

ACADEMIE DE MONTPELLIER
UNIVERSITE MONTPELLIER II
--SCIENCES ET TECHNIQUES DU LANGUEDOC--

THESE

présentée à l'Université des Sciences et Techniques du
Languedoc pour obtenir le Diplôme de DOCTORAT
SPECIALITE : SCIENCES BIOLOGIQUES
Formation doctorale : Parasitologie

ROLE DE L'EAU ET DE LA TEMPERATURE
SUR LES TAUX DE DEVELOPPEMENT DES
NEMATODES PARASITES DU TRACTUS
DIGESTIF DES RUMINANTS

par
Carlos Esteban ROSSANIGO

Soutenue le 17 décembre 1992 devant le Jury composé de:

MM.EUZET L., Professeur, Université Montpellier II,	Président
Mme DURETTE-DESSET M.C., Directeur Recherches, CNRS-MNHN PARIS	Rapporteur
MM.CABARET J., Directeur de Recherches INRA, Tours-Nouzilly,	Rapporteur
MM.RAIBAUT A., Professeur, Université Montpellier,	Examineur
MM., GRUNER L., Directeur de Recherches INRA, Tours-Nouzilly,	Directeur de Thèse

A Elsi et nos filles Carla et Paula

A mes parents et frères

A ma famille

REMERCIEMENTS

- Je tiens à exprimer ma profonde reconnaissance à Monsieur le Docteur Lucas GRUNER, Directeur de l'Unité d'Ecologie des Parasites à la Station de Pathologie Aviaire et de Parasitologie de l'I.N.R.A. de Tours-Nouzilly, pour m'avoir accueilli et accepté de diriger mes recherches avec une disponibilité qui m'a étonné. Je suis très heureux de le remercier de l'intérêt et de l'aide qu'il a manifesté au cours de ces années, pendant lesquelles ses qualités scientifiques et sa passion pour la recherche ont été un exemple et ont rendu la réalisation de cette thèse possible.

- Je témoigne ma gratitude à Monsieur le Professeur L. EUZET responsable de la formation du 3^e Cycle de Parasitologie à l'Université des Sciences et Techniques du Languedoc, qui m'a fait l'honneur de présider le Jury.

- Je tiens à remercier particulièrement Monsieur le Docteur Jacques CABARET, chercheur à l'I.N.R.A. Tours, pour toute sa disponibilité et son attention constante.

- J'adresse également tous mes remerciements à Mme Christine SAUVE et Monsieur Jacques CORTET du même laboratoire pour leur aide et leur proche collaboration.

- Ma reconnaissance va également à Madame Marie Claude DURETTE-DESSET du Laboratoire de Biologie des Parasites, Protozoologie, Helminthologie du Muséum National d'Histoire Naturelle de Paris et à Monsieur le Professeur André RAIBAUT, du Laboratoire de Parasitologie Comparée de l'Université de Montpellier qui ont accepté de faire partie du Jury de la thèse comme rapporteur et examinateur.

- Je remercie enfin Monsieur le Docteur Jorge SILVA COLOMER, Directeur de la Estacion Experimental Agronomica San Luis del Instituto Nacional de Tecnologia Agropecuaria (I.N.T.A.), Argentine, qui a rendu possible la poursuite des travaux commencés en France et la rédaction du mémoire.

Je tiens également à remercier sincèrement:

- Monsieur Walter PAGE, auxiliaire du Laboratorio Veterinario de la Estación Experimental Agropecuaria à l'I.N.T.A. San Luis (Argentine), pour sa collaboration pendant la réalisation de mes recherches en Argentine.

- L'ensemble du personnel de la bibliothèque et du secrétariat de la Station de Pathologie Aviaire et de Parasitologie sans lequel ce mémoire n'aurait pu être effectué.

- Le personnel de l'animalerie, Messieurs Joël BESNARD, Michel COUTY, Jean MERY et Jacques AUGER, pour leur collaboration pendant la réalisation de nos recherches en France.

- Mme Michèle BOISSEAU, secrétaire au Laboratoire de Parasitologie Comparée de l'Université Montpellier II, pour sa sincère disponibilité et son attention.

Je tiens à associer à ces remerciements:

- L'Institut National de la Technologie Agronomique (I.N.T.A.), Argentine, pour le soutien financier sous la forme d'une bourse pendant mon stage en France.

- L'Institut National de la Recherche Agronomique (I.N.R.A.), France, qui a rendu possible mon stage et m'a permis d'effectuer les travaux dans les meilleures conditions.

- L'opportunité est arrivé ici pour exprimer toute ma reconnaissance et mon amour à Elsi et notre fille Carla. Qu'elles m'excusent de ne pas toujours avoir répondu à leur amour par plus de disponibilité pendant notre stage en France. Sans elles mes études n'auraient jamais été possibles.

- Enfin, je ne saurais oublier de remercier mes parents, mes frères et ma famille pour leur confiance et leur soutien.

SOMMAIRE

SOMMAIRE

INTRODUCTION.....	3
CHAPITRE I: LES EFFETS DES FACTEURS CLIMATIQUES SUR LES STRONGLES GASTRO-INTESTINAUX.....	7
1.1.Le climat, agent essentiel des modulations qualitatives et quantitatives des stades libres des strongles digestifs.....	12
1.1.1.Action sur la survie des stades pré-parasitaires.....	13
1.1.2.La capacité migratoire des larves infestantes	15
1.1.3.Facteurs climatiques et pouvoir infestant....	18
1.2.Rôle de la température sur le développement des oeufs en larves en conditions expérimentales...	19
1.3.Rôle de l'eau sur le développement des oeufs en larves.....	23
1.3.1.Humidité pondérale (HP) des matières fécales.	23
1.3.2.Exigences hydriques des nématodes.....	25
1.4.Action d'autres facteurs écologiques.....	29
1.5.Modélisation.....	30
1.6.Conclusion.....	31
CHAPITRE II: MATERIELS ET TECHNIQUES PARASITOLOGIQUES..	33
2.1.Les parasites.....	33
2.1.1.Souches utilisées.....	33
2.1.2.Entretien des souches.....	34
2.2.Dénombrement des oeufs.....	35
2.2.1.Technique classique ou OPG (coproscopie).....	35
2.2.2.Extraction des oeufs.....	35
2.2.3.Validité des 2 techniques pour les parasites d'ovins.....	36

2.2.4. Validité dans le cas des fèces de bovins.....	37
2.3. Techniques d'appréciation de l'évolution des différents stades.....	40
2.3.1. Stades d'évolution des oeufs.....	40
2.3.2. Viabilité des oeufs: Test d'éclosion.....	41
2.3.3. Coproculture.....	41
2.3.4. Récolte des larves infestantes (L3).....	42
2.3.5. Recolte des stades parasitaires (adultes)....	43
CHAPITRE III: INFLUENCE DES PARAMETRES CLIMATIQUES SUR LE PARASITISME DES BOVINS ELEVES EN CONDITIONS NATURELLES.....	45
3.1. Protocole d'étude.....	45
3.2. Cinétique d'excretion des oeufs de strongles.....	47
3.3. Relation entre les paramètres climatique, le mode d'élevage et l'infestation par les strongles.....	48
3.3.1. Variables prises en compte.....	48
3.3.2. Résultats.....	49
3.4. Conclusion.....	50
CHAPITRE IV: DEVELOPPEMENT COMPARE DES STRONGLES DANS DES FECES DE BOVINS ET D'OVINS.....	55
4.1. Développement de divers genres de strongles dans des fèces de bovins.....	56
4.1.1. Matériel et méthodes.....	56
4.1.2. Résultats.....	58
4.1.3. Discussion et conclusion.....	63
4.2. Développement de <u>Teladorsagia circumcincta</u> dans des fèces de mouton déposées sur prairie.....	67
4.2.1. Protocole d'étude.....	67
4.2.2. Résultats.....	69

4.2.3. Discussion et conclusion.....	75
4.3. Conclusion.....	77
CHAPITRE V: COMPARAISON DES EXIGENCES HYDRIQUES ET THERMIQUES DES DIVERSES ESPECES.....	81
5.1. Matériel et méthodes.....	81
5.2. Sensibilité des stades oeuf, L1 et L2 aux effets du dessèchement.....	82
5.3. Développement de l'oeuf a la L3 à différentes températures et à humidité pondérale constante (60%).....	84
5.4. Développement de l'oeuf en L3 à différentes humidités pondérales et à température constante.	87
5.5. Développement d' <u>Ostertagia ostertagi</u> dans les fèces de bovin et d'ovin.....	94
5.6. Discussion et conclusion.....	95
CHAPITRE VI: REPERCUSSIONS DES CONDITIONS DE DEVELOPPEMENT SUR LA BIOLOGIE DES STADES INFESTANTS.....	97
6.1. La longueur des larves infestantes: un indicateur des conditions de développement.....	97
6.1.1. Influence des facteurs environnementaux selon la natures des fèces.....	98
6.1.2. Influence de l'humidité pondérale en conditions contrôlées.....	100
6.1.3. Influence de la température en conditions contrôlées.....	104
6.1.4. Caractérisation morphologique des L3 courtes et longues.....	106
6.1.5. Conclusion.....	107
6.2. Relation longueur - fonction biologique.....	108
6.2.1. Survie des larves infestantes (essai dans l'eau).....	108

6.2.2.Potentialités migratoires des L3 (essai sur gélose).....	110
6.2.3.Dégainement des L3.....	112
6.2.4.Devenir des L3 courtes ou longues chez l'hôte.....	115
6.3.Essai de sélection d'une lignée de <u>Teladorsagia circumcincta</u> résistante à la sécheresse.....	118
6.4.Discussion et conclusion.....	120
DISCUSSION ET CONCLUSION GENERALE.....	121
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	125
RESUME.....	135
ANNEXES	

LISTE DES FIGURES

- FIGURE 1: Cycle de développement des strongles gastro-intestinaux et facteurs de l'environnement (tiré de Gruner et Boulard, 1982). 9
- FIGURE 2: Effet de la température sur la vitesse d'apparition des premières L3 (tiré de Ciordia et Bizzel, 1963). 22
- FIGURE 3: Températures optimales de production de larves d'H. contortus, T. circumcincta et C. curticei, exprimé en % du nombre total de L3 produites (Tiré de Crofton, 1963). 22
- FIGURE 4: Dépôt sur sol enherbé de fèces d'ovin en Touraine au mois d'avril (journée ensoleillée); évolution de l'humidité pondérale des fèces et de l'air, de la température au sein des fèces et dans l'air (Mauléon et Gruner, 1984). 24
- FIGURE 5: Développement des oeufs de T. circumcincta, d'H. contortus, de N. spathiger et de T. colubriformis, en fonction de l'humidité pondérale des fèces (tiré de Mauléon et Gruner, 1984). 27
- FIGURE 6: Développement des oeufs de T. circumcincta et de T. colubriformis dans des fèces réhydratées à la suite d'un dessèchement d'intensité variable (tiré de Mauléon et Gruner, 1984). 27
- FIGURE 7: Coefficient de variation (%) des 2 techniques selon le nombre d'oeufs par gramme comptés dans les fèces d'ovin (tiré de Rossanigo et Gruner, 1991). 39
- FIGURE 8: Stades d'embryogenèse des oeufs de strongles gastro-intestinaux (tiré de Christie et Jackson, 1982). 40
- FIGURE 9: Cinétique d'excrétion d'oeufs par les veaux dans 4 élevages localisés dans des zones soumises à des conditions climatiques différentes du centre-ouest de l'Argentine. 46
- FIGURE 10: Relation entre charge en L3 du pâturage et sa valeur le mois précédent. 51
- FIGURE 11a: Relations entre le nombre d'OPG toutes espèces, le nombre d'OPG d'Haemonchus et de Cooperia, et les deux premiers facteurs explicatifs. 52
- FIGURE 11b: Relations entre le nombre d'OPG d'Ostertagia et d'Oesophagostomum, et les deux premiers facteurs explicatifs. 53

FIGURE 12: Cinétique de l'humidité et de la température au sein de bouses déposées au soleil, à l'ombre ou au laboratoire pendant 17 jours (dépôt 3 de début d'automne) et 34 à 50 jours (dépôt 7 d'hiver) à Villa Mercedes (Province de San Luis, Argentine).	59
FIGURE 13: Taux moyens de développement des oeufs des genres dominants en larves infestantes à la suite de dépôts de bouses selon 3 modalités d'environnement (soleil, ombre et laboratoire) en été (dépôts 1 et 2), en automne (3 à 6) et en hiver (7 et 8) à V. Mercedes (Province de San Luis, Argentine).	61
FIGURE 14: Relations entre les taux de développement de <u>Cooperia</u> et d' <u>Haemonchus</u> et les températures moyennes ou maximales enregistrées dans les bouses.	65
FIGURE 15: Evolution de l'humidité pondérale de fèces au cours des 48 premières heures des dépôts 1, 2 et 3 ainsi, que des températures lors du dépôt 3 (journées ensoleillées de juin 1990 à Nouzilly).	70
FIGURE 16: Evolution comparée de l'humidité pondérale et de la température de fèces déposées en condition ouverte ou fermée au cours des 48 premières heures suivant le dépôt 3 (journées très ensoleillées de juin 1990 à Nouzilly).	71
FIGURE 17: Développement moyen des oeufs de <u>Teladorsagia circumcincta</u> au terme de 2 jours (dépôts 3 à 5 uniquement) ou de 2 semaines de séjour en condition ouverte ou fermée des fèces déposées en Luzerne (haute ou basse) et Ray Grass (haut ou bas) pour les 5 séries de dépôts effectués en juin 1990 à Nouzilly.	72
FIGURE 18: Dendogramme à liens simple entre les diverses variables du microclimat dans les fèces et le nombre de L3/100 oeufs de <u>Teladorsagia circumcincta</u> .	74
FIGURE 19: Analyse en Composantes Principales (ACP). Relation entre les taux de développement et les conditions du microclimat des fèces d'ovins (grains) ou de bovins.	78
FIGURE 20: Larves/100 oeufs développées lorsque la déshydratation intervient à différents stades préinfestants de <u>Teladorsagia circumcincta</u> .	83
FIGURE 21: Développement des oeufs en L3 en fonction de la température des fèces à 60 % d'humidité pondérale. Courbes et coefficients de détermination pour les espèces étudiées.	85
FIGURE 22a et 22b: Développement des oeufs en L3 en fonction de l'humidité pondérale à 23°C.	88-89

FIGURE 23: Développement des oeufs en L3 en fonction de l'humidité pondérale à trois températures (18°, 23° et 28°C).	91
FIGURE 24: Exigences hydriques pour assurer le développement en larves 3 d'au moins 1 % des oeufs (au stade blastula-morula) à 23°C.	93
FIGURE 25: Développement comparé d' <i>Ostertagia ostertagi</i> dans des fèces en grain ou en bouses en fonction de l'humidité pondérale ou de la température.	95
FIGURE 26: Longueur des L3 en fonction de l'humidité pondérale de fèces d'ovin à trois températures (18°, 23° et 28°C).	101
FIGURE 27a et 27b: Longueur des larves infestantes (L3) en fonction de l'humidité pondérale des fèces d'ovin maintenus à 23 °C et équation de la droite de régression pour les espèces étudiées.	102-103
FIGURE 28: Longueur des L3 en fonction de la température de fèces d'ovin. Courbes et équation des ajustements pour les espèces étudiées.	105
FIGURE 29: Schéma général de la morphologie des larves infestantes de strongles digestifs et des caractères communément utilisés pour leur diagnose (tiré de Gevrey, 1971).	106
FIGURE 30: Survie des larves infestantes dans l'eau à 20 ± 2°C (en % du nombre de L3 au départ) selon la longueur des L3 obtenues d'après l'humidité pondérale de leur développement.	109
FIGURE 31: Taux de dégainement des L3 en fonction de leur longueur selon l'espèce et le temps d'incubation.	113
FIGURE 32: Distribution des longueurs des L3 courtes (issues de la culture à HP 45) et longues (HP 80) de <i>Teladorsagia circumcincta</i> .	116
FIGURE 33: Corrélation entre taille moyenne de la population de larves infestantes et taux d'installation (adultes/100 L3) au sein de l'hôte.	117

LISTE DES TABLEAUX

TABLEAU I: Position systématique des principaux strongles digestifs des ruminants (d'après Euzeby, 1961 et Durette-Desset, 1981 et 1989).	8
---	---

TABLEAU II: Survie au pâturage des stades libres des principaux nématodes gastro-intestinaux d'ovin (tiré de Kates, 1950).	12
TABLEAU III: Conditions de déshydratation permettant une survie maximale des L3 de strongles gastro-intestinaux dans les matières fécales (tiré de Wharton, 1982).	15
TABLEAU IV: Températures de maintien des oeufs dans les matières fécales de strongles gastro-intestinaux de ruminants: influence sur le délai et le temps d'éclosion.	20
TABLEAU V: Températures extrêmes et optimales (dans les matières fécales) permettant le développement des oeufs de quelques espèces de strongles gastro-intestinaux.	21
TABLEAU VI: Nombre de larves infestantes d' <u>Haemonchus contortus</u> selon la température et l'état hydrique des fèces (tiré de Rose, 1963b).	25
TABLEAU VII: Nombre de L3 de <u>Teladorsagia circumcincta</u> /g de fèces obtenues au terme d'une coproculture en fonction de la température, de l'humidité relative (H.R.) ambiante et de l'état hydrique des fèces (Rose, 1961).	26
TABLEAU VIII: Taux maximaux de développement (L3/100 oeufs) en conditions naturelles dans les matières fécales de petits ruminants et de bovins.	29
TABLEAU IX: Principaux modèles de simulation des oeufs en larves infestantes de strongles gastro-intestinaux utilisant des données climatiques (Gruner, 1988).	30
TABLEAU X: Espèces de nématodes parasites utilisées au cours des expériences au laboratoire.	34
TABLEAU XI: Rendement de l'extraction des oeufs à partir de 10 g de matière fécale exprimé en pourcentage du total au terme des 3 centrifugations (C1, C2 et C3).	37
TABLEAU XII: Nombre d'oeufs par gramme de fèces d'ovin comptés par extraction (Ex), et par la technique en lame McMaster (OPG), et rendement de cette technique (100 x OPG/Ex).	38
TABLEAU XIII: Nombre d'oeufs par gramme de fèces chez des bovin avec une infestation mixte (<u>Haemonchus</u> , <u>Cooperia</u> , <u>Ostertagia</u> , <u>Oesophagostomum</u> et <u>Trichostrongylus</u>), mesuré par extraction (Ex) et par la technique en lame McMaster (OPG), et rapport OPG/Ex.	39

TABLEAU XIV: Pourcentage moyen par espèces des différents stades d'embryogenèse des oeufs contenus dans les fèces avant de commencer les expériences au laboratoire.	40
TABLEAU XV: Caractéristiques générales des élevages étudiés dans les régions de San Luis et de Cordoba en Argentine.	47
TABLEAU XVI: Hiérarchie des variables intervenant de façon significative ($P=0,03$) sur le nombre de larves (L3/kg) et le nombre d'OPG.	49
TABLEAU XVII: Caractéristiques initiales des dépôts de bouses effectués en conditions naturelles et au laboratoire.	56
TABLEAU XVIII: Développement moyen des oeufs en larves infestantes dans les différents dépôts et cultures témoin toutes genres confondus.	60
TABLEAU XIX: Hiérarchie des variables explicatives intervenant de façon significative ($P<0,01$) sur le taux de développement global et par genre dans des fèces de bovin.	62
TABLEAU XX: Caractéristiques initiales des dépôts de matière fécale d'ovin effectués en conditions naturelles et taux d'éclosion et de développement des oeufs au laboratoire.	67
TABLEAU XXI: Hiérarchie des variables intervenant de façon significative ($P<0,01$) sur le nombre de larves (L3/100 oeufs) selon les conditions de séjour des fèces d'ovin sur le terrain.	75
TABLEAU XXII: Caractéristiques du meilleur ajustement selon l'humidité pour les espèces étudiées .	90
TABLEAU XXIII: Valeurs de l'humidité pondérale pour le développement optimal et pour le développement de 1 % des oeufs en L3 et erreur maximale (différence maximale d'HP entre valeur observée et valeur calculée) obtenue par l'ajustement de la courbe.	92
TABLEAU XXIV: Relation entre les variables du microclimat des bouses et la longueur des L3.	99
TABLEAU XXV: Longueur (μm) des larves infestantes en fonction de l'humidité pondérale des fèces à différentes températures.	100
TABLEAU XXVI: longueur (μm) des L3 en fonction de la température de développement.	104

TABLEAU XXVII: Mensurations moyennes des paramètres de caractérisation des larves courtes et longues issues des fèces à différentes humidité pondérale.	107
TABLEAU XXVIII: Temps létaux en jours de 50 % (TL50) de la population des L3 selon les conditions de développement (différentes humidités pondérales).	110
TABLEAU XXIX: Distance moyenne de migration sur gelose en 5 mn (mn/5mn) et nombre d'arrêts de déplacement des L3 courtes et longues.	111
TABLEAU XXX: Corrélation linéaire (coefficient r) entre longueur des L3 et pourcentage de dégainement selon espèce et le temps d'incubation.	114
TABLEAU XXXI: Caractéristiques de l'infestation de 6 agneaux avec des larves courtes ou longues de <u>Teladorsagia circumcincta</u> et des populations adultes.	115
TABLEAU XXXII: Taux de développement larvaire à 45 % d'humidité des fèces et taux d'installation chez des agneaux infestés par les larves issues de ces cultures au cours des générations successives de <u>Teladorsagia circumcincta</u> .	119

LISTE DES ANNEXES

ANNEXE 1: Accuracy of two methods for counting eggs of sheep nematode parasites. ROSSANIGO C.E. & GRUNER L. (1991). Veterinary Parasitology 39: 115-121.

ANNEXE 2: Développement des oeufs en L3, températures (°C) et humidité pondérale (%) des fèces selon les diverses conditions de dépôts de bouses après un séjour d'au moins 260 degrés/jours.

ANNEXE 3: Développement des oeufs (L3/100 oeufs), teneur en eau (% HP) et température (°C) des fèces d'ovin selon les diverses conditions des dépôts après un séjour de 48 heures.

ANNEXE 4: Développement des oeufs (L3/100 oeufs), teneur en eau (% HP) et température (°C) des fèces d'ovin selon les diverses conditions des dépôts après un séjour de 2 semaines.

INTRODUCTION GENERALE

ROLE DE L'EAU ET DE LA TEMPERATURE SUR LES TAUX DE DEVELOPPEMENT
DES NEMATODES PARASITES DU TRACTUS DIGESTIF DES
RUMINANTS

INTRODUCTION

Les nématodes parasites du tractus digestif, communément dénommés strongles digestifs ou strongles gastro-intestinaux, forment un groupe constitué par un ensemble d'espèces appartenant à plusieurs familles. Ils colonisent les différents organes (caillette, intestins et colon) des animaux élevés au pâturage et provoquent des retards de croissance ou de production de laine ou de lait dont l'importance dépend des espèces présentes et surtout de leur abondance au sein de l'hôte. Celui-ci sera plus au moins réceptif selon son âge, sa race, son statut physiologique et immunologique (passé parasitologique).

Le cycle de développement de ces parasites est monoxène; les adultes sexués présents dans le tractus digestif pondent des oeufs qui sont entraînés avec les fèces sur le pâturage. La phase libre comprend le développement jusqu'au 3^e stade larvaire (larve infestante) qui migre vers le sol et l'herbe. Cette larve ne poursuivra son développement qu'une fois ingérée par un hôte.

Nombre d'espèces sont très cosmopolites; leur aire d'extension géographique couvre plusieurs continents et est le résultat des pratiques d'échanges d'animaux (la majorité des hôtes sont des animaux de rente) et de l'évolution sous la pression des conditions de milieu. Une espèce telle Haemonchus contortus couvre les régions tropicales mais également celles sous climat tempéré, alors que Teladorsagia circumcincta s'étend des régions à climat froid à celles sous climat tempéré.

Les très nombreuses études épidémiologiques concernant les parasites des ruminants domestiques ou sauvages constituent une base de données dont l'étude contribuerait à déterminer les facteurs clé expliquant la présence, voire l'abondance, d'une espèce en un lieu donné et à un moment donné. C'est la démarche définie par Levine (1963) aux Etats Unis pour caractériser les périodes à risque d'infestation des ovins de différents états en confrontant le climatogramme du lieu (graphique des précipitations fonction de la température moyenne de chaque mois) aux exigences thermiques et hydriques du parasite. Nombre d'auteurs ont utilisé cette méthode dans une première approche grossière. D'autres ont cherché à établir des relations entre les niveaux d'infestation des animaux et les facteurs climatiques en vue soit de construire un modèle mathématique de prévision des périodes où les strongyloses seront importantes (Thomas et Starr,

1978, par exemple) soit de caractériser les facteurs de risque les plus explicatifs de ces niveaux d'infestation (Suarez et Cabaret, 1991). Nous avons adopté cette démarche (chapitre 3) sur les données accumulées entre 1981 et 1985 dans des élevages bovins du centre-ouest de l'Argentine (Rossanigo et al., 1988). Les facteurs climatiques contribuent à expliquer la diversité observée des niveaux d'infestation par différents genres, mais des facteurs d'élevage ont plus de poids. Cet exemple illustre l'intérêt et les possibilités de ce mode d'analyse de données épidémiologiques mais également les limites.

Les conditions ambiantes sont déterminantes dans chacune des étapes du développement parasitaire définies par Levine et Andersen (1973): survie des oeufs embryonnés, éclosion, développement larvaire jusqu'au 3ème stade (L3), survie larvaire, migration, enfin infestation de l'hôte. De très nombreux travaux d'observations ou des expériences en conditions naturelles ou contrôlées ont trait aux effets du climat sur ces différentes étapes ou bien sur leur résultante (population de L3 sur le pâturage ou population de vers chez l'hôte). Nous en présentons un certain nombre dans le premier chapitre dans le but de mettre en évidence les phases du cycle et les facteurs environnementaux les plus documentés et justifier le choix de notre travail sur la phase du taux de développement des oeufs en L3 plutôt que sur la vitesse d'évolution, la survie et les migrations des larves des matières fécales vers l'herbe où elles sont accessibles au ruminant. Si l'influence de la température a fait l'objet de nombreux travaux, l'eau reste un facteur plus complexe à appréhender par la duplicité de son état physique (liquide ou gazeuse), par les interactions existant entre humidité et température, enfin par sa dynamique qui est fonction d'apports (pluie, rosée, irrigation) et de pertes (drainage, évaporation), elles mêmes liées à l'environnement immédiat des parasites sur le pâturage (masse des matières fécales de l'hôte, sol, couvert végétal).

C'est par une démarche d'analyse quantitative que nous avons abordé l'étude des relations entre l'eau et le développement des oeufs en larves. Le premier point à résoudre était de s'assurer de la valeur des techniques d'estimation des nombres d'oeufs utilisés dans les expériences, nombres qui servent de base à la mesure du taux de développement. Le chapitre deux présente le matériel parasitologique et les techniques classiques, ou mises, au point utilisées dans nos travaux.

Etant amené à travailler sur des strongles de bovins et d'ovins, le premier facteur pris en considération était la nature des matières fécales, milieu au travers duquel les conditions climatiques agissent sur le développement des oeufs et des jeunes larves. C'est l'objet du chapitre 4 qui met en relief l'importance de la déshydratation des fèces des petits ruminants.

Afin de contourner cet effet de la nature des fèces, des isolats d'espèces habituellement parasites de bovins, de

cervidés et d'ovins ont été multipliés sur ovin; les exigences thermiques et surtout hydriques de 8 espèces ont ainsi pu être établies au laboratoire et comparées (chapitre 5). C'est autour des humidités pondérales les plus faibles des fèces que les différences entre espèces sont les plus marquées.

Ayant constaté que la taille des larves était le reflet des conditions de développement, nous avons étudié au chapitre 6 les conséquences que cela pouvait entraîner sur leur capacité à survivre, à se déplacer et à poursuivre leur développement chez l'hôte. Cette série d'essais pose des questions quant au déterminisme génétique de ces nématodes aux conditions de milieu.

CHAPITRE I

LES EFFETS CLIMATIQUES
SUR LES STRONGLES
GASTRO-INTESTINAUX

CHAPITRE I

1. LES EFFETS DES FACTEURS CLIMATIQUES SUR LES STRONGLES GASTRO-INTESTINAUX

Les strongles gastro-intestinaux des ruminants sont des nématodes appartenant à l'ordre des Strongylida (tableau I).

Les genres les plus courants sont:

a) Dans la caillette: Teladorsagia, Ostertagia, Haemonchus et Trichostrongylus.

b) Dans l'intestin grêle: Trichostrongylus, Cooperia, Nematodirus, et Strongyloides.

c) Dans le gros intestin: Oesophagostomum et Chabertia.

CYCLE BIOLOGIQUE

Le cycle biologique des strongles digestifs et les facteurs qui l'influencent sont présentés sur la figure 1 (Gruner et Boulard, 1982). Ce sont des parasites monoxènes à cycle évolutif direct, c'est-à-dire sans hôte intermédiaire, comprenant une phase exogène libre (dans le milieu extérieur) et une phase endogène parasite (chez l'hôte).

a) **Phase exogène:** après émission des oeufs sur le pâturage, le développement embryonnaire est rapide en condition favorable et la larve du premier stade apparaît après 36-48 heures. C'est une larve rhabditoïde, possédant une dilatation oesophagienne munie d'un appareil valvulaire de type rhabditiforme.

A la première mue apparaît la larve du 2ème stade (L2) larve également rhabditoïde, généralement pourvue de granulations de réserve. Elle se nourrit, comme la L1, de bactéries et de champignons et est peu mobile.

Embranchement: Nematelminthes

Classe: Nematoda

Ordre: Strongylida

Super-famille: Strongyloidea

Famille:

* Strongylidae

Sous-famille

- Oesophagostominae

Genre

~ Oesophagostomum

- Chabertinae

~ Chabertia

Super-famille: Trichostrongyloidea

Famille

* Trichostrongylidae

Sous-famille

- Cooperiinae

Genre

~ Cooperia

- Ostertagiinae

~ Ostertagia

~ Teladorsagia

- Trichostrongylinae

~ Trichostrongylus

- Haemonchinae

~ Haemonchus

* Molineidae

Sous-famille

- Nematodirinae

Genre

~ Nematodirus

Tableau I: Position systématique des principaux strongles digestifs des ruminants (D'après Euzéby, 1961 et Durette-Desset, 1981 et 1989).

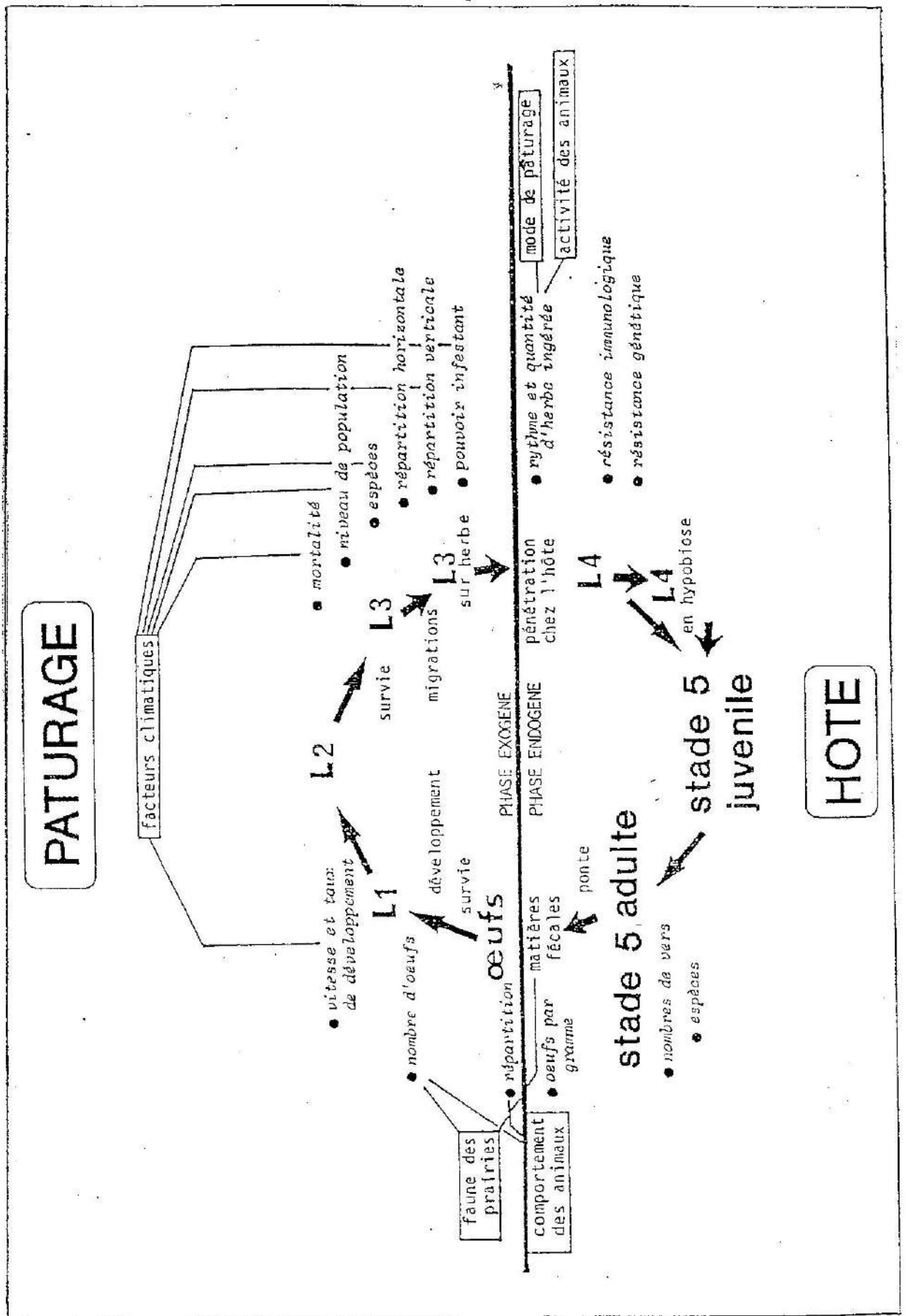


Figure 1: Cycle de développement des strongles gastro-intestinaux et facteurs de l'environnement (tiré de Gruner et Boulard, 1982).

A la seconde mue apparaît une larve strongyloïde, la larve 3 (L3). Celle-ci est dépourvue d'appareil valvulaire et est entourée d'une gaine (exuvie du 2ème stade). Elle ne s'alimente pas et sous l'influence de divers tropismes (hygrotropisme positif, photo et géotropisme négatifs) effectue des déplacements verticaux et transversaux variables au cours de la journée. La L3 représente le stade infestant.

La durée d'évolution des oeufs en L3 infestantes est variable et dépend non seulement de la biologie de l'espèce parasitaire mais également des conditions de l'environnement. Trois facteurs climatiques jouent un rôle important dans la vitesse de développement (Wallace, 1961): l'oxygène, l'humidité et la température.

Dans cette phase libre du cycle, les oeufs et les L3 sont les éléments les plus résistants aux conditions de l'environnement.

b) Phase endogène: L'infestation s'effectue par ingestion de larves infestantes au pâturage. Dans le tractus digestif, les L3 perdent leur gaine (dégainement) et pénètrent dans la muqueuse de la caillette. Une mue se produit alors qui conduit au stade L4. A ce stade, deux possibilités se présentent dans le cycle interne:

- La larve L4 mue et conduit au stade 5 juvénile. Les individus vont croître et donner des adultes. Les sexes sont séparés. Les femelles après fécondation émettront, des oeufs dans la lumière du tube digestif. Rejetés à l'extérieur avec les matières fécales, ils contaminent le pâturage.

- La larve L4 peut s'enkyster dans la muqueuse pendant la période hivernale. Au printemps, un certain nombre de facteurs déclenchent le "réveil" des larves inhibées dans leur développement (hypobiose)(Cabaret, 1977).

La durée d'évolution de la phase endogène, dépend de l'espèce parasite, de la race, de l'âge et de l'état physiologique de l'hôte. Les jeunes animaux et ceux qui sont sous-alimentés sont plus réceptifs aux strongles digestifs.

La durée totale du cycle de ces parasites est variable et tient à des facteurs liés soit à l'état de l'hôte, soit au conditionnement des larves dans le milieu extérieur (Cabaret et Gruner, 1983). Une durée moyenne de 21 jours après l'ingestion est nécessaire chez les Trichostrongylidae pour obtenir le stade adulte.

LES LARVES (L3) INFESTANTES ET LEUR DEGAINEMENT

Le pouvoir infestant de ces larves dépend de la physiologie propre à la larve (activité enzymatique) elle-même, liée à son vieillissement (Mallet et Kerboeuf, 1984; Lesage et Mallet, 1987). Au fur et à mesure que les réserves sont consommées, le pouvoir infestant des L3 diminue.

Les L3 ingérées se libèrent de leur enveloppe exuviale du 2ème stade (Lapage, 1935; Sommerville, 1957) dans le tube digestif de l'animal. Les L3 des strongles localisés dans la caillette se dégainent dans le rumen qui est à un pH d'environ 7-8; celles des strongles localisés dans l'intestin grêle assurent leur dégainement dans la caillette à un pH de 3. Ce phénomène est très important puisqu'il marque la transition entre la vie libre et le stade parasitaire. La première indication du phénomène de dégainement est l'apparition d'un anneau de coupure, accompagné de gonflement de la cuticule, à environ 20 µm de l'extrémité antérieure de la L3 (Lapage, 1935).

Le dégainement se produirait sous l'influence d'un fluide dit de "dégainement" (Sommerville, 1957; Rogers, 1965), substance thermolabile, qui aurait par ailleurs des propriétés antigéniques (Soulsby, 1965). Sa sécrétion, dans la région de la base du pharynx de la larve (Rogers, 1960), se trouverait sous la dépendance de stimuli émanant de l'hôte (Sommerville, 1963; Silverman et Podger, 1964):

- de la teneur en gaz carbonique (40 %) (Slocombe et Whitlock, 1970).
- de la température voisine de la température du corps (Rogers, 1965).
- d'un pH variable selon l'espèce parasitaire (voisin de 8 pour les espèces de la caillette et proche de 3 pour celles de l'intestin grêle).
- de la présence d'enzymes spécifiques agissant sur la larve (Rogers, 1965), la leucine aminopeptidase.

Le lieu où se produit ce "dégainement" dépendrait de la localisation des formes adultes du parasite. Dans le rumen pour les parasites de l'abomasum, dans l'abomasum pour les espèces de l'intestin grêle et dans l'intestin grêle pour les espèces du gros intestin (Sommerville, 1957).

Une diminution du taux et de la vitesse de dégainement se produit au cours du vieillissement des larves infestantes, imputées à la baisse d'activité enzymatique (leucine aminopeptidase et phosphatase alcaline). Ces phénomènes sont corrélés avec une diminution du pouvoir infestant, comme Lesage et Mallet, (1987) et Mallet et Lesage, (1987) l'ont démontré pour Trichostrongylus colubriformis.

1.1. LE CLIMAT, AGENT ESSENTIEL DES MODULATIONS QUALITATIVES ET QUANTITATIVES DES STADES LIBRES DES STRONGLES DIGESTIFS

Le régime climatique d'une région influe en premier lieu sur la composition spécifique de la nématofaune. Le tableau II tiré de Kates (1950) met en évidence que des genres tels que *Haemonchus* et *Oesophagostomum* existent lorsque la température et l'humidité sont élevées. Avec *Cooperia*, ces genres sont dominants dans les régions soumises à un climat tropical humide. A l'inverse, le genre *Teladorsagia* caractérise les régions à climat plus tempéré ou froid. Gordon (1948) et Kates (1950) présentent les répercussions du climat sur la distribution géographique des espèces tandis que Wallace (1961) et Kates (1965) passent en revue l'action des principaux facteurs du

CLIMATS	SURVIE		
	Optimale	Intermédiaire	Minimale
Chaud, humide (été avec températures maximales hautes et pluviométrie adéquate > 50 mm/mois)	<i>Cooperia</i> <i>Haemonchus</i> <i>Oesophagostomum</i> <i>Trichostrongylus</i>	<i>Nematodirus</i> <i>Teladorsagia</i>	
Chaud, sec (été avec températures maximales hautes et pluviométrie faible ou absente)		<i>Cooperia</i> <i>Nematodirus</i> <i>Trichostrongylus</i>	<i>Haemonchus</i> <i>Oesophagostomum</i> <i>Teladorsagia</i>
Froid, humide (fin d'automne ou début de printemps avec températures modérées et pluviométrie adéquate)	<i>Nematodirus</i> <i>Teladorsagia</i> <i>Trichostrongylus</i>	<i>Cooperia</i> <i>Haemonchus</i> <i>Oesophagostomum</i>	
Froid, sec (fin d'automne ou début de printemps avec températures modérées et pluviométrie faible ou sécheresse)	<i>Nematodirus</i>	<i>Teladorsagia</i> <i>Trichostrongylus</i>	<i>Cooperia</i> <i>Haemonchus</i> <i>Oesophagostomum</i>

- * Survie optimale, d'un grand nombre de larves pendant deux mois ou plus.
- * Survie intermédiaire, pendant moins de deux mois.
- * Survie minimale, d'un petit nombre de larves au bout d'un mois.

Tableau II: Survie au pâturage des stades libres des principaux nématodes gastrointestinaux d'ovin (tiré de Kates, 1950).

milieu sur le développement, la survie et les déplacements des stades libres. La température et l'humidité sont les facteurs les plus importants communément pris en considération. Ils conditionnent les possibilités de développement et de survie des stades libres en un milieu donné. Levine (1963) détermine les mois favorables au développement d'une espèce en comparant ses exigences thermiques et hydriques au climatogramme de la région. Cette approche reste très simplificatrice et des études quantitatives ont permis d'élaborer des modèles mathématiques de simulation des populations de larves infestantes en relation avec les données climatiques.

1.1.1. Action sur la survie des stades pré-parasitaires

- La survie des oeufs dans les matières fécales dépend de leur humidité (Dinaburg, 1944).

Par des expériences au laboratoire, Gruner et Suryahadi (1992a) ont démontré que l'excès d'eau de matières fécales parasitées par Teladorsagia circumcincta, Trichostrongylus vitrinus et Haemonchus contortus avait un effet défavorable sur le stade oeuf.

Il n'y a pratiquement pas de travaux sur la survie des larves de 1er et 2ème stade. Seul Wharton (1982) a montré pour Trichostrongylus colubriformis que les L1 et L2 ne résistent pas à la déshydratation.

- Survie des larves infestantes (L3)

Pour la compréhension des phénomènes régissant la vie des nématodes sur le pâturage, nous rappellerons que les larves 3 vivent sur les réserves accumulées au cours de leur développement en attendant l'ingestion par l'hôte, et seront donc soumises aux facteurs de l'environnement. Ceux-ci vont conditionner la conservation de leur pouvoir infestant et de leurs capacités migratoires.

La température est souvent déterminante, plus elle est élevée plus les L3 sont actives et moins elles vivent longtemps. A une température élevée (25 à 30°C) la consommation des réserves est rapide et la mortalité est donc importante. La durée de vie est de l'ordre du mois (Rose, 1962; Gibson et Everett, 1972). Au contraire à une basse température (4 à 6°C) la consommation des réserves est lente; le temps de survie est donc plus long, il peut être de l'ordre de 12 mois pour nombre d'espèces (Pandey, 1972; Gibson et Everett, 1972), voire de 2 ans pour Cooperia oncophora (Rose, 1963a).

La durée de vie des L3 est aussi fortement liée à la disponibilité en eau. L'augmentation d'humidité ambiante prolonge, par exemple, la survie de Trichostrongylus colubriformis (Wharton, 1982), 89% des L3 survivent encore après 2 semaines à 30°C et 70% d'humidité relative (Andersen et Levine, 1968). Dinaburg (1944) n'observe que très peu de larves, 13 à 20 jours après leur dépôt dans le milieu extérieur, en absence de précipitation.

Les L3 immergées peuvent survivre longtemps, mais ceci dépend de l'espèce parasite, de la profondeur de l'eau (Stewart et Douglas, 1938), de la température de l'eau (Rose, 1963a) et de la présence de lumière diffuse (Stewart et Douglas, 1938). Par exemple à 5°C, Teladorsagia ou Ostertagia peuvent survivre pendant 825 ou 1133 jours, respectivement (Boag et Thomas, 1985).

L'irrigation par aspersion diminue la température du sol, maintient une certaine humidité qui favorise le taux de développement des oeufs de strongles comme la survie de larves infestantes (Furman, 1944b; Bullick et Andersen, 1978). Cependant la survie des larves immergées lors d'irrigation par immersion dépend de la profondeur de la couche d'eau (Stewart et Douglas, 1938). La qualité de l'eau joue aussi un rôle important sur la survie des L3. Après d'une déshydratation, les L3 conservées dans l'eau distillée sont en meilleur état que celles conservées dans l'eau du robinet (Todd et al., 1970).

La dessiccation des fèces et/ou la déshydratation des L3 joue un très grand rôle sur la survie de ces larves. Plus la dessiccation des larves est lente, plus leur durée de vie est élevée. Déshydratées (en une seule fois, à 20°C et 33% HR), les L3 de Trichostrongylus colubriformis (Wharton, 1982) et de Haemonchus contortus (Todd et al., 1976) peuvent survivre plus longtemps. Le tableau III regroupe quelques données sur la température et l'humidité de déshydratation permettant la survie optimale des principaux strongles gastrointestinaux: Trichostrongylus colubriformis semble survivre mieux que les autres espèces. Ces phénomènes semblent différents lorsque l'on applique des successions de déshydratation-hydratation: Haemonchus contortus est alors plus résistant que T. colubriformis. Ainsi, la moitié des larves de T. colubriformis survivent 6 jours, 20 jours pour H. contortus et 9 jours pour Cooperia punctata (Schmidt et al., 1974; Todd et al., 1970, 1977).

Tableau III: Conditions de déshydratation permettant une survie maximale des L3 de strongles gastrointestinaux dans les matières fécales (tiré de Wharton, 1982).

Espèce	Température (°C)	Humidité relative de l'air (%)	50% survie (jours)	Auteur
<i>Ostertagia ostertagi</i>	27	50	4.9	Rose(1961)
<i>Teladorsagia circumcincta</i>	27	26	15.3	Fuman(1944a)
<i>Haemonchus contortus</i>	18	47	<2	Ellenby(1968)
<i>Nematodirus battus</i>	15	33	84	Parkin(1976)
<i>Trichostrongylus colubriformis</i>	20	33	167	Wharton(1982)

1.1.2. La capacité migratoire des larves infestantes

- Déplacements larvaires

Le passage des L3 des matières fécales vers les brins d'herbe est assuré par un déplacement actif. Ces déplacements dépendent:

a) de caractéristiques propres aux larves: leur mobilité dépend de leur physiologie et de leur morphologie. En même temps que les réserves sont consommées les capacités de migration des L3 diminuent.

Wallace (1958) observe que la vitesse du mouvement des L3 est fonction de leur longueur et de leur activité. Plus tard Wallace et Doncaster (1964) précisent que la vitesse des larves infestantes dans l'eau, est proportionnelle au produit de leur longueur par leur fréquence ondulatoire.

b) des caractéristiques de l'environnement: en particulier de l'humidité. Ces larves peuvent migrer horizontalement sur le couvert herbacé. Un film d'eau de 2 à 5 mm d'épaisseur est nécessaire au déplacement (Wallace, 1961). Silangwa et Todd (1964) ont observé que les L3 migrent mieux dans l'herbe mouillée que sèche. La vitesse et l'intensité des migrations verticales dans le sol augmentent lorsqu'on ajoute de l'eau sur les sols (Cort, 1925). Les L3 peuvent aussi migrer dans le sol. Elles migrent verticalement, vers le bas, lorsque la teneur en eau du sol est de 20 à 25%. Des migrations ascendantes sont très fréquentes lorsque la partie supérieure du sol est plus humide (Gruner, Mauléon et Sauvé, 1982). Les larves 3 issues de fèces enterrées à 15 -20 cm de profondeur peuvent remonter à la surface lorsque le sol est saturé d'eau (Fincher et Stewart, 1979).

Les pluies vont jouer un rôle important dans les migrations des populations de L3 depuis les matières fécales, surtout après une période sèche (Durie, 1961; Pandey, 1974). Dans un premier temps la pluie a un effet de lessivage sur les larves, lorsque celle-ci cesse, les L3 remontent de façon active sur le pâturage. En général, les L3 retrouvées sur l'herbe sont plus nombreuses après une pluie (Garcia Romero et Gruner, 1984). La pluviosité joue un rôle mécanique important dans la phase de dispersion des larves à partir des matières fécales, qui vont se déliter sous l'action de l'eau. En effet les L3 se trouvent emprisonnées dans les matières fécales, lieu de leur formation, lorsque leur surface s'est durcie (Rose, 1963a). Les pluies abondantes augmentent la distribution des matières fécales (Tongson et Trovela, 1976). Les gouttes d'eau ayant rebondi sur une bouse entraînent les L3 de Cooperia jusqu'à 63 cm (35 cm pour la majorité) (Gronvold, 1984) et d'Ostertagia ostertagi jusqu'à 90 cm (50 cm pour la majorité des L3) (Gronvold et HOGH-SCHMIDT, 1989).

Gruner, Mauléon et Sauvé (1982), ont observé que les possibilités migratoires des L3 sont indépendantes de l'espèce de nématode, mais pour Rogers (1940), en conditions très humides Ostertagia sp se déplace plus que Haemonchus contortus alors que Trichostrongylus sp a de plus grandes capacités de migrations sur herbe sèche.

