REPUBLIQUE DE COTE D'IVOIRE

Union - Discipline – Travail

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

Institut National Polytechnique
Félix HOUPHOUËT-BOIGNY

EDP
École Doctorale Polytechnique

THÈSE

Pour l'obtention du grade de

DOCTEUR DE L'INSTITUT NATIONAL POLYTECHNIQUE FELIX HOUPHOUËT-BOIGNY

Mention : AGRONOMIE ET GENIE RURAL

Spécialité : ZOOTECHNIE ET PRODUCTIONS ANIMALES

Thème :

Evaluation des propriétés anthelminthiques et nutraceutiques de *Cajanus cajan* (L.) Millsp. chez les agneaux Djallonké, en Côte d'Ivoire

Présentée et soutenue publiquement le 30 septembre 2022 par

KOUTOUAN Faustin Parfait

JURY

M. ABO Kouabenan……	Professeur Titulaire, INP-HB	Président
M. KIMSE Moussa……	Maître de Conférences, UNA	Rapporteur
M. YAO Kouassi Patrick……	Maître de Conférences, UAO	Rapporteur
M. SOKOURI Didier Paulin……	Professeur Titulaire, UFHB.	Examinateur
M. WANDAN Eboua Narcisse	Maître de Conférences, INP-HB	Directeur de thèse

DEDICACE

« Je suis le cep, vous êtes les sarments. Celui qui demeure en moi et en qui je demeure porte beaucoup de fruits, car sans moi vous ne pouvez rien faire» (Jean 15 :5). Oui Seigneur !!!!!! sans toi, nous ne pouvons rien faire. Accorde nous donc le secours de ton esprit. Amen !

Cette thèse est dédiée à nos parents, épouse et enfants.

À notre père KOUTOUAN Joël et notre mère Mme KOUTOUAN née DJAMA Ahouo Agathe, pour leur soutien sans faille durant notre étude.

A notre très chère épouse Mme KOUTOUAN née N'DRIN Bassi Aimée, pour son soutien moral, spirirtuel et financier.

A nos trois enfants KOUTOUAN Johana, Joël et Jérémie.

TABLE DES MATIERES

DEDICACE ..... **i**
REMERCIEMENTS ..... **vii**
LISTE DES ABREVIATIONS ..... **x**
LISTE DES ANNEXES ..... **xii**
LISTE DES FIGURES ..... **xiii**
LISTE DES TABLEAUX ..... **xiv**
PUBLICATIONS ET COMMUNICATIONS SCIENTIFIQUES ..... **xv**
RESUME ..... **xvi**
ABSTRACT ..... **xvii**
INTRODUCTION 1

CHAPITRE 1. REVUE BIBLIOGRAPHIQUE **6**
1.1. Nématodes gastro-intestinaux (NGI) des ruminants **7**
1.1.1. Systématique et distribution des nématodes gastro-intestinaux 7
1.1.1.1. Systématique des nématodes gastro-intestinaux 7
1.1.1.2. Distribution des nématodes gastro-intestinaux 8
1.1.2. Cycle de vie des nématodes gastro-intestinaux 9
1.1.2.1. Biologie des larves infestantes 10
1.1.2.2. Facteurs influençant le développement et la reproduction des NGI 12
1.1.3. Facteurs de variation des réponses de l'hôte à l'infestion parasitaire 14
1.1.3.1. Facteurs individuels 14
1.1.3.2. Facteurs épidémiologiques 16
1.1.3.2.1. Facteurs extrinsèques 16
1.1.3.2.2. Facteurs intrinsèques 17
1.1.4. Conséquences des strongyloses gastro-intestinales chez les ruminants 18
1.1.4.1. Impacts des strongyloses gastro-intestinales sur la production et sur la qualité de la carcasse 18
1.1.4.2. Conséquences économiques 19
1.1.4.3. Symptomatologie clinique et pathophysiologie 19
1.1.4.3.1. Symptomatologie clinique 19
1.1.4.3.2. Effet des NGI sur la consommation et la conversion alimentaires 20
1.1.4.3.3. Changement dans la composition sanguine 20
1.1.4.3.4. Modifications du métabolisme de l'hôte 21
1.1.4.3.5. Changements structurels, fonctionnels et cytocinétiques des processus adaptatifs 22
1.1.4.3.6. Aspects immunologiques de l'infestion par les NGI 23
1.2. Anthelminthiques de synthèse et limites de leur utilisation **23**

