



## MASTER 2<sup>EME</sup> ANNEE

Santé Publique Paris Sud-Saclay et Santé UPEC  
Dominante

### *SURVEILLANCE EPIDEMIOLOGIQUE DES MALADIES HUMAINES ET ANIMALES*

## **RAPPORT DE STAGE**

Épidémiologie des infestations par les Nématodes Gastro  
Intestinaux (NGIs) en élevages caprins :

Identification de facteurs de réceptivité et validation de critères  
sub-cliniques pour une application raisonnée des traitements  
anthelminthiques

Présenté par

**Griselda MEZA OCAMPOS**

Réalisé sous la direction du : Dr. Hervé Hoste  
Organisme et pays : INRA/ENVT/UMR – IHAP 1225  
Période du stage : 15 janvier – 15 juin 2018  
Date de soutenance : 25 juin 2018

## REMERCIEMENTS

Merci à,

Au docteur Hervé Hoste, pour sa confiance et son implication dans mon travail et son infinité patience. Son encadrement a été très formateur et très précieux.

A tout l'équipe de l'UMR 1225 (INMD), Setha, Éric, Pascale, Marie, Laurence Carine, Cyrielle et Jean Marc

Un grand merci à Christine Citti, directrice de l'UMR 1225 pour m'avoir acceptée

Au tous les enseignants du Master2, un grand merci

Un super merci aux Mamá, Papá, Esther, Nery, Facuchi, Isabel (et bébé), Tingad (los quiero demasiado)

A BECAL et à la génération FR01 – 2018, merci

Au Projet CORE ORGANIC2- PROPARA sur le Parasitisme des caprins par les nématodes gastro-intestinaux et au projet COMBAR.

# TABLE DES MATIERES

REMERCIEMENTS .....	2
TABLE DES MATIERES.....	3
LISTE DES FIGURES .....	5
LISTE DES TABLEAUX .....	6
LISTE DES ANNEXES .....	6
ABREVIATIONS .....	8
RESUME COURT .....	9
RESUME LONG.....	10
INTRODUCTION.....	11
PREMIERE PARTIE : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE .....	12
1. Présentation générale de la région Occitanie .....	12
2. Elevage caprin au pâturage .....	12
2.1. Intérêt du pâturage.....	13
2.2. Gestion du pâturage.....	13
3. Les nématodes gastro - intestinaux et leur épidémiologie.....	14
3.1. Généralités sur les nématodes gastro – intestinaux .....	14
3.2. Biologie et cycle de vie des nématodes gastro - intestinaux .....	14
3.3. Épidémiologie des nématodes gastro – intestinaux.....	16
4. Conséquences pour l’hôte et impact économique .....	18
5. Les traitements anthelminthiques de synthèse .....	18
5.1. Les traitements anthelminthiques de synthèse et leur mécanisme d’action .....	18
5.2. Les avantages des traitements anthelminthiques de synthèse .....	19
5.3. Les limites des traitements anthelminthiques de synthèse .....	19
6. Mise en place de traitements anthelminthiques raisonnés.....	20
6.1. Traitement Sélectif .....	21
6.2. Traitement Ciblé.....	21
7. Les indicateurs utilisés dans les traitements raisonnés.....	21
7.1. Indicateurs objectifs .....	21
7.2. Indicateurs subjectifs.....	22
7.3. Indicateurs zootechniques .....	22
8. Point de vue des éleveurs .....	22
DEUXIEME PARTIE : TRAVAIL PERSONNEL .....	23
I. OBJECTIFS .....	23
II. MATERIEL ET METHODES .....	24

1.	Présentation de lieu de stage : L'UMR 1225 IHAP - INMD .....	24
2.	Bases de données disponibles et collection de l'information.....	24
A.	La Plateforme expérimentale PATUCHEV .....	24
a)	Population d'étude et échantillonnage .....	25
b)	Protocole .....	25
1.	Localisation y présentation de la ferme expérimentale PATUCHEV .....	25
2.	Modalités des prélèvements : .....	25
3.	Les Analyses statistiques.....	26
B.	Huit (8) fermes de la région Occitanie .....	27
a)	Populations d'étude et échantillonnage : .....	27
b)	Protocole .....	28
1.	Localisation et présentation générale de 8 Fermes.....	28
2.	Modalités de prélèvements : .....	28
3.	Les Analyses statistiques.....	29
C.	Validations des Méthodes de Coproscopie Individuelle, Coprologie Mélange, Coprologie Broyat.....	30
a)	Population d'étude et échantillonnage : .....	30
b)	Protocole .....	30
1.	Modalités de prélèvements et d'analyses de laboratoires .....	30
2.	Les Analyses statistiques.....	31
III.	RESULTATS .....	33
A.	Ferme Expérimentale PATUCHEV .....	33
1.	Résultats des moyennes et déviations standard d'excrétions d'œufs des nématodes gastro – intestinaux de 2014 à 2017 .....	33
2.	Analyse des résultats d'excrétions des œufs des nématodes gastro – intestinaux.....	34
2.1.	Résultats d'analyses par passage selon le Lot d'appartenance, pour chaque année	34
2.2.	Résultats d'analyses entre passage, par lot, par chaque année.....	35
3.	Fréquence des animaux égal ou supérieur à 500 opg pendant 2014 – 2017 .....	36
4.	Analyses de Répétabilité 2014 - 2017 .....	37
B.	Résultat d'analyses de 8 Fermes région Occitanie .....	37
1.	Résultats moyens d'excrétions des œufs des nématodes gastro-intestinaux pour chaque ferme suivie en 2016 et 2017 .....	37
2.	Résultats moyens des valeurs d'Hématocrite dans chaque ferme suivie en 2016 et 2017	37
3.	Résultats moyens des valeurs de Note FAMACHA® dans chaque ferme suivie en 2016 et 2017.....	38
4.	Résultats moyens des valeurs de Note d'Etat Corporel dans chaque ferme suivie en 2016 et 2017 .....	38

5.	Résultats des Corrélations entre indicateurs quantitatifs et semi - quantitatifs .....	39
5.1.	Résultats des corrélation 8 fermes au total n= 896.....	39
5.2.	Résultats de corrélation entre les indicateurs mesurés dans chaque ferme .....	39
6.	Sensibilité – Spécificité de la méthode FAMACHA® pour comparaison à seuils d'Hématocrite.....	41
6.1.	Résultats de l'évaluation FAMACHA – Hématocrite (Critère 1) .....	41
6.2.	Résultats de l'évaluation FAMACHA – Hématocrite (Critère 2) .....	41
6.3.	Pourcentage des animaux à traiter selon critère et seuil de décision .....	42
C.	Résultats de Validation des Méthodes de Coproscopie de Groupe .....	42
1.	Corrélation entre Coproscopies Individuelles - Mélange - Broyat n= 219 .....	42
2.	Corrélation entre coproscopies Individuelles, coproscopie Mélange, coproscopie Broyat.....	42
3.	Évaluation des Tests Coprologiques .....	43
4.	La sensibilité et spécificité de coprologie de groupe par rapport à la moyenne de coprologie individuelle.....	43
5.	Aire sous la courbe ROC des tests de coprologie à différents seuils de décision .....	44
V.	CONCLUSION .....	55
	REFERENCES .....	57
	ANNEXES .....	62

## LISTE DES FIGURES

Figure 1.	Carte de la Région Occitanie – France. Source : googlestreet.fr .....	12
Figure 2.	Cycle Biologique des nématodes gastro – intestinaux des ruminantes .....	15
Figure 3.	Localisation Ferme PATUCHEV. Source:googlemaps.fr .....	25
Figure 4.	Localisation des 8 fermes dans la Région Occitanie. Source : departements.svg.fr .....	28
Figure 5.	Interprétation l'aire sous la courbe.....	32
Figure 6.	Analyse des moyennes d'excrétions des œufs par passage, selon Lot en 2014 .....	34
Figure 7.	Analyse des moyennes d'excrétions des œufs par passage, selon Lot en 2015 .....	34
Figure 8.	Analyse des moyennes d'excrétions des œufs par passage, selon Lot en 2016 .....	35
Figure 9.	Analyse des moyennes d'excrétions des œufs par passage, selon Lot en 2017 .....	35
Figure 10.	Fréquence des Cas pendant la période de 2014 à 2017.....	36
Figure 11.	Fréquence des Cas selon Lot pendant la période de 2014 à 2017.....	36
Figure 12.	Résultats moyens des valeurs d'Hématocrite dans chaque ferme suivie .....	38
Figure 13.	Resultats moyens des valeurs de note FAMACHA dans chaque ferme .....	38
Figure 14.	Résultats moyens de note d'état corporel dans chaque ferme suivie .....	38
Figure 15.	Corrélation coproscopies Individuelle, coproscopie de Mélange, Broyat n = 219 ....	42
Figure 16.	Taux de réponse test de coprologie selon seuils de décision .....	43

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1.Synthèse des données :8 fermes région Occitanie .....	27
Tableau 2.Tableau de contingence formule Sensibilité – Spécificité (FAMACHA®) en fonction des seuils d'Hématocrite .....	30
Tableau 3.Groupes selon seuils d'intensité d'excrétions des œufs.....	31
Tableau 4.Tableau de contingence Sensibilité – Spécificité (Test de Coproscopie).....	32
Tableau 5.Résultats des moyennes et Déviation Standard d'excrétions d'œufs PATUCHEV ...	33
Tableau 6. Résultats d'analyses entre passages, par lot, par chaque année.....	35
Tableau 7. Résultats des coefficients de répétabilité de 2014 à 2017 .....	37
Tableau 8. Résultats moyens d'excrétions des œufs pour ferme suivie .....	37
Tableau 9. Résultats de corrélation sur les 8 fermes .....	39
Tableau 10.Résultats des corrélations entre indicateurs objectifs et subjectifs .....	40
Tableau 11. Résultats de l'évaluation FAMACHA - Hématocrite (Critère 1).....	41
Tableau 12. Résultats de l'évaluation FAMACHA - Hématocrite (Critère 2).....	41
Tableau 13. Animaux à traiter selon critères de décision.....	42
Tableau 14. Corrélation coproscopie Individuelle, coproscopie Mélange, Broyat .....	43
Tableau 15. Résultats de validation du tests coprologiques à différents seuils de décisions .....	44
Tableau 16. Résultats de l'aire sous la courbe ROC .....	44

## LISTE DES ANNEXES

### INTRODUCTION ET GENERALITES

Annexe 1.Gestion de Pâturage .....	62
Annexe 2.Principales espèces de trichostrongles gastro-intestinaux et leur localisation .....	62
Annexe 3.Carte FAMACHA, Vatta et al (2002).....	62
Annexes 4.Index Diarree en vue derrière ovins, SheepGenetics (2013) .....	63
Annexe 5.Note d'Etat Corporel (NEC). Adaptation de: Alberta Agriculture and Food(2005)...	63
Annexe 6. Système de conduite d'élevage plateforme PATUCHEV .....	64
Annexe 7.Systèmes d'élevage et distribution PATUCHEV .....	64
Annexe 8.Schéma d'une lame de Mac Master vue de dessus, d'après Richard (2012) .....	64
Annexe 9.Test de normalité PATUCHEV 2014 .....	65
Annexe 10.Test de normalité PATUCHEV 2015 .....	65
Annexe 11.Test normalité PATUCHEV 2016 .....	66
Annexe 12.Test normalité PATUCHEV 2017 .....	66
Annexe 13. Exemple de distributions avant - après Log transformation .....	67

### PLATEFORME EXPERIMENTALE PATUCHEV

Annexe 14. Système de conduite d'élevage plateforme PATUCHEV .....	68
Annexe 15.Analyse de Variance Mesures Répétées 2014 .....	69
Annexe 16.Analyse de Variance Mesures Répétées 2015 .....	69
Annexe 17.Analyse de Variance Mesures Répétées 2016 .....	70
Annexe 18.Analyse de Variance Mesures Répétées 2017 .....	71
Annexe 19.Analyse de Variance entre passage dans Lot DP en 2014 .....	71
Annexe 20.Analyse de Variance entre passage dans Lot SP en 2014.....	71
Annexe 21.Analyse de Variance entre passage dans Lot DP en 2015 .....	71
Annexe 22.Analyse de Variance entre passage dans Lot SP en 2015 .....	71
Annexe 23.Analyse de Variance entre passage dans Lot DP en 2016 .....	71
Annexe 24.Analyse de Variance entre passage dans Lot SP en 2016.....	71
Annexe 25. Analyse de Variance entre passage dans Lot DP en 2017 .....	72

Annexe 26. Analyse de Variance entre passage dans Lot SP en 2017 .....	72
Annexe 27. Analyse de Répétabilité 2014 .....	72
Annexe 28. Analyse de Répétabilité 2015 .....	72
Annexe 29. Analyse de Répétabilité 2016 .....	72
Annexe 30. Analyse de Répétabilité 2017 .....	72
Annexe 31. Fréquence des Cas Ferme PATUCHEV de 2014 à 2017.....	73
Annexe 32. Fréquences des Cas par Lot de 2014 à 2017.....	73
<b>8 FERMES DE LA REGION OCCITANIE</b>	
Annexe 33. Mode de conduite des fermes.....	74
Annexe 34. Graphique corrélations Indicateurs par Ferme.....	75
Annexe 35. Table d'interprétation Corrélation Spearman d'après Hernandez (2006).....	75
Annexe 36. Tableau de contingence Méthode FAMACHA – Hématocrite.....	76
<b>RESULTATS DE COPROSCOPIE</b>	
Annexe 37. Tableau de contingence : Test de Coprologie seuil 500opg.....	77
Annexe 38. Tableau de contingence : Test de Coprologie seuil 700 opg.....	77
Annexe 39. Tableau de contingence : Test de Coprologie seuil 1000opg.....	77
Annexe 40. Tableau de contingence : Test de Coprologie seuil 1200opg.....	77
Annexe 41. Graphique ROC à seuil 700 opg .....	78
Annexe 42. Graphique ROC à seuil 500 opg .....	78
Annexe 43. Graphique ROC à seuil 1000 opg .....	78
Annexe 44. Graphique ROC à seuil 1200 opg .....	78

## ABREVIATIONS

DP : chèvres en reproduction désaisonné en pâturage  
SP : chèvres en reproduction saisonnée en pâturage  
ENVT : Ecole Nationale Vétérinaire Toulouse  
INRA : Institut National de la Recherche Agronomique  
UMR : Unité Mixte de Recherche  
IHAP : Interaction Hôte - Agents Pathogènes  
INMD : Interaction Nématodes Milieu Digestif  
L3s: larves 3 infestantes  
L1: larves stade 1  
L2 : larves stade 2  
L4 : larves stade 4  
L5: larves stade 5  
AH : anthelminthiques  
NGI : nématodes gastro- intestinaux  
SGI : strongyles gastro -intestinaux  
ID : Index de diarrhée  
NEC : niveau/note d'état corporel  
FAMACHAnor : FAMACHA normal  
FMCH : FAMACHA  
OPG : œufs par gramme  
HTO : hématocrite  
CI : coprologie individuelle  
CM : coprologie Mélange  
CB : coprologie Broyat  
Se : Sensibilité  
Sp : Spécificité  
VPP : valeur prédictive positive  
VPN : valeur prédictive négative  
ROC : receiver operating characteristics  
AUC : aire sous la courbe (area under the curve)

## RESUME COURT

Les chèvres élevées au pâturage sont systématiquement infestées par des nématodes (strongles) gastro-intestinaux. A la différence des bovins et des ovins, l'espèce caprine ne développe pas de réelle résistance (réponse immune) face aux ré-infestations par les nématodes gastro-intestinaux avec l'âge. Le mode usuel de maîtrise de ces parasites a été fondé pendant plus de 50 ans sur des molécules anthelminthiques de synthèse. Aujourd'hui, il est nécessaire de mieux utiliser ces traitements chimiques notamment pour réduire le développement des résistances aux anthelminthiques chez les vers.

Les analyses menées dans ce projet visaient à répondre aux trois questions majeures pour gérer les nématodes gastro-intestinaux en élevages caprins « *Quand traiter ?* » « *Qui traiter ?* » « *Quelles méthodes utiliser ?* » et favoriser ainsi l'application par les éleveurs et les vétérinaires des traitements ciblés ou sélectifs fondés sur des outils de diagnostic et de dépistage rapide, fiable et peu coûteuse en élevages caprins.

Chez les caprins, la combinaison d'indicateurs simples à l'échelle du troupeau ou des individus (zootechniques, parasitaires et liés à l'historique de pâturage des animaux), est une voie prometteuse pour cibler des sous-groupes ou sélectionner les animaux pouvant bénéficier d'un traitement anthelminthique.

Ces analyses se sont appuyées sur diverses analyses statistiques menées à partir de 3 jeux de données fondées sur des critères quantitatifs objectifs (œufs par gramme ou valeurs d'hématocrite) ou semi quantitatifs (index FAMACHA®, Note d'état corporel).

Les principaux résultats suggèrent la possibilité de prendre en considération les lots de reproduction pour créer un décalage de traitement, ils tendent aussi à confirmer l'hypothèse que les mêmes animaux sont régulièrement impliqués dans la contamination du pâturage. Par ailleurs, l'intérêt indicateurs sub cliniques (FAMACHA, NEC) pour repérer les chèvres les plus parasitées méritent d'être conforté.

Enfin, les méthodes de coproscopie de groupe sont validées comme outil pour traiter la question quand traiter et aider aux décisions d'application des anthelminthiques.

**Mots-clés : nématodes gastro intestinaux ; caprins ; traitement sélectif, traitement cible, résistance aux anthelminthiques.**

## RESUME LONG

Les nématodes gastro – intestinaux parasites affectent l'élevage caprin au pâturage. Ces vers impactent la production mais aussi la santé et le bien-être des petits ruminants. Jusqu'à présent, la maîtrise de ce parasitisme est passé généralement par l'emploi d'anthelminthiques chimiques.

Cependant, ces traitements deviennent des moins et moins efficaces chez les caprins, leur utilisation excessive étant la source de résistances des vers à ces molécules. Par ailleurs, il faut aussi prendre en compte l'impact possible des résidus sur les productions animales et sur l'environnement.

Il devient donc indispensable de rationaliser l'emploi de ces molécules, quelle que soit la filière animale, pour à la fois contrôler ces infestations mais aussi maîtriser les risques associés à un usage trop important des anthelminthiques. (Bonnefont et al., 2014)

D'où la recherche de solutions alternatives aux anthelminthiques mais aussi des nouvelles modalités d'applications de ces traitements (traitement ciblé ou traitement sélectif) pour freiner le développement des résistances aux AH chez les vers.

L'objectif général de ce projet était de développer des outils de diagnostic et des indicateurs cliniques et parasitologiques pour répondre aux 2 questions clés pour gérer le parasitisme par les NGIs en élevages caprins *Quand traiter ? Qui traiter ?* sur la base de l'évaluation d'indicateurs quantitatifs et semi quantitatifs afin de repérer les périodes à risque ou les animaux les plus infestés, sources de contamination majeure du pâturage.

- *Quand Traiter ?*

La validation des méthodes d'analyse de coproscopie de groupe (de Mélange ou de Broyat) par comparaison aux moyennes d'analyses Individuelles (méthode de référence) a été évaluée par des corrélations de Spearman fondées sur 219 données aléatoires obtenues à partir de plusieurs études. Les coproscopies de groupe semblent un outil fiable pour évaluer plus régulièrement les infestations des caprins par des nématodes gastro intestinaux. La sensibilité et la spécificité des coproscopies de mélange ou de broyat) ont été estimées en fonction de divers seuils de décision de traitement.

- *Qui Traiter ?*

L'objectif était ici d'identifier les individus souffrant le plus du parasitisme au sein d'une population donnée afin de cibler les interventions anthelminthiques. A partir d'un premier jeu de données, il s'est agi de vérifier si la conduite de lots en fonction de la reproduction des caprins influait sur le parasitisme mais également si les mêmes animaux au sein d'un troupeau étaient plus infestés de manière répétée.

Il s'est ensuite s'agit de travailler sur des indicateurs semi quantitatifs directement exploitables à l'échelle de l'animal, critères directement utilisables par les éleveurs et de les comparer aux indicateurs objectifs quantitatifs usuels de laboratoire pour savoir « Qui traiter ? »

Une méthode de diagnostic des strongyloses digestives (méthode FAMACHA©, Mahieu et al., 2007) basée sur la pâleur des muqueuses a été développée afin de faciliter l'identification des animaux les plus affectés par *Haemonchus contortus* sans avoir recours à des méthodes de laboratoire. Par ailleurs, l'intérêt des notes d'état corporel pour évaluer de manière plus générale l'intensité des infestations a aussi été examinée par comparaison aux excréments d'œufs de Nématodes

La sensibilité et la spécificité des méthodes FAMACHA et des coproscopies en fonction de seuils de décision de traitement ont également été évaluées et validées

## INTRODUCTION

Les nématodes gastro-intestinaux sont une entité pathologique fréquente dans l'espèce caprine et l'apparition de résistances aux anthelminthiques dans ces populations impose de reconsidérer les schémas de contrôle de ces parasites chez le caprins.

L'usage des antiparasitaires ne doit avoir lieu qu'en cas de réelle nécessité afin de limiter le développement de résistances puisque'une application systématique et fréquente renforce les résistances.

Après une description rapide de la Région Occitanie, je présenterai dans une première partie une synthèse bibliographique avec un résumé de l'élevage caprin au pâturage, les généralités sur les nématodes gastro-intestinaux, les résistances aux antiparasitaires de synthèses et les nouvelles méthodes de gestion.

Dans une deuxième partie après la présentation de mon lieu de stage à Toulouse dans l'Unité Mixte de Recherche 1225, Interaction Nématodes Milieu Digestif (INMD) j'aborderai une étude menée sur des enquêtes sur le parasitisme dans deux types de fermes (Expérimentale et Traditionnelle) visant à tester l'efficacité des méthodes quantitatives et semi - quantitatives pour identifier les lots des chèvres où les chèvres qui nécessitent réellement un traitement anthelminthique, visant à l'implémentation d'un traitement raisonné.

Dans une troisième et dernière partie de ce travail je présenterai, une évaluation des résultats d'analyses de coproscopie visant à la validation des méthodes de coproscopie de groupe qui tient pour objectifs la réduction des coûts liées á des tests de dépistage en élevage caprins et favoriser l'identification des moments de traitement.

Les questions principales de ce projet consistent à faire un suivi de contrôle sur les résultats des élevages sélectionnés avec en moyenne trois passages pour proposer aux éleveurs une meilleure conduite d'élevage en leur répondant à 3 questions centrales :

---

*Quand faut-il traiter ?*

*Qui faut-il traiter ?*

*Quelle méthode utiliser ? pour répondre ces 2 questions*

---

# PREMIERE PARTIE : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

## 1. Présentation générale de la région Occitanie

La Région Occitanie est une région administrative française créée par la réforme territoriale de 2014. Elle comporte désormais 13 départements, qui résulte de la fusion des anciennes régions Languedoc-Roussillon et Midi-Pyrénées.



Figure 1. Carte de la Région Occitanie – France. Source : [googlestreet.fr](http://googlestreet.fr)

### - Climat

La région Occitanie s'étend sur trois grands domaines climatiques : le littoral languedocien est soumis au climat méditerranéen; le bassin aquitain a un climat océanique mais légèrement plus chaud que les normes car situé au sud; le Massif central et les Pyrénées détiennent un climat sous influence montagnarde.

Dans le climat méditerranéen, l'amplitude annuelle de température est assez limitée, allant de 14 °C à 18 °C, en hivers, la température moyenne de janvier va de 6,9 °C à 8,4 °C. Pour le climat océanique, les températures moyennes sont légèrement plus basses, en hiver comme en été, et les précipitations sont plus fortes. Ainsi, à Toulouse et Albi si l'amplitude annuelle reste à peu près identique à celle du littoral languedocien (16 °C), les moyennes thermiques de janvier (5,9 °C) et de juillet (22 °C) sont inférieures de 1 à 3 °C. Concernant le climat montagnard, il est fortement modifié par l'altitude. Les hivers deviennent nettement plus froids qu'en plaine, la température moyenne de janvier varie de 0,6 °C à Mende (1 019 m) à -1,4°C au Mont Aigoual (1 567 m).

## 2. Elevage caprin au pâturage

Le pâturage utilisé dans la gestion de l'alimentation et production des caprins, connaît actuellement un renouveau avec, d'une part, le développement des élevages « bio » et, d'autre part, la recherche d'image des producteurs ayant une AOC (appellation d'origine contrôlée). (Etter et al., 2000).

Il existe 3 types de mode d'exploitation.

- Le pâturage tournant : le principe est d'utiliser successivement des parcelles de taille modeste (40 à 60 m<sup>2</sup> par chèvre), pendant une durée limitée (3 à 4 jours). L'écart de la hauteur d'herbe avant et après passage est de 4 à 6 cm. Cette technique nécessite d'écarter

du pâturage les parcelles dont la hauteur est trop importante ; celles-ci seront fauchées et réintroduites ultérieurement dans le planning d'utilisation des surfaces.

- Le pâturage rationné : une clôture amovible sera déplacée tous les jours, voire plusieurs fois par jour. Cette technique est utilisée en particulier quand l'herbe offerte est relativement haute.

- Le pâturage continu : il nécessite une ou plusieurs grandes parcelles (500 à 1 000 m<sup>2</sup> par chèvre). La règle d'utilisation de la surface à pâturer dépendra essentiellement de la hauteur d'herbe. Si la hauteur moyenne est trop haute, la surface sera réduite, par contre, si elle est trop basse, il faudra réintroduire dans le planning de pâturage d'autres surfaces ou augmenter les apports de concentrés en chèvrerie.

## 2.1. Intérêt du pâturage

- Avantages du pâturage :

- Rentabilité : l'objectif économique visé par la pratique du pâturage est de limiter les intrants sur l'exploitation (concentrés, engrais).
- Sanitaire : sur le plan sanitaire, le pâturage améliore généralement le bien-être des animaux et limite normalement les accidents métaboliques fréquents en chèvrerie (listériose, acidose).
- Environnement : l'herbe couvre le sol toute l'année et capte les nitrates. (Jenot et al., 2001).

- Inconvénients du pâturage

- Sanitaire : le principal inconvénient devient le parasitisme par nématodes présentes dans le milieu extérieur et ses répercussions dans la santé des animaux.
- Economique : la variabilité de la production des animaux au pâturage (gain de poids, litres du lait)
- Travail : il n'existe a priori pas de différence de temps de travail entre un système pâturage et un système zéro-pâturage. Par contre, le travail n'est pas du tout le même, dans un cas, il s'agit de sortir les animaux au champ, de déplacer les clôtures et apporter de l'eau ; dans l'autre cas, il faut distribuer des aliments à l'auge et curer plus régulièrement le fumier.
- Préparation du producteur : nécessité pour le producteur de s'initier aux principes de gestion efficace des pâturages pour optimiser ce type de régie (hauteur de la pâture, nombre de parcelles à pâturer, temps passé par les animaux dans chaque parcelle, etc.).

## 2.2. Gestion du pâturage

La maîtrise du parasitisme au travers de la gestion du pâturage a pour objectif général de minimiser le contact entre les animaux et les larves infestantes afin d'obtenir des niveaux d'infestation sans conséquence sur la productivité. (Jenot et al., 2001). [Annexe1. Gestion du pâturage]

Il s'agit de placer les animaux sensibles sur des parcelles peu contaminées selon différents pratiques comme :

- Assainissement par mise au repos des parcelles

Les larves déposées dans le milieu extérieur voient leur viabilité et leur pouvoir infestant se réduire avec le temps. De plus, plusieurs facteurs climatologiques contribuent à accélérer le processus, en particulier le froid (le gel) et la dessiccation.

- Assainissement par pâturage mixte ou alterné

Un pâturage simultané ou décalé entre bovins et chèvres (ou entre chevaux et chèvres) permettrait en théorie de « nettoyer » le milieu. Cette idée repose sur la faible communauté d'espèce parasitaire entre les 2 hôtes. Les bovins contribueraient donc à éliminer du milieu extérieur les parasites de chèvre et réciproquement.

- Assainissement par pratiques culturales

Les techniques de fauche, d'ensilage ou de broyage des parcelles permettent de réduire les contaminations des repousses. Le retournement par labour des prairies est une mesure intéressante, car elle conduit à un quasi extinction de la contamination en larves infectantes.

