par un test de réduction d'excrétion fécale des œufs de parasites après traitement. Dans un premier temps, une coproscopie est réalisée sur 10 % des animaux du troupeau pour évaluer le niveau de parasitisme. Les animaux sont ensuite traités puis, 10 jours plus tard, un nouveau prélèvement rectal est

Étude du traitement par un champignon nématophage, *Duddingtonia flagrans*, contre les strongyloses digestives chez la chèvre laitière au pâturage.

effectué sur les mêmes animaux ce qui permet d'évaluer la réduction du nombre d'éléments parasitaires émis et, en conséquence, l'efficacité du traitement. La réduction doit être supérieure à 90 %.

Eventuellement, cet essai "terrain" peut être complété par un test effectué dans des laboratoires spécialisés.

Comment apparaît la résistance au sein d'un élevage ?

Le développement de la résistance paraît directement lié à la fréquence des traitements, en particulier lorsque la même classe de molécules est utilisée de façon répétée.

D'autre part, le non-respect des règles d'utilisation des anthelminthiques recommandées, en particulier le sous-dosage, favorise fortement l'apparition des résistances.

Enfin, l'introduction au sein d'un troupeau d'animaux non contrôlés et non déparasités peut aussi permettre la diffusion de populations de parasites résistants.

De façon générale, la chèvre est considérée comme un animal particulièrement propice au développement de résistance. Cela tient d'abord à des particularités physiologiques et métaboliques et se trouve encore accentué chez les animaux laitiers pour qui le nombre de molécules utilisables sans délai d'attente est restreint.

Comment lutter contre la résistance lorsqu'elle est présente dans un élevage ?

La présence de résistance dans un élevage est un phénomène préoccupant car il peut, à terme, aboutir à une inefficacité totale de certains traitements, voire au pire laisser l'éleveur démuni face au parasitisme, et ce de façon durable.

La résistance est également un phénomène complexe à gérer et il paraît fortement recommandable de faire appel aux conseils d'un vétérinaire.

Les méthodes préconisées pour éliminer les populations résistantes sont :

- 1) changer impérativement de classe de molécules, puis vérifier son efficacité.
- 2) Éventuellement associer deux molécules entre elles sur prescription d'un vétérinaire.

Comment éviter l'apparition des résistances dans un élevage ?

Au niveau de l'animal :

Étude du traitement par un champignon nématophage, *Duddingtonia flagrans*, contre les strongyloses digestives chez la chèvre laitière au pâturage.

- 1) Utiliser les doses recommandées pour les caprins. En terme pratique, des études maintenant nombreuses ont clairement établi que la meilleure application, pour les benzimidazoles, est la dose ovine répétée 2 fois à 12-24h d'intervalle. Pour le lévamisole (son utilisation est interdite en lactation), la dose est de 12 mg/kg par voie orale (contre 7,5 pour le mouton). Il faut rappeler la relative toxicité de cette molécule pour les caprins à fibre (en particulier en intramusculaire), qui est donc à éviter chez les chèvres Angora et Cachemire.
- 2) Eviter les sous-dosages. L'animal de référence pour l'ensemble du troupeau doit être l'animal le plus lourd.
- 3) Bien appliquer les traitements. L'anthelminthique doit être administré en arrière de la langue et sous un volume réduit (préférer les formulations plus concentrées).

Au niveau du troupeau :

- 1) Essayer de réduire au maximum la fréquence des traitements anthelminthiques, en utilisant les substances de manière rationnelle. Il faut bien cibler les périodes à risques et les parasites à atteindre. Deux à trois traitements par ans devraient être une fréquence optimale à ne pas dépasser.
- 2) Ne traiter que les animaux à risque. Les animaux en zéro-pâturage n'hébergent que très peu de strongles gastro-intestinaux et ne sont pas à traiter.
- 3) Essayer d'employer des molécules différentes d'une année à l'autre. Concrètement, chez les chèvres laitières, cela conduit à alterner benzimidazoles et pyrantel, puisque les avermectines et le lévamisole sont réservés à la période de tarissement.

Vérifier régulièrement l'efficacité des substances utilisées par un test de réduction d'excrétion coproscopique.

Le choix d'une stratégie de traitement doit être réalisé en liaison avec votre vétérinaire traitant. En ce qui concerne la posologie, la définition du délai d'attente est sous la responsabilité du vétérinaire prescripteur.