1.2.1. Classification des anthelminthiques de synthèse 24
1.2.1.1. Benzimidazoles et pro-benzimidazoles 25
1.2.1.2. Imidazothiazoles et tétrahydropyrimidines 25
1.2.1.3. Lactones macrocycliques 26
1.2.1.4. Salicylanilides 26
1.2.2. Limites de l'utilisation des anthelminthiques de synthèse 27
1.2.2.1. Ecotoxicité des anthelminthiques 27
1.2.2.2. Restrictions d'emploi des anthelminthiques 27
1.2.2.3. Résistance des nématodes gastro-intestinaux aux anthelminthiques 27
1.2.2.3.1. Définition et mode d'apparition 27
1.2.2.3.2. Molécules et espèces de NGI concernées par la résistance 28
1.3. Méthodes alternatives aux anthelminthiques de synthèse 28
1.3.1. Méthodes de lutte contre les NGI dans l'environnement 29
1.3.1.1. Gestion des pâturages 29
1.3.1.2. Contrôle biologique 30
1.3.2. Méthodes de lutte contre les NGI dans l'hôte 31
1.3.2.1. Sélection d'animaux génétiquement résistants 31
1.3.2.2. Vaccination des animaux 31
1.3.2.3. Amélioration de la ration de l'animal hôte 32
1.3.2.3.1. Effet de la nutrition protéique sur les NGI 32
1.3.2.3.2. Effet de la nutrition énergétique sur les NGI 34
1.3.2.3.3. Effet des micronutriments sur les NGI 35
1.3.2.3.4. Cadre de partage des nutriments entre les différentes fonctions de l'organisme de l'hôte 35
1.3.2.4. Utilisation de l'oxyde de cuivre 36
1.3.2.5. Exploitation de plantes à propriétés anthelminthiques 37
1.3.2.5.1. Origine des propriétés anthelminthiques des plantes 37
1.3.2.5.2. Mode d'utilisation des plantes dans la lutte contre les NGI 37
1.3.2.5.3. Effets des plantes contre les NGI 41
1.4. Généralités sur *Cajanus cajan* (L.) Millsp 42
1.4.1. Systématique de *Cajanus cajan* 42
1.4.2. Appelations et origines de *C. cajan* 42
1.4.3. Description botanique de *C. cajan* 43
1.4.4. Variétés de *C. cajan* 45
1.4.5. Intérêts de *C. cajan* en alimentation, pharmacopée, agriculture et élevage 46
1.4.5.1. Intérêt de *C. cajan* en alimentation et en pharmacopée humaine 46
1.4.5.2. Intérêt de *C. cajan* en agriculture 47
1.4.5.3. Intérêt de *C. cajan* en alimentation animale 49

1.4.5.4. Intérêt de *C. cajan* en santé animale 51

CHAPITRE 2. MATERIEL ET METHODES 53

2.1. Analyse de la variation de la teneur en polyphénols totaux et en tanins des feuilles de neuf variétés de *C. cajan* au cours du premier cycle de croissance en fonction du mode d'exploitation 54

2.1.1. Matériel 54

2.1.1.1. Matériel végétal 54

2.1.1.2. Matériel de pesée, de prélèvement, de transport et de broyage des feuilles de *C. cajan* 55

2.1.1.3. Matériel d'extraction des métabolites secondaires 56

2.1.1.4. Matériel de dosage des polyphénols totaux et des tanins 56

2.1.2. Zone d'étude 56

2.1.3. Méthode 56

2.1.3.1. Mise en place de la parcelle expériementale et dispositif expérimental 56

2.1.3.2. Deshydratation des feuilles et extraction des métabolites secondaires 58

2.1.3.3. Dosage des polyphénols totaux et des tanins 60

2.2. Evaluation de l'activité anthelminthique *in vitro* des extraits de feuilles de *C. cajan* sur *Haemonchus contortus* en fonction de la variété 63