### 3. Les nématodes gastro - intestinaux et leur épidémiologie

#### 3.1. Généralités sur les nématodes gastro – intestinaux

En médecine vétérinaire, les nématodes parasites du tractus digestif les plus prévalent, communément appelés strongles gastro-intestinaux ou strongles digestifs appartiennent à l'ordre des Strongyloidea et à deux familles distinctes.

- Les Trichostrongyloidea : regroupant des vers dont la capsule buccale est absente ou rudimentaire *Teladorsagia*, *Cooperia*, *Trichostrongylus* et *Haemonchus c.* [Annexe2.Principales espèces de trichostrongles gastro-intestinaux et leur localisation]
- Les Strongyloidea (genre *Oesophagostomum*) caractérisée par des individus ayant une capsule buccale bien développée (Euzéby, 1963)

Les nématodes gastro-intestinaux ont une distribution mondiale avec des prédominances d'espèces variables selon les grandes zones climatiques

En zones tempérées, les Trichostrongyloidea les plus fréquemment retrouvés dans les élevages de petits ruminants exploitant le pâturage sont *Teladorsagia circumcincta* (espèce abomasales) et *Trichostrongylus colubriformis* (espèce intestinale) (Chartier et al., 2000). *Haemonchus contortus*, une autre espèce de l'abomasum, est moins fréquent dans les élevages des zones tempérées (seulement 40% des élevages). (Hoste et al., 2004)

En zones tropicales et subtropicales, *Haemonchus contortus* est très largement réparti et très pathogène (Urquhart et al., 1996) *Trichostrongylus c.* et *Oesophagostomum spp.* sont également retrouvés dans les élevages des régions tropicales (Chartier et al., 2000).

#### 3.2. Biologie et cycle de vie des nématodes gastro - intestinaux

Le cycle biologique des nématodes gastro - intestinaux des ruminants est Monoxène (un seul hôte). Il comprend deux phases : une phase libre dans le milieu extérieur

(également appelée phase exogène) et une phase parasitaire chez l'hôte (ou phase endogène). (Urquhart et al., 1996). (Figure2)

- **La phase libre :** La phase exogène du cycle des nématodes gastro - intestinaux débute avec l'élimination des œufs pondus par les vers femelles dans les fèces de l'hôte. Les œufs sont ainsi répandus sur le sol (prairies). Après l'éclosion, les L1s évoluent au travers de deux mues pour devenir des larves infestantes (L3s). Les stades intermédiaires L1 et L2 sont peu résistants dans le milieu extérieur - contrairement aux œufs et aux L3s.
- **La phase parasitaire :** La phase parasitaire commence par l'ingestion des L3s par l'hôte lors du pâturage. Dans le tube digestif, les L3s se libèrent d'abord de leur gaine, ce qui marque la transition entre la vie libre et la vie parasitaire (Rogers et Sommerville, 1968).

Les L3s dégainées pénètrent ensuite dans la muqueuse digestive où elles muent en larves 4 (L4s). Les L4s muent une dernière fois pour donner le stade 5, également appelé stade pré adulte ou juvénile. Le passage au stade adulte correspond à l'acquisition de la maturité sexuelle. Après fécondation, les femelles pondent des œufs excrétés dans les matières fécales de l'hôte (Euzéby, 1963).

La chronologie du développement des stades parasites des nématodes gastro - intestinaux diffère en fonction de l'espèce, de l'importance de l'infestation et de l'hôte (résistance). Le temps écoulé entre l'ingestion des L3s par l'hôte et la première ponte d'œufs par les vers est appelée la **période prépatente**.

En l'absence d'hypobiose larvaire (état de vie ralentie de larves de parasites attendant des conditions favorables pour reprendre leur développement), la période prépatente dure généralement de 2 à 3 semaines pour la plupart des espèces parasites chez les ovins et les caprins, alors qu'elle dure jusqu'à 5 semaines pour certaines espèces chez les bovins, telles que *Oesophagostomum radiatum* (Urquhart et al., 1996).

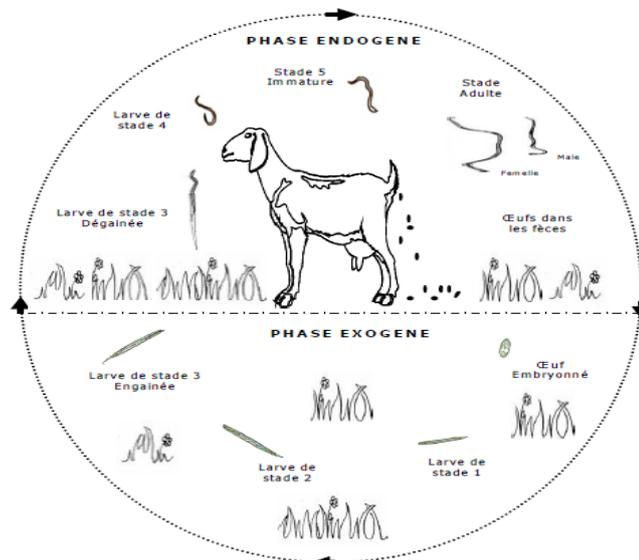


Figure 2. Cycle Biologique des nématodes gastro – intestinaux des ruminantes

### 3.3.Épidémiologie des nématodes gastro – intestinaux

#### A. Épidémiologie Descriptive

##### a) Conditions d'infestation des animaux

Les infestations des ruminants par les nématodes gastro - intestinaux dépendent de la conduite des animaux au pâturage puisque la phase de vie libre de ces strongles ne peut se dérouler que sur la prairie et que les ruminants s'infestent par les L3s présentes sur l'herbe. Les animaux élevés à l'intérieur, sans contact avec des animaux ayant pâturé, et recevant du foin ou de l'ensilage, ne sont normalement pas infestés par des L3s des strongles digestifs (Chartier et Reche, 1992).

##### b) Fluctuations des infestations

Les infestations par les nématodes gastro - intestinaux montrent des fluctuations saisonnières qui sont dues aux variations de contamination de la prairie par les animaux parasités mais également, aux variations climatiques qui influent sur le développement des œufs en L3s et sur la survie des L3s sur la prairie (O'connor et al., 2006).

En zones tempérées, les pics d'infestation ont été décrits essentiellement à la fin du Printemps (mai à juillet) et en automne (octobre à décembre) (Hoste et al., 2004). Au contraire, les œufs embryonnés n'évoluent pas lors d'hivers froids ou d'étés très chauds et secs (Coyne et Smith, 1992).

Une étude réalisée dans des élevages caprins français a montré un parasitisme constant tout le long de l'année avec un pic d'excrétion fécal en automne (Etter et al., 2000).

En zones tropicales, le principal pic d'infestation devient après une longue période de saison sèche (Euzéby, 1963 ; Chartier et al., 2000). Les conditions climatiques rencontrées à ce période, telles un fort taux d'humidité et des températures propices, favorisent l'éclosion des œufs et le développement des L3s.

#### B. Épidémiologie Analytique

Les niveaux d'infestation des ruminants par les nématodes gastro- intestinaux dépendent de plusieurs facteurs liés : source de contamination, les facteurs liés au contact entre l'hôte et les larves infestantes (L3s), facteurs liés à l'hôte.

##### a) **Importance de la source de contamination :**

###### – Niveau d'excrétion d'œufs :

La contamination des prairies est d'autant plus importante que l'excrétion des œufs de nématode par l'hôte l'est. Or, les espèces de trichostrongles digestifs n'ont pas la même prolificité (Chartier et al., 2000). Les femelles d'*Haemonchus contortus* sont très prolifiques (5000 à 10000 œufs par femelle et par jour) par rapport à celles de *T. colubriformis* et de *T. circumcincta* (quelques centaines d'œufs par femelle et par jour).

###### – Développement et Survie des L3s sur les prairies :

Comme pour l'éclosion des œufs, la survie des L3s sur la prairie est directement liée aux conditions de température et d'humidité (Smith et Sherman, 1994).

- Niveau de chargement des prairies :  
La contamination des prairies est étroitement liée au niveau de chargement et au temps d'exploitation des parcelles (Smith et Sherman, 1994).

### **b) Facteurs liés au contact entre l'hôte et les larves infestantes**

Les contacts entre l'hôte et les L3s sont à l'origine de l'infestation des animaux.

- Mobilité des L3s :

Les L3s des nématodes gastro-intestinaux sont très mobiles en phase liquide. Elles se déplacent sur l'herbe suivant un phototropisme négatif et un hygrotropisme positif (Rogers et Sommerville, 1963). Les deux moments favorables aux infestations sont alors l'aube et le crépuscule, lorsque l'ensoleillement est réduit et quand la rosée recouvre l'herbe (Smith et Sherman, 1994).

- Comportement de l'hôte :

Des différences de préférences alimentaires entre les espèces de ruminants influencent le niveau d'infestation. En effet, pour des raisons liées au comportement des L3s, les risques d'infestation sont réduits lors de l'exploitation d'arbustes ou de buissons. A l'inverse, la consommation d'herbe est propice au contact avec les L3s.

Ce constat expliquerait en partie que, sur parcours ou environnement pastoral, les chèvres (comportement de cueilleur) soient généralement moins infestées que les moutons (comportement de brouteur) (Hoste et al., 2010).

### **c) Facteurs liés à l'hôte**

- Age et Expérience vis-à-vis des infestations :

De manière générale, les jeunes animaux sont les plus sensibles et réceptifs aux infestations.

- Espèce animale :

L'espèce de l'hôte module la réceptivité aux nématodes gastro-intestinaux. De manière générale, à la suite d'infestations répétées par les trichostrongles, la réponse immunitaire observée est moins efficace chez les caprins que chez les ovins et les bovins (Smith et Sherman, 1994).

- Race et lignée :

Des différences inter-races et interlignées (intra-races) de résistance aux nématodes gastro-intestinaux ont été largement décrites chez les ovins (Gruner et al., 1994).

- Statut physiologique :

Chez les brebis ou les chèvres en gestation, des augmentations d'excrétion fécale d'œufs (OPG) de nématodes ont été couramment observées autour de la mise bas, le phénomène étant décrit comme le <<periparturient rise>> (Rahman et Collins, 1992).

Quelques études ont montré des niveaux d'OPG différents en fonction de la parité chez les ovins (Haile et al., 2007) et les caprins (Morris et al., 1997).

- Niveau de production :

Une réceptivité accrue au parasitisme gastro-intestinaux et des conséquences pathologiques plus sévères ont été décrites à plusieurs reprises chez les animaux présentant les meilleurs niveaux de production (Hoste et Chartier, 1993).

#### 4. Conséquences pour l'hôte et impact économique

La résilience : est l'aptitude de l'hôte à supporter les effets pathologiques du parasitisme gastro-intestinaux et à maintenir une production malgré les infestations (Bisset et al.,1994).

##### - Alimentation

Le parasitisme gastro-intestinal peut être perçu comme une maladie nutritionnelle car il induit une baisse d'appétit, des perturbations de la physiologie du tube digestif ainsi qu'une réorientation du métabolisme de l'hôte (Urquhart et al., 1996)

##### - Perdes de production :

En régions tempères ce sont surtout les pertes de production qui justifient l'intérêt portée à la lutte contre les strongles gastro-intestinaux. Les principales pertes économiques proviennent des formes sub-cliniques qui, sans mettre en danger la vie de l'animal, réduisent ses capacités de production. (Hoste et al.,1999)

##### - Signes cliniques :

Les principaux signes cliniques de l'infestation sont un ramollissement des selles plus ou moins aigu, une faiblesse générale et une diminution de l'appétit (Chermette, 1981).

Cet état mène à un amaigrissement et peut aboutir à la mort des individus les plus faibles. Les espèces hématophages (*Haemonchus contortus*) causent en plus une anémie se traduisant par une baisse de l'hématocrite (Chermette, 1981).

#### 5. Les traitements anthelminthiques de synthèse

##### 5.1.Les traitements anthelminthiques de synthèse et leur mécanisme d'action

Trois familles d'anthelminthiques à large spectre sont couramment utilisées pour maîtriser les nématodes gastro – intestinaux, elles se différencient par le mode d'action :

1. Les benzimidazoles : le thiabendazole et le fenbendazole. Sont également utilisés l'albendazole, l'oxybendazole, l'oxfendazole ou encore le mébendazole (Schoenian 2003).

Le mécanisme d'action : correspond à une inhibition de la polymérisation de la  $\beta$ -tubuline en microtubule, à l'origine d'une immobilisation du parasite et de son élimination passive avec les matières fécales. (Lacey, 1990)

2. Les imidazothiazoles et les tétrahydropyrimidines : le morantel, le pyrantel et le lévamisole.

Le mécanisme d'action : les imidazothiazoles agissent sur les récepteurs nicotiques à l'acétylcholine, synaptiques et extra-synaptiques des cellules musculaires du nématode, entraînant une dépolarisation des cellules musculaires et une paralysie spastique du parasite qui sera éliminé passivement avec les fèces (Martin 1997).

3. Les lactones macrocycliques : les avermectines (ivermectine majoritairement et doramectine) et les milbémycines (moxidectine).

Le mécanisme d'action : les lactones macrocycliques agissent au niveau de la transmission nerveuse du parasite entraînant une paralysie flasque de sa musculature somatique (effet GABA-mimétique) dont les muscles du pharynx, empêchant ainsi la prise alimentaire du nématode, et causant sa mort par dénutrition (Prichard, 2007).

Très récemment, une nouvelle molécule a été développée (le Monepantel) qui représente le précurseur d'une quatrième famille, actuellement en voie de commercialisation la classe des dérivés d'acétylcholinestérase unique, spécifique. Le mécanisme d'action : des études suggèrent qu'il agirait comme un agoniste nicotinique, mais médiée par un récepteur nicotinique acétylcholinestérase unique, spécifique. Le spectre d'activité du monépantel inclut les quatrièmes stades larvaires et les formes adultes d'un large spectre d'espèces de nématodes. Cette nouvelle molécule est surtout efficace contre les souches résistantes aux autres familles anthelminthiques. (Kaminsky et al, 2008) Toutefois, elle n'est pas commercialisée en France.

## 5.2. Les avantages des traitements anthelminthiques de synthèse

Depuis les premières molécules anthelminthiques de synthèse apparues à la fin des années 1950 la maîtrise des nématodes gastro – intestinaux des ruminants a reposé traditionnellement sur l'emploi de ces anthelminthiques administrés soit dans un but curatif (traitement) ou préventif (prophylaxie).

- Forte efficacité sur un large spectre de nématodes gastro - intestinaux chez les diverses espèces animales.
- Activité potentielle étendue contre d'autres parasites (exemple des ectoparasites).
- Connaissance des modes d'action sur les vers.
- Faible toxicité directe pour les animaux traités.
- Informations disponibles sur la pharmacologie et la pharmacocinétique de ces molécules pour prévenir toute toxicité indirecte pour le consommateur et émettre des recommandations d'emploi.
- Simplicité accrue d'utilisation pour les éleveurs et les vétérinaires.

## 5.3. Les limites des traitements anthelminthiques de synthèse

L'utilisation d'anthelminthiques synthétiques pour traiter ou prévenir les nématodes gastro – intestinaux fait face aujourd'hui à plusieurs limitations.

- Développement de résistances par les vers :

“Une population chimiorésistance est une population de parasites ayant génétiquement acquis la capacité de résister à des concentrations d'antiparasitaires habituellement létales pour des individus de cette espèce” O.M.S. (1957)

La résistance peut être dirigée soit contre une seule molécule, soit contre une famille chimique comme les benzimidazoles (résistance de famille), ou encore contre plusieurs familles chimiques (résistance croisée ou multi résistance).

La prévalence des phénomènes de résistances paraît plus importante chez les chèvres que chez les moutons (Chartier et al, 2001). En raison de la prolificité de l'espèce et de sa forte prévalence dans l'hémisphère sud, les premiers cas de résistances aux anthelminthiques ont été décrits chez *Haemonchus contortus*. Chez des petits ruminants, les genres *Teladorsagia* et *Trichostrongylus* sont considérés également résistants. (Besier, 2007, Jackson et al, 2012).

En règle générale, les facteurs d'apparition de résistances au sein d'un élevage sont l'introduction d'animaux hébergeant des parasites résistants, l'emploi répété d'une même famille d'anthelminthiques, le sous-dosage des traitements et une fréquence annuelle de traitement élevée.

- Résidus dans les produits d'origine animale :

La préoccupation des consommateurs et des autorités sanitaires quant à la présence possible de résidus de médicaments vétérinaires dans les produits d'origine animale a conduit à limiter l'utilisation et le choix, des AH en particulier chez les petits ruminants à production laitière. Pendant la période lactation le choix parmi les molécules disponibles est très restreint, du fait des délais d'attentes visant à éviter la présence de résidus dans le lait. Aussi, pendant plus de 30 ans, cela a conduit les éleveurs à privilégier des molécules de la famille des benzimidazoles qui ne présentaient pas de délai d'attente (Manolaraki et al, 2014).

- Résidus et impact sur l'environnement :

Les anthelminthiques, comme tout médicament, diffusent dans l'organisme auxquels ils sont administrés, et ne sont excrétés que très progressivement, ainsi que leurs métabolites éventuels.

Les anthelminthiques et leurs métabolites excrétés dans l'environnement peuvent aussi présenter une écotoxicité plus ou moins marquée.

Les benzimidazoles et les lactones macrocycliques peuvent conduire à un ralentissement de la dégradation des fèces par les vers de terre (Yeates et al., 2007), ainsi qu'à une diminution des populations d'insectes coprophages (Mckellar, 1997), certaines benzimidazoles ont en plus un effet fongicide marqué (Robinson et al., 1965) pouvant avoir un impact négatif sur les champignons saprophytes ou nématophages (Paraud et al., 2004).

Ces effets écotoxiques des anthelminthiques ont dans un premier temps été jugés secondaires au vu des bénéfices pour la santé et la production des animaux d'élevage, mais compte tenu de la lenteur de leur dégradation dans l'environnement, les conséquences de leur utilisation massive et prolongée sont préoccupantes (Mckellar, 1997).

## **6. Mise en place de traitements anthelminthiques raisonnés**

La compréhension de la notion de refuge est fondamentale : il s'agit de la fraction de parasites non exposés à la pression de sélection exercée par l'anthelminthique employé (Cabaret, 2012), ce qui permet de garder une proportion de gènes de sensibilité dans les populations de vers et freiner ainsi le développement des résistances

Les refuges peuvent se définir dans l'espace et le temps :

- Refuges spatiaux : il s'agit des larves en migration dans les muqueuses de l'hôte (non atteintes ou imparfaitement atteintes par certains anthelminthiques), de tous les stades libres présents sur les pâtures, et des parasites présents chez les animaux non traités.

- Refuges temporels : ils concernent les parasites se développant chez les animaux entre deux traitements. Plus le pourcentage de la population parasitaire totale contenue dans le refuge est élevé, plus la dilution des allèles de résistance est importante. Selon certains auteurs, la taille des refuges serait même le facteur principal de la vitesse de diffusion des résistances aux anthelminthiques (Kaplan, 2004).

Afin de limiter l'apparition de résistances, plusieurs méthodes de traitement ont été proposées, la plus simple consiste à une utilisation raisonnée des traitements au sein des troupeaux.

Parmi elles, les traitements sélectifs ou ciblés font directement appel à la notion de refuge : l'éleveur ne traite qu'une partie du troupeau (création d'un refuge spatial au sein des animaux non traités), il s'agit d'un traitement dit « sélectif », ou bien l'éleveur traite

moins souvent tous ses animaux (création d'un refuge temporel), il s'agit d'un traitement dit « ciblé ». (Bonnetfont et al., 2014)

Ces méthodes de traitement présentent en outre l'avantage de réduire les coûts de production en réduisant l'utilisation des antiparasitaires.

### 6.1. Traitement Sélectif

Le principe est d'administrer le traitement aux seuls animaux d'un Lot qui en ont besoin car étant les plus infestés.

Ces animaux sont identifiés par un ou plusieurs des critères (indicateurs). Traiter ces animaux permettrait de réduire significativement la contamination des pâtures. De plus, une économie de traitement importante est réalisée, puisqu'une partie importante du troupeau reste non traitée. (Gaba et al, 2005)

### 6.2. Traitement Ciblé

Le principe est d'administrer le traitement à tous les animaux du Lot, mais en réalisant cette administration uniquement pendant les périodes « à risque » et non pas selon un calendrier défini à l'avance, le plus souvent selon les habitudes de l'éleveur (Chauvin et al., 2012).

Ces périodes à risque sont déterminées par l'épidémiologie des SGI (pics de population larvaire au sein de l'élevage) et des événements de conduite du troupeau (lutte, agnelage). Il est également nécessaire de prendre en compte la sensibilité des différents types d'animaux (jeunes versus adultes par exemple).

En raison de la variabilité des conditions météorologiques (qui conditionnent l'épidémiologie des SGI) mais également de la sensibilité moyenne des Lots, les périodes à risque ne peuvent être extrapolées d'une exploitation à une autre, ni même d'une année sur l'autre dans une même exploitation. (Bonnetfont et al., 2014)

Il est nécessaire de réaliser un suivi régulier du risque parasitaire au sein de chaque élevage. Ce suivi peut se faire au niveau des parcelles en évaluant leur degré d'infestation par des comptages larvaires, mais cette méthode est bien trop complexe et coûteuse pour être mise en place en élevage non expérimental.

L'autre possibilité est d'évaluer la charge parasitaire globale du troupeau, en général par mesure d'excrétion fécale d'œufs (OPG). Bien que cette deuxième méthode présente des limites (coût et précision augmentant en parallèle en fonction du nombre d'animaux étudiés), elle peut être mise en place facilement par le vétérinaire traitant et est donc nettement plus accessible. (Bonnetfont et al., 2014)

## 7. Les indicateurs utilisés dans les traitements raisonnés

### 7.1. Indicateurs objectifs

- Les OPG (œufs par gramme) : il s'agit d'indicateurs de l'intensité d'infestation de l'animal par les parasites. La mesure de l'intensité de l'excrétion fécale d'œufs de strongles est l'indicateur parasitologique le plus utilisé sur le terrain. Elle s'obtient par la réalisation de coproscopies (Raynaud, 1970)

- HTO (Hématocrite) : l'hématocrite représente le volume occupé par les globules rouges par volume de sang total. Sa mesure permet de déterminer si un animal présente une anémie. En termes de parasitologie, celle-ci est surtout associée la présence d'*Haemonchus contortus*.

## 7.2. Indicateurs subjectifs

- FAMACHA® : le système FAMACHA® est le plus connu des indicateurs sub cliniques en élevage ovin/caprin. Il s'agit d'une méthode basée sur l'évaluation de la couleur de la muqueuse oculaire, reflétant le degré d'anémie de l'animal (Vatta et al., 2001). Cette méthode permet d'identifier les animaux nécessitant un traitement anthelminthique, en supposant que l'anémie découle d'une infestation par *Haemonchus contortus*. [Annexe3.Carte FAMACHA]
- ID (index de diarrhée) : il s'agit d'une évaluation subjective de l'extension des souillures fécales présentes au niveau de l'arrière-train des animaux. Une note est attribuée de 0 (absence de souillure fécale) à 5. [Annexe4.Index Diahree]
- NEC (Note État Corporel) : l'évaluation de l'état corporel se fait par palpation dorsolombaire des animaux, une note d'état corporel (NEC) étant attribuée sur une échelle allant de 1 (cachectique) à 5 (très grasse). Des demi-points peuvent être utilisés. [Annexe5.Note état corporel]

## 7.3. Indicateurs zootechniques

Les indicateurs zootechniques sont des indicateurs de production qui permettent, comme les indicateurs cliniques, d'évaluer la résilience des animaux.

## 8. Point de vue des éleveurs

Le choix de la stratégie à mettre en place, dépend du type d'élevage et du contexte épidémiologique dans lequel il se trouve. (Fondraz, 2012). Une étude australienne a synthétisé les différents éléments influençant l'adoption d'une stratégie de refuge par les éleveurs (Besier et al., 2010). Ces éléments se divisent en deux catégories, à savoir les motivations et les craintes.

Les motivations sont liées aux possibilités de réduction de la fréquence de traitement des animaux. Sur le plan financier, moins de traitements signifient évidemment moins de dépenses.

Les craintes des éleveurs sont de deux sortes :

- La première, relativement instinctive, est la crainte de pertes zootechniques importantes, voire des mortalités liées à un état parasitaire du troupeau plus élevé qu'à l'accoutumée. A ces pertes zootechniques pourraient s'ajouter des frais vétérinaires liés à l'expression clinique de strongyloses, sur des animaux présentant jusque-là des infestations sub-cliniques.
- La deuxième crainte est liée aux difficultés de mise en place des protocoles d'évaluation des animaux et à l'augmentation de travail découlant de ce type de suivi (évaluer individuellement chaque individu d'un troupeau demande beaucoup de temps de travail et de main-d'œuvre)

## DEUXIEME PARTIE : TRAVAIL PERSONNEL

### I. OBJECTIFS

Compte tenu de la diffusion croissante des résistances aux AHs en élevage des ruminants et des contraintes particulières d'usage de ces molécules en élevage caprins et ovins laitiers il est désormais impératif de développer des approches plus raisonnées pour traiter les animaux sur la base des concepts de *traitement ciblé* et *traitement sélectif*.

Pour favoriser ces approches innovantes de traitement raisonné, trois questions centrales sont à résoudre pour les vétérinaires et les éleveurs

#### ***Quand traiter ?***

Ces périodes à risque sont éminemment variables puisqu'elles dépendent des conduites de système de pâturage de chaque élevage, des données météorologiques et de l'historique de contact des chèvres avec les nématodes gastro - intestinaux

#### ***Qui traiter ?***

L'application des traitements sélectifs vise à réduire l'emploi des AH et freiner ainsi le développement des résistances. Un effet maximal est recherché en ne traitant que les animaux les plus infestés, c'est-à-dire les plus à risque pour eux même mais aussi pour leurs congénères du troupeau en raison des contaminations élevées du pâturage dont ils sont responsables

#### ***Quelles méthodes utiliser pour identifier les périodes et les animaux à risque ? Quelle est la fiabilité de ces méthodes ?***

Ce projet de stage s'est inscrit dans ce cadre général en reposant sur des analyses de divers jeux de données pour répondre aux questions spécifiques suivantes

Les données des coproscopies obtenues pendant 4 ans sur la plateforme expérimentale INRA PATUCHEV ont permis 1) d'examiner si des sous-groupes à risque pouvaient être repérés et 2) de vérifier si effectivement des animaux plus sensibles aux infestations étaient présents en élevage.

Dans une deuxième étape, un jeu de données acquis en élevages a conduit à évaluer des méthodes semi quantitatives fondées sur des indicateurs sub-cliniques (FAMACHA et NEC) par rapport aux méthodes de laboratoire de base (coproscopies et hématoците) pour repérer les chèvres les plus infestées

Enfin, dans une dernière partie, nous avons examiné la fiabilité, la sensibilité et la spécificité de méthodes de coproscopies de groupe comme outil simplifié et de faible coût pour identifier les périodes à risque en élevages et comme aide à la décision de traitement.

## **II. MATERIEL ET METHODES**

### **1. Présentation de lieu de stage : L'UMR 1225 IHAP - INMD**

L'Unité Mixte de Recherche 1225 Interactions Hôtes – Agents Pathogènes, est une UMR pluridisciplinaire, constituée de 6 équipes, regroupant 66 collaborateurs.

Le principal objectif de l'UMR est « de contribuer à la maîtrise des maladies infectieuses animales et à la protection de la santé humaine, en particulier dans les domaines de la sécurité sanitaire des aliments et des zoonoses ». Cette unité associe différents chercheurs, enseignants chercheurs, ingénieurs et techniciens de l'INRA (Institut National de la Recherche Agronomique) et de l'ENVT (Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse. (<http://www.envt.fr/menu-og-32/ihap>))

Au sein de l'UMR IHAP, l'équipe « Interaction Nématodes Milieu digestif » (INMD) poursuit des recherches pour la maîtrise des Nématodes gastro intestinaux en élevage des ruminants dans une approche de gestion intégrée, réduisant le recours aux molécules AH chimiques. Les travaux de l'équipe INMD associent des recherches cognitives et opérationnelles selon 2 axes principaux : l'étude de plantes riches en composés naturels (Tannins) comme alicament et l'application raisonnée des traitements de synthèse en élevages de petits ruminants laitiers.