De façon globale, l'irrigation est aussi favorable à la dispersion des strongles. L'irrigation par immersion des parcelles a pour premier effet de favoriser la libération des L3 présentes dans les matières fécales (Suryahadi et Gruner, 1985); les bouses se désintègrent plus rapidement sur les parcelles irriguées que non irriguées (Young et Anderson, 1981). Les L3 sont entraînées dans le sens du courant vers les horizons superficiels du sol qui devient un important réservoir de L3 dont la migration vers l'herbe dépendra des conditions d'humidité ambiantes. Par contre, l'irrigation par aspersion favorise la migration verticale des L3 du sol vers le pâturage (Bullick et Andersen, 1978).

Une confusion règne en ce qui concerne le rôle de la température sur les migrations; ceci est dû au fait que les conditions opératoires sont différentes selon les auteurs et que ces études correspondent à des espèces différentes. Il existe une corrélation entre les températures et les déplacements (Levine, 1963; Gevrey, 1970), mais les résultats des études sont souvent controversés. Gevrey (1969) montre que les augmentations de températures, jusqu'à un certain seuil, stimuleraient les migrations. D'après Furman (1944a) et Skinner et Todd (1980), l'effet de la température sur les déplacements larvaires serait plutôt inverse (corrélation négative). Il y aurait une absence de migration aux basses températures (5°C) et aux températures élevées (35°C). Par contre, Rogers (1940), fait remarquer que ce sont les températures extrêmes (-5°C et 45°C) qui favoriseraient les migrations larvaires et c'est à 25°C qu'elles seraient les plus faibles, mais les réponses larvaires aux basses et aux hautes températures peuvent varier en fonction des espèces

(Garcia Romero et Gruner, 1984). Les températures comprises entre 10°C et 25°C seraient plus favorables à l'activité des L3 de Trichostrongylus colubriformis avec un optimum du 20°C (Wallace et Doncaster, 1964).

Bien que les facteurs température et humidité soient considérés comme déterminants dans l'initiation des déplacements larvaires, il y a d'autres facteurs qui sembleraient jouer un rôle non négligeable.

Les faibles intensités lumineuses stimuleraient les migrations sur l'herbe (Rogers, 1940; Rees, 1959; Meneau, 1981). Mais pour Furman (1944a) et Silangwa et Todd (1964) le facteur intensité lumineuse n'aurait qu'un faible rôle, car des migrations larvaires ont aussi été observées à l'obscurité.

L'orientation dans un déplacement est un processus dans lequel la direction de déplacement des L3 est influencée par des stimuli externes. Wallace (1961) a étudié de façon précise l'action de différents facteurs externes sur les déplacements et a introduit la notion de "mouvements orientés". Les larves infestantes auraient tendance à fuir les fortes intensités lumineuses (phototropisme négatif); elles rechercheraient les zones humides (hygrotopisme positif) et elles s'élèveraient au niveau du sol vers le pâturage (géotropisme négatif). Ces données ont permis à Meneau (1981) de conclure que les larves infestantes devraient être plus nombreuses sur la végétation le matin et le soir. Mais les phénomènes régissant les migrations sont plus complexes, en effet les L3 peuvent être plus nombreuses sur le pâturage vers midi (Gevrey, 1970)

Des facteurs autres que climatiques jouent un rôle sur les déplacements larvaires, comme la nature du couvert végétal, la hauteur de la végétation et la nature du sol; ils auraient plutôt un rôle indirect par la création de conditions microclimatiques favorables aux déplacements larvaires (Rogers, 1940; Rose, 1964).

Ces déplacements des L3 constituent un des facteurs de variations des populations larvaires mesurées sur les pâturage.

- Fluctuations saisonnières des populations larvaires

Des modifications de ces populations interviennent en fonction des saisons:

* **En hiver**, les conditions extérieures sont peu favorables aux migrations et par conséquent peu de L3 sont retrouvées sur l'herbe (Gibson et Everett, 1972 ; Pandey, 1974). Les L3 n'ayant pas été absorbées par l'animal ont la capacité de s'enfoncer dans le sol lorsque les conditions sont défavorables (Armour, 1980). La possibilité qu'ont les larves à passer

l'hiver suppose un bon degré de tolérance aux basses températures. De toutes les espèces, Teladorsagia circumcincta est une espèce bien adaptée aux basses températures (Dinaburg, 1944; Kates, 1950).

* **Au printemps** les larves ou les oeufs ayant survécu à l'hiver, assurent la source d'infestation des animaux sur le pâturage. L'augmentation de la température et une humidité importante favorisent l'augmentation des populations larvaires sur les pâturages (Kates, 1950). Pour Pandey (1974), c'est pendant les mois de mai et juin que les conditions climatiques sont les plus favorables au développement des oeufs en L3 et aux migrations de celle-ci sur l'herbe. C'est aussi à cette époque qu'il y a une levée d'inhibition du développement des L4 qui ont passée l'hiver enkystées dans la muqueuse digestive. Les femelles issues des larves enkystées assurent la contamination en rejetant leurs oeufs sur le pâturage.

* **En été**, la pluviométrie est déterminante sur la possibilité de développement des oeufs en larves infestantes ainsi que sur les déplacements de ces dernières (Gruner et Boulard, 1982). Lorsque les températures sont élevées et l'humidité faible, les L3 meurent ou ont tendance à s'enfoncer dans le sol; cela se vérifie particulièrement sous climat méditerranéen. Des variations dans les conditions estivales peuvent être observées et dans le cas d'un été pluvieux l'infestation peut être importante (Rose, 1963 a). Par ailleurs, certaines L3, qui se sont développées en été peuvent survivre jusqu'au printemps suivant (Rose, 1963 a; Gibson et Everett, 1972).

* **En automne**, les populations de L3 retrouvées sur l'herbe sont en général plus importantes qu'en été. Cette augmentation est essentiellement due à une pluviosité plus forte.

1.1.3. Facteurs climatiques et pouvoir infestant

Les larves infestantes des strongles digestifs sont capables de survivre pendant de longues périodes sans aucun apport nutritif extérieur. Au cours du vieillissement de ces larves, il existe d'importantes modifications physiologiques: on note une baisse plus ou moins rapide de l'activité des enzymes et une utilisation des réserves lipidiques accumulées durant les stades précédents. Ces modifications s'accompagnent d'une diminution du pouvoir infestant après un délai plus ou moins long selon les conditions climatiques de conservation ou de survie .

Mallet et Kerboeuf (1984) montrent, dans le cas de Trichostrongylus colubriformis, que la diminution du pouvoir infestant est, une fonction de la température (essentiellement) et de l'âge des larves. Dans un premier temps, un accroissement du pouvoir infestant vers un maximum est observé. Celui-ci est obtenu en 3 semaines à 22 °C; à 4 °C, il est enregistré après 5 semaines au moins. Le pouvoir infestant décroît ensuite. La réduction est obtenue rapidement à températures moyennes supérieures à 20 °C où la chute du pouvoir infestant atteint 50% après 9 semaines; elle est plus progressive à basses températures où une baisse équivalente n'est atteinte qu'après 15 semaines. La coïncidence du pouvoir infestant des L3 avec leur activité enzymatique (Mallet et Kerboeuf, 1984), permet de penser qu'un moyen indirect de caractériser le pouvoir infestant pourrait être la mesure de l'activité de certaines enzymes.

1.2. Rôle de la température sur le développement des oeufs en larves en conditions expérimentales

Le tableau IV regroupe les données obtenues au laboratoire sur les températures extrêmes permettant l'embryogenèse et l'éclosion des oeufs des principales espèces. Si le développement ne peut se faire à des températures supérieures à 35-40 °C, les températures minimales varient selon l'espèce, et au sein d'une même espèce, selon l'origine géographique de la souche (isolat).

La majorité des travaux concerne les relations température-vitesse d'apparition des premières L3, mais peu de données prennent en compte le taux de développement (tableau V).

Tableau IV: Températures de maintien des oeufs dans les matières fécales de strongles gastrointestinaux de ruminants: influence sur le délai et le temps d'éclosion.

Espèce	Température	Délai jusqu'à l'éclosion (heures)	Taux d'éclosion	Référence
<u>Haemonchus contortus</u>	minimum 15-18°C	96	50%	Veglia (1915)
	maximum 40°C			
	optimum 22-35°C	14-24	90%	
	minimum 9°C	168		Crofton (1965)
	maximum 36°C	13		
<u>Trichostrongylus axei</u> et <u>vitrinus</u>	minimum 8-9°C	168		
	maximum 36°C	19		
<u>Teladorsagia circumcincta</u>	minimum 4°C	168		
	maximum 34°C *souche Bristol	17		
	minimum 4°C	48		Pandey et al (1989)
	maximum 35°C	12		
	optimum 25-35°C	12-72		
	minimum 10°C	168		Crofton et Whitlock (1965a)
	maximum 38°C **souche Cornell	16		
	temp. constante			Salih et Grainger (1982)
	minimum 5°C	288	90%	
	maximum 35°C	24	96%	
	temp. alternée			
	minimum 16-20°C	36	99%	
	maximum 20-25°C	24	99%	
<u>Cooperia curticei</u>	minimum 17°C	168		Crofton (1965)
	maximum 38°C	15		
<u>Cooperia oncophora</u>	minimum 16°C	168		
	maximum 38°C	11		
<u>Chabertia ovina</u>	minimum 6°C	192		
	maximum 36°C	17		

Tableau V: Températures extrêmes et optimales (dans les matières fécales) permettant le développement des oeufs de quelques espèces de strongles gastro-intestinaux. (ND= non déterminé)

Hôte	Espèce	Température	Délai jusqu'à la L3	Taux de dévelop.	Référence
	<u>Haemonchus contortus</u>	min. 12°C	16 jours	1%	Berberian et Mizelle(1957)
		max. 37°C	5,5 jours	10%	
		opt. 33°C	2,5 jours		
O		min. 11°C	15 jours	60-90%	Silverman et Campbell(1959)
		max. 37°C	3 jours	10-30%	
V		min. 10°C	13-15 jours	ND	Jehan et Gupta (1974)
		max. 37°C	3-4 jours		
		opt. 30°C			
	<u>T. axei et colubriformis</u>	min. 10°C	22-26 jours		Rojo Vasquez (1976)
		max. 35°C	3 jours		
I	<u>T. colubriformis</u>	min. 10°C		16,1%	Ciordia(*) et al (1966)
		max. 32°C		31%	
		opt. 25°C		40,1%	
N		min. 10°C	22 jours	5,8%	Wang (**)(1967)
		max. 30°C	3 jours	22,8%	
		opt. 25°C	6 jours	62,2%	
		opt. 30°C (à 65-75%HR)	8 jours	40%	Andersen et Levine (1968)
		opt. 20°C (à 56% HR)	12,5 jours	44%	Waller et Donald (1970a)
B	<u>Ostertagia ostertagi</u>	min.22-23°C	3-7 jours	ND	Rose (1961) et (1962)
		max.14-16°C	7-16 jours		
		opt.10-11°C	18-28 jours		
O	<u>Cooperia oncophora</u>	min.22-23°C	3-9 jours	ND	Rose (1963a)
		max.14-16°C	4-21 jours		
		opt.10-11°C	21-56 jours		
I	<u>T. axei et colubriformis.</u>	min. 6°C	41 jours	1,3%	Ciordia et Bizzel (1963)
		max. 32°C	7-9 jours	0,03%	
		opt. 25°C	7-9 jours	30%	
N	<u>C. punctata et oncophora. O. ostertagi.</u>				

(*) par infestation de lapins

(**) sur culture d'E. coli

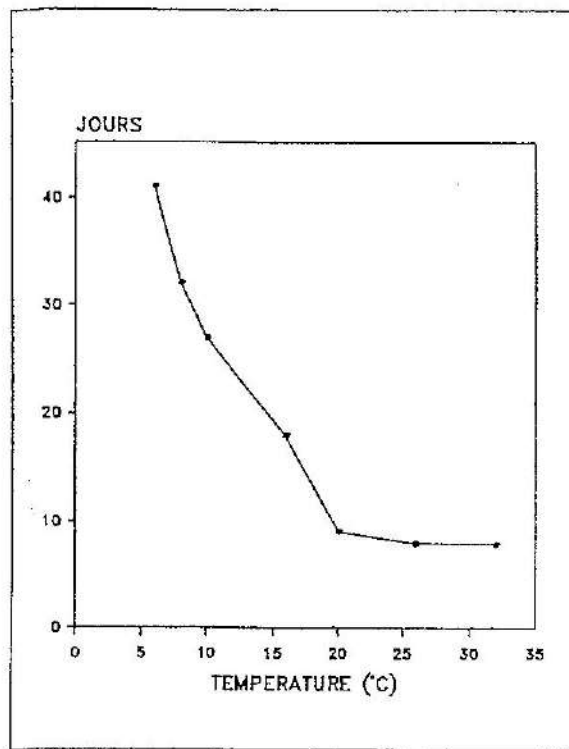


Figure 2: Effet de la température sur la vitesse d'apparition des premières L3 de *Teladorsagia circumcincta* (tiré de Ciordia et Bizzel, 1963).

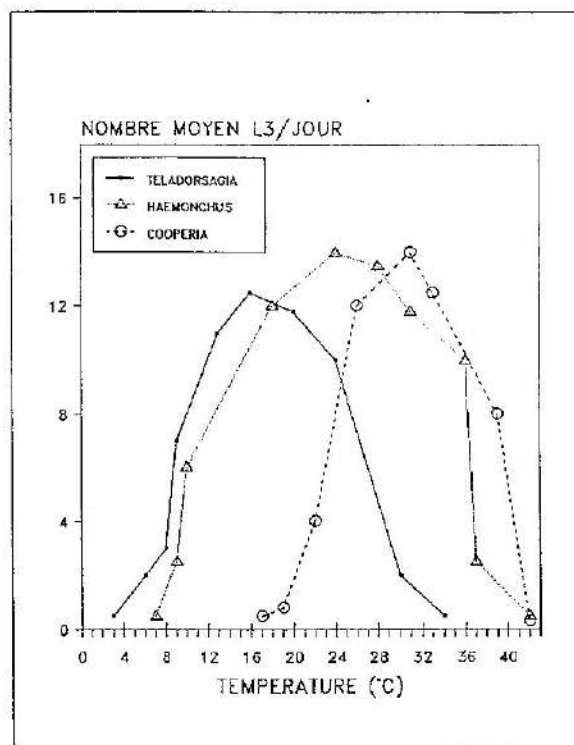


Figure 3: Températures optimales de production de larves d'*H. contortus*, *T. circumcincta* et *C. curticei*, exprimé en % du nombre total de L3 produites. (tiré de Crofton, 1963).

Plus la température est élevée plus l'évolution est rapide (figure 2), mais le maximum de développement est obtenu à des températures comprises entre 15 et 25°C pour Teladorsagia circumcincta, 18 et 36°C pour Haemonchus contortus et 25 et 35°C pour Cooperia curticei (figure 3).

Ces résultats sont obtenus en conditions contrôlées au laboratoire. Les expériences de dépôts de fèces parasitées en conditions naturelles révèlent que le développement est beaucoup plus lent (par exemple 28-35 jours en moyenne pour Teladorsagia circumcincta, Callinan, 1978a et Uriarte et Gruner, 1989), mais la température n'est pas seule en cause. Au laboratoire, le fait de conduire des coprocultures sous températures alternées n'affecte pas la vitesse de développement des oeufs en larves. Le concept de degré-jour utilisé par Crofton et Whitlock (1965b) ou Hsu et Levine (1977) reste valable mais l'hygrométrie modifie de façon considérable les possibilités d'évolution des oeufs en larves. Rappelons ce qu'est ce concept de degré-jour: les oeufs ont besoin d'une certaine quantité de chaleur pour se développer jusqu'au stade L3; si cette quantité est de 260 degrés-jours, elle peut aussi bien être la somme de 26 ° pendant 10 jours que celle de 13 ° pendant 20 jours (à condition que 13 ° soit au dessus de la température minimale de développement).

1.3. Rôle de l'eau sur le développement des oeufs en larves

Nombre d'expériences de laboratoire ont été conduites en mettant dans des enceintes à humidité contrôlée soit des oeufs extraits des fèces, soit des matières fécales parasitées, mais l'environnement immédiat des oeufs est l'eau comprise dans les matières fécales.

1.3.1. Humidité pondérale (HP) des matières fécales

- Fèces de bovin

Lors de l'émission l'humidité pondérale est de l'ordre de 85-70% chez les bovins; compte tenu de la masse des matières fécales émises, l'évolution de l'humidité est généralement suffisamment lente, pour ne pas être un facteur limitant du développement des strongles.

La partie la plus centrale se dessèche plus lentement que la périphérie, un croûte se forme au contact avec l'air (80 % HP au centre contre 60 à 64 % dans le reste de la bouses au bout de 3 jours en ambiance ventilée). La bouses est donc un environnement très hétérogène, qui se dessèche de toute façon beaucoup moins rapidement que les fèces en grains des petits ruminants.

- Fèces en grains des petits ruminants

Le problème est très différent chez les petits ruminants. L'humidité pondérale à l'émission est comprise entre 55 et 70% d'après Silverman et Campbell (1959), 55-58% pour des ovins en stabulation alimentés de foin et de granulés, 60-65% pour des ovins à l'herbe (Mauléon et Gruner, 1984). Elle atteint 75% pour les matières diarrhéiques.

L'évaporation est d'autant plus rapide que la température est élevée et l'humidité relative de l'air ambiant basse. En ambiance contrôlée, Silverman et Campbell (1959) obtiennent une déshydratation totale à 70% d'HR (humidité relative) en 24 h à 21,6°C et 3 jours à 7,2°C et à 90% d'HR en 3 jours à 21,6°C et 9 jours à 7,2°C.

En conditions naturelles, un dépôt de fèces passe de 55 à 10% d'humidité pondérale après 4 heures sur sol enherbé en Touraine au mois d'avril (Mauléon et Gruner, 1984)(figure 4).

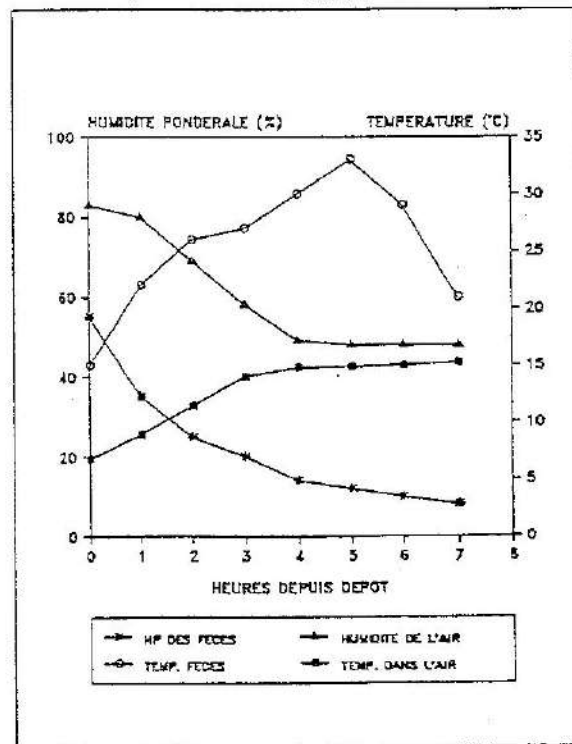


Figure 4: Dépôt sur sol enherbé de fèces d'ovins; en Touraine au mois d'avril (journée ensoleillée), évolution de l'humidité pondérale des fèces et de l'air, de la température au sein des fèces et dans l'air (tiré de Mauléon et Gruner, 1984).

En Guadeloupe, pendant la saison sèche, cette déshydratation est intense entre 9 et 14 h, par contre entre 18 h et 6 h les fèces reprennent du poids à cause de la rosée, et en 2 jours l'humidité pondérale peut être inférieure à 1% (Berbigier et al., 1990). La baisse de l'humidité correspond à l'augmentation de température.

L'évaporation est ralentie si les grains sont plus gros, déposés en amas plutôt que dispersés, le soir plutôt que le matin, à l'ombre plutôt qu'au soleil, dans un couvert végétal haut plutôt que ras (Mauléon et Gruner, 1984).

1.3.2. Exigences hydriques des nématodes

La majorité des travaux portent sur les effets de la déshydratation sur la survie des oeufs et des jeunes larves de Haemonchus contortus et de Trichostrongylus colubriformis.

- Expériences en conditions contrôlées

La mortalité due à la déshydratation des matières fécales varie selon l'espèce et le stade de développement. Veglia (1915), Silverman et Campbell (1959) observaient que les oeufs de Haemonchus contortus supportaient la déshydratation des fèces s'ils étaient au stade oeuf embryonné prêt à éclore, mieux qu'à un stade plus précoce. Waller et Donald (1970a) confirmaient ces données sur des oeufs extraits des fèces et maintenus dans des enceintes à humidité contrôlée. Les mêmes phénomènes existent chez les oeufs de Trichostrongylus colubriformis, par ailleurs plus résistants que ceux de Haemonchus contortus (Monnig, 1930; Andersen et Levine, 1968; Waller et Donald, 1970a).

Les jeunes stades larvaires ne résistent pas à 24 h de dessèchement (Rose, 1963b)(tableau VI).

Tableau VI: Nombre de larves infestantes de Haemonchus contortus obtenues selon la température et l'état hydrique des fèces (Rose 1963b).

température °C	fèces humides	fèces sèches	fèces séchées puis réhumidifiées et incubées à 25°C
24-25	350 000	0	0
15-16	442 000	4	12
10-11	547 000	10	34

Le développement est inhibé si l'humidité relative est inférieure à 96% pour Haemonchus contortus (Berberian et Mizelle, 1957), 96% d'après Waller et Donald (1970a) pour cette espèce et 75 à 93% pour Trichostrongylus colubriformis. Un meilleur développement est observé si l'humidité varie de façon cyclique entre 70 et 100% (moyenne 85%) plutôt que de rester constante (85%) (Hsu et Levine, 1977).

Teladorsagia circumcincta a un comportement similaire (tableau VII), et Furman (1944), Rose (1961-1962), Mauléon et Gruner (1984) classent la résistance à la déshydratation par ordre croissant, les larves préinfestantes (L1-L2), les oeufs non embryonnés, les oeufs embryonnés et les larves infestantes (L3).

Tableau VII: Nombre de L3 de Teladorsagia circumcincta /g de fèces obtenues au terme d'une coproculture en fonction de la température, de l'humidité relative (H.R.) ambiante et de l'état hydrique des fèces (Rose, 1961).

température °C	HR 72-81% fèces sèches	HR 98-100% fèces humides
22-23	0	62
14-16	0	42
10-11	0	57

Mauléon et Gruner (1984) établissent de premières courbes de taux de développement en fonction de l'humidité pondérale des fèces maintenue constantes (figure 5): les humidités pondérales optimales des fèces seraient de 60 à 70% selon l'espèce. Par ailleurs une déshydratation temporaire (4 heures) suivie d'une réhumidification perturbe moins le développement des oeufs de Teladorsagia circumcincta que ceux de Trichostrongylus colubriformis (figure 6).

Le volume des oeufs semblerait intervenir dans la probabilité de développement (Crofton et Whitlock, 1965 b, c.; Waller et Donald, 1970b). Les petits oeufs évolueraient plus rapidement que les gros, ce qui leur permettrait d'atteindre un stade de résistance (oeuf embryonné) avant que le dessèchement n'intervienne.

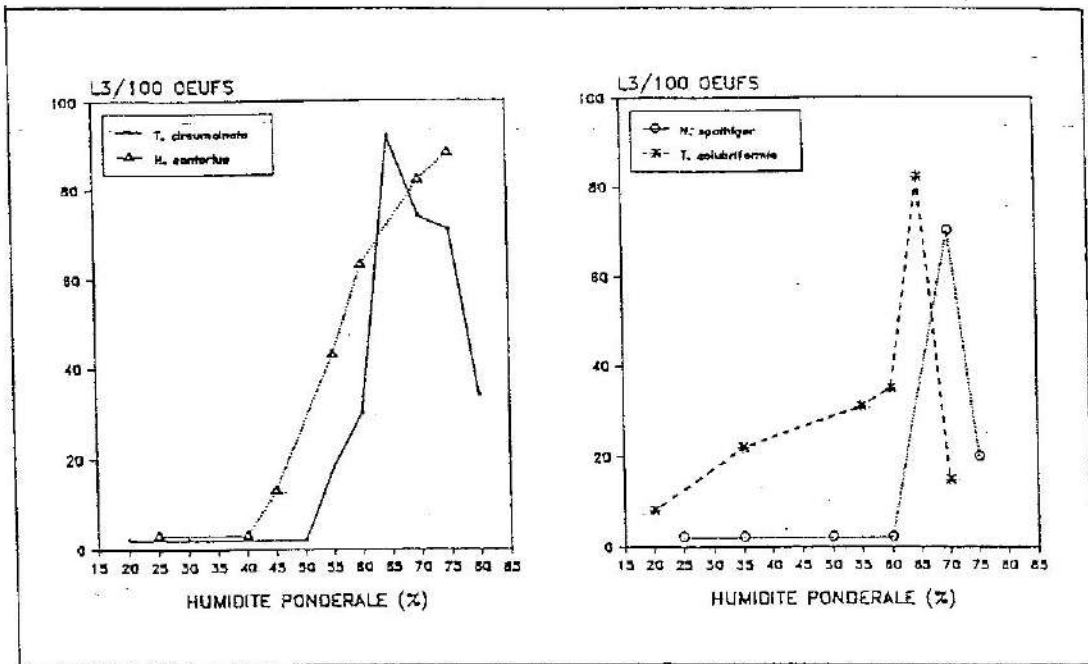


Figure 5: Développement des oeufs de *T. circumcineta*, d'*H. contortus* de *N. spathiger* et de *T. colubriformis*, en fonction de l'humidité pondérale des fèces (tiré de Mauléon et Gruner, 1984).

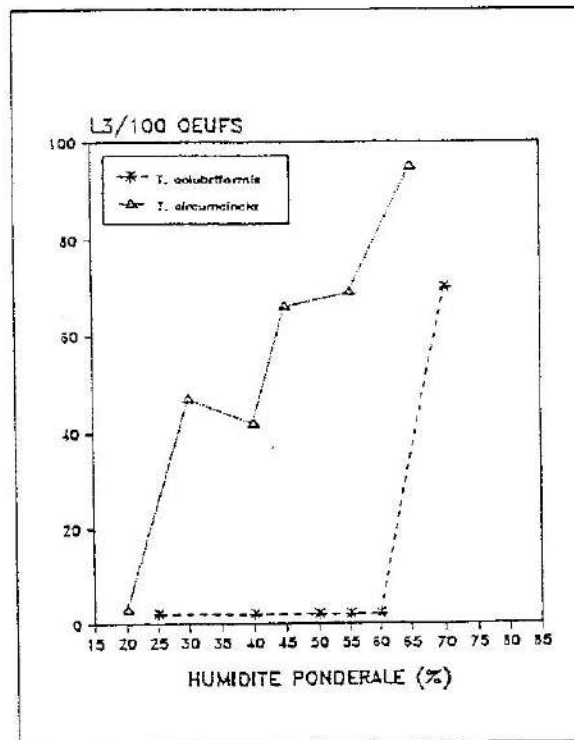


Figure 6: Développement des oeufs de *T. circumcineta* et de *T. colubriformis* dans des fèces réhydratées à la suite d'un dessèchement d'intensité variable (tiré de Mauléon et Gruner, 1984).

- Expériences en conditions naturelles

Le dépôt de fèces sur sol enherbé subit rapidement l'influence combinée des facteurs ambiants, nous privilégierons l'aspect humidité.

Shorb (1943), Dinaburg (1944) et Gibson (1969) mettent en évidence l'importance des conditions climatiques des jours entourant l'émission des fèces. Pour ce dernier auteur ainsi que pour Rose (1970), Okon et Enyenihi (1977), la pluie est le facteur le plus nécessaire au développement des larves, rendu possible s'il y a au moins 3 mm/jour pendant les 7 premiers jours suivant le dépôt, et une température supérieure au seuil minimal de développement. En Grande Bretagne, printemps et été seront par conséquent les saisons les plus favorables au développement des strongles (Silverman et Campbell, 1959; Rose, 1963b).

Le tableau VIII regroupe les données obtenues en conditions naturelles sur les taux maximaux de développement (L3/100 oeufs déposés) dans les matières fécales de petits ruminants et de bovins.

La nature du sol intervient par ses facultés de rétention en eau: les sols argileux sont plus favorables à un bon développement des oeufs en larves (Rose, 1964; Levine et Todd, 1975). Il semblerait que ce soit en fait l'intensité du dessèchement des matières fécales qui soit en cause. Mauléon et Gruner (1984) établissent une corrélation significative entre vitesse de dessèchement et taux de développement de Teladorsagia circumcincta. Pour Berbigier et al. (1990), l'humidité pondérale minimale au cours des 36 premières heures explique à elle seule 72, 55 et 38% de la mortalité des oeufs d'Oesophagostomum columbianum, Haemonchus contortus et Trichostrongylus colubriformis dans les matières fécales de caprin pendant la saison sèche en Guadeloupe. Cinq à 22% des oeufs de cette dernière espèce peuvent survivre 7 jours à l'état d'anhydrobiose sur le sol.

L'irrigation des pâturages favorise le développement des parasites par l'augmentation de la teneur en eau du sol et des fèces. L'aspersion favorise Haemonchus contortus et Trichostrongylus spp. (Bullick et Andersen, 1978; Gruner et Berbigier, 1988), surtout si elle intervient rapidement après le dépôt des fèces parasitées. L'immersion a globalement un effet favorable (Suryahadi, 1986).

Tableau VIII: Taux maximaux de développement (L3/100 oeufs) en conditions naturelles dans les matières fécales de petits ruminants et de bovins.

Hôte	Espèce	taux(%)	Pays	Date	Référence
Ovin	<u>I. circumcincta</u>	34,5	Australie	Automne	Callinan(1978a)
	<u>I. axei</u>	22,6	Australie	Automne	Callinan(1978b)
	<u>I. vitrinus</u>	25,7	Australie	Eté	Callinan(1979)
Chèvre	<u>H. contortus</u>	23	Guadeloupe (FWI)	Mars	Gruner et al (1989) (#)
	<u>I. colubriformis</u>	39			
	<u>O. columbianum</u>	17			
Bovin	Mixte	28	Guadeloupe (FWI)	Juillet	Mauleon et Gruner(1982)
	<u>O. ostertagi</u>	36	USA	Eté	Goldberg(1970)
		2,7	USA	Novembre	Williams et Bilkovich(1971)
		16	Belgique	Juin	Pandey(1974)
		46,6	Australie	Printemps	Young et Anderson(1981)
	<u>C. punctata</u>	1	USA	Eté	Goldberg(1970)
	<u>O. radiatum</u>	5	USA	Eté	

(#) essai avec irrigation

1.4. Action d'autres facteurs écologiques

Le pH ne commence à intervenir sur la viabilité des nématodes qu'en dehors de la plage 4-8 (Dick et Celand, 1973; Pecheur, 1962); par contre la pression osmotique agit sur la viabilité des larves et Mauléon et Gruner(1982) ont établi une toxicité décroissante des ions Ca⁺⁺, Mg⁺⁺, Na⁺ et K⁺. Ces auteurs observent que dans des bouses déposées sur des sols à salinité variable, les oeufs évoluaient en L3 mais la survie des L3 était affectée par le taux de salinité.

L'exposition directe des fèces au rayonnement solaire affecte le développement d'*Haemonchus contortus* (Veglia, 1915; Mønning; 1930). Tout comme le type et la hauteur de la végétation, la nature du sol, ces éléments interviennent en fait sur le bilan thermique et hydrique de l'environnement immédiat des parasites. L'oxygène est un élément nécessaire au développement: les oeufs des strongles gastrointestinaux n'évoluent pas dans les conditions anaérobies du tube digestif.

1.5. Modélisation

A coté de modèles empiriques comparant la prévalence des nématodoses aux conditions climatiques moyennes des saisons, divers auteurs ont tenté d'établir des modèles explicatifs en vue de simuler la dynamique des populations sur les pâturages. Gruner (1988) en a fait récemment une présentation synthétique (tableau IX).

Tableau IX: Principaux modèles de simulation du développement des oeufs en larves infestantes de strongles gastrointestinaux utilisant des données climatiques (T=température, HR=humidité relative, P=pluviométrie, ETP=évapotranspiration potentielle) (Gruner, 1988).

Auteurs	BARGER et al (1972,1973)	CALLINAN et al (1982)	GETTINBY et al (1979)	PAION et al (1984)
Pays	Australie (NSW)	Australie (Victoria)	Grande Bretagne	Grande Bretagne
Parasites	<i>Haemonchus contortus</i>	<i>Teladorsagia</i> sp. <i>Trichostrongylus</i> spp.	<i>Ostertagia ostertagii</i>	<i>Teladorsagia circumcincta</i>
Hôte	ovin	ovin	bovin	ovin
Conception du modèle				
durée de la vie de l'oeuf	< 5 jours	la probabilité pour passer d'un stade à l'autre	nombre de jours (oeuf à larve 3)	nombre de jours (oeuf à larve 3)
Taux d'éclosion	défini selon T	$f(T, \text{état hydrique du sol})$	$f(T)$	$f(T)$
Taux de développement	défini, selon valeur de P/ETP	$f(T, \text{état hydrique du sol})$	constante (2 % par jour)	x 3 si période non "humide"
Mortalité des larves	$f(T \text{ max.}, HR \text{ max.})$	résultats de REES (1950)	si 3 jours avec P > 1 mm ou 1 jour avec P > 4,5 mm	après un jour de pluie
Migrations sur l'herbe	$f(\% \text{ herbe verte})$			
entrée du modèle	oeufs/gramme de fèces nombre d'animaux T, HR maxi, ETP, P Herbe disponible et verte	oeufs/gramme (sortie sous modèle) T, P, ETP	oeufs/gramme T air, T sol, P	larves 3/kg herbe sèche en début de saison oeufs/gramme T max, T min, P:
sortie du modèle	larves 3/100g herbe sèche	larves 3/ha	larves 3/kg herbe sèche	larves 3/kg herbe sèche

De façon générale les moments d'apparition des larves sur le pâturage depuis le dépôt de fèces parasitées par les animaux sont déterminés au moyen de modèles fondés sur la température de l'environnement.

La prise en compte de l'humidité est beaucoup moins précise. Pour Barger et al. (1972, 1973), la proportion d'oeufs d'Haemonchus contortus susceptibles de se développer est de 90%, 70% ou 50% selon que le rapport pluie sur évapotranspiration est supérieur à 1 en 1, 2 ou 3 semaines. Callinan et al. (1982) tiennent compte du bilan hydrique du sol, en Australie également. En Grande Bretagne, l'humidité n'intervient que pour les déplacements des larves d'Ostertagia ostertagi depuis les bouses (Gettinby et al., 1979), alors que pour Paton et al. (1984), c'est le taux de mortalité des divers stades qui est multiplié par trois dès que les conditions d'humidité paraissent limitantes.

1.6. Conclusion

En conclusion, les relations entre l'abondance des strongles chez les ruminants ou sur les pâturages et les facteurs climatiques ont fait l'objet de nombreuses observations et d'expérimentations en conditions naturelles ou contrôlées. La présence des principales espèces dans les diverses parties du monde est désormais bien documentée, aussi une compilation de ces données avec les caractéristiques climatiques des lieux où ont été menées les observations permettrait de dégager des facteurs clé susceptibles d'expliquer la répartition géographique de ces espèces.

A cette démarche, nous avons préféré envisager des études plus expérimentales et analytiques en se focalisant sur l'une des étapes fondamentales des niveaux parasitaires, la phase du taux de développement des oeufs en larves infestantes. En effet nombre de travaux ont concerné divers aspects de la survie et des déplacements de ces larves comme nous les avons présentés dans ce chapitre. De même il existe des données quantitatives sur l'influence de la température sur le développement. Par contre le facteur humidité est plus généralement pris en compte sur les phases de survie et de migration larvaires ou sur la résultante de l'ensemble des phénomènes conduisant à la population de larves présente sur l'herbe susceptible d'être ingérée par l'hôte.

Les données les plus quantitatives existant sur le développement des stades libres ont rarement été établies de façon comparative pour plusieurs espèces. Aussi plutôt que de se consacrer à l'étude d'un seul modèle, nous avons envisagé de prendre en compte, dans la mesure du possible, plusieurs espèces afin de dégager les lois communes ou les caractéristiques particulières des unes par rapport aux autres.

CHAPITRE II

MATERIELS ET TECHNIQUES

PARASITOLOGIQUES

CHAPITRE II

MATERIELS ET TECHNIQUES PARASITOLOGIQUES

La majorité des expériences a concerné l'étude du taux de développement des oeufs contenus dans les fèces en larves infestantes.

Ces fèces ont été récoltées:

* sur des veaux naturellement parasités par un ensemble de parasites pour les expériences effectuées sur les bouses, travail réalisé en Argentine où nous ne disposons pas de souche pure.

* sur des ovins maintenus en cage à digestibilité et infestés par voie orale par l'une des 8 espèces maintenue au laboratoire ou isolée depuis peu pour toutes les expériences réalisées en France.

Les techniques décrites dans ce chapitre sont celles utilisées dans notre travail. A côté de techniques parasitologiques classiques, nous avons été amené à améliorer certaines d'entre elles notamment pour arriver à dénombrer les oeufs de façon plus précise, donnée de base indispensable pour estimer un taux de développement. Les protocoles des diverses expériences sont présentés dans les chapitres correspondants pour plus de clarté.

2.1. LES PARASITES

2.1.1. Souches utilisées

Les souches expérimentales utilisées (tableau X) ont été soit des souches provenant de Grande Bretagne multipliées au laboratoire depuis de nombreuses années, soit ont été isolées par le laboratoire d'Ecologie Parasitaire ces dernières années. Deux espèces provenant de bovins (Ostertagia ostertagi et Cooperia oncophora) et une autre de chevreuil (Ostertagia leptospicularis) ont été ovinisées depuis 2 à 3 générations.

Cette "ovinisation" a été assurée par utilisation de corticostéroïdes retard (Acétonide de Triamcinolone ou Betaméthasone) chez les ovins infestés expérimentalement. L'effet immunosuppresseur de ces corticoïdes favorise l'implantation des larves adaptées à un autre hôte.

Plusieurs raisons expliquent le choix de ces souches: espèces adaptées à des conditions de milieu variées; climats tempérés (Teladorsagia et Ostertagia), à des conditions thermiques élevées (Haemonchus contortus, Cooperia oncophora et Chabertia ovina), ou évoluant normalement dans des fèces de bovins (Ostertagia ostertagi) moins exposées à la déshydratation que celles des petits ruminants. Parmi les Trichostrongylus, T. vitrinus est plus commun sous climat méditerranéen et T. colubriformis existe dans beaucoup de régions. Cette espèce est connue pour bien résister à des conditions sèches.

Tableau X: Espèces de nématodes parasites utilisées au cours des expériences au laboratoire.

Espèce	origine de la souche	hôte	localisation
<u>Teladorsagia circumcincta</u>	Le Merle(F)	ovin	caillette
<u>Haemonchus contortus</u>	Weybridge(GB)	ovin	caillette
<u>Trichostrongylus colubriformis</u>	Weybridge(GB)	ovin	Int. grêle
<u>Trichostrongylus colubriformis</u>	Limoges(F)	ovin	Int. grêle
<u>Trichostrongylus vitrinus</u>	Le Merle(F)	ovin	I.grêle+cail.
<u>Cooperia oncophora</u>	Angleterre(GB)	bovin	Int. grêle
<u>Ostertagia ostertagi</u>	Weybridge(GB)	bovin	caillette
<u>Ostertagia leptospicularis</u>	Nouzilly(F)	chevreuil	caillette
<u>Chabertia ovina</u>	Le Merle(F)	ovin	colon

2.1.2. Entretien des souches

Les larves sont conservées à + 4°C en suspension aqueuse, dans des boîtes de culture de cellules. La durée de la conservation des L3 varie selon l'espèce; celles de Teladorsagia et d'Ostertagia peuvent survivre en suspension aqueuse à 5°C pendant 825 et 1133 jours, respectivement (Boag et Thomas, 1985). Le maintien des souches de parasites en laboratoire se fait par passage sur des agneaux.

Les animaux utilisés dans les expériences pour entretenir les souches expérimentales sont de jeunes ovins âgés de 3 à 4 mois (20 à 30 kg). Selon la disponibilité du moment, ils sont de race Ile de France, Préalpes du sud, Suffolk, Berrichon, Romanov ou issus de leur croisement. Ils sont élevés en bergerie avec une alimentation à base de céréales (avoine, orge, blé) de concentré et de foin issu de parcelles non pâturées, c'est à dire indemnes de strongles. Les agneaux sont maintenus dans une cage à digestibilité pendant la durée des expériences afin de faciliter la récolte des matières fécales. Les agneaux sont traités une semaine au moins avant l'infestation avec un anthelminthique (10 mg de Fenbendazole par kg de poids vif).

Les agneaux sont infestés par voie orale par une souche de larves infestantes. La dose de L3, monospécifique, a varié de 500 à 15000 selon les espèces. Le délai d'évolution des larves jusqu'au stade adulte (période prépatente) est de 3 semaines sauf pour Chabertia ovina (6 semaines).

Voici la procédure pour les productions d'éléments pré-infestants pour les expérimentations de développement:

1) Les fèces en grains émises depuis 4 heures au plus sont récoltées et conservées à 4°C jusqu'à leur utilisation.

2) Cette conservation n'exède pas 24 à 48 heures mais elle permet de grouper les récoltes et de disposer d'une quantité suffisante de fèces à répartir en lots.

2.2. DENOMBREMENT DES OEUFS

2.2.1. Technique classique ou OPG (coproscopie)

La mesure classique du nombre d'oeufs par gramme de fèces (OPG), ou coproscopie, est la technique de flottaison en lame de Mac Master. Nous avons adoptée celle décrite par Raynaud (1970). Cette technique permet une numération, dans une cellule calibrée dite de McMaster, des éléments parasitaires après une flottaison en solution dense. Cinq grammes de matières sont délitées et mis en suspension dans un liquide dense, filtré grossièrement sur une passoire à thé afin d'éliminer les débris pailleux. Les deux chambres de la lame sont remplies avec la solution filtrée, les oeufs remontent en surface. Le nombre d'oeufs observé (au microscope) dans les 2 chambres (soit dans 1 ml) est multiplié par 15 pour avoir le nombre d'OPG. Le liquide dense utilisé est du sulfate de magnésium à saturation ($d=1,27$).

2.2.2. Extraction des oeufs

La technique classique de dénombrement des oeufs (coproscopie ou OPG) est rapide et commode mais peu précise. Gruner et al (1985) obtenaient 3 à 5 larves par oeuf dénombré à l'issue du développement de ces oeufs. C'est pour cette raison que nous avons envisagé de les extraire des matières fécales afin de mieux les dénombrer. La description de cette technique est dans Rossanigo et Gruner, 1991 (annexe 1).

Dix grammes sont bien écrasés et lavés sous un fort jet d'eau dans une passoire (1 mm de maille) surplombant 3 tamis respectivement de 250, 125 et 20 microns. Le contenu du tamis de 20 microns est récupéré dans un récipient, le tamis rincé, et cette solution est concentrée par centrifugation 5 à 7 mn à 2500 t/mn après adjonction de kaolin dans le but de faire descendre

dans le culot débris organiques et oeufs. Le surnageant est ôté et remplacé par du sulfate de magnésium, le culot est bien remélangé et à nouveau centrifugé (5 mn à 1500 t/mn) ceci 3 à 4 fois. Oeufs et surnageant sont versés sur un tamis de 20 microns, rincé abondamment sous le robinet. Les oeufs sont récupérés sur ce tamis et conservés en une solution aqueuse propre. Le comptage est ensuite effectué par dilution au microscope en pipettant au moyen d'une micropipette n fois 5 ou 10 microlitres de la suspension mère de l'extraction. Cette technique est adaptée de celle effectuée par Coles et Simpkin (1977) et par Beaumont-Schwartz et al (1987).

2.2.3. Validité des 2 techniques pour les parasites d'ovins

- Rendement.

En vue de déterminer le rendement de l'extraction, les oeufs susceptibles d'avoir échappé au dénombrement sont recherchés par flottaison dans de l'iodomercurate de potassium (d=1,44) dans le culot de centrifugation et dans les débris de tamisage. Ceux restés sur le tamis de 20 microns sont récupérés par décantation, tamis retourné dans l'eau.

Le rendement (R) de l'extraction finale ou de chaque centrifugation est défini comme suit:

$$R(\%) = \frac{C1 + C2 + C3}{C1 + C2 + C3 + OCC + ODT + OPT} \times 100$$

où:

- Cn= nombre d'oeufs récupérés pendant chaque centrifugation.
- OCC= nombre d'oeufs récupérés par flottaison à partir du culot de la 3ème centrifugation.
- ODT= nombre d'oeufs récupérés par flottaison à partir des débris du tamisage.
- OPT= nombre d'oeufs restés sur le tamis de 20 µm.

Par comparaison au nombre total d'oeufs dénombrés, le rendement de l'ensemble des 3 centrifugations est compris entre 96 et 99% selon les espèces (tableau XI).

Moins de 3 oeufs sur 10000 sont retrouvés sur le tamis de 20 microns, un sur mille parmi les débris de tamisages et 0,6 à 4% dans les culots de centrifugation. La technique d'extraction s'avère satisfaisante.

- Fiabilité.

La comparaison des 2 techniques (tableau XII) montre que la coproscopie en Mg SO₄ permet d'observer seulement 16,7% des oeufs effectivement présents, indépendamment de l'espèce et du nombre d'oeufs, par rapport à l'extraction d'oeufs.

Le coefficient de variation moyen de cette estimation du rendement est de 24,7% (54% quand OPG < 65, et 15,5% quand OPG > 65). Le coefficient de variation moyen de l'extraction (8,88%) ne varie pas avec le nombre d'oeufs comme c'est le cas de celui de la technique de McMaster, qui varie entre 15,5 et 54 % selon la valeur de l'OPG (Figure 7).

Tableau XI: Rendement de l'extraction des oeufs à partir de 10 g de matière fécale exprimé en pourcentage du total au terme des 3 centrifugations (C1, C2, et C3).(moyenne de 4 répétitions)

Espèce	Rendement(R=%)				Pertes(%)		
	C1	C2	C3	Total	OCC	ODT	OPT
<u>T. circumcincta</u>	68,37	23,24	4,27	95,88	4,12	0	0
<u>H. contortus</u>	81,06	14,39	4,01	99,46	0,50	0,04	2.10 ⁻⁴
<u>O.leptospicularis</u>	83,53	11,03	3,26	97,82	2,09	0,09	0
<u>T. colubriformis</u>	90,76	7,79	0,76	99,31	0,62	0,07	0
<u>T. vitrinus</u>	80,47	10,69	7,58	98,70	1,24	0,06	0
<u>C. oncophora</u>	91,50	4,34	3,35	99,19	0,78	0,02	5.10 ⁻³
<u>Ch. ovina</u>	94,87	3,61	0,69	99,17	0,81	0,02	0
<u>O. ostertagi</u>	90,08	6,24	1,53	97,85	1,83	0,32	0

2.2.4. Validité dans le cas des fèces de bovins

Dans les bouses la comparaison des 2 techniques (tableau XIII) montre que la coproscopie en lame de McMaster permet d'observer plus d'oeufs que l'extraction. Le rapport OPG/Ex moyen est de 1,85. Les coefficients de variation moyens de l'extraction et de l'OPG sont similaires.

Ainsi, la technique de McMaster (OPG) a l'avantage d'être rapide et facile; elle est très utilisée dans les contrôles épidémiologiques quand les niveaux parasitologiques sont comparés entre les animaux. La technique d'extraction prend plus de temps à cause des centrifugations, mais sa plus grande précision pour les fèces de petit ruminant permet de détecter de très basses densités d'oeufs dans des échantillons qui sont négatifs avec l'autre technique. Nous l'avons utilisée dans nos recherches quantitatives sur la survie et le développement des oeufs dans les fèces d'ovin. Dans le cas des bouses, nous avons préféré utiliser la technique classique, l'extraction ayant donné de moins bons résultats.

Tableau XII: Nombre d'oeufs par gramme de fèces d'ovin comptés par extraction (Ex) et par la technique en lame McMaster (OPG), et rendement de cette technique (100 x OPG/Ex). (Coefficient de variation= écart type/moyenne de 2 à 4 répétitions).