2.2.1. Matériel 63

2.2.1.1. Matériel biologique 63

2.2.1.2. Matériel de laboratoire 63

2.2.1.3. Matériel technique 63

2.2.2. Méthode 64

2.3. Evaluation de l'effet de la supplémentation avec les feuilles de *C. cajan* d'une ration à base de paille de *Panicum maximum* C1 sur le parasitisme gastro-intestinal et la croissance des agneaux Djallonké 65

2.3.1. Matériel 65

2.3.1.1. Animaux et fourrages expérimentaux 65

2.3.1.2. Anthelminthique de synthèse, réactifs et matériel de laboratoire 66

2.3.2. Zone d'étude 66

2.3.3. Méthode 67

2.4. Evaluation de l'effet de la consommation des feuilles de *C. cajan* en supplément du pâturage naturel sur le parasitisme gastro-intestinal et la croissance des agneaux Djallonké. 70

2.4.1. Matériel 70

2.4.1.1. Animaux et fourrages expérimentaux 70

2.4.1.2. Anthelminthique de synthèse, réactifs, matériel de laboratoire et zone d'étude 70

2.4.2. Méthode 70
2.4.2.1. Mise en lot des animaux 70
2.4.2.2. Alimentation des animaux 71
2.4.2.3. Caractérisation du pâturage naturel 72
2.5. Mesure de l'effet de *C. cajan* sur la croissance 73
2.6. Mésure de l'ingestion des aliments par les animaux 73
2.7. Déterminatin de la valeur bromatologique des aliments consommés par les animaux 74
2.8. Détermination de l'effet de *C. cajan* sur l'excrétion des œufs par NGI 75
2.9. Détermination de l'effet de *C. cajan* sur l'hématocrite des agneaux infestés par les NGI 77
2.10. Analyses statistiques des données 77
CHAPITRE 3. RESULTATS et DISCUSSION 80
3.1. Variation de la teneur en polyphénols totaux et en tanins des feuilles de neuf variétés de *C. cajan* au cours du premier cycle de croissance et en fonction du mode d'exploitation 81
3.1.1. Résultats 81
3.1.1.1. Rendements d'extraction des métabolites secondaires 81
3.1.1.2. Evolution des teneurs en composés phénoliques au cours du premier cycle .. 81
3.1.1.3. Effet du mode d'exploitation des différents variétés de *C. cajan* sur la teneur en polyphénols et en tanins 85
3.1.2. Discussion 93
3.2. Activités anthelminthiques *in vitro* de *C. cajan* et effet de la supplémentation dans une ration à base de paille de *Panicum maximum* C1 sur le parasitisme gastro-intestinal et la croissance 95
3.2.1. Résultats 95
3.2.1.1. Activités *in vitro* de *C. cajan* 95
3.2.1.2. Composition chimique des aliments 96
3.2.1.3. Ingestion de la matière sèche et de la matière azotée totale 97
3.2.1.4. Croissances et gains moyens quotidiens des animaux 99
3.2.1.5. Evolution des excrétions d'oeufs de nématodes dans les fèces 101
3.2.1.6. Taux de réduction des œufs fécaux 103
3.2.1.7. Evolution de l'hématocrite 103
3.2.1.8. Taux de mortalité des ovins 104
3.2.2. Discussion 105
3.2.2.1. Activités anthelminthique *in vitro* de *C. cajan* 105
3.2.2.2. Effet de la consommation des feuilles de *C. cajan* sur les NGI des agneaux en l'absence de la source de ré-infestation 106

3.2.2.3. Effet de la consommation de *C. cajan* sur la croissance des agneaux en l'absence de la source de ré-infestation des NGI 107

3.3. Effet de la consommation des feuilles de *C. cajan* en supplément du pâturage naturel sur le parasitisme gastro-intestinal et la croissance des agneaux Djallonké 109