### **2. Bases de données disponibles et collection de l'information**

Mon projet de master s'est déroulée de janvier à juin 2018 dans la ville de Toulouse dans l'UMR IHAP 1225 - INMD, pour l'analyse de données collectées par l'équipe INMD entre 2012 et 2017.

Pour la réalisation de ce projet, les résultats de deux types de exploitations caprines (expérimentale et traditionnelle) et les résultats d'analyses aléatoires de coprologie ont été recueillis. Au total 2657 résultats repartis en 3 jeu des données ont été analysés pour répondre aux questions clés du projet présentés ci-dessus :

- A. Élevage PATUCHEV - Plateforme expérimental - INRA – Lusignan ; n= 1542
- B. 8 Fermes de la région Occitanie - Élevages traditionnelles - Région Occitanie ; n= 896
- C. Résultats de Coprologie - Région Occitanie et Rhône Alpes ; n= 219

#### **A. La Plateforme expérimentale PATUCHEV**

L'évaluation de l'épidémiologie des NGI par mesures individuelles d'excrétion des œufs (OPG) pour atteindre aux objectives suivantes :

- Identifier des différences d'infestations par les nématodes gastro – intestinaux en fonction du lot d'appartenance (sous – groupes de reproduction)
- Evaluer les périodes « à risque » pour applications de traitements ciblés.
- Identifier les animaux hautement excréteurs, les plus infestés au sein d'un troupeau et en évaluer la répétabilité.

## a) Population d'étude et échantillonnage

Les analyses ont porté sur l'ensemble des caprins pâturant (2 lots) quel que soit l'âge, et production qui composent l'unité expérimentale PATUCHEV, pendant les années 2014 et 2017.

Le nombre moyen d'échantillons à chaque passage est de 60, chaque année comporte 4 passages. Au total 1542 données ont été recueillies pour les analyses réparties sur les 4 années d'enquête. [Annexe6. Mode de conduite plateforme PATUCHEV]

## b) Protocole

### 1. Localisation y présentation de la ferme expérimentale PATUCHEV

Le dispositif est au sein de l'Unité expérimentale Fourrages (INRA), environnement, ruminants de Lusignan. Région nouvelle Aquitaine (Vienne 86600)

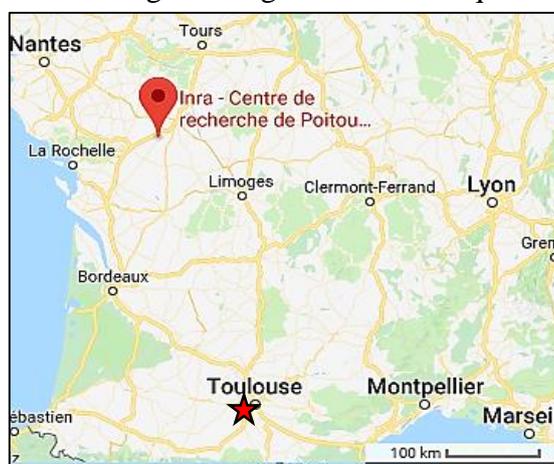


Figure 3. Localisation Ferme PATUCHEV. Source: googlemaps.fr

Patuchev est l'un des 32 systèmes expérimentaux de l'INRA. Le système est caractérisé par deux périodes de reproduction et deux types d'alimentation à base d'herbe. Une surface de 10,4 ha est attribuée de façon définitive à chaque troupeau pour produire le fourrage et les concentrés. Il comprend au total environ 180 chèvres réparties en 3 lots (troupeaux), un troupeau avec une période de reproduction saisonnée (mise bas en février) pâturant, et deux troupeaux avec une période de reproduction en contre-saison (mise bas en octobre) : l'un pâturant et l'autre élevé en chèvrerie et alimenté à base de foin ventilé. (Caillat et al., 2013). [Annexe7. Système d'élevage PATUCHEV].

Les infestations par les nématodes gastro – intestinaux ne survenant pas en bâtiment, seules les données des 2 lots au pâturage ont été considérées.

### 2. Modalités des prélèvements :

Les fèces ont été directement récupérées dans le rectum des animaux. La distinction entre les œufs des différentes espèces de strongles étant très délicate sans coproculture les parasites présents chez les animaux étudiés n'ont donc pas été précisément identifiés. C'est une évaluation globale de la charge en SGI (strongles gastro intestinaux) qui a été réalisée.

Le comptage des œufs a été effectué par la technique de Mac Master modifiée par (Raynaud,1970). L'intensité d'excrétion, en œufs par gramme de fèces (OPG), a été donnée par les formules suivantes :  $OPG = (\text{nombre d'œufs dans les deux réseaux}) \times 50$  ou  $OPG = (\text{nombre d'œufs dans les deux chambres}) \times 15$ . [Annexe8.Schéma d'une lame McMaster]

### 2.1. Les méthodes de prélèvements

Les résultats des animaux prélevés ils étaient divisés en catégories selon leur conduite d'élevage en : LOT (DP : Désaisonné Pâturage, SP : Saisonée Pâturant)

### 2.2. Le rythme de prélèvement

Quatre passages par an ont été effectués à des périodes similaires entre 2014 et 2017. Ces 4 passages nous ont permis de suivre l'évolution du parasitisme sur toute la saison de pâturage et ont été définis selon des critères liés à l'épidémiologie des strongyloses et au mode de conduite général de l'élevage.

Chaque passage a été défini en fonction de la saison au cours de laquelle les données ont été recueillies : HIVER, PRINTEMPS, ETE, AUTOMNE.

## 3. Les Analyses statistiques

Les échantillons ont été collectés par l'équipe de l'Unité Expérimentale de Lusignan, et les résultats ont été traités par l'équipe INMD de l'UMR IHAP 1225 entre 2014 et 2017.

Après avoir saisi et importé les données dans une feuille de calcul Excel nettoyage, harmonisation et validation, des nouvelles variables ont été créées : variables ordinales, ou qualitatives.

Les données retenues : (Identifiant (ID) et (OPG)) ont été organisés par Passage (Hiver, Printemps, Été, Automne) et par Lot (DP, SP). Ils ont ensuite été soumis à une analyse descriptive (moyenne, écart – type, fréquences).

La normalité des variables quantitatives a été vérifiée. [Annexes 9-12. Tests de normalité]. Les distributions d'excrétions des œufs(OPG) suivent une répartition de type binominale négative et, pour cette raison, l'ajustement a été fait avec transformation logarithmique (log transformation)  $X = \text{Ln} (OPG+1)$  pour stabiliser la variance. [Annexe13.Exemple des distributions des OPG avant et après log transformation].

Définition de Cas : le terme « CAS » est défini comme tout animal ayant une valeur égale ou supérieure à 500 opg.

**En première partie :** pour remplir notre premier objectif : Identifier les différences entre infestations par les nématodes gastro - intestinaux en fonction du lot d'appartenance

En tenant en compte les sous – groupes, les deux lots pâturant (DP, SP) ont été comparés par une analyse de variance avec le logiciel XLStat ®.

En utilisant comme variable dépendante les passages (Hiver, Printemps, Été, Automne) le facteur considéré étant le Lot avec 2 catégories : LOT (Système d'élevage=DP, SP). (à 1ddl)

**En deuxième partie :** pour l'objectif, Identifier des périodes de risque pour les applications des traitements cible et mieux traiter les animaux.

Les deux lots pâturant ont été comparés par analyse de variance de mesures répétées avec le logiciel XLStat®.

En utilisant comme variable dépendante les passages (Hiver, Printemps, Été, Automne) le facteur considéré étant le lot avec une catégorie : LOT (SP ou DP) (à 3ddl)

**En troisième partie** : les animaux hautement excréteurs des œufs (Cas = > 500 opg) ont été soumis à un suivi par passage et par chaque année, pour identifier les sujets potentiellement sensibles aux nématodes gastro – intestinaux qui peuvent représenter un risque pour le reste du troupeau.

Les fréquences de cas parmi le total des animaux, et fréquences de cas en fonction des lots d'appartenance, ont été comparés, avec un test de Fisher 95% réalisés grâce au logiciel XLStat®.

Afin d'identifier des individus plus excréteurs dans un troupeau les résultats des animaux ayant une fréquence d'excrétion des œufs égale ou supérieure à 500 opg ont été soumis à une analyse de répétabilité, par chaque année.

Les calculs de répétabilité ont été réalisés grâce au logiciel XLStat®.

Les différences  $p < 0,05$ \*  $p < 0,01$ \*\* ont été considérées comme significatives

**Interprétation de Coefficient de Répétabilité** (Martin et Bateson 1986, d'après Harper et al., 1994) :  $r < 0.2$  très bas ;  $r$  entre 0.2 and 0.4 bas ;  $r$  entre 0.4 and 0.7 normal ;  $r$  entre 0.7 and 0.9 bonne ;  $r > 0.9$  très bonne

## B. Huit (8) fermes de la région Occitanie

L'objectif est de valider certains critères intuitifs des éleveurs pour appliquer les traitements sélectifs par eux-mêmes, donc pour repérer les animaux et identifier les animaux les plus infestés pour répondre à la question : *Qui traiter ?*

Un autre objectif est de développer des outils plus simples pour répondre aux questions *Qui traiter ?* et *Quelle méthode utiliser ?* par l'évaluation et validation de la méthode FAMACHA® pour identifier les animaux anémiques dans un troupeau.

### a) Populations d'étude et échantillonnage :

Le projet a porté sur des éleveurs caprins de la Région Occitanie.

Les éleveurs ayant participé ont été volontaires pour participer, quelle que soit la taille de leur exploitation et de la production laitière.

Une première sélection d'éleveurs a été effectuée sur la base de leur ancienne collaboration avec l'INRA. Une deuxième sélection a été faite sur la base de la présence de problème d'efficacité des anthelminthiques et de résistances ou sur la présence d'une quantité significative d'œufs de nématodes gastro – intestinaux au cours de la période 2016 et 2017.

La taille d'échantillons varie d'une ferme à l'autre, un total de 896 résultats a été analysés. Une synthèse des fermes suivies est présentée dans le Tableau 1.

<b>FERMES SUIVIES n = 896</b>	<b>B</b>	<b>D</b>	<b>F</b>	<b>M</b>	<b>R</b>	<b>S</b>	<b>W</b>	<b>LH</b>
<i>Nombre moyen d'animaux par passage</i>	17	18	22	15	16	36	20	17
<i>Nombre moyen de passage par an (2016 – 2017)</i>	3 -3	2 - 2	<b>2*</b>	3 - 2	2-3	3 -2	3 - 2	<b>3*</b>
<i>Total de animaux par ferme</i>	220	38	120	40	100	240	115	150
<i>Total des résultats par ferme</i>	117	66	44	104	125	236	140	64
<b>*animaux qu'ont été suivies pendant 2016</b>								

Tableau 1. Synthèse des données : 8 fermes région Occitanie

## b) Protocole

### 1. Localisation et présentation générale de 8 Fermes

Ces élevages se répartissaient sur 3 départements de la région : le Lot (3 élevages), L'Ariège (2 élevages), Le Tarn (2 élevages)

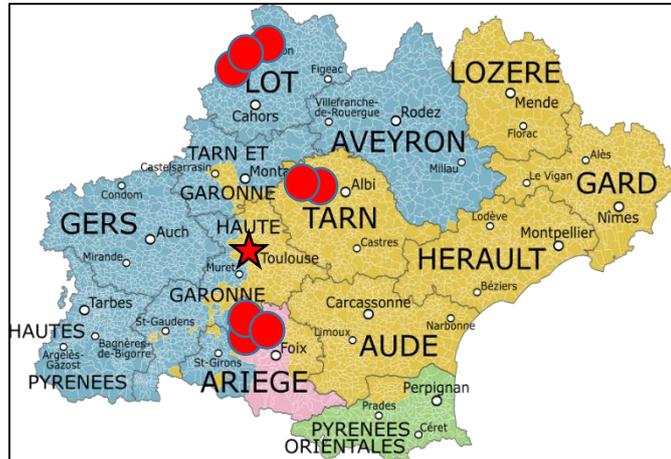


Figure 4. Localisation des 8 fermes dans la Région Occitanie. Source : [departements.svg.fr](http://departements.svg.fr)

Les fermes retenues comptent des tailles de troupeau très variables, allant de 38 chèvres à 240. Tableau 1

Les conditions d'élevage de chaque ferme sont différentes. Bien qu'elles soient dans la même région, la température, l'humidité sont différentes, ainsi que la gestion du système et la conduite des animaux.

### 2. Modalités de prélèvements :

Les résultats de prélèvements d'intérêt pour cette partie de notre projet, ont été les suivants :

#### *Critères Quantitatifs - Objectifs*

- Résultats de prélèvement de matières fécales par voie transrectale, dont l'analyse aboutit à une valeur d'intensité d'excrétion d'œufs, exprimée en OPG. Sont réalisés par la méthode de coproscopie (Raynaud JP., 1970)
- Résultats de la prise de sang, dont l'analyse aboutit à une mesure de l'hématocrite HTO (%). Des prélèvements sanguins étaient effectués dans des tubes de 4mL contenant de l'héparine, pour éviter la coagulation du sang.

#### *Critères semi – quantitatifs – Subjectifs – Intuitifs*

- Résultats de Note d'Etat corporel (NEC). Elle s'établit selon une échelle de 1 à 5.
- Résultats d'une note FAMACHA® après évaluation de la couleur de la muqueuse oculaire, permet d'évaluer l'anémie d'un individu selon une échelle (1 à 5).

#### 2.1. Le rythme de prélèvement

Entre 2 à 3 passages par an ont été effectués à des périodes similaires entre 2016 – 2017. Dans 2 fermes (2/8) les prélèvements ont été effectués qu'en 2016. Tableau 1

### 3. Les Analyses statistiques

Les échantillons ont été collectés et traités par l'équipe INMD - UMR IHAP 1225 entre 2016 et 2017 d'où ont été recueilli les résultats pour les analyses statistiques.

Pour la description des fermes (distributions des moyennes, fréquences) le logiciel XLStat® a été utilisé.

Les variables considérées étaient de type : Type ordinal, avec de nombreuses valeurs ex-aequo pour les notes FAMACHA® et NEC ; Type quantitative continue OPG, HTO.

Les distributions d'excrétions des œufs(OPG) suivent une répartition de type binominale négative et, pour cette raison, l'ajustement a été fait avec transformation logarithmique (log transformation)  $X = \text{LN}(\text{OPG}+1)$  pour stabiliser la variance.

Les distributions FAMACHA (FMCH), Hématocrite (HTO) et Note d'état corporel (NEC) suivent une distribution normale.

En conséquence, on a utilisé un type de corrélation permettant de s'affranchir d'un certain nombre de prérequis : le coefficient de Spearman.

Les corrélations significatives à 0,05 ont été marquées avec un (\*), et à 0,01 avec les deux (\*\*). Toutes les analyses de corrélation ont été réalisées avec le logiciel SSPP®.

**En première partie :** pour l'objectif de valider les critères intuitifs des éleveurs pour l'application du traitement sélectif en élevage caprin, et l'identification des animaux infestés par les nématodes gastro – intestinaux pour répondre à la question *Qui traiter ?* les corrélations entre indicateurs quantitatifs et semi – quantitatifs, globalement et puis, dans chaque ferme de la région Occitanie ont été réalisées.

**En deuxième partie :** pour répondre à l'objectif de l'évaluation de la méthode FAMACHA® pour repérer les chèvres anémiques, et répondre à la question *Qui traiter ?* la validité du test FAMACHA par rapport aux valeurs HTO a été testée ?

Les deux principales qualités d'un test, qui définissent la validité interne de l'instrument de mesure, sont :

- La sensibilité (Se) : c'est la capacité du test à identifier les sujets atteints de la maladie.
- La spécificité (Sp) : c'est la capacité du test à identifier les sujets sains.

Pour mesurer la confiance dans les résultats de notre test, les valeurs prédictives positives et négatives ont été calculés.

- Valeur prédictive positive (VPP) : c'est la confiance qu'on donne à un résultat positif.
- Valeur prédictive négative (VPN) : c'est la confiance qu'on donne à un résultat négatif. Ces mesures dépendent de la fréquence de la maladie (Prévalence =  $M+/T$ ).

Les critères de positifs (M+) sont représentés pour les valeurs d'hématocrite inférieures aux seuils respectifs de 15, 18, puis 20 ( $\text{HTO} < 15, 18, 20$ ) pour considérer les animaux comme : Anémique.

Les critères négatifs (M-) sont représentés pour les valeurs d'hématocrite égale ou supérieures aux seuils 15, 18, puis 20 ( $\text{HTO} > 15, 18, 20$ ) considérés comme : Non anémiques

Les deux critères de décision qu'ont été utilisés pour l'identification des animaux anémiques par rapport aux valeurs FAMACHA® ont été : Critère 1, Critère 2

Le critère 1 (plus exhaustif), où les animaux qualifiés avec VP = 3, 4 ou 5 et le second critère (plus restrictif) qui correspond aux animaux avec VP = 4 ou 5.

Que ce soit pour le critère 1 ou 2, animaux considérés à traiter = VP+FP

La sensibilité, la spécificité, les valeurs prédictives positifs et négatifs et ainsi la fréquence (prévalence) ont été calculées en utilisant un tableau de contingence (2 x 2) comme illustré dans le Tableau2.

CRITERIE 1	HTO<	HTO>	TOTAL	CRITERIE 2	HTO<	HTO>	TOTAL
	Anémique	Non anémique			Anémique	Non anémique	
FMCH(3,4,5)	VP	FP	VP+FP	FMCH(4,5)	VP	FP	VP+FP
FMCH(1 -2)	FN	VN	FN+VN	FMCH (1 -2 -3)	FN	VN	FN+VN
<b>TOTAL</b>	VP+FN	FP+VN	TOTAL	<b>TOTAL</b>	VP+FN	FP+VN	TOTAL

Tableau 2. Tableau de contingence formule Sensibilité – Spécificité (FAMACHA®) en fonction des seuils d'Hématocrite

VP : vrai positif ; FP : faux positif ; FN : faux négatif ; VN : vrai négatif ;  
 $Se = VP / (VP + FN)$  ;  $Sp = VN / (VN + FP)$  ;  $VPP = VP / (VP + FP)$  ;  $VPP$  : valeur prédictive positive ;  $VPN = VN / (FN + VN)$  ;  $A \text{ traiter} = (VP + FP)$  ;  $Pr = (VP + FN) / \text{Total}$   
 Pour mesurer la précision les coefficients Kappa ont été calculés. ; Interprétation de ces coefficients Kappa (Landis and Koch, 1977) ;  $k < 0,2$  négligeable ;  $k : 0,2 - 0,4$  minime ;  $k : 0,4 - 0,6$  bas ;  $k : 0,6 - 0,8$  bonne ;  $k : > 0,8$  excellent

### C. Validations des Méthodes de Coproscopie Individuelle, Coprologie Mélange, Coprologie Broyat

Le but de cette partie, était de présenter une analyse entre différentes méthodes de coproscopie.

- Coproscopies individuelles (critère de référence) : Les coproscopies ont été réalisées pour chacun des animaux prélevés par élevage.
- Coproscopie de mélange : Après avoir effectué les coproscopies individuelles, les reliquats des échantillons sont mis ensemble dans un sac et les fèces sont secoués afin d'obtenir un mélange le plus homogène possible. Un prélèvement au hasard par tirage de 5g du mélange obtenu a été analysé ensuite. par coproscopies
- Coproscopie de broyat : Après avoir effectué le mélange, le reste des fèces est broyé mécaniquement dans un broyeur électrique ce qui permet d'améliorer l'homogénéité du mélange. Ensuite un prélèvement au hasard par tirage de 5g du mélange de broyat de fèces obtenu a été analysé par coproscopies.

#### a) Population d'étude et échantillonnage :

Les résultats de 219 coproscopies ont été obtenus par les trois différentes méthodes : Individuelle (Référence) et 2 types d'Analyses de Coproscopie de groupe : (Mélange et Broyat).

Ces résultats ont été classés en 4 groupes selon différents seuils de décision. Tableau4

#### b) Protocole

##### 1. Modalités de prélèvements et d'analyses de laboratoires

Ces sont les mêmes méthodes de prélèvements et d'analyses expliqués précédemment (Page 25 – « Méthodes des prélèvements »)

## 2. Les Analyses statistiques

**En première partie :** Corrélation entre Coproscopie Individuelle, Coproscopie Mélange, Coproscopie Broyat, en total et par seuil de décision.

L'objectif est de développer un outil de surveillance plus simple et moins coûteux et déterminer à quel moment il convient de traiter les animaux, pour répondre à la question *Quand traiter ?*

La moyenne des résultats individuels obtenus sur 12 animaux d'un même Lot a été utilisée comme variable de référence.

En une première étape : les corrélations entre coproscopies de mélange, de broyat et moyennes de coproscopies individuelles ont d'abord été calculées pour l'ensemble des données (n=219).

Dans une deuxième étape, les analyses de corrélation par groupe ont été calculées en fonction de divers groupes définis par des seuils d'intensité d'excrétions présentés dans le Tableau 3. Ces seuils correspondent à des seuils de décision de traitement utilisés en élevage.

Pour attribuer un résultat positif, tous les résultats supérieurs ou égaux au seuil choisi sont considérés positifs, tous les résultats qui sont inférieures au seuil choisi sont négatifs.

Les limites des classes d'intensité d'excrétion d'œufs ont été choisies sur la base des indicateurs suivantes :

- Moyennes de troupeau inférieures à 500 OPG sont considérées comme négligeables à faibles et ne nécessitant pas de traitement particulier.
- Au-delà de 1000 OPG, et surtout 1200 OPG, la contamination des pâtures devient très importante et les animaux et leur production peuvent en pâtir. Un traitement antiparasitaire est donc nécessaire.
- Entre 500 et 1000 OPG, la décision de traiter ou non doit prendre en considération l'état général des animaux (Brard et Chartier, 1997).

<b>Groupe1</b>	- Intensité d'excrétion entre > ou < à 500 OPG
<b>Groupe2</b>	- Intensité d'excrétion entre > ou < à 700 OPG
<b>Groupe3</b>	- Intensité d'excrétion entre > ou < à 1000 OPG
<b>Groupe4</b>	- Intensité d'excrétion supérieure > ou < à 1200 OPG

Tableau 3. Groupes selon seuils d'intensité d'excrétions des œufs

Ces analyses ont été faites avec une corrélation non paramétrique Rho de Spearman, Comme les données de OPG ont des valeurs atypiques et non normalisées, c'est la méthode la plus appropriée.

Les conditions d'applications du test sont remplies, on s'appuie sur la robustesse du test Rho de Spearman.

Les interprétations ont été faites avec : (I) une table de coefficient de corrélation (d'après Fischer et Yates, extrait de « Méthodes statistiques à l'usage des médecins et des biologistes, Schwartz, 1993). Ces valeurs ont été comparées à la (II) [Annexe 35. Table d'interprétation Hernandez, Fernandez et Baptista (2006)]

**En deuxième partie :** validation de tests de coproscopie de groupe par rapport à la référence (test individuel)

Pour la validation des tests de coproscopie de groupe notre test de référence (test individuel) a été comparé entre les deux tests proposés selon différents seuils de décision.

Le test de référence a été considéré comme « Gold Standard »

Test 1 = Mélange ; Test 2 = Broyat

Pour les données qualitatives : les calculs de sensibilité, spécificité, valeur prédictive positive, valeur prédictive négative ont été fait avec le Tableau de contingence. Tableau4.

TEST DE REFERENCE			
Test1/2	Positive	Négative	Total
Positive	VP	FP	(VP+FP)
Négative	FN	VN	(FN+VN)
Total	<b>TOTAL</b>	<b>TOTAL</b>	<b>N</b>

Tableau 4. Tableau de contingence Sensibilité – Spécificité (Test de Coproscopie)

Pour les données quantitatives : on a utilisé la courbe ROC (Receiver Operating Characteristics). L'interprétation de la courbe\*. Figure5

(\*)Signification air sous la courbe

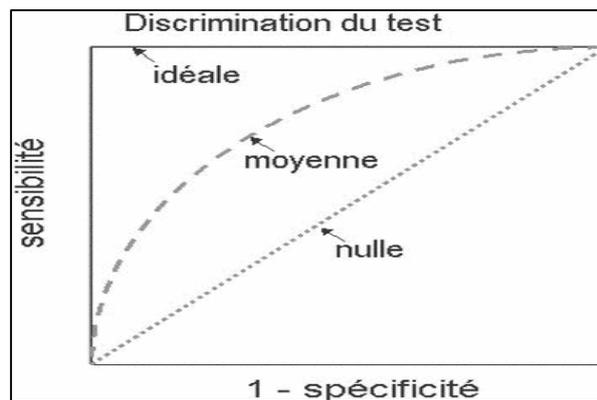


Figure 5. Interprétation l'aire sous la courbe

### III. RESULTATS

Cette partie abordera les résultats obtenus dans le projet de stage, ces résultats ont été divisés en trois parties en fonction au jeu des données.

- **La première partie (A)** : les résultats de la ferme expérimentale PATUCHEV pendant le période 2014 à 2017 (présentation des données, moyennes annuelles, analyses des excréments des œufs, répétabilité, fréquence des cas,)
- **La deuxième partie(B)** : les résultats des 8 fermes de la région Occitanie suivies pendant la période 2016 – 2017 (présentation des données dans chaque ferme suivie, indicateurs quantitatifs et semi – quantitatifs et ces corrélations, analyses de sensibilité, spécificité de la méthode FAMACHA®)
- **La troisième partie (C)** : correspond aux résultats d’analyses et validations des méthodes de coproscopie de groupe par rapport à la coproscopie individuelle (corrélations, sensibilité, spécificité).

#### A. Ferme Expérimentale PATUCHEV

##### 1. Résultats des moyennes et déviations standard d’excréments d’œufs des nématodes gastro – intestinaux de 2014 à 2017

Les résultats cumulés dans chaque année vont de 308 à 469, le nombre des animaux par passage variant de 18 à 66. En ce qui concerne les valeurs des moyennes d’excréments des œufs et de déviations standard, les résultats allant de 0 à 386,67 opg comme valeur maximum.

Les résultats présentés dans le Tableau 5, représentent la quantité des données par lot d’appartenance et passage.

<i>N =</i> <i>1542</i>	<i>LOT</i>	<i>HIVER</i>	<i>PRINTEMPS</i>	<i>ÉTÉ</i>	<i>AUTOMNE</i>
<b>2014</b> <i>n=418</i>	<b>DP</b> <b>n=213</b>	239,62(±278,62) n=53	179,46(±251,32) n=56	51,83(±78,89) n=60	159,09(±150,69) n=44
	<b>SP</b> <b>n=205</b>	109,57(±153,81) n=48	155,83(±146,40) n=48	54,27(±92,48) n=48	256,56(±283,06) n=61
<b>2015</b> <i>n=308</i>	<b>DP</b> <b>n=132</b>	128,57(±136,37) n=28	156,94(±124,87) n=36	17,30(±50,87) n=26	117,07(±131,63) n=42
	<b>SP</b> <b>n=176</b>	75 (±82,69) n=18	182,07(±248,01) n=58	344(±269,10) n=50	317(±328,67) n=50
<b>2016</b> <i>n=347</i>	<b>DP</b> <b>n=94</b>	59,52 (±67,38) n=57	37,50 (±63,30) n=42	0,00(±0,00) n=0	68,18(±161,67) n=11
	<b>SP</b> <b>n=253</b>	7,03 (±23,35) n=65	38,28(±69,43) n=64	161,48(±110,45) n=63	326,72(±334,77) n=61
<b>2017</b> <i>n=469</i>	<b>DP</b> <b>n=78</b>	48,86(±78,86) n=44	237,63(±482,67) n=72	8,97(±22,57) n=39	28,78(±39,28) n=66
	<b>SP</b> <b>n=71</b>	131,81(±157,54) n=66	386,67(±237,01) n=60	330,65(±309,59) n=60	248,33(±363,13) n=62

Tableau 5. Résultats des moyennes et Déviation Standard d’excréments d’œufs PATUCHEV

## 2. Analyse des résultats d'excrétions des œufs des nématodes gastro – intestinaux

### 2.1. Résultats d'analyses par passage selon le Lot d'appartenance, pour chaque année

Dans le but d'évaluer le risque de infestations les résultats d'excrétions des œufs dans chaque passage parmi lot d'appartenance (sous-groupes) ont été évaluées, afin d'aider les éleveurs à mieux traiter les animaux.