Les principes actifs et posologies préconisées contre les strongles gastro-intestinaux (CNEVA, INRA) :

[tableau recensant les molécules par familles avec posologie, recommandations caprins et délais d'attente]

Exemple : si une décision de traitement a été prise dans un troupeau de chèvres en lactation, dont les animaux ont un poids moyen de 60 kg, nous prendrons comme base l'animal le plus lourd, c'est-à-dire environ 80 kg. Nous choisirons un produit sans délai d'attente par exemple à base d'oxfendazole (nom commercial le Synanthic) dosant 9,06 g pour 100 mL (formulation bovine). Cette formule est plus concentrée que la formule ovin-caprin.

Calcul de la quantité de produit à administrer aux chèvres :

$$\frac{\text{Poids de l'animal le plus lourd}}{10} \times \frac{\text{Posologie}}{\text{concentration aux 100 mL}}$$

Dans notre cas : $\frac{80}{10} \times \frac{5}{9,06} = 4,4 \text{ mL}$ soit environ 5 mL/chèvre 2 jours

consécutifs.

Le calcul de la posologie est en général directement indiqué par le fabricant en terme de volume par 10 kg de poids vif. Ainsi dans l'exemple choisi, le volume correspondant à la dose recommandée est de 0,55 mL pour 10 kg, soit sur la base de 80 kg, 4,4 mL/chèvre, donc environ 5 mL et ce 2 jours consécutifs.

Si le traitement s'avère non efficace on appliquera la procédure citée précédemment :

- 1) Alerter votre vétérinaire et technicien.
- 2) Coproscopie avant et après traitement.

Toulouse, 2004

NOM : VIARD

PRENOM : VINCENT

TITRE : ÉTUDE DU TRAITEMENT PAR UN CHAMPIGNON NEMATOPHAGE, *DUDDINGTONIA FLAGRANS*, CONTRE LES STRONGYLOSES DIGESTIVES CHEZ LA CHEVRE LAITIÈRE AU PÂTURAGE.

RESUME : Les strongyloses digestives représentent une pathologie dominante en élevage caprin. La lutte contre ces parasitoses s'appuie sur l'utilisation d'anthelminthiques. L'émergence de résistances à ces molécules et le développement de l'agriculture biologique conduisent à chercher des méthodes alternatives de lutte contre les strongles, dont l'utilisation de champignons nématophages pour réduire la contamination des parcelles.

Notre étude évalue l'efficacité d'un de ces champignons, *Duddingtonia flagrans* chez la chèvre laitière au pâturage. Pour la première fois, l'éventuelle contamination du lait est explorée.

L'administration quotidienne de spores de *Duddingtonia flagrans* pendant les deux premiers mois de pâture a permis de réduire la contamination des pâturages, mais aucun impact sur parasitisme des individus traités n'a été observé. Des difficultés d'administration et une météo défavorable sont mises en cause. Aucune contamination du lait par le champignon n'a été décelée.

MOTS-CLES : chèvre laitière, strongles gastro-intestinaux, *Duddingtonia flagrans*, champignon nématophage, lutte biologique.

ENGLISH TITLE : GASTRO-INTESTINAL STRONGYLOSES CONTROL USING A NEMATOPHAGOUS FUNGUS, *Duddingtonia flagrans*, IN DAIRY GOATS IN FIELDS.

ABSTRACT : Gastrointestinal strongyloses represent one of the main pathologies in goats. The fight against these parasitic diseases uses essentially on using anthelmintics. However, the emergence of the resistance to these molecules as well as the development of organic farming leads to look for alternative methods to fight against helminths. One of these new methods uses nematophagous fungi to reduce pasture contamination. Our study evaluates the efficacy of one of these fungi, *Duddingtonia flagrans*, in grazing dairy-goats. For the first time, potential milk contamination by *Duddingtonia flagrans* spores is also explored. Daily administration of *Duddingtonia flagrans* spores during the first two months following the start of grazing enabled to reduce field contamination, but no impact on treated-animals parasitic level was proved. Some difficulties to administer spores as well as unfavourable meteorological conditions are in cause. No milk contamination by fungi was detected.

KEY WORDS : dairy goat, gastro-intestinal strongylosis, *Duddingtonia flagrans*, nematophagous fungi, biological control.