3.3.1. Résultats 109

3.3.1.1. Composition chimique des aliments 109

3.3.1.2. Composition de la strate herbacée et valeur pastorale du pâturage naturel .. 110

3.3.1.3. Ingestion de la matière sèche 111

3.3.1.4. Croissance pondérale des animaux 112

3.3.1.5. Evolution des excrétions d'œufs de nématodes dans les fèces 113

3.3.1.6. Taux de réduction des œufs fécaux 115

3.3.1.7. Evolution de l'hématocrite 116

3.3.1.8. Taux de mortalité 117

3.2.2. Discussion 117

3.2.2.1. Effet de la consommation des feuilles de *C. cajan* en supplément du pâturage naturel, sur les NGI des agneaux Djallonké 117

3.2.2.2. Effet de la consommation des feuilles de *C. cajan* en supplément du pâturage naturel, sur la croissance des agneaux Djallonké 119

3.4. Discussion générale 118

CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES 122

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES 125

ANNEXES 144

REMERCIEMENTS

Au terme de ce travail, qui a été très passionnant et enrichant pour nous, nous voudrions remercier tous ceux et toutes celles qui ont contribué à son aboutissement.

Nous pensons au Directeur Général de l'INSTITUT NATIONAL POLYTECHNIQUE-FELIX HOUPHOUËT BOIGNY (INP-HB) pour tous les efforts qu'il consent pour les doctorants. Nous tenons également à remercier toute la direction de l'Ecole Doctorale Polytechnique (EDP), avec à sa tête Prof YAO Kouassi Benjamin, pour les conseils dont nous avons pu bénéficer lors des différents comités de thèse qu'elle a organisés. Dans cet élan, nous tenons particulièrement à remercier Prof BROU Yao Casimir, Directeur de l'Unité Mixte de Recherche et d'Innovation (UMRI) 28, pour sa compréhension, ses encouragements et pour le soutien qu'il nous a toujours témoigné durant ces années. Qu'il trouve au travers de ces mots, l'expression de notre profonde gratitude.

Nous tenons à témoigner toute notre gratitude à notre directeur de thèse, Dr WANDAN Eboua Narcisse, Maître de Conférences à l'INP-HB, pour ses orientations, ses conseils et sa disponibilité au cours de ce travail. Merci cher maître, pour l'excellent encadrement scientifique dont nous avons pu bénéficier et pour votre rigueur dans le travail.

Nous pensons également à Dr YAPI Yapo Magloire, Maître de Conférences à l'INP-HB, qui a bien voulu nous proposer ce thème, et avec qui nous avons pris un grand plaisir à collaborer durant ces quatre années de travaux. Grand merci encore à vous cher ainé, car sans votre concours, ce travail n'irait pas à son terme.

Nos remerciements s'adressent également à nos deux rapporteurs qui sont Dr KIMSE Moussa et Dr YAO Kouassi Patrick, tous deux Maîtres de conférences, respectivement des Universités NANGUI ABROGOUA et ALASSANE OUATTARA. Vos apports à ce document, chers maîtres, nous ont été d'une très grande utilité. Nous vous disons infiniment merci.

Nous sommes également reconnaissants au Prof ABO Kouabenan, Professeur Titulaire à l'INP-HB, président du jury de soutenance de la présente thèse, qui a toujours accordé un intérêt particulier à notre thème de travail. Professeur, nous vous disons merci pour votre soutien et surtout merci pour vos diverses orientations lors des comités de thèse.

Nous remerciements s'addressent également au Prof SOKOURI Didier Paulin, Professeur Titulaire à l'Université FELIX HOUPHOUET BOIGNY (UFHB), examinateur de la présente

thèse, pour sa contribution à l'amélioration du présent document. Cher maître, trouvez à travers ces mots, l'expression de notre infinie gratitude.

Nous voudrions également, à travers ces lignes, témoigner toute notre reconnaissance, à M. BODJI N'guessan Clément, Enseignant-Chercheur à l'INP-HB, à la retraite, pour sa contribution à la rédaction de la présente thèse.

Cette reconnaissance va également à l'endroit de Dr TIHO Tagoulbè, Maître-Assistant à l'INP-HB, pour son apport dans la rédaction de la présente thèse.

