

EFFICACITE DU CHAMPIGNON NEMATOPHAGE *DUDDINGTONIA FLAGRANS* SUR *TELADORSAGIA CIRCUMCINCTA* ET *MUELLERIUS CAPILLARIS* CHEZ LA CHEVRE

THESE
pour obtenir le grade de
DOCTEUR VÉTÉRINAIRE

DIPLOME D'ETAT

*présentée et soutenue publiquement en 2001
devant l'Université Paul-Sabatier de Toulouse*

par

Carine PARAUD

Née, le 27 mai 1975 à LIMOGES (Haute-Vienne)

Directeur de thèse : **M. le Docteur Philippe JACQUIET**

JURY

PRESIDENT :

M. Jean-François MAGNAVAL

Professeur à l'Université Paul-Sabatier de TOULOUSE

ASSESEUR :

M. Philippe JACQUIET

M. Philippe DORCHIES

Maître de Conférences à l'Ecole Nationale Vétérinaire de TOULOUSE

Professeur à l'Ecole Nationale Vétérinaire de TOULOUSE

MEMBRE INVITE :

M. Christophe CHARTIER

Docteur Vétérinaire à l'A.F.S.S.A. de NIORT

MINISTERE DE L'AGRICULTURE ET DE LA PECHE
ECOLE NATIONALE VETERINAIRE DE TOULOUSE

Directeur : M. **P. BENARD**
Directeurs honoraires..... : MM. **R. FLORIO**
R. LAUTIE
J. FERNEY
G. VAN HAVERBEKE
Professeurs honoraires..... : MM. **A. BRIZARD**
L. FALIU
C. LABIE
C. PAVAU
F. LESCURE
A. RICO

PROFESSEURS CLASSE EXCEPTIONNELLE

Mme **BURGAT-SACAZE Viviane**, *Pharmacie et Toxicologie*
M. **CABANIE Paul**, *Histologie, Anatomie pathologique*
M. **CAZIEUX André, (sur nombre)** *Pathologie chirurgicale*
M. **DORCHIES Philippe**, *Parasitologie et Maladies Parasitaires*

PROFESSEURS 1^{ère} CLASSE

M. **AUTEFAGE André**, *Pathologie chirurgicale*
M. **BENARD Patrick**, *Physique et Chimie biologiques et médicales*
M. **BODIN ROZAT DE MANDRES NEGRE Guy**, *Pathologie générale, Microbiologie, Immunologie*
M. **BRAUN Jean-Pierre**, *Physique et Chimie biologiques et médicales*
M. **CHANTAL Jean**, *Pathologie infectieuse*
M. **DARRE Roland**, *Productions animales*
M. **DELVERDIER Maxence**, *Histologie, Anatomie pathologique*
M. **EECKHOUTTE Michel**, *Hygiène et Industrie des Denrées Alimentaires d'Origine Animale*
M. **EUZEBY Jean**, *Pathologie générale, Microbiologie, Immunologie*
M. **FRANC Michel**, *Parasitologie et Maladies Parasitaires*
M. **GRIESS Daniel**, *Alimentation*
M. **GUELFY Jean-François**, *Pathologie médicale des Equidés et Carnivores*
M. **MILON Alain**, *Pathologie générale, Microbiologie, Immunologie*
M. **PETIT Claude**, *Pharmacie et Toxicologie*
M. **REGNIER Alain**, *Physiopathologie oculaire*
M. **SAUTET Jean**, *Anatomie*
M. **TOUTAIN Pierre-Louis**, *Physiologie et Thérapeutique*

PROFESSEURS 2^e CLASSE

Mme **BENARD Geneviève**, *Hygiène et Industrie des Denrées Alimentaires d'Origine Animale*
M. **BERTHELOT Xavier**, *Pathologie de la Reproduction*
M. **CORPET Denis**, *Science de l'Aliment et Technologies dans les industries agro-alimentaires*
M. **DUCOS DE LAHITTE Jacques**, *Parasitologie et Maladies parasitaires*
M. **ENJALBERT Francis**, *Alimentation*
M. **LIGNEREUX Yves**, *Anatomie*
M. **MARTINEAU Guy**, *Pathologie médicale du Bétail et des Animaux de basse-cour*
M. **PICAVET Dominique**, *Pathologie infectieuse*
M. **SCHELCHER François**, *Pathologie médicale du Bétail et des Animaux de basse-cour*

PROFESSEUR CERTIFIE DE L'ENSEIGNEMENT AGRICOLE

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

MAITRES DE CONFERENCES HORS CLASSE

- M. **JOUGLAR Jean-Yves**, *Pathologie médicale du Bétail et des Animaux de basse-cour*

MAITRES DE CONFERENCES 1^{ère} CLASSE

- M. **ASIMUS Erick**, *Pathologie chirurgicale*
Mme **BENNIS- BRET Lydie**, *Physique et Chimie biologiques et médicales*
M. **BERGONIER Dominique**, *Pathologie de la Reproduction*
M. **BERTAGNOLI Stéphane**, *Pathologie infectieuse*
Mme **BOUCRAUT-BARALON Corine**, *Pathologie infectieuse*
Mme **BOURGES-ABELLA Nathalie**, *Histologie, Anatomie pathologique*
M. **BOUSQUET-MELOU Alain**, *Physiologie et Thérapeutique*
M. **BRUGERE Hubert**, *Hygiène et Industrie des Denrées Alimentaires d'Origine Animale*
M. **CONCORDET Didier**, *Mathématiques, Statistiques, Modélisation*
Mlle **DIQUELOU Armelle**, *Pathologie médicale des Equidés et des Carnivores*
M. **DUCOS Alain**, *Zootechne*
M. **DOSSIN Olivier**, *Pathologie médicale des Equidés et des Carnivores*
M. **GUERRE Philippe**, *Pharmacie et Toxicologie*
M. **LEFEBVRE Hervé**, *Physiologie et Thérapeutique*
M. **LYAZRHI Faouzi**, *Statistiques biologiques et Mathématiques*
M. **MATHON Didier**, *Pathologie chirurgicale*
Mme **MESSUD-PETIT Frédérique**, *Pathologie infectieuse*
Mme **PRIYMENKO Nathalie**, *Alimentation*
M. **SANS Pierre**, *Productions animales*

MAITRES DE CONFERENCES 2^e CLASSE

- M. **BAILLY Jean-Denis**, *Hygiène et Industrie des Denrées Alimentaires d'Origine Animale*
Mlle **BOULLIER Séverine**, *Immunologie générale et médicale*
Mlle **CAMUS Christelle**, *Biologie cellulaire et moléculaire*
M. **FOUCRAS Gilles**, *Pathologie du Bétail*
Mlle **GAYRARD Véronique**, *Physiologie de la Reproduction, Endocrinologie*
Mme **HAGEN-PICARD Nicole**, *Pathologie de la Reproduction*
Mlle **HAY Magali**, *Zootechne*
M. **JACQUIET Philippe**, *Parasitologie et Maladies Parasitaires*
M. **JAEG Jean-Philippe**, *Pharmacie et Toxicologie*
M. **MEYER Gilles**, *Pathologie des ruminants*
Mlle **RAYMOND Isabelle**, *Anatomie pathologique*
Mlle **TRUMEL Catherine**, *Pathologie médicale des Equidés et Carnivores*
M. **VALARCHER Jean-François**, *Pathologie médicale du Bétail et des Animaux de basse-cour*
M. **VERWAERDE Patrick**, *Anesthésie, Réanimation*

ASSISTANTS D'ENSEIGNEMENT ET DE RECHERCHE CONTRACTUELS

- M. **GUERIN Jean-Luc**, *Productions animales*
M. **MAREDA Marc**, *Pathologie de la Reproduction*
Mlle **MEYNADIER Annabelle**, *Alimentation*
Mme **MEYNAUD-COLLARD Patricia**, *Pathologie chirurgicale*
M. **MONNEREAU Laurent**, *Anatomie, Embryologie*

Remerciements,

A notre président de thèse

Monsieur le Professeur MAGNAVAL

Professeur des Universités

Praticien hospitalier

Parasitologie

Qui nous a fait l'honneur d'accepter la présidence de notre jury de thèse.

Hommage respectueux.

A notre jury de thèse

Monsieur le Docteur JACQUIET

Maître de Conférence à l'École Nationale Vétérinaire de Toulouse

Parasitologie

Qui a accepté de juger notre travail.

Sincères remerciements.

Monsieur le Professeur DORCHIES

Professeur à l'École Nationale Vétérinaire de Toulouse

Parasitologie

Qui a accepté de faire partie de notre jury de thèse.

Sincères remerciements.

Je tiens tout particulièrement à remercier :

Le **Docteur Gérard PERRIN**, directeur du Laboratoire d'Etudes et de Recherches Caprines de l'AFSSA à Niort qui m'a accueillie au sein de sa structure

Le **Docteur Christophe CHARTIER** pour son accueil chaleureux, son aide et sa disponibilité lors de la réalisation de ce travail.
Qu'il soit assuré de ma sincère gratitude.

Isabelle PORS pour son aide lors des analyses et pour sa sympathie

Le **Docteur Jacques CABARET** (INRA de Tours) pour sa participation à l'essai

Messieurs LARSEN et GILLEPSIE (Danemark) pour leurs conseils et la fourniture des spores.

A ma famille

A mes amis

A Nicolas

SOMMAIRE

Index des tableaux.....	15
Index des figures.....	17
Introduction.....	19
Etude bibliographique.....	21
1. Epidémiologie des helminthoses dans l'espèce caprine.....	22
1.1 Espèces rencontrées.....	22
1.2. Facteurs déclenchants et favorisants des helminthoses.....	24
1.2.1. Facteurs extrinsèques.....	24
1.2.1.1. Chargement à l'hectare.....	24
1.2.1.2. Saison.....	24
1.2.2. Facteurs intrinsèques.....	24
1.2.2.1. Influence de l'âge.....	24
1.2.2.2. Influence de la race.....	24
1.2.2.3. Statut physiologique.....	24
1.2.2.4. Niveau de production laitière.....	25
1.2.2.5. Ration.....	25
2. Rôles pathogènes et impact économique des strongyloses.....	25
2.1. Rôles pathogènes des strongles gastro-intestinaux.....	25
2.1.1. Action sur l'ingestion.....	26
2.1.2. Action sur la digestion et la métabolisation.....	26
2.1.2.1. Action des strongles de la caillette.....	26
2.1.2.2. Action des strongles intestinaux.....	26
2.2. Rôles pathogènes des strongles respiratoires.....	26
2.3. Impact économique de ces strongyloses.....	26
3. Contrôle du parasitisme helminthique.....	28
3.1. Contrôle « traditionnel » par les anthelminthiques.....	28
3.1.1. Molécules utilisées en élevage caprin.....	28
3.1.2. Spectre d'activité.....	29
3.1.3. Modalités d'administration.....	30
3.2. Problèmes liés à l'utilisation des anthelminthiques.....	31
3.2.1. Apparition de résistances.....	31
3.2.1.1. Définition de la résistance.....	31

3.2.1.2. Méthodes de détection de la résistance.....	31
3.2.1.3. Molécules et parasites concernés.....	33
a) Situation dans le monde.....	33
b) Situation en France.....	33
3.2.1.4. Pourquoi tout particulièrement chez la chèvre ?.....	34
3.2.1.5. Comment utiliser ces anthelminthiques de façon à prévenir l'apparition et la diffusion des résistances ?.....	35
a) Choix des animaux.....	35
b) Nombre de traitements annuels.....	35
c) Choix de la molécule.....	35
d) Choix de la dose.....	35
3.2.2. Développement de l'agriculture biologique et des productions labellisées en particulier dans les pays développés.....	36
3.3. Méthodes alternatives et complémentaires.....	37
3.3.1. Renforcer la réponse de l'hôte.....	37
3.3.1.1. Par l'alimentation.....	37
3.3.1.2. Par la sélection d'hôtes résistants.....	38
3.3.1.3. Par la vaccination.....	38
3.3.2. Réduire la contamination environnementale.....	39
3.3.2.1. Par la gestion du pâturage.....	39
3.3.2.2. Mesures agronomiques.....	39
3.3.2.3. Par le contrôle biologique.....	40
a) Définition.....	40
b) Contrôle biologique par les champignons nématophages.....	40
α) Définition et classification.....	40
β) Intérêts de leur utilisation.....	41
γ) Sélection d'espèces adaptées.....	41
δ) Détermination des conditions de croissance optimales de <i>D. flagrans</i>	42
ε) Détermination de l'activité de <i>D. flagrans</i> chez les différentes espèces.....	43
ζ) Données chez la chèvre.....	45
η) Limites d'utilisation.....	45
θ) Perspectives d'avenir.....	45
4. Conclusion de l'étude bibliographique.....	47

3.4. Activité de <i>D. flagrans</i> sur <i>M. capillaris</i>	62
3.4.1. Activité sur les larves 1 en coproculture.....	62
3.4.2. Impact sur la capacité d'infestation des larves.....	64
4. Discussion	66
4.1. Matériels et méthodes.....	66
4.1.1. Entretien des animaux.....	66
4.1.2. Choix des parasites.....	66
4.1.3. Administration des spores.....	67
4.1.4. Analyses parasitologiques.....	67
4.2. Essai avec <i>Teladorsagia circumcincta</i>	67
4.2.1. Choix de la dose de spores de <i>D. flagrans</i>	67
4.2.2. Taux de développement des œufs.....	67
4.2.3. Résultats.....	68
4.2.3.1. Efficacité de <i>D. flagrans</i> sur les larves 3 de <i>T.</i> <i>circumcincta</i>	68
4.2.3.2. Comparaison de l'efficacité entre les 2 souches.....	68
4.2.3.3. Interaction entre <i>D. flagrans</i> et le fenbendazole.....	69
4.3. Essai avec <i>M. capillaris</i>	69
4.3.1. Activité directe de <i>D. flagrans</i> sur les larves 1 de <i>M. capillaris</i>	69
4.3.2. Attractivité et infestivité.....	70
5. Conclusion de la partie expérimentale	71
 Conclusion.....	 71
 Bibliographie.....	 75
 Annexes : Techniques parasitologiques.....	 83

TABLEAUX

Tableau 1 : Helminthes rencontrés chez les chèvres laitières en Poitou-Charentes et leur prévalence.....	22
Tableau 2 : Paramètres de production selon le type d'élevage caprin en Indre-et-Loire.....	27
Tableau 3 : Principales molécules anthelminthiques utilisées en élevage caprin.....	29
Tableau 4 : Modalités d'utilisation des anthelminthiques par les éleveurs caprins français (enquêtes).....	30
Tableau 5 : Principaux tests utilisés pour détecter les résistances aux anthelminthiques.....	32
Tableau 6 : Situation actuelle de la résistance aux anthelminthiques dans le monde.....	33
Tableau 7 : Situation actuelle de la résistance aux anthelminthiques en France.....	34
Tableau 8 : Résultats d'essais des champignons nématophages chez les bovins.....	43
Tableau 9 : Résultats d'essais des champignons nématophages chez les ovins.....	44
Tableau 10 : Répartition des chèvres infestées par la souche sensible de <i>T. circumcincta</i> recevant les spores suivant les semaines.....	52
Tableau 11 : Répartition des chèvres infestées par la souche résistante de <i>T. circumcincta</i> recevant les spores suivant les semaines.....	52
Tableau 12 : Répartition des chèvres infestées par <i>M. capillaris</i> recevant les spores suivant les semaines.....	52
Tableau 13 : Résultats obtenus avec la souche sensible de <i>T. circumcincta</i>	58
Tableau 14 : Résultats obtenus avec la souche résistante de <i>T. circumcincta</i>	60
Tableau 15 : Moyennes et moyennes ajustées du nombre d'opg et de lpg de la souche résistante de <i>T. circumcincta</i>	60
Tableau 16 : Résultats obtenus après coproculture avec <i>M. capillaris</i>	62
Tableau 17 : Nombre de larves 3 de <i>Muellerius</i> retrouvées dans les escargots placés sur fèces contenant ou non le champignon.....	64
Tableau 18 : Nombre de larves 3 de <i>M. capillaris</i> par escargot, après contrôle de la densité des fèces en L1.....	64

FIGURES

Figure 1 : Cycle biologique des strongles gastro-intestinaux.....	23
Figure 2 : Cycle biologique de <i>Muellerius capillaris</i>	23
Figure 3 : Perturbations des 3 étapes de l'assimilation des aliments par la présence de strongles gastro-intestinaux.....	25
Figure 4 : Différentes solutions pour le contrôle des helminthoses.....	37
Figure 5 : Représentation schématique d' <i>Arthrobothrys oligospora</i>	40
Figure 6 : Représentation schématique d' <i>Harposporium anguillulae</i>	41
Figure 7 : Protocole expérimental avec <i>T. circumcincta</i>	51
Figure 8 : Protocole expérimental avec <i>M. capillaris</i>	53
Figure 9 : Protocole expérimental avec <i>T. circumcincta</i> , après arrêt de l'essai fenbendazole.....	54
Figure 10 : Représentation des larves 3 de strongles gastro-intestinaux et de la larve 1 de <i>M. capillaris</i>	59
Figure 11 : Dispositif utilisé pour tester la capacité d'infestation des larves 1 de <i>M. capillaris</i>	59
Figure 12 : Résultats en opg et en lpg obtenus dans l'essai fenbendazole aux heures de prélèvements : 0h, 24 h, 36 h et 48 h.....	61
Figure 13 : Evolution du nombre de larves de <i>M. capillaris</i> par gramme de fèces en fonction du lot et du temps de coproculture.....	62

INTRODUCTION

L'élevage caprin en France compte environ 1 200 000 chèvres concentrées en 3 grands bassins, Centre, Rhône-Alpes et Poitou-Charentes (cette dernière représentant 1/3 de la population caprine et 65 % de la production laitière industrielle) et est presque exclusivement dirigé vers la production laitière.

Cette spécialisation vers la production laitière industrielle a entraîné une augmentation du nombre d'exploitations pratiquant le zéro-pâturage : entre 1984 et 1989, en Poitou-Charentes, le pourcentage d'éleveurs en zéro-pâturage est passé de 30 à environ 60 %.

Actuellement, on observe un regain d'intérêt pour le pâturage en raison du développement des élevages en agriculture biologique et des productions sous AOC par exemple.

Or l'utilisation du pâturage entraîne l'apparition d'un parasitisme helminthique le plus souvent sub-clinique mais ayant des conséquences économiques graves et pose donc le problème du contrôle de ce parasitisme.

Ce contrôle repose actuellement sur l'utilisation d'anthelminthiques à plus ou moins large spectre administrés de façon plus ou moins intensive. Cette utilisation ne va pas sans poser de problèmes : apparition de résistances, résidus dans les produits, écotoxicité...

Il devient donc nécessaire de développer des méthodes alternatives et complémentaires à l'utilisation des anthelminthiques qui agiront, soit au niveau de l'animal-hôte en développant ses défenses (alimentation, vaccination ou sélection d'animaux naturellement résistants) soit au niveau de la contamination larvaire du pâturage (gestion du pâturage ou contrôle biologique).

Dans la partie bibliographique, nous centrerons notre propos sur la réduction de la contamination du pâturage par une méthode de contrôle biologique à savoir l'utilisation de champignons nématophages puisque notre travail expérimental a consisté en l'un des premiers essais d'activité d'un de ces champignons, *Duddingtonia flagrans*, sur 2 nématodes majeurs de la chèvre : *Teladorsagia circumcincta* et *Muellerius capillaris*.

ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE
LES HELMINTHOSES CHEZ LA CHEVRE ET LEUR CONTROLE

1. Epidémiologie des helminthoses dans l'espèce caprine

Nous ne nous intéresserons qu'aux helminthes rencontrés chez des animaux allant au pâturage, les animaux élevés en chèvrerie présentant des infestations faibles mais parfois non négligeables : trichures, oxyures et *Strongyloides* (Chartier et al., 1992a).