Les résultats obtenus par l'analyse de variance sont exposés dans les [Annexes de 15 à 18]. Les moyennes identifiées par des lettres différents sont statistiquement différentes ( $p > 0,05$ ) en fonction de lot d'appartenance.

Dans la (Figure 6) on observe qu'en 2014, au Printemps les moyennes d'excrétions des œufs ne sont pas différentes significativement ( $p < 0,05$ ) à 1ddl entre lots.

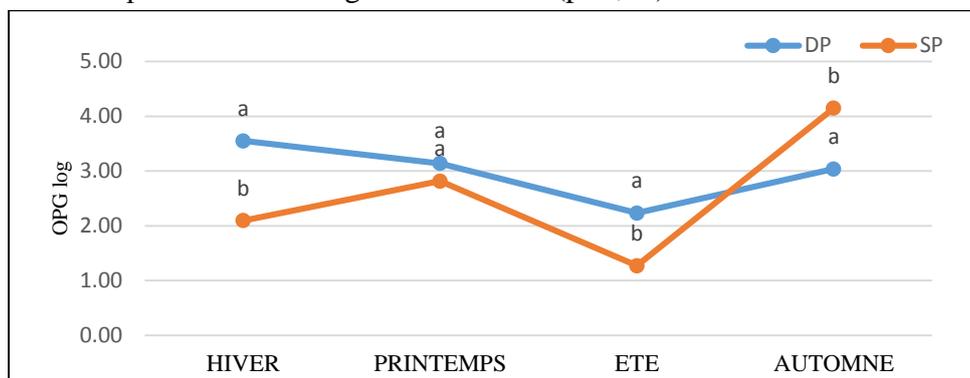


Figure 6. Analyse des moyennes d'excrétions des œufs par passage, selon Lot en 2014

En 2015, les résultats d'analyses présentent des pics simultanés pour les deux Lots, les moyennes d'excrétions d'œufs au Printemps et en Automne ne sont pas différentes significativement ( $p < 0,05$ ) à 1 ddl selon les lots (Figure 7)

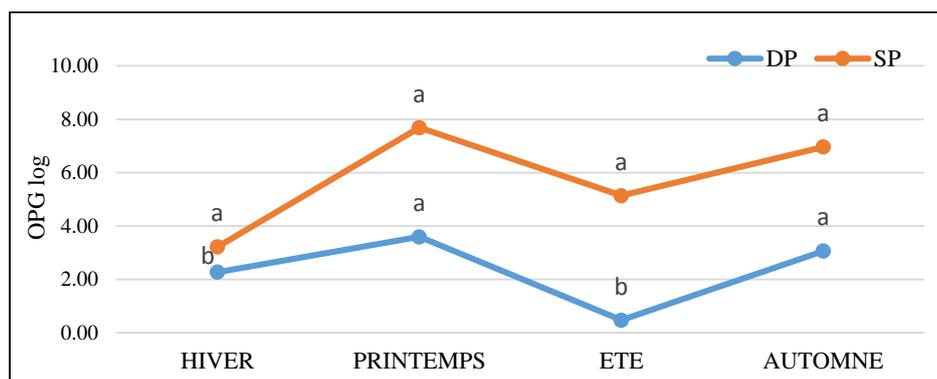


Figure 7. Analyse des moyennes d'excrétions des œufs par passage, selon Lot en 2015

En 2016, les résultats des analyses présentent une interaction apparente entre les deux Lots dans le passage Printemps qui résulte non différentes significativement ( $p < 0,05$ ) à 1 ddl selon lot (Figure8)

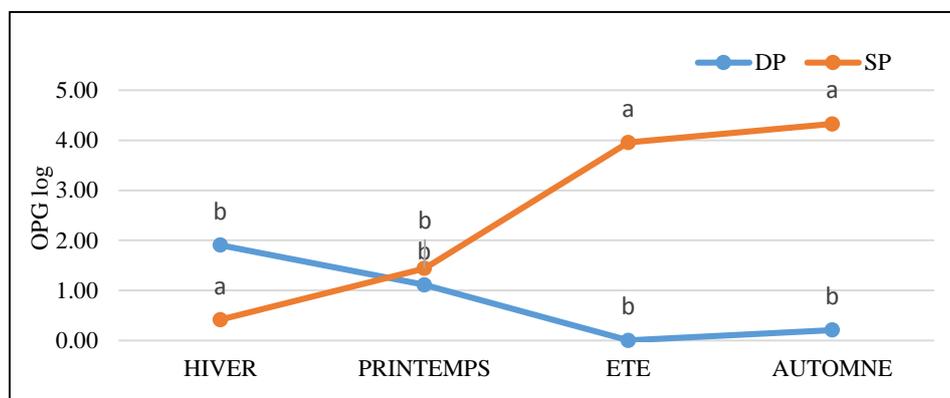


Figure 8. Analyse des moyennes d'excrétions des œufs par passage, selon Lot en 2016

En 2017, les distributions des résultats des moyennes d'excrétions des œufs suivent la même tendance dans les deux Lots de façon simultanée, aucun passage n'a donné de relation non significative ( $p < 0,05$ ) à 1 ddl selon lot. (Figure9)

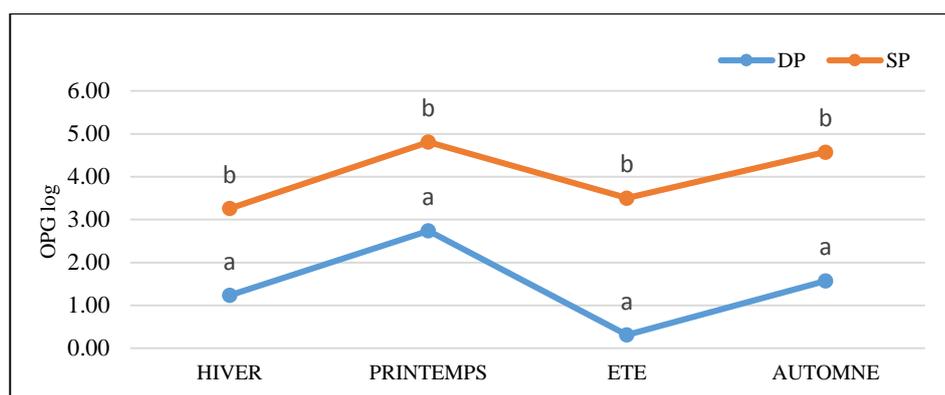


Figure 9. Analyse des moyennes d'excrétions des œufs par passage, selon Lot en 2017

## 2.2. Résultats d'analyses entre passage, par lot, par chaque année.

Les résultats d'excrétions d'œufs ont été évaluées entre passages parmi lot d'appartenance afin de répondre à la question *Quand traiter ?* et aider les éleveurs à mieux traiter les animaux dans ses troupeaux.

- Les résultats montrent que dans un même lot, il y a une différence significative entre passages au cours d'un même année. Les analyses de variance entre passages donnent résultats significatifs ( $*p < 0,05$ ) à 3 ddl.
- Les résultats synthétisés d'analyses entre passages par lot d'appartenance, par année sont exposés dans le Tableau 6.

LOT	p value 2014	Sig	p value 2015	Sig.	p value 2016	Sig.	p value 2017	Sig.
DP	0,029	Oui	0,000	Oui	0,000	Oui	0,000	Oui
SP	0,000	Oui	0,000	Oui	0,000	Oui	0,000	Oui

Tableau 6. Résultats d'analyses entre passages, par lot, par chaque année

Les analyses détaillées sont exposées dans [Annexes 19 – 26. Analyses entre passages].

### 3. Fréquence des animaux égal ou supérieur à 500 opg pendant 2014 – 2017

Pour l'identification des animaux les plus excréteurs des œufs des nématodes gastro-intestinaux qui peuvent représenter un risque pour le reste du troupeau, et pour répondre à la question *Qui traiter ?* la fréquence d'apparition des cas a été évaluée (I) par année puis (II) par lot d'appartenance.

#### 3.1. Fréquence des cas parmi le total des animaux par chaque année

Les résultats montrent que le pourcentage de cas dans chaque année allant de 13,33% à 22,82%. La distribution des cas parmi le total des animaux est présentée dans la (Figure10).

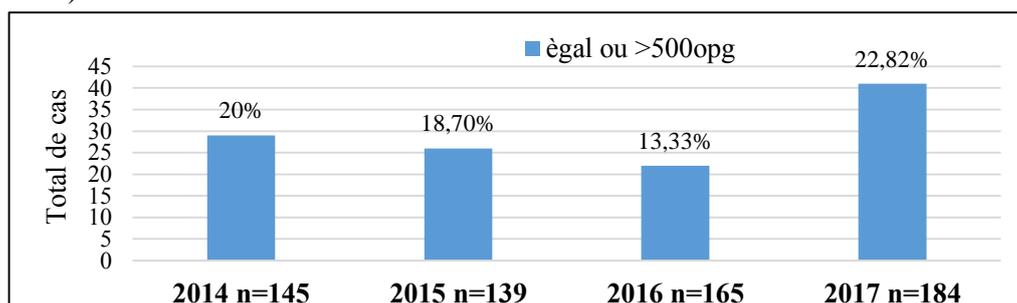


Figure 10. Fréquence des Cas pendant la période de 2014 à 2017

Le résultat du test de Fisher pour une association significative entre la quantité de cas par an, parmi les 4 années donne une valeur de  $p = 0,579$  ( $p > 0,05$ ) [Annexes31.Fréquence de Cas par an].

Il n'y a pas de différences significatives entre la quantité de Cas entre les 4 années à un risque alfa de 57,89%.

#### 3.2. Fréquence des cas parmi le lot de appartenances par chaque année

Les résultats montrent que dans le lot SP il y a un plus grand nombre des cas au cours des années à l'exception de 2016 avec une différence minimale. La distribution des cas selon le lot d'appartenance est présentée dans la (Figure11).

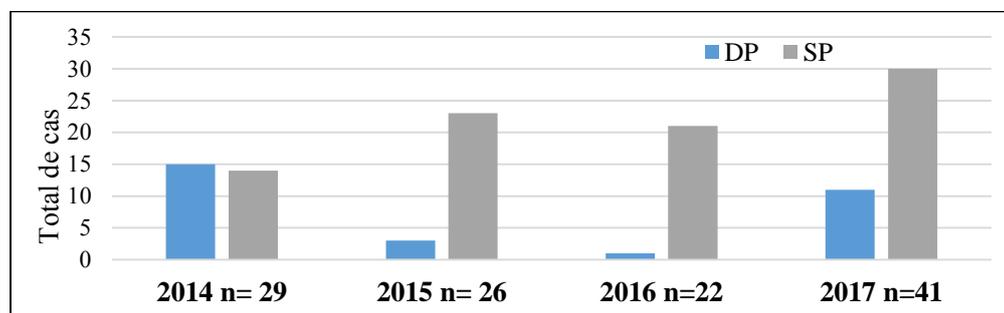


Figure 11. Fréquence des Cas selon Lot pendant la période de 2014 à 2017

Le résultat du test de Fisher pour une association significative entre quantité de cas par lot d'appartenance au cours des 4 années donne une valeur de  $p = 0,000$  ( $p < 0,01$ ) [Annexes32.Fréquence de Cas par Lot].

Il y a une différence significative entre la quantité de Cas parmi lot d'appartenance au cours des 4 années, à un risque alfa de moins de 0,05%

#### 4. Analyses de Répétabilité 2014 - 2017

Pour l'évaluation de la variabilité des résultats de mesures d'excrétions des œufs par gramme (OPG) au cours des quatre années et, pour repérer les animaux plus excréteurs ; les animaux ayant une lecture égal ou supérieure à 500 opg (Cas) ont été soumis à une analyse de répétabilité par chaque année.

- Les résultats détaillés sont exposés dans [Annexes de 27 à 30. Analyses de répétabilité]. Les résultats des coefficients de répétabilité vont de [0,38 à 0,91].

Tableau7 (\*) valeurs considérées comme significatifs à (p<0,05)

Années	2014	2015	2016	2017
Coefficient de Répétabilité	0,76*	0,44*	0,38*	0,91*

Tableau 7. Résultats des coefficients de répétabilité de 2014 à 2017

## B. Résultat d'analyses de 8 Fermes région Occitanie

### 1. Résultats moyens d'excrétions des œufs des nématodes gastro-intestinaux pour chaque ferme suivie en 2016 et 2017

Les valeurs de moyenne d'excrétions des œufs dans les 8 fermes varient de 636,88 à 2577,59 opg Ces valeurs pour la plupart de fermes sont élevées. C'est en particulier le cas pour la ferme **W**, avec une valeur maximale de 5492,5opg totalement hors de la moyenne générale comme une valeur aberrante.

Dans chaque ferme il y a une classification entre Primipares et Multipares, selon le tableau 8, on voit a) qu'en 2017 le moyenne d'excrétions est en général plus élevée qu'en 2016 ; et b) que pour la différence en fonction de l'âge, dans la plupart des cas, les excrétions sont est plus élevées chez les Primipares.

Les résultats de moyennes d'excrétions des œufs pour chaque ferme sont présentées dans la Tableau8.

OPG	B	D	F	M	R	S	W	LH
Moyenne total 2016	2423,08	1952,63	910,00	1672,41	1518,75	848,02	1541,25	802,00
Moyenne total 2017	1322,81	2577,59	0	1271,05	1292,50	636,88	5492,59	0,00
Multipares 2016	1050	1125	400	408,33	862,50	3425	1175	261
Multipares 2017	555,67	1437,5	*	2158,33	2700	*	2848	*
Primipares 2016	158,33	5475	1437,5	908,33	1839,58	625	315	192
Primipares 2017	841,67	1062,5	*	425,00	2975	*	1691,50	*

Tableau 8. Résultats moyens d'excrétions des œufs pour ferme suivie en 2016 - 2017(\*) valeurs manquantes

### 2. Résultats moyens des valeurs d'Hématocrite dans chaque ferme suivie en 2016 et 2017

Les résultats des valeurs de l'hématocrite se situent entre 22,33% et 30,11%. Dans les différentes fermes, il y a peu de différence entre les moyennes par année d'analyse, en règle générale, les valeurs sont plus élevées en 2016.

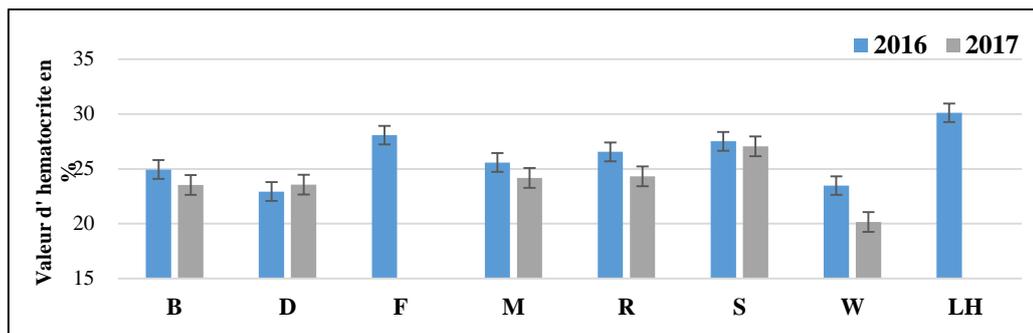


Figure 12. Résultats moyens des valeurs d'Hématocrite dans chaque ferme suivie en 2016 et 2017

### 3. Résultats moyens des valeurs de Note FAMACHA® dans chaque ferme suivie en 2016 et 2017

Les résultats des valeurs de note FAMACHA® en 2016 varient entre 1,9 et 3,23 ; en 2017 les valeurs oscillent entre 1,76 et 2,5. Dans les différentes fermes, il y a de différences entre les moyennes par année d'analyse, on voit que les valeurs sont plus élevées en 2016.

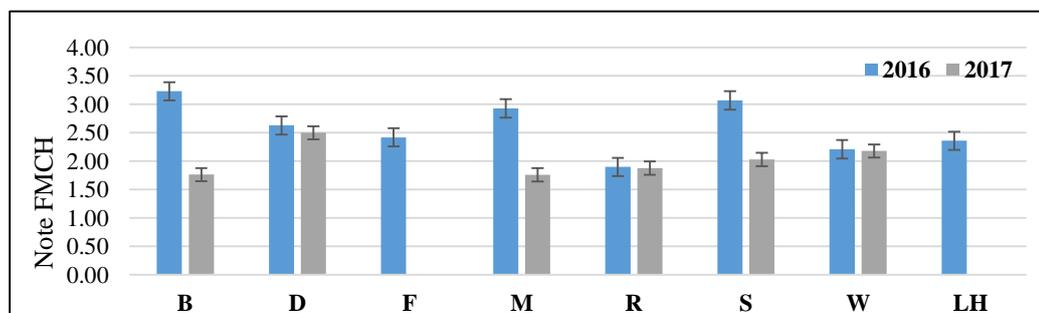


Figure 13. Résultats moyens des valeurs de note FAMACHA dans chaque ferme suivie en 2016 et 2017

### 4. Résultats moyens des valeurs de Note d'Etat Corporel dans chaque ferme suivie en 2016 et 2017

Les résultats des valeurs de note état corporel (NEC) varient de 2,02 en tant que valeur minimale à 2,9 en tant que valeur maximale. Dans les différentes fermes, il y a peu de différence entre les moyennes par année d'analyse, en règle générale, les valeurs sont plus élevées en 2017.

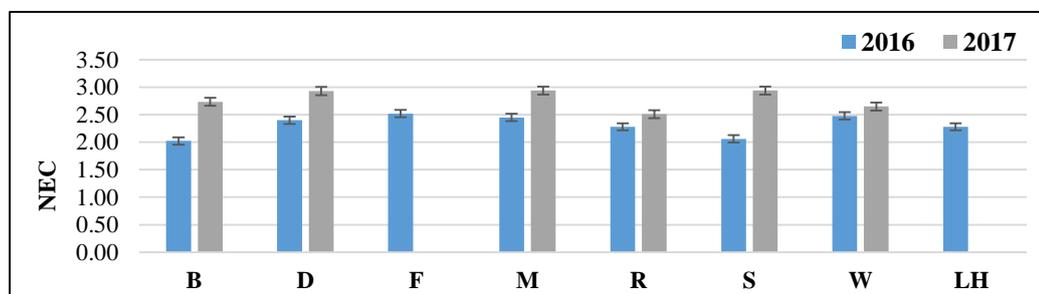


Figure 14. Résultats moyens de note d'état corporel dans chaque ferme suivie en 2016 et 2017

## 5. Résultats des Corrélations entre indicateurs quantitatifs et semi - quantitatifs

### 5.1. Résultats des corrélations 8 fermes au total n= 896

Au total, 896 séries de résultats ont été corrélées entre tous les indicateurs quantitatifs et semi – quantitatifs, afin de valider les critères intuitifs des éleveurs pour l'application du traitement sélectif en élevage caprin.

Bien qu'un grand nombre de variables sont significativement corrélées, les valeurs des coefficients de corrélation sont faibles à modérées.

- Pour la note FAMACHA®, les mesures des corrélations donnent des résultats significatifs ( $p < 0,05$ ) avec les trois indicateurs évalués (NEC, HTO, OPG)
- La corrélation NEC est positive et significative avec HTO ( $p < 0,05$ ) à 620 ddl, par contre, la corrélation est négative et non significative avec les valeurs d'OPG présentés. ( $p > 0,05$ ) à 305 ddl.
- Par rapport à l'indicateur HTO la corrélation est négative et significative avec OPG ( $p < 0,05$ ) à 306 ddl. Les résultats sont présentés dans le Tableau 9.

<i>N = 896</i>	<i>8FERMES</i>	<i>FMCH</i>	<i>NEC</i>	<i>HTO</i>	<i>OPG</i>
<i>FMCH</i>	Coefficient de corrélation	1,000			
	N	687			
<i>NEC</i>	Coefficient de corrélation	-0,350**	1,000		
	N	678	683		
<i>HTO</i>	Coefficient de corrélation	-0,268**	+0,199**	1,000	
	n	625	622	660	
<i>OPG</i>	Coefficient de corrélation	+0,214**	-0,109	-0,408**	1,000
	N	313	307	308	475

Tableau 9. Résultats de corrélation sur les 8 fermes

### 5.2. Résultats de corrélation entre les indicateurs mesurés dans chaque ferme

Dans l'objectif de valider des indicateurs semi – quantitatifs pour mieux repérer les animaux infestés, et répondre à la question *Qui traiter ?* les analyses de corrélation entre ces indicateurs ont été réalisées pour chaque ferme, par valider ces méthodes en vue l'implémentations des traitements raisonnés.

- Les résultats des corrélations entre FMCH – NEC dans les fermes **B, D, M, R, S, W**, (6/8) sont négatifs et significatifs.
- Les résultats des corrélations entre FMCH - HTO dans les fermes **B, F, M, D, R, W** (6/8) sont négatifs et significatifs.
- Les résultats des corrélations entre FMCH – OPG dans les fermes **B, D, R** (3/8) sont positifs et significatifs.
- Les résultats de corrélation entre NEC – HTO dans les fermes **D, M, R, W**, (4/8) sont positifs et significatifs.
- Les résultats de corrélation entre NEC – OPG dans les fermes **B, D, R, W**, (4/8) sont négatifs et significatifs.
- Les résultats de corrélation entre HTO – OPG dans les fermes **B, D, M, R, S** (5/8) sont négatifs et significatifs.

Ces résultats en comparaison avec les résultats de corrélation totale, indiquent que quel que soit la taille de la population suivie les corrélations entre indicateurs quantitatif et semi – quantitatifs reste en moyenne stable et sont régulièrement corrélés avec le même signe. Ces résultats de corrélation sont présentés dans le Tableau 10.

B n= 117	FMCH	NEC	HTO	OPG
FMCH	1,000			
	116			
NEC	-0,617**	1,000		
	116	116		
HTO	-0,212*	+0,15	1,000	
	115	115	116	
OPG	+0,332*	-0,393**	-0,351**	1,000
	54	54	54	54

D n= 66	FMCH	NEC	HTO	OPG
FMCH	1,000			
	42			
NEC	-0,552**	1,000		
	39	39		
HTO	-0,439**	+0,407*	1,000	
	37	37	37	
OPG	+0,591**	-0,608**	-0,713**	1,000
	24	21	20	48

F n=44	FMCH	NEC	HTO	OPG
FMCH	1,000			
	41			
NEC	-0,142	1,000		
	41	43		
HTO	-0,388*	+0,007	1,000	
	39	39	40	
OPG	-0,124	+0,805**	-0,468	1,000
	15	15	15	15

M n=104	FMCH	NEC	HTO	OPG
FMCH	1,000			
	103			
NEC	+0,425**	1,000		
	101	102		
HTO	-0,256*	+0,246*	1,000	
	100	99	101	
OPG	+0,283	-0,339*	-0,418**	1,000
	41	40	41	42

R n=125	FMCH	NEC	HTO	OPG
FMCH	1,000			
	105			
NEC	-0,355**	1,000		
	105	105		
HTO	-0,477**	+0,448**	1,000	
	105	105	105	
OPG	0,589**	-0,446*	-0,695**	1,000
	30	30	30	50

S n= 236	FMCH	NEC	HTO	OPG
FMCH	1,000			
	166			
NEC	-0,267**	1,000		
	164	166		
HTO	-0,162	+0,124	1,000	
	118	118	150	
OPG	+0,180	-0,159	-0,299**	1,000
	86	86	86	151

W n=140	FMCH	NEC	HTO	OPG
FMCH	1,000			
	88			
NEC	-0,307**	1,000		
	86	86		
HTO	-0,590**	+0,326**	1,000	
	86	84	86	
OPG	+0,128	-0,255	-0,076	1,000
	38	36	38	90

LH n=64	FMCH	NEC	HTO	OPG
FMCH	1,000			
	26			
NEC	-0,180	1,000		
	26	26		
HTO	-0,325	+0,095	1,000	
	25	25	25	
OPG	+0,210	-0,355	-0,044	1,000
	25	25	24	25

Tableau 10. Résultats des corrélations entre indicateurs objectifs et subjectifs dans chaque Ferme

## 6. Sensibilité – Spécificité de la méthode FAMACHA® pour comparaison à seuils d'Hématocrite

Pour répondre à la question *Qui traiter ? Quelle méthode utiliser ?* et pour valider les outils de diagnostic et dépistage la sensibilité et la spécificité du test FAMACHA et HTO ont été évaluées selon deux critères de décision de traiter et 3 (trois) seuils d'Hématocrite : (15 – 18 – 20).

- Critère 1 = FAMACHA (3 – 4 – 5) = décision de traiter
- Critère 2 = FAMACHA (4 – 5) = décision de traiter

Les résultats détaillés sont exposés dans les [Annexes36.Tableau Sensibilité - Spécificité Test Sanguins]

### 6.1. Résultats de l'évaluation FAMACHA – Hématocrite (Critère 1)

La sensibilité s'on prise en compte la note de (3,4,5) (restrictif), varie de 100% à 76,06% selon que l'on augmente le seuil de décision ; par contre, la spécificité varie de 54,69 % à 57,78% en fonction de l'augmentation du seuil de décision.

N'importe quel seuil décision on prend en compte la spécificité reste quasi stable.

Les valeurs de prévalence oscillent entre 2,12 à 12,54 cette augmentation est accompagnée de la valeur prédictive positive qui varie de 4,56% à 20,53% ; par contre les résultats des valeurs prédictives négatives sont inversement proportionnelles à la prévalence.

Les résultats de concordance (Kappa) sont considérés comme négligeables. Mais la meilleure relation est celle des animaux anémiques à <20%. Tableau11

FAMACHA(3,4,5)	Se(%)	Sp(%)	VPP(%)	VPN(%)	Kappa	Pr(M+/T)
HTO<15	100	54,69	4,56	100	0,125	2,12
HTO<18	86,67	56,9	14,77	98,02	0,135	7,94
HTO<20	76,06	57,78	20,53	94,39	0,157	12,54

Tableau 11. Résultats de l'évaluation FAMACHA - Hématocrite (Critère 1)

### 6.2. Résultats de l'évaluation FAMACHA – Hématocrite (Critère 2)

La sensibilité s'on prise en compte la note de (4 – 5) (plus restrictif), varie de 75% à 42,25% selon que l'on augmente le seuil de décision ; par contre, la spécificité varie de 88,27 à 91,11% en fonction de l'augmentation du seuil de décision.

Les valeurs de prévalence oscillent entre 2,12 et 12,54 cette augmentation est accompagnée de la valeur prédictive positive qui varie de 12,16% à 40,56% ; par contre les résultats des valeurs prédictives négatives sont inversement proportionnelles à la prévalence.

Les résultats de concordance (Kappa) sont considérés comme minimes, mais, la meilleure relation est celle des animaux anémiques à <20%. Tableau12

FAMACHA (4,5)	Se (%)	Sp(%)	VPP(%)	VPN(%)	Kappa	Pr(M+/T)
HTO<15	75	88,27	12,16	99,39	0,250	2,12
HTO<18	53,33	90,23	32	95,73	0,335	7,94
HTO<20	42,25	91,11	40,54	93,70	0,365	12,54

Tableau 12. Résultats de l'évaluation FAMACHA - Hématocrite (Critère 2)

### 6.3. Pourcentage des animaux à traiter selon critère et seuil de décision

Les animaux recommandés pour le traitement étaient ceux classés comme positifs (faux positifs et vrais positifs). Par conséquent, en fonction des premiers et deuxième critère de décision, la différence entre les deux est indiquée dans Tableau13

<i>Animaux à traiter</i>	<b>Critère 1</b>	<b>Critère 2</b>
<b>HTO 15</b>	46%	13%
<b>HTO 18</b>	47%	13%
<b>HTO 20</b>	46%	13%

Tableau 13. Animaux à traiter selon critères de décision

## C. Résultats de Validation des Méthodes de Coproscopie de Groupe

### 1. Corrélation entre Coproscopies Individuelles - Mélange - Broyat n= 219

Pour répondre à la question *Quand traiter ?* au total 219 séries de résultats de coproscopies ont été comparées, pour valider les méthodes de groupe en vue de la réduction des coûts du test de dépistage et faciliter le diagnostic pour l'éleveur.