Nous tenons, par ailleurs, à remercier les responsables du Projet de Gestion Intégré des Ranchs et Stations (PROGIRS) du Ministère des Ressources Animale et Halieutiques de Côte d'Ivoire, notamment, Dr KONAN-BANNY Kouamé Jean-Pierre, Coordonnateur dudit projet, pour avoir accepté que des essais soient menés sur certaines des stations dudit projet. Nous remercions tout particulièrement Dr KAGNOMOU Marcel, ex Chef de la Station Semencière de Yamoussoukro (SSY), pour avoir favorisé le déroulement d'un de nos essais sur la station dont il avait la charge. Nous pensons également à M. SOUANGA N'Dri Bernard, Chef de la Station Ovine de Toumodi (SOT), pour avoir fait autant, mais surtout, pour avoir mis gracieusement à notre disposition, les animaux dont nous avions besoins pour les essais *in vivo*. Qu'il en soit infiniment remercié. Nos remerciements vont également à l'endroit du personnel technique de la SOT avec lesquels nous avons eu du plaisir à travailler durant nos différents essais.

Nos remerciements s'addressent également au personnel du Laboratoire National d'appui au Développement Agricole (LANADA), en particulier celui du Laboratoire Régional de Bouaké (LRB) avec lequel nous avons eu à conduire notre deuxième essai. Nous pensons notamment à Dr SANOGO Moussa, ex Chef par intérim du Laboratoire Régional de Bouaké et à messieurs KANDE Souleymane et DIAMBRA Yapo Innocent, tous deux, au Service Parasitologie du LRB.

Nous exprimons toute notre gratitude à M. KESSE N'da Phillipe, techicien au Laboratoire de Chimie, de l'Eau et des Substances Naturelles du Département de Recherche et de Formation Génie Chimique et Agro-alimentaire de l'INP-HB, par ailleurs doctorant à l'EDP, pour sa précieuse aide, relativement aux dosages des métabolites secondaires. Qu'il en soit infiniment remercié. Nos remerciements s'adressent également à M. N'GUESSAN Amani Antoine, pour son immense aide dans l'identiffication des espèces végétales. Qu'il trouve, à travers ces lignes, l'expression de notre profonde reconnaissance. Nos remerciements vont également à l'endroit

de M. OUATTARA Karim, technicien au Laboratoire Central d'Agrochimie et d'Ecotoxicologie (LCAE) du LANADA, pour son aide dans les analyses bromatologiques.

Enfin, nous tenons à addresser nos chaleureux remerciements au Dr ALLA Konan Jean Bedel et à M. KOUADIO Kouakou Serge, doctorant au Laboratoire de Zootechnie de l'INP-HB, pour l'aide immense qu'ils nous ont apporté durant nos travaux. Qu'ils trouvent ici, à travers ces lignes, l'expression de notre infinie reconnaissance.

LISTE DES ABREVIATIONS

%: Pourcent
ADF : Fibre détergente acide *(Acid detergent fibre)*
AH : Anthelminthiques de synthèse
ANOVA : Analyse des variances (*Analysis of variance*)
AOAC: Association des chimistes analytiques officiels (*Association of Official Analytical Chemists*)
BZD : Benzimidazoles
C: Celsius
CB : cellulose brute
CLB : Cultivar local blanc
CLN : Cultivar local noir
CLR : Cultivar local rouge
CS: contribution spécifique
DSRP : Document stratégique de réduction de la pauvreté
EDP : Ecole Doctorale Polytechnique
ENA : Extratifs non azotés
FECR: Taux de reduction des oeufs fécaux (*Faecal egg count reduction*)
g-éqAT : Gramme équivalent acide tannique
g-éqL : Gramme équivalent leucocyanidine
GMQ : Gain moyen quotidien
HCl : Acide chloridrique
HR : Humidité relative
ICRISAT : Institut international de recherche sur les cultures des zones tropicales semi-arides (*International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics*)
Ig : Immunoglobuline
INERA : Institut National de l'Environnement et de la Recherche Agronomique
INP-HB : Institut National Polytechnique-Félix Houphouët Boigny
IS : Indice spécifique
JAS : Jours après le semis
L1 : Larve de stade 1
L2 : Larve de stade 2
L3 : Larve de stade 3
L4 : Larve de stade 4
LANADA : Laboratoire National d'Appui au Développement Agricole
LRB : Laboratoire Régional de Bouaké
LCAE : Laboratoire Central d'Agrochimie et d'Ecotoxicologie
M : Temps de mort (minute)
MAD: Matière Azotée Digestible
MAT : Matière Azotée Totale
MFI : Matière fraîche ingérée