EXTRACTION ESPECES	MCMASTER AGNEAU	(Ex)	OPG	Rendement
<u>T.circumcincta</u>	1	692 (2,4)	105 (20,2)	15,1 (20,2)
		405 (14,5)	75 (16,3)	18,5 (16,3)
		486 (15,7)	71 (20,1)	14,6 (20,3)
	2	1960 (1,4)	322 (9,9)	16,4 (9,9)
		1870 (10,6)	270 (7,4)	14,4 (15,7)
	3	1560 (5,4)	245 (12,7)	15,7 (12,5)
2050 (4,8)		322 (3,2)	15,7 (3,1)	
2730 (6,7)		460 (14,7)	16,8 (14,6)	
<u>O.ostertagi</u>	4	228 (15,0)	45 (33,3)	20,9 (27,8)
		305 (7,0)	60 (70,7)	19,6 (70,8)
	5	143 (3,8)	30 (50,0)	21,0 (50,0)
		93 (11,4)	20 (43,3)	21,5 (43,5)
<u>O.leptospicularis</u>	6	54 (4,2)	10 (70,7)	18,7 (70,6)
		58 (1,2)	10 (54,7)	17,2 (61,3)
<u>T.colubriformis</u>	7	6636 (10,3)	1066 (13,7)	16,0 (13,6)
		3428 (6,0)	505 (12,7)	14,7 (12,3)
	8	1610 (16,7)	270 (35,6)	16,8 (35,2)
<u>T.vitrinus</u>	9	650 (10,8)	105 (6,7)	16,2 (6,6)
		655 (5,3)	105 (20,2)	16,0 (20,3)
<u>H. contortus</u>	10	6050 (11,9)	918 (10,2)	15,2 (10,1)
		5105 (7,1)	867 (5,3)	16,9 (5,0)
<u>C.oncophora</u>	11	985 (17,9)	143 (37,2)	14,5 (37,1)
		950 (1,4)	135 (31,4)	14,2 (31,3)
<u>C.ovina</u>	12	395 (18,0)	63 (5,6)	15,8 (5,8)
		508 (12,7)	78 (4,5)	15,3 (4,2)

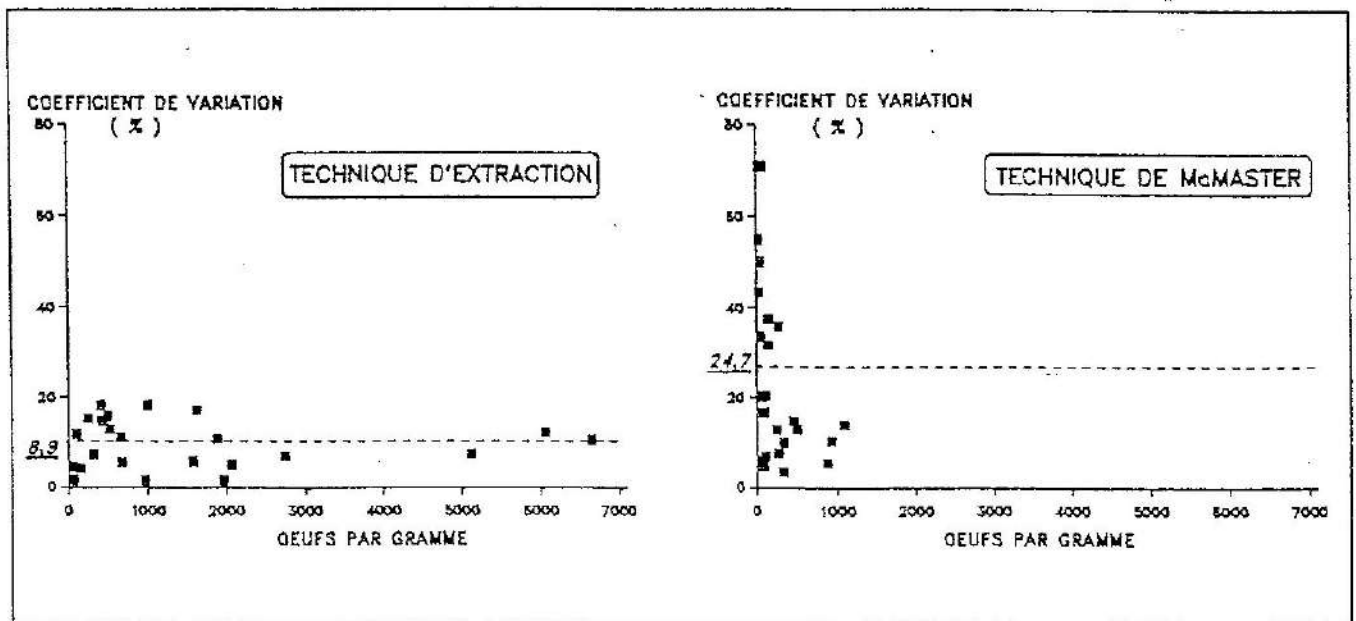


Figure 7: Coefficient de variation (%) des 2 techniques selon le nombre d'oeufs par gramme comptés dans les fèces d'ovin. (tiré de Rossanigo et Gruner, 1991).

Tableau XIII: Nombre d'oeufs par gramme de fèces chez des bovins avec une infestation mixte (*Haemonchus*, *Cooperia*, *Ostertagia*, *Oesophagostomum* et *Trichostrongylus*), mesuré par extraction (Ex) et par la technique en lame McMaster (OPG), et rapport OPG/Ex. (Coefficient de variation= écart type/moyenne de 2 à 3 répétitions).

Extraction	McMaster OPG	Rapport OPG/Ex
86 (0,14)	140 (0,19)	1,63
118 (0,22)	233 (0,26)	1,97
684 (0,21)	1570 (0,17)	2,29
715 (0,41)	1600 (0,43)	2,24
783 (0,49)	1607 (0,23)	2,05
675 (0,29)	1100 (0,19)	1,63
101 (0,04)	120	1,19

2.3. TECHNIQUES D'APPRECIATION DE L'EVOLUTION DES DIFFERENTS STADES

2.3.1. Stades d'évolution des oeufs

Selon Soulsby (1965) et de Christie et Jackson (1982)(figure 8) les stades d'embryogenèse sont les suivants:

- blastula
- "têtard" (tadpole)
- morula
- oeuf embryonné

La proportion de chaque stade est évaluée lors de l'utilisation des oeufs pour nos expériences de développement des oeufs en larves (tableau XIV). Ces oeufs ont légèrement évolué pour certains, car la durée de récolte du matériel fécal est de 24 à 48 h.

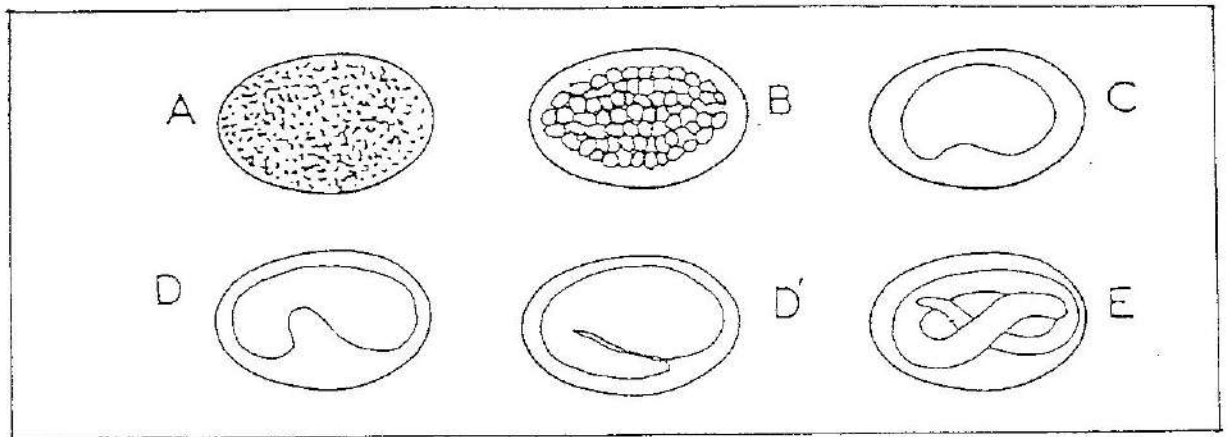


Figure 8: Stades d'embryogenèse des oeufs de strongles gastro-intestinaux. A: mort, B: blastula, C: morula, D et D': tadpole et E: embryonné (tiré de Christie et Jackson, 1982)

Tableau XIV: Pourcentage moyen par espèces des différents stades d'embryogenèse des oeufs contenus dans les fèces avant de commencer les expériences au laboratoire.

Espèce	Blastula+Morula	Tadpole(%)	Embryonné(%)
<u>T. circumcincta</u>	75	10	15
<u>H. contortus</u>	96	4	0
<u>O. leptospicularis</u>	80	9	11
<u>T. colubriformis</u>	79	16	5
<u>T. vitrinus</u>	99	1	0
<u>C. oncophora</u>	96	4	0
<u>C. ovina</u>	83	11	6
<u>O. ostertagi</u>	72	9	19

2.3.2. Viabilité des oeufs (Test d'éclosion)

Les oeufs extraits sont mis à incuber dans une coupelle d'eau 24 heures à 24 ± 1 °C et le pourcentage d'oeufs éclos est estimé à la loupe binoculaire sur 1 centaine d'oeufs (test décrit par Beaumont-Schwartz, 1987).

2.3.3. Coproculture

Nous avons utilisé cette technique pour établir un rendement de développement des oeufs en larve L3. Le principe est de réaliser en conditions contrôlées la transformation des oeufs.

La coproculture est réalisée sur 10 g de matières fécales placées dans des boîtes de Pétri de 10 cm de diamètre, lesquelles disposées dans une chambre dont la température et l'humidité sont contrôlées. Pour une meilleure oxygénation les boîtes de Petri sont ouvertes tous les deux jours pendant la durée de l'incubation et les matières fécales réhumidifiées à leur valeur initiale si nécessaire.

Compte tenu de la variabilité de la distribution des oeufs dans les fèces, toutes les expériences ont été réalisées avec 10 répétitions.

- Régulation de l'humidité pondérale des fèces

L'humidité pondérale des matières fécales fraîchement émises varie peu d'un jour sur l'autre pour un mouton donné ayant une alimentation constante, et est en général de $60\% \pm 10\%$. Elle est estimée par pesée avant et après dessèchement 24 h à 100°C et exprimée en pourcentage de poids frais, par la formule suivante:

$$HP = 100 \times (\text{Poids frais} - \text{Poids sec}) / \text{Poids frais}$$

où HP= Humidité pondérale des fèces

Afin d'obtenir l'humidité pondérale désirée (entre 15 et 85 %), les fèces ont été soumises à une humidification ou à un dessèchement à l'étuve ventilée à 28-30°C (en 5 heures, l'humidité diminue et atteint 20 à 25%).

2.3.4. Récolte des larves infestantes (L3)

- Récolte dans les fèces

A l'issue de la coproculture, les larves sont extraites selon la technique de Baermann (1917). Les fèces sont disposées dans une passoire (maille de 1 mm) recouverte d'une couche de papier filtre, laquelle passoire est disposée sur un entonnoir de verre de 10 cm de diamètre terminé par un tube de caoutchouc et un tube de verre. Le tout est rempli d'eau et les larves traversent aisément le papier filtre et descendent par gravité dans le tube qui est recueilli après 24 heures. Par cette technique, 95 à 99 % (communication personnelle, Gruner) des larves sont récupérées dans le cas des coprocultures de parasites d'ovins. Dans le cas des bovins, un second Baermann de 24 h s'avère nécessaire; sur 35 échantillons, 17 % des larves ont été récupérées le second jour. Elles sont dénombrées puis diluées, si nécessaire, sous loupe binoculaire et ensuite stockées à 4°C.

- Récolte dans l'herbe

La technique utilisée est celle décrite par Gruner et Raynaud, (1980). Les populations larvaires sur le pâturage ont une répartition agrégative, aussi est il nécessaire de faire des échantillons nombreux et de petite dimension; dans ce cas l'unité de prélèvement est la pincée d'herbe (4 pincées en 100 points). Les prélèvements sont effectués le matin.

L'extraction des L3 se fait par trempage dans l'eau pendant un jour. Environ 400 g d'herbe fraîche sont mis à tremper dans 15 litres d'eau. Le tout est homogénéisé manuellement deux à trois fois pendant cet intervalle. Au bout de 24 heures la grille contenant l'herbe est relevée; le tout est rincé puis égoutté. Les L3 sont concentrées au travers d'un tamis de 20 μ m surmonté d'une passoire retenant les grosses particules. Les larves sont reprises en suspension dans environ 30 à 40 ml.

La numération et la diagnose des L3 se fait entre lame et lamelle après une sédimentation-centrifugation (5 min à 2000 txmn) et une flottaison-centrifugation (5 min à 1000 txmn) en solution saturée de sulfate de magnésium ($d= 1,27$). Les larves sont récupérées sous une lamelle posée sur le tube de la centrifugeuse. En général il est réalisé au moins 3 numérations sur lame par échantillon. Si le nombre de L3 après la 3ème centrifugation est supérieur à 10% des larves comptées, on procède alors à une 4ème centrifugation.

2.3.5. Récolte des stades parasitaires (vers adultes)

Après l'abattage des ovins infestés, les parasites adultes sont récupérées dans la caillette ou l'intestin grêle. Ces organes sont ouverts, à l'aide d'une paire de ciseaux, puis la muqueuse est bien lavée avec de l'eau tiède; le contenu digestif est recueilli sur un tamis à maille de 125 microns et mis dans des bocaux en plastique. On ajoute quelques ml de formol à 30 % et les nématodes adultes (femelles et mâles) sont récupérés à l'aide d'une aiguille montée sur mandrin.

CHAPITRE III

INFLUENCE DES PARAMETRES CLIMATIQUES
SUR LE PARASITISME DES BOVINS
ELEVES EN CONDITIONS NATURELLES

CHAPITRE III

3. INFLUENCE DES PARAMETRES CLIMATIQUES SUR LE PARASITISME DES BOVINS ELEVES EN CONDITIONS NATURELLES

Le parasitisme helminthique varie en intensité et en diversité au cours de l'année et selon les années. Ces variations ont été mises en évidence à maintes reprises en ce qui concerne la variabilité saisonnière, mais sont plus rarement recensées entre les années (Gruner *et al.*, 1992, chez les ovins et Suarez et Cabaret, 1991 chez les bovins).

La variabilité saisonnière est liée aux aléas climatiques et aux modifications imposées par les pratiques d'élevage. Les parts respectives du climat et du mode d'élevage sont souvent difficiles à évaluer. En zone tempérée d'Argentine, le mode d'élevage semble être le facteur essentiel, qui module le risque d'infestation par *Ostertagia*, *Cooperia* et *Trichostrongylus* alors que la température ambiante intervient dans l'intensité d'infestation par *Haemonchus* (Suarez et Cabaret, 1991). Dans d'autres conditions tempérées, cette hiérarchie climat/mode d'élevage peut être très différente, comme un premier travail nous a permis de l'identifier (Rossanigo *et al.*, 1988). Nous reprenons certaines des données de notre travail et nous tenterons de formaliser la relation existant entre les paramètres climatiques et l'intensité de l'infestation par 5 genres de strongles.

3.1. PROTOCOLE D'ETUDE

Le travail a été effectué entre les années 1981-1985 sur 14 élevages bovins de 4 zones écologiques des provinces de San Luis et du sud-ouest de Córdoba (Argentine). Ces zones diffèrent principalement par le régime pluviométrique qui va de 150 mm par an à l'ouest à 750 mm à l'est (tableau XV). Ces variations de précipitations entraînent une grande diversité de disponibilité fourragère qui se traduit par des charges animales allant de 2,27 bovins par hectare à un bovin sur 12 ha. Ces pluies sont estivales (d'octobre à mars). Les variations de températures sont plus modestes entre les 4 zones. Le mois le plus chaud est janvier et le plus froid, juillet.

Dans chaque élevage, 15 à 17 veaux (mâles ou femelles) de la même race (Aberdeen Angus), de même âge et de même poids étaient choisis. Ils n'ont pas été traités par des anthelminthiques. Chaque mois pendant une année, les fèces de chacun étaient prélevées, et l'herbe de la parcelle utilisée était échantillonnée. Une coproscopie individuelle était réalisée sur une partie des fèces, une coproculture (12 jours à 26°C) sur l'autre partie, dans le but d'établir un diagnostic de

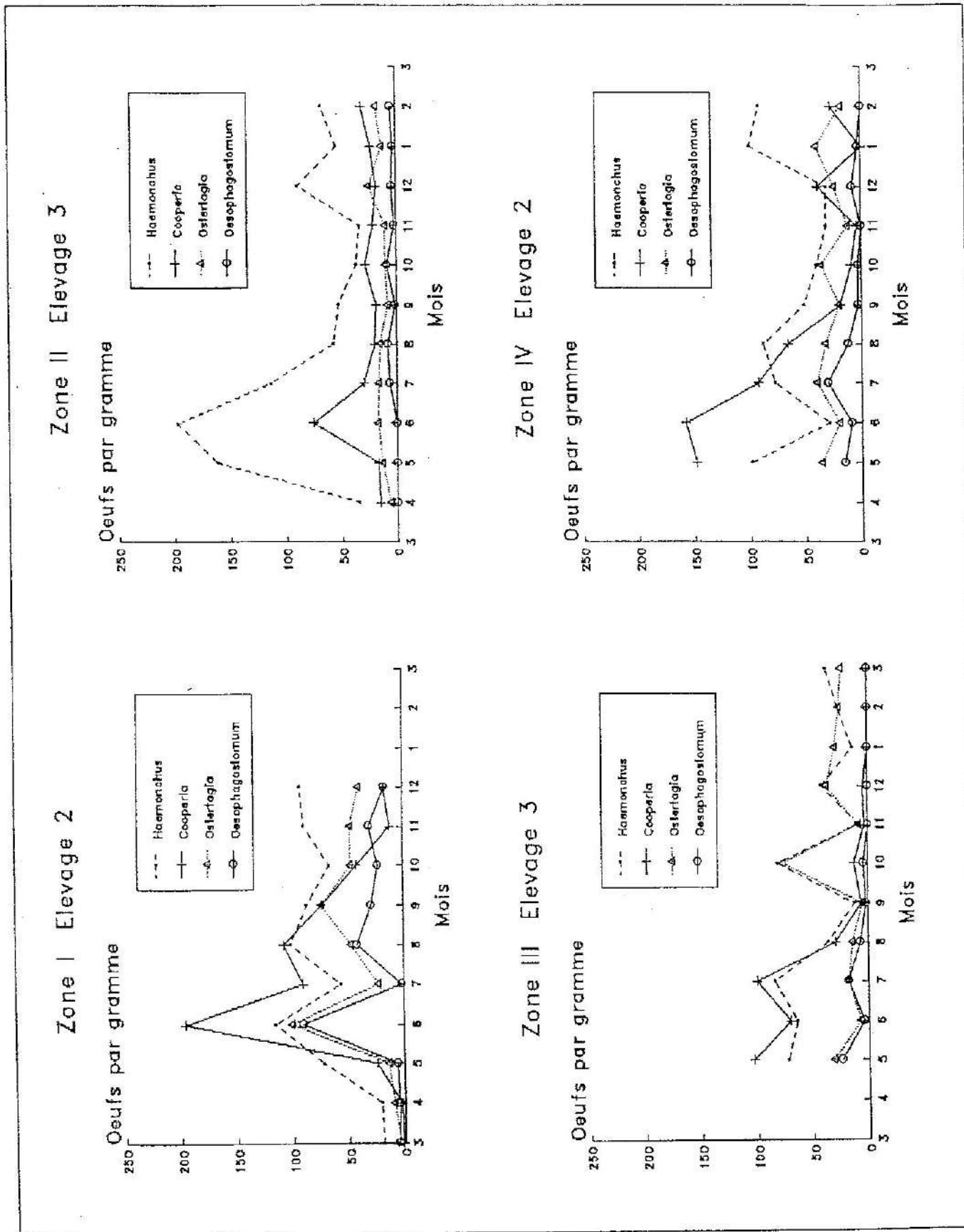


Figure 9: Cinétique d'excrétion d'oeufs par les veaux dans 4 élevages localisés dans des zones soumises à des conditions climatiques différentes du centre ouest de l'Argentine.

genre. L'échantillonnage d'herbe et l'extraction des larves infestantes étaient réalisées selon la technique de Gruner et Raynaud (1980) en vue de l'estimation du nombre de larves par kilogramme de matière sèche (L3/kg ms). Des relevés météorologiques (température et pluviométrie) étaient effectués sur l'exploitation ou dans le voisinage.

Tableau XV: Caractéristiques générales des élevages étudiés dans les régions de San Luis et de Cordoba en Argentine (âge = âge moyen des bovins lors du 1er prélèvement).

Zone	Elevage	Période d'étude	Age (mois)	Charge (bovins /ha)	Précipitations (mm/an)	Moyenne T. max. (°C)	Moyenne T. min. (°C)	Altitude (m)
I	1	2/81-1/82	4-5	0,25	420,7	24,9	7,9	360
I	2	2/81-1/82	3-4	0,14	491,5	24	8	350
I	3	2/81-1/82	4-5	0,10	477	24	7	350
I	4	5/81-3/82	7/8	0,33	424,8	24	7	500
II	1	2/82-2/83	3-4	0,20	647	23	8	800
II	2	3/82-1/83	4-5	0,14	413	22	8,5	900
II	3	3/82-2/83	3-4	0,11	431,5	19	7	1200
III	1	3/83-3/84	4-5	0,14	407	23	8,5	950
III	2	3/83-2/84	4-5	0,09	366	23	7	450
III	3	4/83-3/84	5-6	0,05	315	26	10	500
IV	1	4/84-3/85	5-6	1,25	840	24	8	300
IV	2	4/84-2/85	4-5	2,50	815	24	8	250
IV	3	4/84-3/85	7-8	3,33	907	24	8	250
IV	4	4/84-2/85	6-7	2,00	931	24	8	230

3.2. CINETIQUE D'EXCRETION DES OEUFS DE STRONGLES

La figure 9 donne 1 exemple pour chacune des zones écologiques de l'évolution au cours de l'année des populations des différents genres dominants de strongles au sein des troupeaux. Le nombre d'oeufs excrétés dans les fèces est plus élevé en juin dans la majorité des cas; selon les élevages, la dominance de tel ou tel genre n'est pas la même. Haemonchus domine toute l'année dans l'élevage 3 de la zone 2 alors que Cooperia est le genre le plus abondant en automne dans les élevages 2 des zones 1 et 3.

3.3. RELATION ENTRE LES PARAMETRES CLIMATIQUES, LE MODE D'ELEVAGE ET L'INFESTATION PAR LES STRONGLES

3.3.1. Variables prises en compte

Afin d'étudier les relations entre le nombre d'oeufs émis de chaque genre (variables à expliquer) et les facteurs pris en compte, nous avons considéré chacune des données obtenues par mois comme une observation à laquelle étaient associés les divers facteurs étudiés (climatiques, écologiques et d'élevage) pris comme variables explicatives. Les variables utilisées dans les analyses sont les suivants:

Variables mensuelles à expliquer

LOTOT= logarithme OPG toutes espèces

LOHAE= logarithme OPG Haemonchus

LOCOO= logarithme OPG Cooperia

LOOST= logarithme OPG Ostertagia

LOOES= logarithme OPG Oesophagostomum

LOTRI= logarithme OPG Trichostrongylus

LL3Kg= logarithme L3/Kg ms récupérées sur le pâturage

Variables explicatives

AGE = âge animal (mois) à la date d'observation

MMPA = nombre de mois sur la même parcelle

PTOT = précipitation annuelle de la zone

PMA = précipitation du mois antérieur

P2MA = précipitation des 2 mois antérieures

TAMOY= température moyenne du mois antérieur

TAMAX= température maximale moyenne du mois antérieur

T Amin= température minimale moyenne du mois antérieur

T2MOY= température moyenne des 2 mois antérieurs

T2MAX= température maximale moyenne des 2 mois antérieurs

T2min= température minimale moyenne des 2 mois antérieurs

ALTIT= altitude

LCATO= logarithme de la contamination totale (OPG total x charge en bovins/ha) du mois antérieur

LCAHA= logarithme contamination en Haemonchus du mois antérieur

LCACO= logarithme contamination en Cooperia du mois antérieur

LCAOS= logarithme contamination en Ostertagia du mois antérieur

LCAOE= logarithme contamination en Oesophagostomum du mois antérieur

LC2TO= logarithme contamination totale des 2 mois antérieurs

LC2HA= logarithme contamination en Haemonchus des 2 mois antérieurs

LC2CO= logarithme contamination en Cooperia des 2 mois antérieurs
 LC2OS= logarithme contamination en Ostertagia des 2 mois antérieurs

LC2OE= logarithme contamination en Oesophagostomum des 2 mois antérieurs

LL3AK= logarithme L3/kg ms récupérées sur le pâturage le mois antérieur

La contamination par espèce a été obtenue comme suit: OPG x % de l'espèce dans les coprocultures. Avant de réaliser les analyses, les données étaient transformées en logarithme si la variance de l'échantillon était grande (rapport variance/moyenne > 6). Le traitement statistique appliqué a été la régression progressive pas à pas (logiciel STATICF, version 4, 1987-1988) afin de hiérarchiser l'action des diverses variables explicatives. Ces variables sont souvent liées significativement entre elles. Pour réduire ces interactions entre variables, nous avons également pratiqué une régression linéaire pseudo-orthogonalisée (Ridge).

3.3.2. Résultats

Les résultats du traitement statistique appliqué sur les groupes de données sont présentés dans le tableau XVI.

Tableau XVI: Hiérarchie des variables explicatives intervenant de façon significative (P= 0,03) sur le nombre de larves (L3/Kg) et le nombre d'OPG. (+ ou -)=sens de la relation. (R2)=coefficient de détermination du modèle à n variables.

Variable à expliquer	Nb de données	Variables explicatives		
LL3Kg	144	+ LL3AK(0,33)		
LOTOT	144	+ LL3AK	+ LCATO	- AGE(0,46)
LOHAE	144	+ LCAHA	+ LL3AK(0,37)	
LOC00	144	- TAMAX	+ T2min(0,42)	
LOOST	144	+ LC2OS	+ LL3AK(0,34)	
LOOES	144	+ LCAES	- P2MA(0,21)	
LOTRI	144	- PTOT	- PMA(0,12)	

Des régressions obtenues, il apparaît que la population de larves (toutes espèces confondues) présente sur le pâturage était corrélée de façon positive avec les L3 récupérées sur le pâturage le mois antérieur (LL3AK). La figure 10 illustre cette relation.

Les figures 11a et 11b montrent les relations entre le nombre d'OPG total et de chaque genre et les deux premières variables explicatives

Les L3 récupérées sur le pâturage pendant le mois antérieur (LL3AK) et la contamination d'oeufs (estimée selon la charge animale en bovins/ha) du mois antérieur ou des deux mois antérieurs apparaissent comme les deux facteurs les plus importants expliquant de façon positive le nombre d'OPG toutes espèces, d'Haemonchus, d'Ostertagia et d'Oesophagostomum. L'âge, avec une corrélation négative, intervient comme troisième variable explicative dans l'OPG total (toutes espèces confondues).

Par contre les nombres d'OPG de Cooperia s'avèrent corrélés à la température maximale du mois antérieur (TAMAX) (corrélation négative) et aux températures minimales des deux mois antérieurs (T2min) (corrélation positive). Remarquons que sur les oeufs de Trichostrongylus les précipitations totales et du mois antérieur constituent les premiers facteurs, mais la contamination pour cette espèce n'était pas calculée en raison du trop faible pourcentage de larves de cette espèce observé à l'issue des coprocultures.

3.4. CONCLUSION

Les conclusions sont:

- 1) L'âge de l'animal semble peu intervenir.
- 2) La contamination (nombre d'oeufs déposés sur le pâturage) est le facteur essentiel d'infestation des animaux. Une forte contamination aboutit à une forte "infestivité" du pâturage (L3/Kg m.s.). Remarquons que la contamination dépend de la charge animale et que celle-ci est une conséquence indirecte de la pluviométrie de l'endroit.
- 3) Les paramètres climatiques jouent en apparence un rôle modeste, ce qui est en accord avec Suarez et Cabaret (1991). Notons toutefois que l'inclusion de la variable infestivité du pâturage comme variable indépendante entraîne indirectement l'action du climat sur le passage de la contamination à l'infestivité.

Ainsi ce mode d'approche permet de caractériser les facteurs indicateurs de l'abondance de tel ou tel genre. Les résultats sont valables pour l'ensemble des élevages étudiés. Inclure les données d'élevages situés dans des conditions de milieu plus diversifiées permettrait de mieux dégager l'importance réelle des facteurs climatiques. Par exemple en région tropicale américaine (Brésil), les mêmes genres existent et des études ont été réalisées sur le parasitisme gastro-intestinal des bovins (Melo, 1977; Santana, et al., 1983).

Il n'en reste pas moins qu'il paraît difficile de vouloir expliquer des niveaux d'infestation parasitaire en occultant les facteurs liés à la population hôte et à son élevage. Là réside une limite dans la voie envisagée, aussi avons nous poursuivi notre travail par une démarche expérimentale partant des oeufs émis dans les matières fécales jusqu'à l'obtention des larves infestantes.

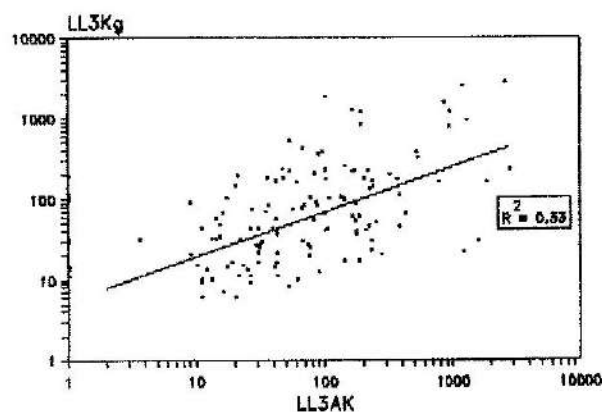


Figure 10: Relation entre la charge en L3 du pâturage et sa valeur le mois précédent.

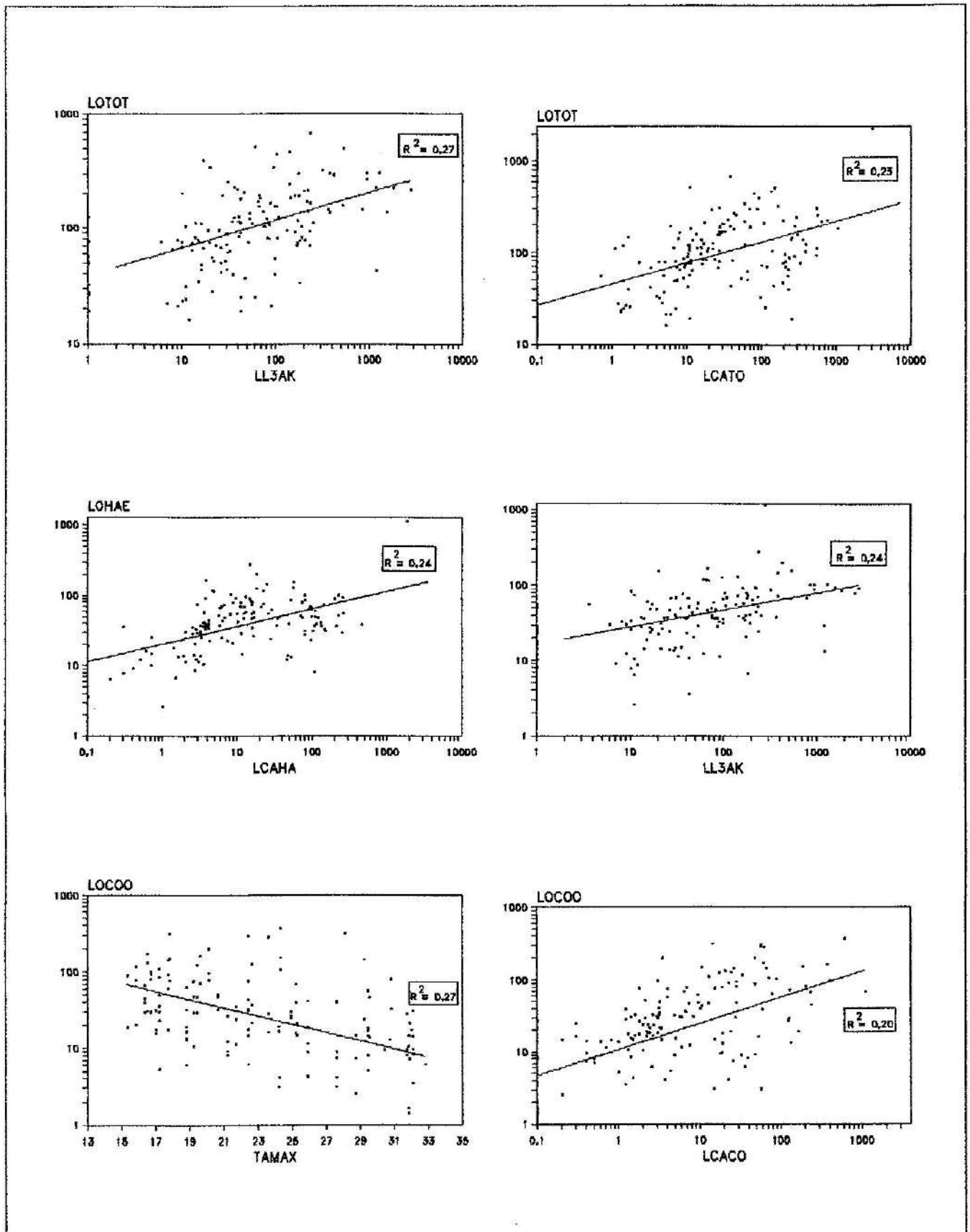


Figure 11a: Relations entre le nombre d'OPG toutes espèces, le nombre d'OPG d'Haemonchus et de Cooperia, et les deux premiers facteurs explicatifs.

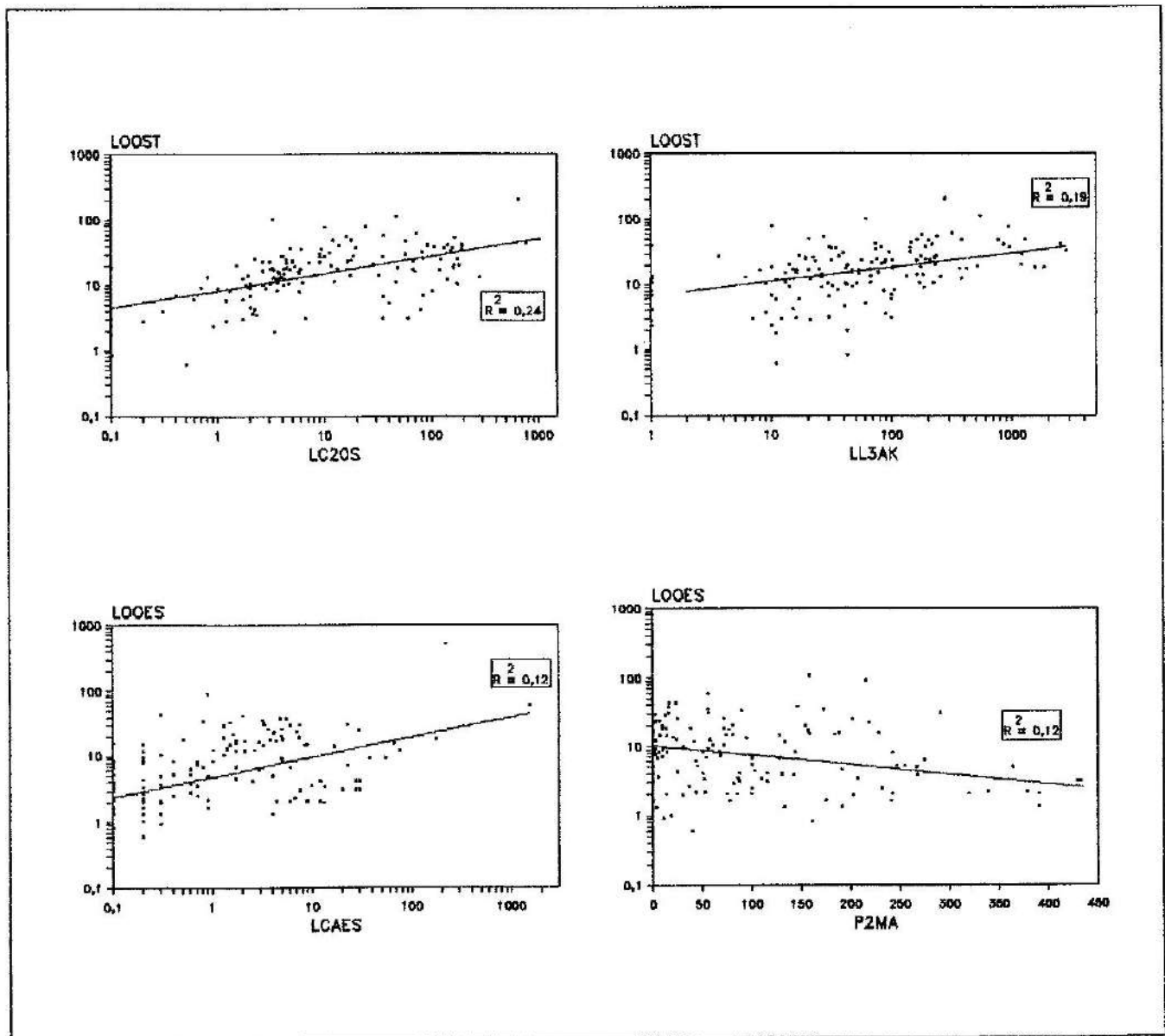


Figure 11b: Relations entre le nombre d'OPG d'Ostertagia et d'Desophagostomum, et les deux premiers facteurs explicatifs.

CHAPITRE IV

DEVELOPPEMENT COMPARE DES
STRONGLES DANS DES FECES DE
BOVINS ET D'OVINS

CHAPITRE IV

4. DEVELOPPEMENT COMPARE DES STRONGLES DANS DES FECES DE BOVINS ET D'OVINS

Le développement des oeufs de strongles digestifs dans les fèces en larves infestantes constitue un élément fondamental du cycle, fortement conditionné par les facteurs environnementaux. La connaissance et l'évaluation quantitative des relations entre taux de développement et facteurs du milieu (principalement eau et température) sont utiles à la compréhension de l'épidémiologie des strongyloses. En effet, nous avons vu que la charge parasitaire des animaux, mesurée par l'excrétion d'oeufs dans les fèces, était dépendante du nombre d'oeufs déposés sur le pâturage (contamination), ainsi que de la population de larves infestantes issue de ces oeufs.

L'environnement physicochimique des stades préparasitaires est constitué d'un ensemble complexe d'éléments comprenant une structure plus au moins pailleuse de parties non digérées de fibres végétales retenant dans ses mailles de l'eau sous forme liquide. Des échanges gazeux et d'eau sous forme liquide ou gazeuse s'effectuent vers le sol et surtout l'air à des vitesses qui dépendent de la température, du rayonnement global, du vent, éléments qui sont modulés par la nature et la hauteur du couvert végétal. Parmi ces facteurs du milieu l'humidité pondérale et la température des fèces sont deux facteurs clé qui interviennent directement sur le développement des oeufs en larves (Mauléon et Gruner, (1984); Berbigier et al., (1990), surtout dans le cas de nématodes parasites de petits ruminants.

Un premier élément fondamental, objet de ce chapitre, tiend à la nature des matières fécales dans lesquelles les oeufs sont émis. Les conditions ambiantes seront très différentes selon qu'il s'agisse d'une espèce parasitant un bovin ou un petit ruminant. Aussi pour mieux définir les facteurs clé du développement dans ces deux milieux nous avons mené des expériences selon le même principe, à savoir, déposé des fèces de bovins ou d'ovins parasités dans des conditions environnementales aussi diverses que possibles, et mesuré les taux de développement des nématodes ainsi que l'évolution des conditions ambiantes. La multiplicité des facteurs en jeu, le fait qu'ils soient corrélés et que l'on ne connaisse pas leur dynamique fait que nous avons choisi de travailler dans des conditions naturelles ou seminaturelles plutôt que totalement contrôlées, l'objectif étant de dégager le ou les facteurs environnementaux parmi ceux que nous avons pu mesurer qui expliquent au mieux les variations observées du taux de développement. Ne pouvant effectuer des dépôts de fèces simultanément éloignées, nous l'avons fait dans des milieux proches différant par la situation au soleil ou à l'ombre, ou dans des strates herbacées de nature et de hauteur différente. Enfin nous avons introduit des conditions

expérimentales afin de limiter l'action de certains facteurs tels amplitude thermique ou hydrique. La répétition dans le temps de ces expériences permettait d'augmenter le nombre de combinaisons de facteurs environnementaux.

4.1. DEVELOPPEMENT DE DIVERS GENRES DE STRONGLES DANS DES FECES DE BOVINS

4.1.1. Matériel et méthodes

Le travail a été effectué de février à août 1992 (été, automne et hiver) à la Estación Experimental del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) Villa Mercedes, dans le centre-ouest de l'Argentine soumis à un climat tempéré avec une grande amplitude thermique journalière. Les fèces fraîchement émises par trois veaux donneurs étaient recueillies dans une bourse fixée avec un harnais, au cours de la journée, jusqu'à l'obtention d'une quantité suffisante qui était ensuite homogénéisée. L'humidité pondérale des fèces émises et la densité en oeufs (établie par 3 coproscopies) étaient estimées le premier jour pour chaque dépôt (tableau XVII). Les nombres d'oeufs déposés au cours de l'automne ont été beaucoup plus élevés que les autres.

Dix coprocultures témoin de 10g de fèces, en boîte de Pétri pendant 10 à 11 jours à 26°C à l'étuve (soient au moins 260 degrés jours) et humidité constante (valeur de l'émission), étaient réalisées en vue de déterminer la proportion des genres présents. Les genres dominants étaient *Cooperia* en été, puis *Haemonchus* pour tous les autres dépôts. *Ostertagia*, en dehors du dépôt 2 est resté en proportion faible comprise entre 0 et 8 % des 100 L3 diagnostiquées à chaque date. *Oesophagostomum* n'était présent que dans les dépôts 1, 2 et 4 (tableau XVII).

Tableau XVII: Caractéristiques initiales des dépôts de bouses effectués en conditions naturelles et au laboratoire (HP = humidité pondérale des fèces).

Dépôt	Date	% HP initial	Oeufs/10g selon OPG	% des genres			
				Hae.	Coop.	Ost.	Oes.
1 Eté	28/01	80	1400	28	61	6	5
2 Eté	14/02	76	2330	20	52	24	4
3 Automne	20/03	74	15700	90	8	2	0
4 Automne	01/04	81	16000	86	8	4	2
5 Automne	29/04	82	16060	94	3	3	0
6 Automne	19/05	82	11000	100	0	0	0
7 Hiver	19/06	81	3900	97	0	3	0
8 Hiver	31/07	78	1250	81	11	8	0

Ces caractéristiques des dépôts nous ont permis d'estimer le nombre d'oeufs déposé de chaque genre:

$$\text{Oeufs par genre} = \text{oeufs}/10 \text{ g selon OPG} \times \% \text{ L3 du genre établi à l'issue des coprocultures témoins}$$

Cette estimation est indispensable si l'on envisage de vouloir calculer les taux de développement pour chacun des genres. Cependant elle suppose que les conditions des cultures témoins permettent des taux de développement similaires pour tous les genres présents, ce dont on ne peut être totalement certain. Par ailleurs, la faible précision des pourcentages bas de L3 dans ces cultures témoins peut constituer une source d'erreur non négligeable du nombre d'oeufs du genre correspondant.

Les fèces étaient réparties en bouses de poids égal (500 g), chacune sur une boîte plastique (de 20cm sur 30) afin de limiter la fuite des larves et la contamination par les nématodes libres du sol. Un grillage plastique (maille de 3 mm) était disposé au dessus, les jours de pluie, afin de limiter l'action mécanique de désintégration de la structure en bouse. Sept répétitions étaient déposées selon chacune des trois conditions de milieu dans les huit séries de dépôts:

- au soleil: températures, amplitudes thermiques et déshydratation maximales;
- à l'ombre (sous un arbre): variations atténuées des conditions ambiantes.
- au laboratoire: faibles variations des conditions ambiantes.

La durée du dépôt dépendait de la température et pouvait être différente pour les conditions soleil, ombre ou laboratoire. Dans tous les cas 260 à 280 degrés-jours au moins étaient attendus afin que les oeufs puissent accéder au stade L3.

L'extraction des L3 obtenues était réalisée sur une partie aliquote de matière équivalente à 10 g de dépôt, ceci en tenant compte de la teneur en eau au moment du prélèvement. Les larves étaient ensuite dénombrées et la proportion des genres établie sur 100 larves.

Le taux de développement par genre a été calculé comme suit:

$$\text{L3}/100 \text{ oeufs du genre} = 100 \times \text{nombre de L3 du genre} / \text{Nombre d'oeufs du genre}$$

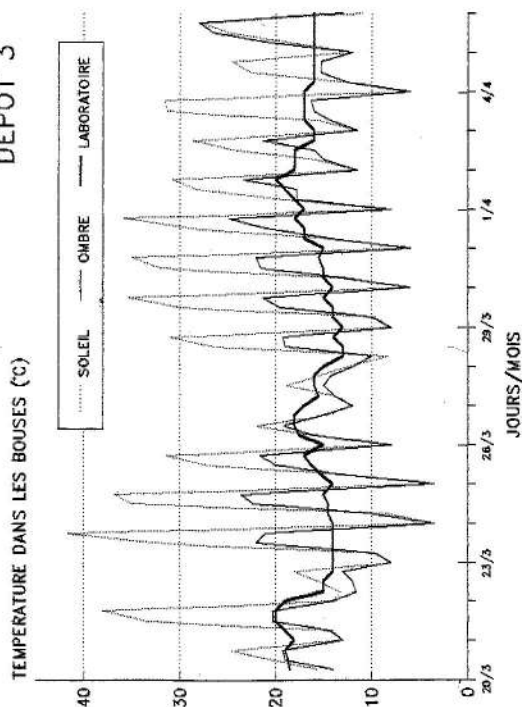
Parallèlement aux mesures biologiques, des mesures physiques étaient recueillies dans le but d'établir les dynamiques de températures et de teneur en eau des fèces dans chacune des conditions de dépôt. La température des bouses a été mesurée au sein des fèces à quatre reprises par jour (9 h, 12 h, 15 h et 3 h) au moyen de thermomètres à mercure (thermomètres à minima). L'humidité pondérale a été mesurée par pesée des bouses in situ à 15h, ceci pendant toute la durée de l'étude. En cas de pluie, une pesée supplémentaire était faite une heure après.

4.1.2. Résultats

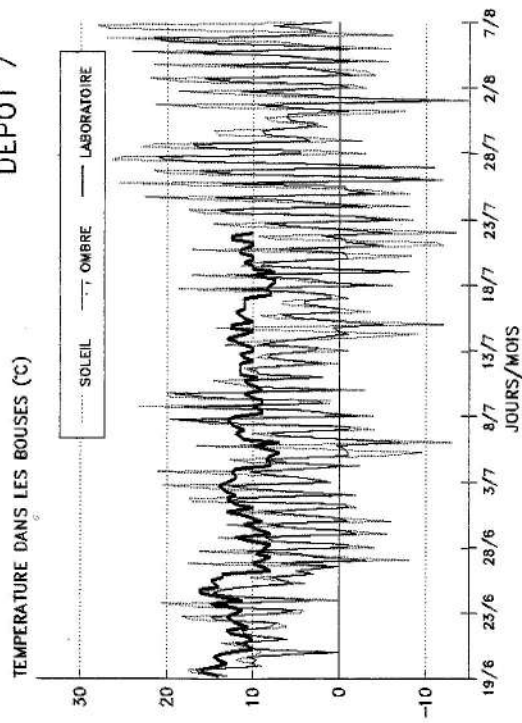
Les dépôts 1 et 2 ont été réalisés en été, 3 à 6 en automne, 7 et 8 en hiver. Cela s'est traduit par une baisse générale des températures et un allongement de la durée de développement qui est passée de 10-13 jours à 46-54 jours.

La figure 12 illustre l'évolution des températures et des teneurs en eau (HP) à la suite des dépôts 3 et 7, ceci à titre d'exemple. Les amplitudes journalières de température des bouses au soleil étaient élevées et ont dépassé 35° C tant en début d'automne qu'en hiver. A l'ombre les maxima de température étaient diminués, les valeurs minimales restant similaires. La déshydratation des bouses a été plus conséquente au soleil, l'humidité pondérale passant de 80 % le jour du dépôt à des valeurs atteignant 20 % en fin de séjour. Cette humidité réaugmentait après des pluies. Les conditions au laboratoire étaient moins contrastées, avec néanmoins une déshydratation notable en hiver due au chauffage (figure 12, dépôt 7).

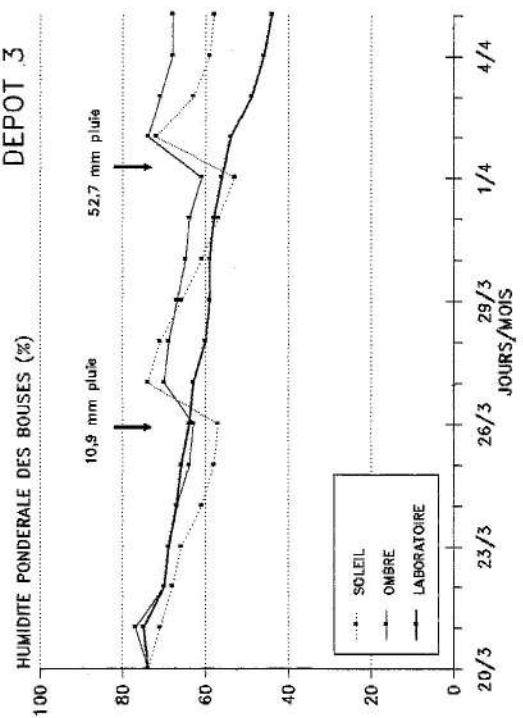
DEPOT 3



DEPOT 7



DEPOT 3



DEPOT 7

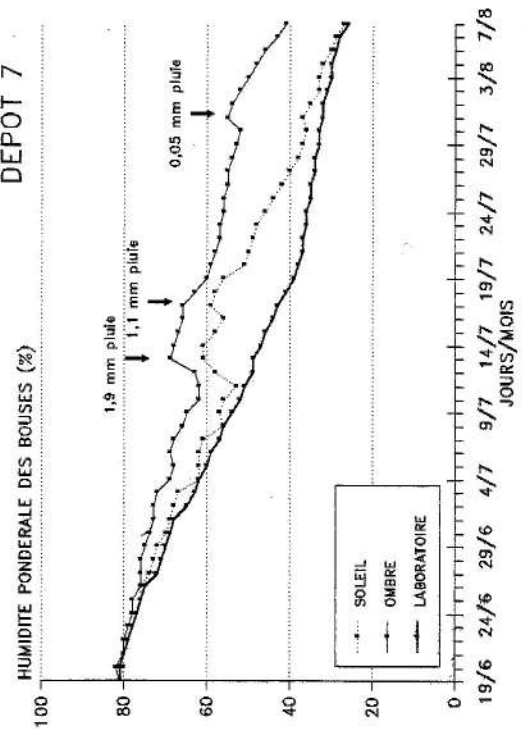


Figure 12: Cinétique de l'humidité et de la température au sein de bouses déposées au soleil, à l'ombre ou au laboratoire pendant 17 jours (dépôt 3 de début d'automne) et 34 à 50 jours (dépôt 7 d'hiver) à Villa Mercedes (Province de San Luis, Argentine).