Les résultats de ces corrélations sont :

- Coefficient de corrélation CI/CM  $r= 0,901$  à 217 ddl significatif ( $p<0,01$ )
- Coefficient de corrélation CI/CB  $r= 0,870$  à 217ddl significatif ( $p<0,01$ ) (Figure15)

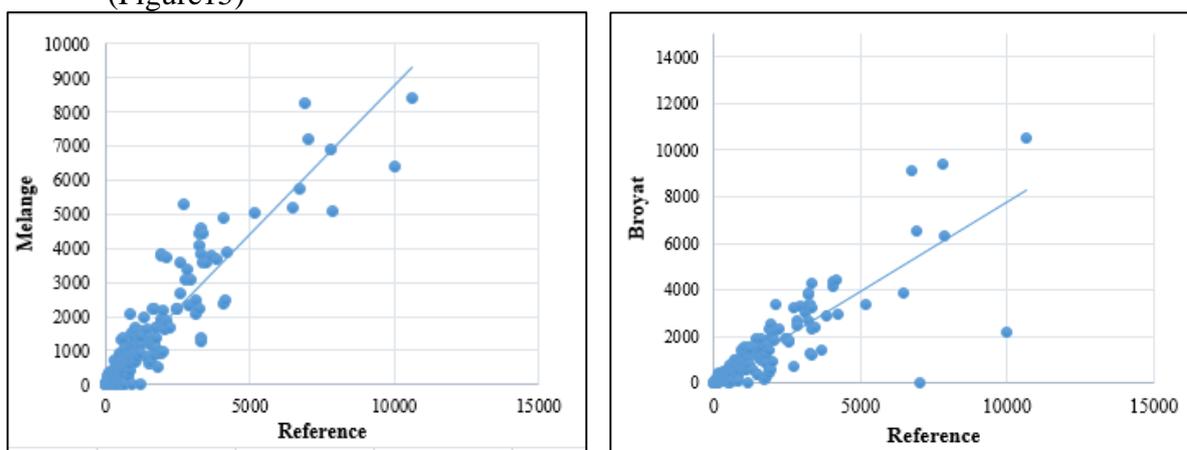


Figure 15. Corrélation coproscopies Individuelle, coproscopie de Mélange, coproscopie de Broyat n = 219

### 2. Corrélation entre coproscopies Individuelles, coproscopie Mélange, coproscopie Broyat

Pour répondre aux questions *Quand traiter ?* et *Quelle méthode utiliser ?* et pour valider ces méthodes, les résultats de coproscopies individuelles, coproscopie de mélange et de broyat ont été comparés en fonction des groupes de seuil de OPG. Ces groupes ont été soumis à des analyses de corrélation selon des seuils de décision comme indiquée dans CI= Coproscopies individuelles moyennes (Référence), Coproscopies Mélange CM = Mélange, Coproscopies Broyat = CB. Tableau14

Groupe1		CI/CM	p	CI/CB	p	ddl
n=83	<500opg	0,551	*	0,638	*	81
n=136	>500opg	0,853	*	0,776	*	134
Groupe2		CI/CM	p	CI/CB	p	
n=113	<700opg	0,653	*	0,705	*	111
n=106	>700opg	0,834	*	0,716	*	104
Groupe3		CI/CM	P	CI/CB	p	
n= 136	<1000opg	0,735	*	0,794	*	134
n= 83	>1000opg	0,809	*	0,702	*	81
Groupe4		CI/CM	P	CI/CB	p	
n=147	<1200opg	0,784	*	0,793	*	145
n=72	>1200opg	0,816	*	0,692	*	70
<i>p&lt;0,05 (*) significative</i>						

Tableau 14. Corrélation coproscopie Individuelle, coproscopie Mélange, coproscopie Broyat selon Groupe

### 3. Évaluation des Tests Coprologiques

Pour répondre aux questions *Quand traiter ?* et *Quelle méthode utiliser ?* les résultats de coproscopie selon différents seuils de décision ont été comparés entre eux, pour évaluer le taux de réponses positives dans chaque méthode, afin de fournir des arguments favorables pour la mise en œuvre de méthodes innovantes de dépistage et de diagnostic dans les troupeaux caprins et la mise en place des traitements raisonnés.

Sur un total de 219 résultats de tests de coproscopie, les taux de réponse ont été calculés et ces résultats sont inversement proportionnels à une augmentation du seuil de décision. Dans les trois méthodes évaluées la différence maximale entre Mélange et Reference par groupe est de 7,31%, et la différence maximale entre Broyat et Reference est de 10,96%. (Figure16)

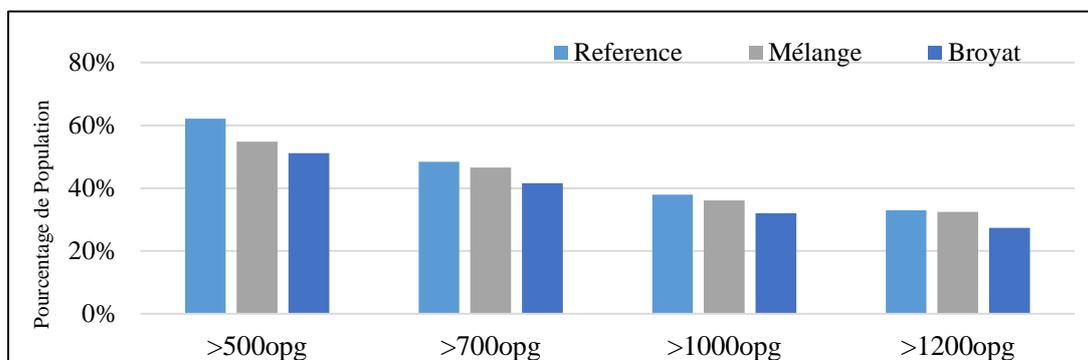


Figure 16. Taux de réponse test de coprologie selon seuils de décision

### 4. La sensibilité et spécificité de coprologie de groupe par rapport à la moyenne de coprologie individuelle.

Pour l'évaluation des méthodes de diagnostic et pour le but de valider méthodes de groupe en vue de la réduction des coûts par les éleveurs et répondre aux questions *Quand traiter ?* et *Quelle méthode utiliser ?* la validité du test de groupe par rapport à la référence (test individuel) selon différents seuils de décision a été évaluée.

Les résultats détaillés sont présentés dans les [Annexes de 38 à 41. Sensibilité - Spécificité des test coproscopie].

A fur et à mesure qu'on augmente le seuil de décision, on se trouve avec une augmentation de la sensibilité avec la coprologie Mélange par contre, dans la coprologie Broyat, il y a une oscillation avec la tendance à une diminution.

Par rapport à la spécificité on augmente le seuil de décision et on se trouve avec une diminution de la Spécificité dans les deux méthodes. Par le groupe Mélange les résultats oscillent entre 96,40 à 96,60, et Broyat de 100% à 92,50%. Tableau15

Les valeurs Kappa ont été calculées de façon complémentaire, ces résultats sont très bonnes. Par rapport à les valeurs prédictives positives allant de 88,76% à 100% ; et les valeurs prédictives négatives allant de 77,57% à 99,27% par rapport au seuil.

Tests	Seuil 500opg		Seuil à 700 opg		Seuil 1000 opg		Seuil 1200opg	
	Mélange	Broyat	Mélange	Broyat	Mélange	Broyat	Mélange	Broyat
<b>Se</b>	88,24%	82,35%	96,23%	85,85%	95,18%	84,34%	98,61%	83,33%
<b>SP</b>	96,39%	100,00%	92,04%	95,58%	92,65%	94,85%	92,52%	96,60%
<b>VPP</b>	97,56%	100,00%	91,89%	94,79%	88,76%	90,91%	86,59%	92,31%
<b>VPN</b>	83,33%	77,57%	96,30%	87,80%	96,92%	90,85%	99,27%	92,21%
<b>Kappa</b>	0,82	0,78	0,88	0,82	0,87	0,80	0,88	0,82

Tableau 15. Résultats de validation du tests coprologiques à différents seuils de décisions

## 5. Aire sous la courbe ROC des tests de coprologie à différents seuils de décision

Notre travail visé à améliorer l'estimation de performances des tests, et à répondre aux questions *Quand traiter ?* et *Quelle méthode utiliser ?*

L'interprétation de l'aire sous la courbe (AUC = area under the curve) nous a donné des valeurs fortes et significatives, quel que soit le seuil de décision qui a été choisi les valeurs sont comprises entre 80% - 90% comme indiqué dans Tableau16.

Les résultats graphiques selon seuils de décision. [Annexe42 à 45. Graphique ROC]

### L'aire sous la courbe selon seuils de décision

Aire sous la courbe 500opg	AUC	p	95% IC	
			Inf	Sup
Reference	1,000	0,000	1,000	1,000
Mélange	0,904	0,000	0,858	0,949
Broyat	0,845	0,000	0,787	0,902
Aire sous la courbe 700opg	AUC	p	95% IC	
			Inf	Sup
Reference	1,000	0,000	1,000	1,000
Mélange	0,967	0,000	0,934	0,999
Broyat	0,861	0,000	0,797	0,924
Aire sous la courbe 1000opg	AUC	p	95% IC	
			Inf	Sup
Reference	1,000	0,000	1,000	1,000
Mélange	0,956	0,000	0,915	0,998
Broyat	0,852	0,000	0,778	0,926
Aire sous la courbe 1200opg	AUC	p	95% IC	
			Inf	Sup
Reference	1,000	0,000	1,000	1,000
Mélange	0,948	0,000	0,899	0,996
Broyat	0,811	0,000	0,724	0,898

Tableau 16. Résultats de l'aire sous la courbe ROC

## IV. DISCUSSION

Chez les chèvres en particulier, les infestations par les nématodes gastro-intestinaux sont considérées comme des pathologies les plus fréquentes et les plus importantes dans le monde. Ils représentent une pathologie très commune chez les petits ruminants élevés au pâturage.

Il existe de nombreuses espèces de nématodes qui se localisent tout au long de tube digestif, de l'abomasum à l'intestin grêle dont la fréquence et le pouvoir pathogène sont très variables. (*Teladorsagia* et *Trichostrongylus* plus de 90%, en France). (Hoste et al, 1999) ; (*Haemonchus contortus* (82%), *Strongyloides papillosus* (67 %) et *Cooperia curticei* (43%) (Bonfoh et al. 1995, en Senegal). *Haemonchus contortus*, est de loin le parasite le plus virulent des petits ruminants en raison de ses habitudes hématophages. C'est aussi l'espèce la plus fréquente sous les tropiques.

La principale distinction entre les nématodes gastro-intestinaux en générale et *Haemonchus contortus* réside en son pouvoir pathogène et les signes cliniques évidents dans les animaux affectés. Les nématodes gastro-intestinaux sont considérés comme une maladie économique par contre l'infestation avec *Haemonchus contortus* est d'importance en santé animale et d'un point de vue économique.

Les méthodes de diagnostic et dépistage habituelles en élevage caprins sont réalisées au laboratoire : ils demandent du temps pour collecter les échantillons, les préparer, les envoyer et un temps d'attente à l'accomplissement des tests puis pour l'envoi des résultats, et surtout ils représentent un coût économique en élevage caprin.

La méthode de coproscopie (OPG) : consiste en l'observation et le comptage des œufs pondus par les strongles gastro-intestinaux adultes et évacués par les fèces (cycle évolutif des nématodes) (Raynaud JP., 1970). De manière indirecte la coproscopie évalue la charge parasitaire des animaux par les nématodes gastro – intestinaux (Cabaret et al 1998).

L'hématocrite (HTO) : qui représente le volume occupé par les globules rouges par volume de sang total. Sa mesure permet de déterminer une anémie. C'est un test utile donc surtout en cas de suspicion d'*Haemonchus contortus*.

Depuis les années 1950s, l'apparition d'anthelminthiques de synthèse ayant la capacité d'éliminer les populations de vers parasites qui représentent un problème chez les animaux de production. Les mauvaises pratiques de gestion telles que : l'utilisation prophylactique de substances chimiques, le sous-dosage, l'utilisation répétée de la même famille d'anthelminthiques, ont fait que les vers soumis à des pression de sélection constante ont développé des résistances.

Par conséquent, le pouvoir d'action de ces produits au cours des années est devenu de moins en moins efficace.

Il est donc temps d'envisager des nouvelles techniques de gestion des nématodes gastro-intestinaux par la mise en place de traitement raisonnés.

### **Rappel des objectifs du projet**

Le but général était de développer une démarche pour aider les éleveurs à gérer de manière plus autonome les infestations par les Nématodes parasites dans leurs élevages

Ce projet de stage a donc eu pour objectif principal l'analyse de données issues d'enquêtes basées sur différents jeux de données visant à développer des outils diagnostics innovant pour répondre aux 3 questions centrales dans la gestion des infestations par les nématodes gastro - intestinaux chez les caprins infestés, à savoir

*Quand traiter ? 2) Qui traiter ? 3) Quelles méthodes utiliser ? et*

Ces trois objectifs ont été déclinés comme suit

1). Une comparaison de 3 méthodes (coproscopie de groupe vs coproscopie de mélange ou de broyat) pour suivre plus régulièrement l'épidémiologie des infestations à l'échelle d'un élevage caprin et fournir un outil simplifié, à moindre coût pour identifier les périodes à risque des infestations par les NGIs et pour assurer ainsi une gestion de précision de ces parasitoses et une prévention plus efficace

2) Le développement de méthodes pour identifier les animaux les plus infestés par les nématodes gastro intestinaux qui représentent aussi un risque majeur pour le reste du troupeau. Cet objectif a été fondé sur l'identification

a) de sous-groupes de reproduction sur la base de données de la plate-forme expérimentale INRA PATUCHEV

b) de vérification de l'hypothèse d'une sensibilité accrue réitérée de certains animaux au sein d'un même élevage (Calcul de répétabilité) -Base de données INRA PATUCHEV

c) de comparaisons statistiques d'indicateurs subcliniques, subjectifs et semi quantitatifs pour dépister des animaux à risque « à dire d'éleveurs » afin de valider ou non une application autonome de traitement sélectif en élevage caprin par les éleveurs (Base de données d'élevages commerciaux au sein de la région Occitanie).

3). Il s'est agi notamment de l'évaluation de 2 méthodes semi quantitatives (FAMACHA et NEC) comme indicateurs de diagnostic/dépistage plus simples à appliquer par comparaisons aux 2 méthodes de références : les OPG pour les NGIs en général et la mesure des hématocrites pour la présence spécifique d'*Haemonchus contortus*

### **Structure des 3 jeux de données**

Un total de 2657 résultats de coproscopies (la méthode indirecte de référence pour les infestations par les nématodes gastro- intestinaux) obtenues sur deux types d'exploitations caprines (expérimentale et traditionnelle) et répartis en 3 jeux de données ont été analysés pour répondre aux 3 objectifs décrits ci-dessus.

- Élevage expérimental PATUCHEV, n = 1542
- Élevages traditionnelles 8 Fermes de la région Occitanie, n= 896
- Résultats aléatoires de Coprologie n= 219

En raison du caractère rétrospectif du projet la possibilité de compléter les données manquantes pour les variables étudiées était limité. Les méthodes statistiques ont été adaptées à chaque jeu de données selon les objectifs poursuivis.

Le jeu de résultats « PATUCHEV » est considéré comme le plus complet en raison du caractère expérimental de cette plateforme expérimentale gérée par l'INRA et de la saisie régulière et informatisées des informations après la réalisation des mesures. Par ailleurs, il concerne 4 années successives (2014-2017) dans la même structure

Les données obtenues par le suivi de 8 fermes caprines de la région Occitanie, ont été recueillies en 2016 et 2017 dans le cadre d'un projet CORE ORGANIC2 PROPARGA faisant suite à un projet CASDAR (2013-2015), les critères semi quantitatifs (indicateurs subjectifs) sont remplis par les éleveurs qui ont été recrutés sur la base du volontariat.

Sur la base de plus de 18 élevages caprins participant au projet CASDAR (RAPPORT Manolaraki et al, 2015), seuls 8 d'entre eux ont été retenus en 2016 sur la base des critères suivants : volontariat, diversité de territoires en région Midi Pyrénées, distance par rapport à Toulouse et intensité suffisante d'infestations par les NGIs. Parmi 8 fermes retenues, six ont participé pendant les 2 années, les deux autres n'ont été suivies qu'en 2016 par retrait des éleveurs du suivi.

Par ailleurs, les informations obtenues pour chaque ferme sont beaucoup moins organisées que pour la plate-forme PATUCHEV et le remplissage des fiches varient d'une ferme à l'autre, même si une description générale du type de système de gestion du pâturage dans chaque élevage a été recueillie.

En ce qui concerne les résultats portant sur l'intérêt des coprologies de groupe (mélange ou broyat) par comparaison à des valeurs moyennes de données individuelles, fondée sur le calcul de corrélations de Spearman, on dispose d'un fichier des données contenant les résultats d'analyses individuelles, de mélange et de broyat à partir duquel on a travaillé. La représentativité est assurée par le tirage au sort des résultats de coprologie depuis 2012 à 2017.

L'étude de la distribution des mesures coproscopies dans les élevages de petits ruminants était destinée à vérifier l'hypothèse de (Barger1985) suivante : lors d'une infestation naturelle dans un élevage caprin, les valeurs de coproscopies suivent une répartition de type binomiale négative ce qui signifie que seule une faible partie du troupeau possède des niveaux d'excrétion importants. (Hoste et Chartier, 2001)

D'un point de vue général, les résultats illustrés par les analyses de normalité montrent qu'effectivement les données de coproscopies ne suivent pas une répartition de type gaussienne (et sont stabilisées avec log-transformation).

Par contre, les résultats d'Hématocrite, Note d'état corporel et FAMACHA® suivent une distribution normale, raison pour laquelle pour la réalisation des analyses un test de type non paramétrique a été utilisé. Les analyses de corrélation ont été faites avec la corrélation de rang, non paramétrique de Spearman, on s'appuie à la robustes du test.

Pour toutes les analyses de sensibilité, spécificité et de valeurs prédictives, on a utilisé les tableaux de contingence et formules décrites dans (Toma B. et al.,1996)

### ***Objectif 1 = Quand traiter ? Validation de 2 méthodes de coproscopies de groupe vs moyenne de coproscopies individuelles***

Au total 219 résultats de coproscopies ont été inclus dans ce jeu de données pour cet objectif. Dans une première étape, les trois méthodes de coproscopies ont été comparées entre elles par le calcul de coefficients de corrélations. Dans une deuxième étape, la spécificité et la sensibilité des 2 méthodes de groupe par référence aux moyennes individuelles ont été comparées en fonction de 4 seuils de décision de traitement (500 ; 700 ; 1000 ; ou 1200 opg). (Brard et Chartier, 1997)

A la suite d'un travail initial (Boukary, 2006) l'intérêt et la validité des valeurs de coproscopies de groupe - en mélange (CM) ou par broyat (CB) par rapport à la méthode de référence (moyennes de coproscopies individuelles= CI) - ont été explorés dans un projet CASDAR Parasitisme des ruminants en 2015. L'existence de corrélations de Spearman positives et hautement significatives ont déjà été mentionnées entre : CI et CM d'OPG ( $R^2 = 0,867$ , ( $p < 0,001$ ); ddl = 225) et les valeurs CI et CB ( $R^2 = 0,815$ ; ( $p < 0,001$ ) ; ddl= 208) (Manolaraki et al., 2014, Hoste et al., 2015).

L'originalité du travail mené au cours de ce projet a consisté **a)** à examiner les valeurs de ces coefficients en fonction de divers seuils de décision de traitements et **b)** à évaluer la spécificité et la sensibilité des 2 méthodes (CM et CB) par comparaison à la méthode de référence (CI)

Pour les 2 types de coefficients de corrélations (entre coproscopies CI/CM ou CI/CB) et quels que soient les 4 groupes de seuils de décision de traitements, les coefficients de corrélation de Spearman sont positifs et hautement significatifs. Les

valeurs  $r$  oscillent de + 0,551 à + 0,809 (corrélations CI/CM) ou de 0,638 à 0,794 (coproscopies de CI/CB).

Dans l'analyse des performances de test (*Sensibilité – Spécificité – Valeurs prédictives positives et négatives*) entre divers modes de coprologies, répartis selon le seuil de fréquence d'excrétions des œufs en fonction des 4 seuils définis, on constate que la sensibilité augmente alors que la spécificité reste stable. Par exemple, pour le seuil de 500 opg, on a une Se: 88,2% et une Sp :96,4%, et pour au seuil de 1200 opg, une Se: 98,6% et une Sp: 92,5%, Par ailleurs la probabilité d'avoir des faux négatifs diminue.

Pour l'autre méthode d'évaluation de la spécificité et de la sensibilité appliquée (analyses ROC), l'interprétation des Aires sous la Courbe donne des résultats proches de 0,9 pour les CM et de 0,8 pour les CB. Ces valeurs identifient les 2 méthodes de groupe comme d'intérêt, sensibles et spécifiques par comparaison à la méthode de référence (CI) (Delacour et al, 2005)

En bilan, en réponse aux questions posées et aux objectifs indiqués (*Quand traiter ? Quelle méthode appliquée ?*), les forts coefficients de corrélations positifs et hautement significatifs entre CI vs CM et CB valident l'intérêt des deux méthodes de coproscopies de groupe comme outil fiable pour évaluer les infestations des caprins par des nématodes gastro – intestinaux à moindre coût et pour assurer un suivi régulier de l'épidémiologie des infestations par les NGIs en élevages, quels que soient le mode de production, les conditions environnementales auxquelles sont exposés les animaux et la période de l'année à laquelle l'analyse est réalisée

Sur la base des seuls résultats statistiques (Sensibilité / Spécificité), la méthode de coproscopie de mélange paraît plutôt à promouvoir. Cependant, pour des raisons de mise en œuvre pratique et pour éviter au maximum des biais de préparation, la méthode fondée sur les broyats semble à privilégier afin d'assurer une meilleure homogénéité de résultats au sein d'un même laboratoire et entre divers laboratoires. En effet, il est estimé que le broyat des fèces permettra de mieux gérer des biais possibles liés aux opérateurs et aux modes de traitement des échantillons.

Enfin, en ce qui concerne le choix du seuil de traitement le plus pertinent combinant une bon équilibre entre sensibilité et spécificité et pour réduire au maximum les faux négatifs, le seuil de 700 opg pour les coproscopies de broyat permet de combiner une évaluation statistique significative et de répondre aux données de la littérature qui disent qu'*'au-delà de 1000 OPG, la contamination des pâtures devient très importante et les animaux et leur production peuvent en pâtir et un traitement antiparasitaire est donc nécessaire » (Brard et Chartier, 1997)*

Enfin, pour interpréter et sélectionner la meilleure de coproscopie de groupe et du seuil de décision, il reste à évaluer la balance bénéfices/ risques en cas d'absences de traitements.

### ***Objectifs 1 et 2 : Quand Traiter ? Qui traiter ? Analyse des Résultats Plateforme expérimentale INRA PATUCHEV de Lusignan***

Le suivi de l'épidémiologie des NGIs au sein de la plateforme expérimentale PATUCHEV s'est appuyé essentiellement sur des données de coproscopie individuelles, exprimées en OPG, et ce pendant 4 ans avec au moins 4 passages par an. Dans le cadre général de ce projet de Master, l'importance du suivi des distributions des excréments moyennes des œufs par passage et par lot des animaux réside dans la capacité à détecter

les animaux hautement excréteurs au cours de chaque année et de déterminer les périodes à risque pour appliquer les traitements ciblés.

Outre la fiabilité des données collectées, un autre intérêt de ce dispositif expérimental était la présence de 2 troupeaux (lots) distincts menés en parallèle sur le même site de pâturage. Ces 2 lots (= les sous-groupes SP et DP) sont tous 2 alimentés avec de l'herbe pâturée ou fauchée. Ils sont différenciés par deux périodes de reproduction séparées.

Les chèvres du lot SP ont une période de reproduction en saison sexuelle, elles mettent bas en février et la période de lactation coïncide avec la période de pâturage abondant et donc de risque parasitaire

Les chèvres du lot DP ont une période de reproduction hors saison sexuelle et mettent bas en septembre. Le pic de lactation a donc lieu en hiver avec des conditions de pâturage moins favorables. La pression parasitaire est a priori moins importante pour les chèvres DP

L'analyse des données de PATUCHEV a permis d'examiner 3 questions en lien avec le parasitisme par les NGIs

- 1) Quelle est la stabilité du parasitisme dans un même système de conduite en fonction des saisons et des années ? (*Quand traiter ?*)
- 2) Est-il possible de raisonner les traitements en fonction de sous-groupe de reproduction ? (*Qui traiter ?*)
- 3) Certains animaux sont-ils régulièrement plus infestés, constituant donc un risque particulier pour le troupeau ? (*Qui traiter ?*)

#### ***Analyses d'excrétions des œufs de NGIs en fonction des saisons (date de passages) et des années.***

Il faut d'abord mentionner que le parasitisme au sein d'un élevage est extrêmement influençable soumis à divers facteurs anthropique ou non anthropique (ex : conduite de pâturage, température et pluviométrie, statut physiologique des animaux) (Etter et al., 2000), Malgré ces forts facteurs potentiels de variabilité, les données présentées dans le Tableau 5 conduisent à 3 constats :

Des niveaux faibles d'excrétion d'opg qui restent inférieurs à 500 opg quel que soit le lot (SP ou DP) ou l'année. Globalement, les valeurs varient de moins de 100 opg à un maximum inférieur à 400 opg. Ces niveaux peuvent être comparés aux données générales obtenues en élevages qui sont beaucoup plus élevées (Tableau 8)

Une stabilité globale des niveaux d'excrétion observés en fonction des années et des saisons avec des modes d'évolution similaire en fonction des saisons, conduisant à des valeurs d'opg plus élevées en automne.

Des différences plus nettes entre les 2 sous lots qui sont liés à une utilisation différenciée des traitements AH en fonction des lots SP (traitement systématique en fin d'année) ou traitement généralisé en juillet pour le lot DP et des périodes de tarissement. (Cf. Tableau de l'annexe 6)

*Quand traiter ?* Les résultats statistiques montrent qu'il y a une différence significative entre passages au cours d'un même année, en quatre années, les périodes de printemps et automne sont les plus élevées dans les deux troupeaux n'importe le système d'élevage saisonné ou déssaisonné, Par conséquent, le meilleur moment pour donner

l'anthelminthique serait à la fin de l'été pour éviter la hausse des infestations pendant ces mois.

Une étude similaire réalisée dans plusieurs élevages caprins français a montré un parasitisme constant tout le long de l'année avec un pic d'excrétion fécale en automne (Etter et al. 2000).

### ***Analyses comparatives des excréments en fonction des Lots SP vs DP***

Les résultats statistiques montrent de manière répétée des différences significatives entre les 2 modes de conduite d'élevage liés à la reproduction (cf Figures 6 à 9) avec pour les années 2015/2016/2017 des valeurs supérieures pour le lot SP. Les résultats sont significatifs entre Lot d'appartenance ( $p < 0,05$ ) à 1ddl.

En règle générale, quelques soient les années, les lots SP se sont montrés plus infestés par rapport aux lots DP. Par ailleurs, en 2015, 2016 et 2017, le lot SP a aussi montré des différences statistiques de fréquence d'animaux au-dessus de 500 opg par comparaison au lot DP.

Ces différences entre mode de conduite de reproduction peuvent être associées à plusieurs types de facteurs combinés

Comme exposé précédemment, pour le lot SP la mise – bas en février, conduit à une utilisation en continu du pâturage jusqu'au tarissement en fin d'année quand sont appliqués des traitements généraux au tarissements appliqués en fin de pâturage. Par ailleurs, toute la période de lactation coïncide avec l'exploitation des prairies, la croissance de l'herbe et l'augmentations des températures et donc une confrontation maximale aux risques parasitaires.