1.1. Espèces rencontrées

Différentes enquêtes ont permis de déterminer quels sont les parasites les plus fréquemment rencontrés chez la chèvre, en France. Il s'agit de *Teladorsagia circumcincta* (parasite de la caillette), de *Trichostrongylus colubriformis* (parasite de l'intestin grêle) et de *Muellerius capillaris* (protostrongle pulmonaire) (Chartier et al., 1992b, Etter et al., 2000a).

Tableau n°1 : Helminthes rencontrés chez les chèvres laitières en Poitou-Charentes et leur prévalence (Chartier et al., 1992b)

Espèce	Prévalence
<i>Haemonchus contortus</i>	37.1±16.3
<i>Ostertagia ostertagi</i>	14.3±11.8
<i>Teladorsagia circumcincta</i>	91.4±9.5
<i>Teladorsagia trifurcata</i>	51.4±16.9
<i>Trichostrongylus colubriformis</i>	94.3±7.8
<i>Trichostrongylus vitrinus</i>	5.7±7.8
<i>Oesophagostomum venulosum</i>	22.9±14.2
<i>Skrjabinema ovis</i>	40.0±16.6
<i>Trichuris ovis</i>	5.7±7.8
<i>Capillaria</i>	6.0±5.3
<i>Strongyloides papillosus</i>	36.0±10.7
<i>Muellerius capillaris</i>	95.5±4.6
<i>Moniezia spp.</i>	29.8±10.2
<i>Dicrocoelium lanceolatum</i>	20.0±13.5
<i>Fasciola hepatica</i>	5.7±7.8

Les 3 principaux helminthes rencontrés (*Teladorsagia circumcincta*, *Trichostrongylus colubriformis* et *Muellerius capillaris*) sont assujettis à une évolution dans le milieu extérieur selon 2 modalités qui sont présentées dans les figures 1 et 2.

L'œuf émis dans les matières fécales évolue en larve infestante de type 3 pour *T. circumcineta* et *T. colubriformis* (cycle de type strongle gastro-intestinal).

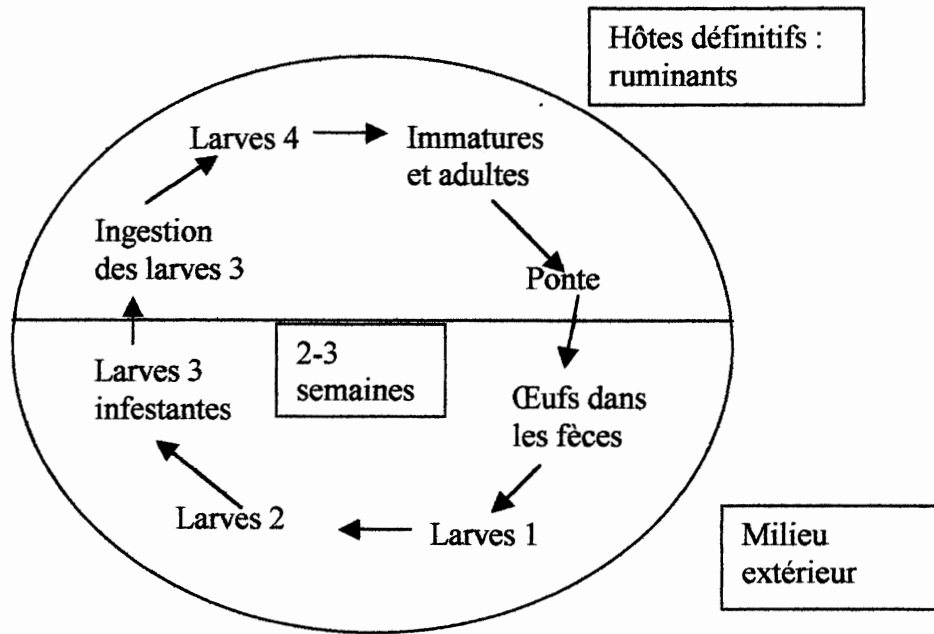


Figure 1 : Cycle biologique des strongles gastro-intestinaux auxquels appartient *Teladorsagia circumcineta* et *Trichostrongylus colubriformis* (d'après Jacquet, 1997)

Pour *Muellerius capillaris*, la larve de type 1 émise dans les fèces doit infester un hôte intermédiaire (escargot terrestre) pour évoluer en larve infestante de type 3.

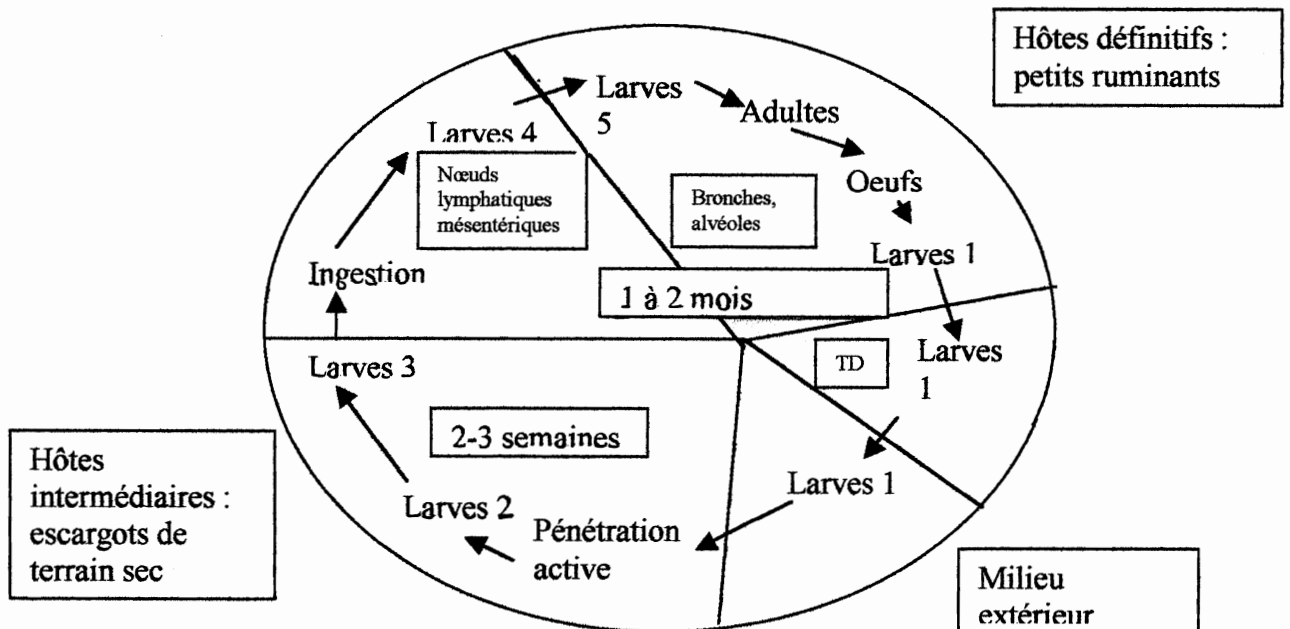


Figure 2 : Cycle biologique de *Muellerius capillaris* (d'après Bourdeau, 1997)

1.2. Facteurs déclenchants et favorisants du parasitisme

1.2.1. Facteurs extrinsèques

1.2.1.1. Chargement à l'hectare

Le risque parasitaire est d'autant plus élevé que le chargement à l'hectare (nombre d'animaux par hectare de pâturage) est important.

Une augmentation de la densité des animaux entraîne une plus grande contamination de la pâture par une augmentation de la quantité d'œufs excrétés et de larves infestantes.

Quand l'alimentation se raréfie du fait d'un nombre trop important d'animaux, ces derniers broutent plus ras et consomment ainsi plus de larves infestantes.

1.2.1.2. Saison

Le risque parasitaire est maximum au **printemps** et surtout en **automne** car la température et l'humidité sont favorables au développement des larves. Le risque est majoré en automne car il n'y a pas à cette saison le phénomène de dilution des larves dans l'herbe qui existe au printemps.

Ce phénomène est vérifié par la mise en évidence de l'augmentation de l'excrétion fécale d'œufs au sein des mêmes exploitations entre le printemps et l'automne (Etter et *al.*, 2000a).

1.2.2. Facteurs intrinsèques

1.2.2.1. Influence de l'âge

Contrairement aux ovins, **l'acquisition de la résistance aux nématodes est moins efficace chez la chèvre adulte**, ce qui aura des **conséquences thérapeutiques** importantes dans cette espèce (Hoste et *al.*, 1998). Cela implique donc que les adultes sont une source de contamination des pâtures car l'excrétion d'œufs de strongles digestifs augmente avec l'âge chez la chèvre laitière (Chartier et *al.*, 1996).

1.2.2.2. Influence de la race

Des **différences de susceptibilités entre races** sont suspectées mais non clairement démontrées : la race Saanen serait plus susceptible que la race Alpine (Chartier et *al.*, 1996).

1.2.2.3. Statut physiologique

On observe une **augmentation de l'excrétion fécale d'œufs autour de la mise-bas** (periparturient rise) suite à une baisse de l'immunité qui serait d'origine hormonale ou nutritionnelle.

1.2.2.4. Niveau de production laitière

Plus les animaux sont forts producteurs, moins ils sont résistants à l'acquisition du parasitisme et plus ils y sont sensibles (moindre résistance (limitation de l'installation et de la persistance d'une population parasitaire) et moindre résilience (maintien du taux de production malgré le parasitisme)) (Chartier et *al.*, 1996, Chartier et *al.*, 2000b).

1.2.2.5. Ration

L'élévation du niveau protéique de la ration améliore la résilience (Chartier et *al.*, 1996, Chartier et *al.*, 2000b).

2. Rôles pathogènes des helminthoses

2.1. Rôles pathogènes des strongles gastro-intestinaux (Chartier et *al.*, 1996, Coop et *al.*, 1996)

La figure 3 résume l'ensemble des rôles pathogènes des strongles gastro-intestinaux.

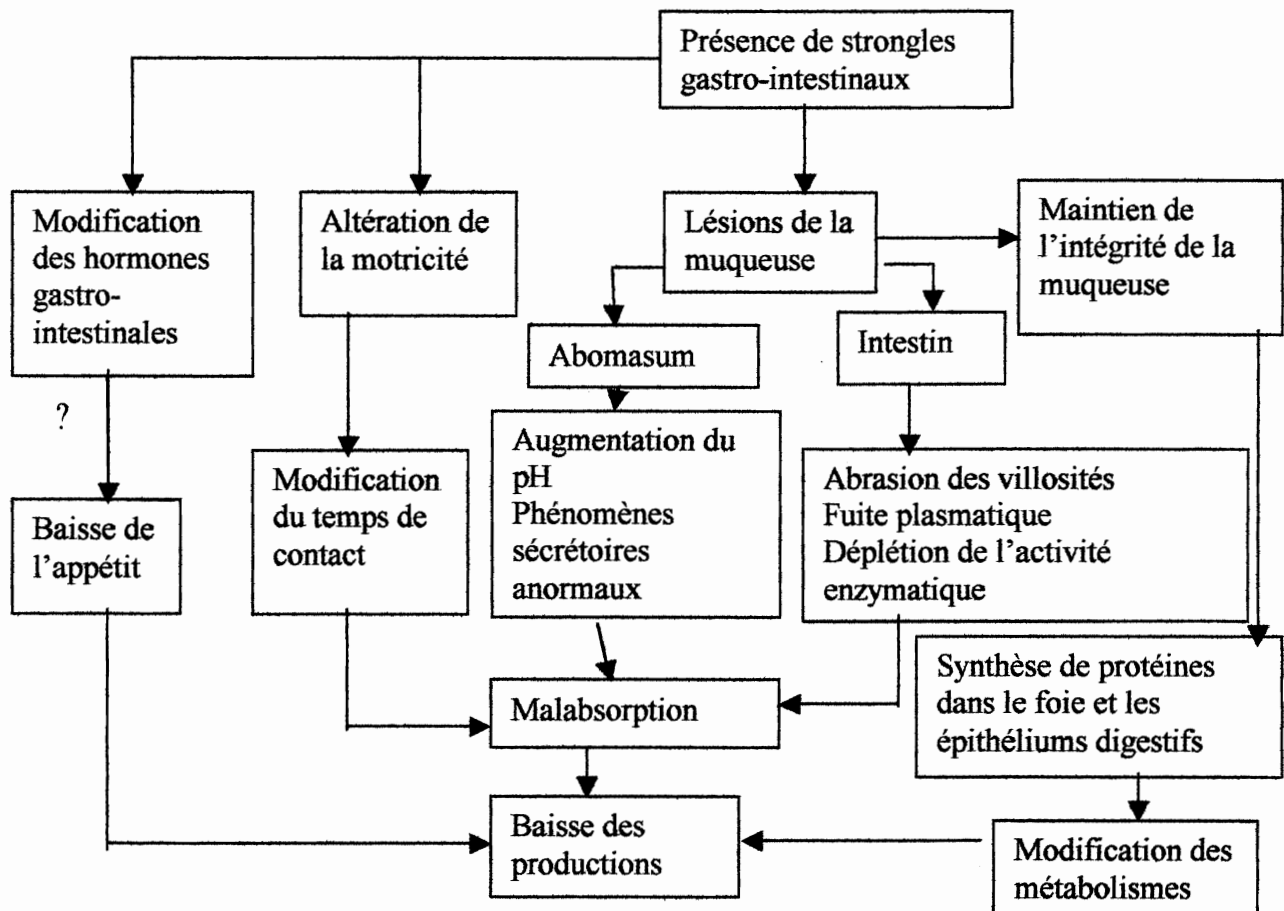


Figure 3 : Perturbations des 3 étapes de l'assimilation des aliments par la présence de strongles gastro-intestinaux (d'après Hoste et *al.*, 1997b).

La présence des strongles perturbe donc l'ingestion, la digestion et l'assimilation.

2.1.1. Action sur l'ingestion

L'inappétence observée en cas d'infestation résulterait de la douleur provoquée par l'implantation des parasites. D'autre part, l'élévation des taux plasmatiques de gastrine et de cholécystokinine par élévation du pH abomasal lors d'helminthose abomasale entraînerait une diminution de la motilité réticulo-ruminale, un ralentissement de la vidange gastrique et donc une stase abomasale plus une modification de la digestibilité des protéines et donc de la disponibilité en acides aminés.

Cette baisse d'appétit est progressive et est fonction de l'espèce et du nombre de vers présents (van Houtert et *al.*, 1996).

2.1.2. Action sur la digestion et l'assimilation

2.1.2.1. Action des strongles de la caillette

L'élévation du pH gastrique suite à une destruction des cellules productrices d'acide chlorhydrique entraîne un défaut d'activation du pepsinogène en pepsine et donc un défaut de digestion des protéines. De plus, la muqueuse de la caillette présente une perméabilité augmentée donc une perte de protéines endogènes.

L'infestation par *Haemonchus contortus* s'accompagne de pertes sanguines dues à l'hématophagie des adultes et des larves.

Enfin, la présence des strongles perturbe la motricité de la caillette d'où une diminution du brassage et de la digestion du contenu gastrique.

2.1.2.2. Action des strongles intestinaux

La présence des parasites provoque une diminution de l'activité enzymatique de l'intestin grêle d'où une baisse de la digestion. De plus, l'abrasion de la muqueuse intestinale entraîne une diminution de l'absorption de l'ensemble des aliments ainsi que des modifications de sa perméabilité conduisant à des pertes de protéines plasmatiques.

L'infestation par les strongles digestifs a surtout un impact au niveau protéique car elle entraîne à la fois une baisse d'apport digestif et une augmentation des pertes endogènes. Le métabolisme est alors dévié vers la compensation des pertes au détriment des productions.

2.2. Rôles pathogènes des strongles respiratoires

Les protostrongles respiratoires par leur présence au niveau des bronches et des alvéoles provoquent des troubles respiratoires profonds (bronchopneumonie chronique).

2.3. Impact économique de ces strongyloses

L'infestation par des strongles gastro-intestinaux principalement entraîne des pertes économiques importantes par baisse des productions consécutive à la baisse d'ingestion et de digestibilité de la ration et aux lésions causées. D'autre part, cela peut être à l'origine de l'apparition de maladies intercurrentes par affaiblissement général de l'animal.

On peut distinguer 2 types de parasitisme :

- un parasitisme à l'état sub-clinique qui se traduit par une baisse du nombre de chevreaux par mère (Cabaret et *al.*, 1986) et par une baisse du niveau de production laitière, encore plus important chez les fortes productrices (Chartier et *al.*, 1996).
- un parasitisme à l'état clinique qui entraîne de la diarrhée, des saisies d'abattoir pour cachexie et de la mortalité.

L'enquête de Cabaret et *al.*, 1986, rapportée dans le tableau 2, permet de mettre en évidence des différences entre les paramètres de production entre fermes utilisant le zéro-pâturage c'est-à-dire quasiment sans strongyloses et fermes exploitant le pâturage.

Tableau 2 : Paramètres de production et de parasitisme selon le type d'élevage caprin en Indre-et-Loire (d'après Cabaret et *al.*, 1986)

	Exploitations en zéro-pâturage	Pâturage
Nombre de chèvres	91±26	57±10
Nombre de traitements anthelminthiques/an	2.2±0.9	3.6±0.9
Lait (kg/chèvre/an)	650±83	611±44
Nombre de chevreaux/chèvre	1.62±0.15	1.50±0.12
Œufs de strongles/gramme de matière sèche de fèces (opg)	10.2±3.2	358.4±69.37

On constate que les paramètres technico-économiques sont plus faibles dans les fermes exploitant le pâturage, ce qui pourrait être relié à un parasitisme important mis en évidence par une moyenne d'opg élevée.

On remarque aussi que le nombre de traitements anthelminthiques est plus important dans ces fermes même s'il est élevé dans les exploitations en zéro-pâturage où les animaux sont théoriquement peu soumis à un parasitisme helminthique.

Malgré le nombre de traitements plus élevé, la moyenne d'opg reste supérieure chez les animaux exploitant le pâturage.

Les pertes économiques engendrées imposent de maîtriser le parasitisme même s'il n'apparaît pas sous forme clinique. Nous allons envisager les éléments de son contrôle dans le chapitre suivant.

3. Contrôle du parasitisme helminthique

Idéalement, le contrôle du parasitisme devrait permettre de ramener la population parasitaire à un niveau tel qu'elle n'ait pas d'impact économique mais qu'elle permette néanmoins le développement d'une immunité.

Les éleveurs veulent des moyens de contrôle peu chers, efficaces rapidement et durablement et faciles à utiliser. Les anthelminthiques traditionnellement utilisés répondent à tous ces critères mais face aux problèmes que pose leur utilisation (résistance, résidus et écotoxicité), il y a, pour l'avenir, nécessité de trouver de nouvelles méthodes qui devront autant que faire se peut répondre elles aussi à ces attentes.

3.1. Contrôle "traditionnel" par les anthelminthiques

Le thiabendazole a été le premier anthelminthique à large spectre utilisé à grande échelle. Depuis de nombreuses autres familles d'anthelminthiques à large spectre ont été utilisées de la même façon : les benzimidazoles qui ont maintenant plus de 35 ans d'utilisation, le lévamisole (25 ans d'utilisation) et la famille la plus récente, les avermectines/milbémycines qui ont 15 ans d'utilisation (Waller, 1993, Vercruysse et *al.*, 1999).

3.1.1. Molécules utilisées en élevage caprin

En élevage caprin, les 3 grandes familles d'anthelminthiques polyvalents sont utilisées (tableau 3) :

- les benzimidazoles et pro-benzimidazoles
- le lévamisole et le pyrantel
- les avermectines/milbémycines.