- Nombre de larves et microclimat

Le taux global de développement, tous genres confondus (tableau XVIII) est resté compris entre 10,7 et 30,3 L3/100 oeufs dans les cultures témoin à l'étuve. Dans les 3 autres conditions, il était plus élevé en été puis a diminué très nettement en hiver. En été, la condition soleil a donné des résultats inférieurs et plus variables que ceux observés dans les dépôts à l'ombre et au laboratoire.

Tableau XVIII: Développement moyen des oeufs en larves infestantes dans les différents dépôts et cultures témoin tous genres confondus. (Coefficient de variation= écart type/moyenne).

Dépôt	Soleil	Ombre	Laboratoire	Témoin
1 Eté	12,2 (0,71)	29,9 (0,57)	16,3 (0,21)	14,9 (0,52)
2 Eté	10,1 (0,87)	27,4 (0,39)	19,1 (0,62)	19,6 (0,19)
3 Automne	5,6 (0,43)	10,9 (0,70)	6,3 (0,60)	20,3 (0,43)
4 Automne	7,0 (0,54)	1,2 (0,43)	2,7 (0,48)	30,3 (0,41)
5 Automne	2,7 (0,26)	0,8 (0,52)	0,8 (0,76)	10,7 (0,31)
6 Automne	0,9 (0,57)	0,5 (0,60)	0,2 (0,89)	13,3 (0,22)
7 Hiver	1,6 (0,50)	0,6 (0,52)	2,7 (0,63)	25,1 (0,52)
8 Hiver	2,2 (0,44)	0,5 (0,50)	1,2 (0,45)	18,3 (0,57)

Le pourcentage de L3 de chaque genre à l'issue du développement dans les conditions soleil, ombre et laboratoire à été différent de celui obtenu dans les cultures témoin, ceci pour chacun des dépôts (Test du Chi deux significatif à $P < 0,05$). Ces pourcentages ont peu de signification en soi dans la mesure où les nombres d'oeufs de chaque genre n'étaient pas les mêmes au moment des dépôts. Ces éléments justifient l'intérêt de calculer les taux de développement pour chacun des genres à l'issue de chacun des dépôts (annexe 2).

Les taux moyens obtenus pour chacun des genres et pour chaque condition de dépôt sont aussi présentés sur le figure 13.

Les taux de développement de Haemonchus ont été plus élevés dans les mois d'été (dépôts 1 et 2), avec des valeurs maximales à l'ombre. Les taux de développement de Cooperia ont été élevés pendant l'été dans la condition "ombre" (dépôts 1 et 2) et pendant le début de l'automne dans la condition "soleil" (dépôts 4 et 5). Dans les trois conditions, le développement des 2 genres était moindre dans les derniers mois de l'automne et pendant l'hiver (dépôts 6, 7 et 8). L'effet dépressif des fortes températures au soleil a sans doute été notable pour les taux de développement d'Ostertagia. Les taux de développement les plus élevés de ce genre ont été observés à l'ombre en automne (dépôt 3) et l'hiver (dépôt 7) dans les conditions "soleil" et "laboratoire". Le développement de Oesophagostomum n'a été

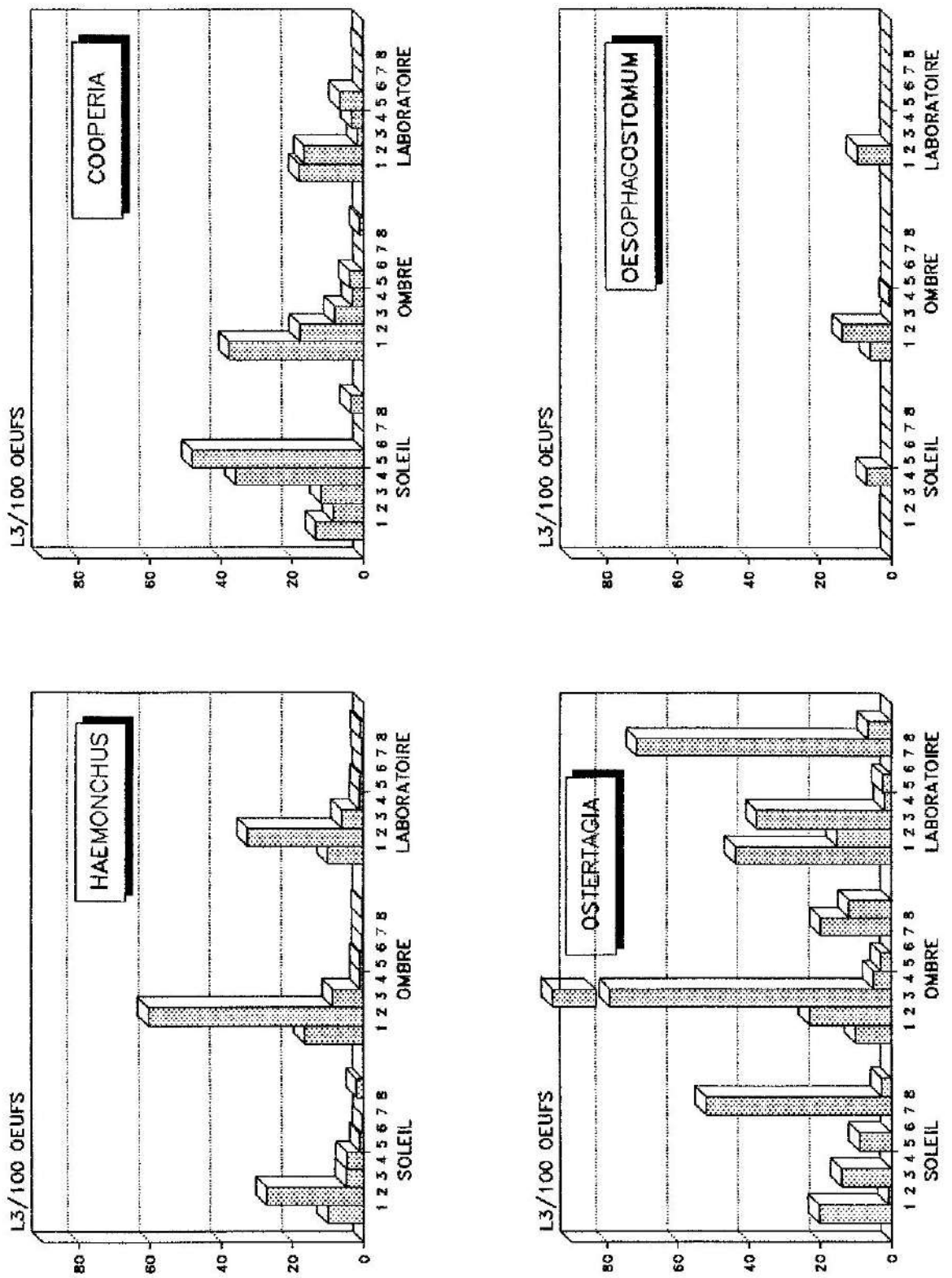


Figure 13: Taux moyens de développement des oeufs des genres dominants en larves infestantes à la suite de dépôts de bouses selon 3 modalités d'environnement (soleil, ombre et laboratoire) en été (dépôts 1 et 2), en automne (3 à 6) et en hiver (7 et 8) à Villa Mercedes (Province de San Luis, Argentine).

observé que dans les dépôts de l'été (dans les conditions "ombre" et "laboratoire") et dans le dépôt 4 de l'automne en condition "soleil", à des taux inférieurs à 15 L3/100 oeufs. Ce genre était totalement absent en hiver.

Afin d'étudier les relations entre les taux de développement en larves (exprimés en L3/100 oeufs/genre) et les conditions microclimatiques au sein des bouses, nous avons calculé pour chaque lieu et date de dépôt les variables suivantes:

TM1 - TM2 - TM3 = température moyenne des bouses pendant 1/3, 2/3 ou 3/3 de la durée du développement.
 Tmax1 - Tmax2 - Tmax3 = moyenne des températures maximales
 Tmin1 - Tmin2 - Tmin3 = moyenne des températures minimales
 AT1 - AT2 - AT3 = moyenne des amplitudes thermiques
 HPM1 - HPM2 - HPM3 = humidité pondérale moyenne des bouses
 TmaxE et TminE = températures extrêmes maximales et minimales.
 HPfin et HPmin = humidité pondérale finale et minimale des bouses.
 PREC1 - PREC2 - PREC3 = précipitations (mm) pendant 1/3, 2/3 ou 3/3 de la durée du développement.

Le choix de ces variables était dicté par l'observation de conditions microclimatiques dans les bouses bien diversifiées sur l'ensemble des données (24 observations): températures moyennes faibles (-2,8 °C) ou élevées (36,7 °C), moyennes d'amplitudes thermiques allant de 23,4 °C à 0,3 °C, ou températures extrêmes (maximale de 41,6 °C et minimale de -15 °C). L'humidité pondérale moyenne a varié entre 82 % et 20 %. L'ensemble des données est dans l'annexe 2.

Afin de hiérarchiser l'action de ces variables, nous avons appliqué une régression progressive pas à pas (logiciel STATITCF version 4, 1987-1988) sur l'ensemble des données (tableau XIX).

Tableau XIX: Hiérarchie des variables explicatives intervenant de façon significative ($P < 0,01$) sur le taux de développement global et par genre. (R2) = coefficient de détermination du modèle à 1, 2 ou n variables. (NS = non significative)

L3/100 oeufs	nombre de données	Variables explicatives				
		première(R2)	seconde(R2)	troisième(R2)	quatrième(R2)	cinquième(R2)
TOUTES SP	28	+TM3 (0,65)	-TM1 (0,74)	+HPmin (0,78)		
HAEMONCHUS	24	+TM2 (0,46)	+HPfin (0,54)	-PREC2 (0,62)	-TmE (0,71)	-Tmax1 (0,85)
COOPERIA	18	+Tmax3 (0,28)	+HPM1 (0,42)	-TM1 (0,55)	-PREC3 (0,74)	
OSTERTAGIA	23	-PREC1 (0,12) (NS)				

Sur l'ensemble des espèces, la température moyenne explique à elle seule 65 % de la variabilité du taux de développement, avec une relation positive. L'humidité minimale intervient comme 3ème facteur; plus elle est élevée meilleur est le développement.

Les taux de développement d'Haemonchus et de Cooperia sont d'abord sous la dépendance de la température, puis de l'humidité et des précipitations. Les conditions de milieu expliquent peu les taux de développement d'Ostertagia, mais sa fréquence était faible dans nos conditions.

4.1.3. Discussion et conclusion

Les expériences menées en conditions naturelles ont consisté à déposer des bouses polyparasitées par différents genres de strongles en différentes conditions et à mesurer les taux de développement au terme d'au moins 260-280 degrés-jours. La méthodologie suivie s'est avérée dans l'ensemble satisfaisante en ce sens que des taux de développement ont pu être mesurés dans 28 situations ayant subi des variations de température et de teneur en eau bien enregistrées. Nous avons obtenu des taux maxima de développement proches de 30 L3/100 oeufs tous genres confondus), valeurs qui sont très nettement supérieures aux valeurs maximales (4,3 et 5,7 L3/100 oeufs d'Ostertagia ostertagi) observées dans des expériences similaires par Williams et Bilkovich (1971) en Louisiane. Le fait d'avoir limité les fuites de larves vers le sol peut en partie expliquer ces différences. La majorité des auteurs ayant réalisé ce type d'étude écologique par des dépôts de bouses d'animaux parasités soit ne se réfèrent pas au nombre d'oeufs déposées (Pandey, 1974), soit ont déterminé le niveau de la population larvaire sur l'herbe entourant les bouses (Pacenovsky *et al.* 1971), c'est à dire qu'ils mesurent la résultante du taux de développement et du taux de migration vers l'herbe.

L'inconvénient de travailler avec des fèces polyparasitées réside dans la nécessité d'effectuer des coprocultures témoin pour établir la proportion des genres présents. Cela suppose que les conditions de culture permettent un taux de développement identique des divers genres. Par ailleurs, tous les résultats obtenus dans les 3 autres milieux soleil, ombre et laboratoire se réfèrent au pourcentage des genres établi dans les cultures témoin. La précision de l'établissement de ce pourcentage a vraisemblablement été insuffisante pour les faibles nombres, par exemple dans les dépôts 3 et 7 concernant Ostertagia.

Il résulte de ces difficultés dues à l'impossibilité matérielle dans nos conditions de travail en Argentine d'effectuer des isolats monospécifiques et surtout de les multiplier sur des veaux indemnes de parasites, que la valeur des résultats est meilleure pour le développement des oeufs tous genres confondus, convenable pour Haemonchus, satisfaisante pour Cooperia à la suite des deux premiers dépôts mais à considérer avec précaution pour Ostertagia. Signalons que les travaux des autres auteurs cités ont principalement concerné ce genre (représenté par Ostertagia ostertagi).

Ainsi la température moyenne des bouses sur l'ensemble de la durée du développement est le principal facteur expliquant les différences de développement des oeufs (tous genres confondus), corrigé par la température moyenne du début de développement. L'humidité minimale apparaît comme un facteur limitant: le taux de développement est d'autant plus élevé que la déshydratation des bouses est restée faible. Remarquons que dans ce type d'analyse de régression pas à pas, un facteur comme TM1 (température moyenne durant le premier tiers du développement) apparaît comme seconde variable explicative bien que fortement corrélée à TM3, 1er variable explicative. Néanmoins chaque nouvelle variable, choisie sur la valeur des corrélations partielles, apporte une part notable d'explication (R2 passe de 0,65 à 0,74 et 0,78 respectivement avec les 3 variables explicatives, tableau XIX). L'amplitude thermique importante dans certains conditions de dépôt (au soleil) n'apparaît pas ici bien que significativement corrélée (de façon négative) avec le taux de développement. Cette variable est corrélée négativement aux températures moyennes.

Les relations entre les températures moyennes ou maximales durant le développement et les taux observés pour Cooperia et Haemonchus diffèrent (figure 14). Les observations présentent une grande dispersion qui limite la valeur des corrélations obtenues. Pour Haemonchus, le développement à des températures inférieures à 12-14 °C est pratiquement nul alors que celui de Cooperia est encore de 8 L3/100 oeufs à 9 °C de moyenne. Pour ces 2 genres, l'humidité pondérale intervient comme seconde variable explicative, les précipitations n'apparaissant qu'en 3ème ou 4ème pallier.

Dans notre conditions expérimentales, aucune variable n'explique la variabilité observée dans le taux de développement d'Ostertagia. Ceci peut être du à l'imprécision dans l'estimation du taux de développement et/ou au fait que ce genre puisse se développer dans des conditions très diversifiées. On comprend alors mal qu'il n'apparaisse qu'en si faible proportion dans les dépôts. La faible fécondité des femelles d'Ostertagia par rapport à celles des représentants des autres genres explique en partie ce fait. Williams et Bilkovich (1971) estimaient que les meilleures conditions de développement d'Ostertagia ostertagi en Louisiane (USA) étaient celles d'octobre-novembre et de mars-avril, caractérisées par des températures moyennes mensuelles de l'air comprises entre 13 et 26 °C et des pluviométries mensuelles comprises entre 7,5 et 17 mm. Pandey (1974) n'observait pas de développement en Belgique à la suite des dépôts de fin novembre à janvier. Le développement au cours de l'été était favorisé par la présence de précipitations. Garcia Romero et Gruner (1984) concluaient que l'abondance des larves d'Ostertagia sur le pâturage dépendait en premier lieu des précipitations de la semaine précédente tandis que celle de Cooperia de la température. Aumont et al. (1992) en Guadeloupe calculaient que l'abondance des larves d'Haemonchus, de Cooperia, de Trichostrongylus et d'Oesophagostomum (même espèces et genres que ceux rencontrés en Argentine) dépendaient de celle des

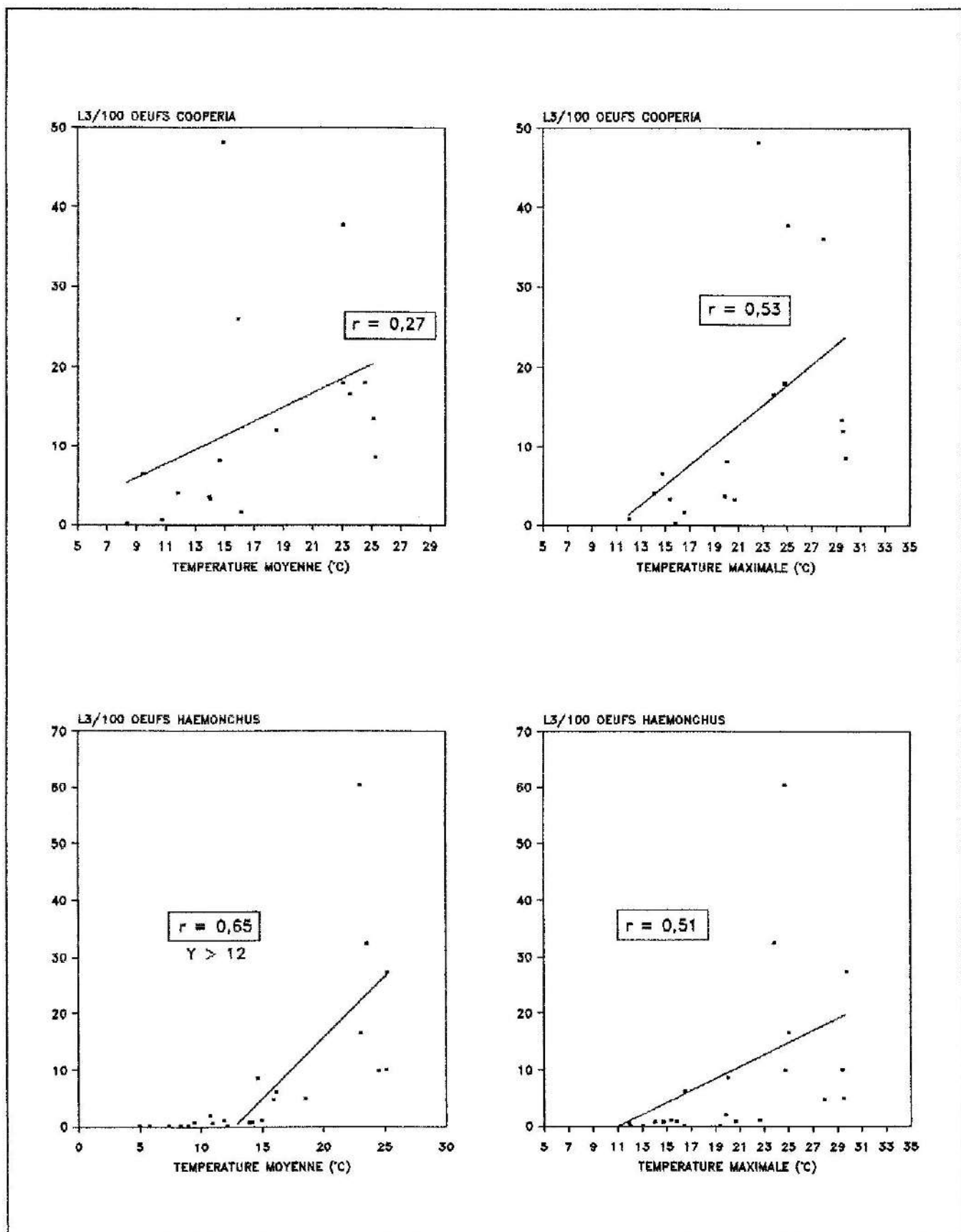


Figure 14: Relations entre les taux de développement de *Cooperia* et d'*Haemonchus* et les températures moyennes ou maximales enregistrées dans les bouses.

précipitations mais étaient limitées lorsque la radiation globale dépassait une valeur seuil de 20 mégajoules par m² et par jour au moment du dépôt des bouses. Par rapport à ces deux séries de travaux, nous avons pu identifier les facteurs intervenant spécifiquement sur la phase de développement. Dans bien des cas les précipitations sont mises en évidence sur la phase de migration des larves vers l'herbe (Durie, 1961; Pacenovsky et al., 1971; Williams et Bilkovich, 1973; Gettinby et al., 1979).

4.2. DEVELOPPEMENT DE TELADORSAGIA CIRCUMCINCTA DANS DES FECES DE MOUTON DEPOSEES SUR PRAIRIE

4.2.1. Protocole d'étude

Comme dans l'expérience de dépôts de bouses, le principe de cette expérience (réalisée à l'INRA de Nouzilly) était de soumettre des fèces contenant des oeufs en nombre connu à des conditions de développement naturelles ou semiexpérimentales aussi diversifiées que possible afin de tenter d'identifier le poids relatif des facteurs eau et température sur les possibilités de développement.

Afin d'éviter les inconvénients de la présence simultanée d'oeufs de plusieurs espèces dans les matières fécales, nous avons travaillé avec les fèces émises par des agneaux mono infestés par Teladorsagia circumcincta.

Les fèces émises par deux agneaux donneurs ont été recueillies à 4 reprises au cours de la journée, mises à 4°C jusqu'à l'obtention d'une quantité suffisante qui était homogénéisée. Densité en oeufs pour 10 g de matière fécale (établie par extraction), taux d'éclosion, humidité pondérale des fèces et L3/100 oeufs en conditions optimales au laboratoire (témoin à 23°C et 60% d'HP pendant 11 à 12 jours), ont été mesurées pour chaque dépôt (tableau XX). Un dérèglement d'étuve a fait perdre les cultures correspondant aux dépôts 1 et 2.

Tableau XX: Caractéristiques initiales des dépôts de matière fécale d'ovin effectués en conditions naturelles et taux d'éclosion et de développement des oeufs au laboratoire. (ND= non déterminé). * (moyenne \pm écart type).

Dépôt	Date	Oeufs/ 10g de mat.fécale	taux(%) d'éclos. et 60% d'HP(témoin)*	L3/100 oeufs à 23°C
Dépôt 1	5 juin	20500	86	ND
Dépôt 2	7 juin	27300	77	ND
Dépôt 3	21 juin	19600	88	40 \pm 9
Dépôt 4	26 juin	18700	82	36 \pm 4
Dépôt 5	28 juin	15600	85	37 \pm 4

Les fèces étaient réparties par 10 g dans de petites enceintes cylindriques (diamètre 6 cm, hauteur 3 cm) dont le fond était constitué de toile nylon à maille calibrée à 5 microns afin de permettre les échanges d'humidité avec le sol tout en limitant la fuite des larves. Cinq enceintes sont déposées pour chacune des conditions, site et séjour dans les cinq séries de dépôts.

Nous disposions de 4 milieux ou sites de dépôt, 2 parcelles semées en Ray Grass, 2 en Luzerne, avec une hauteur de végétation soit haute (30-50 cm) soit basse (10-20 cm). Leur utilisation nous permettait d'espérer avoir des conditions ambiantes différentes, la luzerne couvrant le sol plus que les graminées, limitant de ce fait l'action directe des rayons du soleil sur les fèces déposées sur le sol.

Les dépôts ont été effectués soit en condition "ouverte", enceinte à même le sol, soit en condition "fermée" dans une boîte rectangulaire munie d'un papier filtre mouillé dans le but de minimiser la perte d'eau des fèces.

Température et humidité variaient dans la condition ouverte, alors que nous avons recherché à ce que dans la condition fermée seule la température varie. Afin d'éviter un effet de serre excessif, des panneaux peints en blanc assuraient l'ombre. En cas de déshydratation des fèces en condition fermée, de l'eau était ajoutée afin de revenir à la valeur initiale d'humidité pondérale.

Les dépôts étaient suffisamment nombreux afin qu'une partie séjourne 48 heures sur le terrain, une autre le temps nécessaire pour que les oeufs évoluent jusqu'au stade L3 (2 semaines en cette période de juin-juillet). Au terme des 48 h, les fèces étaient rapportées au laboratoire, leur humidité pondérale réajustée à 60%, et mises à incuber 9 jours à 23°C avant d'extraire les larves. Pour les échantillons ayant séjourné 2 semaines les larves étaient directement extraites des fèces et du sol sousjacent (sur 4 à 5 cm de profondeur).

L'humidité pondérale a été mesurée in situ à 5-6 reprises chaque jour pendant les 48 heures, puis une à deux fois par jour pendant les 2 semaines. Les températures, mesurées à l'aide de thermocouples Cuivre-Constantan étaient enregistrées de façon automatique toutes les 10 secondes sur une Centrale d'acquisition (Micrologger 21 X, Campbell Scientific Inc.) programmable. Les moyennes horaires étaient établies et l'ensemble des données gardées en mémoire étaient transférées chaque jour sur un ordinateur (PC). L'utilisation de thermocouples permettait de mesurer les températures au sein des grains de fèces tant ouverts qu'enfermés dans une enceinte.

4.2.2. Résultats

Nombre de larves et microclimat

Les annexes 3 et 4 donnent les taux de développement des oeufs, l'humidité des fèces et les conditions microclimatiques selon les conditions et dépôts au cours des expériences après un séjour de 48 heures et de 2 semaines respectivement.

La figure 15 montre 3 exemples d'évolution d'humidité pondérale et 1 exemple d'évolution journalière des températures au sein des fèces. Elle illustre la diversité des conditions de développement selon qu'il ai plu (dépôt 1 et 2) ou non (dépôt 3). Sur l'ensemble des dépôts, la vitesse et l'intensité de déshydratation des crottes était fonction de la durée de l'insolation du matin ou de l'après midi, de la hauteur du couvert végétal plus que de la nature de l'herbe, les jours sans pluie (dépôt 3). Les écarts de température entre les milieux, nuls pendant la nuit, pouvaient atteindre 10 °C aux heures chaudes et ensoleillées. Les valeurs maximales étaient enregistrées en herbe basse sous l'effet direct des radiations solaires. Les jours de pluie (dépôts 1 et 2), les fèces restaient plus humides dans la luzerne.

L'état fermé ou ouvert de la situation des fèces (figure 16) s'est concrétisé par l'absence de déshydratation dans le premier cas. Les températures restaient relativement proches dans les deux cas, hormis quelques effets de serre par exemple dans la Luzerne, qui ont entraîné des températures approchant 50 °C.

Le développement moyen de Teladorsagia circumcincta de tous les dépôts selon les différentes conditions et séjours est présenté sur la figure 17.

En condition fermée, les taux de développement sont restés compris entre 6 et 23 L3/100 oeufs selon les diverses conditions de dépôt. En condition ouverte, les résultats ont été beaucoup plus variables. Pour les dépôts 3, 4 et 5 où la comparaison est possible, les taux observés après 2 semaines sur le pâturage étaient inférieurs à ceux observés après 2 jours puis remis à évoluer en conditions optimales de laboratoire. Ces différences expriment la mortalité intervenant entre le 3ème et le 14ème jour. Dans les dépôt 4 et 5, les taux après 2 jours en condition ouverte étaient supérieurs à ceux de la condition fermée malgré des écarts de température et d'humidité plus élevés (annexe 3). Il est vraisemblable que des problèmes d'oxygénation, non mesurés, expliquant ces résultats. Entre les strates herbacées, la mortalité était plus élevée en herbe basse.

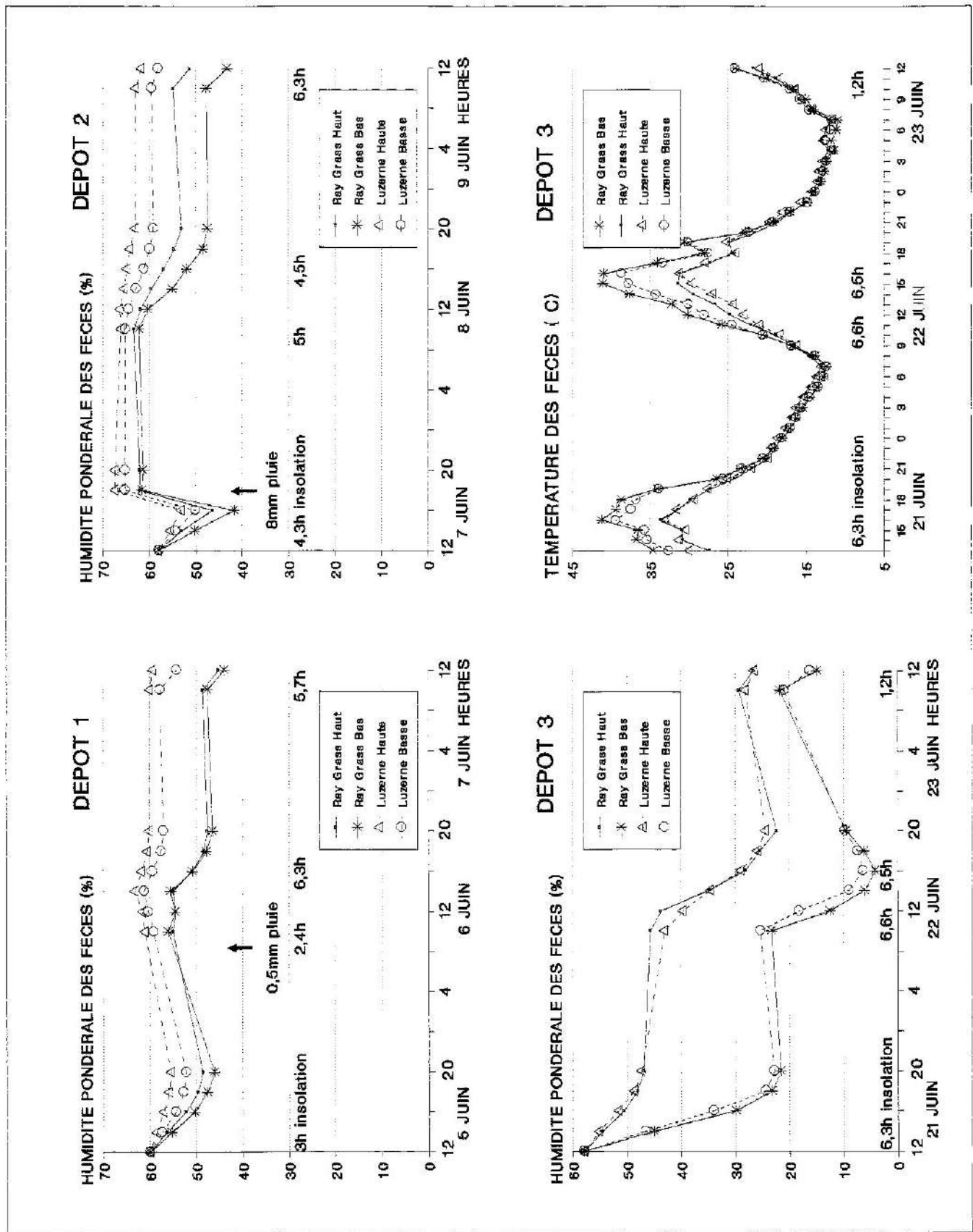
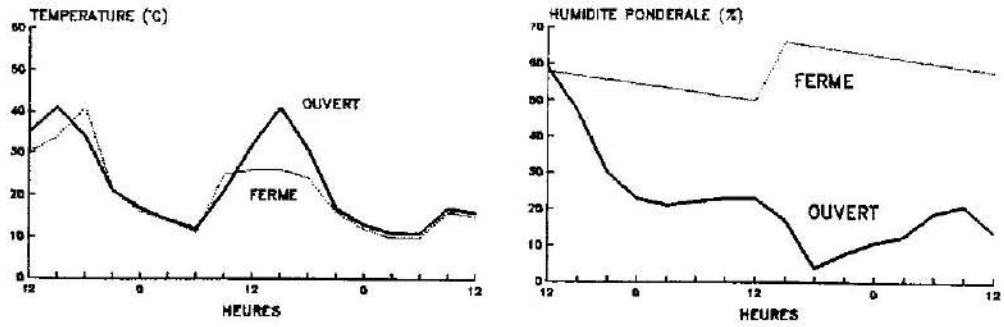
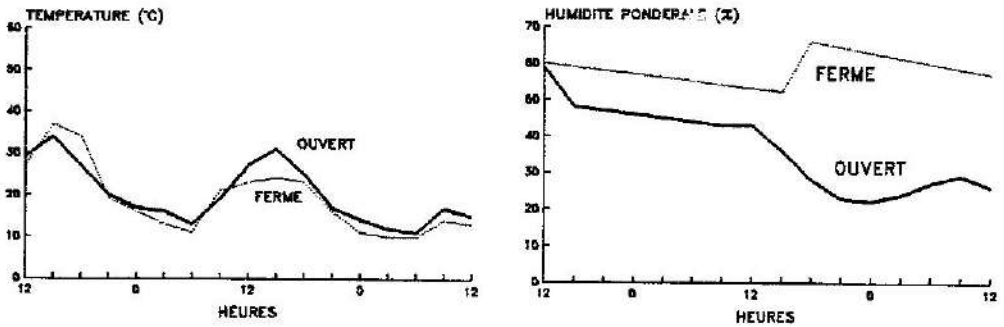


Figure 15: Evolution de l'humidité pondérale des fèces au cours des 48 premières heures des dépôts 1, 2 et 3 ainsi que des températures lors du dépôt 3 (journées très ensoleillées de juin 1990 à Nouzilly).

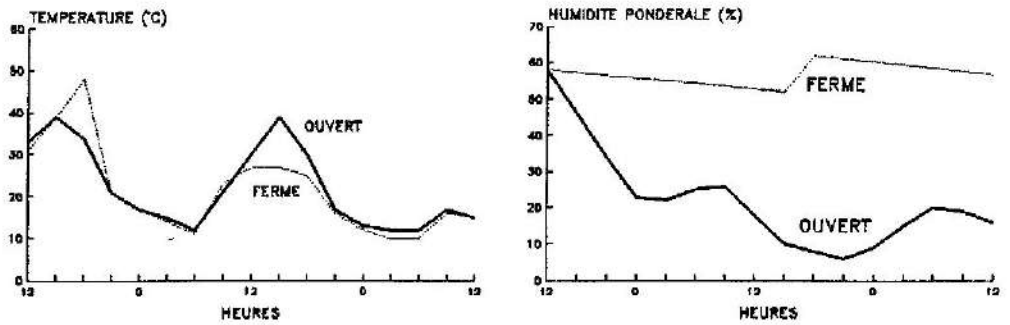
RAY GRASS BAS



RAY GRASS HAUT



LUZERNE BASSE



LUZERNE HAUTE

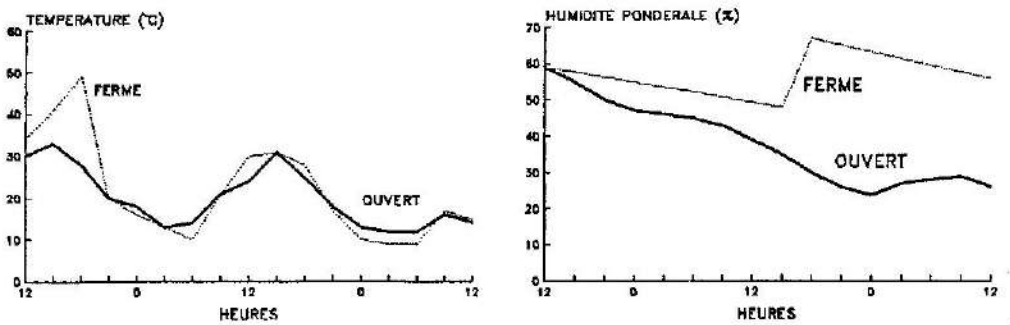


Figure 16: Evolution comparée de l'humidité pondérale et de la température des fêces déposées en condition ouverte ou fermée au cours des 48 heures suivant le dépôt 3 (journées très ensoleillées de juin 1990 à Nouzilly).

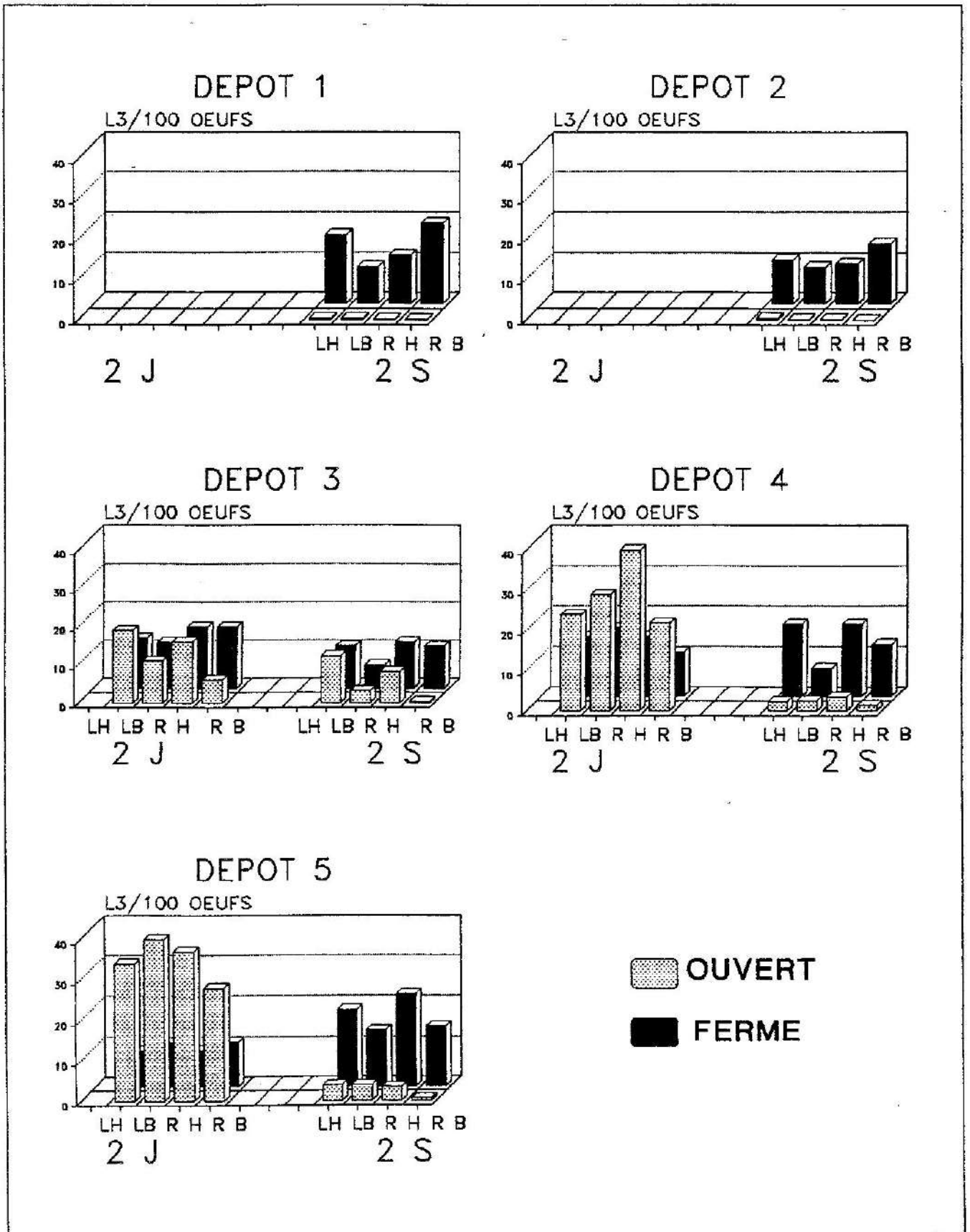


Figure 17: Développement moyen des oeufs de *Teladorsagia circumcincta* au terme de 2 jours (dépôts 3 à 5 uniquement) ou de 2 semaines de séjour en condition ouverte ou fermée des fèces déposées en Luzerne haute (LH) ou basse (LB) et Ray Grass haut (RH) ou bas (RB) pour les 5 séries de dépôts effectués en juin 1990 à Nouzilly.

Une analyse de variance du nombre de L3/100 oeufs par rapport aux divers facteurs et à leurs interactions a révélé que site de dépôt, condition ouverte ou fermée, date de dépôt n'intervenaient pas de façon significative. Par contre le taux de développement était nettement diminué après 2 semaines de séjour par rapport à 2 jours (8,3 vs 18,7 sur l'ensemble des 64 données).

Une autre façon de considérer la mortalité des éléments parasitaires est de rapporter le nombre de L3/100 oeufs au nombre de L3 des lots témoins (23°C et HP 60% considérée comme condition optimale de développement). Entre les divers dépôts les taux de développement des lots témoins restent d'ailleurs stables et compris entre 37 et 40 L3/100 oeufs. La mortalité après 2 jours de séjour sur le terrain est alors de 58%, celle après 2 semaines de 79% ($P < 0,01$). C'est dire que la mortalité entre le 3^e et le 14^e jour est en moyenne de 21%.

L'analyse de variance met également en évidence une différence ($P < 0,05$) entre la mortalité des lots ouverts (77,5%) et fermés (65%).

Afin d'étudier les relations entre le taux de développement (L3/100 oeufs) et les conditions microclimatiques, nous avons considéré chacune des conditions de dépôt (date, durée du séjour, site, ouverte ou fermée) comme une observation à laquelle étaient associées les variables explicatives suivantes:

- Tmin et HPmin= température et humidité pondérale minimale des fèces.
- Tmax et HPmax= température et humidité pondérale maximale des fèces.
- TM2J et HPM2J= température et humidité pondérale moyenne au cours des 2 premiers jours.
- TM2S et HPM2S= température et humidité pondérale moyenne pendant toute la durée du développement.
- HT35 et HT40= nombre d'heures supérieures à 35° et 40°C au cours du développement.

Ces variables se justifient par l'observation de températures soit relativement fraîches pour la saison (min. de l'ordre de 5°C) soit élevées aux heures chaudes dans les fèces (> à 40°C).

Le traitement statistique appliqué a été la régression progressive pas à pas, afin de hiérarchiser l'action des diverses variables. Dans la mesure où elles ne sont pas toutes indépendantes, nous avons construit le dendrogramme à liens simples (figure 18) à partir de la matrice de corrélations. Il permet de visualiser les groupes de variables associées, sans pour autant indiquer le sens des relations (positive ou négative). Le groupe de températures élevées est représenté par HT40, HT35 et Tmax. HPmin et HPM2S sont par ailleurs fortement corrélés. Ces 2 groupes de variables sont corrélés au nombre de larves, par contre les autres variables semblent agir de façon moins importante.

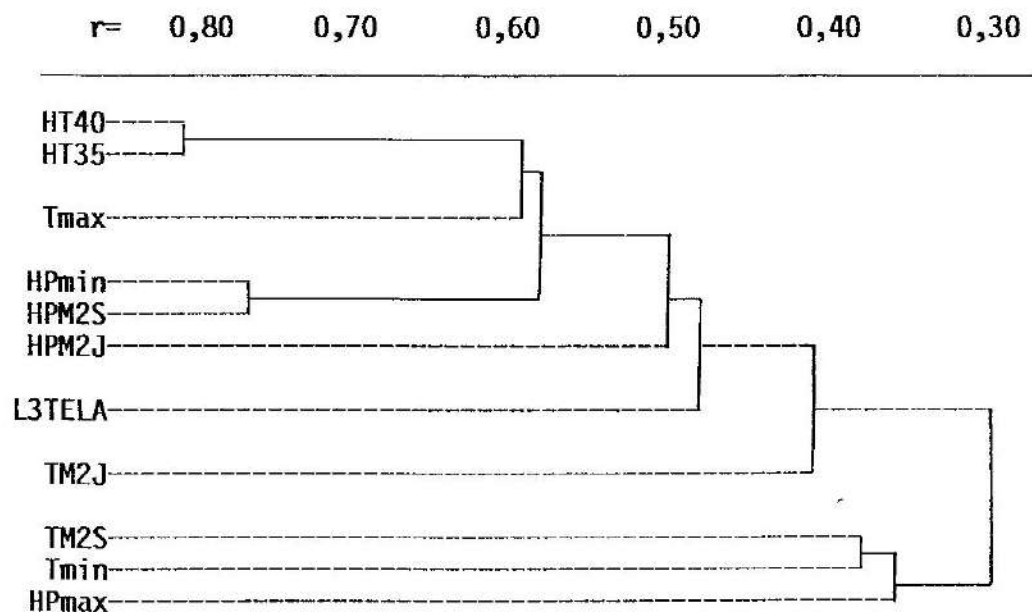


Figure 18: Dendrogramme à liens simples entre les diverses variables du microclimat dans les fèces et le nombre de L3/100 oeufs de Teladorsagia circumcincta.

Nous avons appliqué ce traitement statistique sur les groupes de données dont nous disposons qui sont les séjours de 2 jours ou de 2 semaines sur le terrain en condition ouverte ou fermée (tableau XXI). Les conditions de végétations constituent des variantes microclimatiques.

L'humidité pondérale minimale des fèces au cours du développement apparaît comme le facteur le plus important expliquant le nombre de L3/100 oeufs de Teladorsagia circumcincta. La relation est positive. Les températures élevées dépassant 35 et 40°C se sont avérées létales dans bien des cas (corrélations négatives). Le 3^e facteur est la température minimale.

Lorsque les fèces ont été déposées dans la condition ouverte, HPmin constitue le 1^{er} facteur. Il explique 75% de la

variabilité du taux de développement pour les séjours de 2 jours. Pour les séjours de 2 semaines, la température semble plus importante. Dans la condition fermée, HT35 est le premier facteur, puis HPM2S. HPmax intervient comme 1^{er} facteur là où les fèces sont restés 2 jours en condition fermée.

D'après l'ensemble de ces expériences, il semble que nous pouvons conclure que l'humidité pondérale des fèces constitue le premier facteur limitant le développement des oeufs en larves. La température devient véritablement limitante lorsqu'elle dépasse trop longtemps 35°C.

Tableau XXI: Hiérarchie des variables intervenant de façon significative ($P < 0,01$) sur le nombre de larves (L3/100 oeufs) selon les conditions de séjour des fèces d'ovin sur le terrain: 2 jours (2J) ou 2 semaines (2S), ouvert (O) ou fermé (F). (+ ou -) = sens de la relation. (R2) = coeff. de détermination du modèle à 1, 2 ou 3 variables.

Condition	Nb de données	Variables explicatives		
		première(R2)	seconde(R2)	troisième(R2)
ensemble	64	+ HPmin(0,24)	+ Tmin(0,36)	+ Tmax(0,41)
2S O + F	40	+ HPmin(0,44)	- HPM2J(0,51)	+ Tmax(0,59)
2J O + F	24	+ HPmax(0,59)	- HT40(0,78)	
2J + 2S O	32	+ HPmin(0,38)	+ TM2S(0,65)	
2J O	12	+ HPmin(0,75)	- Tmax(0,91)	- HPM2J(0,95)
2S O	20	+ TM2J(0,38)	- HT40(0,50)	+ HT35(0,66)
2J + 2S F	32	- HT35(0,21)	- HPM2S(0,37)	
2S F	20	- Tmax(0,42)	+ Tmin(0,57)	
2J F	12	AUCUNE VARIABLE SATISFAISANTE		

4.2.3. Discussion et conclusion

Comme le montre le dendrogramme de la figure 18, la déshydratation des fèces est fortement corrélée aux températures élevées (nombre d'heures dépassant 35 ou 40 °C et températures maximales). Nos expériences se sont déroulées en juin-juillet, époque soumise à des ensoleillements et des températures élevées (accompagnées par des températures nocturnes basses pour la saison). Envisager de modéliser cette déshydratation est un travail de bioclimatologiste car il fait appel à la connaissance des lois physiques de transfert de fluides, fonction du rayonnement au niveau du sol, des turbulences, de l'indice foliaire (surface des feuilles par m² de sol). Berbigier *et al.* (1990) avaient montré que la température au sein des fèces en grain était fonction du rayonnement global et que l'humidité pondérale minimale au cours des 36 premières heures de développement expliquaient 74, 55 et 38 % de la mortalité des oeufs respectivement d'*Oesophagostomum columbianum*, d'*Haemonchus contortus* et de *Trichostrongylus colubriformis*, ceci en

Guadeloupe. Ces résultats ont servi de base à nos expériences avec Teladorsagia circumcincta.