Par comparaison, le système de pâturage mené pour le lot DP conduit à deux ruptures dans le parasitisme par les NGIs 1) une rupture au niveau du système liée à la disponibilité et à la qualité de l'herbe en hiver (rentrée en chèvrerie en hiver) puis 2) une rupture à l'échelle du troupeau liée à l'administration d'un traitement généralise au tarissement en été

Plusieurs données antérieures permettent d'expliquer ces différences entre les 2 lots en fonction du mode de conduite et de l'état physiologique des chèvres

Plusieurs études ont décrit l'existence d'une plus grande réceptivité des chèvres aux infestations par les nématodes parasites en fonction du stade de lactation ou du niveau de production (Hoste et al, 2002),

Par ailleurs, l'intérêt d'intégrer des ruptures à l'échelle des systèmes de pâturage ou des troupeaux a été déjà souligné dans de précédents documents de synthèse (Le Frileux et al, 2007 ; Guide du pâturage caprins)

Par rapport à l'hypothèse de la lactation, dans notre analyse on ne fait pas une différence entre groupes dans la ferme PATUCHEV (primipare, multipares, ou lactation, brebis) par contre, on sait que sont en lactation pour le lot d'appartenance(SP). Il serait intéressant de garder l'information et surtout de la comparer en fonction de la production du lait pour comparer les grandes productrices entre eux.

**Répétabilité** : les résultats des coefficients de répétabilité dans nos analyses vont de  $r = 0,38$  à  $0,91$ . Ces valeurs sont proches de celles obtenues dans d'autres études réalisées chez troupeaux de chèvres (Barger and Dasd 198, Gruner et al 1994, Chartier and Hoste 1998 dont les résultats oscillaient entre  $r = 0.50$  et  $r = 0.60$  Par contre, notre résultat de 2017 ( $r = 0.91$ ) est plus proche à Stear et al. (1995) avec  $r = 0.92$  en agneaux.

Les valeurs relativement élevées de 2014 et 2017 peuvent s'expliquer par des intervalles assez courts (2 mois) entre les mesures ou par la présence de plus sensibles aux nématodes gastro-intestinaux. D'autre part l'utilisation de Log transformations selon (Harper, 1994) peut représenter une surestimation de répétabilité car ils donnent généralement des valeurs élevées.

### ***Résultats du suivi de 8 fermes en Région Midi Pyrénées***

Parmi les 8 fermes, 6 ont été suivies pendant 2 années, les deux autres n'étant suivies qu'en 2016. La moyenne des excrétions d'œufs en 2016 et 2017 est forte les valeurs oscillant entre 630 à 8864 opg). Une variabilité de l'infestation parasitaire a été observée parmi les élevages, les animaux excrétaient une moyenne générale supérieure à 600 opg, ce qui est élevé. Cependant la présence d'un parasitisme conséquent était un des critères de sélection des élevages pour l'enquête. Malgré les différences entre fermes il y a une tendance à une certaine constance dans les moyennes 2016 et 2017 dans chaque ferme.

L'excrétion des œufs de nématode (OPG) varie dans tous les élevages, entre les périodes de passage. Ceci s'explique par des facteurs tels que le mode de conduite du troupeau qui varie d'un éleveur à l'autre (surface totale de pâturage, système de rotation des pâturages, utilisation des parcelles, nombre des animaux/parcelle, temps de pâture/animaux/jour, fréquence des traitements AH) ou les conditions météorologiques qui varient selon la zone géographique faisant que les animaux sortent plus ou moins longtemps. (Hoste, F. Manolaraki, 2014).

Pour leur part, les moyennes d'hématocrite varient entre 20,15 et 30,11 ce qui reflète la présence de l'espèce hématophage *H. contortus* dans la plupart des élevages mais dans des proportions variables (cf Annexe 33) Cette variabilité est aussi illustrée par les moyennes de note FAMACHA allant de [1,76 à 3,26]

### ***Résultats de corrélations entre indicateurs semi – quantitatifs et quantitatifs (de référence)***

L'objectif général était d'évaluer l'intérêt des 2 indicateurs semi quantitatif en élevages. Au total, 896 séries de résultats étaient disponibles pour le calcul des corrélations entre indicateurs quantitatifs et semi – quantitatifs, afin de valider les critères intuitifs des éleveurs pour l'application du traitement sélectif en élevage caprin.

Dans les faits, les corrélations ont porté sur plus de 600 données dans la plupart des cas sauf pour les relations impliquant les OPG où les ddl étaient plus proches de 300 Dans une seconde étape, ces mêmes corrélations ont été déclinées à l'échelle de chaque ferme avec des jeux de données s'appuyant sur des valeurs de ddl variant de 26 à 116.

FAMACHA et HTO sont 2 critères pour évaluer l'anémie (Présence spécifique de l'espèce *Haemonchus contortus*). Les valeurs OPG et NEC sont des indicateurs plus généraux portant sur l'ensemble des populations de Nématodes digestifs.

Le calcul des corrélations entre indice FAMACHA et valeurs HTO visaient donc à vérifier l'intérêt de l'indicateur sub-clinique pour repérer les chèvres anémiés. Les deux autres corrélations (FAMACHA et OPG et FAMACHA et NEC) cherchaient à évaluer si le FAMACHA peut aussi aider de manière plus générale pour l'ensemble des vers

Le calcul des corrélations entre NEC et OPG visait à vérifier si la note d'état corporel, qui largement utilisée en élevage, pouvait être en partie reliée au parasitisme par les vers.

Les signes des coefficients de corrélation expliquent le type de relations entre variables et les valeurs soulignent la force d'association entre elles. Cependant, le nombre de données prises en compte et la signification statistiques sont les deux facteurs essentiels à considérer

La valeur du coefficient de corrélations entre note FAMACHA® et HTO sur l'ensemble des données est hautement significatif ( $p < 0,01$ ) et négatif ( $r = -0,268$ ) ce qui est logique puisque les notes fortes FAMACHA (4 et 5) correspondant aux muqueuses blanches ou pales (Cf. Annexe 3) De même, les coefficients entre note FAMACHA et OPG sont hautement significatifs ( $P < 0,01$ ) mais positifs.

Une de explications possibles est que *Haemonchus contortus* au-delà des particularités de nutrition présente également une forte prolificité par comparaison aux autres espèces de strongles Ces résultats sont similaires avec (Kaplan et al. 2004) et nos résultats sont inférieurs à ceux de (Rendon et al, 2017) (HTO= -0,65 ; OPG= +0.43).

Lorsque ces mêmes corrélations sont analysées ferme par ferme, certaines significations statistiques disparaissent, probablement en raison du faible nombre de données dans certains élevages (Cf, Ferme LH) ou de l'abondance plus ou moins forte d *Haemonchus contortus* dans les élevages (Cf. Annexe 33). Néanmoins les valeurs de coefficient de corrélations entre FAMACHA et HTO sont négatifs et significatifs dans 6 ferme sur 8 (Tableau 10) ; Par contre, pour les corrélations entre FAMACHA et OPG les valeurs demeurent positives dans 7 élevages sur 8 mais significative seulement dans 3 cas.

En ce qui concerne l'indicateurs NEC, les coefficients de corrélations avec OPG, FAMACHA et HTO sont respectivement de  $-0,109$  ( $P < 0,06$ ) ;  $-0,35$  ( $P < 0,01$ ) et  $+0,199$  ( $P < 0,01$ ) Par contre, les mêmes valeurs négatives entre NEC et OPG ont été retrouvées dans 7 élevages sur 8, ces valeurs étant significatives dans 5 cas. Ces résultats suggèrent une relation entre NEC et OPG, ce qui peut s'expliquer en raison des fortes perturbations de physiologie digestive engendrées par la présence des vers (REF)

Les critères semi - quantitatifs comme FMCH et NEC semblent donc des indicateurs utiles en élevage en particulier l'index FAMACHA pour repérer les animaux anémiés. Par contre des facteurs liés à la diversité des parasites présentes mais aussi à la variabilité de « lecture » d'un éleveur à l'autre explique qu'ils puissent être appliqué avec plus ou moins de succès selon les élevages.

En fonction de l'observateur, il y a un risque de surestimation ou de sous-estimations des résultats selon le critère de chaque observateur. Par ailleurs, pour l'index FAMACHA, la charge de travail pour réaliser des mesures régulières dans le temps est aussi un facteur pris en compte par les éleveur (Bath et Van Wyk, 2009) et ne donnent pas les puissances nécessaires pour les valider pour soi-même,

### **Validation du test FAMACHA®**

La gestion de nématodes gastro- intestinaux dans un troupeau par traitement cible par utilisation de l'index FAMACHA® dépend de l'identification précise et du traitement approprié des animaux les plus infestés et qui expulsent le plus d'œufs, ainsi que du fait que les autres restent non traités. De cette manière, la résilience générale du troupeau serait accrue et la population parasite non traitée (refuge) serait maintenue à un niveau approprié. (Fondraz,2012)

Les résultats obtenus par (Fondraz, 2012) pour les notes FAMACHA (3-4-5) et la valeur d'HTO < 20, étaient (Pr=14,4 ; Se= 99 ; Sp= 11 ; VPP= 15,8 ; VPN= 98,6), et pour le critère 2 (FAMACHA 4 et 5) et HTO < 20, les données de Fondraz 2012 étaient (Pr=14,4 ; Se= 64,4 ; Sp= 67,9 ; VPP= 25,3 ; VPN= 91,9)

En prenant en compte les mêmes critères, notre étude a donné des valeurs suivantes pour FAMACHA 3-4-5 (Pr= 12,54 ; Se= 76,06 ; Sp=57,78 ; VPP= 20,53 ; VPN=94,39) et pour FAMACHA 4-5 ( Pr= 12,54 ; Se= 42,25 ; Sp=91,11 ; VPP= 40,54 ; VPN=93,7)

On remarque que quel que soit la limite d'hématocrite seuil choisie (15,18,20), la sensibilité oscille entre 76,60% - 100% lorsqu'on choisit les notes FAMACHA > 3. En revanche, lorsque la valeur seuil prise en compte est la note de 4, la sensibilité est plus faible et varie entre 42,25 – 75%.

S'on choisit de traiter uniquement les animaux ayant obtenu une note FAMACHA de 4 ou 5, on prend donc le risque de ne pas traiter 57,75 à 25% des animaux malades, ce qui représente une fraction non négligeable du troupeau. En revanche, en traitant les animaux ayant obtenu une note de 3, 4 ou 5, on est assuré d'avoir traité l'ensemble des animaux qui en avaient besoin au moins 76 % des animaux en ayant besoin

Selon le seuil d'hématocrite pris en compte, la spécificité oscille entre 54,69 – 57,78% pour une note FAMACHA seuil de 3, contre 91,11 à 88,27% pour une note de 4. Si on choisit de ne traiter que les animaux ayant obtenu une note supérieure ou égale à 3, on prend le risque de « traiter pour rien » entre 45,31 et 42,22% du troupeau, contre seulement 8,9 à 11,73% si on choisit de ne traiter que les animaux ayant une note de 4 ou 5.

Quel que soit le seuil d'application FAMACHA considéré (3 ou 4), les mêmes valeurs de prévalence sont trouvées à valeur de référence d'hématocrite égale. Les valeurs prédictives dépendent de la prévalence de la maladie au sein de la population considérée. Si l'association entre note FAMACHA et anémie est inexistante ou faible, la valeur prédictive positive (VPP) sera de l'ordre de la prévalence.

On constate quelle que soit la valeur seuil d'hématocrite considérée, la VPP est de l'ordre de la prévalence lorsque la note FAMACHA seuil est de 3, mais elle est supérieure à la prévalence lorsqu'on choisit une note seuil de 4. Cela tend à montrer que l'association existant entre note FAMACHA et hématocrite est davantage pertinente quand on considère l'animal comme malade à partir d'une note FAMACHA de 4.

Concernant la valeur prédictive négative (VPN), quelque soient les seuils considérés, cette valeur est élevée, ce qui signifie que la probabilité qu'un animal ayant

obtenu une note FAMACHA faible (1 à 2 = muqueuse oculaire rosée à rouge) et donc ayant échappé au traitement, soit malgré tout anémique, est très faible.

***Qui traiter ? Valeurs FAMACHA et proportions d'animaux à traiter***

Notre résultat concernant la proportion d'animaux à traiter varient de 46% (critère 1) à 13% (critère2) Par rapport à d'autres études similaires, ces valeurs sont comparables à celles mentionnées par (Burke et al. 2007) avec 39 et 9%, selon le critère 1 ou 2 ; et inférieure aux proportions citées par (Kaplan et al. 2004), qui recommandaient de traiter entre 68 et 31%,

On choisira le critère 1 (FAMACHA 3, 4 et 5), pour lequel la sensibilité est plus élevée car dans ce type de test, une sensibilité élevée est plus importante qu'une forte spécificité. Cela implique que si un animal est classé comme faux positif et, par conséquent, est traité, cela entraîne une dépense inutile en médicament antiparasitaire. Cependant, la contrepartie est que si un animal faux négatif ne reçoit pas de traitement, il pourrait mourir.

## V. CONCLUSION

Traiter certains animaux parmi les plus infestés au lieu de traiter le troupeau dans son intégralité permet de réduire la pression parasitaire à un niveau acceptable, c'est-à-dire sans engendrer de pertes économiques pour les éleveurs et en préservant la santé de la plupart des chèvres du troupeau. Il est désormais admis que la réduction progressive de l'utilisation des médicaments par la mise en œuvre de traitement sélectif est une des manières les plus efficaces pour ralentir le développement des résistances aux anthelminthiques, (Márquez, 2003), Molento et al., 2011).

Afin d'être acceptable pour les agriculteurs, tout système de diagnostic et de gestion de la santé des troupeaux devrait être rapide, fiable, sûr et bon marché (Bath, 2002, Van Wyk et al., 2002). Enfin, la règle devrait être qu'en cas de doute, il vaut mieux traiter l'animal. Traiter quelques animaux supplémentaires, même inutilement, ne nuira pas au début du Traitement sélectif. Ceci est mieux résumé dans les devises "Laissez les meilleurs, traitez le reste" ou "Regardez avant de traiter !". ("Leave the best, treat the rest" or "Look before you treat!".) (Wyk et Bath ,2002)

Le critère de repérage le plus largement mis en œuvre dans le monde à ce jour est la méthode FAMACHA © mais celle-ci est essentiellement dirigée contre les infestations par *Haemonchus contortus*. Par ailleurs, l'essentiel des résultats ont été obtenus sur des ovins

Par la suite, d'autres méthodes de traitements sélectif et d'indicateurs sub cliniques ou zootechniques ont été proposées. C'est notamment le cas de la méthode Five Point Check © (en Anglais), qui mentionne cinq endroits du corps des animaux à examiner pour une vérification rapide de l'état de santé. Des systèmes de pesées automatisée d'agneaux et de comparaison des courbes de croissance de référence ont aussi été développés pour déterminer les animaux à traiter. Le développement de programmes d'aide à la décision informatisés, qui utilisent des informations épidémiologiques, saisonnières et cliniques pour fournir et envoyer rapidement des recommandations aux éleveurs devrait se voir accordé une haute priorité dans le développement futur des systèmes de gestion de la santé. (Van Wyk et al., 2002)

Au sein de cette démarche générale, notre étude a permis de confirmer l'intérêt des coprosopies de groupe comme outil simple et peu coûteux de suivis épidémiologiques en élevages pour répondre à la question Quand traiter ? Les résultats pour répondre à la question « Qui traiter ? » Ont conduit à valider l'intérêt d'identifier des sous-groupes (ici lié à la reproduction) au sein de troupeaux comme critères de décision de traitement comme cela avait déjà été le cas pour des critères d'âge (primipares vs multipares) (Hoste et al, 2002) Enfin, les résultats des corrélations entre critères objectifs (OPG, HTO et critères semi - quantitatifs montrent qu'ils pourraient représenter une bonne alternative pour le repérage des animaux. Cependant, ces résultats méritent d'être confirmés par d'autres études

Dans le cas des traitements cibles ou sélectifs, pour garantir le succès de démarches innovantes, il est important de respecter les étapes soulignées par (Hoste et al., 2016) : formation des éleveurs aux principes du traitement sélectif : prise de conscience de l'urgence à intégrer les phénomènes de résistance, et du manque de plus en plus prégnant de moyen de lutte en termes d'anthelminthiques chez les caprins et ovins laitiers. Cela suppose des mesures d'accompagnement des éleveurs lors de la mise en place du

traitement sélectif afin d'éviter un retour des vieilles habitudes, une baisse de motivation voire une rupture totale du protocole et enfin le suivi des exploitations après la mise en place du traitement sélectif.

## REFERENCES

- BARGER, I.A., (1985). The statistical distribution of trichostrongylus nematodes in grazing lambs. *Journal Parasitology*, 15, 645–649.
- BATH G.F., WYK J.A. VAN, (2009). The Five Point Check© for targeted selective treatment of internal parasites in small ruminants. *Small Ruminants*. 86, 6–13
- BESIER, R. B., LOVE, R. A., LYON, J. ET VAN BURGEL, A. J. (2010). A targeted selective treatment approach for effective and sustainable sheep worm management: investigations in Western Australia. *Animal Production Science*, 50 (11-12): 1034-1042
- BESIER, BROWN. (2007). New anthelmintics for livestock: the time is right. *Trends in parasitology*. 23. (21-4) DOI : 10.1016/j.pt.2006.11.004.
- BISSET, S.A., MORRIS, C., SQUIRE, D.R., HICKEY, S.M. ET WHEELER, M. (1994). Genetics of resilience to nematodes parasites in Romney sheep. *New Zealand Journal of Agricultural Research* 37: 521-534. DOI: 10.1080/00288233.1994.9513091
- BRARD C., et CHARTIER C.(1997). Quand suspecter une strongylose digestive chez les ovins et les caprins et conduite à tenir. *Le Point Vétérinaire*, 28 : 1865-1870.
- BOUKARY M., (2006). Simplifier l'estimation de l'excrétion parasitaire dans les exploitations caprines : cas des strongles gastro intestinaux (*Mémoire de fin d'études, Master 2 Productions Animales, Environnement, Hygiène et Qualité*).94`p
- BONNEFONT M., CANELLAS A., (2014). Optimisation des outils de diagnostic des strongyloses gastro-intestinales des ovins. (*Thèse d'exercice vétérinaire*). Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse, Toulouse, France.
- BONFOH B., (1993). Epidémiologie des némaodes gastro-intestinaux chez les petits de la race Djallonké au Togo (régions des plateaux). *Thèse Médecine Veterinaire*. : Dakar,1. 120 p.
- CABARET J, GASNIER N, JACQUIET P (1998). Faecal egg counts are representative of digestive-tract strongyle worm burdens in sheep and goats. *Parasite* 5 (2) 137-142.DOI: 10.1051/parasite/1998052137
- CABARET J. (2012). Résistance des strongles aux anthelminthiques chez les ruminants. *Le Point Vétérinaire*, 43 : 8-13.
- CHARTIER, C. et RECHE, B. (1992). Gastrointestinal helminths and lungworms of French dairy goats: Prevalence and geographical distribution in Poitou-Charentes. *Veterinary Research Communications*, 16: 327-335.
- CHARTIER, C., ITARD, J., MOREL, P. ET TRONCY, P., (2000). *Précis de parasitologie vétérinaire tropicale*, Paris,774p.
- CHARTIER, C., SOUBIRAC, F., PORS, I., SILVESTRE, A., HUBERT, J., COUQUET, C., CABARET, J.,(2001). Prevalence of anthelmintic resistance in gastrointestinal nematodes of dairy goats under extensive management conditions in southwestern France. *Journal of Helminthology* 75, 325-330.

CHARTIER, C., SOUBIRAC, F., PORS, I., SILVESTRE, A., HUBERT, J., COUQUET, C., ET HOSTE, H. (2004). L'utilisation des anthelminthiques chez la chèvre : efficacité et durabilité. *Bulletin G.T.V. Hors-série*, 125-130.

COYNE, M.J. ET SMITH, G. (1992). The development and mortality of the free-living stages of *Haemonchus contortus* in laboratory culture. *International Journal for Parasitology*, 22 (5) : 641-650.

CHERMETTE R., (1981). Les helminthes du mouton et leur rôle pathogène. *Le Point Vétérinaire*, 12 : 11-44.

CHAUVIN A, RAVINET N, ET CHARTIER C. (2012). Nouvelles approches du contrôle des strongyloses gastro-intestinales. *Le Point vétérinaire*, 43 : 14-21.

DELACOUR H., SERVONNET A., PERROT A., VIGEZZI J.F., RAMIREZ J.M., (2005). La courbe ROC (Receiver Operating Characteristic) : principes et principales applications en biologie clinique. *Annales de biologie clinique*, 63(2): 145-155.

DOUCH, P.G., GREEN, R.S., MORRIS, C.A., MCEEWAN, J.C. ET WINDON, R.G. (1996). Phenotypic markers for selection of nematode-resistant sheep. *International Journal for Parasitology*, 26 (8-9) : 899-911.

EUZEBY, J., (1963). Les maladies vermineuses des animaux domestiques et leur incidence sur la pathologie humaine, tome I, fasc. II. Vigot, Paris.

ETTER, E., CHARTIER, C., HOSTE, H., PORS, I., LEFRILEUX, Y., BROQUA, C., VALLADE, S. ET GOUDEAU, C. (2000). Parasitisme par les nématodes du tube digestif et utilisation du pâturage : Epidémiologie de l'infestation dans les troupeaux caprins laitiers en France. *Epidémiologie Santé Animal*, 37 : 75-86.

FONDRAZ, M (2012). Evaluation de la méthode FAMACHA dans le but de détecter une anémie clinique dans les élevages caprins du Nord-Ouest de l'Argentine. *Thèse d'exercice*, Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse - ENVT, 148 p.

GABA, S., GINOT, V. ET CABARET, J. (2005). Modeling macroparasite aggregation using a nematode-sheep system: The Weibull distribution as an alternative to the Negative Binomial distribution. *Veterinary Parasitology*, 131: 393-401

GRUNER, L., MANDONNET, N., BOUIX, J., VU TIEN KHANG, J., CABARET, J., HOSTE, H., KERBOEUF, D. ET BARNOUIN, J. (1994). Worm population characteristics and pathological changes in lambs after a single or trickle infection with *Teladorsagia circumcincta*. *International of Journal Parasitology*, 24 (3): 347-56.

GODOY, O.C. (1997). Determinación de los parámetros hematológicos y bioquímicos, en caprinos con parasitismo gastrointestinal subclínico. *Memoria de título: Médico Veterinario Universidad de Concepción*, Facultad Medicina Veterinaria Chillán, Chile. 50pp.

HARPER, DAVID G.C. (1994) Some comments on the repeatability of measurements ,15:2, 84-90, DOI: 10.1080/03078698.1994.9674078

HAILE, A., TIBBO, M., BAKER, R.L. ET REGE, J.E.O. (2007). Effects of non-genetic factors on responses to gastro-intestinal nematode infections in Ethiopian sheep. *Tropical Animal Health and Production* 39: 411. DOI: 10.1007/s11250-007-9034-0

HOSTE H., CHARTIER C., (1993). Comparison of the effects on milk production of concurrent infection with *Haemonchus contortus* and *Trichostrongylus colubriformis* in high- and low- producing dairy goats. *American Journal of Veterinary Research*, 54: 1886-1893.

HOSTE H., LE FRILEUX Y., POMMARET A., GRUNER L., VAN QUACKEBEKE E., KOCH C., (1999). Importance du parasitisme par des strongles gastro-intestinaux chez les chèvres laitières dans le Sud-Est de la France. *INRA Production Animal*, 12 : 377-389

HOSTE H., SOTIRAKI S., LANDAU S.Y., JACKSON F., BEVERIDGE I., (2010). Goat nematode interactions: think differently! *Trends Parasitology*, 26, 376-381.

HOSTE, H., PAOLINI, V., PARAUD, C., CHARTIER, C., (2004). Gestion non-chimique du parasitisme par les nématodes chez les petits ruminants. *Bulletin G.T.V. Hors-série Parasitologie des ruminants laitiers*, 131-135.

JACKSON, F., VARADY, M., BARTLEY, D.J., (2012). Managing anthelmintic resistance in goats—can we learn lessons from sheep?. *Small Ruminants Research*. 103, 3–9.

JENOT F., BOSSIS N., CHERBONNIER J., DROGE V., FOUILLANT C., GUILLON M.P., LETOURNEAU P., POUPIN B., REVEAU A., ET SCHOLTUS G. (2001). Oser le pâturage des chèvres laitières. *L'éleveur de chèvres*, 9: 13p.

KAPLAN, R. M. (2004). Drug resistance in nematodes of veterinary importance: a status report. *Trends Parasitology*, 20 (10): 477-481

KAMINSKY, R., GAUVRY, N., SCHORDERET WEBER, S., SKRIPSKY, T., BOUVIER, J., WENGER, A., ... DUCRAY, P. (2008). Identification of the amino-acetonitrile derivative monepantel (AAD 1566) as a new anthelmintic drug development candidate. *Parasitology Research*, 103(4), 931–939. DOI :/10.1007/s00436-008-1080-7

LACEY, E. (1990). Mode of action of benzimidazoles. *Parasitology Today*, 6(4): 112-115. DOI:10.1016/0169-4758(90)90227-U

LUMARET, J. P. ET ERROUISSI, F. (2002). Use of anthelminticides in herbivores and of risks for the non-target fauna of pastures. *Veterinary Research*, 33: 547-562.

LE FRILEUX Y., NAPOLEONE M., ET AL. (2007). La gestion du parasitisme des chèvres au pâturage. In “*Guide Pratique de la conduite du pâturage caprin*”. J. Legarto Ed. Institut de l'Elevage, Paris

LUMARET, J.-P., ERROUISSI, F., FLOATE, K., RÖMBKE, J., & ARDHAUGH, K. (2012). A Review on the Toxicity and Non-Target Effects of Macrocyclic Lactones in Terrestrial and Aquatic Environments. *Current Pharmaceutical Biotechnology*, 13(6): 1004–1060. DOI: 10.2174/138920112800399257

MARTIN, R. J. (1997). Modes of action of anthelmintic drugs. *The Veterinary Journal*, 154(1): 11-34. DOI:10.1016/S1090-0233(05)80005-X

MANOLARAKI F., BOUKARY M., PARDO E., POMMARET A., LE FRILEUX Y., THUAULT F., COSNIER K., HOSTE H., (2014). Coproscopies de mélange et de broyat: des outils développés pour améliorer le suivi des infestations par les Nématodes du tube digestif chez les chèvres. *Presented at the Rencontres Recherches Ruminants*, Paris.

MAHIEU M., ARQUET R., KANDASSAMY T., MANDONNET N., HOSTE H., (2007). Evaluation of targeted drenching using Famacha© method in Creole goat: Reduction of anthelmintic use, and effects on kid production and pasture contamination. *Veterinary Parasitology*, 146: 135–147.