Tableau 3 : Principales molécules anthelminthiques utilisées en élevage caprin, spectre d'activité, recommandations de l'AMM et recommandations d'utilisation spécifiques aux caprins (d'après Chartier et *al.*, 1997)

	Spectre d'activité	Posologie de l'AMM (mg/kg)	Posologie recommandée (mg/kg) pour les caprins	Temps d'attente lait
Benzimidazoles				
oxfendazole	SGI, <i>Strongyloides</i> , <i>M. capillaris</i>	5	10	nul
fenbendazole	SGI, <i>Strongyloides</i> , <i>M. capillaris</i>	5	10	nul
mébendazole	SGI	15	30	interdit
albendazole	SGI	3.8	7.6	interdit
thiabendazole	SGI	50	100	6 traites
triclabendazole	<i>F. hepatica</i>		10	interdit
Pro-benzimidazoles				
fébantel	SGI, <i>Strongyloides</i>	5	10	nul
nétovimin	SGI	7.5 (ovin) pas d'AMM caprin	15	interdit
Imidazothiazoles				
lévamisole	SGI	7.5 par voie orale	12 par voie orale	interdit
Salicylanilidés				
closantel	SGI	10 par voie orale pas d'AMM caprin	10	interdit
Avermectines				
ivermectine	SGI, <i>Strongyloides</i> , <i>M. capillaris</i>	0.2 pas d'AMM caprin	0.2	interdit

SGI : Strongles gastro-intestinaux

L'élevage caprin français étant orienté majoritairement vers la production laitière, ce sont les benzimidazoles (fenbendazole, fébantel et oxfendazole principalement) qui ne nécessitent aucun temps d'attente pour le lait qui sont les plus utilisés (Chartier et *al.*, 1997).

3.1.2. Spectre d'activité

Tous ces anthelminthiques sont actifs vis-à-vis des strongles digestifs, à des posologies particulières pour la chèvre par rapport au mouton. Tous, à l'exception du pyrantel (actuellement retiré du marché), le sont contre *M. capillaris* avec toutefois une moindre efficacité.

3.1.3. Modalités d'administration

Différentes enquêtes regroupées dans le tableau 4 ont permis de préciser la façon dont les éleveurs caprins français utilisent ces anthelminthiques.

Tableau 4 : Modalités d'utilisation des anthelminthiques (AH) par les éleveurs caprins français exploitant le pâturage à travers 4 enquêtes

	Cabaret et al., 1986	Chartier et al., 1998	Etter et al., 2000a	Hoste et al., 2000
nombre d'élevages enquêtés	49 fermes caprines	23 fermes ovines et 15 fermes caprines	27 fermes caprines	73 fermes caprines dont 69 utilisent des anthelminthiques
régions	Centre	Ouest de la France	Poitou-Charentes, Centre et Rhône-Alpes	Midi-Pyrénées, Poitou-Charentes, Centre et Rhône-Alpes
nombre de traitements par an	3.6 ± 0.9	en moyenne 6.5 dans les fermes caprines	2.37 ; extrêmes : 0-6.	2.74 ± 1.35
molécules utilisées et % d'éleveurs les utilisant		utilisation exclusive des benzimidazoles	benzimidazoles : 95 % des éleveurs traitant leurs animaux	benzimidazoles : 97 % des fermes utilisant des AH correspondant à 84 % de l'ensemble des traitements lévamisole/pyrantel : 14.5 % des fermes avermectines/milbémycines : 27.5 % des fermes
nombre d'alternances par an			52 % des éleveurs alternent entre les 2 ou 3 familles d'AH	63.8 % des éleveurs qui réalisent plus d'un traitement par an (58 % du total) ne changent pas d'AH pendant l'année
doses utilisées				lévamisole, pyrantel et avermectines : dose ovine benzimidazoles : dose ovine dans 45 % des fermes
estimation du poids				estimation visuelle dans 100 % des fermes calcul de la dose sur le poids d'un animal moyen dans 100 % des cas

On constate que le nombre de traitements anthelminthiques par an est en général élevé, que les benzimidazoles sont les plus utilisés, que les éleveurs calculent la dose à administrer sur un poids moyen évalué visuellement et que, pour la moitié d'entre eux, ils n'alternent pas les familles.

Nous verrons que la majorité de ces modalités d'utilisation constitue un comportement à risque pour l'apparition de résistances.

3.2. Problèmes liés à l'utilisation des anthelminthiques

Waller, en 1993, recensait 3 menaces qui pèsent sur l'utilisation des anthelminthiques :

- l'apparition de résistances qui est la menace la plus importante
- le risque de résidus dans les produits
- l'écotoxicité de ces anthelminthiques et en particulier des avermectines

3.2.1. Apparition de résistances

3.2.1.1. Définition de la résistance

Une population chimiorésistante est une population de parasites ayant génétiquement acquis la capacité de résister à des concentrations d'anti-parasitaires habituellement létales pour les individus de cette espèce.

3.2.1.2. Méthodes de détection de la résistance

L'apparition de résistance est suspectée à la suite de plusieurs échecs thérapeutiques. Il faut pouvoir distinguer les résistances vraies des cas de pseudo-résistance dus à une mauvaise utilisation des anthelminthiques (mauvais diagnostic, sous-dosage, mauvais choix de l'anthelminthique ou réinfestation rapide).

Pour cela, les différents tests utilisables sont:

- le bilan parasitaire
- le test de réduction de l'excrétion d'œufs dans les matières fécales ou F.E.C.R.T.
- le test d'éclosion des œufs
- le test d'inhibition du développement larvaire
- le test de paralysie des larves
- des tests biochimiques ou génétiques

L'ensemble de ces tests, leurs modalités et leurs principaux intérêts et limites sont rapportés dans le tableau 5.

Tableau 5 : Principaux tests utilisés pour détecter des résistances aux anthelminthiques (d'après Jacquet, 1999)

	Anthelminthiques (AH) testés	Principes	Critères de décision	Avantages/inconvénients
Bilan parasitaire	Tous	Autopsie de quelques animaux 6 jours après la vermifugation		Coût élevé
F.E.C.R.T.	Tous	Prélèvements de fèces 10-14 jours après la vermifugation ; coproscopie et calcul de la réduction d'œufs entre le lot traité et le lot témoin	Résistance présente si la réduction est inférieure à 95 %	Facile à réaliser même dans l'élevage. Existence d'une variabilité individuelle dans l'excrétion.
Test d'éclosion des œufs	Benzimidazoles (BZD)	Comparaison de l'évolution en anhydrobiose pendant 48 h des œufs suspects et d'œufs témoins sensibles en présence de concentrations croissantes de BZD		Rapide, simple, faible coût, bonne sensibilité et répétable. Nécessité de coprocultures pour identification.
Test de développement larvaire	Tous	Coproculture et mise en contact avec des concentrations croissantes d'AH, à 10 jours, calcul du % de larves 3 vivantes	Calcul d'une concentration létale 50 % de l'AH	Applicable à toutes les classes d'AH. Standardisable
Test de paralysie des larves	Lévamisole, pyrantel, morantel	Coproculture pour obtenir des larves 3 puis mise en contact avec des dilutions croissantes de lévamisole, calcul du % de larves paralysées	% de larves paralysées	Distinction difficile d'une larve paralysée et d'une larve immobile

En pratique, en cas de suspicion, on réalise en premier lieu le test de réduction de l'excrétion fécale d'œufs. Si la réduction est inférieure à 95 %, on pratique un test d'inhibition du développement larvaire qui permettra de quantifier la résistance et d'identifier le parasite en cause.

3.2.1.3. Molécules et parasites concernés

a) Situation dans le monde

Tableau 6: Situation actuelle de la résistance aux anthelminthiques dans le monde pour quelques parasites (d'après Sangster, 1999)

Espèce-hôte	Parasite	Benzimidazoles	Lévamisole-Pyrantel	Avermectines
Petits ruminants	<i>Haemonchus contortus</i>	×	rare	×
	<i>Teladorsagia spp.</i>	×	×	×
	<i>Trichostrongylus spp.</i>	×	×	×
	<i>Fasciola hepatica</i>	×	sans objet	sans objet
Bovins	<i>Haemonchus placei</i>	×	×	×
	<i>Ostertagia ostertagi</i>	×	×	non
	<i>Trichostrongylus axei</i>	×	non	non
	<i>Cooperia spp.</i>	×	non	×
Cheval	<i>Cyathostomes</i>	×	×	non
Porc	<i>Oesophagostomum spp.</i>	×	×	×

× : résistance connue, non : pas de résistance détectée.

Des résistances ont été rapportées dans la plupart des espèces d'animaux de production, pour toutes les classes d'anthelminthiques et pour plusieurs genres de parasites.

Cependant, les petits ruminants sont les plus concernés par l'apparition et la diffusion de populations résistantes voire multirésistantes que les bovins. Ceci menace le maintien de l'élevage ovin dans certaines parties du monde, en zones tropicale et sub-tropicale.

Toutefois, compte tenu du faible marché que représentent les petits ruminants par rapport aux bovins en matière d'anthelminthiques, les firmes pharmaceutiques se désintéressent de ce problème.

b) Situation en France

En France, aucune résistance n'a été signalée chez les bovins.

Aucune résistance n'a été rapportée concernant les avermectines et le closantel.

La majorité des résistances décrites concernent les petits ruminants vis-à-vis des benzimidazoles et, dans de rares cas, vis-à-vis du pyrantel dans toutes les régions d'élevage françaises (Jacquie, 1999).

En 1994, Dorchies rapporte 7 cas déclarés de résistances chez les ovins et 5 cas déclarés chez les caprins. Les cas chez les caprins concernent *Haemonchus contortus*, *Teladorsagia circumcincta* et *Trichostrongylus colubriformis* vis-à-vis des benzimidazoles, du thiophanate, du lévamisole et du pyrantel.

L'état actuel des résistances aux anthelminthiques chez les petits ruminants est rapporté dans le tableau 7.

Tableau 7 : Situation des résistances aux anthelminthiques en France chez les petits ruminants (d'après Jacquet, 1999)

Hôte	Parasite	Benzimidazoles	Lévamisole/pyrantel morantel
Mouton	<i>Haemonchus contortus</i>	oui	non
	<i>Teladorsagia spp.</i>	oui	oui
	<i>Trichostrongylus spp.</i>	oui	oui
	<i>Cooperia curticei</i>	oui	non
	<i>Nematodirus spp.</i>	oui	non
	<i>Oesophagostomum venulosum</i>	oui	non
	<i>Chabertia ovina</i>	oui	non
Chèvre	<i>Haemonchus contortus</i>	oui	non
	<i>Teladorsagia spp.</i>	oui	non
	<i>Trichostrongylus spp.</i>	oui	non
	<i>Oesophagostomum venulosum</i>	oui	non
	<i>Chabertia ovina</i>	oui	non

Un fait important concerne l'importante diffusion de ces résistances au sein des régions d'élevage. Ainsi, l'enquête de Chartier et *al.* en 1998 dans 23 fermes ovines et 15 fermes caprines de l'ouest de la France rapporte un état de résistance aux benzimidazoles dans 83 % des fermes ovines enquêtées et dans 100 % des fermes caprines enquêtées.

3.2.1.4. Pourquoi tout particulièrement chez la chèvre ?

Cette situation est due à une pression de sélection très élevée en raison du **nombre parfois important de traitements**, de **l'absence d'alternance de familles d'anthelminthiques** et du **sous-dosage** des anthelminthiques administrés comme cela a été constaté dans les différentes enquêtes du tableau 3.

La multiplication des traitements est rendue obligatoire par la **pression parasitaire élevée en pâturage permanent** et le fait que les chèvres adultes n'acquièrent **pas un niveau d'immunité satisfaisant**.

Les anthelminthiques sont généralement sous-dosés car, chez la chèvre, la **métabolisation plus rapide** fait que les posologies ovines préconisées dans l'AMM sont insuffisantes. Ce phénomène est aggravé par l'absence de connaissance exacte du poids des animaux et par la fermeture de la gouttière oesophagienne qui accentue la moindre disponibilité de l'antiparasitaire (Chartier et *al.*, 1997).

Ces résistances se dirigent donc majoritairement vers les benzimidazoles car ils sont les plus employés du fait de leur utilisation possible en lactation.

3.2.1.5. Comment utiliser ces anthelminthiques de façon à prévenir l'apparition et la diffusion des résistances ?

Des recommandations valables pour toutes les espèces de ruminants ont été émises. Nous précisons les particularités concernant les caprins.

a) Choix des animaux traités

On effectuera un **traitement sélectif** des animaux les plus réceptifs et les plus sensibles (jeunes, animaux présentant des signes cliniques, animaux les plus forts producteurs...) de façon à ce que le reste du troupeau soit un refuge pour les parasites sensibles.

Les animaux introduits dans le troupeau seront aussi systématiquement traités contre les strongles pour éviter l'introduction de nématodes résistants.

b) Nombre de traitements annuels

Il faut le limiter en ciblant les **périodes à risque** (printemps, automne) et les parasites qui ont le plus de conséquences défavorables.

c) Choix de la molécule

On choisira la molécule utilisée en fonction de son spectre selon le parasite qu'on souhaite atteindre.

On préconise d'**alterner au moins annuellement les familles** d'anthelminthiques ce qui est difficile en élevage caprin laitier où peu de molécules sont autorisées pendant la période de lactation.

On peut toutefois utiliser 2 familles différentes entre la période de lactation et la période de tarissement.

d) Choix de la dose

Le traitement anti-parasitaire des caprins nécessite d'administrer une dose spécifique pour les caprins. Par exemple, pour le **fenbendazole**, la dose préconisée par l'AMM pour le traitement des strongyloses gastro-intestinales chez les ovins et caprins est de 5 mg/kg. La dose à administrer chez les **caprins** pour une bonne efficacité est de **10 mg/kg de poids vif**, en la calculant sur l'animal le plus lourd du troupeau après pesée des animaux (Chartier et *al.*, 1997).

Il faut toutefois signaler que le temps d'attente nul pour le lait concerne la dose préconisée dans l'AMM et n'a pas été calculé pour la double dose.

Le produit sera administré en arrière de la langue, sous un petit volume pour éviter la fermeture de la gouttière oesophagienne (Chartier et *al.*, 1997).

Toutes ces mesures contribuent à faire baisser la pression de sélection et ainsi à limiter l'apparition et la diffusion de résistances. Mais d'autres raisons que l'apparition de résistances justifient soit l'arrêt d'utilisation des anthelminthiques soit la réduction de leur emploi en les complétant par d'autres méthodes.

3.2.2. Développement de l'agriculture biologique et des productions labellisées en particulier dans les pays développés

Les règlements de **l'agriculture biologique** nécessitent de repenser la maîtrise du parasitisme chez les animaux de production.

Ils imposent, en effet, **l'accès obligatoire à des aires d'exercice ou de pacage en plein air**. Cet accès signifie l'apparition du parasitisme par les strongles gastro-intestinaux ou pulmonaires.

D'autre part, **l'utilisation préventive de médicaments allopathiques chimiques de synthèse est interdite** (Règlement européen n° 1804/1999 du 19/08/99, Thamsborg et *al.*, 1999).

Le contrôle des helminthoses nécessite donc d'avoir recours à des méthodes alternatives à l'utilisation des anthelminthiques.

Par ailleurs, les **avermectines, en raison de leur impact environnemental, sont interdites en agriculture biologique**. La majeure partie de la dose administrée est retrouvée intacte dans les fèces. On observe dans les bouses des animaux traités une diminution de la faune des diptères et des coléoptères par mortalité des adultes et des larves et par perturbation de la croissance larvaire et des métamorphoses ; il s'en suit un défaut de destruction de ces bouses (Strong, 1993). Lumaret et *al.*, en 1998, ont ainsi montré que le traitement des bovins à l'ivermectine empêche au moins pendant 3 semaines après le traitement l'émergence des Diptères. Ils ont d'autre part mis en évidence que la moxidectine a beaucoup moins d'effets néfastes sur la faune coprophage que l'ivermectine.

D'autre part, les avermectines peuvent aussi avoir un effet néfaste sur les vertébrés soit en réduisant le nombre d'insectes à leur disposition dans des périodes difficiles comme l'hiver ou au moment de l'élevage des petits soit par effet direct toxique par accumulation ce qui est moins probable (McCracken, 1993).

Il y a donc nécessité de **développer des méthodes complémentaires ou substitutives à l'utilisation des anthelminthiques pour contrôler le parasitisme**.

3.3. Méthodes alternatives et complémentaires

L'utilisation des anthelminthiques devra donc être intégrée dans des systèmes incluant des actions renforçant les défenses de l'animal (action au niveau de l'infrapopulation) et des actions réduisant l'infestivité des pâtures (action au niveau de la suprapopulation) (Jackson, 2000).

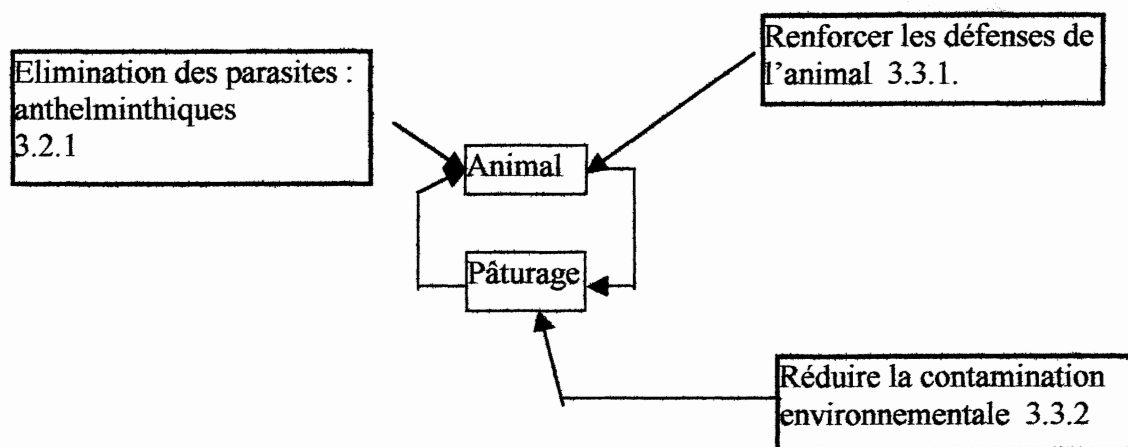


Figure 4 : Différentes solutions pour le contrôle du parasitisme : agir, soit au niveau de l'animal, soit au niveau du pâturage

3.3.1. Renforcer la réponse de l'hôte

3.3.1.1. Par l'alimentation

Une alimentation suffisante et riche, en particulier en **protéines**, améliore la résilience et la résistance de l'hôte au parasitisme par les nématodes (Chartier *et al.*, 2000b, Coop, 2000).

Etter *et al.*, 2000b, ont montré que la **supplémentation en protéines** du régime de chèvres laitières améliore leur résistance à une infestation par *Trichostrongylus colubriformis* (diminution du nombre d'œufs excrétés et augmentation du nombre de polynucléaires éosinophiles circulants). D'autre part, la résilience des chèvres les plus hautes productrices se trouve aussi améliorée par la supplémentation protéique (augmentation de la production laitière et amélioration des paramètres du lait).

L'ajout de **tannins condensés** à l'alimentation ou l'utilisation de plantes riches en tannins condensés comme les légumineuses réduit la population parasitaire de strongles gastro-intestinaux. Ils pourraient agir selon 2 modalités : en protégeant les protéines de la ration de la dégradation dans le rumen et/ou en ayant un effet anthelminthique direct , (Athanasiadou *et al.*, 2000, Niezen *et al.*, 1998).

Enfin, une supplémentation en **urée** augmente la résilience des animaux en stimulant l'ingestion et en augmentant la synthèse de protéines microbiennes dans le rumen (Knox, 1999).