L'objectif était de séparer la part revenant à chacun des 2 facteurs, humidité et température des fèces dans la mortalité des oeufs et des jeunes larves. Nous espérions pouvoir y parvenir en comparant le nombre de larves obtenues dans les dépôts ouverts par rapport à ceux de la condition fermée. Plusieurs difficultés concernaient ce milieu fermé. Le risque de manque d'oxygénation a été limité par l'ouverture tous les un ou deux jours de la boîte contenant les dépôts afin de renouveler l'air. L'humidité a été souvent contrôlée et les fèces réhumidifiées si nécessaire. La mise à l'ombre sous condition ventilée de la boîte a minimisé l'effet serre qui aurait résulté de l'exposition au soleil. D'importants écarts de températures ont cependant été enregistrés. Les températures moyennes ont été similaires à celles enregistrées dans la condition ouverte qui a subi également des écarts notables. La comparaison des nombres d'heures supérieures à 35°C révèle un nombre plus élevé d'heures chaudes en Luzerne basse fermée qu'ouverte, mais l'inverse est observé en Luzerne haute.

Aussi il paraît difficile d'attribuer la plus forte mortalité observée au cours de 48 h en condition fermée par rapport à celle de la condition ouverte (figure 17) à ce seul facteur température. Le non renouvellement de l'air entraînant des problèmes d'échanges gazeux (insuffisance d'oxygène ou surpression lors de températures élevées) constituerait un artefact expérimental indésirable non mesuré. Au laboratoire, le non renouvellement de l'air pendant les 9 jours de culture à 23°C a entraîné la mort des parasites des dépôts 1 et 2, alors que le renouvellement ne serait-ce que 2 fois lors des expériences de laboratoire apparaissait comme suffisant.

Nous avons privilégié la période des 48 premières heures de développement qui correspondent aux stades oeuf et larve 1. De façon globale, c'est sur cette période que la mortalité était la plus élevée, l'humidité ayant une action prépondérante. A la suite des 4ème et 5ème dépôts, des pluies ont maintenu des conditions très favorables pendant les premiers jours (mortalité après 2 jour de séjour allant de 0 à 41 %). Des conditions sèches ont ensuite entraîné des mortalités atteignant 90% des larves (stade 1 à 3). C'est dire que les stades 1 et 2 sont également très sensibles aux aléas climatiques; le stade 3 n'était pas étudié ici puisque la récupération des parasites était effectuée dès leur développement jusqu'à ce stade.

Les relations taux de développement et conditions microclimatiques ont été réalisées par des calculs de corrélations linéaires multiples. Les calculs avec le nombre de L3/L3 témoin donnent des résultats pratiquement identiques. Les modèles avec les 2 ou 3 meilleures variables expliquent 37 à 95% de la variabilité observée (41% pour l'ensemble des 64 observations). Les résultats sont meilleurs pour les séjours de 48 heures ($R^2 = 0,78$) et pour la condition ouverte ($R^2 = 0,75$).

Dans ces conditions nous pouvons considérer les modèles comme relativement satisfaisants.

En condition "fermée", il est vraisemblable que d'autres facteurs seraient à prendre en considération (échanges gazeux). La relation entre développement, humidité pondérale et température est peut être de nature plus complexe qu'un polynôme de 1^o degré.

Ainsi nous pouvons conclure que l'humidité pondérale minimale enregistrée au cours du développement des oeufs en larves constitue l'indicateur (résultant de l'action combinée de divers facteurs du milieu) le plus important dans les fèces des petits ruminants (grains) susceptible d'expliquer les variations du taux de développement. Les températures élevées ont ensuite une action létale dépendant de leur durée au delà de 35 ou de 40 ° C. C'est au cours des premiers jours que cette action est la plus forte.

La nature du couvert végétal intervient essentiellement par les modulations du microclimat qu'elle induit: plus forte exposition au soleil des couverts bas, ventilation plus élevée en graminées qu'en luzerne.

Ces conclusions sont valables pour nos conditions expérimentales de développement en juin-juillet. Gruner et Suryahadi (1992) avaient observé des taux de même ordre de grandeur au printemps dans le sud de la France, mais pratiquement nuls pendant l'été et par contre plus élevés à l'automne. Callinan (1978a) obtenait des taux compris entre 0 et 16 L3/100 oeufs sous climat méditerranéen en Australie.

4.3. CONCLUSION

Il n'est pas aisé d'envisager de comparer les deux séries d'expériences dans la mesure où elles ont été réalisées dans des sites très différents, que les dépôts de bouses étaient multispèces (avec dominance d'Haemonchus, de Cooperia, et dans une moindre mesure d'Ostertagia), réalisés dans 2 conditions naturelles (soleil et ombre) et une artificielle (laboratoire), ceci à 8 reprises au cours de 3 saisons couvrant un large éventail de températures. Les fèces d'ovin étaient monospécifiques (Teladorsagia circumcincta), les dépôts ont été limités aux mois de juin-juillet (saison chaude), dans 4 milieux naturels soit pendant 2 jours soit pendant toute la durée du développement, avec en plus des conditions expérimentales (condition "fermée"). Les facteurs physiques enregistrés ou utilisés comme variable explicative dans les analyses n'ont pas été strictement les mêmes.

Cependant, une façon claire de comprendre l'importance de ces facteurs dans le développement des oeufs en larves dans les fèces en grains ou dans les bouses, est de représenter dans

un espace les variables quantitatives au moyen d'une analyse en composantes principales (ACP). Son grand mérite est de permettre de visualiser les liaisons ou associations entre les variables actives (données microclimatiques) entre elles et avec la variable supplémentaire (parasitaire).

On se souviendra, qu'une variable est d'autant mieux représentée sur le plan qu'elle est proche du cercle de corrélation (corrélation entre les variables et les axes principaux), et que deux variables situées sur la même droite mais en opposition signifie que l'une augmente quand l'autre diminue.

Dans le cas des expériences avec les fèces d'ovins 3 axes expliquent plus du 88% de la variabilité observée. L'examen du plan construit pour les axes 1 et 2 (80 % d'inertie)(figure 19) distingue sur l'axe 1 la relation entre larves récupérées et l'humidité (HPM2S-HPmin). Les variables les plus liées à l'axe 1 sont celles caractérisant les conditions d'humidité et de température élevée (HT40, HT35, Tmax) des fèces. Ces deux groupes de variables sont situés sur la même droite mais en opposition, ceci signifie que l'une favorise le développement quand l'autre groupe a une action létale. L'axe 2 est principalement défini par la température minimale (Tmin).

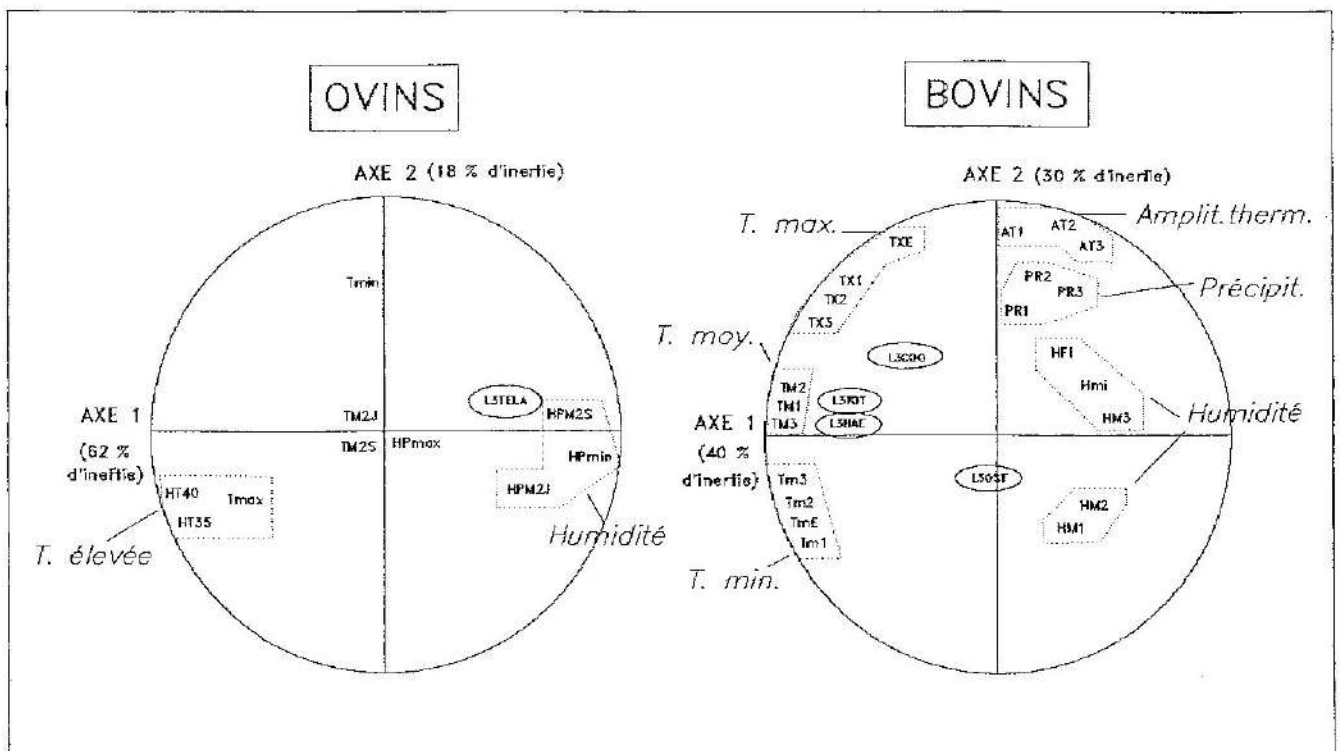


Figure 19: Analyse en Composantes Principales (ACP). Relation entre les taux de développement et les conditions du microclimat des fèces d'ovins (grains) ou de bovins.

Pour les expériences avec les fèces de bovins (bouses) 3 axes expliquent plus du 85% de la variabilité observée. La figure 19 montre le plan construit avec les axes 1 et 2. Les "familles" de variables les plus liées à l'axe 1 sont les températures moyennes (TM1, TM2, et TM3) et minimales (Tm1, Tm2, Tm3 et TmE). Les amplitudes thermiques (AT1, AT2 et AT3) marquent l'axe 2, les températures maximales étant entre les deux. L'axe 3 est marqué par les humidités pondérales moyennes des fèces (HM1, HM2 et HM3). Il ressort que Haemonchus est très lié aux températures moyennes (comme le développement toutes espèces confondues, mais Haemonchus en est la composante principale). Cooperia est plus défini par les températures maximales, Ostertagia, plus près du centre, reste peu défini par les variables climatiques, mais ce genre était peu représenté dans nos conditions expérimentales.

L'interprétation biologique de l'ACP est la suivante: lorsque les fèces sont en grains l'humidité devient le principal facteur limitant du développement. L'importance de la déshydratation (humidité pondérale minimale) des grains dans les 2 premiers jours qui suivent leur dépôt est mise en évidence. Cette perte d'eau est autant plus rapide que les fèces sont déposées au soleil qu'à l'ombre, dans une strate herbacée basse plutôt que haute. La température devient véritablement limitante lorsqu'elle dépasse trop longtemps 35 °C.

Par contre dans la bouse, la température moyenne constitue le premier facteur conditionnant le développement des oeufs en larves pour Haemonchus surtout.

Nos résultats concernant les nématodes parasites de bovins sont valables pour des régions soumises à un climat tempéré. En milieu tropical où l'alternance des saisons sèches et pluvieuses est courante, les précipitations favorisent globalement l'abondance des parasites (citons par exemple Catto, 1982 au Brésil) mais le rayonnement global constitue un indicateur important (Aumont et al., 1992 en Guadeloupe). Dans les 2 cas, les phases de développement et de migration sont prises en compte simultanément. Chez les petits ruminants en Guadeloupe, le développement est également favorisé en saison de pluies (Gruner et al., 1984) mais l'humidité pondérale minimale des fèces constitue l'indicateur le meilleur expliquant le taux de développement des principales espèces (Berbigier et al., 1990). Sous climat tempéré (Nouzilly en Touraine) nous avons montré que cet indicateur restait valable pour Teladorsagia circumcincta.

Cependant les différences observées dans les 2 séries d'expériences tiennent-elles au fait qu'il s'agisse de nématodes parasites d'espèce hôte différente ou à la nature des fèces qui constituent l'environnement immédiat des oeufs et jeunes larves. C'est l'objet du chapitre suivant qui s'est attaché à tenter de définir les véritables exigences hydriques et thermiques d'un ensemble d'espèces de nématodes provenant d'hôtes différents, ceci en conditions de laboratoire.

CHAPITRE V

COMPARAISON DES EXIGENCES
HYDRIQUES ET THERMIQUES
DES DIVERSES ESPECES

CHAPITRE V

5. COMPARAISON DES EXIGENCES HYDRIQUES ET THERMIQUES DES DIVERSES ESPECES

Nous avons vu que les nématodes parasitant un bovin ou un ovin disposaient de conditions environnementales très différentes. La température reste le facteur clé du développement dans les fèces en bouse. Les fèces en grains sont soumises à des variations d'humidité beaucoup plus rapides qui font que l'humidité pondérale devient le facteur clé. Il est à remarquer que cette eau est libre dans la structure des fèces, car elle peut totalement s'évaporer en 2 jours (Berbigier et al., 1990, ont obtenu des HP de 0 % en Guadeloupe); inversement la rosée ou une pluie suffisent pour réhumidifier les fèces.

Dans ce chapitre nous tenterons de déterminer quelles sont les exigences thermiques et surtout hydriques des diverses espèces. Pour ce, des espèces parasitant habituellement des ovins, des chevreuils ou des bovins ont été ovinisées afin que la nature des matières fécales ne soit plus un facteur de variation.

Si l'utilisation d'agneaux comme hôte ne posait pas de problème pour les espèces parasites habituels des ovins (Teladorsagia circumcincta, Trichostrongylus colubriformis, T. vitrinus, Haemonchus contortus et Chabertia ovina), on pouvait se poser la question pour les autres. Ostertagia leptospicularis, parasite principal des cervidés, s'installe sans difficulté chez les ovins (Borgsteede, 1981); Cooperia oncophora et Ostertagia ostertagi, espèces dominantes chez les bovins sous climat tempéré, s'installent relativement bien chez les ovins, à des taux cependant inférieurs que chez des veaux (Bisset, 1980), voire avec difficulté dans le cas d'Ostertagia ostertagi (Borgsteede, 1981).

Les oeufs ont été mis à développer dans des conditions de laboratoire bien contrôlées faisant varier soit la température soit l'humidité pondérale. Dans le cas d'Ostertagia ostertagi, une expérience comparative a été menée sur les deux types de matières afin de déterminer la part éventuelle revenant à la nature des fèces.

5.1. MATERIEL ET METHODES

Les espèces et l'origine des isolats utilisés dans ces expériences ont été présentées dans le tableau X, de même que la multiplication de ces espèces sur ovins en cages à digestibilité (chapitre II).

Au laboratoire, des oeufs contenus dans des fèces fraîchement émises (60% d'HP) furent mis à évoluer à dix températures constantes différentes (comprises entre 4° et 33°). Sur trois de ces températures (18°, 23° et 28°C) l'humidité pondérale était modifiée (de 15 à 85% avec un accroissement de 5%) jusqu'à un taux maintenu fixe pendant toute la durée du développement. Nous avons ainsi pu déterminer les taux de développement exprimés en L3/100 oeufs pour diverses espèces de nématodes parasites d'ovins, de chevreuil et de bovin.

Les différentes courbes de développement ont été établies avec des cohortes d'oeufs provenant soit d'agneaux donneurs différents soit du même agneau mais à des moments de prélèvement de fèces différents, aussi leur comparaison devra tenir compte de ce biais technique.

Toutes les expériences de laboratoire ont donc consisté à diviser la masse fécale dans des boîtes de Pétri par 10 g (unité de base de dénombrement des oeufs), à soumettre des groupes de 10 boîtes (1 lot de 10 répétitions) à une humidification ou à un dessèchement pendant un temps donné à l'étuve afin d'obtenir l'humidité pondérale désirée et à enfermer ces boîtes dans une enceinte fermée par un ruban adhésif afin de limiter les échanges d'humidité.

A deux ou trois reprises pendant la durée de l'incubation les boîtes étaient ouvertes pour assurer une oxygénation convenable et vérifier l'humidité.

A l'issue de la coproculture, les L3 étaient extraites selon la technique de Baermann (1917) et dénombrées sous loupe binoculaire.

5.2. SENSIBILITE DES STADES OEUF, L1 ET L2 AUX EFFETS DU DESSECHEMENT

Des lots de 10 fois 10 g de fèces contaminées par Teladorsagia circumcincta, mis en coproculture à 23°C, furent soumis à une déshydratation (de 20 jusqu'à 40% de teneur en eau) à des délais correspondant à des stades parasitaires différents (0 à 2 heures pour le stade morula; 6 à 8 h pour l'oeuf embryonné; 23 à 24 h pour la larve 1 et 72 h pour la larve 2). La L2 se différencie de la L1 par sa taille et par l'abondance de granulations. L'effet de cette déshydratation était mesuré au terme de la culture (11 jours à 23 °C) par récolte des larves. Le fait que nombre de ces larves étaient encore des L2 dénotait un retard de développement, la totalité des larves étant des L3 dans les conditions standard de développement (10-11 jours à 23 °C et 60 % d'humidité).

Les pourcentages de larves (L2 et L3) pour 100 oeufs récupérées lorsque la déshydratation intervenait à différents stades sont présentés sur la figure 20.

Les stades oeufs (blastula-morula) et la larve 1 ont peu résisté aux faibles HP, quelques individus atteignaient le stade L3 à 40 % d'humidité. Le stade oeuf embryonné a été plus résistant, quant à la larve L2, elle a atteint plus facilement le stade 3 dès que l'humidité dépassait 35 %.

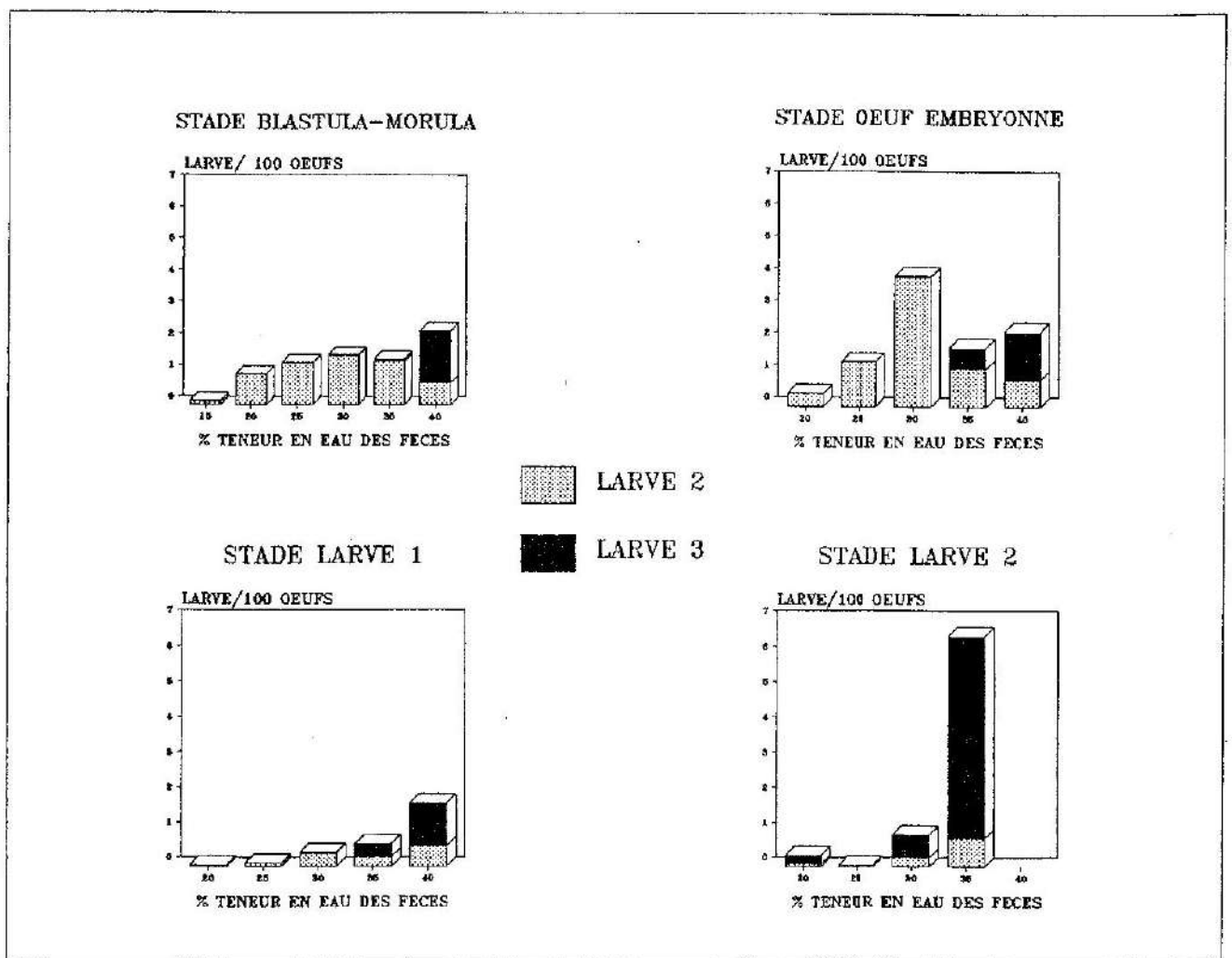


Figure 20: Larves/100 oeufs développées lorsque la déshydratation intervient à différents stades préinfestants de *Teladorsagia circumcincta*.

5.3. DEVELOPPEMENT DE L'OEUF A LA L3 A DIFFERENTES TEMPERATURES ET A HUMIDITE PONDERALE CONSTANTE (60%)

De nombreuses données existent dans la littérature concernant les relations températures-vitesse et taux de développement. Aussi nous avons limité l'étude de la température sur quatre espèces: Teladorsagia circumcincta, Ostertagia leptospicularis, Ostertagia ostertagi et Trichostrongylus colubriformis. Nos conditions d'étude étant standardisées, nous voulions pouvoir comparer nos résultats avec des données existantes pour T. circumcincta et T. colubriformis, établir les courbes pour O. ostertagi chez les ovins (des données existent chez les bovins), ainsi que pour O. leptospicularis dont on méconnaît totalement les exigences thermiques.

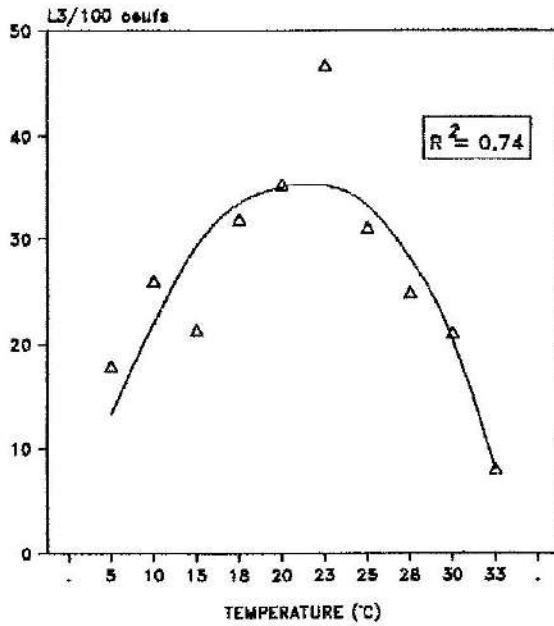
Dix répétitions de 10 g de matières fécales avec 60% de teneur en eau (humidité pondérale d'émission) étaient mis à évoluer dans des étuves réglées à dix températures différentes (5°, 10°, 15°, 18°, 20°, 23°, 25°, 28°, 30° et 33°C). Le temps nécessaire au bon développement des larves a varié selon la température, mais en général il a été de 40, 26, 15, 13, 12, 9, 8, 7, 6, et 5 jours respectivement.

La figure 21 présente les courbes de nombres de L3/100 oeufs selon la température de développement.

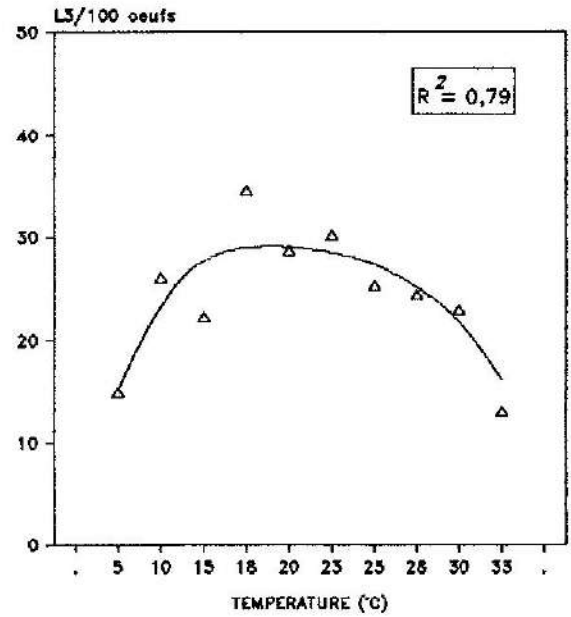
Plus de 20 L3/100 oeufs furent obtenues à des températures allant de 10 à 30 °C pour Teladorsagia circumcincta et Ostertagia leptospicularis avec un optimum plus marqué à 23 °C pour la première espèce. Trichostrongylus colubriformis est plus exigeante en chaleur et des taux maxima étaient observés à 25 et 28 °C. Ostertagia ostertagi s'est révélée avoir des exigences proches de 23 °C, les taux devenant très faibles en dessous de 15 ° et au dessus de 25 °C.

Des ajustements à diverses fonctions (parabolique, loi normale, Hoerl, polynômes) au moyen des logiciels Curvefit (Kolb W.M., version 1.00, année 1984) et Eureka (Borland, version 1.0) ont montré que la fonction rapport de 2 polynômes du second degré s'avérait la mieux ajustée pour les espèces étudiées, avec des coefficients de détermination de 74 à 99 %. L'intérêt de rechercher les lois mathématiques les mieux adaptées réside dans le fait de savoir si les diverses espèces étudiées sont régies par une même loi. Les formes des courbes calculées diffèrent ici (figure 21). L'inconvénient de ce rapport de 2 polynômes $[(Ax + Bx^2 + C)/(Dx + Ex^2 + F)]$ est le nombre élevée de paramètres et surtout l'absence de toute signification biologique de ces paramètres.

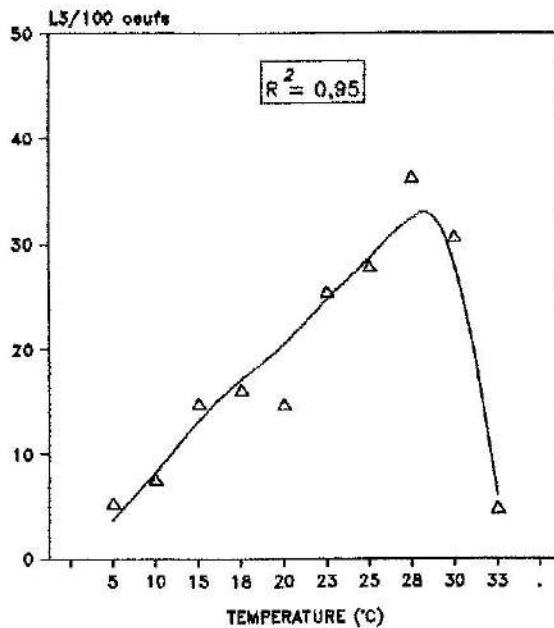
TELADORSAGIA CIRCUMCINCTA



OSTERTAGIA LEPTOSPICULARIS



T. COLUBRIFORMIS



OSTERTAGIA OSTERTAGI

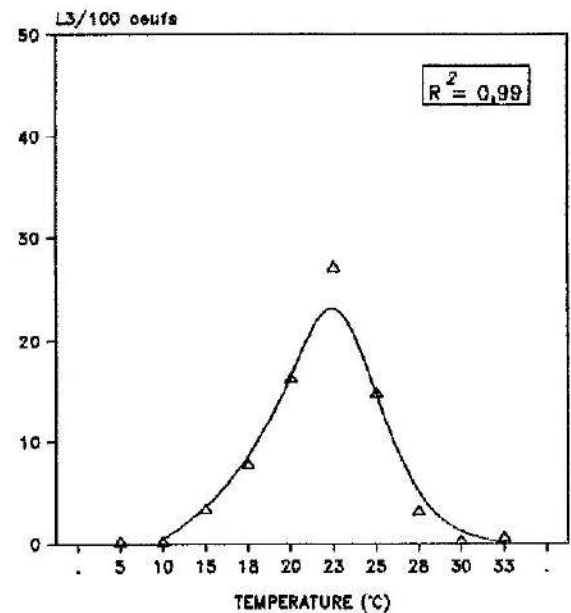


Figure 21: Développement des oeufs en L3 en fonction de la température des fèces à 60% d'humidité pondérale (moyenne de 10 répétitions). Courbes et coefficients de détermination pour les espèces étudiées.

5.4. DEVELOPPEMENT DE L'OEUF EN L3 A DIFFERENTES HUMIDITES PONDERALES ET A TEMPERATURE CONSTANTE.

Des lots de 10 répétitions de 10 g de matières fécales furent soumis à une humidification ou à un dessèchement afin d'obtenir une humidité pondérale comprise entre 15 et 85% avec un accroissement de 5%.

Sur 4 des 8 espèces, nous avons vérifié que le passage des oeufs à 28°C pendant un temps pouvant atteindre 5 heures de dessèchement ne modifiait pas sensiblement leur développement: par rapport au lot à 23°C et 60% d'HP, le nombre de L3/100 oeufs était diminué de 2,05% pour Haemonchus contortus, 3,27% pour Trichostrongylus vitrinus, 1,61% pour Cooperia oncophora et 5,85% pour Chabertia ovina.

Les courbes de taux de développement en fonction de l'humidité pondérale ont été établies à 23 °C pour l'ensemble des espèces et, en plus, à 18 et 28 °C pour Teladorsagia circumcincta, Ostertagia leptospicularis, Ostertagia ostertagi et Trichostrongylus colubriformis.

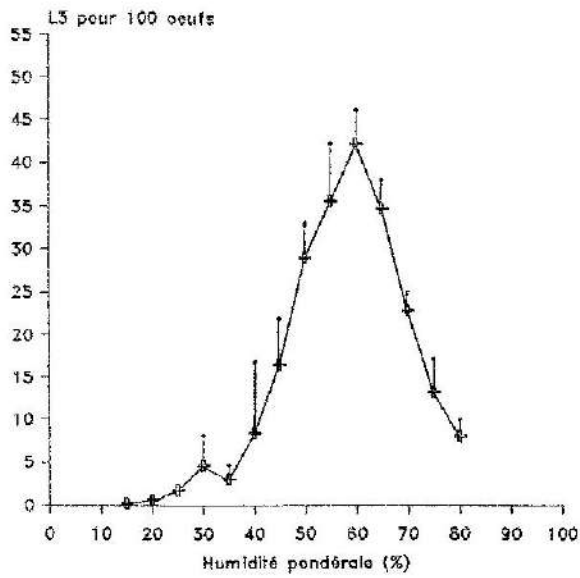
Les lots furent disposés dans des chambres ou étuves réglées à 18°, 23° et 28°C pendant le temps nécessaire au bon développement des larves, c'est à dire une durée variable selon l'espèce (par exemple à 18°C, 7 jours pour Haemonchus contortus, 12 jours pour Ostertagia leptospicularis et 9-10 jours pour les autres espèces).

La figure 22 (a et b) présente les courbes pour toutes les espèces du nombre de L3 développées à 23° selon l'humidité pondérale des fèces, rapporté à 100 oeufs et corrigé avec le taux d'éclosion. Toutes les espèces présentent un optimum bien marqué permettant à 35 à 45 % des oeufs d'accéder au stade L3. Ce taux est dépassé pour Cooperia oncophora et plus faible pour Ostertagia ostertagi.

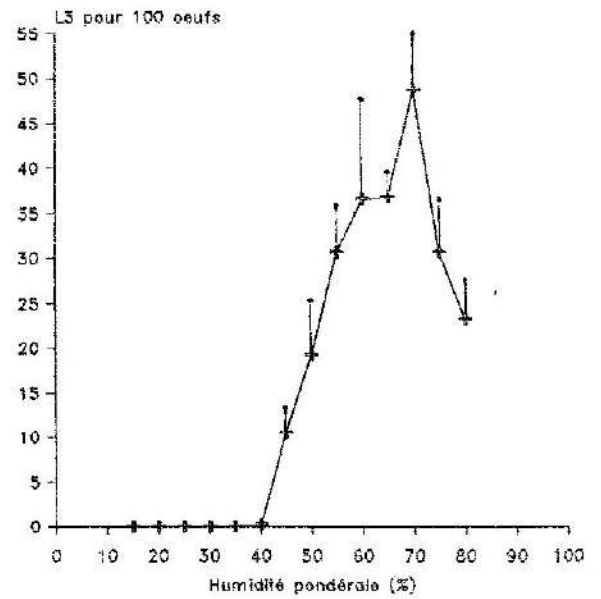
La figure 23 présente la comparaison du développement selon HP à 3 températures (18°, 23° et 28°C) pour 4 espèces, ceci afin de vérifier que l'allure des courbes obtenues à 23 °C était peu modifiée à d'autres températures, notamment dans la définition de l'humidité pondérale optimale.

Il s'avère que l'allure de ces courbes est peu modifiée pour les 3 températures étudiées; les optima d'humidité restent les mêmes, sauf pour O. ostertagi dont la valeur à 23 °C était plus basse que pour toutes les autres espèces (55 au lieu de 60 à 70 %). Rappelons que les courbes établies avec une même cohorte d'oeufs sont comparables. C'est le cas pour O. ostertagi. Pour les 3 autres espèces, la courbe établie à 23 °C l'a été avec une cohorte différente de celles établies à 18 et 28 °C. La comparaison des résultats d'expériences répétées dans des conditions identiques (23 °C et HP 60 %) permet d'apprécier l'importance de ce facteur cohorte. Les taux obtenus dans 2

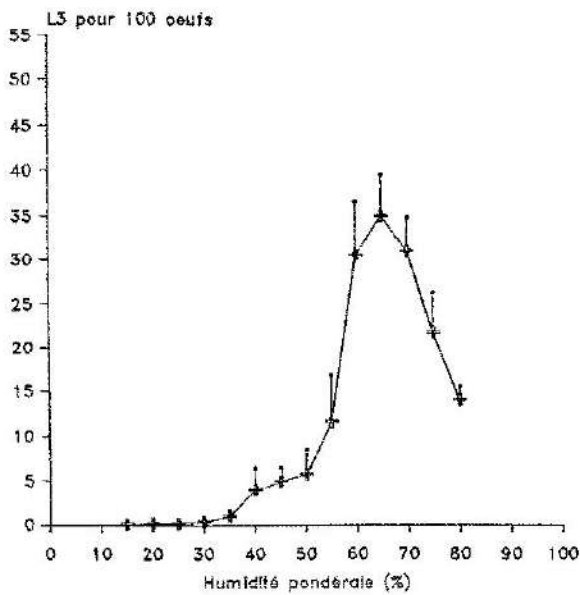
TELADORSAGIA CIRCUMCINCTA



HAEMONCHUS CONTORTUS



OSTERTAGIA LEPTOSPICULARIS



TRICHOSTRONGYLUS COLUBRIFORMIS

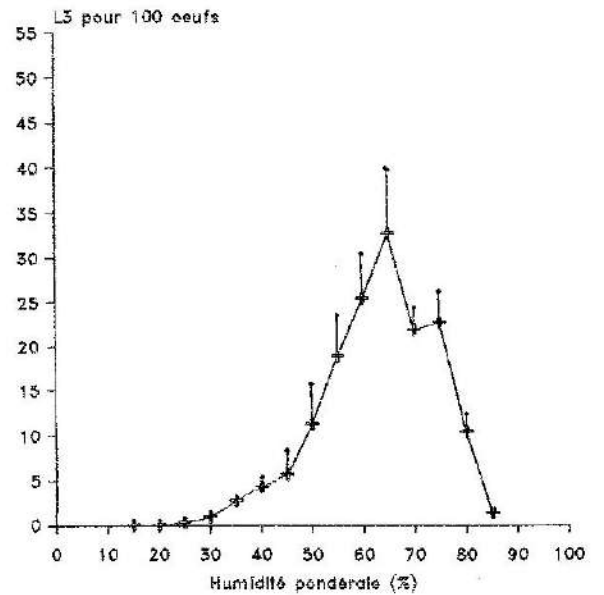
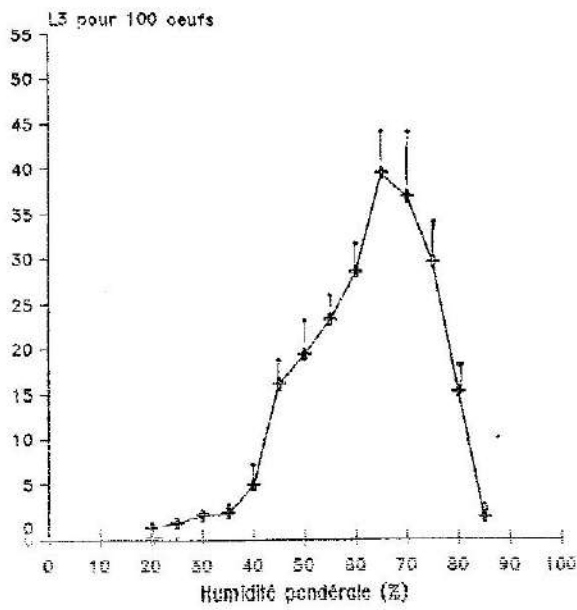
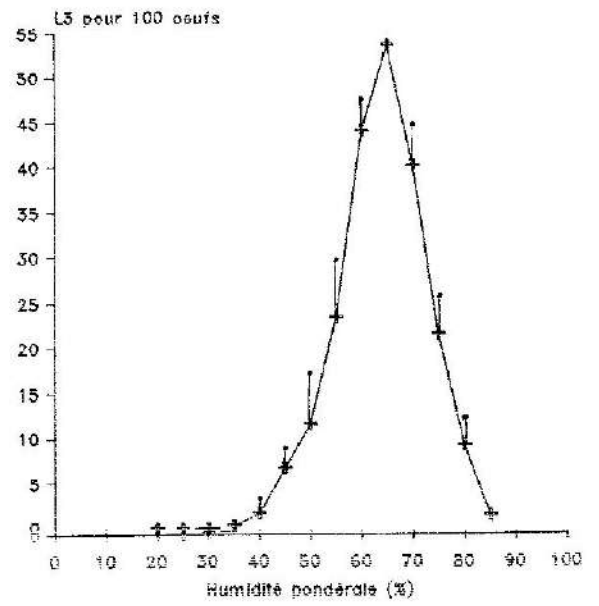


Figure 22a: Développement des oeufs en L3 en fonction de l'humidité pondérale à 23 °C. (moyenne de 10 répétitions et écart type)

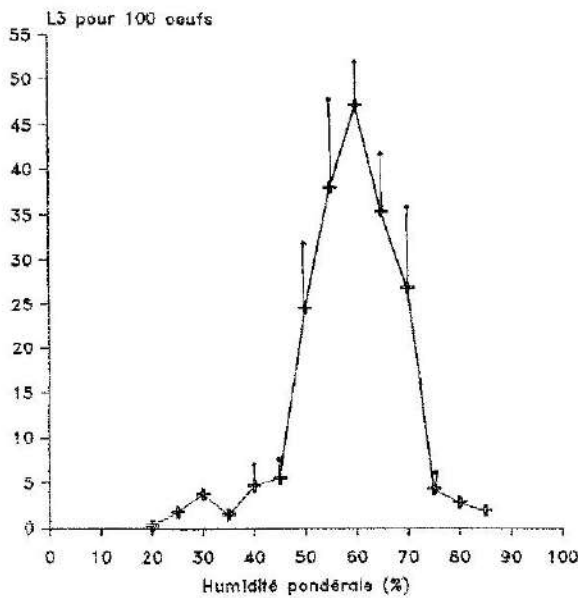
TRICHOSTRONGYLUS VITRINUS



COOPERIA ONCOPHORA



CHABERTIA OVINA



OSTERTAGIA OSTERTAGI

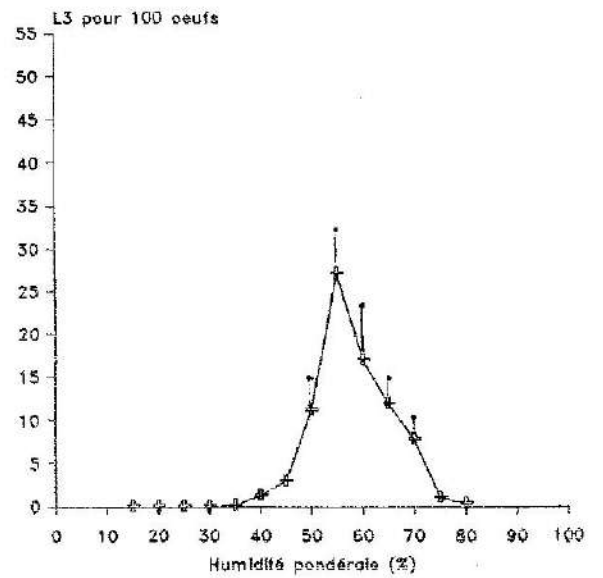


Figure 22b: Développement des oeufs en L3 en fonction de l'humidité pondérale à 23 °C. (moyenne de 10 répétitions et écart type)

expériences ont été de 42 et 47 L3/100 oeufs pour I. circumcincta, 30 et 30 L3/100 oeufs pour O. leptospicularis. Les variations des courbes obtenues à 18, 23 et 28 °C (figure 23) semblent bien dues au facteur température également pour ces 2 espèces. Nous n'avons pas de réponse pour I. colubriformis.

La première remarque est la ressemblance de l'allure des courbes. Nous avons effectué des ajustements à diverses fonctions au moyen des logiciels Curvefit et Eureka. Parmi les équations testées, un ajustement s'avère le meilleur pour les 8 espèces étudiées, avec des coefficients de détermination (R2) de 90 à 99% (tableau XXII). Il s'agit du modèle très général, rapport de 2 polynômes du second degré:

$$y \text{ (L3/100 oeufs)} = (A \cdot HP + B \cdot HP^2 + C) / (D \cdot HP + E \cdot HP^2 + F)$$

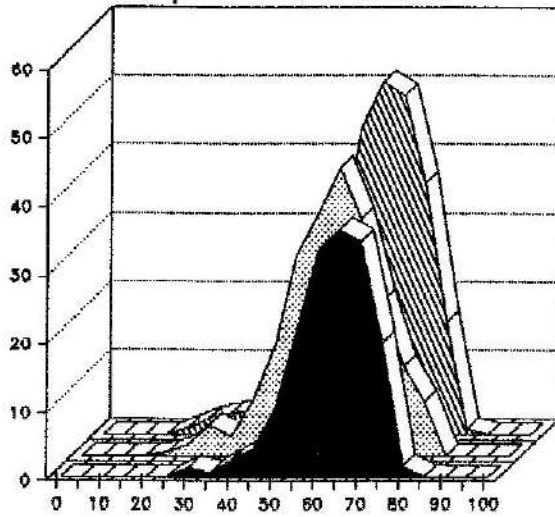
où A, B, C, D, E, F sont les paramètres.

Tableau XXII: Caractéristiques du meilleur ajustement selon l'humidité pour les espèces étudiées: coefficient de détermination et paramètres du modèle (n= 8 à 14).

Espèce	Temp	R2	A	B	C	D	E	F
<u>T.circumcincta</u>	18°C	0,97	2,653	-0,022	-57,203	-0,440	0,003	15,784
<u>T.circumcincta</u>	23°C	0,98	4,505	-0,039	-77,255	-0,825	0,006	26,005
<u>T.circumcincta</u>	28°C	0,98	4,294	-0,036	-108,103	-0,452	0,003	16,440
<u>H.contortus</u>	23°C	0,90	9,309	-0,075	-244,447	-0,211	0,001	8,734
<u>O.leptospicularis</u>	18°C	0,99	2,926	-0,025	-67,638	-0,200	0,001	7,454
<u>O.leptospicularis</u>	23°C	0,95	6,518	-0,050	-172,157	-1,063	0,008	36,831
<u>O.leptospicularis</u>	28°C	0,93	3,741	-0,032	-92,869	-0,285	0,002	10,073
<u>T.colubriformis</u>	18°C	0,98	3,334	-0,023	-110,475	-0,449	0,003	15,319
<u>T.colubriformis</u>	23°C	0,94	1,548	-0,012	-36,636	-0,173	0,001	6,168
<u>T.colubriformis</u>	28°C	0,89	23,305	-0,187	-628,755	-1,471	0,112	51,102
<u>T.vitrinus</u>	23°C	0,98	5,512	-0,048	-119,363	-0,310	0,002	12,280
<u>C.oncophora</u>	23°C	0,99	2,677	-0,021	-70,099	-0,334	0,003	11,121
<u>C.ovina</u>	23°C	0,96	2,681	-0,023	-58,649	-0,458	0,004	14,244
<u>O.ostertagi</u>	18°C	0,94	0,341	-0,002	-9,430	-0,713	0,006	23,176
<u>O.ostertagi</u>	23°C	0,96	0,770	-0,004	-22,164	-0,658	0,006	18,479
<u>O.ostertagi</u>	28°C	0,90	20,713	-0,135	-672,041	-42,604	0,341	1359,129

T.CIRCUMCINCTA

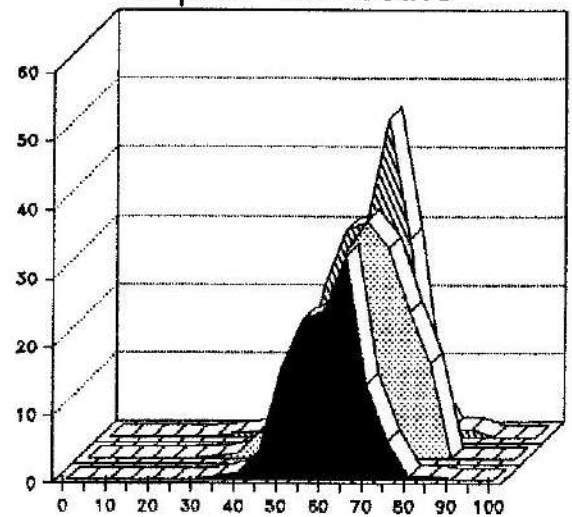
L3 pour 100 oeufs



Humidité pondérale (%)

O.LEPTOSPICULARIS

L3 pour 100 oeufs

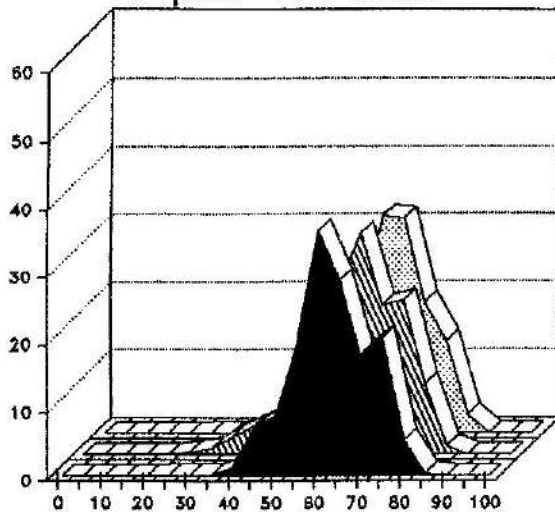


Humidité pondérale (%)

18°C 23°C 28°C

T.COLUBRIFORMIS

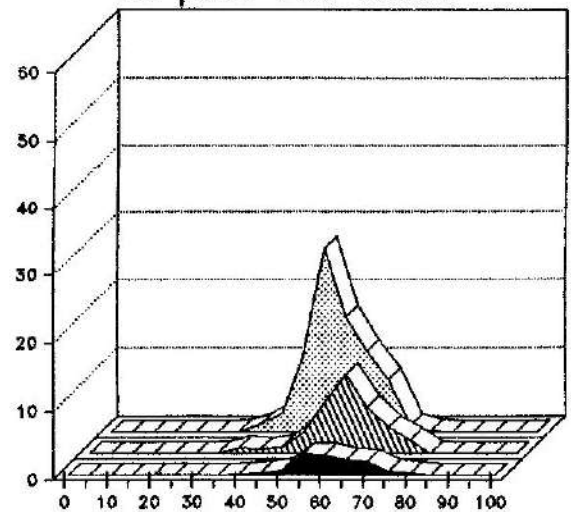
L3 pour 100 oeufs



Humidité pondérale (%)

O.OSTERTAGI

L3 pour 100 oeufs



Humidité pondérale (%)

Figure 23: Développement des oeufs en L3 en fonction de l'humidité pondérale à trois températures (18°, 23° et 28°C). (moyenne de 10 répétitions)

Les ajustements ont été réalisés pour des $y \geq 1$; HP allant de 25 à 85% (n= 8 à 14 couples de données selon l'espèce). Ce modèle nous permet de déterminer avec précision les valeurs de HP optimales pour le meilleur développement des oeufs en larves ainsi que les valeurs nécessaires pour l'obtention d'un taux donné. Nous avons choisi à titre indicatif un taux de 1 L3/100 oeufs afin de pouvoir comparer les espèces entre elles (tableau XXIII).

Tableau XXIII: Valeurs de l'humidité pondérale pour le développement optimal et pour le développement de 1% des oeufs en L3 et erreur maximale (différence maximale d'HP entre valeur observée et valeur calculée) obtenue par l'ajustement de la courbe.