MG : Matière grasse
MO : Matière organique
MS : Matière sèche
MSI : Matière sèche ingérée
NDF : Neutral detergent fibre
NGI : Nématodes gastro-intestinaux
NOF: Nombre d'œufs fécaux
OPG: Œufs par gramme
PB: Protéine brute
PBS : Solution saline tamponnée au phosphate (*Phosphate Buffered Saline)*
pH : Potentiel hydrogène
PIB : Produit Intérieur Brut
PM: Protéine métabolisable
PROGIRS : Projet de Gestion Intégrée des Ranchs et Stations
PT : Polyphénols totaux
PV : Poids vif
$PV^{0,75}$: Poids vif métabolique
PVP : Polyvinylpyrrolidine
R : Rendement d'extraction
RPPI : Relâchement périparturiente de l'immunité
RV : Recouvrement de la végétation
Se: Sélénium
SGI : Strongles gastro-intestinaux
SR : Strongles respiratoires
SOT : Station Ovine de Toumodi
SSY : Station Semencière de Yamoussoukro
TC : Tanin condensé
TMA : Test de motilité des adultes
TMS : Taux de matière sèche
TT : Tanins totaux
UFHB : Université Félix Houphoüet Boigny
UMRI : Unité Mixte de Recherche et d'Innovation
U.S : Etats unis (*United States*)
VP : Valeur pastorale
VPb : Valeur pastorale brute
VPn : Valeur pastorale nette
Vit-B12 : Vitamine B 12

LISTE DES ANNEXES

Annexe 1. Images de quelques matériels utilisés pour les essais 145

Annexe 2. Indices spécifiques des espèces végétales de la strate herbacée du pâturage naturel 151

Annexe 3. Publication scientifique N°1: Composition en polyphénols totaux et en tanins des feuilles de neuf variétés de *Cajanus cajan* (L.) Millsp. au cours du premier cycle de croissance et en fonction du mode d'exploitation 152

Annexe 4. Publication scientifique N°2: Anthelmintic Activity of Nine Varieties of *Cajanus cajan* (L.) Millsp on Haemonchus contortus from Sheep 169

Annexe 5. Résumé de la communication 1. Détermination des teneurs en polyphénols totaux et en tanins des variétés de *Cajanus cajan* (L.) Millsp. en fonction du stade phénologique et du rythme d'exploitation..... 174

Annexe 6. Résumé de la communication 2. Valorisation de *Cajanus cajan* (L.) Millsp. dans la lutte contre les nématodes gastro-intestinaux des ovins Djallonké 175