En dehors des essais portant sur le métabolisme protéique, un intérêt est aussi porté à l'utilisation des particules d'**oxyde de cuivre** non seulement pour traiter des carences en cuivre mais aussi pour contrôler les helminthes abomasaux. Si on administre à des agneaux des capsules d'oxyde de cuivre, ces dernières se dissolvent dans le rumen et libèrent du cuivre sous forme ionique dans l'abomasum conduisant à une réduction de l'infestation par

Haemonchus contortus et *Teladorsagia circumcincta* sans effet sur l'infestation par *Trichostrongylus colubriformis* (Bang et al., 1990).

Chartier et al., 2000a, ont démontré l'efficacité de l'oxyde de cuivre chez la chèvre tant pour éliminer les adultes d'*Haemonchus contortus* que pour éviter les réinfestations pendant plusieurs semaines. Là encore, aucun effet n'a été observé sur les strongles intestinaux.

3.3.1.2. Par la sélection d'hôtes résistants

Cette sélection a d'abord été menée sur des moutons en Australie et en Nouvelle-Zélande en utilisant comme moyen d'estimation de la résistance l'intensité d'excrétion fécale des œufs dont on a démontrée qu'elle était héritable (Bishop et al., 1999, Gray, 1997, Waller, 1999).

L'application de cette méthode nécessite de nombreuses années de sélection avant d'être effective. D'autre part, elle ne doit pas être défavorable à d'autres critères zootechniques ou à la résistance à d'autres pathologies.

Enfin, la technique basée sur la mesure de l'excrétion fécale des œufs apparaît trop lourde pour être menée à grande échelle.

3.3.1.3. Par la vaccination

Le premier vaccin efficace contre un nématode parasite de Ruminants a été le DictolND fabriqué à base de larves de *Dictyocaulus viviparus* irradiées. D'autres vaccins utilisant cette technique ont été testés vis-à-vis des nématodes gastro-intestinaux. Si les résultats expérimentaux sur des moutons adultes étaient concluants vis-à-vis d'*Haemonchus contortus* et de *Trichostrongylus colubriformis*, ils ne l'ont pas été lorsqu'on les a testés sur des agneaux en conditions d'infestation naturelle. Les mécanismes de l'efficacité du DictolND n'ont pas été éclaircis et cette méthode de fabrication de vaccin a été abandonnée (Smith, 1999).

La nouvelle génération de vaccins est basée sur des **fractions antigéniques purifiées**. Ces fractions antigéniques peuvent être « naturelles » c'est-à-dire qu'elles sont naturellement exposées au système immunitaire de l'hôte ou « cachées » c'est-à-dire qu'elles ne stimulent pas la réaction immunitaire de l'hôte naturellement mais peuvent entraîner la formation d'anticorps après injection.

Les glycoprotéines membranaires des cellules épithéliales du tube digestif des parasites sont, par exemple, utilisées comme antigènes cachés. L'utilisation des antigènes cachés donne de bons résultats avec *Haemonchus contortus* même chez les jeunes animaux et les femelles périparturientes (animaux les plus réceptifs).

En 2000, Siekfer et al. rapportent une diminution du nombre de femelles d'*Haemonchus placei*, une baisse de leur longueur, une diminution du nombre d'œufs par femelle et une réduction du nombre d'œufs excrétés chez des veaux vaccinés par une protéine intestinale d'*H. placei* et infestés par 3300 larves 3 d'*H. placei* par rapport à des témoins non vaccinés infestés de la même façon.

Malheureusement, il n'y a aucune certitude que cette méthode puisse être efficace à l'égard de parasites non hématophages (Smith, 1999, Waller, 1999).

On attend d'un vaccin qu'il soit compétitif tant en terme de coût que d'efficacité par rapport aux anthelminthiques. Les bénéfices de la vaccination existent dès qu'elle a une efficacité de 60 % sur 80 % du troupeau (Waller, 1999).

D'autre part, pour être facilement utilisable, un vaccin anti-parasitaire doit être polyvalent ce qui suppose d'identifier des antigènes communs à plusieurs parasites. Cela sous-entend, en outre, que le mécanisme de réponse immunitaire à l'égard de ces différentes espèces soit identique ou très proche, fait à propos duquel on ne dispose que d'informations fragmentaires.

3.3.2. Réduire la contamination environnementale

3.3.2.1. Par la gestion du pâturage

Ces stratégies nécessitent de bien connaître l'épidémiologie des helminthoses locales, en particulier les conditions favorables au développement des œufs. Ceci conditionne en effet le niveau d'infestivité des pâtures variable dans le temps selon les conditions climatiques (Barger, 1999).

Il existe 3 grands types de stratégies de gestion du pâturage :

- Une stratégie préventive qui consiste à mettre des animaux peu ou non parasités sur des parcelles propres en associant un traitement anthelminthique pour réduire la quantité de L3 jusqu'à un niveau très bas.
- Une stratégie d'évasion dans laquelle on ne cherche pas à limiter la contamination mais où l'on change de parcelle avant que l'infestivité de l'herbe ne soit trop importante. La rotation des parcelles est applicable en zone tropicale où les larves infestantes se développent et meurent plus rapidement, elle est plus difficilement utilisable en zone tempérée où la survie des larves est plus longue (Vercruysse et *al.*, 1999). L'application de cette méthode nécessite de bien connaître l'écologie locale des larves. Par ailleurs, la technique consistant à traiter les animaux juste avant le déplacement sur une parcelle propre présente un inconvénient majeur : on risque de contaminer des parcelles propres avec seulement des larves résistantes (Thamsborg et *al.*, 1999).
- Une stratégie de dilution qui consiste en l'exploitation concomitante d'hôtes de réceptivité différente (de même espèce vache/veau ou d'espèces différentes bovin/ovin ou bovin/équin).

Les éleveurs trouvent ces méthodes très complexes à mettre en œuvre et très coûteuses en efforts et en temps. Elles sont cependant très appliquées en élevage bovin.

3.3.2.2. Mesures agronomiques (Hoste et *al.*, 1997)

Certains traitements des pâtures sont défavorables à la survie des stades libres en particulier le retournement des parcelles. Cette pratique est aussi défavorable aux hôtes intermédiaires comme les escargots pour *M. capillaris*.

La production de foin et d'ensilage n'agit que par la mise en repos des pâtures.

Enfin, l'efficacité d'amendements comme l'épandage de cyanamide calcique est controversée.

On peut citer ici l'utilisation de pâturage à base de légumineuses riches en tannins condensés.

3.3.2.3. Par le contrôle biologique

a) Définition

Il s'agit d'une méthode mise en place par l'homme pour ramener une population parasitaire ou de nuisibles (comme les insectes) à une densité acceptable ou pour garder ces populations à un niveau non dangereux en utilisant des antagonistes vivants naturels comme *Bacillus thuringiensis* dans la lutte contre certains insectes ou comme les champignons nématophages (Grønvold et al., 1996).

b) Contrôle biologique par les champignons nématophages (Grønvold et al., 1993)

α. Définition et classification

Ce sont des champignons du sol très répandus qui se nourrissent de larves de différents nématodes libres ou parasites comme source principale de nourriture ou comme supplément.

Ce sont des champignons imparfaits, Deutéromycètes. On peut les diviser en 2 grands groupes :

- * les champignons qui produisent des branches et des réseaux collants pour emprisonner les larves

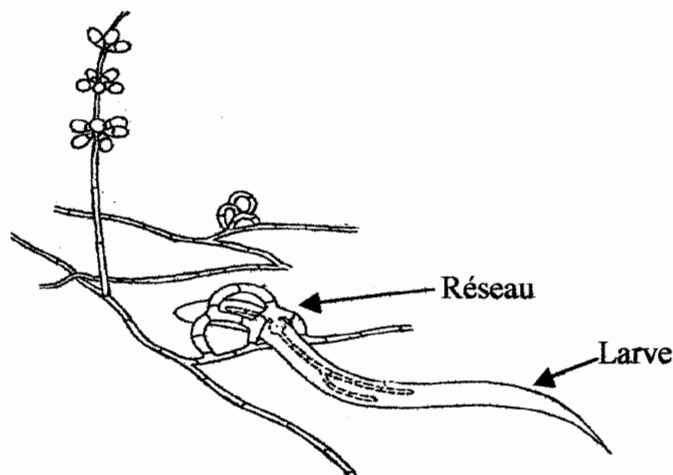


Figure 5 : *Arthrobotrys oligospora*, champignon nématophage emprisonnant les larves de nématodes dans des réseaux (d'après Grønvold et al., 1993). 1 cm = 100µm.

* les champignons qui pénètrent dans les larves par le biais de petites spores et qui détruisent le parasite.

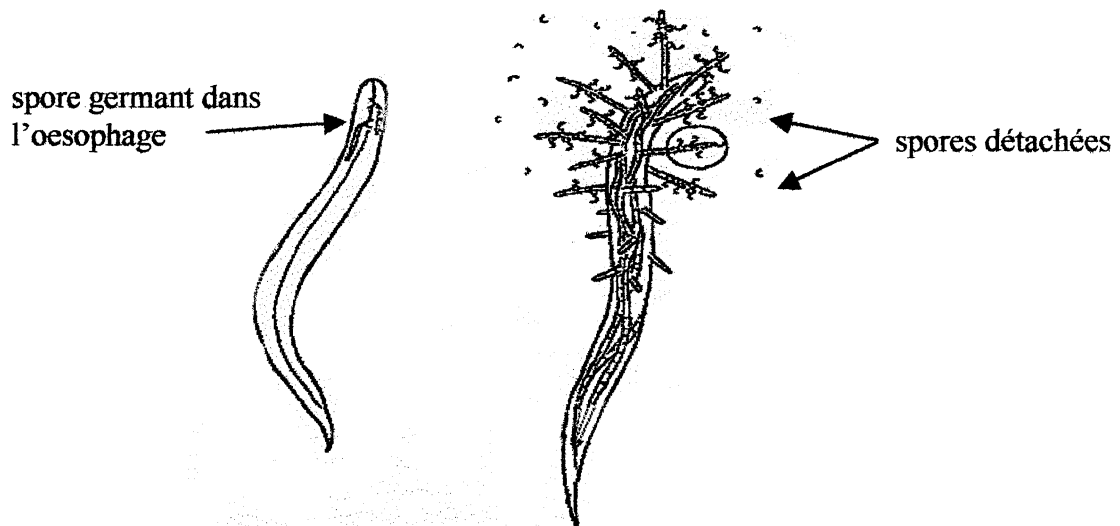


Figure 6 : *Harposporium anguillulae*, champignon nématophage endoparasite (d'après Grønvold et al., 1993). 1 cm = 100µm.

β. Intérêts de leur utilisation

Ils sont naturellement présents dans les fèces (Hay et al., 1997). Ils se nourrissent de larves de nématodes libres ou parasites et donc diminuent le nombre d'éléments infestants sur la pâture, de façon d'autant plus importante que l'on augmente leur concentration dans les fèces.

Ainsi, on diminue l'infestation parasitaire des animaux et donc les signes cliniques et sub-cliniques tout en permettant, grâce aux larves résiduelles, l'établissement d'une immunité naturelle chez les jeunes animaux (Larsen, 1999).

γ. Sélection de souches adaptées

Parmi les différentes espèces de champignons nématophages présentes dans les fèces fraîches, il a fallu sélectionner celles qui sont les plus adaptées à l'utilisation qu'on souhaite en faire. Pour des raisons pratiques, on souhaite administrer les spores de champignon par voie orale aux animaux de façon à ce qu'elles se retrouvent dans les fèces en grande quantité et y germent.

Il a donc fallu sélectionner parmi les nombreuses souches dont l'activité était satisfaisante celles dont les spores étaient capables de résister au passage à travers le tractus gastro-intestinal aussi bien des ruminants que des monogastriques.

Cela a d'abord été réalisé *in vitro* en mimant les conditions du tractus gastro-intestinal des ruminants (Larsen et al., 1991). Les souches ainsi sélectionnées ont été administrées par voie orale à des veaux. L'isolement des souches de champignons présentes dans les bouses récoltées a permis de sélectionner 2 souches du genre *Arthrobotrys* et 6 souches du genre *Duddingtonia* capables de réduire efficacement, de 85 % en moyenne, le nombre de larves 3 d'*Ostertagia ostertagi* avec lesquelles elles étaient en contact (Larsen et al., 1992).

La majorité des études suivantes a été réalisée avec *Duddingtonia flagrans* qui présente la meilleure résistance au passage du tractus digestif (Faedo et al., 1997).

δ. Détermination des conditions de croissance optimales pour *D. flagrans*

En effet, une fois dans les fèces, les spores doivent **germer, se développer et former les réseaux** qui emprisonneront les larves avant que ces dernières n'aient quitté les crottes.

*** Oxygénation :**

D. flagrans ne pousse pas en anaérobiose. Le champignon ne pourra donc se développer dans les fèces que lors de leur oxygénation par des insectes coprophages (Grønvold et al., 1999b).

Les œufs de parasites se développent quand la bouse a été oxygénée du fait des insectes coprophages (création de travées vers le centre de la bouse). Les larves migrent vers la surface. Les spores du champignon présentes dans la bouse nécessitent, elles aussi, de l'oxygène pour former les filaments qui leur serviront à se nourrir. Elles ont donc un développement exactement parallèle à celui du parasite et comme lui, leur survie nécessite l'intervention d'insectes coprophages.

*** Humidité :**

Le développement du mycélium est plus rapide si les fèces sont humides : 15-20 mm en 15 jours contre 7-10 mm pour la même période sur des fèces sèches.

*** Température :**

Pour une température comprise entre 20 et 30°C, *D. flagrans* pousse à une vitesse comprise entre 15 et 60 mm par semaine (Grønvold et al., 1999b).

*** Présence de larves :**

La présence de nématodes se déplaçant induit la formation des réseaux avec un optimum à 30 °C (Grønvold et al., 1996b). Les larves les plus mobiles, comme celles des strongles gastro-intestinaux, induisent plus efficacement la formation des réseaux (Grønvold et al., 1993).

ε. Détermination de l'activité de *D. flagrans*

D. flagrans a été testé sur de nombreux parasites inféodés à de nombreuses espèces-hôte et dans des conditions variées : sur gélose, en coproculture, par dépôt de fèces sur le pâturage ou après administration par voie orale aux animaux.

* Chez les bovins

Le tableau 8 résume les principaux essais qui ont été réalisés chez les bovins. Ils concernent le plus souvent *D. flagrans*.

Tableau 8 : Résultats de différents essais menés chez les bovins

Nématode	Champignon	Doses	Résultats	Auteurs, année
<i>Strongyloides papillosus</i>	<i>Arthrobotrys oligospora</i>	2000 spores par gramme de fèces	Réduction de 99 % du nombre de larves infestantes	Chandrawathani et al., 1998
<i>Ostertagia ostertagi</i>	<i>Duddingtonia flagrans</i>	10 ⁶ spores par kg de poids vif par jour	Réduction de 18.1 à 98.1 % du nombre de larves infestantes	Fernandez et al., 1999b
Helminthes présents sur les pâtures utilisées	<i>D. flagrans</i>	10 ⁶ spores par 200 g de grains d'orge distribués aux animaux traités	Réduction de l'infestivité de la pâture des traités et de l'infestation des animaux	Larsen et al., 1995b
<i>Dictyocaulus viviparus</i>	<i>D. flagrans</i>	5*10 ⁵ spores par g de fèces	Réduction de 86 % du nombre de larves	Henriksen et al., 1997
<i>D. viviparus</i>	<i>D. flagrans</i> (2 souches)	12500 spores par g de fèces	Réduction du nombre de larves comprise entre 80.3%et 81.9%	Fernandez et al., 1999a

Chez les bovins, *D. flagrans* est donc à la fois actif sur les larves 3 de strongles gastro-intestinaux et sur les larves 1 de strongles pulmonaires. *D. flagrans* permet de réduire l'infestivité de la pâture et par conséquent l'intensité de l'infestation des animaux.

* Chez les ovins

Les principaux essais sont résumés dans le tableau 9. Ils concernent tous des strongles gastro-intestinaux.

Tableau 9 : Résultats de différents essais menés chez les ovins

Nématode	Champignon	Doses	Résultats	Auteurs, année
<i>Haemonchus contortus</i>	<i>Monacrosporium eudernatum</i> <i>A. oligospora</i> <i>Arthrobotrys robusta</i>	2000 spores de chaque espèce par gramme de fèces puis les 3 espèces ensemble	Réduction de, respectivement, 95.7%, 98.3% et 10.1% du nombre de larves infestantes. Quand mélange, réduction de 97.4%	Mendoza-De Gives et al., 1994
<i>Trichostrongylus colubriformis</i>	<i>D. flagrans</i>	5*10 ⁶ spores par mouton par jour	Nombre de larves récoltées sur la pâture et présentes dans les fèces significativement inférieures par rapport aux témoins	Faedo et al., 1998
<i>T. colubriformis</i>	<i>D. flagrans</i>	5*10 ⁵ à 10 ⁶ spores par jour	Réduction de 80 % du nombre de larves infestantes. Mise en évidence d'une réponse dose-dépendante. Disparition des spores des fèces 3 jours après arrêt de l'administration	Larsen et al., 1998
<i>Ostertagia et Trichostrongylus spp</i>	<i>D. flagrans</i>	10 ⁶ spores par kg de poids vif par jour pendant 5 mois	Réduction de la charge parasitaire acquise par des animaux traceurs de 86 % par rapport à des témoins pâturant sur les pâtures précédemment occupées par des animaux non traités.	Githigia et al., 1997

Comme chez les bovins, *D. flagrans* se révèle efficace pour limiter le nombre de larves infestantes de strongles digestifs.

Aucun essai n'a été effectué sur les nématodes respiratoires chez les ovins.

* Chez le cheval

D. flagrans a une activité sur les **larves de grands et petits strongles digestifs des chevaux** (Baudena et al., 2000, Fernandez et al., 1997, Larsen et al., 1996, Larsen et al., 1995).

* Chez le porc

Le champignon est actif sur ***Oesophagostomum dentatum* et *Hyostrongylus rubidus*** (Nansen et al., 1996).

ζ. Données chez la chèvre

Une seule publication concerne cette espèce. Elle rapporte un essai en conditions semi-expérimentales qui a pour résultat une efficacité de 98,8 % sur les trichostrongles après une administration de 5.10^5 spores de *D. flagrans* par kg de poids vif pendant 5 jours (Gawor et al., 1999). Les auteurs ont, d'autre part, constaté une corrélation positive entre le nombre d'œufs dans les fèces et l'activité du champignon.

η. Limites d'utilisation

D. flagrans ne présente pas d'activité sur les œufs et ne peut donc pas être utilisé vis-à-vis de parasites comme *Ascaris suum*, parasite majeur de l'élevage intensif porcin, ni même vis-à-vis de *Nematodirus battus* qui évolue entièrement dans l'enveloppe de l'œuf.

De nouvelles espèces de champignons capables de détruire les œufs sont actuellement à l'étude au Danemark (Larsen et al., 1999b).

θ. Perspectives d'avenir

* Vérification de l'absence d'effets négatifs ou inhibiteurs des traitements anthelminthiques sur le champignon

Pour contrôler la population parasitaire adulte déjà installée, il faut utiliser des anthelminthiques adulticides en complément des champignons nématophages.

Il faut donc contrôler que les anthelminthiques n'aient pas d'effets négatifs, par des effets fongicides par exemple (Larsen et al., 1997).

* Adaptation de la souche selon la zone d'utilisation

En zone tropicale, sous l'effet combiné de la chaleur et de l'humidité, les formes infestantes sont plus rapidement formées et quittent plus vite les fèces ; il faut, pour être utilisé dans de telles conditions, que le champignon se développe lui-même plus vite. Soit il sera possible d'utiliser les mêmes espèces qu'en conditions tempérées, soit il faudra isoler et tester des espèces locales de champignons (Larsen et al., 1997).