Espèce	Temp	maximum		minimum(1%)		Erreur maximale
		observé-calculé	àHP faible	àHP élevé		
<u>T.circuncincta</u>	18°C	67	69	32	89	6,46
<u>T.circuncincta</u>	23°C	60	60	25	89	3,06
<u>T.circuncincta</u>	28°C	67	68	39	82	3,87
<u>H.contortus</u>	23°C	70	67	39	87	6,89
<u>O.leptospicularis</u>	18°C	67	67	34	84	6,58
<u>O.leptospicularis</u>	23°C	65	67	39	92	4,81
<u>O.leptospicularis</u>	28°C	67	64	38	80	4,60
<u>T.colubriformis</u>	18°C	70	68	52	92	2,61
<u>T.colubriformis</u>	23°C	65	66	35	87	5,27
<u>T.colubriformis</u>	28°C	65	64	41	84	6,34
<u>T.vitrinus</u>	23°C	65	67	31	85	3,99
<u>C.oncophora</u>	23°C	65	65	39	87	1,22
<u>C.ovina</u>	23°C	60	60	32	84	6,28
<u>O.ostertagi</u>	18°C	65	65	49	85	0,94
<u>O.ostertagi</u>	23°C	55	57	41	95	2,60
<u>O.ostertagi</u>	28°C	60	64	55	78	0,65

La figure 24 montre les exigences hydriques des 8 espèces pour assurer le développement en larves d'au moins 1% des oeufs (au stade blastula-morula) à 23°C. Toutes les espèces étudiées ont réagi globalement d'une manière identique. Le nombre de larves infestantes augmente en fonction de l'humidité pondérale, jusqu'à un certain seuil d'exigences hydriques optimales, puis décroît, lorsque la quantité d'eau des fèces est trop importante.

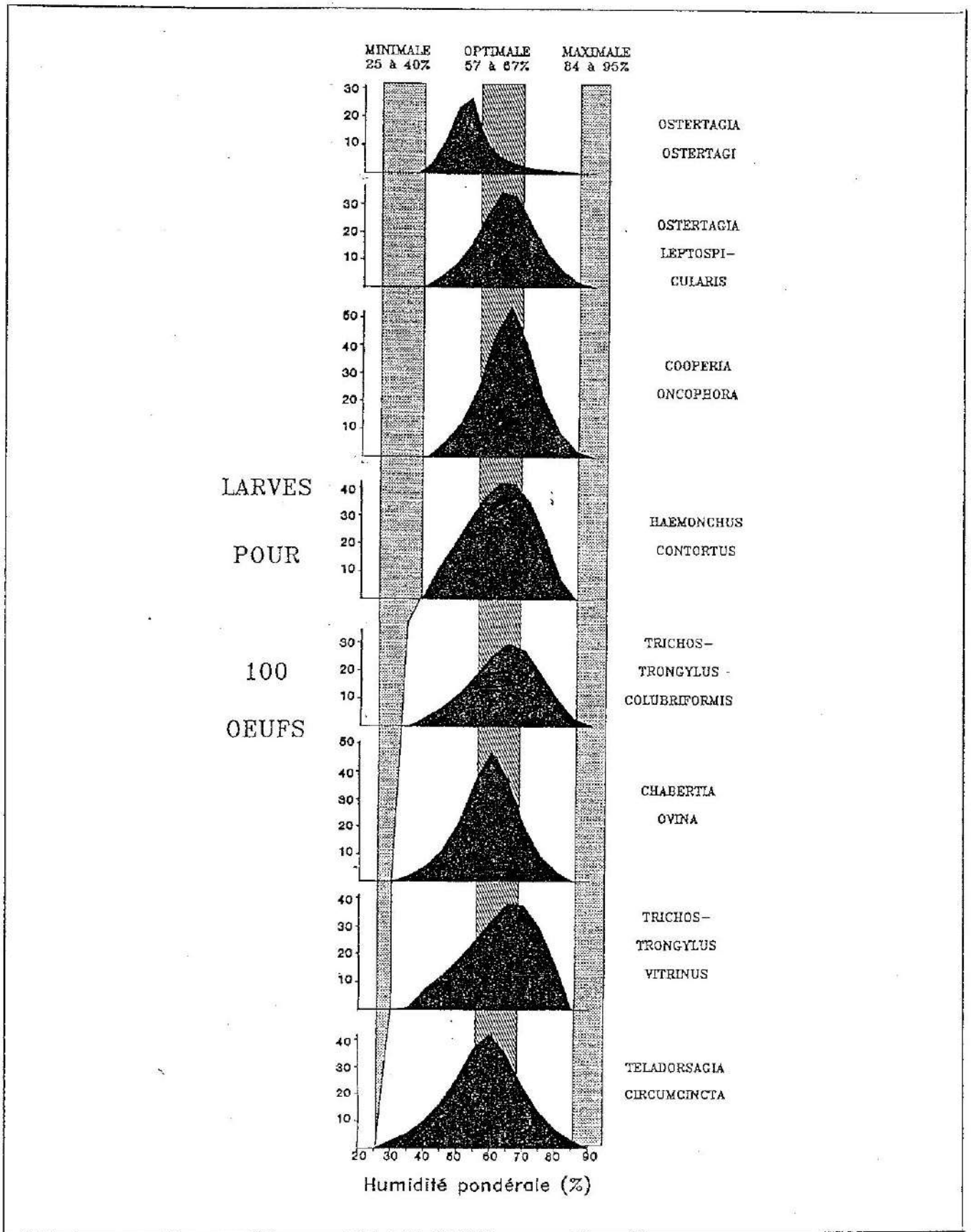


Figure 24: Exigences hydriques pour assurer le développement en larves L3 d'au moins 1% des oeufs (au stade blastula-morula) à 23°C.

Ce seuil d'exigences optimales, qui permet une obtention maximale de L3 à 23°C, se situe entre 57 et 67%, avec des valeurs des maxima de récupération de L3 qui vont de 27 L3/100 oeufs pour Ostertagia ostertagi à 54 pour Cooperia oncophora.

Dans tous les cas, une humidité pondérale supérieure à 70% limite le développement parasitaire. L'exigence hydrique maximale pour assurer le développement en larves d'au mois 1% des oeufs se situe entre 84 à 95%.

Alors que Ostertagia ostertagi, Ostertagia leptospicularis, Cooperia oncophora et Haemonchus contortus ne peuvent évoluer à une humidité pondérale inférieure à 40% et Trichostrongylus colubriformis à 35%; Chabertia ovina, Trichostrongylus vitrinus et Teladorsagia circumcincta semblent mieux résister à la dessiccation des matières fécales.

5.5. DEVELOPPEMENT D'OSTERTAGIA OSTERTAGI DANS LES FECES DE BOVIN ET D'OVIN

Afin de vérifier dans quelle mesure la nature de la masse fécale intervenait sur les exigences thermiques et hydriques, l'isolat d'Ostertagia ostertagi (d'origine bovine), multiplié sur ovin pendant 3 à 4 générations, a servi à infester un veau dont on a recueilli les matières fécales. Celles-ci ont été réparties par 20 g dans des boîtes des Pétri après ajustement de l'humidité à des valeurs comprises entre 45 et 80 % (l'humidité à l'émission était de 78 %) et mises en cultures à 23 °C. Pour l'étude de l'effet de la température, l'humidité a été ajustée à 60 % par adjonction de 2 g de vermiculite par 20 g de matière.

Il apparaît (figure 25) que la courbe de taux de développement en fonction de la température est parallèle à celle obtenue pour la même espèce chez les ovins, avec des valeurs plus élevées (maximum de 58 au lieu de 27 L3/100 oeufs).

Cette fonction de l'humidité est décalée de 10 à 15 % vers le haut à la même température de 23 °C, mais est parallèle à celle établie à 18 °C. Des analyses plus fines du milieu physique des deux types de matières comme de la répartition de l'eau à proximité immédiate des oeufs permettraient vraisemblablement d'expliquer ces différences.

OSTERTAGIA OSTERTAGI

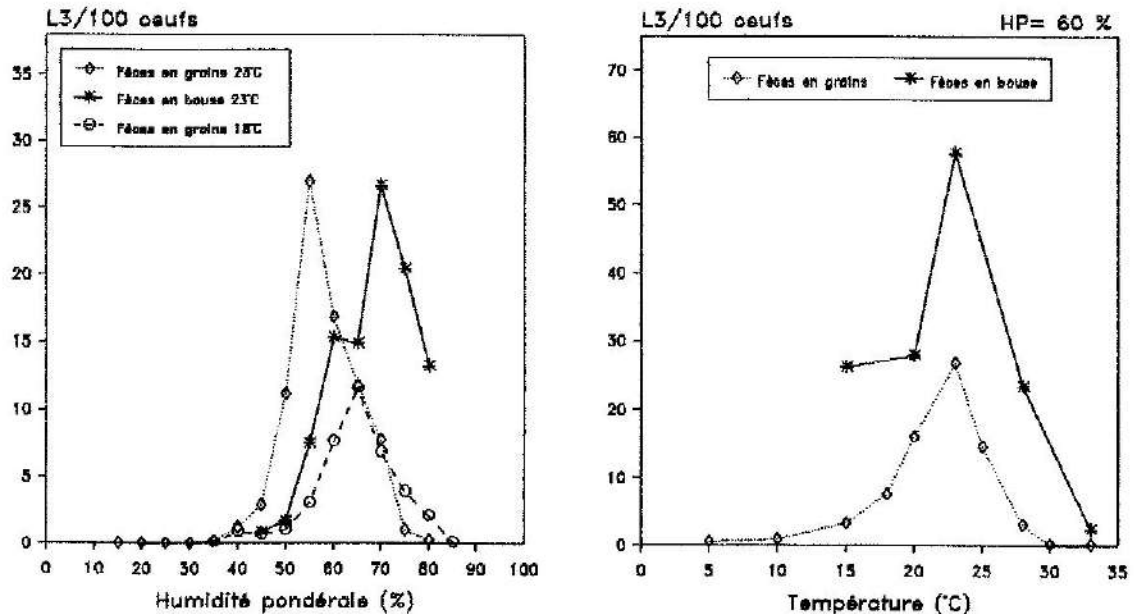


Figure 25: Développement comparé d'*Ostertagia ostertagi* dans des fèces en grain ou en bouses en fonction de l'humidité pondérale ou de la température.

5.6. DISCUSSION ET CONCLUSION

De l'ensemble des expériences que nous avons mené au laboratoire nous pouvons conclure:

- D'une manière générale, les stades larvaires L1 et L2 sont les plus sensibles au dessèchement. Les œufs embryonnés sont plus résistants aux basses humidités pondérales. La plus grande résistance du stade œuf embryonné a été montrée pour *Haemonchus contortus* (Silverman et Campbell, 1959) et pour *Trichostrongylus colubriformis* (Andersen et Levine, 1968; Waller et Donald, 1970a). Une humidité pondérale supérieure ou égale à 35-40% favorise le développement des stades préinfestants jusqu'à la larve infestante.

- Les courbes de taux de développement des œufs en larves en fonction de l'humidité pondérale des fèces ont été établies à températures constante de 18°, 23° et 28°C pour des teneurs en eau de 5 en 5%. Elles sont plus précises que celles établies par Mauléon et Gruner (1984) et sont totalement originales pour 5 des espèces étudiées.

- L'humidité optimale pour le maximum de développement (**EXIGENCE OPTIMALE**) est compris entre 57 et 67% selon les espèces, valeur correspondant à la teneur en eau des fèces lors de leur émission par des ovins au pâturage.

- Excès et déficit en eau entraînent une mortalité. C'est vers les faibles humidités pondérales que la plus grande variabilité entre les espèces apparaît vis à vis des exigences hydriques pour assurer le développement d'au moins 1% des oeufs. L'exigence minimale d'humidité pondérale varie entre 25 à 40%, l'exigence maximale varie entre 84 à 95% d'humidité pondérale

- Parmi les 8 espèces expérimentées Haemonchus contortus et Trichostrongylus colubriformis sont les plus sensibles à la dessiccation et ne peuvent évoluer à une humidité pondérale inférieure à 40%. Teladorsagia circumcincta, Trichostrongylus vitrinus et Chabertia ovina semblent mieux résister à la sécheresse; la première espèce est la mieux adaptée aux faibles humidités.

- Remarquons que nos résultats diffèrent des observations de Berbigier et al (1990) sur la plus grande résistance de Trichostrongylus colubriformis à la dessiccation. Ces auteurs avaient mis en évidence l'aptitude des oeufs embryonnés à survivre en état d'anhydrobiose.

CHAPITRE VI

REPERCUSSIONS DES CONDITIONS
DE DEVELOPPEMENT SUR LA
BIOLOGIE DES STADES INFESTANTS

CHAPITRE VI

6. REPERCUSSIONS DES CONDITIONS DE DEVELOPPEMENT SUR LA BIOLOGIE DES STADES INFESTANTS

La période et le niveau d'infestation des animaux sont fortement liés au nombre de larves infestantes présentes sur l'herbe. Cette disponibilité de larves sur l'herbe est le résultat d'abord du développement des oeufs dans les fèces, puis des déplacements vers la litière et l'herbe. Après avoir étudié les facteurs intervenant sur le taux de développement des oeufs jusqu'au stade larve infestante, nous envisageons de préciser le rôle de ces facteurs sur les potentialités qu'ont les larves pour accéder au stade adulte chez l'hôte. La longueur des L3 nous a paru réduite aux cours des expérimentations précédentes, lorsque les conditions de développement étaient défavorables. Nous préciserons successivement dans ce chapitre l'influence de la teneur en eau et de la température des fèces sur la longueur totale des L3, puis ensuite nous estimerons les éventuelles relations longueur-fonctions biologiques des L3 (longueur L3-migration, longueur L3-survie-pouvoir infestant, longueur L3-dégainement) et la relation longueur L3-devenir en adultes chez l'hôte (longueur L3-taux d'adultes installés). Enfin nous présenterons un essai de sélection d'une lignée de Teladorsagia circumcincta résistante à la sécheresse.

6.1. LA LONGUEUR DES LARVES INFESTANTES: UN INDICATEUR DES CONDITIONS DE DEVELOPPEMENT

Les conditions de milieu influent directement sur les possibilités de développement des oeufs en L3 des différentes espèces de nématodes parasites de ruminants. Nous nous sommes attachés à en mesurer les conséquences sur la taille de ces larves en privilégiant le facteur humidité et température.

Déjà Wang (1967) avait démontré que la température affectait la longueur des L3 de Trichostrongylus colubriformis: il obtenait des larves plus petites en cultures à 30°C par rapport à celles incubées à 20°C. Gibson et Everett (1972) avaient récupéré des larves de Teladorsagia circumcincta plus petites sur le terrain que celles obtenues au laboratoire à 20°C. Gruner et Suryahadi (1992) observaient des variations de longueur de larves de Teladorsagia circumcincta et Trichostrongylus colubriformis selon la teneur en eau.

Dans cette étude, la longueur de larves issues soit de dépôts de fèces dans des conditions de milieu contrastées soit au cours d'expériences de laboratoire est mesurée au moyen d'un analyseur d'images semi-automatique comprenant une caméra adaptée à un microscope optique, une table digitalisée avec son curseur reliée à un écran, le tout relié à un micro ordinateur. L'image observée au microscope est transmise par la caméra sur l'écran et les contours peuvent être dessinés grâce à la tablette graphique et à son curseur. Le logiciel VIDS III intègre directement les mesures linéaires, les garde en mémoire et calcule moyenne et écart type.

6.1.1. Influence des facteurs environnementaux selon la nature des fèces

Ces expériences ont pour but de mettre en évidence les variables du microclimat qui interviennent de façon significative sur la longueur des L3 dans deux milieux différents: fèces en grains et en bouses.

Nous avons mesuré la longueur de 100 larves/série de Teladorsagia circumcincta issues des dépôts de fèces d'ovin et de 50 larves/série de 3 genres (Haemonchus, Cooperia et Ostertagia) issues des dépôts des bouses ayant subi des conditions climatiques aussi différentes que possible d'humidité et de température.

La longueur en μm et les diverses variables explicatives d'humidité et de température des fèces prises en considération pour le taux de développement (chapitre IV) ont subi une régression progressive pas à pas au moyen du logiciel STATITCF, afin de hiérarchiser l'action des diverses variables explicatives dans le cas des fèces en grains et en bouses.

- Fèces en grains

Pour chacune des 7 séries de mesures effectuées sur Teladorsagia circumcincta, le coefficient de variation (écart type/moyenne) de la moyenne des 100 mesures est resté compris entre 0,046 et 0,056. Les moyennes extrêmes ont été 779 et 849 microns.

La longueur des larves est fonction en premier lieu de l'humidité moyenne des fèces pendant tout le développement (HPM2S)($R^2=0,81$) et en second lieu, de façon négative, du nombre d'heures dépassant 35°C (HT35°)($R^2=0,93$). L'équation du modèle est:

$$\text{Longueur } (\mu\text{m}) = 1,68 \text{ HPM2S} - 0,64 \text{ HT35}^\circ + 745,6$$

- Fèces en bouses

Pour chacun des 3 genres sur lesquels nous avons travaillé, 6 séries de mesures de L3 ont été effectuées. Le coefficient de variation de la moyenne des 50 mesures est resté compris entre 0,037 et 0,062 pour Haemonchus, entre 0,028 et 0,057 pour Cooperia et entre 0,037 et 0,052 pour Ostertagia.

Pour chaque genre, une seule variable s'est avérée avoir un effet significatif à l'issue de la régression progressive pas à pas.

La longueur des larves infestantes développées en conditions naturelles dans les fèces en bouses était fonction de la température moyenne pendant le 1er tier du temps de dépôt (TM1), de la moyenne des températures maximales pendant tout le temps du développement (Tmax3) ou de l'amplitude thermique des fèces pendant le développement. Un seul facteur expliquait entre 52 et 83 % de la variabilité observée (tableau XXIV).

Tableau XXIV: Relation entre les variables du microclimat des bouses et la longueur des L3. (R2= coefficient de détermination du modèle).

Genre	Nb de séries	Long. moy. extrêmes(um)	Equation du modèle	(R2)
<u>Haemonchus</u>	6	759-811	Long= 729,7 + 2,65 TM1	(0,52)*
<u>Cooperia</u>	5	868-939	Long=1098,3 - 7,64 Tmax3	(0,83)**
<u>Ostertagia</u>	6	820-873	Long= 862,2 - 1,65 AT3	(0,58)*

P<0,05(*) P<0,01(**)

En conclusion, la longueur des larves infestantes est modulée par les mêmes facteurs qui favorisent ou limitent leur développement. Dans les fèces en grains déposés en fin de printemps, l'humidité reste le principal facteur, des températures élevées limitant les possibilités de développement de la population de larves mais également celles de chaque individu.

Dans les fèces en bouse, la température reste le principal facteur sous des formes diverses suivant le genre de parasite.

6.1.2. Influence de l'humidité pondérale en conditions contrôlées

L'humidité pondérale des fèces a une relation positive et significative avec la longueur totale des L3 des différentes espèces (tableau XXV).

Tableau XXV: Longueur (μm) des larves infestantes en fonction de l'humidité pondérale des fèces d'agneaux à différentes températures (moyenne de 50 larves). R^2 = coefficient de détermination de la corrélation longueur L3 - HP des fèces.

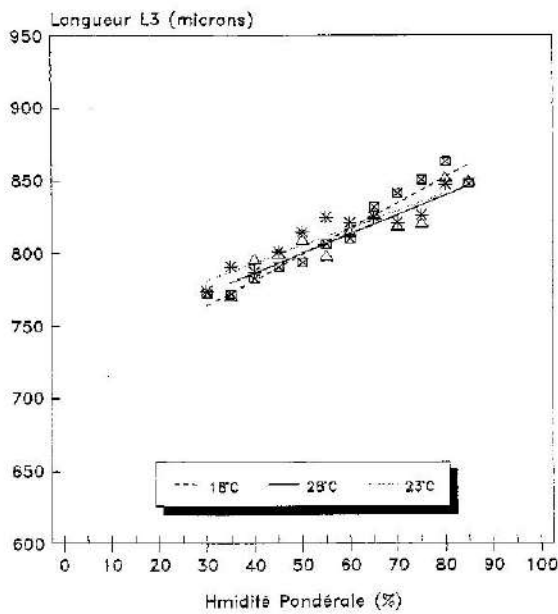
Espèces		Humidité pondérale												R^2	Longueur L3 (μm) .moyennes extrêmes. Autours
		30%	35%	40%	45%	50%	55%	60%	65%	70%	75%	80%	85%		
<i>T.circumcincta</i>	18°	772	771	782	790	793	805	809	831	840	850	862	847	0,95	819-907
<i>T.circumcincta</i>	23°	774	791	787	801	814	824	821	824	821	826	847	—	0,89	Raynaud (1969)
<i>T.circumcincta</i>	28°	—	770	795	799	808	797	813	826	818	820	851	848	0,86	
<i>H.contortus</i>	23°	—	612	648	661	669	674	695	697	701	719	725	—	0,96	657-733 Raynaud(1969)
<i>O.leptospicularis</i>	18°	773	778	768	786	812	826	863	877	903	—	909	902	0,94	700-950
<i>O.leptospicularis</i>	23°	—	768	802	793	793	798	835	852	866	872	855	—	0,86	Bisset (1984)
<i>O.leptospicularis</i>	28°	—	801	800	798	792	806	825	834	844	858	859	873	0,86	
<i>T.colubriformis</i> (*)	18°	—	—	—	—	743	751	776	762	789	801	822	833	0,94	568-778
<i>T.colubriformis</i> (**)	23°	—	632	645	654	652	635	656	663	693	680	690	—	0,77	Wang (1967)
<i>T.colubriformis</i> (*)	28°	—	—	—	732	736	738	748	760	786	789	778	807	0,89	
<i>T.vitrinus</i>	23°	659	667	666	670	671	688	699	715	721	732	737	744	0,96	622-796 Keith (1953)
<i>C.oncophora</i>	23°	—	799	829	841	851	875	888	902	890	929	922	930	0,94	752-862 Raynaud(1969)
<i>CH.ovina</i>	23°	—	737	740	747	751	758	762	768	782	772	773	796	0,91	747-800 Raynaud(1969)
<i>O.ostertagi</i>	18°	—	—	838	846	848	855	854	848	851	891	880	—	0,63	
<i>O.ostertagi</i>	23°	—	—	818	829	849	858	866	871	910	903	921	—	0,96	827-910
<i>O.ostertagi</i>	28°	—	—	—	824	822	818	834	846	840	842	860	886	0,80	Raynaud (1969)
<i>O.ostertagi</i> (bouse)	23°	—	—	—	844	841	858	853	872	913	875	889	—	0,66	

(*)= souche Weybridge (**) = souche Limoges

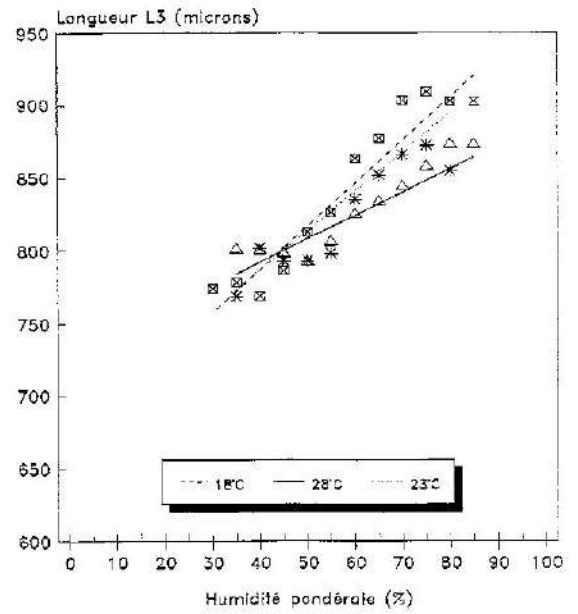
Une régression linéaire explique 66 à 96% de la variabilité observée à 23 °C selon les espèces, dans la gamme d'humidité où des mesures ont pu être effectuées (figure 27a et 27b). La relation linéaire humidité pondérale-longueur des L3 est confirmée à 18° et 28°C sur 4 espèces (figure 26).

L'amplitude des variations (rapport des longueurs maximales sur minimales) est de l'ordre de 10 % pour la majorité des espèces, 16 % pour *Cooperia oncophora* et 17 % pour *Ostertagia leptospicularis* à 18 °C. Pour cette espèce, les variations de

TELADORSAGIA CIRCUMCINCTA

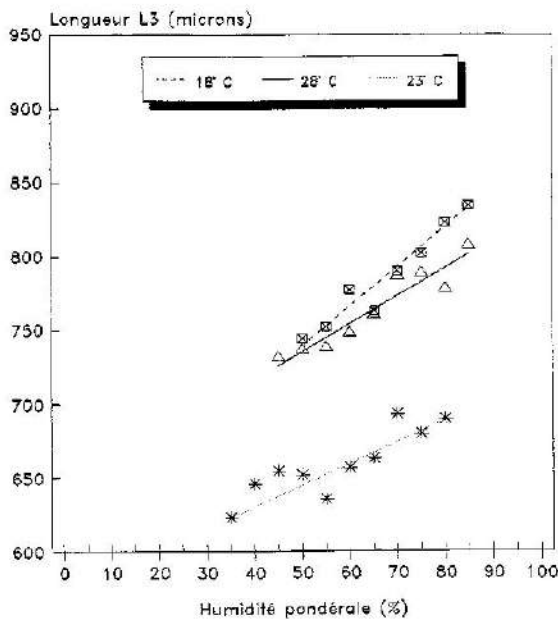


OSTERTAGIA LEPTOSPICULARIS



TRICHOSTRONGYLUS COLUBRIFORMIS

18°C ET 28°C SOUCHE LIMOGES
23°C SOUCHE WEYBRIDGE



OSTERTAGIA OSTERTAGI

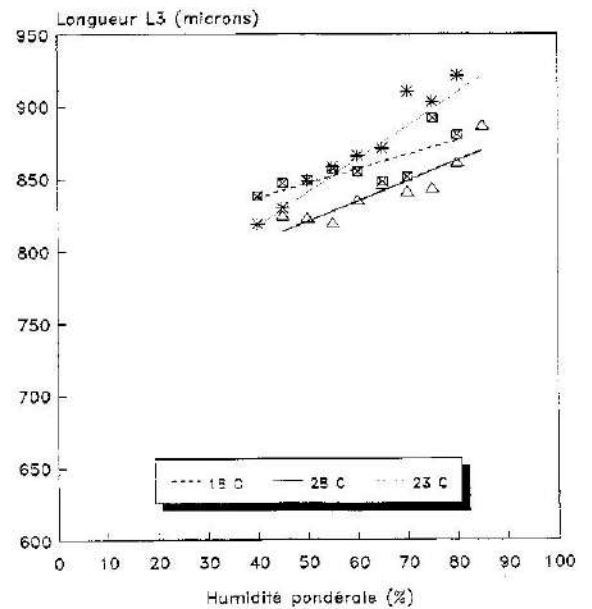
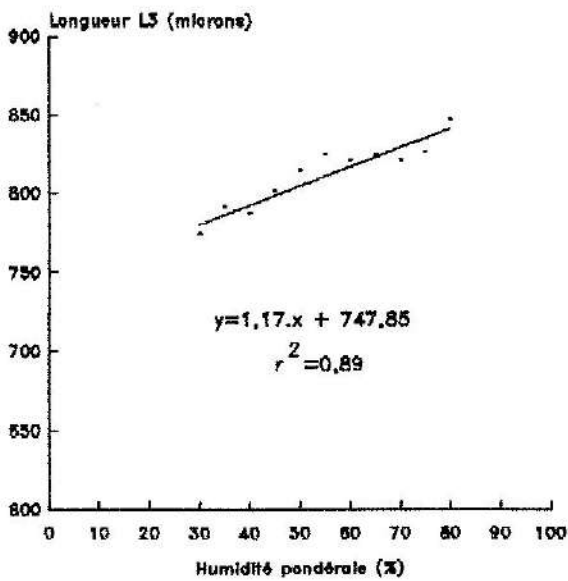
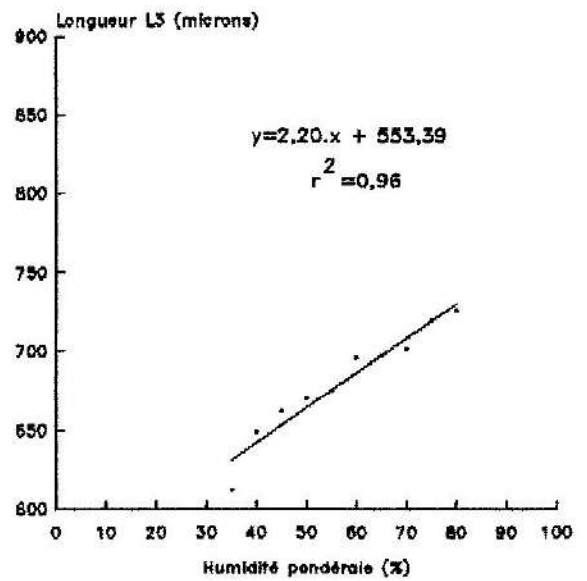


Figure 26: Longueur des L3 en fonction de l'humidité pondérale des fèces d'ovin à 3 températures (18°, 23° et 28°C).

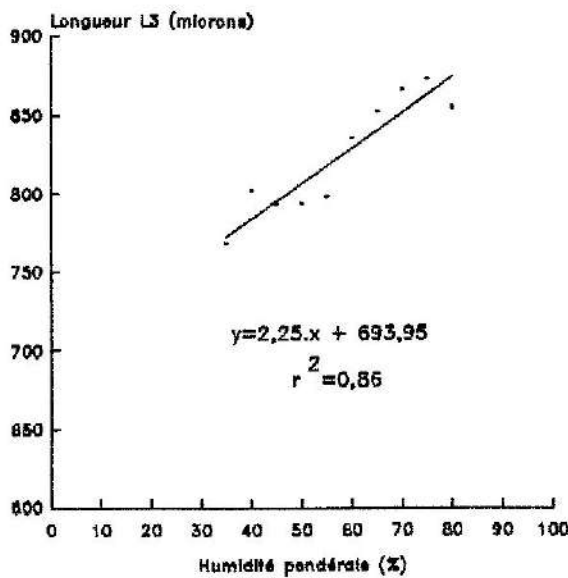
TELADORSAGIA CIRCUMCINCTA



HAEMONCHUS CONTORTUS



OSTERTAGIA LEPTOSPICULARIS



TRICHOSTRONGYLUS COLUBRIFORMIS

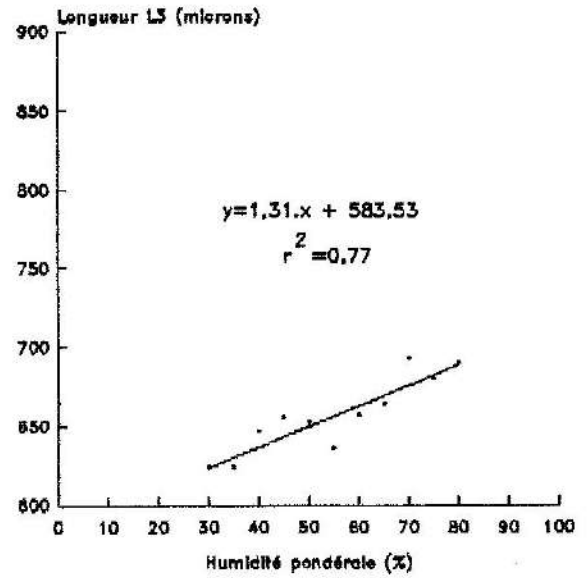
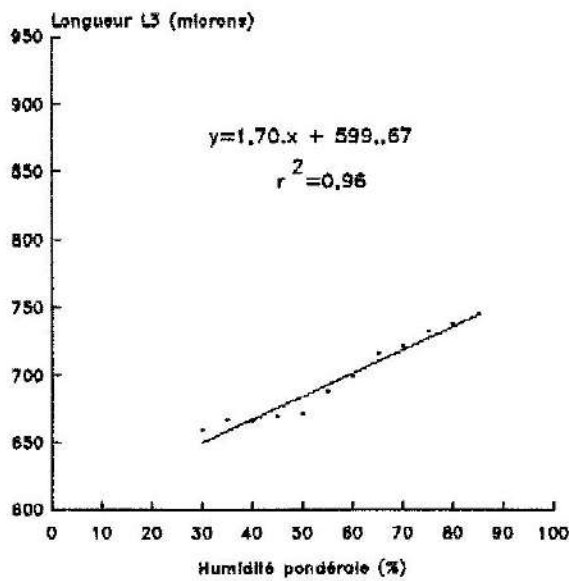
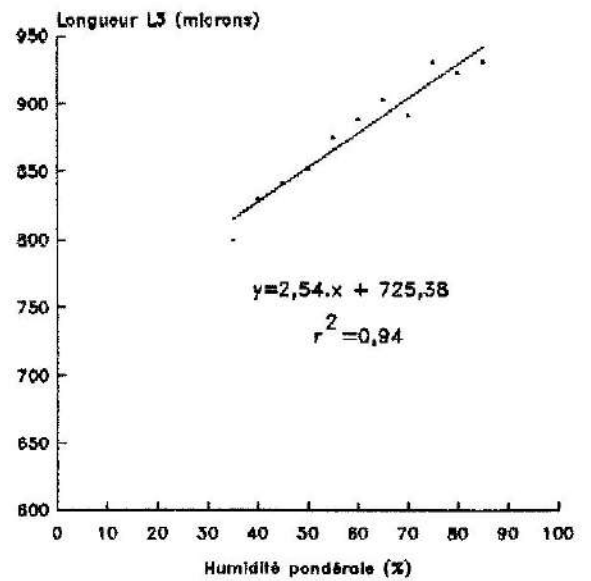


Figure 27a: Longueur des larves infestantes (L3) en fonction de l'humidité pondérale des fèces d'ovin maintenues à 23 °C et équation de la droite de régression pour les espèces étudiées.

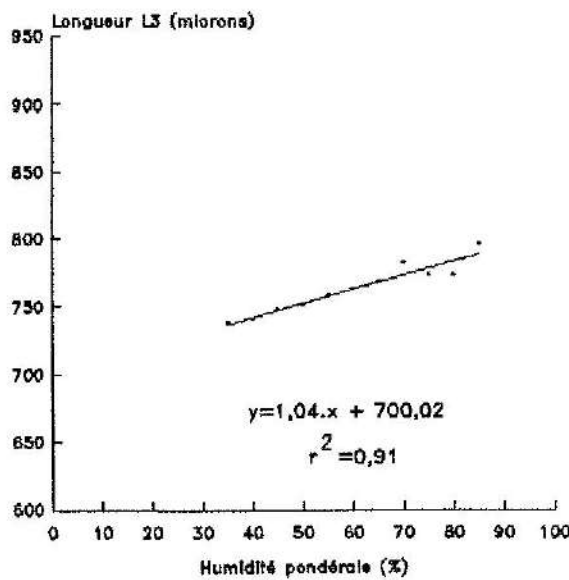
TRICHOSTRONGYLUS VITRINUS



COOPERIA ONCOPHORA



CHABERTIA OVINA



OSTERTAGIA OSTERTAGI

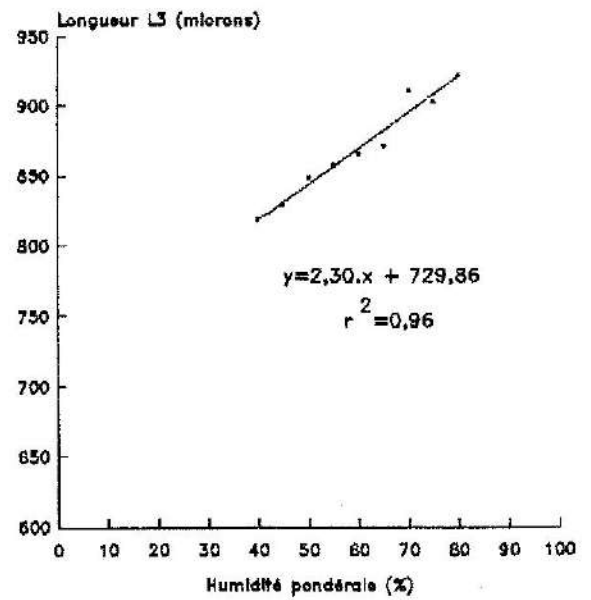


Figure 27b: Longueur des larves infestantes (L3) en fonction de l'humidité pondérale de fèces d'ovin maintenues à 23 °C et équation de la droite de régression pour les espèces étudiées.

taille sont plus importantes à 18 qu'à 23 et 28 °C respectivement. Pour *Trichostrongylus colubriformis*, l'origine de l'isolat entraîne une variation de taille importante, 632-693 microns pour la souche isolée à Limoges, 732-833 pour celle provenant de Weybridge. Cela explique que nos mesures ne correspondent pas toujours à celles de la littérature. Signalons que les données de Raynaud (1969) sont une compilation de travaux originaux de plusieurs auteurs.

6.1.3. Influence de la température en conditions contrôlées

La longueur des L3 des 4 espèces étudiées (tableau XXVI) a varié d'une manière identique vis à vis de la température. Elle augmente jusqu'à la température optimale pour le développement, puis décroît lorsque la température est trop élevée (figure 28) .

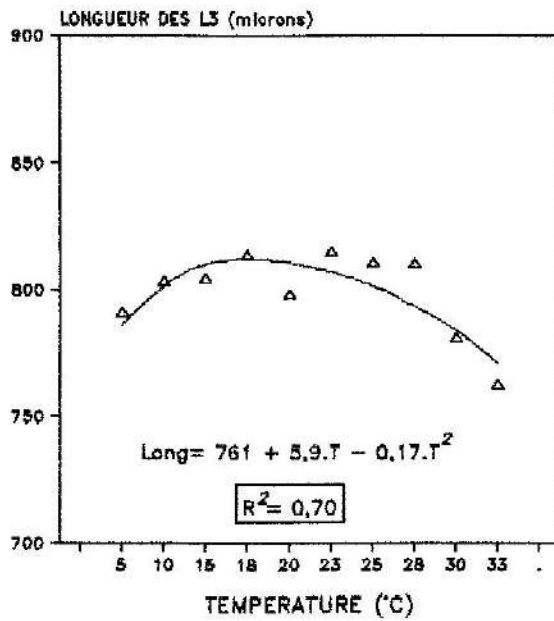
Tableau XXVI: Longueur (µm) des L3 en fonction de la température de développement (moyenne de 50 larves).

Espèces	Températures (°C)									
	4-5	10	15	18	20	23	25	28	30	33
<i>T.circumcincta</i>	791	803	804	813	798	815	810	810	780	761
<i>O.leptospicularis</i>	782	780	850	846	876	838	835	825	800	769
<i>T.colubriformis</i>	764	756	758	776	771	756	754	748	742	730
<i>O.ostertagi</i>	---	756	839	854	869	858	840	834	808	---
<i>O.ostertagi</i> (bouse)	---	874	846	---	880	870	---	885	---	867

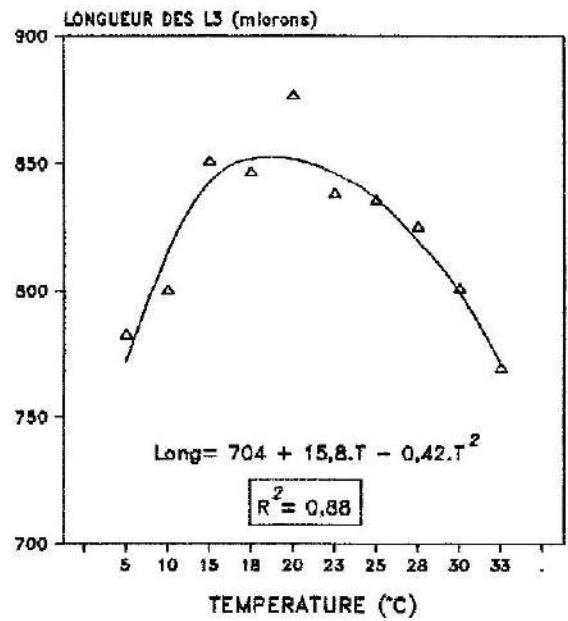
L'amplitude des variations était de l'ordre de 5 % pour la majorité des espèces et de 12 % pour *Ostertagia leptospicularis*.

Des ajustements de la longueur des L3 en fonction de la température des fèces à diverses fonctions, au moyen des logiciels Curvefit et Eureka, montrent que celle de la parabole s'avère la mieux ajustée pour les espèces étudiées, avec des coefficients de détermination de 70 à 94 % .

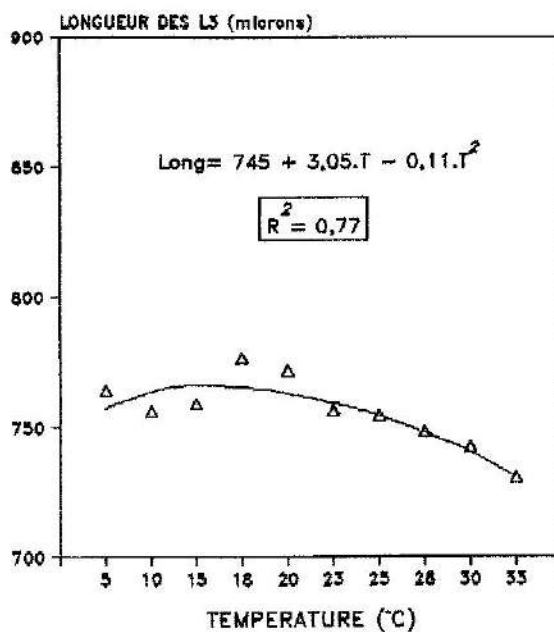
TELADORSAGIA CIRCUMCINCTA



OSTERTAGIA LEPTOSPICULARIS



TRICHOSTRONGYLUS COLUBRIFORMIS



OSTERTAGIA OSTERTAGI

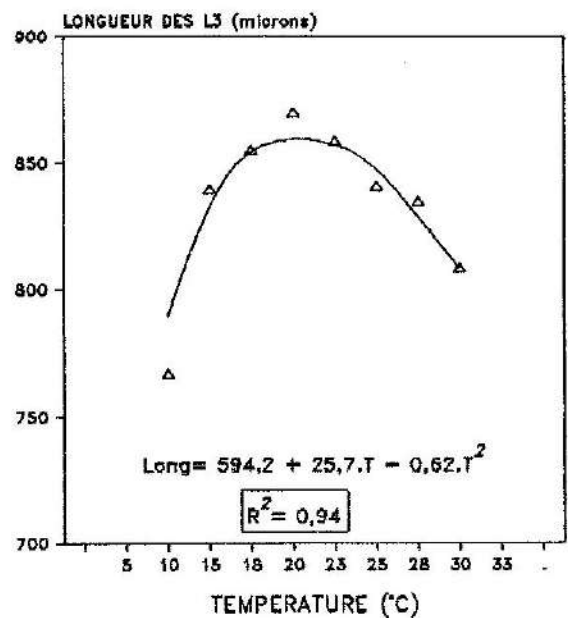


Figure 28: Longueur des larves infestantes (L3) en fonction de la température des fèces. Courbes et équation des ajustements pour les espèces étudiées.

6.1.4. Caractérisation morphologique des larves courtes et longues

En raison de l'obtention des larves de différentes grandeurs dans nos expériences sur fèces d'ovin, nous avons tenté de caractériser la morphologie des larves courtes et longues de Teladorsagia circumcincta, Ostertagia leptospicularis et Trichostrongylus colubriformis.

La morphologie des larves infestantes correspond au schéma général des larves de strongles gastro-intestinaux (figure 29). Ces larves ne s'alimentent plus et restent entourées par l'exuvie du 2^{ème} stade formant une gaine effilée du côté de la queue. Si l'oesophage reste bien apparent, il n'en est pas de même pour le reste du tube digestif; par contre des cellules intestinales sont bien visibles. Leur nombre est de 8, 16, 24 ou 32 selon les espèces.

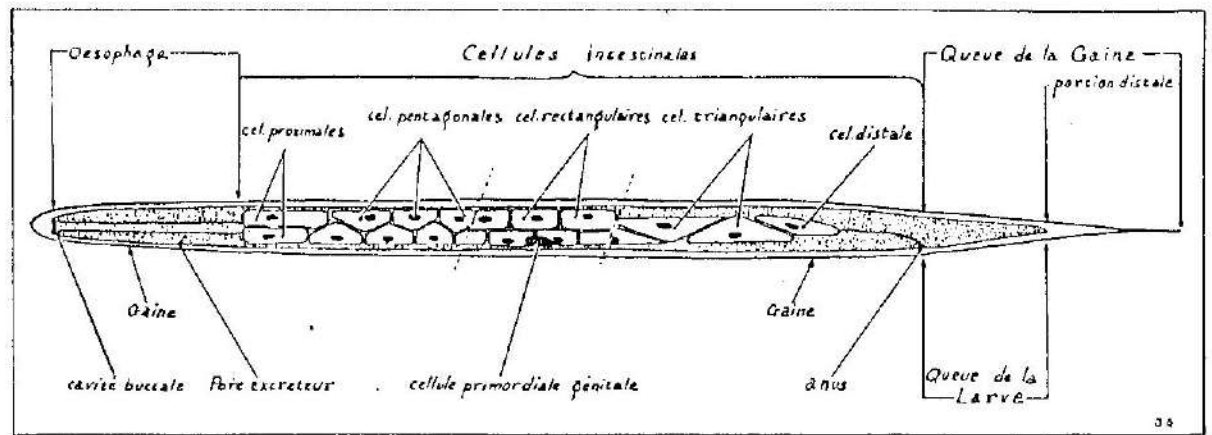


Figure 29: Schéma général de la morphologie des larves infestantes de strongles digestifs et des caractères communément utilisés pour leur diagnose (tiré de Gevrey, 1971).

Les paramètres mesurés, sur une centaine de larves, sont les suivants: longueur totale (de l'ensemble larve+gaine), longueur de la partie contenant les cellules intestinales, longueur de l'oesophage de la larve, diamètre de la larve, diamètre des cellules intestinales (au milieu de la larve) et longueur de la queue de la gaine.

Les résultats concernant ces mesures de caractérisation des larves courtes et longues sont présentés dans le tableau XXVII.

L'analyse statistique entre les larves courtes et longues montre des différences significatives à 1 % entre les paramètres de longueur totale, longueur et diamètre de la zone contenant les cellules intestinales et longueur de la queue de

la gaine des trois espèces étudiées. Ces différences sont de 7 à 15% pour la longueur totale, de 9 à 19% pour la longueur des cellules, de 4 à 5% pour le diamètre des cellules intestinales et de 6 à 13% pour la longueur de la queue de la gaine.

La largeur des cellules intestinales n'est statistiquement pas différente entre les larves courtes et longues de *T.circumcincta* et *O.leptospicularis*, tandis que la différence de 3 % de la longueur de l'oesophage est significative à 5% pour *O. leptospicularis* et *T. colubriformis*.

Tableau XXVII: Mensurations moyennes des paramètres de caractérisation des larves courtes et longues issues des fèces à différentes humidité pondérale (%HP). (\pm écart-type)

Paramètres	MENSURATIONS (μ m)(n= 50)					
	<i>T.circumcincta</i>		<i>O.leptospicularis</i>		<i>T.colubriformis</i>	
	courtes HP 45%	longues HP 81%	courtes HP 35%	longues HP 80%	courtes HP 50%	longues HP 85%
Long.totale	768 \pm 49	867 \pm 36**	775 \pm 34	907 \pm 37**	749 \pm 55	809 \pm 63**
Long.cell.int.	457 \pm 51	536 \pm 32**	439 \pm 3	540 \pm 38**	429 \pm 43	471 \pm 51**
Long.oesophage	172 \pm 17	177 \pm 11NS	172 \pm 11	177 \pm 11*	165 \pm 13	171 \pm 10*
Diametre larve	20,7 \pm 2	21,9 \pm 1**	18,8 \pm 1	19,7 \pm 1**	20,6 \pm 2	19,9 \pm 2*
Diam.cell.int.	11,7 \pm 2	11,8 \pm 2NS	9,3 \pm 1	9,4 \pm 1NS	10,4 \pm 1	9,7 \pm 1*
Long.queue ga.	33,8 \pm 4	36,1 \pm 4**	42,3 \pm 3	46,0 \pm 5**	37,3 \pm 7	42,6 \pm 8**
	*P<0,05	** P<0,01	NS Diff. non significative			

6.1.5. Conclusion

Que cela soit dans les expériences de terrain ou dans des conditions contrôlées de laboratoire, la longueur des larves infestantes est modulée par l'humidité des fèces et par la température. Cependant ces facteurs n'agissent pas avec la même intensité et de la même façon.

La relation longueur-humidité des fèces est linéaire et positive: des humidités élevées favorisent le développement de larves longues même si le taux de développement est réduit, des humidités faibles limitent le nombre et la taille des larves.

L'effet de la température est moindre mais les larves les plus longues sont celles qui se sont développées à l'optimum thermique. Il reste à savoir si ces variations de longueur sont liées aux aléas de l'environnement des larves ou bien résultent d'une aptitude des L3 d'ordre génétique.

6.2. RELATION LONGUEUR - FONCTION BIOLOGIQUE

6.2.1. Survie des larves infestantes (essai dans l'eau).

Les larves infestantes des strongles sont capables de survivre pendant de longues périodes de l'ordre de 1 à 3 ans dans l'eau à 4 °C (Rose, 1963a; Boag et Thomas, 1985) sans aucun apport nutritif extérieur. Au cours du vieillissement de ces larves, il existe d'importantes modifications physiologiques, par exemple une utilisation des réserves lipidiques accumulées durant les stades précédents. Dans la nature, la survie est plus courte (de l'ordre du mois) en été sous l'action de températures élevées et d'alternances de phases de déshydratation et de réhydratations (Todd et al., 1970 et 1977; Schmidt et al., 1974).