- MCKELLAR, Q. A. (1997). Ecotoxicology and residues of anthelmintic compounds. *Veterinary Parasitology*, 72 (3-4): 413-435.
- MORRIS, C.A., WHEELER, M., HOSKING, B.C., WETSON, T.G., HURFORD, A.P., FOOTE, B.J. ET FOOTE, J.F. (1997). Genetic parameters for milk yield and fecal nematode egg count in Saanen does. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 40: 523-528.
- MOLENTO MB, FORTES FS, PONDELEK DAS, BORGES F, CHAGAS A, TORRESACOSTA JF, GELDHOFF P. (2011). Challenges of nematode control in ruminants: focus on Latin America. *Veterinary Parasitology*, 180: 126- 132. DOI: 10.1016/j.vetpar.2011.05.033.
- O'CONNOR, L.J., WALKDEN-BROWN, S.W., KAHN, L.P., (2006). Ecology of the free-living stages of major *Trichostrongylus* parasites of sheep. *Veterinary Parasitology*, 142: 1-15.
- PARAUD, C., PORS, I. ET CHARTIER, C. (2004). Activity of *Duddingtonia flagrans* on *Trichostrongylus colubriformis* larvae in goat feces and interaction with a benzimidazole treatment. *Small Ruminant Research*, 55 (1-3): 199-207
- PEREIRA JF, MENDES JB, DE JONG G, MAIA D, TEIXEIRA VN, PASSERINO AS, GARZA JJ, SOTOMAIOR CS. (2016). FAMACHA© scores history of sheep characterized as resistant/resilient or susceptible to *Haemonchus contortus* in artificial infection challenge. *Veterinary Parasitology*, 218:102- 105. DOI:10.1016/j.vetpar.2016.01.011
- PRICHARD, R, et ROULET, A. (2007). ABC transporters and B – tubulin in marocyclic lactone resistance: Prospects for marker development. *Parasitology*, 134 (8): 1123 – 1132. DOI: 10.1017/S003118200700091
- 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, équins et porcins. *Annales de Parasitologie (Paris)* 45, n°3, pp 321-342.
- ROGERS, W.P., SOMMERVILLE, R.I., (1963). The infective stage of nematode parasites and its significance in parasitism. *Advances in Parasitology*, 1: 109-171.
- ROGERS, W.P. ET SOMMERVILLE, R.I. (1968). The infectious process and its relation to the development of early parasitic stages of nematodes. *Advances in Parasitology*, 6: 327-348.
- ROBINSON, H. J., STOERK, H. C. ET GRAESSLE, O. E. (1965). Studies on the toxicologic and pharmacologic properties of thiabendazole. *Toxicology Applied Pharmacology*, 7 (1): 53-63
- RAHMAN, W.A. ET COLLINS, G.H. (1992). An association of fecal egg counts and prolactin concentrations in sera of periparturient Angora goats. *Veterinary Parasitology*, 43: 85-91.
- SMITH, M.C., SHERMAN, D.M., (1994). Goat Medecine. Lea & Febiger, Baltimore, USA p 825.
- SCHOENIAN, S. (2003). Integrated parasite management (IPM) in small ruminant. Maryland Cooperative Extension. University of Maryland, USA. (*en línea*). Consultado 21 fevrier. 2018. Disponible en: <http://www.shee-pandgoat.com/articles/1PM.html>

TOMA B., DUFOUR B., SANAA M., BENET J.J., ELLIS P., MOUTOU F., LOUZA A.,  
Epidémiologie appliquée à la lutte collective contre les maladies transmissibles majeures,  
*Association pour l'étude de l'épidémiologie des maladies animales*, Maisons-Alfort, France,  
1996, 551 p

URQUHART, G.M., ARMOUR, J., DUNCAN, J.L., DUNN, A.M., JENNINGS, F.W.,  
(1996). *Veterinary Parasitology*, (2): 224-234.

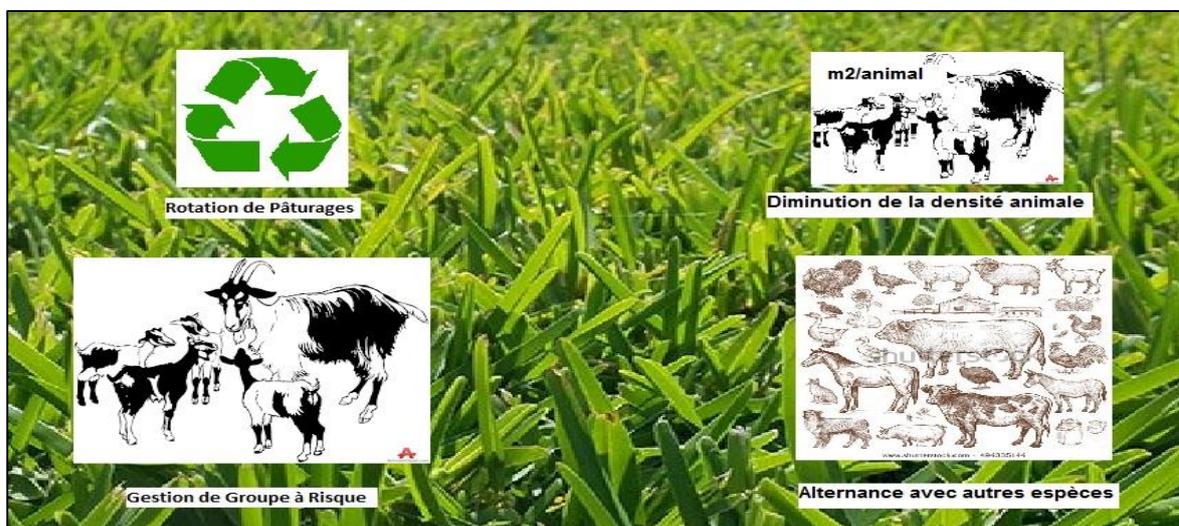
VAN WYK JA, BATH G. (2002). The FAMACHA© system for managing haemonchosis in  
sheep and goats by clinically identifying individual animals for treatment. *Veterinary  
Research*, 33: 509-529. DOI: 10.1051/vetres:2002036

YEATES, G. W., SKIPP, R. A., GRAY, R. A. J., CHEN, L. Y. ET WAGHORN, T. S. (2007).  
Impact of sheep faeces containing a range of parasite control agents on soil fauna. *Applied  
Soil Ecology*, 35 (2): 380-389. DOI: 10.1016/j.apsoil.2006.07.003

ZÁRATE RENDÓN, Daniel; ROJAS FLORES, Julio; SEGURA HONG, Alan. Validación  
del Método FAMACHA© para Dosificación Antihelmíntica Selectiva en Rebaños Caprinos  
Lecheros. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*, [S.l.], v. 28, n. 1, p. 150-159

## ANNEXES

### Gestion du pâturage

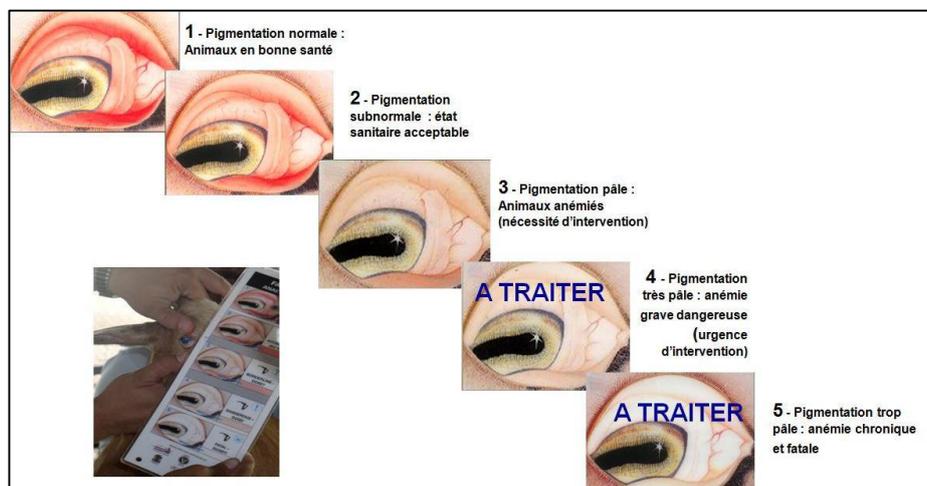


Annexe 1. Gestion de Pâturage

### Principales espèces de trichostrongles gastro-intestinaux et leur localisation

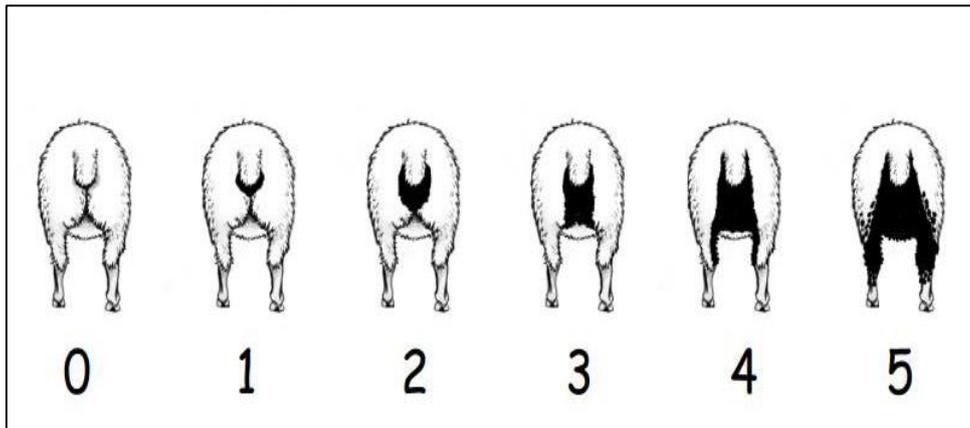
Sous Familles	Espèces	Localisation	Hôtes
<i>Haemonchinae</i>	<i>Haemonchus contortus</i>	Abomasum	Ovins, Caprins
	<i>Haemonchus placei</i>	Abomasum	Bovins
	<i>Haemonchus longistipes</i>	Abomasum	Dromadaires
<i>Trichostrongylinae</i>	<i>Trichostrongylus colubriformis</i>	Intestin grêle	Ovins, Caprins
	<i>Trichostrongylus axei</i>	Abomasum	Caprins, Ovins, Bovins
<i>Ostertagiinae</i>	<i>Teladorsagia circumcincta</i>	Abomasum	Ovins, Caprins
<i>Cooperiinae</i>	<i>Cooperia curticei</i>	Abomasum	Bovins (Ovins et Caprins)
	<i>Cooperia oncophora</i>	Intestin grêle	Caprins, Ovins, Bovins
		Intestin grêle	Ovins, Bovins

Annexe 2. Principales espèces de trichostrongles gastro-intestinaux et leur localisation



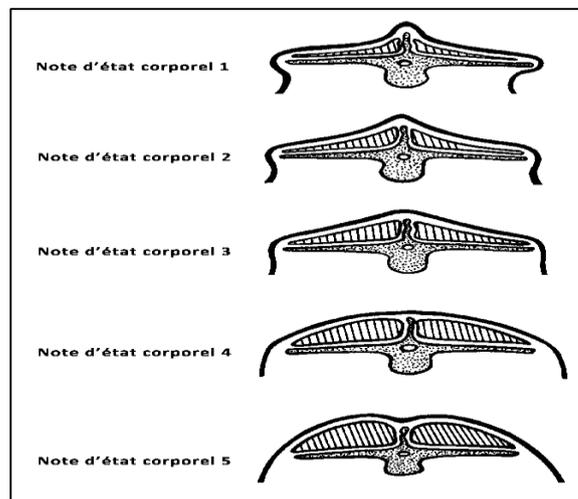
Annexe 3. Carte FAMACHA, Vatta et al (2002)

## Index diarrhée



*Annexes 4. Index Diarrhée en vue derrière ovins, SheepGenetics (2013)*

## Note d'état corporel



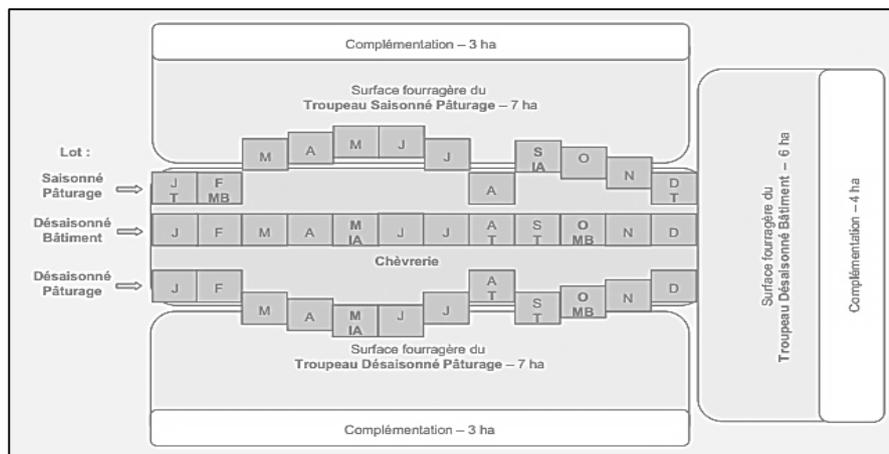
*Annexe 5. Note d'Etat Corporel (NEC). Adaptation de: Alberta Agriculture and Food (2005)*

## Généralités – INRA PATUCHEV

Date de traitement	Traitement systématique	Traitement ciblé sélectif	Total	Type d'animaux - période	Produit
20/09/2013	48		48	tarissement lot DP	Synanthic
20/12/2013	40		40	tarissement lot SP	Synanthic
10/04/2014		4	4	4 DP	Eprinex
05/06/2014		5	5	4 DP 1 SP	Eprinex
06/08/2014	103		103	<b>2 lots : DP SP</b>	Eprinex (SP) Synanthic (DP)
17/09/2014		14	14	boucs	Eprinex
14/11/2014	64		64	tarissement lot SP	Synanthic
27/05/2015		2	2	2 SP	Eprinex
16/07/2015	39	9	48	tarissement lot DP et 9 SP	Eprinex
01/10/2015		3	3	3 SP	2 Eprinex - 1 Synanthic
15/12/2015	26		26	chevrettes SP - pas de traitement au tarissement des adultes	Levamisole
20/07/2016	37		37	tarissement DP	Levamisole
04/10/2016		8	8	<b>8 SP</b>	Levamisole
08/12/2016	57		57	tarissement SP	Synanthic
09/12/2016	10		10	boucs	Synanthic
31/07/2017	46		46	tarissement DP	Synanthic
07/12/2017	60		60	tarissement SP	Levamisole
<b>Total, general</b>	<b>439</b>	<b>14</b>	<b>575</b>		

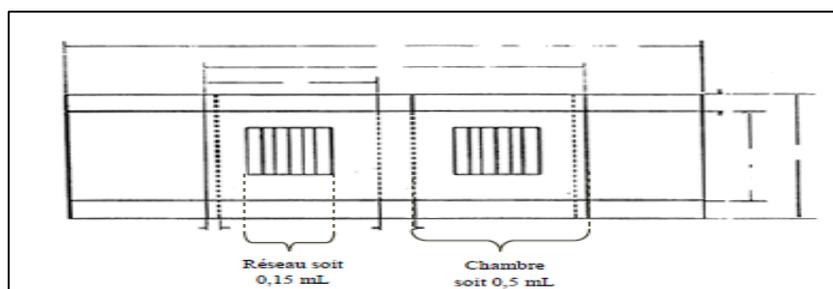
Annexe 6. Système de conduite d'élevage plateforme PATUCHEV

### Système d'élevage PATUCHEV



Annexe 7. Systèmes d'élevage et distribution PATUCHEV

### Lame McMaster d'après Richard



Annexe 8. Schéma d'une lame de Mac Master vue de dessus, d'après Richard (2012)

### Exemple. Vérification de la normalité de distributions d'excrétions des œufs

Shapiro-Wilk test (HIVER):		Shapiro-Wilk test (HIVER):	
W	0.224	W	0.580
p-value	< 0.0001	p-value	< 0.0001
alpha	0.05	alpha	0.05
Shapiro-Wilk test (PRINTEMPS):		Shapiro-Wilk test (PRINTEMPS):	
W	0.109	W	0.571
p-value	< 0.0001	p-value	< 0.0001
alpha	0.05	alpha	0.05
Shapiro-Wilk test (ETE):		Shapiro-Wilk test (ETE):	
W	0.224	W	0.571
p-value	< 0.0001	p-value	< 0.0001
alpha	0.05	alpha	0.05
Shapiro-Wilk test (AUTOMNE):		Shapiro-Wilk test (AUTOMNE):	
W	0.583	W	0.328
p-value	< 0.0001	p-value	< 0.0001
alpha	0.05	alpha	0.05
<b>2014DP</b>	<b>Shapiro-Wilk</b>	<b>2014 SP</b>	<b>Shapiro-Wilk</b>
(HIVER)	<b>&lt; 0.0001</b>	(HIVER)	<b>&lt; 0.0001</b>
(PRINTEMPS)	<b>&lt; 0.0001</b>	(PRINTEMPS)	<b>&lt; 0.0001</b>
(ETE)	<b>&lt; 0.0001</b>	(ETE)	<b>&lt; 0.0001</b>
(AUTOMNE)	<b>&lt; 0.0001</b>	(AUTOMNE)	<b>&lt; 0.0001</b>

Annexe 9. Test de normalité PATUCHEV 2014

Shapiro-Wilk test (HIVER):		Shapiro-Wilk test (HIVER):	
W	0.615	W	0.582
p-value	< 0.0001	p-value	< 0.0001
Alpha	0.05	alpha	0.05
Shapiro-Wilk test (PRINTEMPS):		Shapiro-Wilk test (PRINTEMPS):	
W	0.491	W	0.630
p-value	< 0.0001	p-value	< 0.0001
Alpha	0.05	alpha	0.05
Shapiro-Wilk test (ETE):		Shapiro-Wilk test (ETE):	
W	0.628	W	0.409
p-value	< 0.0001	p-value	< 0.0001
Alpha	0.05	alpha	0.05
Shapiro-Wilk test (AUTOMNE):		Shapiro-Wilk test (AUTOMNE):	
W	0.272	W	0.409
p-value	< 0.0001	p-value	< 0.0001
Alpha	0.05	alpha	0.05
<b>2015 DP</b>	<b>Shapiro-Wilk</b>	<b>2015 SP</b>	<b>Shapiro-Wilk</b>
(HIVER)	<b>&lt; 0.0001</b>	(HIVER)	<b>&lt; 0.0001</b>
(PRINTEMPS)	<b>&lt; 0.0001</b>	(PRINTEMPS)	<b>&lt; 0.0001</b>
(ETE)	<b>&lt; 0.0001</b>	(ETE)	<b>&lt; 0.0001</b>
(AUTOMNE)	<b>&lt; 0.0001</b>	(AUTOMNE)	<b>&lt; 0.0001</b>

Annexe 10. Test de normalité PATUCHEV 2015

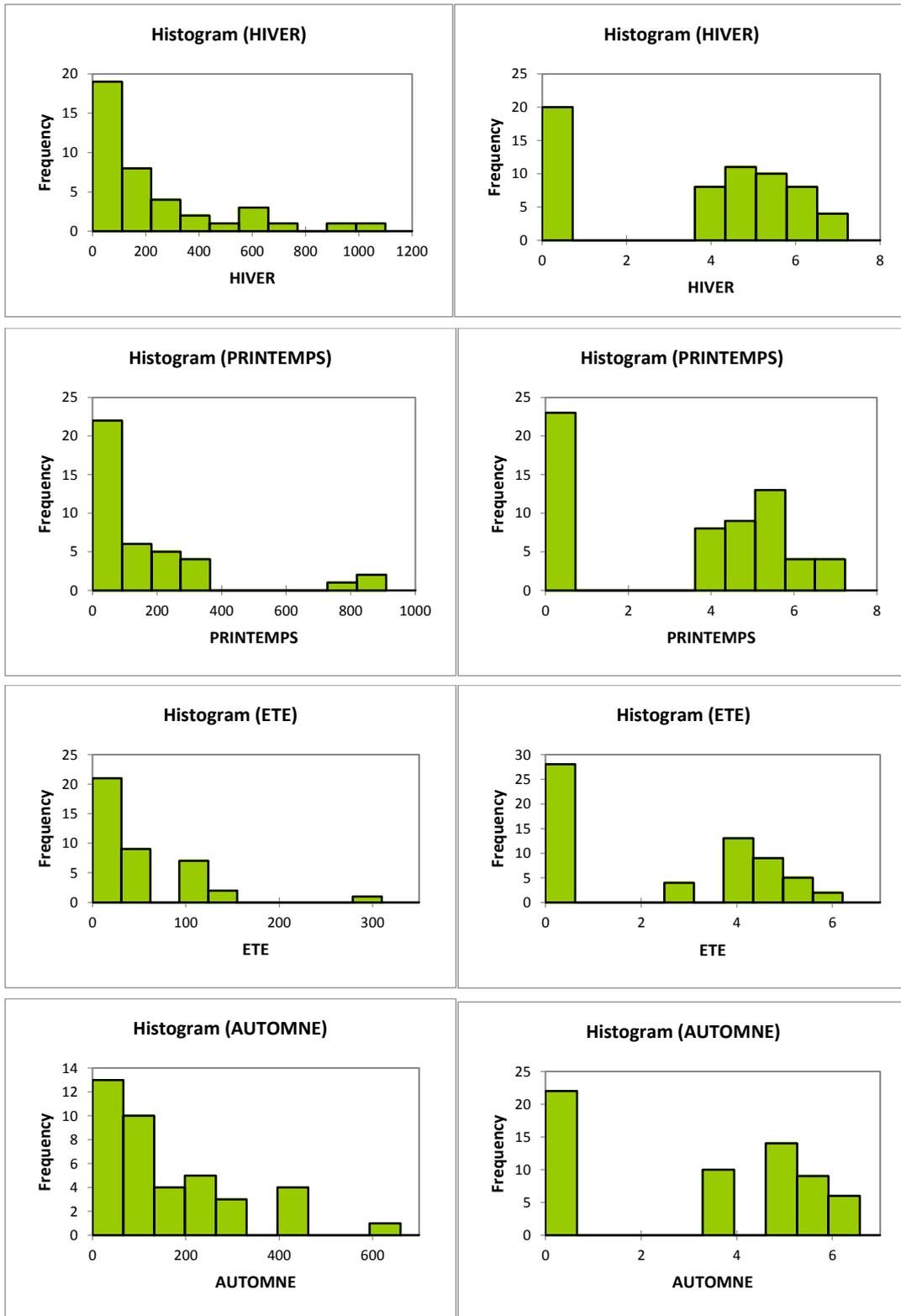
Shapiro-Wilk test (HIVER):		Shapiro-Wilk test (HIVER):	
W	0.827	W	0.331
p-value	< 0.0001	p-value	< 0.0001
Alpha	0.05	alpha	0.05
Shapiro-Wilk test (PRINTEMPS):		Shapiro-Wilk test (PRINTEMPS):	
W	0.649	W	0.622
p-value	< 0.0001	p-value	< 0.0001
alpha	0.05	alpha	0.05
Shapiro-Wilk test (AUTOMNE):		Shapiro-Wilk test (ETE):	
W	0.504	W	0.942
p-value	< 0.0001	p-value	0.005
alpha	0.05	alpha	0.05
		Shapiro-Wilk test (AUTOMNE):	
		W	0.817
		p-value	< 0.0001
		alpha	0.05
2016 DP	Shapiro-Wilk	2016 SP	Shapiro-Wilk
(HIVER)	< <b>0.0001</b>	(HIVER)	< <b>0.0001</b>
(PRINTEMPS)	< <b>0.0001</b>	(PRINTEMPS)	< <b>0.0001</b>
(AUTOMNE)	< <b>0.0001</b>	(ETE)	<b>0.005</b>
*	*	(AUTOMNE)	< <b>0.0001</b>

Annexe 11. Test normalité PATUCHEV 2016

Shapiro-Wilk test (HIVER):		Shapiro-Wilk test (HIVER):	
W	0.618	W	0.790
p-value	< 0.0001	p-value	< 0.0001
Alpha	0.05	alpha	0.05
Shapiro-Wilk test (PRINTEMPS):		Shapiro-Wilk test (PRINTEMPS):	
W	0.547	W	0.939
p-value	< 0.0001	p-value	0.005
Alpha	0.05	alpha	0.05
Shapiro-Wilk test (ETE):		Shapiro-Wilk test (ETE):	
W	0.449	W	0.652
p-value	< 0.0001	p-value	< 0.0001
Alpha	0.05	alpha	0.05
Shapiro-Wilk test (AUTOMNE):		Shapiro-Wilk test (AUTOMNE):	
W	0.690	W	0.813
p-value	< 0.0001	p-value	< 0.0001
Alpha	0.05	alpha	0.05
2017 DP	Shapiro-Wilk	2017 SP	Shapiro-Wilk
(HIVER)	< <b>0.0001</b>	(HIVER)	< <b>0.0001</b>
(PRINTEMPS)	< <b>0.0001</b>	(PRINTEMPS)	<b>0.005</b>
(ETE)	< <b>0.0001</b>	(ETE)	< <b>0.0001</b>
(AUTOMNE)	< <b>0.0001</b>	(AUTOMNE)	< <b>0.0001</b>

Annexe 12. Test normalité PATUCHEV 2017

## Exemple. Distributions avant et après Log transformation



Annexe 13. Exemple de distributions avant - après Log transformation

## Résultats PATUCHEV

Date de traitement	Traitement systématique	Traitement ciblé sélectif	Total	Type d'animaux - période	Produit
20/09/2013	48		48	tarissement lot DP	Synanthic
20/12/2013	40		40	tarissement lot SP	Synanthic
10/04/2014		4	4	4 DP	Eprinex
05/06/2014		5	5	4 DP 1 SP	Eprinex
06/08/2014	103		103	2 lots : DP SP	Eprinex (SP) Synanthic (DP)
17/09/2014		14	14	boucs	Eprinex
14/11/2014	64		64	tarissement lot SP	Synanthic
27/05/2015		2	2	2 SP	Eprinex
16/07/2015	39	9	48	tarissement lot DP et 9 SP	Eprinex
01/10/2015		3	3	3 SP	2 Eprinex - 1 Synanthic
15/12/2015	26		26	chevrettes SP - pas de traitement au tarissement des adultes	Levamisole
20/07/2016	37		37	tarissement DP	Levamisole
04/10/2016		8	8	8 SP	Levamisole
08/12/2016	57		57	tarissement SP	Synanthic
09/12/2016	10		10	boucs	Synanthic
31/07/2017	46		46	tarissement DP	Synanthic
07/12/2017	60		60	tarissement SP	Levamisole
<b>Total, general</b>	<b>439</b>	<b>14</b>	<b>575</b>		

*Annexe 14. Système de conduite d'élevage plateforme PATUCHEV*

### Resultats d' Analyse de Variance Mesures repetées par Passage

**2014**

HIVER	Ddl	SCE	Variance	F	Pr > F
Modele	1	68,739	68,739	10,529	0,001
Error	128	835,677	6,529		
Total	129	904,416			
Fisher95%	Difference	Stand.Co	p-value	Pr > Diff	Significative
DP vs SP	1,455	3,245	1,979	0,001	Oui
Categorie	Moyennes	Groupes			
LOT-DP	3,551	A			
LOT-SP	2,096		B		

PRINTEMPS	Ddl	SCE	Variance	F	Pr > F
Modele	1	3,460	3,460	0,510	0,476
Error	128	868,551	6,786		
Total	129	872,011			
Fisher95%	Difference	Stand.Co	p-value	Pr > Diff	Significative
DP vs SP	0,326	0,714	1,979	0,476	No
Categorie	Moyennes	Groupes			
LOT-DP	3,140	A			
LOT-SP	2,814	A			

ETE	Ddl	SCE	Variance	F	Pr > F
Modele	1	30,012	30,012	6,291	0,013
Error	128	610,587	4,770		
Total	129	640,599			
Fisher95%	Difference	Stand.Co	p -value	Pr > Diff	Significative
LOT-DP vs LOT-SP	0,961	2,508	1,979	0,013	Oui
Categorie	Moyennes	Groupes			
LOT-DP	2,232	A			
LOT-SP	1,271		B		

AUTOMNE	Ddl	SCE	Variance	F	Pr > F
Modele	1	40,114	40,114	7,050	0,009
Error	128	728,323	5,690		

Total	129	768,438			
Fisher95%	Difference	Stand.Co	p - value	Pr > Diff	Significative
LOT-DP vs LOT-SP	1,112	2,655	1,979	0,009	Oui
Categorie	Moyennes	Groupes			
LOT-SP	4,147	A			
LOT-DP	3,036		B		

Annexe 15. Analyse de Variance Mesures Répétées 2014

2015

HIVER	Ddl	SCE	Variance	F	Pr > F
Modele	1	45,020	45,020	9,493	0,003
Error	101	478,989	4,742		
Total	102	524,009			
Fisher95%	Difference	Stand.Co	p value	Pr > Diff	Significative
DP vs SP	1,333	3,081	1,984	0,003	oui
Categorie	Moyennes	Groupes			
LOT-DP	2,273	A			
LOT-SP	0,941		B		

PRINTEMPS	Ddl	SCE	Variance	F	Pr > F
Modele	1	6,271	6,271	1,303	0,256
Error	101	486,239	4,814		
Total	102	492,510			
Fisher95%	Difference	Stand.Co	p value	Pr > Diff	Significative
SP vs DP	0,497	1,141	1,984	0,256	No
Category	LS means	Groupes			
LOT-SP	4,091	A			
LOT-DP	3,593	A			