LISTE DES FIGURES

Figure 1. Cycle évolutif des NGI des ruminants. 10
Figure 2. Intervalle de température pour le développement de l'œuf non embryonné à L3 des principales espèces de trichostrongylidés. 13
Figure 3. Résumé des principales conséquences pathologiques et physiopathologiques de l'infection à *H. contortus* chez les ovins et caprins 22
Figure 4. Quelques organes de *Cajanus cajan* 44
Figure 5. Prélèvement à la main des feuilles de *C. cajan* et leur mise dans le sac de transport 55
Figure 6. Dispositif de planting et de prélèvement du *C. cajan* 57
Figure 7. Etapes de mise en place de la parcelle expérimentale et du dispositif expérimental 58
Figure 8. Etapes suivies pour l'obtention de l'extrait sec et du surnageant utilisés pour les dosages des polyphénols et des tanins. 59
Figure 9. Diagramme de dosage des polyphénols totaux. 60
Figure 10. Diagramme de dosage des tanins totaux 61
Figure 11. Diagramme de dosage des tanins condensés 62
Figure 12. Agneaux Djallonké dans des loges individuelles 68
Figure 13. Dispositif expériemental 69
Figure 14. Séance de prélèvement de fèces au rectum 76
Figure 15. Prélèvement du sang au niveau de la veine jugulaire 77
Figure 16. Influence du mode d'exploitation sur la production de polyphénols aux différents stades phénologiques en fonction de la variété. 87
Figure 17. Influence du mode d'exploitation sur la production de tanins totaux aux différents stades phénologiques en fonctionde la variété. 89
Figure 18. Influence du mode d'exploitation sur la production de tanins condensés aux différents stades phénologiques en fonction de la variété. 92
Figure 19. Activité anthelminthique *in vitro* (le moment de la mort) des extraits bruts acétone-eau à 60 mg / mL en comparaison avec le contrôle positif lévamisole (20 mg / mL) (Lev) 95
Figure 20. Activité anthelminthique *in vitro* (le temps de la mort) des extraits bruts acétone-eau à 60 mg/ml par rapport aux extraits bruts acétone-eau à 60 mg/ml combinés avec la PVP à 50 mg/ml sur les vers matures vivants de *Haemonchus contortus* du mouton. 96
Figure 21. Evolution du poids moyen des lots d'animaux au cours de l'essai *in vivo* 1. 100
Figure 22. Evolution des excrétions des œufs de *T. colubriformis* dans les fèces des différents groupes d'animaux au cours de l'essai *in vivo* 1. 101
Figure 23. Evolution des excrétions des œufs de *H. contortus* dans les fèces des différents groupes d'animaux au cours de l'essai *in vivo* 1. 102
Figure 24. Evolution de l'hématocrite (%) en fonction des groupes au cours de l'essai *in vivo* 1. 104
Figure 25. Taux de mortalité (%) des ovins observés suite aux différents traitements au cours de l'essai *in vivo* 1. 105
Figure 26. Evolution du poids moyen des lots d'animaux au cours de l'essai *in vivo* 2. 113
Figure 27. Evolution des excrétions des œufs de *T. colubriformis* dans les fèces des différents groupes d'animaux au cours de l'essai *in vivo* 2. 114
Figure 28. Evolution des excrétions des œufs de *H. contortus* dans les fèces des différents groupes d'animaux au cours de l'essai *in vivo* 2. 115
Figure 29. Evolution de l'hématocrite (%) au cours de l'essai *in vivo* 2 117

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1. Principales espèces de la famille des Trichostrongyloïdae de l'Afrique de l'Ouest, leurs hôtes et leurs sites de prédilection dans le tube digestif 8
Tableau 2. Principales molécules actives contre les strongles des petits ruminants 24
Tableau 3. Composition chimique comparée des graines de *C. cajan*, du soja et du haricot (100 g de graines)..... 46
Tableau 4. Composition bromatologique des feuilles de *C. cajanus*. 50
Tableau 5. Caractéristiques des variétés et cultivars utilisés..... 55
Tableau 6. Poids initiaux des différents lots d'animaux..... 67
Tableau 7. Traitements subis par groupe d'animaux..... 68
Tableau 8. Caractéristiques initiales des différents lots d'animaux. 71
Tableau 9. Traitements subis par groupe d'animaux..... 71
Tableau 10. Rendements indicatifs d'extraction des variétés/cultivars de *C. cajan* 81
Tableau 11. Evolution des teneurs en polyphénols totaux (g éq AT/Kg MS) des variétés de *C. cajan* en fonction du stade de développement..... 82
Tableau 12. Evolution des teneurs en tanins totaux (g éq AT/Kg MS) des variétés de *C. cajan* en fonction du stade de développement..... 83
Tableau 13. Evolution des teneurs en tanins condensés (g-éq L/Kg MS) des variétés de *C. cajan* en fonction du stade de développement..... 84
Tableau 14. Effet du mode d'exploitation et des variétés de *C. cajan* sur la teneur en polyphénols totaux (g-éq AT/Kg MS)..... 86
Tableau 15. Effet du mode d'exploitation et des variétés de *C. cajan* sur la teneur en tanins totaux (g-éq AT/Kg MS) 88
Tableau 16. Effet du mode d'exploitation et des variétés de *C. cajan* sur la teneur en tanins condensés (g-éq L/Kg MS) 90
Tableau 17. Composition chimiques des aliments consommés par les agneaux au cours de l'essai *in vivo* 1..... 97
Tableau 18. Ingestion moyenne journalière des ingrédients alimentaires (g MS/ Kg PV) au cours de l'essai *in vivo* 1 98
Tableau 19. Ingestion moyenne journalière de la MAT (g/ Kg PV) au cours de l'essai *in vivo* 1. 99
Tableau 20. GMQ (g) des différents groupes d'animaux au cours de l'essai *in vivo* 1..... 100
Tableau 21. Taux de réduction (%) des œufs de NGI des différents traitements au cours de l'essai *in vivo* 1..... 103
Tableau 22. Composition chimiques des aliments consommés par les agneaux au cours de l'essai *in vivo* 2..... 109
Tableau 23. Contribution spécifique des espèces et valeur pastorale nette du pâturage naturel 111
Tableau 24. Ingestion moyenne hebdomadaire des feuilles de *C. cajan* (g MS/Kg PV) au cours de l'essai *in vivo* 2..... 112
Tableau 25. GMQ (g) des différents groupes d'animaux au cours de l'essai *in vivo* 2..... 113
Tableau 26. Taux de réduction (%) des œufs de NGI des différents traitements au cours de l'essai *in vivo* 2..... 116