Sans vouloir aborder l'étude de la survie dans toutes ses composantes, nous avons envisagé, au moyen d'un test simple, d'avoir un élément de réponse sur une éventuelle meilleure survie des larves les plus longues.

Les espèces que nous avons testé étaient: Teladorsagia circumcincta, Cooperia oncophora, Trichostrongylus colubriformis, Trichostrongylus vitrinus et Chabertia ovina.

Les larves de longueur différentes obtenues dans des cultures à différentes humidités pondérales, étaient disposées au nombre de 150 à 180 dans des plaques de culture cellulaire en présence d'eau du robinet, gardées à 20 ± 2 °C couverte par une pellicule de Parafilm (ND.) afin d'éviter l'évaporation, et observées régulièrement tous les 1 à 1,5 mois afin de noter leur état vivant après les avoir touchées au moyen d'une aiguille montée.

La mortalité était importante au cours des 5 et 6ème mois pour Trichostrongylus colubriformis et Trichostrongylus vitrinus, 6 et 7ème mois pour Teladorsagia circumcincta, 9 et 11ème mois pour Cooperia oncophora et Chabertia ovina (figure 30). Les différences entre les diverses sous populations étaient moindres. Le TL50 en jours (temps létal pour 50 % de survie de la population) a été déterminé au moyen de l'équation:

$$Y = A X + B$$

où Y = % survie en probits (différente de 100 et de 0)
X = logarithme du temps en mois

Les temps létaux obtenus dans les expériences (tableau XXVIII) ont varié entre 131 et 288 jours. Les temps moyens obtenus étaient respectivement de 194 pour Teladorsagia circumcincta, 263 pour Cooperia oncophora, 151 pour Trichostrongylus colubriformis, 146 pour Trichostrongylus vitrinus et 249 pour Chabertia ovina.

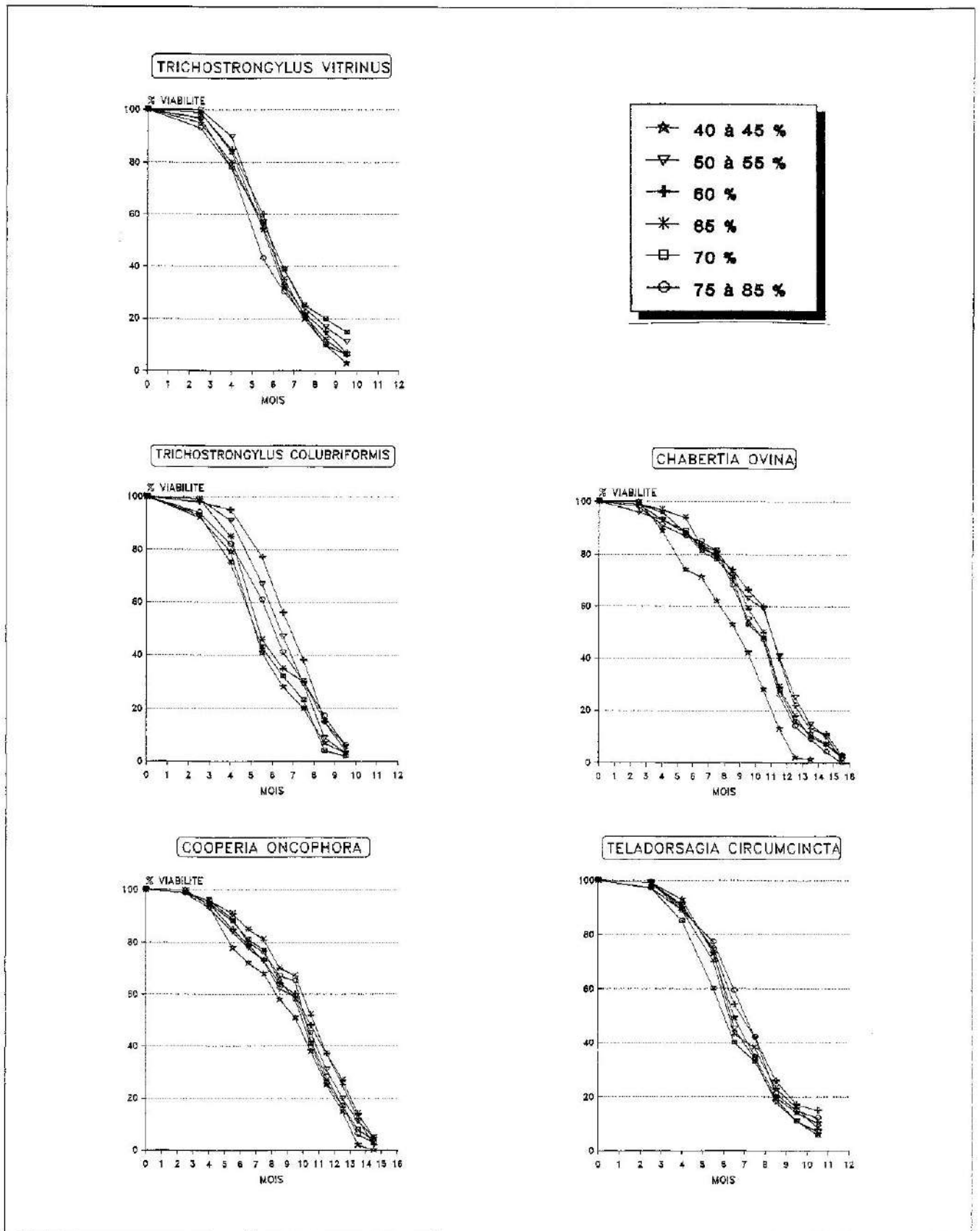


Figure 30: Survie des larves infestantes dans de l'eau à 20 ± 2 °C (en % du nombre de L3 au départ) selon la longueur des L3 obtenues d'après l'humidité pondérale de leur développement.

La corrélation entre la longueur des L3 au départ de l'essai et le TL50 a été dans tous les cas non significative (tableau XXVIII). Cependant la mesure de la longueur des dernières L3 survivantes dans chaque lot pour chacune des espèces (entre 1 et 23 L3) a révélé une tendance à une taille supérieure à la moyenne du lot.

Tableau XXVIII: Temps létaux en jours de 50 % (TL50) de la population des L3 selon les conditions de développement (différentes humidités pondérales).

Espèces	TL50 en jours des L3 développées au HP de						Corrélation(r) TL50/Longueur
	40-45	50-55	60	65	70	75-80	
<i>T.circumcincta</i>	195	191	205	192	180	261	194 ± 9 0,17
<i>C.oncophora</i>	248	255	266	288	261	261	261 ± 13 0,60
<i>T.colubriformis</i>	150	181	199	173	149	174	151 ± 61 0,36
<i>T.vitrinus</i>	147	174	153	141	157	131	146 ± 10 0,55
<i>C.ovina</i>	214	254	264	260	248	251	249 ± 18 0,52

En conclusion, les différences de taille des larves issues de cultures à diverses humidités n'affectent pas la survie de ces larves, au moins telle que nous l'avons mesurée à une température constante dans l'eau.

6.2.2. Potentialités migratoires des L3 (essai sur gélose)

Le passage des L3 des matières fécales vers le pâturage est assuré par un déplacement passif (dispersion sous l'action des gouttes de pluies, Gronvold, 1984, ou entraînement vers le sol par la pluie ou une irrigation, Suryahadi et Gruner, 1985) et par un déplacement actif (propre de la larve) au moyen de mouvements ondulatoires, grâce à un système musculaire et une structure cuticulaire bien adaptés à ce type de locomotion.

La capacité de mobilité des L3 dépend de leur vieillissement. Richard (1985) observait que les L3 de *Teladorsagia circumcincta* perdaient 50 % de leur potentialité migratoire après un séjour d'1 mois à 25 °C. Elle utilisait un test de migration sur gélose dont nous nous sommes inspiré.

Pour déterminer la capacité migratoire d'une population de larves qualifiées "jeunes" (âgées de 1 mois), on dépose dans l'obscurité et à la température de laboratoire 3 à 5 L3 au centre d'une boîte de gélose à 32 % (boîte de Pétri de 5,5 cm de diamètre).

Après un délai de 2 minutes, les tests de migration sont effectués sur un total de 20 larves de chaque populations et espèce au moyen d'un projecteur de profil industriel réglé à 300 lux. Ce microscope particulier est équipé d'un grand écran où

l'image des L3 mises en objet sont projetées. Il est possible de dessiner le parcours de la larve à l'aide d'un papier calque, ceci pendant 5 minutes.

La longueur du trajet parcouru par la larve (mm/5 mn) est mesurée au moyen du système d'analyse d'image semi-automatique, quand les larves restent en repos sans bouger ou bien quand elles tournent sur elles même, sont aussi pris en compte.

Pour savoir si le facteur longueur de larve jouait un rôle dans les phénomènes de migrations, nous avons mesuré les distances parcourues sur gélose de L3 longues ou courtes de Teladorsagia circumcincta, Ostertagia leptospicularis et Trichostrongylus colubriformis.

La distance totale moyenne parcourue (mm/5 minutes) pour les larves longues était plus grande que celle des larves courtes; les arrêts pendant le temps de mensuration étaient plus fréquents pour les larves courtes que pour les longues. Toutes les moyennes différaient significativement à 1% pour les espèces étudiées (tableau XXIX).

Tableau XXIX: Distance moyenne de migration sur gélose en 5 mn (mm/5mn) et nombre d'arrêts de déplacement des L3 courtes et longues.(± écart-type)

Espèce	L3-longueur (μ m)	distance (mm/5minutes)	arrêts	signifi- cation
<u>T.circumcincta</u> (n=20)	Longues(862)	39,13 ± 9,3	0,25 ±0,5	P<0,01
	Courtes(790)	28,89 ± 9,9	2,90 ±3,1	
<u>O.leptospicularis</u> (n=20)	Longues(909)	43,00 ± 7,5	0,35 ±0,9	P<0,01
	Courtes(768)	23,96 ± 8,25	1,54 ±2,3	
<u>T.colubriformis</u> (n=20)	Longues(810)	25,37 ±12,4	0,30 ±0,7	P<0,01
	Courtes(742)	15,33 ± 6,96	1,40 ±1,7	

Ces résultats confirment les observations faites par Wallace (1958) et Wallace et Doncaster (1964), qui concluaient que la vitesse du mouvement des L3 était fonction de leur longueur et de leur activité déterminées par l'abondance des réserves nutritives accumulées durant les stades précédents. Nous montrons que les larves courtes, issues de conditions de développement difficiles par déficit hydrique, ont des potentialités migratoires diminuées. Cela signifie qu'elles migreront moins loin des fèces sur le pâturage, moins haut sur l'herbe. La probabilité qu'elles soient ingérées par un hôte est diminuée.

6.2.3. Dégainement des L3

Le dégainement est le mécanisme par lequel les L3 ingérées et qui arrivent dans le tube digestif de l'animal, se libèrent d'abord de leur enveloppe exuviale du 2ème stade. Cette étape est indispensable pour que la larve puisse poursuivre son développement chez l'hôte.

L'aptitude au dégainement des L3 est liée à leur pouvoir infestant (Mallet et Kerboeuf, 1984) et nous avons utilisé cette aptitude comme une mesure indirecte du pouvoir infestant. Nous avons utilisé un test de dégainement déjà mis au point par Lesage et Mallet, (1987).

Les larves (âgées de 1 mois) ont été lavées à 3 reprises dans une solution de chlorure de sodium à 0,05 % et concentrées par centrifugation (5 mn à 700 t/mn) à une valeur comprise entre 4000 et 6000 larves par ml.

Trois ml d'une solution de NaCl à 0,9 % à 38 °C (ajustée à pH 2 avec 1 N d'acide chlorhydrique pour les parasites de l'intestin grêle et à pH 7 avec de l'hydroxyde de sodium pour ceux de la caillette) ont été mis à buller sous CO₂ pendant 1 minute. 0,5 ml de la suspension de larves ont ensuite été ajoutés dans le tube et mis à buller sous CO₂ pendant 3 minutes avant fermeture. Le tube est ensuite mis en incubation au bain-marie à 38 °C avec agitation (50 cycles/minutes).

Des échantillons de 0,5 ml ont été prélevés à différentes périodes d'incubation (20, 40, 60 et 120 mn), puis fixés avec 0,2 ml de lugol. Cent larves 3 ont été examinées pour déterminer le taux de dégainement.

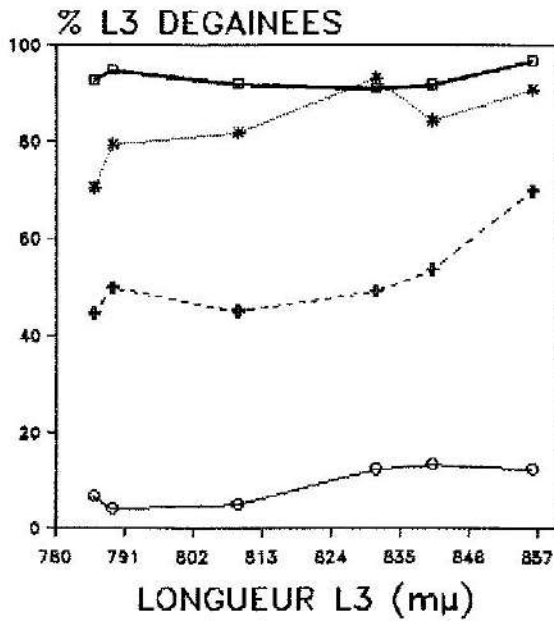
Les L3 mortes au moment de la fixation se différencient des L3 vivantes par une couleur marron foncé et des cellules intestinales lysées.

Les larves sont considérées comme dégainées lorsqu'il apparaît un anneau de coupure ou une fracture de la gaine à environ 20 µm de l'extrémité antérieure, ou lorsque les L3 sont partiellement ou complètement sorties de leur gaine (Lapage, 1935; Sommerville, 1957). Dix répétitions de lectures ont été effectuées pour chaque population larvaire et temps d'incubation.

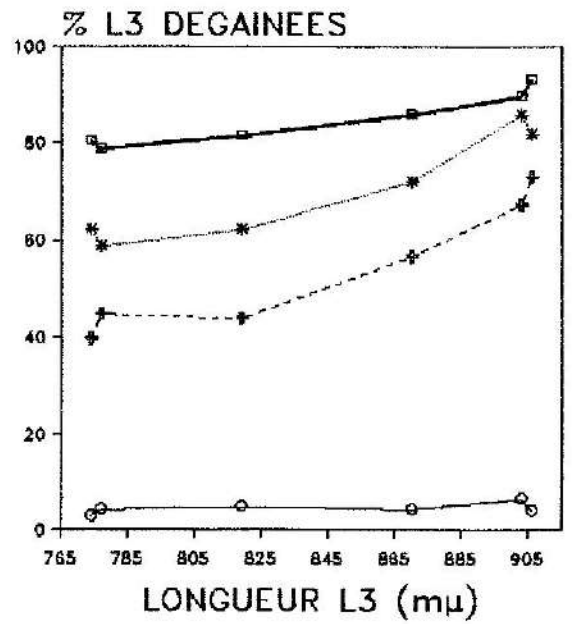
L'objectif de l'expérience est de mesurer le taux et la vitesse de dégainement des L3 en fonction de leur morphologie, longueur essentiellement.

Travaillant avec de jeunes larves (âgées d'un mois) de trois espèces (*I. circumcincta*, *O. leptospicularis* et *I. colubriformis*), nous avons mesuré le pourcentage de L3 dégainées en fonction du temps d'incubation et de leur longueur (figure 31).

T.CIRCUMCINCTA



O.LEPTOSPICULARIS



T.COLUBRIFORMIS

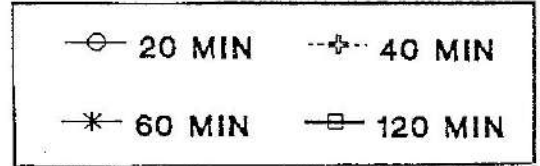
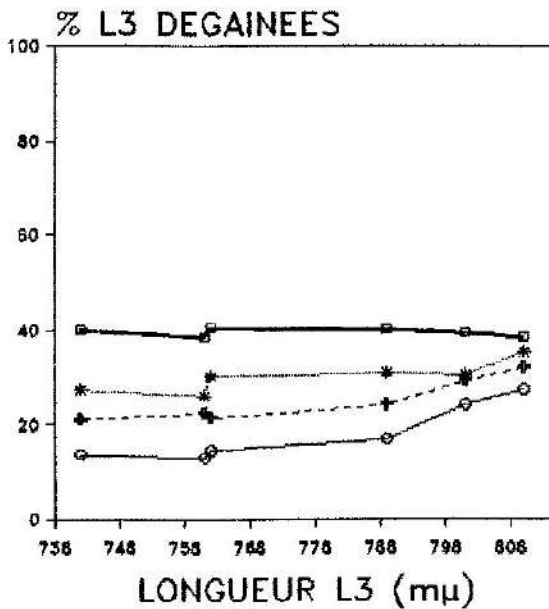


Figure 31: Taux de dégagement des L3 en fonction de leur longueur selon l'espèce et le temps d'incubation.

Les larves de T. colubriformis se dégagent peu (maximum de 40 %) avec peu de variations entre les lots. Pour les 2 autres espèces, tous les lots arrivent à des taux de 80 à 98 % mais à des vitesses différentes selon leur taille. Les calculs de corrélation entre longueur des L3 et taux de dégagement confirment cette tendance: des coefficients sont significatifs lors des délais courts, mais cette signification disparaît à 120 mn (tableau XXX).

Tableau XXX: Corrélation linéaire (coefficient r) entre longueur des L3 et pourcentage de dégagement selon l'espèce et le temps d'incubation.

Temps d'incubation	<u>Teladorsagia circumcincta</u>	<u>Ostertagia leptospicularis</u>	<u>Trichostrongylus colubriformis</u>
20 minutes	0,87 (*)	0,59 (NS)	0,91 (**)
40 minutes	0,78 (*)	0,95 (**)	0,92 (**)
60 minutes	0,83 (*)	0,95 (**)	0,82 (*)
120 minutes	0,37 (NS)	0,96 (**)	0,67 (NS)

** corrélation significative à 1% - * à 5% - NS non significative

Mallet et Kerboeuf (1984) estimaient que dans les premières semaines du vieillissement, les L3 de Trichostrongylus colubriformis subissaient une maturation qui se traduisait par une augmentation de l'activité enzymatique (taux d'acétylcholinestérase), suivie d'une diminution fonction de l'âge, et établissaient une corrélation entre activité enzymatique et pouvoir infestant mesuré par le taux d'installation chez l'hôte.

Par ailleurs, Mallet et Lesage (1987), toujours pour cette même espèce, établissaient une corrélation entre activité enzymatique et taux de dégagement. L'estimation du taux d'installation des L3 chez des ovins étant une technique très lourde (nécessité d'autopsier nombre d'animaux et d'établir la charge parasitaire), l'approche par le taux de dégagement chez plusieurs espèces nous permettait de dégager une tendance. Les larves courtes auraient plus de mal à se dégager et donc à s'installer chez l'hôte ? Nous avons tenté d'y répondre chez une espèce, Teladorsagia circumcincta en infestant des agneaux avec des larves courtes et des larves longues.

6.2.4. Devenir des L3 courtes ou longues chez l'hôte

L'objectif de cette expérience est de mettre en évidence si les modifications de la morphologie des L3 (produites par différentes conditions de développement) s'accompagnent d'une modification du pouvoir infestant et des caractéristiques de la population adulte.

Le modèle choisi était *Teladorsagia circumcincta* chez le mouton. Les L3 courtes ou longues étaient issues de coprocultures réalisées à 23 °C à une humidité de 45 et de 80 %.

Deux lots de 3 agneaux âgés de 4 mois ont reçu individuellement une dose d'environ 2300 L3, âgées de 2 mois. Afin de diminuer la variabilité de l'effet individu hôte et de favoriser l'implantation des larves, un traitement corticoïde retard (Kénacort retard) à effet immunosuppresseur était réalisé le jour de l'infestation.

Des coproscopies ont été réalisées la 3^e et 4^e semaine avec pesée de la quantité de fèces émises par jour en vue d'estimer la ponte journalière des vers femelles.

A 4 semaines, les animaux furent sacrifiés, la caillette isolée, les parasites dénombrés par sexe. Pour chaque mouton, 40 vers de chaque sexe étaient mesurés, le nombre d'oeufs dans l'utérus compté et l'absence ou la présence d'un appendice supravulvaire en forme de languette ou de bouton était notée (tableau XXXI).

Tableau XXXI: Caractéristiques de l'infestation de 6 agneaux avec des larves courtes ou longues de *Teladorsagia circumcincta* et des populations adultes. (Appendice supravulvaire LF=linguiforme, B=en bouton, LS=femelle lisse).

Mouton Infesté avec	Dose(L3) Infesta- tion	OPG post-inf.		Parasites installés			Caractéristiques des Femelles (n=40)					Caractéristiques Mâles (n=40) Longueur (µm)	
		3ème semaine	4ème semaine	Femelle (%)	Mâle (%)	Total (%)	Longueur (mm)	Nb oeufs Formés	Nb oeufs Pondus/J	Appendice			
L3 courte	2300	40	95	163(7,1)	106(4,6)	269(11,7)	13,7 ± 1,2	85 ± 28	1933	93	5	2	10,3 ± 0,7
L3 courte	2405	45	60	151(6,3)	91(3,8)	242(10,1)	14,3 ± 1,0	77 ± 32	2855	95	5	0	10,1 ± 0,5
L3 courte	2340	65	100	88(3,8)	95(4,0)	183(7,8)	13,7 ± 1,1	75 ± 27	2124	88	7	5	10,0 ± 0,6
Moyenne	2348	50	85	134(5,7)	97(4,1)	231(9,9)	14,0 ± 1,1	79 ± 29	2304	92	6	2	10,1 ± 0,6
L3 longue	2320	60	100	255(11,0)	195(8,4)	450(19,4)	13,4 ± 0,8	65 ± 24	2635	93	7	0	9,7 ± 0,4
L3 longue	2330	140	125	337(14,5)	286(12,3)	623(26,8)	13,9 ± 0,8	76 ± 21	1684	95	0	5	10,1 ± 0,6
L3 longue	2280	165	265	629(27,6)	418(18,3)	1047(45,9)	13,4 ± 0,7	71 ± 22	1240	95	5	0	9,8 ± 0,4
Moyenne	2310	122	163	407(17,7)	300(13,0)*	707(30,7)*	13,6 ± 0,8	71 ± 22	1853	94	4	2	9,8 ± 0,5

* Différence significative à 5%

Parmi l'ensemble des mesures effectuées, une différence significative (à 5 %) entre les 2 lots d'animaux a concerné les nombres de parasites installés (nombres totaux et de mâles), avec de fortes variations individuelles. Les caractéristiques morphologiques et de fécondité des vers adultes étaient similaires.

Ainsi il semblerait que les modifications dans la taille des larves affectent leur capacité à s'installer chez l'hôte, résultat qui va dans le sens de ceux obtenus lors du test de dégainement. Cependant la variabilité des taux d'installation entre les animaux fait que ce résultat est à confirmer.

L'étude de la distribution des longueurs des L3 courtes ou longues (figure 32) révèle que les moyennes de 775 et 865 microns de chacune des populations de larves courtes ou longues utilisée pour infester les agneaux étaient certes différentes mais qu'un certain nombre de larves issues de la culture à HP 45 étaient de grande taille. Est-ce que ces larves étaient celles qui s'installaient chez l'hôte ? Dix pour cent des larves de la population HP 45 se sont développées en adultes, 10 % ont une taille supérieure à 880 microns. Parmi les larves de la population HP 80, 28 % dépassent 880 microns.

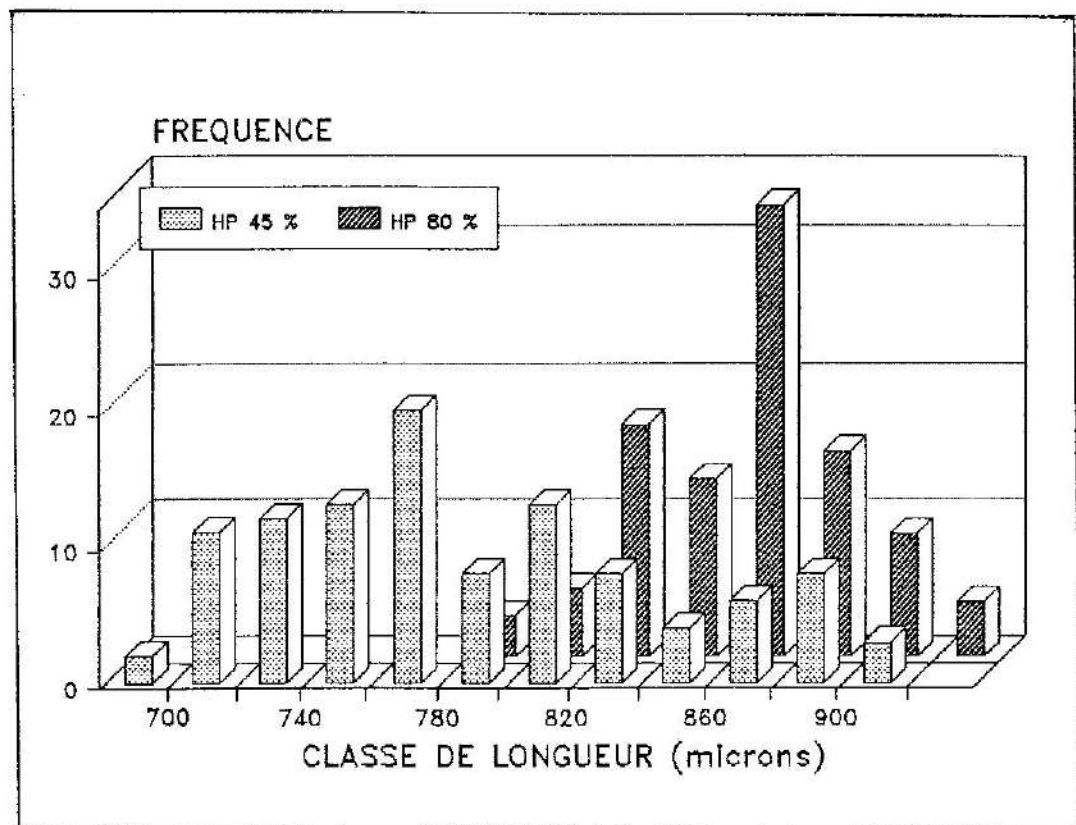


Figure 32: Distribution des longueurs des L3 courtes (issues de la culture à HP 45) et longues (HP 80) de Teladorsagia circumcincta.

Afin de mieux connaître la relation entre taille des larves et taux d'installation, nous avons infesté à nouveau des agneaux avec des larves "courtes" issues de cultures à HP 45 ou des larves de taille normales issues de cultures témoin à HP 60. Pour deux de ces agneaux, un tri manuel sous loupe binoculaire a été effectué afin d'éliminer les individus de grande taille dans la population de larves courtes et, inversement, afin d'éliminer les petits individus dans la population de larves de grande taille. La distribution des tailles a été de 92 % de larves inférieure à 800 microns, 6 % entre 800 et 840 microns et 2 % de plus de 840 microns pour la population de larves courtes; 0, 25 et 75 pour la population de grandes larves. La population témoin (HP 60) avait des longueurs de larves se distribuant en 34, 34 et 32 % dans ces 3 mêmes classes. Entre 1000 et 1100 L3 ont été données à chacun des agneaux. Les taux d'installation ont été de 21,1 adultes/100 L3 courtes, 19,9 /100 L3 grandes et 20,4/100 L3 témoin (HP 60). Ainsi ce tri des larves sur leur taille n'a pas permis de confirmer l'hypothèse de départ, à savoir que c'étaient plutôt les grandes larves qui poursuivaient leur développement chez l'hôte.

Cependant l'analyse de l'ensemble des 13 agneaux ayant reçu 1000 à 2500 larves dont la taille était mesurée et dont on a effectué le bilan parasitaire (figure 33) va dans le sens d'une relation positive entre taille moyenne de la population de larves infestantes et taux d'installation au sein de l'hôte.

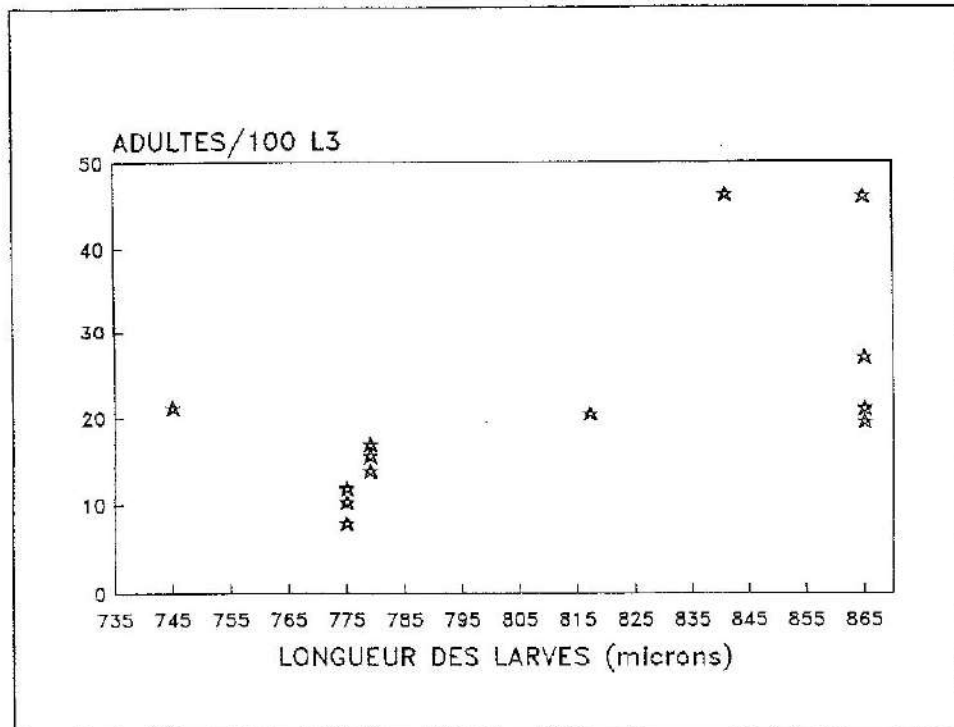


Figure 33: Relation entre taille moyenne de la population de larves infestantes et taux d'installation (adultes/100 L3) au sein de l'hôte (n= 13 agneaux).

La variabilité des taux d'installation obtenus chez les agneaux, l'étalement des longueurs des L3 obtenues dans certaines cultures à faible humidité et le fait que dans un cas où les larves étaient triées selon leur taille nous ayons obtenu des taux d'installation similaires rend l'établissement d'une relation entre longueur des L3 et taux d'installation difficile. Des infestations complémentaires sont nécessaires. Nous ne pouvons conclure qu'à une tendance pour les larves issues de conditions difficiles, de taille réduite, à avoir plus de difficultés à s'installer chez l'hôte. A nouveau on s'interroge sur l'existence éventuelle d'un déterminisme génétique d'adaptation aux conditions difficiles.

6.3. ESSAI DE SELECTION D'UNE LIGNEE DE TELADORSAGIA CIRCUMCINCTA RESISTANTE A LA SECHERESSE

Nos résultats montrent que l'humidité en excès ou en défaut comme des températures élevées ou basses limitaient le taux de développement larvaire, avec des conséquences plus importantes du premier facteur à en juger par la quantité de réserves accumulées dans les cellules intestinales (mesurée par la taille des larves). Des humidités élevées limitent certes le développement larvaire mais les individus obtenus sont de grande taille et le taux d'installation chez l'hôte est similaire à celui généralement observé avec des larves obtenues en conditions optimales. A l'inverse, le dessèchement des fèces limite le développement larvaire au niveau de la population et de la taille des individus.

Afin de mettre en évidence si la résistance à des conditions sèches avait un déterminisme génétique, nous avons sélectionné une lignée de Teladorsagia circumcincta sur ce caractère et mesuré à chaque génération le taux de développement larvaire à 45 % d'humidité pondérale des fèces ainsi que le taux d'installation chez des agneaux des larves issues de ces cultures (tableau XXXII).

Au cours de 5 générations successives, aucune augmentation notable n'a été observée tant dans la capacité des oeufs à évoluer à de faibles humidités que dans la capacité des larves à poursuivre leur développement chez l'hôte. Aucun progrès génétique n'a été mis en évidence, au moins avec la méthodologie employée. Le fait d'avoir travaillé avec une souche multipliée depuis 5 générations au laboratoire dans des conditions relativement standardisées peut expliquer ces résultats.

Tableau XXXII: Taux de développement larvaire à 45 % d'humidité des fèces et taux d'installation chez des agneaux infestés par les larves issues de ces cultures au cours des générations successives de Teladorsagia circumcincta.

Génération	Développement larvaire à HP 45 (L3/100 oeufs)	Infestation L3/ ovin	Taux d'installation adultes/100 L3
G1	4,7	2340	7,8
		2405	10,1
		2300	11,7
G2	8,0	1425	46,2
G3	4,1	1500	13,8
		1500	16,1
		1500	15,9
G4	3,6	1012	21,1
		1127	19,9
G5	4,9	—	—

En effet, dans les populations naturelles, les échanges de matériel génétique ou flux géniques sont possibles, et augmenteraient la variabilité génétique en relation avec les variations du milieu où vivent les populations ou les espèces. Le maintien prolongé des souches (depuis plusieurs générations) en condition d'élevage au laboratoire entraîne une perte d'informations génétiques, c'est-à-dire une réduction de la variabilité génétique (diminution significative de l'hétérozygotie) due à la consanguinité dans les souches expérimentales. Récemment, Gasnier et al. (1992) ont montré que les souches de laboratoire de Teladorsagia circumcincta différaient des isolats de terrain sur la base des fréquences alléliques de 5 isoenzymes. Gasnier et Cabaret (1992) montraient également sur un isolat de la même espèce une perte dans la diversité des réponses à une série de tests écologiques au cours de 3 générations successives au laboratoire.

Dans notre expérience, seuls 2 caractères ont été mesurés au cours des générations successives. Une étude enzymologique permettrait une appréciation plus précise de l'absence d'évolution de la population initiale. Il est possible que la pression de sélection (culture à une humidité de 45 %) soit insuffisante pour qu'en quelques générations des variations importantes apparaissent sur deux caractères dont l'appréciation est, par ailleurs, relativement peu précise.

6.4. DISCUSSION ET CONCLUSION

Nous avons mis en évidence qu'un caractère simple, la longueur des larves infestantes, était modulé par les conditions de développement des oeufs et des jeunes stades larvaires, ceci chez l'ensemble des espèces étudiées. Ces modifications de taille correspondaient à celles du volume des cellules intestinales dans lesquelles s'accumulent des réserves lipidiques.

Les relations statistiques entre longueur et humidité sont régies par une même loi mathématique pour les différentes espèces étudiées. Il semble donc qu'elles représentent un phénomène général, au moins pour nombre de représentants de ce groupe de nématodes.

Il semble que cette quantité d'accumulation de réserves ait peu d'influence sur la survie des larves (mesurée uniquement par un test de survie dans l'eau à température constante). Par contre les larves les plus courtes se déplacent moins que les grandes, c'est dire que leur accessibilité à l'hôte ou pâturage est diminuée. Le processus de dégainement est ralenti, le taux d'installation chez l'hôte paraît diminué.

Ainsi plusieurs caractères sont défavorables au développement chez l'hôte des individus ayant eu des conditions d'évolution difficiles. Les adultes obtenus ont une morphologie identique et une fécondité normale. L'aptitude à se développer à de faibles humidités ne semble pas avoir un déterminisme génétique simple: la sélection pendant 5 générations sur ce caractère n'améliore pas les capacités de la lignée à se développer à de faibles humidités comme à s'implanter chez l'hôte. Dans la nature, l'accumulation de caractères défavorables devrait mettre en cause leur existence même.

DISCUSSION ET CONCLUSION
GENERALE

DISCUSSION ET CONCLUSION GENERALE

La nature des relations entre les espèces de nématodes parasites du tratus digestif des ruminants et les conditions climatiques ne sera pas la même selon l'échelle d'investigation. A l'échelle d'une région comme le centre-ouest de l'Argentine, la diversité du régime pluviométrique influe en premier lieu sur la disponibilité fourragère et par voie de conséquence sur la charge animale et l'abondance du dépôt d'oeufs de parasites sur les pâturages. Ce dernier facteur explique en premier lieu l'abondance de divers genres parasites de bovins, Ostertagia, Haemonchus et Oesophagostomum, puis vient la température qui conditionne Cooperia et Haemonchus ainsi que les précipitations agissant sur Oesophagostomum. Ostertagia paraît ici moins conditionné par les facteurs climatiques.

Notre analyse des données épidémiologiques accumulées dans 14 élevages du centre-ouest argentin permet de caractériser les élevages de cette région ayant des niveaux d'infestation par les principaux genres élevés, donnée des plus utiles pour engager un contrôle bien adapté. Cependant pour mieux déterminer les éléments du climat susceptibles d'expliquer la présence de tel ou tel genre, cette échelle régionale s'avère trop restreinte pour estomper le poids relatif des facteurs d'élevage. Il serait nécessaire d'adjoindre à l'analyse des données de même nature provenant de régions plus froides et de régions tropicales.

A cette compilation de données déjà publiées, nous avons préféré prendre une démarche expérimentale afin d'être sûr de mesurer non pas uniquement une présence ou une absence mais un taux de développement, première phase du cycle influant sur les niveaux de population de parasites sur les pâturages. Au lieu de tenter d'expliquer l'abondance de l'excrétion parasitaire par l'hôte, résultat de l'accumulation de larves ingérées, de leur évolution et de la ponte des femelles adultes, nous nous intéressons à une séquence du développement où les conditions climatiques jouent un rôle certain.

Les expériences de dépôts de matière fécale de veaux naturellement infestés par un ensemble d'espèces ont permis de mettre en évidence l'importance primordiale du rôle de la température sur le taux de développement d'Haemonchus et de Cooperia, l'humidité pondérale des bouses n'intervenant qu'en second lieu. Le principal problème rencontré dans ces travaux a été dû au fait que les animaux étaient polyparasités, c'est-à-dire que les résultats dépendaient des proportions de larves de chacun des genres établi dans les coprocultures témoin. Aussi nos résultats étaient d'autant plus valables que ces pourcentages étaient élevés, ce qui était le cas pour Haemonchus et Cooperia. Notons que dans le cas des parasites de bovins, la majorité des expériences ont été conduites de la sorte, par exemple par Fabiyi et al. (1988) pour Haemonchus, Cooperia et Oesophagostomum sous climat tropical. De plus, l'objectif de ces auteurs était de

mesurer la population de larves infestantes sur l'herbe, c'est-à-dire que les séquences de développement en L3 et de migration de ces L3 vers l'herbe sont prise en compte simultanément. Les seuls travaux de cette nature réalisés avec des fèces de bovins monoinfestés ont concerné O. ostertagi et Cooperia oncophora en Europe sous climat tempéré (Rose, 1963; Pandey, 1974).

Dans les fèces en grains des petits ruminants, les oeufs sont soumis à des variations de températures similaires à celles rencontrées dans les bouses, mais à des variations d'hygrométrie pouvant être très rapides et importantes. Aussi n'est il pas étonnant que ce facteur explique en premier lieu la variabilité du taux de développement au pâturage de Teladorsagia circumcincta.

Afin de se soustraire à ce facteur nature des fèces, 8 espèces de nématodes parasites de bovins, ovins et cervidés ont été multipliées sur ovins en vue de déterminer dans des conditions bien contrôlées leurs exigences hydriques et thermiques. On a supposé que le passage sur un hôte hétérologue ne modifiait pas ces exigences. L'expérience avec Ostertagia ostertagi repassé sur bovin a donnée des résultats légèrement différents. Les taux calculés en fonction de la température étaient nettement supérieurs à ceux fonction de l'humidité ainsi qu'à ceux obtenus dans des fèces d'ovin. Cela met en évidence que d'autres facteurs que ceux pris en considération entrent en jeu, tel ici la présence de vermiculite qui favorise l'oxygénation du milieu. Par ailleurs, Pandey (1972) obtenait de bien meilleurs taux de développement de cette même espèce à 10 et à 15°C. Il est vraisemblable que nous n'avons pas suffisamment tenu compte du retard de développement des jeunes stades de cette espèce aux températures basses ainsi que de leur faible activité migratrice lors de l'extraction.

Il ressort de ces études de laboratoire des formes de courbes très proches entre les diverses espèces. Les exigences hydriques optimales et maximales varient relativement peu, mais c'est aux faibles humidités que les différences sont les plus marquées, T. circumcincta, T. vitrinus, et C. ovina étant les espèces les plus résistantes.

Les conditions de développement influent sur les niveaux de population susceptibles de se développer mais également sur leur taille. Le volume des cellules intestinales dans lesquelles les larves de 1er et 2ème stade accumulent des réserves constitue l'élément essentiel de variation de la longueur des larves infestantes (de 3ème stade). Il est établi pour l'ensemble des espèces étudiées, une corrélation linéaire positive entre l'humidité pondérale des fèces et la longueur des L3, et un effet moindre des variations de température, les larves les plus longues étant celles développées à l'optimum thermique.

Ces résultats sont à l'origine de l'étude des répercussions des conditions de développement sur le potentiel biologique des larves infestantes. Aucun effet n'a été mis en

évidence sur la durée de vie certes mesurée par un test simple de survie en conditions constantes d'hygrométrie et de température. Par contre les larves issues d'un développement à faible hygrométrie s'avèrent avoir une activité migratoire diminuée par rapport à celle de grandes larves issues de conditions plus favorables, avoir un processus de dégainement ralenti ainsi qu'une tendance à s'installer plus difficilement chez l'hôte. Par contre les adultes issus de ces larves sont de taille normale et les femelles ont une activité reproductrice normale. Parmi les conditions environnementales étudiées, les faibles humidités semblaient les plus perturbatrices du développement tant au niveau population par les faibles taux enregistrés qu'au niveau individuel par une réduction de la taille moyenne. Aussi nous avons tenté de voir si la résistance à la sécheresse avait un déterminisme génétique simple en effectuant la sélection d'une lignée de *T. circumcincta* sur ce critère de développement à basse humidité. En 5 générations, aucune augmentation du taux de développement n'était enregistrée. Aussi il semblerait que les nématodes présentent une certaine plasticité face aux conditions de développement, des conditions défavorables limitant les populations ainsi que leur potentialités biologiques. Remarquons que nous avons travaillé avec des isolats maintenus depuis plusieurs générations au laboratoire en conditions relativement standardisées, réduisant la variabilité génétique de réponse aux études écologiques et que cette perte de diversité est certainement plus rapide qu'une récupération face à des conditions de sélection d'intensité variable.

Cette relative contradiction entre la rapide diminution de la diversité des réponses à des tests écologiques d'isolats sauvages au cours de 3 générations de multiplication au laboratoire (Gasnier et al., 1992), et notre non évolution de la lignée sélectionnée sur le critère de taux de développement des oeufs à de faibles humidités des fèces pose diverses questions. L'appréciation de non évolution demanderait à être confirmée par l'emploi d'autres critères (distribution d'allèles enzymatiques par exemple). Le nombre de générations est insuffisant pour que l'isolat puisse exprimer une évolution. Dans les élevages, le développement de lignées résistantes à un anthelminctique se fait de façon progressive et atteint des niveaux mesurables après une ou deux années d'emploi de la même molécule 10 à 12 fois par an. Nos résultats montrent que les larves ayant réussi à se développer alors que les conditions étaient peu favorables, sont, de façon générale, défavorisées pour poursuivre leur développement. Cela contribue à expliquer qu'au fil des générations certaines espèces soient éliminées en un lieu donné, encore faudrait-il poursuivre des recherches autour des conditions limites de développement, de survie, de migrations... Quelques données existent pour mettre en évidence l'adaptation génétique aux conditions climatiques, elles comparent en fait des isolats de la même espèce provenant de régions différentes sur l'une des étapes du développements. Crofton et Whitlock (1965) ainsi que Crofton et al. (1965) trouvaient des différences de vitesse d'éclosion des oeufs de divers isolats tant d'*H. contortus* que de *T. circumcincta*. Pour

ces deux espèces, les différences observées l'étaient aux températures les plus basses. Ces données confirment l'intérêt de définir les conditions extrêmes de développement pour caractériser une espèce ou un isolat.

REFERENCES
BIBLIOGRAPHIQUES

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ANDERSEN F.L., LEVINE N.D. 1968. Effect of desiccation on survival of the free-living stages of Trichostrongylus colubriformis. J. Parasit., 54: 117-128.
- ARMOUR J. 1980. The epidemiology of helminth disease in farm animals. Vet. Parasitol., 6: 7-46.
- AUMONT G., GAUTHIER D., GRUNER L., MATHERON G. 1992. Dynamics of the free-living populations of gastrointestinal trichostrongyles of cattle in a natural grazing system in Guadeloupe (French West Indies). Prev. Vet. Med., 12: 245-258.
- BAERMANN G. 1917. Eine einfache Methode zur Auffindung von Ankylostomum (Nematoden) larven in Erdproben. Tijdschrift diergeneeskd., 57: 131-137.
- BARGER I.A., BENYON P.R., SOUTHCOTT W.H. 1972. Simulation of pasture larval populations of Haemonchus contortus. Proc. Aust. Soc. Anim. Prod., 9: 31-37.
- BARGER I.A., BENYON P.R., SOUTHCOTT W.H. 1973. Simulation of larval populations of a parasitic nematode of sheep. Simulation Today, 21: 81-84.
- BEAUMONT-SCHWARTZ C., KERBOEUF D., HUBERT J. 1987. Méthodes de mise en évidence de souches de strongles gastro-intestinaux résistantes aux anthelminthiques. Rec. Méd. Vét., 163: 683-688.
- BERBERIAN J.F., MIZELLE J.D. 1957. Development studies on Haemonchus contortus Rudolphi (1803). American Midland Naturalist, 57: 421-439.
- BERBIGIER P.R., GRUNER L., MAMBRINI M., SOPHIE S.A. 1990. Faeces water content and egg survival of goat gastro-intestinal strongyles under tropical conditions in Guadeloupe. Parasitol. Res., 76: 379-385.
- BISSET S.A. 1980. Goats and sheep as host for some common cattle Trichostrongylids. Vet. Parasitol., 7: 363-368.
- BISSET S.A., KLEINJAN E.D., VLASSOFF A. 1984. Development of Ostertagia leptospicularis in cattle, and the differentiation of infective larvae and female adults from those of Ostertagia ostertagi. Vet. Parasitol., 16: 23-33.
- BOAG B., THOMAS R.J. 1985. The effect of temperature on the survival of infective larvae of nematodes. J. Parasit., 71: 383-384.
- BORGSTEEDE F.H.M. 1981. Experimental cross-infections with gastrointestinal nematodes of sheep and cattle. Z. Parasitenkd, 65: 1-10.
- BULLICK G.R., ANDERSEN F.L. 1978. Effect of irrigation on survival of third-stage Haemonchus contortus larvae (Nematoda: Trichostrongylidae). Great Basin Nat., 38: 369-378.
- CABARET J. 1977. L'inhibition du développement larvaire chez les strongles gastro-intestinaux des ruminants domestiques. Conséquences épidémiologiques. Rec. Méd. Vét., 153: 419-427.
- CABARET J., GRUNER L. 1983. Utilisation de l'herbe et parasitisme interne des ovins et des caprins. in: Exploitation des fourrages verts par les ovins et les caprins. INRA-ITOVIC éditions. pp. 231-254.

- CALLINAN A.P.L. 1978a. The ecology of the free-living stages of Ostertagia circumcincta. Int. J. Parasitol., 8: 233-237.
- CALLINAN A.P.L. 1978b. The ecology of the free-living stages of Trichostrongylus axei. Int. J. Parasitol., 8: 453-456.
- CALLINAN A.P.L. 1979. The ecology of the free-living stages of Trichostrongylus vitrinus. Int. J. Parasitol., 9:133-136.
- CALLINAN A.P.L., MORLEY F.H.W., ARUNDEL J.H., WHITE D.H. 1982. A model of the life cycle of sheep nematodes and the epidemiology of nematodiasis in sheep. Agricultural systems, 9: 199-225.
- CATTO J.B. 1982. Development and survival of cattle gastrointestinal nematode larvae during the dry season in the Pantanal Matogrosso region, Brazil. Pesqui. Agropecu., Bras., 18: 1265-1271.
- CHRISTIE M., JACKSON F. 1982. Specific identification of strongyle eggs in small samples of sheep faeces. Res. Vet. Sci., 32: 113-117.
- CIORDIA H., BIZZEL W.E. 1963. The effects of various constant temperatures on the development of the free living-stages of some nematode parasites of cattle. J. Parasit., 49: 60-63.
- CIORDIA H., BIZZEL W.E., PORTER D.A., DIXON C.F. 1966. The effect of culture temperature and age on the infectivity of the larvae of Trichostrongylus axei and T. colubriformis in rabbits and guinea pigs. J. Parasit., 52: 866-870.
- COLES G. C., SIMPKIN K.G. 1977. Resistance of nematode eggs to the ovicidal activity of benzimidazoles. Res. Vet. Sci., 22: 386-387.
- CORT W.W. 1925. Notes on the effect of burial on infective hookworm larvae. J. Parasit., 12: 33-38.
- CROFTON H.D. 1963. Nematode parasite populations in sheep and on pasture. St. Albans Commonwealth Bur. Helminthol. Tech. Commun. n° 35.
- CROFTON H.D. 1965. Ecology and biological plasticity of sheep nematodes. I. The effect of temperature on the hatching of eggs of some nematode parasites of sheep. Cornell Vet., 55: 242-250.
- CROFTON H.D., WHITLOCK J.H. 1965a. Ecology and biological plasticity of sheep nematodes. III. Studies on Ostertagia circumcincta (Stadelmann 1894). Cornell Vet., 55: 258-262.
- CROFTON H.D., WHITLOCK J.H. 1965b. Ecology and biological plasticity of sheep nematodes. IV. The biological significance of time hatching curves for eggs of sheep nematodes. Cornell Vet., 55: 263-274.
- CROFTON H.D., WHITLOCK J.H. 1965c. Ecology and biological plasticity of sheep nematodes. V. The relationship between egg volume and hatching time. Cornell Vet., 55: 274-279.
- CROFTON H.D., WHITLOCK J.H., GLAZER R.A. 1965. Ecology and biological plasticity of sheep nematodes. II. Genetic x environmental plasticity in Haemonchus contortus (Rud. 1803). Cornell Vet. 55, 251-258.
- DICK J.W., LELAND S.E. 1973. The influence of pH on the in vitro development of Cooperia punctata (Ransom, 1907). J. Parasit., 59: 770-775.
- DINABURG A.G. 1944. Development and survival under outdoor conditions of eggs and larvae of the common ruminant stomach worm, Haemonchus contortus. J. Agric. Res., 69: 421-433.