* Etude de l'impact sur l'environnement

La présence du champignon dans les fèces n'a d'effet ni sur la croissance ni sur la survie des vers de terre (Grønvold et *al.*, 1999a). D'autre part, aucune différence de dégradation des bouses n'a été constaté entre les bouses contenant ou non le champignon (Fernandez et *al.*, 1999b).

Néanmoins, ces études environnementales sont à compléter avant une éventuelle mise sur le marché.

* Etude de l'absence de danger pour les utilisateurs et les consommateurs

Avant une éventuelle mise sur le marché, il faudra vérifier l'absence de résidus dans les produits.

* Adaptation commerciale de cette méthode

Cette méthode doit être associée à l'utilisation de nématocides adulticides car l'activité des champignons prédateurs se limite à la réduction de l'infestivité des pâtures. Il faut initialement éliminer les adultes présents. Cette méthode est ainsi une méthode complémentaire et non une méthode substitutive.

Pour cette utilisation, il faut définir les intervalles entre les administrations de spores et d'anthelminthique.

Les spores doivent être faciles à doser et à administrer : plusieurs solutions sont envisagées pour cela : suppléments alimentaires, systèmes de délivrance intra-ruminaux, mélange dans l'eau de boisson... Il faut évaluer s'il existe des variations d'efficacité des spores suivant le régime de l'animal auquel elles seront administrées (Larsen et *al.*, 1997).

Elles doivent aussi être faciles à produire à grande échelle et à conserver.

Actuellement, l'administration reste lourde à mettre en oeuvre car il faut administrer les spores tous les jours, ce qui est envisageable pour les troupeaux laitiers mais pas pour les troupeaux en permanence au pâturage qui sont également très exposés au risque parasitaire. Le coût de cette méthode reste, quant à lui, non défini par le fabricant.

4. Conclusion de la partie bibliographique

Peu d'études ont été menées pour expérimenter la méthode de contrôle biologique par les champignons nématophages chez les caprins. Sans doute est-ce parce que la chèvre est une espèce mineure tant en nombre de têtes qu'en importance économique, et pourtant elle est concernée au tout premier rang par l'apparition des résistances aux anthelminthiques comme nous l'avons constaté. Il devient urgent de tester chez les caprins des méthodes alternatives à l'utilisation des anthelminthiques pour contrôler le parasitisme par les nématodes.

Le but de l'essai qui suit est de tester l'efficacité de *Duddingtonia flagrans* sur deux helminthes majeurs de la chèvre, *Teladorsagia circumcincta* et *Muellerius capillaris*.

ETUDE PERSONNELLE
DETERMINATION DE L'ACTIVITE DE *DUDDINGTONIA FLAGRANS*
SUR *TELADORSAGIA CIRCUMCINCTA* ET *MUELLERIUS CAPILLARIS*
CHEZ LA CHEVRE

L'étude bibliographique a montré l'intérêt de développer de nouvelles méthodes pour contrôler le parasitisme chez la chèvre. Cet essai permettra de déterminer l'activité de *Duddingtonia flagrans* sur deux des nématodes les plus communs de la chèvre en conditions semi-expérimentales.

1. Objectifs

1.1. Détermination de l'activité de *Duddingtonia flagrans* sur *Teladorsagia circumcincta* chez la chèvre

Nous avons pour objectif de démontrer l'efficacité de *D. flagrans* à limiter le développement de larves infestantes de ce strongle digestif. Cette activité sera testée sur une souche résistante aux benzimidazoles et sur une souche sensible pour voir s'il existe une différence de sensibilité vis-à-vis du champignon.

D'autre part, nous testerons, avec la souche résistante, s'il existe une interaction entre l'administration de spores et un traitement avec du fenbendazole, les benzimidazoles ayant un effet fongicide.

1.2. Détermination de l'activité de *Duddingtonia flagrans* sur *Muellerius capillaris* chez la chèvre

Les objectifs sont les suivants :

- 1- savoir si *D. flagrans* a une activité sur les larves 1 de *M. capillaris*.
- 2- savoir si la présence du champignon dans les fèces diminue leur attractivité pour les hôtes intermédiaires, des escargots de l'espèce *Xeropicta derbentina* (juvéniles).
- 3- savoir si ces L1 possèdent la capacité d'infester activement leurs hôtes intermédiaires.
- 4- savoir si ces L1, si elles infestent les escargots, sont capables de mener à bien leur développement jusqu'au stade infestant.

Les points 2 à 4 sont réalisés avec la collaboration du Dr J. Cabaret de l'INRA de Tours-Nouzilly.

2. Matériel et méthodes

2.1. Le matériel biologique

2.1.1. Les chèvres

2.1.1.1. Protocole avec *Teladorsagia circumcincta*

22 chèvres laitières de réforme de races Alpine et Poitevine provenant d'élevages en **zéro-pâturage** du département des Deux-Sèvres sont logées en chèvrerie et nourries en alimentation sèche avec par chèvre et par jour :

- bouchons de luzerne : 0.2 kg distribués en 2 repas
- orge en grains : 0.3 kg distribués en 2 repas
- paille d'orge : 0.8 kg en 3 repas
- complément minéral vitaminé : 20 g

2.1.1.2. Protocole avec *Muellerius capillaris*

6 chèvres laitières de réforme de races Saanen et Alpine provenant d'élevages de la région **exploitant le pâturage** sont logées en chèvrerie et entretenues comme précédemment.

Ces chèvres sont naturellement infestées par *M. capillaris*. Elles sont débarrassées de leur strongles digestifs par un traitement au pyrantel qui n'a aucun effet sur *M. capillaris*, à 40 mg/kg de poids vif répété 3 fois à 24 h d'intervalle.

2.1.2. Les parasites

2.1.2.1. *T. circumcincta*

On utilise 2 souches de *T. circumcincta* : une souche sensible et une souche résistante aux benzimidazoles pour tester une éventuelle différence de sensibilité au champignon.

La souche résistante est entretenue sur ovins à l'INRA de Tours-Nouzilly et provient d'un élevage caprin de Touraine (souche "Galopin").

La souche sensible est également entretenue sur ovins et provient de l'élevage caprin de l'INRA de Bourges.

2.1.2.2. *M. capillaris*

Les chèvres choisies proviennent d'élevages exploitant le pâturage, elles sont donc naturellement infestées par *M. capillaris*. Cela a toutefois été vérifié en début d'essai par extraction des larves 1 des fèces par la technique de Baermann.

2.1.3. Les champignons

Les champignons utilisés sont des spores de *D. flagrans*, fournies par la firme danoise CHR HANSEN Biosystems DK-2970 HØRSBOLM.

Ces spores sont produites sur céréales et conservées séchées dans un conditionnement à l'abri de la lumière.

2.1.4. Les escargots

Le Dr Cabaret de l'INRA de Tours-Nouzilly entretient sur verdure dans des boîtes en plastique des escargots juvéniles du genre *Xeropicta* provenant de la région de Marseille et n'ayant eu aucun contact avec des petits ruminants.

2.2. Les protocoles expérimentaux

2.2.1. Mise en lots

2.2.1.1. Protocole avec *T. circumcincta*

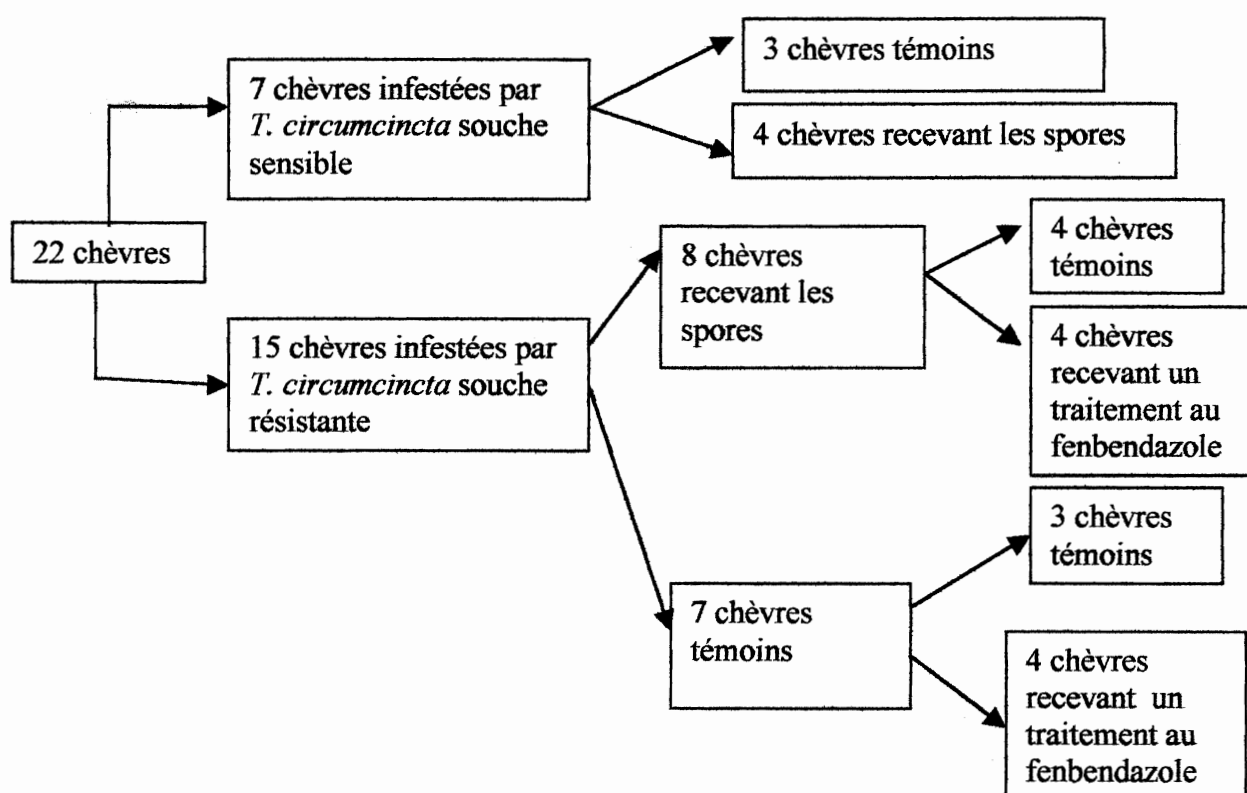


Figure 7 : Protocole expérimental visant à mettre en évidence l'activité de *D. flagrans* sur *T. circumcincta*, une éventuelle interaction avec la sensibilité de la souche aux benzimidazoles et l'éventuel effet d'un traitement conjoint au fenbendazole.

7 des chèvres sont infestées par voie orale par 5000 larves de type 3 de *T. circumcincta* souche sensible. Les 15 autres reçoivent la même dose de *T. circumcincta* souche résistante. 4 semaines après la première infestation, devant la faible excrétion d'oeufs dans les fèces, l'infestation a été répétée (7500 L3 par animal).

Chacun des lots est ensuite divisé en 2 groupes : la moitié reçoit le champignon à raison de $5 \cdot 10^5$ spores par kg de poids vif et par jour pendant 7 jours.

Chaque groupe infesté par la souche résistante est ensuite divisé en 2 sous-groupes selon qu'il est traité ou non au fenbendazole.

Préalablement à l'administration du champignon, des coproscopies et coprocultures individuelles sont réalisées sur l'ensemble des chèvres.

Tableau 10 : Chèvres infestées par la souche sensible de *T. circumcincta* recevant les spores

Semaine 1	Semaine 2	Semaine 3	Semaine 4	Semaine 5	Semaine 6	Semaine 7
lot A	lot A	lot B	lot A	lot A	lot B	lot B
3 chèvres	3 chèvres	4 chèvres	3 chèvres	3 chèvres	4 chèvres	4 chèvres

Tableau 11 : Chèvres infestées par la souche résistante de *T. circumcincta* recevant les spores

Semaine 1	Semaine 2	Semaine 3	Semaine 4	Semaine 5	Semaine 6	Semaine 7
lot A	lot A	lot B	lot B	lot A	lot A	lot B
8 chèvres	8 chèvres	6 chèvres	7 chèvres	7 chèvres	7 chèvres	7 chèvres

Tableau 12 : Chèvres infestées par *M. capillaris* recevant les spores

Semaine 1	Semaine 2	Semaine 3	Semaine 4	Semaine 5	Semaine 6	Semaine 7	Semaine 8
lot A	lot A	lot B	lot B	lot A	lot A	lot A	lot A
3 chèvres	3 chèvres	2 chèvres	2 chèvres	3 chèvres	3 chèvres	3 chèvres	3 chèvres

Le lot recevant les spores une semaine possède un témoin car l'autre lot ne reçoit pas les spores. La semaine suivante, le lot initialement traité ne reçoit pas les spores, il est ainsi son propre témoin dans le temps. On inverse chaque lot d'une semaine sur l'autre. La situation des lots selon les semaines de l'essai est présentée dans les tableaux 10 et 11.

Une chèvre du lot B de la souche résistante initial est morte en cours d'expérimentation, les lots ont par la suite été rééquilibrés à 7 chèvres chacun.

2.2.1.2. Protocole avec *M. capillaris*

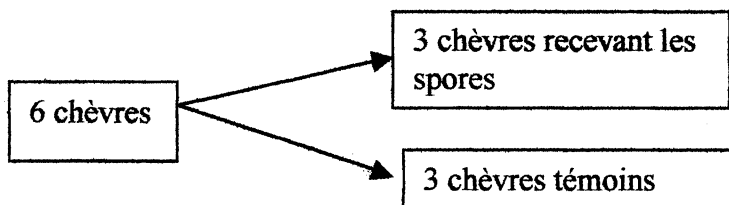


Figure 8 : Protocole expérimental visant à mettre en évidence l'activité de *D. flagrans* sur *M. capillaris*.

Préalablement à l'administration du champignon, des extractions de larves par la technique de Baermann et des coprocultures individuelles sont réalisées sur les 6 chèvres pour vérifier le niveau d'infestation et tenter de constituer des lots homogènes en excrétion initiale de larves 1.

Ensuite, il a été décidé d'alterner les 2 lots de façon à ce que chaque lot ait un témoin au moment de l'administration et puisse être son propre témoin dans le temps. La situation des lots suivant la semaine est rapportée dans le tableau 12.

Enfin, en cours d'essai, une chèvre a été exclue car le nombre de larves excrété était largement supérieur et très différent des autres ce qui perturbait l'homogénéité des lots et des résultats.

Les lots recevant ou non les spores sont entretenus dans 2 chèvres différentes, les animaux infestés par *T. circumcineta* et *M. capillaris* étant mélangés.

2.2.2. Administration des spores

Les spores sont distribuées mélangées manuellement à un complément minéral appétent PolycalciumND de la société Néolait. Le mélange est effectué chaque matin juste avant la distribution. L'homogénéisation du mélange spores-complément minéral est effectuée par retournements successifs et est vérifiée visuellement avant la distribution.

Chaque chèvre reçoit $5 \cdot 10^5$ spores par kg de poids vif et par jour, soit environ 2 grammes de spores mélangées dans 20 g de PolycalciumND distribués avant le repas du matin, pendant 7 jours.

Le mélange est réparti sur toute la longueur de l'auge lorsque tous les animaux sont bloqués par les cornadis. On leur laisse le temps de consommer le mélange puis on distribue les concentrés ce qui permet aux chèvres de nettoyer entièrement leur auge. On s'assure ainsi de l'entière consommation des spores.

Les chèvres ne recevant pas les spores reçoivent le complément minéral afin de garder les animaux dans des conditions parfaitement identiques à l'exception de l'administration de spores.

2.2.3. Traitement au fenbendazole

Les 2 lots fenbendazole ont reçu 5 mg/kg de poids vif de fenbendazole, 7 jours après le début d'administration des spores.

La dose ovine a été choisie pour plusieurs raisons : connaissance de la cinétique d'excrétion du fenbendazole dans les matières fécales (Short et al., 1987), désir de se placer dans des conditions proches de conditions de terrain.

L'essai avec le fenbendazole étant un échec (absence de développement des larves dans les matières fécales des lots traités au fenbendazole même en l'absence de distribution des spores), il a été abandonné et les sous-groupes de chèvres ont été fusionnés.

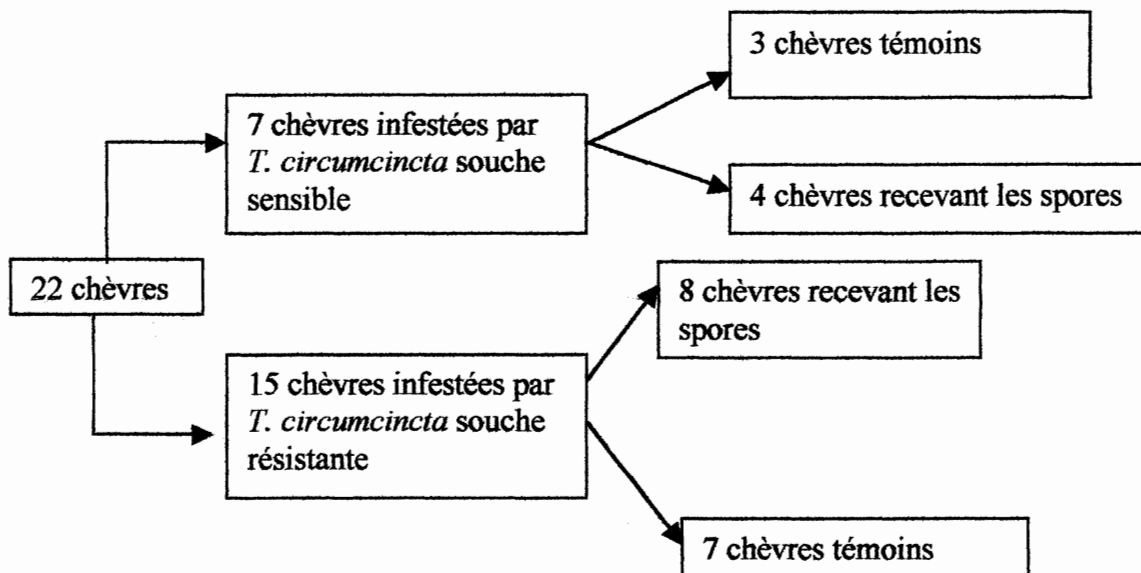


Figure 9 : Protocole expérimental visant à mettre en évidence l'activité de *D. flagrans* sur *T. circumcincta* (après l'arrêt de l'essai avec le fenbendazole).

2.2.4. Récolte des matières fécales

Les matières fécales sont prélevées 7 jours après le début d'administration du champignon ou 7 jours après l'arrêt d'administration des spores pour les chèvres n'en recevant pas. En effet, selon Larsen et *al.*, 1995b, *D. flagrans* n'est plus retrouvé dans les matières fécales le surlendemain de l'arrêt d'administration des spores, on peut donc considérer qu'à 7 jours, il n'y a plus de spores dans les matières fécales.

Pour l'essai fenbendazole, les matières fécales sont prélevées à 0, 24, 36 et 48 heures après l'administration de façon à suivre l'excrétion du principe actif dans les matières fécales (augmentation nette à 24 h, pic à 36 h puis décroissance, Short et *al.*, 1987).

Les matières fécales sont récoltées directement dans le rectum, individuellement, sur toutes les chèvres alors qu'elles sont au cornadis. Les gants sont essuyés entre chaque chèvre et changés au passage d'une chèvrerie à l'autre.

2.3. Analyses parasitologiques

2.3.1. Mesure de l'excrétion d'œufs et de larves 1

Le jour de la récolte, des coproscopies individuelles en lame de McMaster sont réalisées sur 3 grammes de matières fécales afin de déterminer le niveau d'excrétion d'œufs de strongles (opg : œufs par gramme de matières fécales) (Annexe).