ETE	Ddl	SCE	Variance	F	Pr > F
Modele	1	444,907	444,907	121,151	< 0,0001
Error	101	370,905	3,672		
Total	102	815,812			
Fisher95%	Difference	Stand.Co	p value	Pr > Diff	Significative
SP vs DP	4,190	11,007	1,984	< 0,0001	oui
Categorie	Moyennes	Groupes			
LOT-SP	4,662	B			
LOT-DP	0,472		A		

AUTOMNE	Ddl	SCE	p value	F	Pr > F
Modele	1	17,852	17,852	2,593	0,110
Error	101	695,227	6,883		
Total	102	713,078			
Fisher95%	Difference	Stand.Co	p value	Pr > Diff	Significative
SP vs DP	0,839	1,610	1,984	0,110	No
Categorie	Moyennes	Groupes			
LOT-SP	3,899	A			
LOT-DP	3,060	A			

Annexe 16. Analyse de Variance Mesures Répétées 2015

2016

HIVER	Ddl	SCE	Variance	F	Pr > F
Modele	1	69,210	69,210	21,644	< 0,0001
Error	124	396,505	3,198		
Total	125	465,715			
Fisher95%	Difference	Stand-Co	p value	Pr > Diff	Significative
DP vs SP	1,489	4,652	1,979	< 0,0001	oui
Categorie	Moyenne	Groupes			
LOT-DP	1,904	A			
LOT-SP	0,415		B		

PRINTEMPS	Ddl	SCE	Variance	F	Pr > F
Modele	1	3,361	3,361	0,780	0,379

Error	124	534,564	4,311		
Total	125	537,926			
Fisher95%	Difference	Stand.Co	p value	Pr > Diff	Significative
SP vs DP	0,328	0,883	1,979	0,379	No
Category	LS means	Groupes			
LOT-SP	1,439	A			
LOT-DP	1,111	A			

ETE	Ddl	SCE	Variance	F	Pr > F
Modele	1	488,555	488,555	190,133	< 0,0001
Error	124	318,623	2,570		
Total	125	807,178			
Fisher95%	Difference	Stand.Co	p value	Pr > Diff	Significative
SP vs DP	3,956	13,789	1,979	< 0,0001	oui
Category	Moyenne	Groupes			
LOT-SP	3,956	A			
LOT-DP	0,000		B		

AUTOMNE	Ddl	SCE	Variance	F	Pr > F
Modele	1	530,141	530,141	139,076	< 0,0001
Error	124	472,672	3,812		
Total	125	1002,814			
Fisher95%	Difference	Stand.Co	p value	Pr > Diff	Significative
SP vs DP	4,121	11,793	1,979	< 0,0001	oui
Categorie	Moyenne	Groupes			
LOT-SP	4,327	A			
LOT-DP	0,206		B		

Annexe 17. Analyse de Variance Mesures Répétées 2016

HIVER	Ddl	SCE	Variance	F	Pr > F
Modele	1	152,233	152,233	30,914	< 0,0001
Error	147	723,878	4,924		
Total	148	876,111			
Fisher95%	Difference	Stand.Co	p value	Pr > Diff	Significative
SP vs DP	2,024	5,560	1,976	< 0,0001	oui
Categorie	Moyenne	Groupe			
Lot-SP	3,260	A			
Lot-DP	1,236		B		

PRINTEMPS	Ddl	SCE	Variance	F	Pr > F
Modele	1	159,094	159,094	24,010	< 0,0001
Error	147	974,050	6,626		
Total	148	1133,145			
Fisher95%	Difference	Stand.Co	p value	Pr > Diff	Significative
SP vs DP	2,069	4,900	1,976	< 0,0001	oui
Categorie	Moyenne	Groupe			
Lot-SP	4,808	A			
Lot-DP	2,739		B		

ETE	Ddl	SCE	Variance	F	Pr > F
Modele	1	378,470	378,470	96,755	< 0,0001
Error	147	575,011	3,912		
Total	148	953,480			
Fisher95%	Difference	Stand.Co	p value	Pr > Diff	Significative
SP vs DP	3,191	9,836	1,976	< 0,0001	oui
Categorie	Moyenne	Groupe			
Lot-SP	3,502	A			
Lot-DP	0,311		B		

AUTOMNE	Ddl	SCE	p value	F	Pr > F
Modele	1	335,319	335,319	74,967	< 0,0001
Error	147	657,516	4,473		

Total	148	992,835			
Fisher95%	Difference	Stand.Co	p value	Pr > Diff	Significative
SP vs DP	3,004	8,658	1,976	< 0,0001	oui
Categorie	Moyenne	Groupe			
Lot-SP	4,574	A			
Lot-DP	1,570		B		

Annexe 18. Analyse de Variance Mesures Répétées 2017

### Résultats d'Analyse de Variance entre passages par Lot, par année

Analyse de Variance entre Passages dans Lot DP en 2014					
2014	Ddl	SCE	CM ajust	F	p value
Passages	3	57,53	19,175	3,06	0,029
Erreur	248	1553,35	6,264		
Total	251	1610,88			

Annexe 19. Analyse de Variance entre passage dans Lot DP en 2014

Analyse de variance entre Passages dans Lot SP en 2014					
2014	Ddl	SCE	CM ajust	F	p value
Passages	3	320,4	106,788	19,22	0
Erreur	264	1466,8	5,556		
Total	267	1787,2			

Annexe 20. Analyse de Variance entre passage dans Lot SP en 2014

Analyse de variance entre passages dans Lot DP en 2015					
2015	Ddl	SCE	CM ajust	F	p value
Passages	3	251,2	83,721	17,17	0
Erreur	176	858	4,875		
Total	179	1109,2			

Annexe 21. Analyse de Variance entre passage dans Lot DP en 2015

Analyse de variance entre passages dans Lot SP en 2015					
2015	Ddl	SCE	CM ajust	F	p value
Passages	3	485,4	161,806	31,44	0
Erreur	228	1173,4	5,146		
Total	231	1658,8			

Annexe 22. Analyse de Variance entre passage dans Lot SP en 2015

Analyse de variance entre passages dans Lot DP en 2016					
2016	Ddl	SCE	CM ajust	Valeur F	p value
Passages	3	131,5	43,841	17	0
Erreur	224	577,7	2,579		
Total	227	709,2			

Annexe 23. Analyse de Variance entre passage dans Lot DP en 2016

Analyse de variance entre passages dans Lot SP en 2016					
2016	Ddl	SCE	CM ajust	Valeur F	p value
Passages	3	754,1	251,367	59,73	0
Erreur	272	1144,7	4,208		
Total	275	1898,8			

Annexe 24. Analyse de Variance entre passage dans Lot SP en 2016

Analyse de variance entre passages dans Lot DP en 2017					
2017	Ddl	SCE	CM ajust	Valeur F	p value
Passage	3	235,3	78,449	18,19	0
Erreur	308	1328	4,312		
Total	311	1563,4			

Annexe 25. Analyse de Variance entre passage dans Lot DP en 2017

Analyse de variance entre passages dans Lot SP en 2017					
2017	ddl	SCE	CM ajust	Valeur F	p value
Passage	3	125,8	41,925	7,33	0
Erreur	280	1602,4	5,723		
Total	283	1728,2			

Annexe 26. Analyse de Variance entre passage dans Lot SP en 2017

### Analyse de Répétabilité PATUCHEV

Analyse de Répétabilité 2014					
2014	ddl (n-1)	SSE	MS	F	Pr > F
Individus	28	185,745	6,634	0,767	0,785
Répétabilité	87	752,935	8,654		
Total	115	938,680			

Annexe 27. Analyse de Répétabilité 2014

Analyse de Répétabilité 2015					
2015	ddl (n-1)	SCE	MS	F	Pr > F
Individus	25	97,479	4,062	0,446	0,986
Répétabilité	75	683,102	9,108		
Total	99	780,582			

Annexe 28. Analyse de Répétabilité 2015

Analyse de Répétabilité 2016					
2016	ddl (n-1)	SCE	MS	F	Pr > F
Individus	21	69,324	3,301	0,381	0,993
Répétabilité	88	762,353	8,663		
Total	109	831,677			

Annexe 29. Analyse de Répétabilité 2016

Analyse de Répétabilité 2017					
2017	ddl(n-1)	SCE	MS	F	Pr > F
Individus	40	277,136	6,928	0,914	0,619
Répétabilité	123	932,640	7,582		
Total	163	1209,776			

Annexe 30. Analyse de Répétabilité 2017

### Fréquence des Cas dans la Ferme PATUCHEV de 2014 à 2017

CAS	2014	2015	2016	2017
=>500opg	29	26	22	41
<500opg	116	114	143	143
Total	145	139	165	184

CAS	2014	2015	2016	2017
500opg	0,147	0,000	2,482*	1,320
<500opg	0,038	0,001	0,551	0,315
Total	0,000	0,001	0,000	0,000
Total	0,184	0,002	3,033	1,636
Fisher's exact test:				
p-value (Two-tailed)				0,579
Alpha				0,05
Fisher's exact test = 0,579 > p 0,05 à un risque alfa de 57,89%				On accepte Ho

Annexe 31. Fréquence des Cas Ferme PATUCHEV de 2014 à 2017

### Fréquences des Cas dans la ferme PATUCHEV par Lot de 2014 à 2017

CAS	2014	2015	2016	2017
DP	15	3	1	11
SP	14	23	21	30
CAS	2014	2015	2016	2017
DP	7,890*	1,972*	3,772*	0,032
SP	2,690*	0,672	1,286*	0,011
Total	10,580	2,644	5,058	0,043
Fisher's exact test:				
p-value				0,000
Alpha				0,05
Il y a une différence significative à risque alfa moins de 0,05%.				
Fisher test 0,00 < p 0,005				(On rejette Ho)

Annexe 32. Fréquences des Cas par Lot de 2014 à 2017.

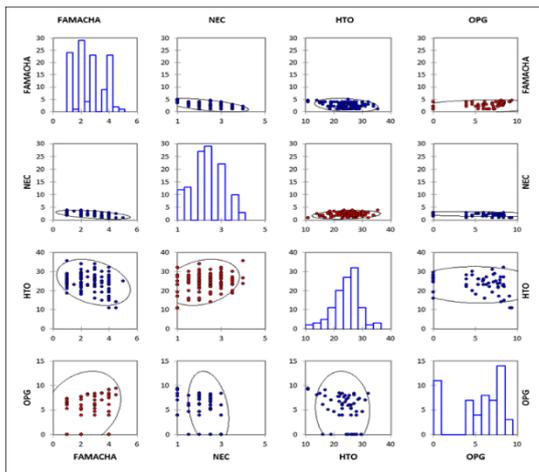
## 8 FERMES DE LA REGION OCCITANIE

Coprocultures de fin de printemps /debut d été 2016			Nombre total	Multi Primi	DP/SP	Autres hotes	<i>Haemonchus</i>	<i>Tricho /Telad</i>	<i>Oesophagostomum</i>
S	Tarn	2016/2017	240	Oui	oui	Oui	68	32	0
F	Tarn/ Garonne	2016	120	Oui	Non	Oui	Not performed	Not performed	Not performed
W	Ariège	2016/2017	115	Oui	oui	Oui	63	27	0
D	Ariège	2016/2017	38	Oui	non	Oui	84	16	0
M	Ariège	2016/2017	40	Oui			36	64	0
B	lot	2016/2017	220	Oui	Non	Non	72	28	0
R	Lot	2016/2017	100	Oui	oui		70	30	0
LH	Lot	2016	150	Oui	non	Non	64	26	0
PATUCHEV	Vienne	2014/2017	120 AU PATURAGE	Oui	oui	Non	0	90	10

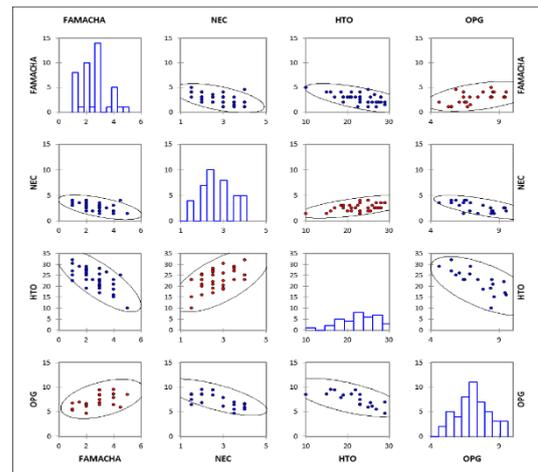
*Annexe 33. Mode de conduite des fermes*

### Graphique des corrélations 8 Fermes

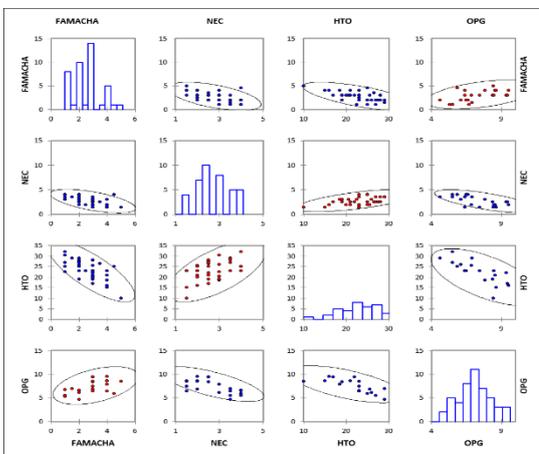
Ferme B



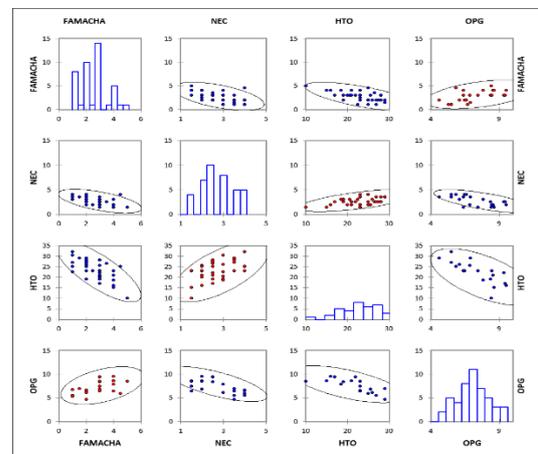
Ferme D

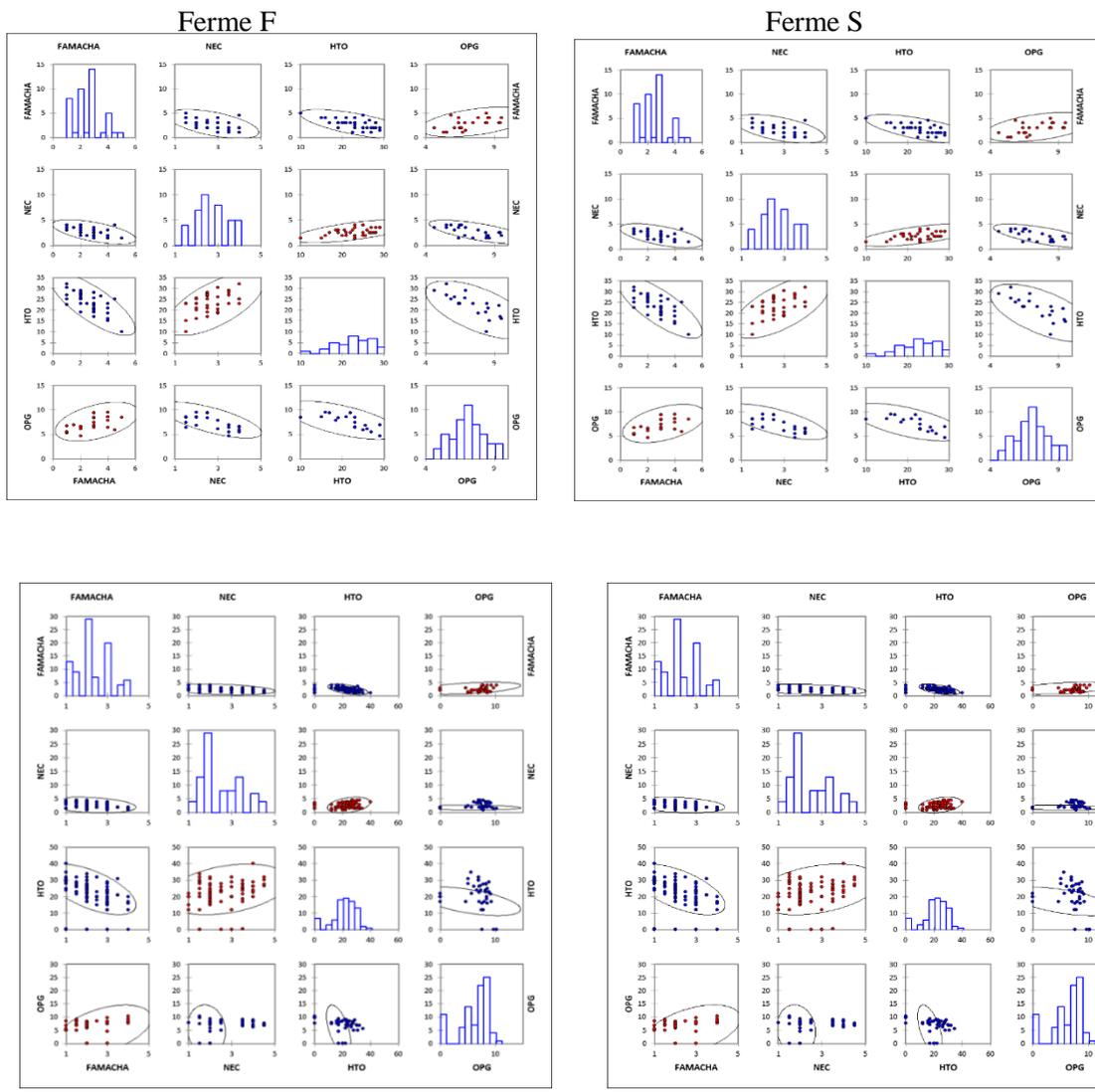


Ferme F



Ferme M





Annexe 34. Graphique corrélations Indicateurs par Ferme

Table d'interprétation Hernandez, Fernandez et Baptista (2006)

Escala de interpretación para la correlación de spearman	
Correlación	Interpretación
-1.00	Correlación negativa perfecta
-0.90	Correlación negativa muy fuerte
-0.75	Correlación negativa considerable
-0.50	Correlación negativa media
-0.10	Correlación negativa débil
0.00	No existe correlación alguna entre las variables
+0.10	Correlación positiva débil
+0.50	Correlación positiva media
+0.75	Correlación positiva considerable
+0.90	Correlación positiva muy fuerte
+1.00	Correlación positiva perfecta

Fuente: Hernández, Fernández y Baptista (2006)

Annexe 35. Table d'interprétation Corrélation Spearman d'après Hernandez (2006)

## Tableau de contingence. Test FAMACHA®

### Sensibilité - Spécificité Méthode FAMACHA/Hématocrite selon critère

		CRITERIE 1				
	HTO<15	HTO>15		SE	100,00%	
	<i>Anémique</i>	<i>Non anémique</i>	<i>TOTAL</i>	SP	54,69%	
FAMACHA(3,4,5)	12	251	263	VPP	4,56%	
FAMACHA(1 -2)	0	303	303	VPN	100,00%	
TOTAL	12	554	566	PREVALENCE	2,12%	
Kappa	0,125				86,67%	
	<i>MALADES</i>	<i>SAINS</i>	<i>TOTAL</i>	SP	56,90%	
FAMACHA(3,4,5)	39	225	264	VPP	14,77%	
FAMACHA(1 -2)	6	297	303	VPN	98,02%	
TOTAL	45	522	567	PREVALENCE	7,94%	
Kappa	0,135					
	HTO<20	HTO>20		SE	76,06%	
	<i>MALADES</i>	<i>SAINS</i>	<i>TOTAL</i>	SP	57,78%	
FAMACHA(3,4,5)	54	209	263	VPP	20,53%	
FAMACHA(1 -2)	17	286	303	VPN	94,39%	
TOTAL	71	495	566	PREVALENCE	12,54%	
Kappa	0,157					
		CRITERIE 2				
	HTO<15	HTO>15		SE	75,00%	
	<i>MALADES</i>	<i>SAINS</i>	<i>TOTAL</i>	SP	88,27%	
FAMACHA(4,5)	9	65	74	VPP	12,16%	
FAMACHA(1 -2 - 3)	3	489	492	VPN	99,39%	
TOTAL	12	554	566	PREVALENCE	2,12%	
Kappa	0,265					
	HTO<18	HTO>18		SE	53,33%	
	<i>MALADES</i>	<i>SAINS</i>	<i>TOTAL</i>	SP	90,23%	
FAMACHA(4,5)	24	51	75	VPP	32,00%	
FAMACHA(1 -2 - 3)	21	471	492	VPN	95,73%	
TOTAL	45	522	567	PREVALENCE	7,94%	
Kappa	0,334					
	HTO<20	HTO>20		SE	42,25%	
	<i>MALADES</i>	<i>SAINS</i>	<i>TOTAL</i>	SP	91,11%	
FAMACHA(4,5)	30	44	74	VPP	40,54%	
FAMACHA(1 -2 - 3)	41	451	492	VPN	93,70%	
TOTAL	71	495	566	PREVALENCE	12,54%	
Kappa	0,328					

Annexe 36. Tableau de contingence Méthode FAMACHA – Hématocrite

## RESULTATS DES COPROSCOPIES DE GROUPE

### Sencibilite - Specificite Test coprologiques à différents seuils

500opg

	Reference			Se	88,2%	
	Positive	Negative	Total	SP	96,4%	
<b>Mélange</b>	Positives	120	3	123	VPP	97,6%
	Negative	16	80	96	VPN	83,3%
	<b>Total</b>	<b>136</b>	<b>83</b>	<b>219</b>	<b>Kappa</b>	0,821
	Reference			Se	82,4%	
<b>Broyat</b>	Positive	112	0	112	SP	77,6%
	Positives	112	0	112	VPP	100,0%
	Negative	24	83	107	VPN	77,6%
	<b>Total</b>	<b>136</b>	<b>83</b>	<b>219</b>	<b>Kappa</b>	0,780

Annexe 37. Tableau de contingence : Test de Coprologie seuil 500opg

700opg

	Reference			Se =	96,2%	
	Positive	Negative	Total	Sp=	92,0%	
<b>Mélange</b>	Positives	102	9	111	VPP=	91,9%
	Negative	4	104	108	VPN=	96,3%
	<b>Total</b>	<b>106</b>	<b>113</b>	<b>219</b>	<b>Kappa</b>	0,881
	Reference			Se	85,8%	
<b>Broyat</b>	Positive	91	5	96	SP	95,6%
	Positives	91	5	96	VPP	94,8%
	Negative	15	108	123	VPN	87,8%
	<b>Total</b>	<b>106</b>	<b>113</b>	<b>219</b>	<b>Kappa</b>	0,817

Annexe 38. Tableau de contingence : Test de Coprologie seuil 700 opg

1000opg

	Reference			Se =	95,2%	
	Positive	Negative	Total	Sp=	92,6%	
<b>Mélange</b>	Positives	79	10	89	VPP=	88,8%
	Negative	4	126	130	VPN=	96,9%
	<b>Total</b>	<b>83</b>	<b>136</b>	<b>219</b>	<b>Kappa</b>	0,866
	Reference			Se	84,3%	
<b>Broyat</b>	Positive	70	7	77	SP	94,9%
	Positives	70	7	77	VPP	90,9%
	Negative	13	129	142	VPN	90,8%
	<b>Total</b>	<b>83</b>	<b>136</b>	<b>219</b>	<b>Kappa</b>	0,803

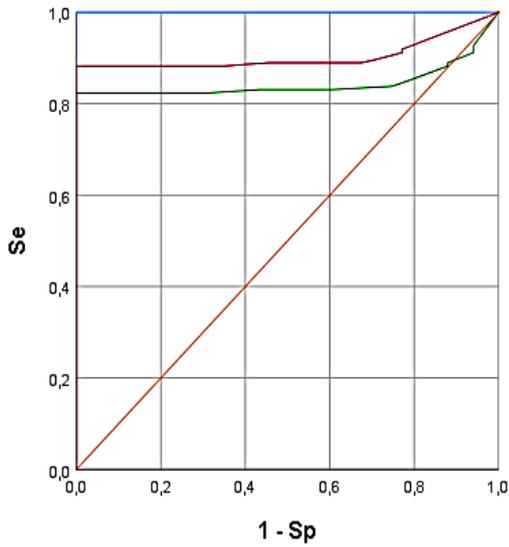
Annexe 39. Tableau de contingence : Test de Coprologie seuil 1000opg

1200opg

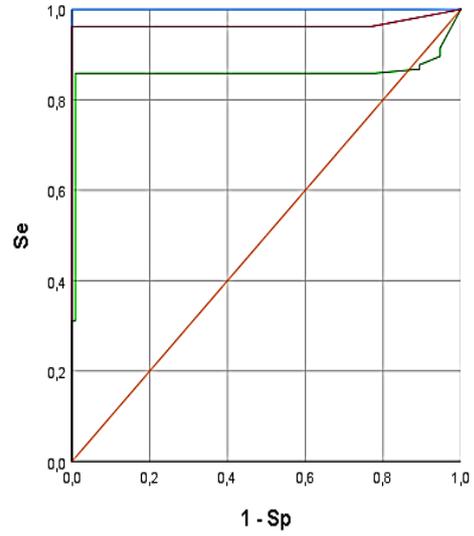
	Reference			Se =	98,6%	
	Positive	Negative	Total	Sp=	92,5%	
<b>Mélange</b>	Positives	71	11	82	VPP=	86,6%
	Negative	1	136	137	VPN=	99,3%
	<b>Total</b>	<b>72</b>	<b>147</b>	<b>219</b>	<b>Kappa</b>	0,880
	Reference			Se =	83,3%	
<b>Broyat</b>	Positive	60	5	65	Sp=	96,6%
	Positives	60	5	65	VPP=	92,3%
	Negative	12	142	154	VPN=	92,2%
	<b>Total</b>	<b>72</b>	<b>147</b>	<b>219</b>	<b>Kappa</b>	0,8200

Annexe 40. Tableau de contingence : Test de Coprologie seuil 1200opg

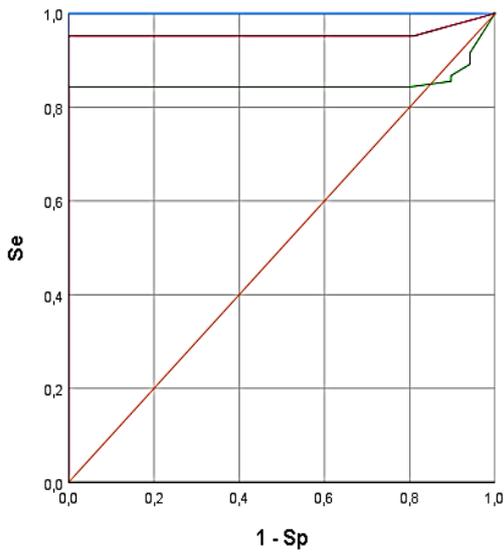
## Sensibilité - Spécificité des test Coprologiques



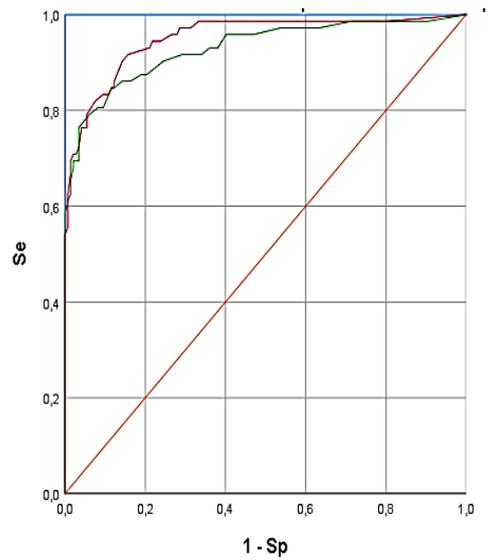
Annexe 42. Graphique ROC à seuil 500 opg



Annexe 41. Graphique ROC à seuil 700 opg



Annexe 43. Graphique ROC à seuil 1000 opg



Annexe 44. Graphique ROC à seuil 1200 opg