- DURETTE-DESSET M.C., CHABAUD A.G. 1981. Nouvel essai de classification des nématodes Trichostrongyloidea. Ann. Parasitol. (Paris), 56: 297-312.
- DURETTE-DESSET M.C. 1989. Nomenclature proposée pour les espèces décrites dans la sous-famille des Ostertagiinae Lopez-Neyra, 1947. Ann. Parasitol. Hum. Comp., 64 (5): 356-373.
- DURIE P.H. 1961. Parasitic gastro-enteritis of cattle: the distribution and survival of infective strongyle larvae on pasture. Aust. J. Agric. Res., 12: 1200-1211.
- ELLENBY C. 1968. Desiccation survival of the infective larva of Haemonchus contortus. J. Exp. Biol., 49: 469-475.
- EUZEBY J. 1961. Les maladies vermineuses des animaux domestiques et leur incidence sur la pathologie humaine. T.1, Fasc. 1: Maladies dues aux némathelminthes. Vigot Frères Editeurs, Paris.
- FABIYI J.P., COPEMAN D.B., HUTCHINSON G.W. 1988. Abundance and survival of infective larvae of cattle nematodes Cooperia punctata, Haemonchus placei and Oesophagostomum radiatum from faecal pats, in a wet tropical climate. Aust. Vet. J. 65, 229-231.
- FINCHER G.T., STEWART T.B. 1979. Vertical migration by nematode larvae of cattle parasites through soil. Proc. Helminthol. Soc. Wash., 46: 43-46.
- FURMAN D.P. 1944 a. Effects of environment upon the free-living stages of Ostertagia circumcincta (Stadelmann) Trichostrongylidae: I. Laboratory experiments. Am. J. Vet. Res., 5: 79-86.
- FURMAN D.P. 1944 b. Effets of environment upon the free-living stages of Ostertagia circumcincta (Stadelmann) Trichostrongylidae: II. Field experiments. Am. J. Vet. Res., 5: 147-153.
- GARCIA ROMERO C., GRUNER L. 1984. Influence de la température et de l'humidité sur l'infestation par des strongles gastro-intestinaux de prairies fréquentées par des bovins, Ann. Rech. Vét., 15: 65-74.
- GASNIER N., CABARET J. 1992. Evolution of ecological characteristics of one field isolate of Teladorsagia circumcincta (Nematoda) under laboratory conditions. Abstracts Vith European Multicolloquium of Parasitology. The Hague. The Netherlands. Abs., 17, p. 48.
- GASNIER., CABARET J., MOULIA C. 1992. Allozyme variation between laboratory reared and wild populations of Teladorsagia circumcincta. Int. J. Parasitol., 22: 581-587.
- GETTINBY G., BAIRDEN K., ARMOUR J. BENITEZ-USHER C. 1979. A prediction model for bovine Ostertagiasis. Vet. Rec., 105: 57-59.
- GEVREY J. 1970. Etude du peuplement d'une prairie naturelle par les larves infestantes de "strongles" parasites du tractus digestif des ovins. II.-Déplacements larvaires verticaux. Ann. Rech. Vétér., 1(2): 233-252.
- GEVREY J. 1971. Les coprocultures: réalisation, interprétation en vue de la diagnose des strongles digestifs des ruminants et du porc. Rec. Méd. Vét., 147: 287-317.
- GIBSON T.E. 1969. The effect of climate on the survival of the free living stages of Ostertagia circumcincta. Suppl. Int. J. Biometeorol., 13:97-98.
- GIBSON T.E., EVERETT G. 1972. The ecology of the free-living stages of Ostertagia circumcincta. Parasitology, 64: 451-460.

- GOLDBERG A. 1970. Development, migration, and survival on pasture of gastrointestinal nematodes of cattle: summer contamination. Proc. Helm. soc. Wash., 37: 166-169.
- GORDON H.M. 1948. The epidemiology of parasitic diseases, with special reference to studies with nematode parasites of sheep. Aust. Vet. J., 24:17-44.
- GRONVOLD J. 1984. Rain splash dispersal of third-stage larvae of Cooperia spp. (Trichostrongylidae). J. Parasit., 70: 924-926.
- GRONVOLD J., HOGH-SCHMIDT K. 1989. Factors influencing rain splash dispersal of infective larvae of Ostertagia ostertagi (Trichostrongylidae) from cow pats to the surroundings. Vet. Parasitol., 31: 57-70.
- GRUNER L., RAYNAUD J.P. 1980. Technique allégée de prélèvements d'herbe et de numération, pour juger de l'infestation des pâturages de bovins par les larves de nématodes parasites. Revue Méd. vét., 131:521-529.
- GRUNER L., BOULARD C. 1982. Climat et prévention du parasitisme animal. in: Action du climat sur l'animal au pâturage. INRA Pub., 1982, 307-335.
- GRUNER L., MAULEON H., SAUVE C. 1982. Migrations of trichostrongyle infective larvae: experiments with ovine parasites in soil. Ann. Rech. Vét., 13: 51-59.
- GRUNER L., PEROUX F., AUMONT G. 1984. Dynamique des populations de parasites internes dans un élevage semi intensif de chèvres créoles en Guadeloupe. in: Les maladies de la chèvre, Ed. INRA Publ., 695-704.
- GRUNER L., PELOILLE M., SAUVE C., CORTET J. 1985. Survie et conservation de l'activité prédatrice vis-à-vis de nématodes trichostrongylides après ingestion par des ovins de trois hyphomycètes prédateurs. C. R. Acad. Sc. Paris, 14:525-528.
- GRUNER L. 1988. Le facteur eau dans la prévision de la fasciolose et des strongyloses digestives des ruminants. In: Conditions et effets des excès d'eau en Agriculture. Séminaire. pp. 313-333, Paris, 9-11 oct. 1985, Ed. INRA Publ.(Paris).
- GRUNER L., BERBIGIER P. 1988. Conséquences écologiques de l'irrigation des pâturages sur les parasites interne des ruminants. In: Conditions et effets des excès d'eau en Agriculture. Séminaire. pp. 289-311, Paris, 9-11 oct. 1985, Ed. INRA Publ. (Paris).
- GRUNER L., BERBIGIER P., CORTET J., SAUVE C. 1989. Effects of irrigation on appearance and survival of infective larvae of goat gastro-intestinal nematodes in Guadeloupe (French Indies). Int. J. Parasit., 19: 409-415.
- GRUNER L., SURYAHADI S. 1992. Irrigation, faecal water content and development rate of free-living stages of sheep Trichostrongyles. Ann. Rech. Vét., sous presse.
- GRUNER L., BOUIX J., CABARET J., BOULARD C., CORTET J., SAUVE C., MOLENAT G., CALAMEL M. 1992. Effect of genetic type, lactation and management on helminth infection of ewes in an intensive grazing system on irrigated pasture. Int. J. Parasit., 22, 919-925.
- HSU C.K., LEVINE N.D. 1977. Degree-day concept in development of infective larvae of Haemonchus contortus and Trichostrongylus colubriformis under constant and cyclic conditions. Am. J. Vet. Res., 38:1115-1119.

- JEHAN M., GUPTA V. 1974. The effects of temperature on the survival and development of the free living stages of twisted wireworm Haemonchus contortus (Rudolphi, 1803) of sheep and other ruminants. *Zeitschrift für Parasitenkunde*, 43:197-208.
- KATES K.C. 1950. Survival on pasture of free-living stages of some common gastrointestinal nematodes of sheep. *Proc. Helm. Soc. Wash.*, 17:39-58.
- KATES K.C. 1965. Ecological aspects of helminth transmission in domesticated animals. *Am. Zoologist*, 5:95-130.
- KEITH R.K. 1953. The differentiation of the infective larvae of some common nematode parasites of cattle. *Aust. J. Zool.*, 1: 223-235.
- LAPAGE G. 1935. The second ecdysis of infective nematode larvae. *Parasitology*, 27:186-206.
- LESAGE M.C., MALLET S. 1987. Trichostrongylus colubriformis and Heligmosomoides polygyrus: relationship between infectivity and exsheathment during ageing of infective larvae. *Ann. Rech. Vét.*, 18: 279-283.
- LEVINE N.D. 1963. Weather, climate, and the bionomics of ruminants nematode larvae. *Adv. Vet. Sci.*, 8: 215-261.
- LEVINE N.D., ANDERSEN F.L. 1973. Development and survival of Trichostrongylus colubriformis on pasture. *J. Parasit.*, 59:147-165.
- LEVINE N.D., TODD K.S. 1975. Micrometeorological factors involved in development and survival of free-living stages of the sheep nematodes Haemonchus contortus and Trichostrongylus colubriformis. *Int. J. Biometeor.*, 19:174-183.
- MALLET S., KERBOEUF D. 1984. Relation entre l'activité enzymatique et le pouvoir infestant au cours du vieillissement des larves infestantes de Heligmosomoides polygyrus (= Nematospiroides dubius). *C. R. Acad. Sc. Paris*, 298(n°2):39-44.
- MALLET S., LESAGE M.C. 1987. Relationship between exsheathment and enzyme activity (alkaline phosphatase and leucine amino peptidase) during ageing of Trichostrongylus colubriformis infective larvae. *Ann. Rech. Vét.*, 18: 275-278.
- MAULEON H., GRUNER L. 1982. Etude du parasitisme par les helminthes des bovins d'arrière mangrove en Guadeloupe. II. Influence des conditions physico-chimiques sur le développement des stades libres des strongles gastro-intestinaux. *Rev. Elev. Méd. vét. Pays trop.*, 35:345-352.
- MAULEON H., GRUNER L. 1984. Influence de la déshydratation des fèces d'ovins sur l'évolution des stades libres de strongles gastro-intestinaux. *Ann. Rech. Vét.*, 15:519-528.
- MELO H.J.H.de 1977. Populations of infective larvae of gastrointestinal nematodes of cattle on pastures, during the dry period, in a savannah area of Mato Grosso state, Brazil. *Arquivos da Escola de Vet. Univ. Federal Minas Gerais*, 29 :89-95.
- MENEAU B. 1981. Les larves libres des strongles digestifs des ruminants: Etude des relations entre les déplacements verticaux des larves d'Ostertagia circumcincta et les facteurs climatiques. Thèse de Doctorat Vétérinaire. Ecole Nationale de Vétérinaire d'Alfort, 79 p.
- MONNIG H.O. 1930. Studies on the bionomics of the free-living stages of Trichostrongylus spp. and other parasitic nematodes. *Rep. Vet. Res. S. Afr.*, 16:175-198.

- OKON E.D., ENYENIHI U.K. 1977. Development and survival of Haemonchus contortus larvae on pastures in Ibadan. Trop. Anim. Hlth. Prod., 9:7-10.
- PACENOVSKY J., KLOOSTERMAN A., ANTONISSE W. 1971. Observations on the translation process of trichostrongylid nematodes. Neth. J. agric., 19: 114-122.
- PANDEY V.S. 1972. Effect of temperature on development of the free-living stages of Ostertagia ostertagi. J. Parasit., 58: 1037-1041.
- PANDEY V.S. 1974. Ecological observations on the free-living stages of Ostertagia ostertagi. Ann. Rech. Vétér., 5: 261-279.
- PANDEY V.S., CHAER A., DAKKAK A. 1989. Effect of temperature on development of the free-living stages of Ostertagia circumcincta. Vet. Parasitol., 32: 193-197.
- PARKIN J.T. 1976. The effect of moisture supply upon the development and hatching of the eggs of Nematodirus battus. Parasitology 73: 343-354.
- PATON G., THOMAS R.J., WALLER P.J. 1984. A prediction model for parasitic gastro-enteritis in lambs. Int.J.Parasit., 14: 439-445.
- PECHEUR M. 1962. Etude de l'influence du pH et de l'action de la cyanamide calcique sur les oeufs et les larves de Trichostrongles et de Strongyloides. Annls Méd. vét., 106:18-41.
- RAYNAUD J.P. 1969. Techniques et Laboratoire Vétérinaire. Série Parasitologie. 1) Le parasitisme des ruminants. Laboratoire Pfizer-Clin. Station Experimentale Pfizer. Amboise (Indre et Loire-France) p.45.
- RAYNAUD J.P. 1970. Etude de l'efficacité d'une technique de coproscopie quantitative pour le diagnostic de routine et le controle des infestations parasitaires des bovins, ovins, équins et porcins. Ann. Parasitol., 45:321-342.
- REES G. 1959. Observations on the vertical migrations of the third-stage larvae of Haemonchus contortus (Rud.) on experimental plots of Lolium perenne S24, in relation to meteorological and micrometeorological factors. Parasitology, 40:127-143.
- RICHARD S. 1985. Activité migratoire des larves infestantes de Teladorsagia circumcincta (Nematoda: Trichostrongylidae): Etude au laboratoire de l'influence de la température. Mémoire Diplôme d'Etudes Approfondies (DEA). Option: Ecologie Expérimentale. Université François Rabelais, Tours. France. 52 p.
- ROGERS W.P. 1940. The effects of environmental conditions on the accessibility of third stage Trichostrongyle larvae to grazing animals. Parasitology, 32:208-225.
- ROGERS W.P. 1960. The physiology of infective processus of nematodes parasites: The stimulus from the animal host. Proc. Roy. Soc., 152:367-386.
- ROGERS W.P. 1965. The role of leucine aminopeptidase in the molting of nematode parasites. Comp. Bioch. Physiol., 14:311-321.
- ROJO VAZQUEZ F.A. 1976. Effect of temperature on the development of pre-parasitic stages of Trichostrongylus axei and T. colufriformis. Rev. Iber. Parasitol., 36:249-255.
- ROSE J.H. 1961. Some observations on the free-living stages of Ostertagia ostertagi, a stomach worm of cattle. Parasitology, 51:295-307.
- ROSE J.H. 1962. Further observations on the free-living stages of Ostertagia ostertagi in cattle. J. Comp. Path., 72:11-18.

- ROSE J.H. 1963a. Ecological observations and laboratory experiments on the free-living stages of Cooperia oncophora. J. Comp. Path., 73:285-296.
- ROSE J.H. 1963b. Observations on the free-living stages of the stomach worm Haemonchus contortus. Parasitology, 53:469-481.
- ROSE J.H. 1964. Relationship between environment and the development and migration of the free-living stages of Haemonchus contortus. J. Comp. Path., 74:163-172.
- ROSE J.H. 1970. Parasitic gastro-enteritis in cattle. Factors influencing the time of the increase in the worm population of pastures. Res. vet. Sci., 11:199-208.
- ROSSANIGO C. E., AVILA J. D., VASQUEZ R., SAGER, R. L., POLI M.A. 1988. Estudios epizootiológicos del parasitismo gastrointestinal bovino en las provincias de San Luis y Córdoba (Argentina). Rev. Arg. Prod. Anim., 8 (3): 259-269.
- ROSSANIGO C. E., GRUNER L. 1991. Accuracy of two methods for counting eggs of sheep nematode parasites. Vet. Parasitol., 39: 115-121.
- SALIH N.E., GRAINGER J.N.R. 1982. The effect of constant and changing temperatures on the development of the eggs and larvae of Ostertagia circumcincta. J. therm. Biol., 7:35-38.
- SANTANA J.C.R., DA LUZ E.A.T., BARBOSA S.J. 1983. Helminthoses gastrointestinais e pulmonares em bezerros Zebu na Região de Cachoeira do Mato- Extremo sul da Bahia. Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira (Brazil), Boletim Técnico 117: 3-12.
- SCHMIDT J.M., TODD K.S., LEVINE N.D. 1974. Moisture stress effects on survival of infective Trichostrongylus colubriformis larvae. J. Nematol., 6:27-29.
- SHORB D.A. 1943. Survival on grass plots of eggs and preinfective larvae of the common sheep stomach worm, Haemonchus contortus. J. Parasit., 29:284-289.
- SILANGWA S.M., TODD H.C. 1964. Vertical migration of Trichostrongylidae larvae on grasses. J. Parasit., 50:278-285.
- SILVERMAN P.H., CAMPBELL J.A. 1959. Studies on parasitic worms of sheep in Scotland. I. Embryonic and larval development of Haemonchus contortus at constant conditions. Parasitology, 49:23-28.
- SILVERMAN P.H., PODGER K.R. 1964. In vitro exsheathment of some nematode infective larvae. Exp. Parasitol., 15:314-324.
- SKINNER W.D., TODD K.S. 1980. Lateral migration of Haemonchus contortus larvae on pasture. Am. J. Vet. Res., 41: 395-398.
- SLOCOMBE J.O.D., WHITLOCK J.H. 1970. The influence of pCO₂ and the rate of shaking on the ecdysis of infective Haemonchus contortus cayugensis larvae. Parasitology, 61:259-265.
- SOMMERVILLE R.I. 1957. The exsheathing mechanism of nematode infective larvae. Exp. Parasitol., 6:18-30.
- SOMMERVILLE R.I. 1963. Distribution of some nematodes in the alimentary tract of sheep, cattle and rabbits. J. Parasitol., 49:593-599.
- SOULSBY E.J.L. 1965. Textbook of Veterinary clinical Parasitology, vol. 1: Helminthology, ed. Blackwell Scientific Publication, Oxford, London, 1097 p.
- STEWART M.A., DOUGLAS J.R. 1938. Studies on the bionomic of Trichostrongylus axei (Cobbold) and its seasonal incidence on irrigated pastures. Parasitology, 30: 477- 489.

- SUAREZ V.H., CABARET J. 1991. Predicting digestive-tract strongyle infection of beef cattle in Argentina's western Pampas: contamination of pasture as a key factor. *Prev. Vet. Med.*, 11: 1-8.
- SURYAHADI, GRUNER L. 1985. Effets de l'irrigation par submersion d'une prairie à ovins sur la dispersion verticale des larves de Teladorsagia circumcincta. *Ann. Parasitol. Hum. Comp.*, 60: 709-714.
- SURYAHADI. 1986. Effets de l'irrigation par submersion des pâturages sur l'écologie des strongles gastro-intestinaux et la localisation spatio-temporelle du risque d'infestation des ovins. Thèse de Doctorat 3ème cycle, Université des Sciences et Techniques du Languedoc, Acad. de Montpellier, Montpellier, 137p.
- THOMAS R.J., STARR J.R. 1978. Forecasting the peak of gastrointestinal nematode infection in lambs. *Vet. Rec.*, 103: 465-468.
- TODD K.S., LEVINE N.L., WHITESIDE C.C. 1970. Moisture stress on survival of infective Haemonchus contortus larvae. *J. Nematol.*, 2:330-333.
- TODD K.S., LEVINE N.D., BOATMAN P.A. 1976. Effect of desiccation on the survival of infective Haemonchus contortus larvae under laboratory conditions. *J. Parasit.*, 62: 247-249.
- TODD K.S., LEVINE N.D., WAGHER B.N. 1977. Effects of repeated desiccation on survival of infective Cooperia punctata larvae. *J. Parasit.*, 63:956-957.
- TONGSON M.S., TROVELA V. 1976. Epidemiology of bovine parasitic gastro enteritis in the Philippines. VII.- Monthly mean strongyle ova counts of calves at the Verandia Ranch. *Philipp. J. Vet. Med.*, 15: 49-54.
- URIARTE J., GRUNER L. 1989. Evolution et survie des stades libres de Trichostrongylidae d'ovins sur prairie irriguée à Saragosse(Espagne). *Ann. Rech. Vét.*, 20: 83-92.
- VEGLIA F. 1915. The anatomy and life history of the Haemonchus contortus(Rud.). *Rep. Vet. Res. S. Afr.*, 3: 349-500.
- WALLACE H.R. 1958. Movement of eelworms. III.-The relationship between eelworm length, activity and mobility. *Ann. appl. Biol.*, 46: 662-668.
- WALLACE H.R. 1961.The bionomics of the free-living stages of zoo-parasitic and phyto-parasitic nematodes, a critical survey. *Helminth. Abstracts*, 30: 1-22.
- WALLACE H.R., DONCASTER C.C. 1964. A comparative study of the movement of some microphagous plant-parasitic and animal-parasitic nematodes. *Parasitology*, 54: 313-326.
- WALLER P.J., DONALD A.D. 1970a. The response to desiccation of eggs of Trichostrongylus colubriformis and Haemonchus contortus(Nematoda: Trichostrongylidae). *Parasitology* 61:195-204.
- WALLER P.J., DONALD A.D. 1970b. Egg size and desiccation survival in Trichostrongylus colubriformis(Nematoda: Trichostrongylidae). *Parasitology*, 61:205-209.
- WANG G.T. 1967. Effect of temperature and cultural methods on development of the free-living stages of Trichostrongylus colubriformis. *Am. J. Vet. Res.*, 28:1085-1090.
- WHARTON D. 1982. The survival of desiccation by the free-living stages of Trichostrongylus colubriformis (Nematode: Trichostrongylidae). *Parasitology*, 84: 455-462.

- WILLIAMS J.C., BILKOVICH F.R. 1971. Development and survival of infective larvae of the cattle nematode, Ostertagia ostertagi. J. Parasit., 57: 327-338.
- WILLIAMS J.C., BILKOVICH F.R. 1973. Distribution of Ostertagia ostertagi infective larvae on pasture herbage. Am. J. Vet. Res., 34: 1337-1344.
- YOUNG R.R., ANDERSON N. 1981. The ecology of the free-living stages of Ostertagia ostertagi in a winter rainfall region. Aust. J. Agric. Res., 32: 371-388.

RESUME

Carlos Esteban ROSSANIGO (1992)

ROLE DE L'EAU ET DE LA TEMPERATURE SUR LES TAUX DE DEVELOPPEMENT
DES NEMATODES PARASITES DU TRACTUS DIGESTIF DES RUMINANTS.

RESUME

Les conditions climatiques ont un rôle prépondérant sur la distribution géographique et sur les variations temporelles des diverses espèces de nématodes parasites du tractus digestif des ruminants. Sur un exemple tiré du parasitisme des bovins du centre-ouest de l'Argentine, température et précipitation sont parmi les principaux facteurs expliquant l'abondance des principaux genres.

L'objectif du travail expérimental était de mesurer l'importance du facteur eau à proximité immédiate des oeufs et larves des nématodes (humidité pondérale des fèces), avec et sans celui de la température, sur la partie du cycle de développement allant de l'oeuf à la larve infestante.

Par des dépôts de fèces d'animaux parasités dans des situations climatiques diversifiées, il est montré que le développement des nématodes de bovins est conditionné en premier lieu par la température, la déshydratation intervenant dans une moindre mesure. Celui des espèces parasites d'ovins, dans des fèces en grains, est par contre conditionné par l'humidité pondérale puis par la température.

Les exigences thermiques et surtout hydriques sont définies en conditions contrôlées sur 8 espèces de bovins, ovins et cervidés multipliées sur ovin. Il est établi pour la 1ère fois la courbe de taux de développement fonction de la température pour Ostertagia leptospicularis et celles en fonction de l'humidité des fèces pour la même espèce ainsi que pour Cooperia oncophora, Ostertagia ostertagi, Trichostrongylus vitrinus et Chabertia ovina. L'adaptation aux faibles humidités s'avère être le principal caractère spécifique.

La taille des larves infestantes, fonction du volume des cellules intestinales où s'accumulent les réserves lipidiques, est fonction des conditions de développement: elle croît linéairement avec l'humidité des fèces, et est maximale aux températures optimales de développement. Cette variation de taille semble ne pas avoir de conséquence sur la survie des larves; par contre les larves courtes ont une aptitude à migrer diminuée, un processus de dégainement ralenti et l'aptitude à s'installer chez l'hôte paraît plus faible. La résistance aux conditions sèches ne s'exprime pas par un déterminisme génétique simple, la sélection d'une lignée de Teladorsagia circumcincta sur ce caractère pendant 5 générations n'a pas fait évoluer le taux de développement aux basses humidités.

Mots clé: Nématodes - Parasites - Ovins - Bovins - Ecologie - Développement - Eau - Température -

ANNEXES

ANNEXE 1

Veterinary Parasitology, 39 (1991) 115-121
Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam

115

Accuracy of two methods for counting eggs of sheep nematode parasites

C.E. Rossanigo¹ and L. Gruner

INRA, Station de Pathologie Aviaire et Parasitologie, Unité d'Ecologie des Parasites, 37380 Nouzilly, France

(Accepted 10 December 1990)

ABSTRACT

Rossanigo, C.E. and Gruner, L., 1991. Accuracy of two methods for counting eggs of sheep nematode parasites. *Vet. Parasitol.*, 39: 115-121.

A comparative study was carried out on eight species of sheep gastrointestinal nematodes in order to compare the value of two techniques for egg counting: the classical McMaster technique with saturated magnesium sulfate solution and a technique of egg extraction from faeces and counting by total collection after three centrifugations. Efficiency of extraction from 10 g of faeces was 95.9 to 99.5% according to the species of parasite, whereas the number of eggs counted by the McMaster technique represented only 16.5% of the total eggs present in the faeces. Advantages inherent in the use of these techniques are discussed.

INTRODUCTION

Faecal egg counts are a cheap and easily performed technique in the diagnosis of helminthiasis in livestock. Many methods have been developed to examine faeces for helminth eggs, but that of McMaster (Gordon and Whitlock, 1939; Whitlock, 1948) has proved to be among the most consistently useful. This flotation technique estimates the number of eggs per gram of faeces (EPG). Roberts and O'Sullivan (1950), Levine et al. (1960) and Raynaud (1970) described some modifications.

Le Jambre (1976), Coles and Simpkin (1977), and Hall et al. (1978) described a method for determining levels of resistance based on the ovicidal action of benzimidazole anthelmintics; Hubert and Kerboeuf (1984), describing a new method for culture of larvae, proposed a technique of extraction and counting the eggs by collection of clean eggs from faeces.

The present study compares the effectiveness of the McMaster technique

¹Permanent address: INTA, Estacion Experimental Agropecuaria San Luis, C.C. 17, 5730 Villa Mercedes, San Luis, Argentina.

as modified by Raynaud (1970) and of an adaptation of the extraction technique cited above.

MATERIALS AND METHODS

Helminth strains

Strains of nematode parasites of sheep, cattle and deer were maintained in the laboratory on monoinfested sheep. The experimental strains were *Teladorsagia circumcincta*, *Ostertagia ostertagi*, *Ostertagia leptospicularis*, *Trichostrongylus colubriformis*, *Trichostrongylus vitrinus*, *Haemonchus contortus*, *Cooperia oncophora* and *Chabertia ovina*. A single dose of 500 to 10 000 infective larvae from one of the strains was given to between one and three 2-to-4-month-old lambs kept in a metabolic box.

Fresh faeces of normal consistency were collected from individual animals, and the same sample was used for egg counts by the two techniques. All counts were made by the same person.

McMaster technique

The number of eggs per gram of faeces (EPG) was determined by the McMaster method as modified by Raynaud (1970); the flotation of the eggs was done using magnesium sulfate (sp.g. 1.27).

Egg extraction and counting by collection after centrifugation

For the extraction of the eggs (EE), 10 g of faeces were mixed with 50 ml of water and the resulting paste was washed with a stream of water through four successive sieves (1 mm, 250 μm , 125 μm and 20 μm aperture). Material collected on the last sieve was washed into a flask, mixed with 2 g kaolin (hydrated aluminium silicate) and concentrated by centrifugation for 7 min at 2500 rev min⁻¹. After the centrifugation, excess water was removed and the pellet was well mixed with three volumes of a solution of magnesium sulfate (sp.g. 1.27). After centrifugation (5 min at 1500 rev min⁻¹), the supernatant was poured into a 20 μm sieve and the residue containing eggs was thoroughly washed with tap water to remove all traces of salt. This centrifugation with MgSO₄ was performed three times (C1-C2-C3) to recover most of the eggs. The eggs were transferred to a sedimentation flask, concentrated and checked microscopically to determine their number by dilution (20 to 30 samples of 10 μl).

Efficiency of the techniques

For each nematode species, a series of four replicates was performed to study the egg collection rates at each centrifugation (Table 1). The eggs were recovered from the centrifugation pellet (PC), and from the debris remaining on the 250 and 125 μm sieves (DS), by flotation in mercuric and potassium iodide (sp.g. 1.44). This solution is composed of 100 g of HgI_2 , 74 g of KI and 265 ml of water. The eggs adhering or remaining in the 20 μm sieve (S20) were recovered by decantation after washing in water. The percentage extraction efficiency was calculated using the formula:

$$\text{Extraction efficiency (\%)} = 100 \times \frac{\text{eggs from centrifugations (C1 + C2 + C3)}}{\text{Total eggs (C1 + C2 + C3 + PC + DS + S20)}}$$

The efficiency of the EPG technique was calculated by comparing EPG (the number of eggs per gram of faeces) to the number of extracted eggs corrected for the efficiency rate of the extraction technique:

$$\text{EPG efficiency} = \text{EPG} / (\text{Extracted (C1 + C2 + C3)} / \text{Extraction efficiency})$$

Analysis of variance by Tukey's test was used for statistical analyses.

TABLE 1

Efficiency of egg extraction from 10 g of faeces by three centrifugations (C1, C2, C3) and losses of remaining eggs

Nematode species	No. of samples	Efficiency (%) ¹				Loss (%) ²		
		C1	C2	C3	Total	PC	DS	S20
<i>T. circumcincta</i>	4	68.4 ± 9.9	23.2 ± 8.0	4.3 ± 1.1	95.88 ± 2.05	4.12	0	0
<i>O. ostertagi</i>	4	90.1 ± 1.7	6.2 ± 1.1	1.5 ± 0.4	97.85 ± 0.77	1.83	0.32	0
<i>O. leptospicularis</i>	4	83.5 ± 5.3	11.0 ± 6.6	3.3 ± 1.6	97.82 ± 0.82	2.09	0.09	0
<i>T. colubriformis</i>	4	90.7 ± 1.2	7.8 ± 1.4	0.8 ± 0.6	99.31 ± 0.47	0.62	0.07	0
<i>T. vitrinus</i>	4	80.4 ± 2.4	10.7 ± 2.6	7.6 ± 2.3	98.70 ± 0.63	1.24	0.06	0
<i>H. contortus</i>	4	81.1 ± 14.2	14.4 ± 10.6	4.0 ± 3.5	99.47 ± 2.61	0.50	0.04	2 × 10 ⁻⁴
<i>C. oncophora</i>	4	91.5 ± 1.9	4.3 ± 1.5	3.4 ± 1.0	99.16 ± 0.63	0.78	0.02	5 × 10 ⁻³
<i>CH. ovina</i>	4	94.9 ± 1.3	3.6 ± 1.2	0.7 ± 0.4	99.17 ± 0.31	0.81	0.02	0

¹Mean of four replicates. ± standard deviation.

²Eggs recovered from: PC, centrifugation pellet; DS, debris on the 250 and 125 μm sieves; S20, the 20 μm sieve.

RESULTS

Efficiency of egg extraction from 10 g faeces and losses of eggs during the technique, expressed as a percentage of the total, are given in Table 1. The mean rates of recovery were 68.4 to 94.9% after the first centrifugation, 3.6 to 23.2% in the second and 0.7 to 7.6% after the third centrifugation. Total efficiency of the three centrifugations was 95.88 to 99.47%, depending upon species. The variation of the extraction efficiency did not vary with egg numbers and had an average of 8.9% (Fig. 1).

The results of the egg counts obtained by the two techniques are given in Table 2. Comparisons were made on series of two extractions and two to six

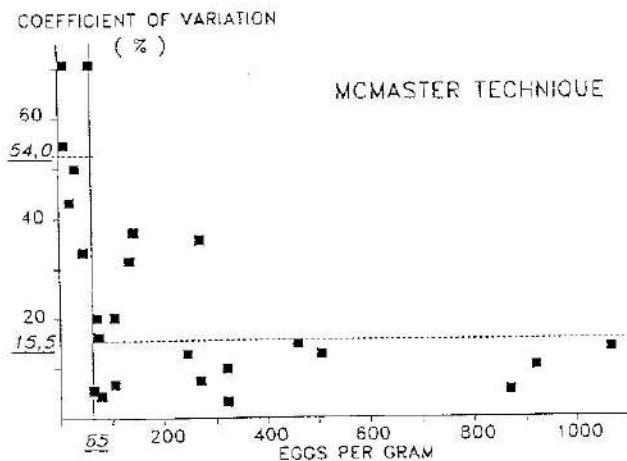
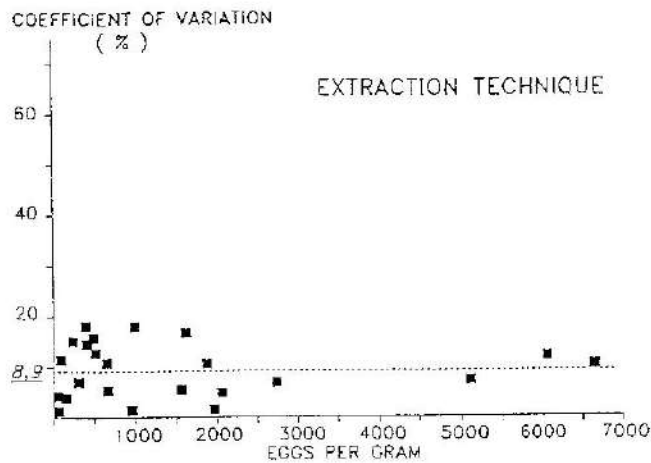


Fig. 1. Coefficient of variation of the accuracy of two experimental techniques for counting nematode eggs in ovine faeces.

TABLE 2

Results of egg counts obtained by using two techniques, and efficiency of the McMaster technique

Nematode species	Extraction (EE) method ^{1,2}	McMaster technique	
		Egg count (EPG) ¹	Efficiency (%) ³
<i>T. circumcincta</i>	692 (2.4)	105 (20.2)	14.5
	405 (14.5)	75 (16.3)	17.8
	486 (15.7)	71 (20.1)	14.0
	1960 (1.4)	322 (9.9)	15.8
	1870 (10.6)	270 (7.4)	13.8
	1560 (5.4)	245 (12.7)	15.1
	2050 (4.8)	322 (3.2)	15.1
	2730 (6.7)	460 (14.7)	16.2
<i>O. ostertagi</i>	228 (15.0)	45 (33.3)	19.3
	305 (7.0)	60 (70.7)	19.2
	143 (3.8)	30 (50.0)	20.6
	93 (11.4)	20 (43.3)	21.0
<i>O. leptospicularis</i>	54 (4.2)	10 (70.7)	18.2
	58 (1.2)	10 (54.7)	17.0
<i>T. colubriformis</i>	6636 (10.3)	1066 (13.7)	16.0
	3428 (6.0)	505 (12.7)	14.6
	1610 (16.7)	270 (35.6)	16.7
<i>T. vitrinus</i>	650 (10.8)	105 (6.7)	15.9
	655 (5.3)	105 (20.2)	15.8
<i>H. contortus</i>	6050 (11.9)	918 (10.2)	15.1
	5105 (7.1)	867 (5.3)	16.9
<i>C. oncophora</i>	985 (17.9)	143 (37.2)	14.4
	950 (1.4)	135 (31.4)	14.1
<i>CH. ovina</i>	295 (18.0)	63 (5.6)	21.2
	508 (12.7)	78 (4.5)	15.2
Mean	(8.9)	(24.4)	16.5 (13.5)

¹Mean number of eggs per gram of faeces, with coefficient of variation (100 SD/mean)²Total of three centrifugations.³Egg count (EPG) expressed as a percentage of the number of eggs extracted, corrected by the efficiency rate of the extraction (EE) technique.

EPG determinations (generally three or four) on the same faecal sample. Both techniques and all counts were conducted by the same person.

For all species, the numbers of eggs counted by extraction were higher than those obtained by EPG; this difference was statistically significant ($P < 0.01$).

The efficiency of the McMaster technique for the eight species studied, was that it counted only 16.5% of the eggs present in the faeces, with a coefficient of variation of 24.4% (CV was 54% when there were between 0 and 65 eggs per gram, and 15.5% when there were between 65 and 1100 eggs per gram)

(Fig. 1). Analysis of variance by Tukey's test showed that this efficiency was independent of the species and of the number of eggs ($P > 0.05$).

DISCUSSION

The extraction of eggs from faeces is a technique commonly used in egg hatch assays for determining the level of anthelmintic resistance in nematode strains (Le Jambre, 1976; Coles and Simpkin, 1977; Hall et al., 1978). However, the efficiency of such extraction is not usually estimated. Wassall and Denham (1969) collected between 84 and 95% of *Nematodirus* eggs from bovine and ovine faeces by flotation on a stream of saturated salt solution. After two centrifugations in magnesium sulphate, Hubert and Kerboeuf (1984) recovered 93% of the number of eggs counted by coproscopy. Our results give a real accuracy of more than 98%, all the eggs lost during the different steps of the technique being estimated. With this very satisfactory result, the coefficient of variation when eggs were extracted from two to four samples of 10 g taken from 200–500 g of faeces deposited by sheep in 12–24 h is in fact an estimate of the variability of egg density in the samples of faeces.

Egg counts by the classical McMaster technique are lower, and the comparison with extracted egg counts corrected for extraction efficiency gives a good estimate of the efficiency of the McMaster technique. Only 16.5% of eggs are counted, independent of the species studied. The variability of the estimate is higher than with the extraction technique, especially at low egg densities.

The EPG technique has the advantage of being faster and easier than the EE method. It is very useful in epidemiological surveys when parasite levels are compared between animals or flocks or times of sampling. Sodium chloride solution is commonly used in different countries; few comparisons have been made with magnesium sulfate solution. Raynaud (1970) found similar results. In France, mercuric and potassium iodide are often used in veterinary laboratories because liver fluke eggs can be counted at the same time. We have compared egg counts from 60 sheep faecal samples after using magnesium sulfate and mercuric and potassium iodide as flotation solutions. Results were not significantly different.

The EE technique takes more time because of the centrifugations, but its high accuracy permits the detection of lower egg counts and is of primary interest in quantitative investigations of egg survival or development in faeces.

REFERENCES

- Coles, G.C. and Simpkin, K.G., 1977. Resistance of nematode eggs to the ovicidal activity of benzimidazoles. *Res. Vet. Sci.*, 22: 386–387.
- Gordon, H.M. and Whitlock, H.V., 1939. A new technique for counting nematode eggs in sheep faeces. *J. Coun. Sci. Ind. Res.*, 12: 50–52.

- Hall, C.A., Campbell, N.J. and Richardson, N.J., 1978. Levels of benzimidazole resistance in *Haemonchus contortus* and *Trichostrongylus colubriformis* recorded from an egg hatch test procedure. *Res. Vet. Sci.*, 25: 360-363.
- Hubert, J. and Kerboeuf, D., 1984. A new method for culture of larvae used in diagnosis of ruminant gastrointestinal strongylosis: comparison with fecal cultures. *Can. J. Comp. Med.*, 48: 63-71.
- Le Jambre, L.F., 1976. Egg hatch as an *in vitro* assay of thiabendazole resistance in nematodes. *Vet. Parasitol.*, 2: 317-332.
- Levine, N.D., Mehra, K.N., Clark, D.T. and Aves, I.J., 1960. A comparison of nematode egg counting techniques for cattle and sheep feces. *Am. J. Vet. Res.*, 21: 511-515.
- Raynaud, J.P., 1970. Etude de l'efficacité d'une technique de coproscopie quantitative pour le diagnostic de routine et le contrôle des infestations parasitaires des bovins, ovins, équins et porcins. *Ann. Parasitol.*, 45: 321-342.
- Roberts, F.H. and O'Sullivan, P.J., 1950. Methods for egg counts and larval cultures from strongyles infesting the gastrointestinal tract of cattle. *Aust. J. Agric. Res.*, 1: 99-102.
- Wassall, D.A. and Denham, D.A., 1969. A method for the recovery of nematode eggs from faeces. *Parasitology*, 59: 279-282.
- Whitlock, H.V., 1948. Some modifications of the McMaster helminth egg-counting technique and apparatus. *J. Coun. Sci. Ind. Res.*, 21: 177-180.

Annexé 3: développement des oeufs (L3/100 oeufs), teneur en eau (%) et températures (°C) des fèces selon les diverses conditions des dépôts après un séjour de 48 heures. LH et LB=luzerne haute et basse, RGH et RGB= Ray Grass haut et bas.

Conditions	L3/100 oeufs *	Teneur en eau (%)			Températures (°C)					
		min.	max.	moy.	min.	max.	moy.	** nbh > 35°	40°	
Dépôt 3										
LH ouvert	19 + 8	24	58	37	12	40	22	7	0	
fermé	13 + 4	48	68	59	10	48	21	4	2	
LB ouvert	11 + 4	6	58	22	12	33	20	0	0	
fermé	12 + 7	52	64	59	9	49	22	6	3	
RGH ouvert	16 + 3	22	58	37	12	34	20	0	0	
fermé	16 + 4	52	67	59	10	38	19	0	2	
RGB ouvert	6 + 2	4	58	21	11	41	23	8	3	
fermé	16 + 3	50	67	59	10	41	20	1	1	
Dépôt 4										
LH ouvert	24 + 4	51	75	68	9	43	18	3	2	
fermé	15 + 3	53	59	56	7	28	17	0	0	
LB ouvert	29 + 6	49	75	65	10	44	19	4	3	
fermé	17 + 2	55	59	57	5	39	17	4	0	
RGH ouvert	40 + 10	52	71	62	9	37	17	1	0	
fermé	15 + 3	56	59	57	6	26	18	0	0	
RGB ouvert	22 + 11	44	76	65	9	46	18	4	3	
fermé	11 + 3	55	59	57	4	30	16	0	0	
Dépôt 5										
LH ouvert	34 + 12	48	73	60	13	26	17	0	0	
fermé	9 + 3	53	58	56	11	25	16	0	0	
LB ouvert	42 + 5	47	74	60	13	22	17	0	0	
fermé	11 + 4	54	58	56	10	27	17	0	0	
RGH ouvert	37 + 7	46	70	59	13	22	16	0	0	
fermé	9 + 2	56	58	57	11	27	26	0	0	
RGB ouvert	28 + 8	39	71	57	12	28	17	0	0	
fermé	11 + 1	55	58	56	10	24	15	0	0	

* moyenne de 5 répétitions + écart type

** nbh > 35° 40° = nombre d'heures > à 35°C et > à 40°C

Annexe 4: développement des oeufs (L3/100 oeufs), teneur en eau (%) et températures (°C) des fèces selon les diverses conditions de dépôts après un séjour de 2 semaines. LH et LB= luzerne haute et basse, RGH et RGB= Ray Grass haut et bas.

Conditions	L3/100 oeufs *		Teneur en eau (%)			Températures (°C)				
	MF	Soi	min.	max.	moy.	min.	max.	moy.	** nbh > 35°	40°
Dépôt 1										
LH ouv.	0,1	0,1	12	68	45	7	32	18	0	0
fermé	17 + 12	---	50	60	56	3	37	20	8	0
LB ouv.	0,1	0,1	11	67	43	6	38	18	6	0
fermé	9 + 3	---	50	64	57	3	39	20	44	0
RGH ouv.	0	0,1	6	60	28	7	43	21	35	19
fermé	12 + 4	---	51	60	55	5	43	20	28	13
RGB ouv.	0	0,1	9	60	31	7	50	21	39	23
fermé	20 + 7	---	45	60	53	3	34	19	0	0
Dépôt 2										
LH ouv.	0,3	0,1	0	67	40	7	32	19	0	0
fermé	11 + 6	---	48	59	54	3	37	21	7	0
LB ouv.	0,1	0	2	65	36	6	38	19	6	0
fermé	9 + 4	---	53	59	55	3	39	21	44	0
RGH ouv.	0,1	0	0	63	24	7	43	22	35	19
fermé	10 + 1	---	55	58	55	5	43	21	28	13
RGB ouv.	0	0	3	62	23	7	50	22	39	23
fermé	15 + 4	---	52	59	54	3	34	19	0	0
Dépôt 3										
LH ouv.	12	0,2	0	72	49	9	47	21	43	18
fermé	11 + 2	---	48	71	59	7	48	19	4	2
LB ouv.	3	0,1	4	72	42	10	44	20	14	7
fermé	6 + 3	---	51	67	59	5	49	20	20	4
RGH ouv.	8	0,1	4	71	49	9	37	19	3	0
fermé	12 + 2	---	52	67	59	6	38	18	4	0
RGB ouv.	0,2	0,1	0	72	38	9	48	21	49	28
fermé	11 + 2	---	50	67	59	4	41	18	1	1
Dépôt 4										
LH ouv.	0,4	2	51	78	71	9	44	19	19	9
fermé	18 + 3	---	47	70	58	7	32	18	0	0
LB ouv.	1,5	2	49	76	67	10	44	19	5	3
fermé	7 + 4	---	53	67	58	5	41	19	13	3
RGH ouv.	2	1,5	50	77	68	9	37	19	1	0
fermé	18 + 3	---	53	66	58	6	38	18	2	0
RGB ouv.	0,5	1	3	77	54	9	46	20	27	15
fermé	13 + 4	---	54	66	58	4	35	18	1	0
Dépôt 5										
LH ouv.	3	1	47	75	66	11	44	20	16	7
fermé	19 + 2	---	52	66	55	10	32	19	0	0
LB ouv.	3	1	41	75	65	11	36	19	1	0
fermé	14 + 2	---	50	66	56	8	41	20	9	3
RGH ouv.	3	0,5	41	75	63	11	34	19	0	0
fermé	23 + 2	---	53	63	57	10	38	19	2	0
RGB ouv.	0,2	0,4	5	71	49	11	45	20	23	12
fermé	15 + 3	---	48	64	55	10	35	18	1	0

* moyenne de 5 répétitions + écart type. ** nombre d'heures > à 35 et 40°C

Carlos Esteban ROSSANIGO (1992)

ROLE DE L'EAU ET DE LA TEMPERATURE SUR LES TAUX DE DEVELOPPEMENT
DES NEMATODES PARASITES DU TRACTUS DIGESTIF DES RUMINANTS.

RESUME

Les conditions climatiques ont un rôle prépondérant sur la distribution géographique et sur les variations temporelles des diverses espèces de nématodes parasites du tractus digestif des ruminants. Sur un exemple tiré du parasitisme des bovins du centre-ouest de l'Argentine, température et précipitation sont parmi les principaux facteurs expliquant l'abondance des principaux genres.

L'objectif du travail expérimental était de mesurer l'importance du facteur eau à proximité immédiate des oeufs et larves des nématodes (humidité pondérale des fèces), avec et sans celui de la température, sur la partie du cycle de développement allant de l'oeuf à la larve infestante.

Par des dépôts de fèces d'animaux parasités dans des situations climatiques diversifiées, il est montré que le développement des nématodes de bovins est conditionné en premier lieu par la température, la déshydratation intervenant dans une moindre mesure. Celui des espèces parasites d'ovins, dans des fèces en grains, est par contre conditionné par l'humidité pondérale puis par la température.

Les exigences thermiques et surtout hydriques sont définies en conditions contrôlées sur 8 espèces de bovins, ovins et cervidés multipliées sur ovin. Il est établi pour la 1ère fois la courbe de taux de développement fonction de la température pour Ostertagia leptospicularis et celles en fonction de l'humidité des fèces pour la même espèce ainsi que pour Cooperia oncophora, Ostertagia ostertagi, Trichostrongylus vitrinus et Chabertia ovina. L'adaptation aux faibles humidité s'avère être le principal caractère spécifique.

La taille des larves infestantes, fonction du volume des cellules intestinales où s'accumulent les réserves lipidiques, est fonction des conditions de développement: elle croît linéairement avec l'humidité des fèces, et est maximale aux températures optimales de développement. Cette variation de taille semble ne pas avoir de conséquence sur la survie des larves; par contre les larves courtes ont une aptitude à migrer diminuée, un processus de dégainement ralenti et l'aptitude à s'installer chez l'hôte paraît plus faible. La résistance aux conditions sèches ne s'exprime pas par un déterminisme génétique simple, la sélection d'une lignée de Teladorsagia circumcincta sur ce caractère pendant 5 générations n'a pas fait évoluer le taux de développement aux basses humidités.

Mots clé: Nématodes - Parasites - Ovins - Bovins - Ecologie - Développement - Eau - Température -