Pour les chèvres infestées par *M. capillaris*, on mesure le nombre initial de larves 1 excrétées par la technique de Baermann (lpg : larves par gramme de matières fécales) (Annexe).

2.3.2. Mise en coproculture

Le jour de la récolte, on débute les coprocultures.

Le but de la coproculture est de permettre le développement conjoint des spores du champignon et des oeufs du parasite pour *T. circumcincta*. Pour *M. capillaris*, seul compte le développement du champignon car les larves 1 n'évoluent pas dans le milieu extérieur.

2.3.2.1. Mise en culture de *T. circumcincta*

On place 5 g de matières fécales dans un récipient étanche à 25 °C (dans une étuve pour maintenir la température constante), à l'obscurité, pendant 13 jours. Les cultures sont humidifiées et aérées 2 fois par semaine.

2.3.2.2. Mise en culture des matières fécales contenant *M. capillaris*

Pour *M. capillaris*, on place 3 fois 3 grammes de fèces dans 3 récipients différents étanches et fermés. Une de ces coprocultures sera lue après 7 jours, une autre après 10 jours et la dernière après 14 jours d'incubation à 25°C dans l'étuve, à l'obscurité. Les cultures sont humidifiées et aérées 2 fois par semaine. On pourra ainsi savoir à partir de quel moment *D. flagrans* est actif.

Les conditions de coproculture choisies sont conformes aux conditions de développement de *D. flagrans* décrites par Grønvold et al. en 1996 : température comprise entre 20 et 30 °C, fèces humides, oxygénation régulière.

2.3.3. Récolte des larves et comptage

Les larves sont ensuite récoltées par la technique de Baermann et comptées à la loupe binoculaire, larves 3 pour *T. circumcincta*, larves 1 pour *M. capillaris*.



Figure 10 : Représentation schématique des larves 3 de strongles digestifs et des larves 1 de *M. capillaris* (d'après Kerboeuf et al., 1997).

2.3.4. Mise en contact des larves 1 avec les escargots

Le prélèvement pour l'essai avec les escargots a eu lieu à la fin de la semaine 2.

100 g de matières fécales renfermant des larves 1 de *M. capillaris* sont placées pendant 10 jours en coproculture dans les mêmes conditions que celles décrites précédemment. Deux coprocultures correspondant aux lots de chèvres recevant ou non les spores sont réalisées.

Essai n°1 : Cinquante escargots sont ensuite placés dans des boîtes contenant un tapis de crottes de chaque lot et un espace de verdure.

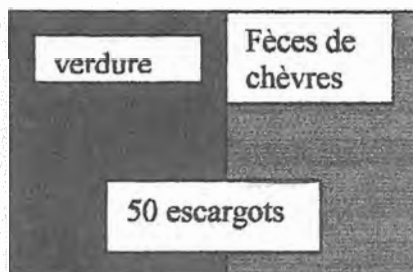


Figure 11 : Dispositif expérimental utilisé pour évaluer l'attractivité des matières fécales contenant *D. flagrans* et la capacité d'infestation des larves 1 de *Muellerius*.

Les escargots ont laissés en contact avec les crottes pendant 3 semaines, le temps de l'infestation et du développement en larves infestantes, les boîtes étant laissées à température ambiante et humidifiées régulièrement.

Essai n°2 : Au bout de ces 3 semaines, une partie des matières fécales est reprise et l'on en extrait par Baermann les larves 1 restantes. Ces L1 sont placées directement avec des escargots qui sont gardés 3 semaines.

Essai n°3 : On calcule la densité en larves 1 sur l'autre partie des matières fécales restantes. On dispose ensuite ces fèces dans de petites boîtes en veillant à fournir le même nombre de larves 1 par escargot présent. Les escargots sont laissés sur les boîtes pendant 3 semaines.

2.3.5. Mesure de l'infestation des escargots

Au bout de 3 semaines d'évolution, on écrase les escargots après les avoir décoquillés entre 2 lames et on compte le nombre de larves 3 infestantes présentes dans le pied à la loupe binoculaire.

2.4. Analyses statistiques

La plupart des données sont analysées par le test non paramétrique de Mann-Whitney utilisé pour comparer des moyennes car elles ont une distribution non normale.

Les analyses de variance et de covariance sont réalisées après transformation des données en $\log(x+1)$.

Le logiciel utilisé est StatMost 2.5 for Windows (DataMost Corporation, Salt Lake City, Etats-Unis).

3. Résultats

3.1. Activité sur la souche sensible de *T. circumcincta*

Le pourcentage de développement obtenu avec le lot témoin sans champignon est de 13.97% alors qu'il est de 2.23 % avec le lot traité.

Les intensités moyennes d'excrétion des œufs ne sont pas statistiquement différents ($p=0.65$) entre les 2 lots (tableau 13).

On peut donc comparer les résultats obtenus en larves par gramme. Les nombres moyens de larves par gramme sont statistiquement différents ($p<0.05$) entre le lot traité et le lot témoin (tableau 13).

On peut conclure que *D. flagrans* a une activité prédatrice significative à l'égard des larves 3 de *Teladorsagia circumcincta* souche sensible.

La réduction du développement des larves chez les animaux traités est égale à 84 % par rapport au développement des larves chez les animaux témoins.

Tableau 13 : Résultats obtenus après coproculture avec les animaux infestés par la souche sensible de *Teladorsagia circumcincta* recevant ou non les champignons

	opg moyens par chèvre	lpg moyennes par chèvre	Pourcentage de développement
Chèvres ne recevant pas les champignons (n = 28)	201 ^a	28 ¹	13.97 %
Chèvres recevant les champignons (n = 21)	194 ^a	4 ²	2.23 %
	Non significatif ($p=0.65$)	Significatif $p< 0.05$	réduction du pourcentage de développement des larves chez les chèvres recevant les champignons par rapport aux témoins : 84 %

opg : œufs par gramme de fèces; lpg : larves de type 3 par gramme de fèces.

Les lettres ou les chiffres différents sur une même colonne correspondent à une différence statistique $p<0.05$.

3.2. Activité sur la souche résistante de *T. circumcincta*

- 1^{er} cas : les excréations moyennes d'œufs par gramme moyens sont statistiquement différentes ($p < 0.05$) entre les animaux témoins et les animaux traités. Cette différence initiale empêche de conclure quant à la différence du nombre de larves par gramme moyens entre les animaux traités et les animaux témoins (tableau 14).

Toutefois, on constate que les nombres moyens de larves par gramme obtenus sont plus faibles dans le lot traité qui avait initialement les excréations d'œufs par gramme moyennes les plus élevées. On peut donc penser que la réduction du nombre moyen de larves par gramme a été plus importante dans ce lot.

- 2^{ème} cas : après ajustement des données (tableau 14)

Pour rendre les 2 lots comparables, on a éliminé les 5 chèvres excréant un nombre d'opg très élevé, > 650 opg et très différent des autres chèvres du lot traité.

Après cette correction, les excréations moyennes d'œufs par gramme du lot témoin et du lot traité ne sont plus statistiquement différentes ($p = 0.1$).

Le nombre moyen de larves par gramme et le pourcentage de développement dans le lot traité sont identiques à ceux obtenus avec l'ensemble des animaux.

Les nombres moyens de larves par gramme entre le lot traité et le lot témoin apparaissent statistiquement différents ($p < 0.01$).

- 3^{ème} cas :

On réalise une analyse de covariance sur les données initiales c'est-à-dire qu'on ramène les nombres moyens de larves par gramme observés à un même niveau d'excrétion moyen d'œufs par gramme (lpg ajustées par une équation de régression). On prend ainsi en compte la différence d'excrétion d'œufs par gramme du départ.

Pour cela, on transforme les données brutes x en $\log(x+1)$ pour stabiliser les variances ce qui autorise l'utilisation des tests paramétriques.

La variable à analyser est $\log(\text{lpg}+1)$, la covariable $\log(\text{opg}+1)$ et le facteur est présence ou absence de champignon.

Les résultats figurent dans le tableau 15.

Cette analyse donne une différence hautement significative ($p < 0.01$) entre les lots avec champignon et les lots sans champignon.

Le F obtenu par analyse de covariance étant supérieur au F obtenu par analyse de variance montre que le fait de ramener les lpg observés à une même valeur d'opg accentue encore les différences observées entre les 2 lots.

***D. flagrans* a donc une activité significative sur les larves 3 de la souche résistante de *T. circumcincta*.**

Le pourcentage de développement obtenu pour le lot témoin est de 18.2 % alors qu'il n'est que de 1.8 % pour le lot ayant reçu le champignon. On obtient une diminution du pourcentage de développement égale à 90 % entre les animaux traités par rapport aux animaux témoins.

Enfin, en comparant les résultats des tableaux 13 et 14, on constate qu'il n'y a pas de différence d'activité de *D. flagrans* entre les souches sensible et résistante.

Tableau 14 : Résultats obtenus après coproculture avec les animaux infestés par la souche résistante de *Teladorsagia circumcincta* recevant ou non les champignons

	opg moyens par chèvre	lpg moyennes par chèvre	Pourcentage de développement
Chèvres ne recevant pas les champignons (n = 57)	143 ^a	26 ¹	18.2 %
Chèvres recevant les champignons (n = 42)	230 ^b	4 ²	1.8 %
	significatif p< 0.01	significatif p< 0.01	pourcentage de réduction du pourcentage de développement des larves chez les chèvres traitées par rapport aux témoins : 90 %
chèvres recevant les champignons et ayant des valeurs d'opg inférieures à 650 (n = 37)	167 ^a	3 ²	1.9 %
	non significatif p=0.1	significatif p< 0.01	Pourcentage de réduction du pourcentage de développement des larves chez les chèvres traitées par rapport aux témoins : 90 %

Les lettres ou les chiffres différents sur une même colonne correspondent à une différence statistique $p < 0.05$.

Tableau 15 : Moyennes et moyennes ajustées du nombre d'opg et de lpg des chèvres infestées ou non par la souche résistante de *T. circumcincta*.

	opg	lpg	lpg ajustées
Témoins	1.94	1.13	0.47
Chèvres recevant les spores	2.15	0.54	0.47
Analyse de variance	F=3.89 p>0.05	F=35.9 p<0.001	
Analyse de covariance			F=61.92 p<0.001

3.3. Interaction entre *D. flagrans* et le fenbendazole

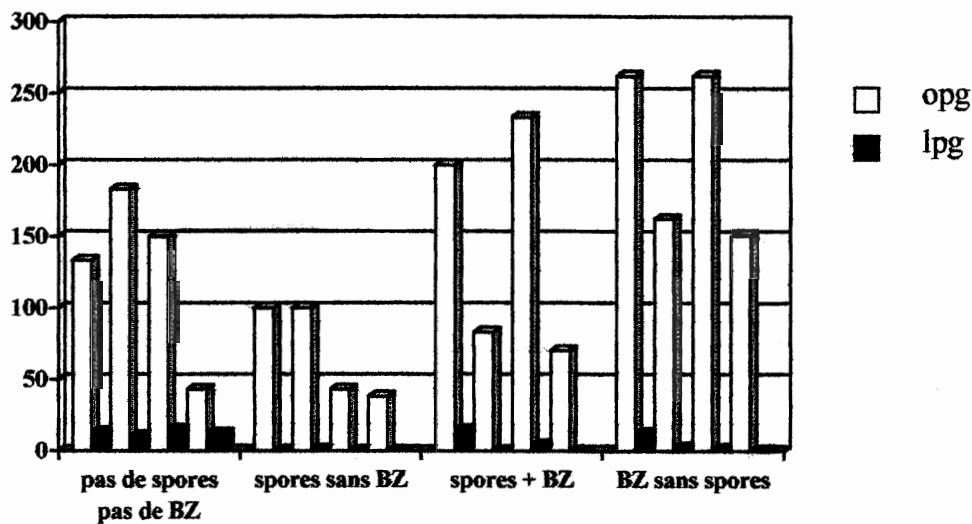


Figure 12 : Résultats en opg et en lpg obtenus pour chaque traitement aux heures de prélèvements : 0h, 24 h, 36 h et 48 h.

L'excrétion d'œufs et le développement larvaire sont très faibles même dans les lots ne recevant pas les champignons. De ce fait les résultats ne sont pas interprétables.

3.4. Activité sur *Muellerius capillaris*

3.4.1. Activité de *D. flagrans* sur les larves 1 en coproculture

La présence de façon répétée, et ce malgré les traitements successifs au pyrantel, de larves 3 dans les extractions à l'appareil de Baermann, à partir du 7^{ème} jour de coproculture, nous a conduit à prendre en compte les strongles digestifs en effectuant des coproscopies (opg) le jour du prélèvement.

Les chèvres sont aussi divisées en 2 lots selon leur niveau d'excrétion d'œufs de strongles, supérieur ou inférieur à 150 œufs par gramme.

Tous les lots sont identiques en nombre moyen de larves 1 par gramme au moment du prélèvement.

La baisse du nombre de L1 pendant les 7 premiers jours de coproculture est d'environ 70 % quelque soit le lot. Puis, les lpg ne diminuent plus entre 7 et 10 jours, pour à nouveau diminuer de façon significative entre 10 et 14 jours d'environ 30 %.

On ne peut pas conclure à une activité directe de *D. flagrans* sur les larves 1 de *Muellerius* qu'il y ait ou non des larves 3 de strongles digestifs.

Tableau 16 : Résultats obtenus après coproculture avec les animaux infestés par *Muellerius capillaris* recevant ou non les champignons

	à J0	à J7	à J10	à J14
lpg moyennes par chèvre ne recevant pas les champignons n=24	507 ^a	154 ^b	148 ^b	98 ^c
lpg moyennes par chèvre recevant les champignons n = 24	595 ^A	194 ^B	170 ^B	92 ^C
lpg moyennes par chèvre recevant les champignons et ayant une excrétion d'oeufs de strongles digestifs > 150 par gramme de fèces n = 11	503 ^a	160 ^b	132 ^b	75 ^c
	non significatif (p=0.3)	non significatif (p=0.2)	non significatif (p=0.3)	non significatif (p=0.7)

A J0 : le jour du prélèvement ; à J7 : après 7 jours de coproculture ; à J10 : après 10 jours de coproculture ; à J14 : après 14 jours de coproculture.

Les lettres différentes sur une même ligne correspondent à une différence statistique par date. Les résultats en bas de chaque colonne correspondent aux différences statistiques par groupe d'animaux.

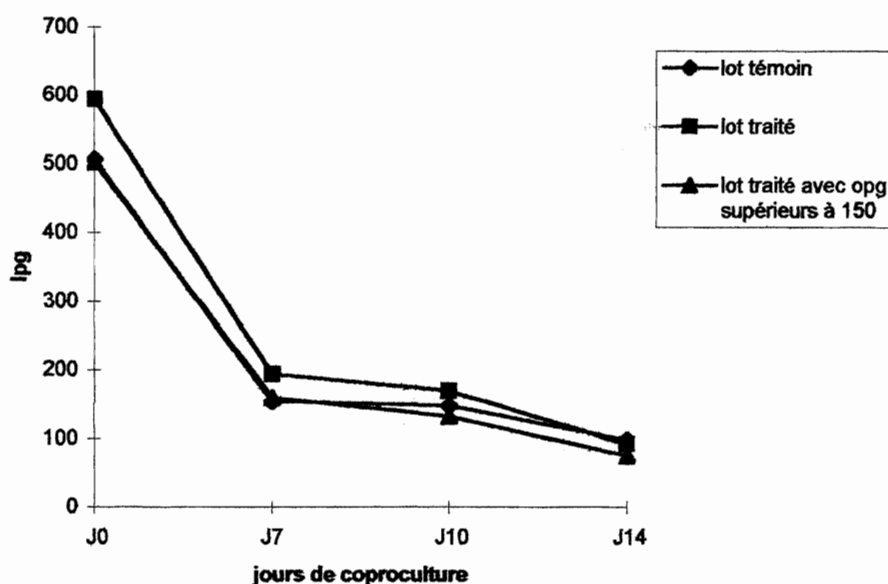


Figure 13 : Evolution du nombre de larves 1 par gramme de fèces en fonction du lot et du temps de coproculture

3.4.2. Influence de *D. flagrans* sur la capacité d'infestation des larves 1 de *Muellerius*

Essai n°1 : Les escargots utilisés comme hôtes intermédiaires sont placés pendant 3 semaines sur un tapis de matières fécales ayant subi 10 jours de coproculture.

L'observation du comportement des escargots par le Dr Cabaret n'a pas mis en évidence de différence d'un lot à l'autre, les escargots placés sur les matières fécales contenant le champignon ayant utilisé de façon identique les 2 zones mises à leur disposition.

La présence du champignon ne semble donc pas modifier de manière flagrante l'attractivité des fèces pour les escargots.

Le décompte du nombre de larves 3 par escargot après 3 semaines de contact met en évidence un nombre moindre de larves infestantes de *M. capillaris* pour les fèces d'animaux traités par rapport aux animaux témoins (tableau 17). Toutefois cette différence pourrait être liée à une quantité de L1 supérieure dans les fèces témoins.

Essai n°2 : Les L1 restantes sont extraites d'une partie des matières fécales résiduelles après les 3 semaines. Ces L1 sont placées directement en contact avec les escargots pendant 3 semaines.

On ne constate pas de différence entre l'infestivité des larves 1, qu'elles proviennent des fèces traitées ou des fèces témoins.

Essai n°3 : Des escargots sont placés 3 semaines sur le reste des matières fécales en veillant à offrir à chaque escargot le même nombre de L1 (calcul de la densité des fèces en L1). Les résultats sont présentés dans le tableau 18.

On retrouve significativement moins de larves infestantes dans les escargots placés sur fèces contenant le champignon par rapport aux témoins.

L'ensemble des essais permet d'émettre l'hypothèse que les effets observés seraient plus dus à une différence de survie après 5 semaines de contact entre les L1 et le champignon qu'à une réelle différence d'infestivité.

Tableau 17 : Nombre de larves 3 de *Muellerius* retrouvées dans les escargots placés sur fèces contenant ou non le champignon

	Nombre moyen de L3 par escargot
Escargots témoins n=61	65 ^a
Escargots sur fèces avec champignon n=62	21 ^b
Pourcentage de réduction du nombre de larves infestantes	67 %

Les lettres différentes dans une même colonne correspondent à une différence statistique ($p < 0.05$).

Tableau 18 : Nombre de larves 3 de *M. capillaris* par escargot, après contrôle de la densité des fèces en L1

	Nombre de L3 par escargot
Escargots sur fèces témoins (n=13)	1.46 ^a
Escargots sur fèces contenant le champignon (n=19)	0.11 ^b
Pourcentage de réduction du nombre de larves infestantes	92 %

Les lettres différentes dans une même colonne correspondent à une différence statistique ($p < 0.05$).

4. Discussion

4.1. Matériels et méthodes

4.1.1. Entretien des animaux

Les chèvres sont des animaux de réforme, pour certains en mauvais état. Elles sont alimentées par une ration d'entretien équilibrée qui leur permet de couvrir tous leurs besoins.

Elles sont nourries 2 fois par jour par seulement 2 personnes différentes ce qui permet un bon suivi des animaux au plan pathologique notamment.

Lors de la détection d'une anomalie, les animaux malades ont été immédiatement isolés et traités. Pendant leur isolement, l'administration des spores a été poursuivie de façon individuelle.

Les 2 animaux morts en cours d'expérimentation ont fait l'objet d'un diagnostic de paratuberculose.

Les 2 lots, traité et non traité, sont entretenus dans 2 chèvreries différentes. Lors du changement de lot pour l'administration des spores, les animaux sont physiquement changés de chèvrerie de façon à ce que les spores soient toujours administrées dans la même auge. On évite ainsi les possibles contaminations résiduelles de l'auge des animaux non traités.

4.1.2. Choix des parasites

Le choix s'est porté sur 2 des helminthes les plus communs de la chèvre, un strongle gastro-intestinal, *Teladorsagia circumcincta* et un strongle respiratoire, *Muellerius capillaris*.

On aurait pu rajouter à ces 2 espèces le 3^{ème} helminthe très fréquent et très concerné par la résistance aux benzimidazoles, le strongle intestinal *Trichostrongylus colubriformis*. Cela aurait permis de comparer l'efficacité de *D. flagrans* sur 2 strongles gastro-intestinaux qui ont le même cycle de développement mais qui ne présentent pas les mêmes caractéristiques de ponte ni les mêmes capacités de résistance aux anthelminthiques.

La faible excrétion d'œufs initiale suite à l'infestation des chèvres par 5000 L3 de *T. circumcincta* a obligé à réinfester par 7500 L3/ chèvre, 4 semaines plus tard, de façon à obtenir un nombre de larves suffisant pour interpréter les résultats.

Cette réinfestation en modifiant le nombre de larves disponibles pour le champignon a dû modifier son activité. Il faudrait séparer les résultats obtenus en 2 périodes différentes avant et après la réinfestation.

L'augmentation du nombre d'opg excrétés n'ayant pas été importante et la séparation en 2 lots se faisant au détriment de la taille des échantillons, tous les résultats ont été analysés ensemble.

L'utilisation de chèvres naturellement infestées n'a pas permis de tester l'efficacité de *D. flagrans* sur les larves 1 de *M. capillaris* isolées. La présence de larves 3 de strongles gastro-intestinaux résistants au pyrantel, du genre *Trichostrongylus* après identification rapide au microscope, a interféré dans les résultats sans que l'on puisse clairement mettre en évidence de quelle façon puisque la diminution du nombre de L1 n'est pas plus importante chez les chèvres présentant le plus de strongles.

4.1.3. Administration des spores

La méthode d'administration des spores ne permet pas de vérifier que chaque chèvre ingère tous les jours $5 \cdot 10^5$ spores/kg de poids vif et cela pour 3 raisons :

- le mélange est effectué manuellement. Les spores et le complément minéral n'ont pas la même densité. L'appréciation de l'homogénéité du mélange se fait visuellement et est donc approximative.

- le mélange est distribué de façon collective alors que les animaux sont bloqués par les cornadis. L'appréciation de la répartition homogène du mélange sur toute la longueur de l'auge est subjective.

- enfin, rien n'empêche une chèvre plus « goulue » ou dominante de consommer la ration de mélange placée devant sa voisine.

Cependant, les spores sont administrées chaque jour pendant une semaine avant le prélèvement et toujours par la même personne. Chaque jour, on s'assure de l'entière consommation des spores par le mélange dans le complément minéral appétent d'abord, puis par la distribution des concentrés immédiatement après le mélange.

On peut donc considérer que chaque chèvre a reçu une dose moyenne de $5 \cdot 10^5$ spores/kg de poids vif par jour sur une semaine même si nous n'avons aucun moyen de le contrôler.

Enfin, ces conditions d'administration pourraient correspondre aux conditions réelles dans le cas où les spores seraient distribuées, par les éleveurs, mélangées aux concentrés en salle de traite, une distribution de manière individuelle étant encore plus contraignante que dans notre cas.

4.1.4. Analyses parasitologiques

Aucune des techniques parasitologiques utilisées n'a permis de visualiser la présence et le développement du champignon dans les matières fécales. Seule la réduction du nombre de larves par rapport au témoin permet de supposer que le champignon s'est développé.

Au cours de cet essai, il n'y a donc jamais eu de mise en évidence directe de la présence du champignon dans les matières fécales.

L'ensemble des analyses parasitologiques a été réalisée par un seul opérateur ce qui permet d'éliminer d'éventuels biais de lecture.

4.2. Essai avec *Teladorsagia circumcincta*

4.2.1. Choix de la dose de spores de *D. flagrans*

La dose choisie, $5 \cdot 10^5$ spores par kg de poids vif, est comparable aux doses rapportées dans la bibliographie. En particulier, chez la chèvre, Gawor et *al.* ont utilisé cette dose pour leur essai de 1999.

4.2.2. Taux de développement des œufs

Les taux de développement obtenus, 14 et 18 % pour les témoins, sont faibles par rapport à ceux obtenus par Rossanigo et *al.* en 1995 pour *T. circumcincta* : dans cette étude, le pourcentage de développement variait de 36.2 % à 51.4 % selon les conditions de coproculture.

Plusieurs raisons peuvent expliquer ces rendements médiocres :

- d'abord une faible aptitude au développement des formes libres des souches
- ensuite, de mauvaises conditions de coproculture : le temps de coproculture, au départ fixé à 11 jours, a par la suite été rallongé à 14 jours entraînant une amélioration des rendements. D'autre part, l'humidification par spray d'eau sur les fèces, initialement réalisée au moment de la mise en coproculture, a, par la suite, été effectuée 2 fois par semaine, pour tenir compte du fait que les fèces des animaux nourris exclusivement en alimentation sèche, n'étaient pas assez humides naturellement pour permettre le développement des œufs.
- la température et l'oxygénation, fixées selon les données de Grønvold et al. en 1996 ont été maîtrisées par l'utilisation d'une étuve et l'ouverture des boîtes 2 fois par semaine et n'ont pas été modifiées en cours d'essai.

Malgré le faible taux de développement, les résultats sont interprétables.

4.2.3. Résultats

4.2.3.1. Efficacité de *D. flagrans* sur les larves 3 de *T. circumcincta*

Pour la souche sensible, la réduction du pourcentage de développement est de 84 %. Pour la souche résistante, elle est de 90 %.

Les résultats obtenus sont comparables à ceux de Gawor et al. en 1999 qui avaient obtenu, en administrant *D. flagrans* à 3 doses différentes : $5 \cdot 10^4$, $2.5 \cdot 10^5$, $5 \cdot 10^5$ par kg de poids vif pendant 5 jours consécutifs à des chèvres, 98.8 % d'efficacité sur les trichostrongles à la dose de $5 \cdot 10^5$.

Ces résultats sont aussi comparables à l'ensemble des résultats rapportés dans la bibliographie où quelles que soient les conditions expérimentales et l'espèce (ovin ou bovin), le pourcentage de réduction du nombre de larves infestantes suite à l'administration de spores de *D. flagrans* est supérieur à 80 %.

4.2.3.2. Comparaison de l'efficacité entre les souches

On ne trouve pas de différence de sensibilité au champignon entre la souche de *T. circumcincta* sensible aux benzimidazoles et la souche de *T. circumcincta* résistante aux benzimidazoles.

Cet aspect n'a jamais été abordé à notre connaissance. Or des souches différentes, en particulier à l'égard de leur sensibilité aux anthelminthiques, pourraient avoir des comportements différents vis-à-vis de *D. flagrans*.

De même les larves de nématodes qui échappent à l'activité des filaments mycéliens pourraient présenter des caractéristiques biologiques particulières ayant éventuellement un support génétique.

4.2.3.3. Interaction entre *D. flagrans* et le fenbendazole

L'absence quasi-totale de développement des oeufs dans les 2 lots ayant reçu du fenbendazole ne permet pas de conclure. Cette absence pourrait être expliquée par l'effet ovicide résiduel du fenbendazole sur des souches dont le niveau de résistance ne serait pas très élevé (fréquence faible de l'allèle de résistance).

Comme nous l'avons vu dans la bibliographie, cette interaction benzimidazoles-champignon doit être étudiée en vue d'une utilisation conjointe pour contrôler à la fois les adultes et les larves.

On pourrait reprendre cet essai soit avec une souche de strongle gastro-intestinal présentant un niveau de résistance plus élevé, soit avec une espèce de strongle dont la ponte est supérieure à celle de *T. circumcincta* comme *Trichostrongylus colubriformis*.

Il faudrait le répéter avec différentes doses de fenbendazole, la dose ovine et la dose recommandée pour les caprins par exemple, voire avec différents anthelminthiques.

4.3. Essai avec *Muellerius capillaris*

4.3.1. Activité directe de *D. flagrans* sur les larves 1 de *Muellerius capillaris*

Aucune activité de *D. flagrans* sur les larves de type 1 de *M. capillaris* n'est clairement démontrée dans notre étude.

La diminution du nombre de larves constatée entre J0 et J7 et entre J10 et J14 est due à une mortalité naturelle et non à une activité de *D. flagrans*. Les L1 quittent activement les fèces après leur émission en conditions naturelles pour chercher leur hôte intermédiaire et un maintien prolongé dans les fèces de 10 à 14 jours ne constitue pas une situation habituelle sauf si les conditions extérieures aux matières fécales sont défavorables (Cabaret et al., 1991).

Ce résultat peut s'expliquer par le fait que les larves 1 de *M. capillaris*, peu mobiles, induisent peu la formation des réseaux (Grønvold et al., 1993). Cette information est originale car à notre connaissance aucune étude n'a été réalisée sur l'efficacité de *D. flagrans* vis-à-vis des protostrongles.

La mobilité des L1 de *M. capillaris* est soumise à de nombreux facteurs en particulier l'humidité et la température comme l'ont montré Cabaret et al. en 1991. D'autres études pourraient être menées pour évaluer parallèlement les effets de variations d'humidité et de température sur la mobilité des L1 et sur l'activité consécutive de *D. flagrans*.

D'autre part, la présence de larves 3 de strongles gastro-intestinaux n'influe pas sur l'activité de *D. flagrans* sur *M. capillaris* contrairement aux résultats obtenus par Fernandez et al., 1999a, avec *Dictyocaulus viviparus*. Ces auteurs obtiennent en effet une meilleure réduction du nombre de larves de *D. viviparus* quand elles sont associées, dans les matières fécales, avec des larves de *Cooperia* ou d'*Ostertagia* (nombre d'opg initial compris entre 224 et 244). Ce phénomène est expliqué par le fait que ce sont les larves 3 de strongles très mobiles qui induisent la formation des réseaux qui permettent ensuite au champignon de consommer toutes les larves sans distinction.

A notre connaissance, un éventuel seuil de larves 3 par gramme de fèces de strongles gastro-intestinaux nécessaire pour « stimuler » l'activité de *D. flagrans* sur *D. viviparus* n'a pas été déterminé.

Dans notre essai, nous avons essayé de nous débarrasser des strongles digestifs par un traitement au pyrantel de façon à ne pas avoir d'interférences. Le traitement s'est révélé partiellement inefficace. Le nombre d'adultes et donc les excréments d'œufs de strongles digestifs se sont peut-être avérés insuffisants pour stimuler la formation des réseaux.

Les excréments d'opg étaient pourtant comparables à celles obtenues avec les chèvres infestées par *T. circumcincta* ainsi qu'à ceux décrits par Fernandez et *al.*, 1999a. L'activité de *D. flagrans* sur les larves se développant à partir de ces œufs n'a pas été évaluée et l'on ne peut donc pas savoir dans quelle mesure les réseaux se sont développés.

4.3.2. Mesure de l'attractivité et de l'infestivité

D'une part, l'attractivité des fèces contenant le champignon pour les escargots n'est pas modifiée de façon flagrante.

Il semblerait, d'après les résultats obtenus avec l'essai n°1, que le nombre de larves infestantes retrouvées dans les escargots sur fèces traitées soit réduit de 67 %.

Toutefois, comme le nombre de larves de type 1 présentes initialement dans les fèces n'a pas été contrôlé, on ne peut pas savoir si cette différence est due à une baisse d'infestivité des larves ayant subi l'action du champignon ou simplement à un nombre initial de larves moins grand dans les fèces du lot traité.

Les essais suivants mettent en évidence qu'il y a vraisemblablement peu de différence d'infestivité entre les L1 provenant de fèces traitées et les L1 des fèces témoins mais sans doute une différence de survie.

Des études à plus grande échelle, en particulier en augmentant les effectifs d'escargots, sont à réaliser à partir de coprocultures pures de *M. capillaris* et de *D. flagrans* pour permettre de distinguer une action du champignon sur l'infestivité ou sur la survie des larves 1.

5. Conclusion de la partie expérimentale

Cet essai a permis de démontrer l'efficacité de *D. flagrans*, administré par voie orale à des chèvres à la dose de 500000 spores par kg de poids vif par jour pendant 7 jours, à réduire le nombre de larves 3 de *Teladorsagia circumcincta* dans les fèces en coproculture.

Des essais complémentaires en condition de terrain sont nécessaires pour savoir si cette activité permet de réduire de façon significative l'infestivité des pâturages, pour connaître quelle influence peuvent avoir les conditions climatiques (température, humidité) sur le développement et l'efficacité du champignon.

Ces essais pourront porter sur les helminthes majeurs de la chèvre comme *Trichostrongylus colubriformis*, très fréquent et souvent résistant aux anthelminthiques ou *Haemonchus contortus*, moins fréquent mais dont les conséquences au plan clinique sont majeures.

Afin de se rapprocher des infestations naturelles, ces essais pourront être menés avec des infestations et/ou répétées.

Ensuite, cette méthode de contrôle biologique doit être essayée dans des conditions réelles en ferme où la distribution des spores sera encore moins rigoureusement contrôlée que dans notre essai car elle est très contraignante.

L'efficacité de *D. flagrans*, administré de façon identique, sur *Muellerius capillaris* n'a pas clairement été démontrée. On observe peu d'effet sur la survie des L1. Toutefois, les résultats obtenus avec les escargots (possible réduction de l'infestivité) sont encourageants et appellent d'autres études dans ce sens-là, en particulier en contrôlant le nombre de larves 1 mis en contact avec un plus grand nombre d'escargots.

CONCLUSION

L'étude bibliographique a montré l'urgence qu'il y a à développer de nouveaux schémas de contrôle des helminthoses chez la chèvre. Ces schémas de contrôle pourront inclure des méthodes variées dont la vaccination, la gestion du pâturage ou le contrôle biologique. L'étude personnelle a démontré l'efficacité de l'utilisation du champignon nématophage *Duddingtonia flagrans* administré sous forme de spores par voie orale de façon quotidienne pour le contrôle des strongyloses gastro-intestinales chez la chèvre.

L'administration de spores de champignons nématophages par voie orale, après adaptation commerciale, étude complète de l'impact sur l'environnement et étude des dangers potentiels pour le consommateur, pourrait donc être une méthode de contrôle du parasitisme intéressante et efficace chez la chèvre, en complémentarité avec l'utilisation des anthelminthiques et des autres méthodes alternatives.

AGREMENT ADMINISTRATIF

Je soussigné, M. BONNES, Directeur par intérim de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse, certifie que

Mle PARAUD Carine

a été admis(e) sur concours en : 1996

a obtenu son diplôme d'études fondamentales vétérinaires le : 15 septembre 2000

n'a plus aucun stage, ni enseignement optionnel à valider.

AGREMENT SCIENTIFIQUE

Je soussigné, Philippe JACQUIET, Maître de Conférences de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse, déclare que j'ai lu la thèse de :

Mle PARAUD Carine

intitulée :

Efficacité du champignon nématophage *Duddingtonia flagrans* sur *Teladorsagia circumcincta* et *Muellerius capillaris* chez la chèvre

et que je prends la responsabilité de l'impression.

**Le Professeur
de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse**



Docteur Philippe JACQUIET

**Vu :
Le Directeur par intérim
de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse**



Professeur Gilbert BONNES

**Vu :
Le Président de la thèse :**

**Parasitologie - Mycologie
Professeur JF. MAGNAVAL
C.H.U. RANGUEIL
81403 TOULOUSE Cedex 4**

Professeur Jean-François MAGNAVAL



**Vu le : 18 mai 2001
Le Président
de l'Université Paul Sabatier**



Professeur R. BASTIDE



BIBLIOGRAPHIE

ATHANIASADOU S.

Effects of short-term exposure to condensed tannins on adult *Trichostrongylus colubriformis*.
Veterinary Record, 2000, **146**, 728-732.

BANG, K.S., FAMILTON, A.S. et SYKES, A.R.

Effect of copper oxide wire particle treatment on establishment of major gastrointestinal nematodes in lambs.

Research in Veterinary Science, 1990, **49**, 132-137.

BARGER, I.A.

The role of epidemiological knowledge and grazing management for helminth control in small ruminants.

International Journal for Parasitology, 1999, **29**, 41-47.

BAUDENA, M.A., CHAPMAN, M.R., LARSEN, M. et KLEI, T. R.

Efficacy of the nematophagous fungus *Duddingtonia flagrans* in reducing equine cyathostome larvae on pasture in south Louisiana.

Veterinary Parasitology, 2000, **89**, 219-230.

BISHOP, S.C. et STEAR, M.J.

Genetic and epidemiological relationships between productivity and disease resistance : gastro-intestinal parasite infection in growing lambs.

Animal Science, 1999, **69**, 515-524.

BOURDEAU, P.

Les protostrongles des petits ruminants.

Le Point Vétérinaire, 1997, **28**, n° spécial « Parasitologie des ruminants », 1805-1806.

CABARET, J., ANJORAND, N. et LECLERC, C.

Les élevages caprins en Touraine. I. Mode d'élevage, parasitisme et estimation des pathologies chez la chèvre adulte.

Recueil de Médecine Vétérinaire, 1986, **162**, 5, 575-585.

CABARET, J., RISYE RISEANI, S. et BAEZA, E.

Survival of sheep and goat first stage protostrongylid larvae in experimental conditions : influence of humidity and temperature.

Journal of Helminthology, 1991, **65**, 201-207.

CHANDRAWATHANI, P., OMAR, J. et WALLER, P.J.

The control of the free-living stages of *Strongyloides papillosus* by the nematophagous fungus, *Arthrobotrys oligospora*.

Veterinary Parasitology, 1998, **76**, 321-325.

CHARTIER, C., PORS, I., PELLET, M.P, LOSDAT, J. et PANELLE, A.

Le parasitisme interne des chèvres laitières élevées en zéro-pâturage.

Recueil de Médecine Vétérinaire, 1992a, **168**, 6/7, 429-439.

CHARTIER, C. et RECHE, B.

Gastrointestinal helminths and lungworms of french dairy goats : prevalence and geographical distribution in Poitou-Charentes.

Veterinary Research Communications, 1992b, **16**, 5, 327-335.

CHARTIER, C. et HOSTE, H.

Impact des strongyloses gastro-intestinales sur la physiologie digestive et sur la production laitière chez les caprins.

Bulletin des GTV, 1996, **3**, 85-93.

CHARTIER, C. et HOSTE, H.

La thérapeutique anthelminthique chez les caprins.

Le Point Vétérinaire, 1997, **28**, n° spécial « Parasitologie des ruminants », 1907-1914.

CHARTIER, C., PORS, I., HUBERT, J., ROCHETEAU, D., BENOIT, C. et BERNARD, N.

Prevalence of anthelmintic resistant nematodes in sheep and goats in Western France.

Small Ruminant Research, 1998, **29**, 33-41.

CHARTIER, C., ETTER, E., HOSTE, H., PORS, I., KOCH, C. et DELLAC, B.

Efficacy of copper oxide needles for the control of nematodes parasites in dairy goats.

Veterinary Research Communications, 2000a, **24**, 6, 389-399.

CHARTIER, C., ETTER, E., HOSTE, H., PORS, I., MALLEREAU, M.P., BROQUA, C., MALLET, S., KOCH, C. et MASSE, A.

Effects of the initial level of milk production and of the dietary protein intake on the course of natural nematode infection in dairy goats.

Veterinary Parasitology, 2000b, **92**, 1-13.

COOP, R.L. et HOLMES, P.H.

Nutrition and parasite interaction.

International Journal for Parasitology, 1996, **26**, 8/9, 951-962.

COOP, R.L.

Interaction entre alimentation et parasites.

Proceedings Congrès de la Société Française de Buiatrie.

Paris, 15-17 novembre 2000, p.169.

DORCHIES, P.

Etat actuel des résistances anthelminthiques en France.

Revue de Médecine Vétérinaire, 1994, **145**, 5, 327-335.

ETTER, E., CHARTIER, C., HOSTE, H., PORS, I., LEFRILEUX, Y., BROQUA, C., VALLADE, S. et GOUDEAU, C.

Parasitisme par les nématodes du tube digestif et utilisation du pâturage : épidémiologie de l'infestation dans les troupeaux caprins laitiers en France.

Epidémiologie et santé animale, 2000a, **37**, 75-86.

ETTER, E., HOSTE, H., CHARTIER, C., PORS, I., KOCH, C., BROQUA, C. et COUTINEAU, H.

The effect of two levels of dietary protein on resistance and resilience of dairy goats experimentally infected with *Trichostrongylus colubriformis* : comparison between high and low producers.

Veterinary Research, 2000b, **31**, 247-258.

FAEDO, M., LARSEN, M. et 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. et *Duddingtonia flagrans*.

Veterinary Parasitology, 1997, **72**, 149-155.

FAEDO, M., BARNES, E.H., DOBSON, R.J. et WALLER, P.J.

The potential of nematophagous fungi to control the free-living stages of nematode parasites of sheep : pasture plot study with *Duddingtonia flagrans*.

Veterinary Parasitology, 1998, **76**, 129-135.

FERNANDEZ, A.S., LARSEN, M., NANSEN, P., GRØNVOLD, J., HENRIKSEN, S.A. et WOLSTRUP, J.

Effect of the nematode-trapping fungus *Duddingtonia flagrans* on the free-living stages of horse parasitic nematodes : a plot study.

Veterinary Parasitology, 1997, **73**, 257-266.

FERNANDEZ, A.S., LARSEN, M., NANSEN, P., GRØNVOLD, J., HENRIKSEN, A.S., BJØRN, H. et WOLSTRUP, J.

The efficacy of two isolates of the nematode-trapping fungus *Duddingtonia flagrans* against *Dictyocaulus viviparus* larvae in faeces.

Veterinary Parasitology, 1999a, **85**, 289-304.

FERNANDEZ, A.S., LARSEN, M., NANSEN, P., HENNINGSEN, E., GRØNVOLD, J., WOLSTRUP, J., HENRIKSEN, S.A. et BJØRN, H.

The ability of the nematode-trapping fungus *Duddingtonia flagrans* to reduce the transmission of infective *Ostertagia ostertagi* larvae from faeces to herbage.

Journal of Helminthology, 1999b, **73**, 115-122.

GAWOR, J., BORECKA, A. et LARSEN, M.

Efficacy of *Duddingtonia flagrans* against trichostrongylids larvae in goats.

Abstracts 17th international conference of the World Association for the Advancement of Veterinary Parasitology, 15-19 août 1999, Copenhagen.

GITHIGIA, S.M., THAMSBORG, S.M., LARSEN, M., KYVSGAARD, N.C. et NANSEN, P.

The preventive effect of the fungus *Duddingtonia flagrans* on trichostongyle infections of lambs on pasture.

International Journal for Parasitology, 1997, **27**, 8, 931-939.

GRAY, G.D.

The use of genetically resistant sheep to control nematode parasitism.

Veterinary Parasitology, 1997, **72**, 345-366.

GRØNVOLD, J., WOLSTRUP, J., NANSEN, P. et HENRIKSEN, S.A.

Nematode-trapping fungi against parasitic cattle nematodes.

Parasitology Today, 1993, **9**, 4, 137-140.

GRØNVOLD, J., HENRIKSEN, S.A., LARSEN, M., NANSEN, P. et WOLSTRUP, J.

Biological control. Aspects of biological control- with special reference to arthropods, protozoans and helminths of domesticated animals.

Veterinary Parasitology, 1996a, **64**, 47-64.

- GRØNVOLD, J., NANSEN, P., HENRIKSEN, S.A., LARSEN, M., WOLSTRUP, J., BRESCIANI, J., RAWAT, H. et FRIBERT, L.
 Induction of traps by *Ostertagia ostertagi* larvae, chlamyospore production and growth rate in the nematode-trapping fungus *Duddingtonia flagrans*.
Journal of Helminthology, 1996b, **70**, 291-297.
- GRØNVOLD, J., WOLSTRUP, J., NANSEN, P., LARSEN, M., HENRIKSEN, S.A., KIRCHHEINER, K., LASSEN, K., RAWAT, H. et KRISTIANSEN, H.L.
 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.
- GRØNVOLD, J., WOLSTRUP, J., LARSEN, M., NANSEN, P. et BJØRN, H.
 Absence of obvious short term impact of the nematode-trapping fungus *Duddingtonia flagrans* on survival and growth of the earthworm *Aporrectodea longa*.
Acta Veterinaria Scandinavica, 2000, **41**, 147-151.
- HAY, F.S., NIEZEN, J.H., MILLER, C., BATESON, L. et 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.
- HENRIKSEN, S.A., LARSEN, M., GRØNVOLD, P., NANSEN, P. et WOLSTRUP, J.
 Nematode-trapping fungi in biological control of *Dictyocaulus viviparus*.
Acta Veterinaria Scandinavica, 1997, **38**, 175-179.
- HOSTE, H. et CHARTIER, C.
 Perspectives de lutte contre les strongyloses gastro-intestinales des ruminants domestiques.
Le Point Vétérinaire, 1997a, **28**, n° spécial « Parasitologie des ruminants », 1963-1969.
- HOSTE, H., HUBY, F. et MALLETT, S.
 Strongyloses gastro-intestinales des ruminants : conséquences physiopathologiques et mécanismes pathogéniques.
Le Point Vétérinaire, 1997b, **28**, n° spécial « Parasitologie des ruminants », 1835-1841.
- HOSTE, H. et CHARTIER, C.
 Résistance des chèvres aux strongyloses gastro-intestinales : différences avec les moutons.
Le Point Vétérinaire, 1998, **29**, 161-166.
- HOSTE, H., CHARTIER, C., ETTER, E., GOUDEAU, C., SOUBIRAC, F. et 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**, 7, 459-469.
- HOUTERT Van, M.F.J. et SYKES, A.R.
 Implications of nutrition for the ability of ruminants to withstand gastrointestinal nematode infections.
International Journal for Parasitology, 1996, **26**, 11, 1151-1168.

JACKSON, F.

Options for the sustainable control of gastro-intestinal nematode infections in goat production systems in Europe.

In : 7th International Conference on Goats, France, 15-21 mai 2000, 789-792.

JACQUIET, P.

Les strongles digestifs des ruminants.

Le Point Vétérinaire, 1997, **28**, n° spécial « Parasitologie des ruminants », 1802-1803.

JACQUIET, P.

La résistance aux anthelminthiques : situation actuelle, dépistage et stratégies de lutte.

Bulletin Mensuel de la Société Vétérinaire Pratique de France, 1999, T. **83**, 6-7, p.357-383.

KERBOEUF, D., HUBERT, J. et HOSTE, H.

Le diagnostic de laboratoire des strongyloses des ruminants.

Le Point Vétérinaire, 1997, **28**, n° spécial « Parasitologie des ruminants », 1871-1878.

KNOX, M.R. et STEEL J.W.

The effects of urea supplementation on production and parasitological responses of sheep infected with *Haemonchus contortus* and *Trichostrongylus colubriformis*.

Veterinary Parasitology, 1999, **83**, 123-135.

LARSEN, M., WOLSTRUP, J., HENRIKSEN, S.A., DACKMAN, C., GRØNVOLD, J. et NANSEN, P.

In vitro stress selection of nematophagous fungi for biocontrol of parasitic nematodes in ruminants.

Journal of Helminthology, 1991, **65**, 193-200.

LARSEN, M., WOLSTRUP, J., HENRIKSEN, S.A., GRØNVOLD, J. et NANSEN, P.

In vivo passage through calves of nematophagous fungi selected for biocontrol of parasitic nematodes.

Journal of Helminthology, 1992, **66**, 137-141.

LARSEN, M., NANSEN, P., HENRIKSEN, S.A., WOLSTRUP, J., GRØNVOLD, J., ZORN, A. et WEDØ, E.

Predacious activity of the nematode-trapping fungus *Duddingtonia flagrans* against cyathostome larvae in faeces after passage through the gastro-intestinal tract of horses.

Veterinary Parasitology, 1995a, **60**, 315-320.

LARSEN, M., NANSEN, P., WOLSTRUP, J., GRØNVOLD, J., HENRIKSEN, S.A. et ZORN, A.

Biological control of trichostrongyles in calves by the fungus *Duddingtonia flagrans* fed to animals under natural grazing conditions.

Veterinary Parasitology, 1995b, **60**, 321-330.

LARSEN, M., NANSEN, P., GRØNDAHL, C., THAMSBORG, S.M., GRØNVOLD, J., WOLSTRUP, J., HENRIKSEN, S.A. et MONRAD J.

The capacity of the fungus *Duddingtonia flagrans* to prevent strongyle infections in foals on pasture.

Parasitology, 1996, **113**, 1-6.

LARSEN, M., NANSEN, P., GRØNVOLD, J., WOLSTRUP, J. et HENRIKSEN, S.A.
Biological control of gastro-intestinal nematodes – facts, future, or fiction ?
Veterinary Parasitology, 1997, **72**, 479-492.

LARSEN, M., FAEDO, M., WALLER, P.J. et HENNESSY, 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.

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

LARSEN, M., FAEDO, M. et THAMSBORG, S.M.
Selection of egg-parasitic fungi against eggs of *Nematodirus* spp.- an *in vitro* study.
Abstracts 17th international conference of the World Association for the Advancement of Veterinary Parasitology, 15-19 août 1999b, Copenhagen.

LUMARET, J.P. et KADIRI, N.
Effets des endectocides sur la faune entomologique du pâturage.
Bulletin des G.T.V., 1998, **3**, 55-62.

McCRACKEN, D.I.
The potential for avermectins to affect wildlife.
Veterinary Parasitology, 1993, **48**, 273-280.

MENDOZA-DE GIVES, P. et VAZQUEZ-PRATS, V.M.
Reduction of *Haemonchus contortus* infective larvae by three nematophagous fungi in sheep faecal cultures.
Veterinary Parasitology, 1994, **55**, 197-203.

NANSEN, P., LARSEN, M., ROEPSTORFF, A., GRØNVOLD, J., WOLSTRUP, J. et HENRIKSEN, S.A.
Control of *Oesophagostomum dentatum* et *Hyostromylus rubidus* in outdoor-reared pigs by daily feeding with the microfungus *Duddingtonia flagrans*.
Parasitology Research, 1996, **82**, 580-584.

NIEZEN, J.H., WAGHORN, G.C. et CHARLESTON, W.A.G.
Establishment and fecundity of *Ostertagia circumcincta* and *Trichostrongylus colubriformis* in lambs fed lotus (*Lotus pedunculatus*) or perennial ryegrass (*Lolium perenne*).
Veterinary parasitology, 1998, **78**, 13-21.

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.

ROSSANIGO, C.E. et GRUNER, L.
Moisture and temperature requirements in faeces for the development of free-living stages of gastro-intestinal nematodes of sheep, cattle and deer.
Journal of Helminthology, 1995, **69**, 357-362.

SANGSTER, N.C.

Anthelmintic resistance : past, present and future.

International Journal for Parasitology, 1999, **29**, 115-124.

SHORT, C.R., DAVIS, L.E. et MUNSIFF, I.J.

Disposition of fenbendazole in the goat.

American Journal of Veterinary Research, 1987, **48**, 5, 811-815.

SIEFKER, C. et RICKARD, L.

Vaccination of calves with *Haemonchus placei* intestinal homogenate.

Veterinary Parasitology, 2000, **88**, 249-260.

SMITH, W.D.

Prospects for vaccines of helminth parasites of grazing ruminants.

International Journal for Parasitology, 1999, **29**, 17-24.

STRONG, L.

Overview : the impact of avermectins on pastureland ecology.

Veterinary Parasitology, 1993, **48**, 3-17.

THAMSBORG, S.A., ROEPSTORFF, A. et LARSEN, M.

Integrated and biological control of parasites in organic and conventional production systems.

Veterinary Parasitology, 1999, **84**, 169-186.

VERCRUYSSSE, J. et DORNY, P.

Integrated control of nematode infections in cattle : A reality ? A need ? A future ?

International Journal for Parasitology, 1999, **29**, 165-175.

WALLER, P.J.

Towards sustainable nematode parasite control of livestock.

Veterinary Parasitology, 1993, **48**, 295-309.

WALLER, P.J.

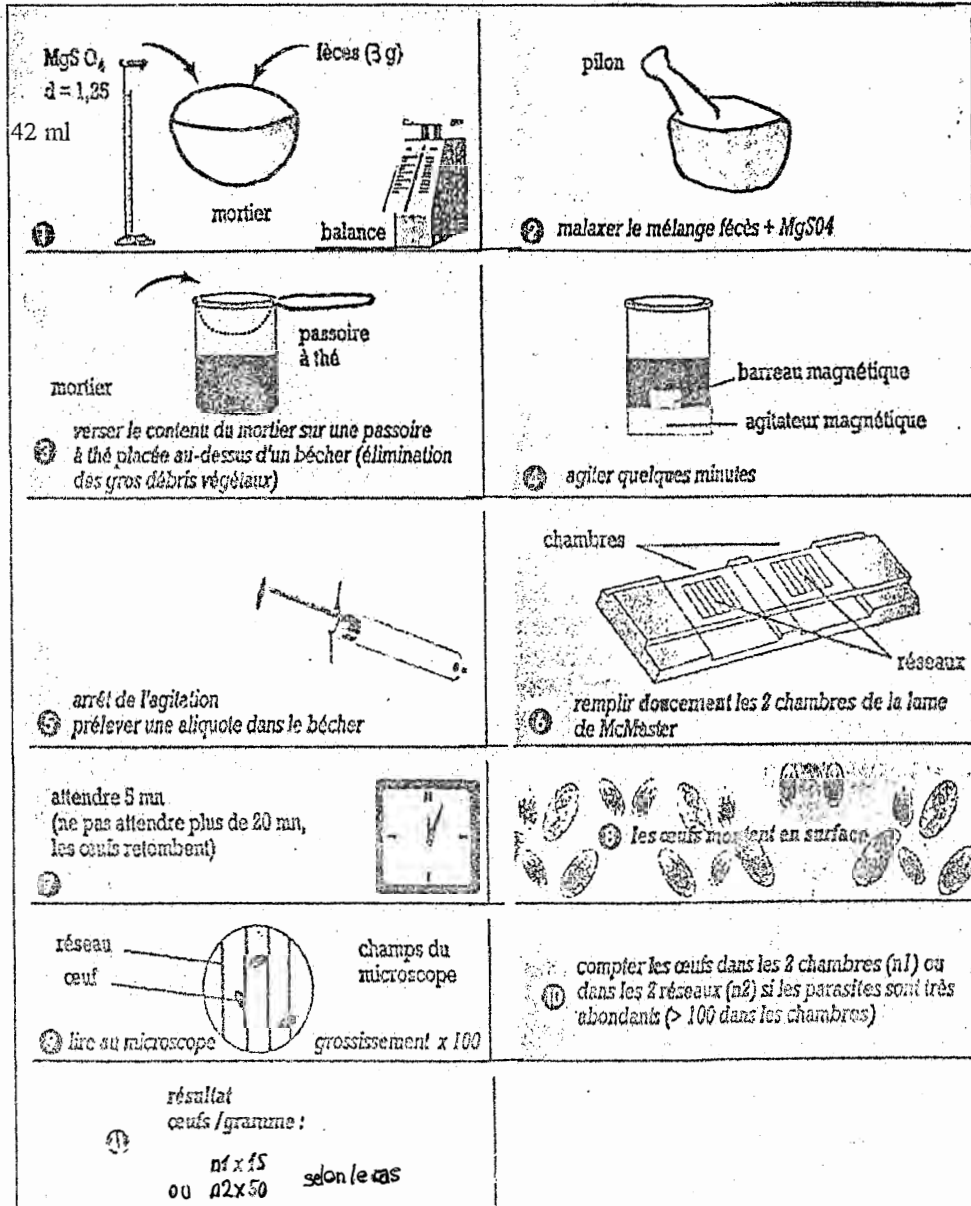
International approaches to the concept of integrated control of nematode parasites of livestock.

International Journal for Parasitology, 1999, **29**, 155-164.

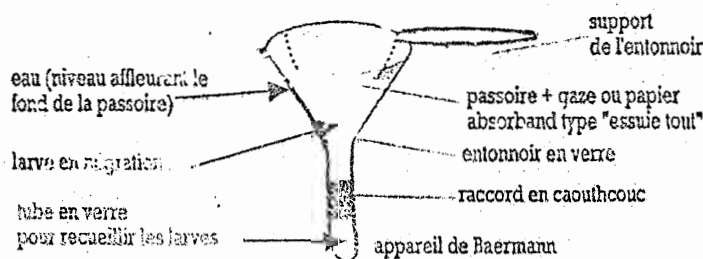
ANNEXE

Techniques parasitologiques

Technique de coproscopie en lame de Mac Master (d'après Kerboeuf et *al.*, 1997)



Appareil de Baermann utilisé pour la récolte des larves (d'après Kerboeuf et *al.*, 1997)



Toulouse, 2001

NOM : PARAUD

PRENOM : Carine

TITRE : Efficacité du champignon nématophage *Duddingtonia flagrans* sur *Teladorsagia circumcincta* et *Muellerius capillaris* chez la chèvre.

RESUME :

La forte prévalence des résistances helminthiques aux benzimidazoles dans les élevages caprins laitiers français exploitant le pâturage oblige à envisager des schémas de contrôle des helminthoses intégrant des méthodes alternatives non chimiques telles que la vaccination, la sélection d'hôtes résistants, l'amélioration de la ration ou le contrôle biologique.

L'auteur a testé une méthode de contrôle biologique reposant sur l'administration orale de spores du champignon nématophage *Duddingtonia flagrans*. Nous avons évalué son efficacité à la dose de 500 000 spores/kg PV, en conditions semi-expérimentales, sur 2 nématodes majeurs de la chèvre : *Teladorsagia circumcincta* et *M. capillaris*.

Une réduction du développement de larves infestantes de *T. circumcincta* variant de 84 à 90% a été obtenue. Aucune réduction significative du nombre de larves 1 de *Muellerius capillaris* n'a été constatée, ces larves ont tout de même montré une capacité d'infestation réduite lors de leur mise en contact avec leurs hôtes intermédiaires.

Ces résultats encouragent à poursuivre les études en vue d'une application commerciale de cette méthode.

MOTS-CLES : Contrôle biologique, *Duddingtonia flagrans*, caprins, strongyloses digestives, strongyloses respiratoires

ENGLISH TITLE : Efficacy of the nematophagous fungus *Duddingtonia flagrans* against *Teladorsagia circumcincta* et *Muellerius capillaris* in goats faeces.

ABSTRACT :

The high prevalence of benzimidazole resistance of nematodes in french grazing dairy goats flocks leads to define nematode-control schemes based on integrated approaches with non-chemical options : vaccination, genetically resistant hosts, nutrition improvement or biological control.

A biological control method based on oral administration of nematophagous fungus *Duddingtonia flagrans* chlamydospores have been tested. The efficacy of the nematode-trapping fungus at the dosage of 500 000 spores/kg BW was evaluated against infective larvae of *Teladorsagia circumcincta* and *Muellerius capillaris*, 2 important goat nematodes.

D. flagrans appeared to be highly effective in reducing larval development of *T. circumcincta* in goat faeces. In contrast, fungi did not reduced survival of *M. capillaris* larvae in faeces. However, their infective capacity seemed to be reduced.

These results encourage to carry on with this method in order to develop commercial applications.

KEY WORDS : Biological control, *Duddingtonia flagrans*, goats, intestinal strongyliasis, pulmonary strongyliasis