PUBLICATIONS ET COMMUNICATIONS SCIENTIFIQUES

Faustin Parfait KOUTOUAN, Yapo Magloire YAPI, Eboua Narcisse WANDAN, N'guessan Clément BODJI et Kessé Phillipe N'DA, 2019. Composition en polyphénols totaux et en tanins des feuilles de neuf variétés de *Cajanus cajan* (L.) Millsp. au cours du premier cycle de croissance et en fonction du mode d'exploitation. *Int. J. Biol. Chem. Sci.,13 (2),* 882-898.

Faustin Parfait KOUTOUAN, Yapo Magloire YAPI, Souleymane KANDE, Eboua Narcisse WANDAN, 2022. Anthelmintic Activity of Nine Varieties of *Cajanus cajan* (L.) Millsp on Haemonchus contortus from Sheep. *Indian Journal of Animal Research*. Article actuellement publié en ligne.

Les deux articles sont présentés en annexe.

Participation à des journées scientifiques

1) Détermination des teneurs en tanins condensés des variétés de *Cajanus cajan* (L.) Millsp. en fonction du stade phénologique et du rythme d'exploitation. Communication, journée de l'Ecole Doctorale Polytechnique de l'INP-HB, Yamoussoukro, Côte d'Ivoire, 2018.

2) Valorisation de *cajanus cajan* (l.) Millsp. dans la lutte contre les nematodes gastro-intestinaux des ovins Djallonke. Communication, journée de l'Ecole Doctorale Polytechnique de l'INP-HB, Yamoussoukro, Côte d'Ivoire, 2019.

RESUME

Cette étude a été menée en vue de limiter l'utilisation des anthelminthiques de synthèse. L'hypothèse de travail a été ''les variétés de *Cajanus cajan* L. (Fabaceae) n'ont pas les mêmes effets anthelminthiques''. Ainsi, l'objectif a été de mesurer l'effet anthelminthique de neuf variétés de *C. cajan* dont 4 locales et 5 améliorées. Dans ce cadre, les objectifs spécifiques étaient de doser les teneurs en polyphénols totaux (PT), en tanins totaux (TT) et en tanins condensés (TC); de tester *in vitro* les effets anthelminthiques d'extraits des feuilles des neuf variétés et de mesurer l'effet de la consommation des feuilles des meilleures variétés locales et améliorées sur la réduction des excrétions des œufs fécaux de *Haemonchus contortus* et *Trichostrongylus colubriformis*, chez les agneaux Djallonké en primo-infestation. Pour ce faire, les neuf variétés ont été cultivées dans les mêmes conditions, les feuilles ont été récoltées et les produits phytochimiques ont été dosés. Ensuite, un test de motilité des adultes de *H. contortus in vitro* a été réalisé avec les extraits de chaque variété de *C. cajan*. Consécutivement, la variété locale et la variété améliorée ayant montré le meilleur potentiel anthelminthique (AH) ont été utilisées pour les essais *in vivo*. Les résultats ont montré que les teneurs en PT, TT et TC ont varié significativement avec les variétés, respectivement de 3,00±0,11 à 38,12±0,90 g-éqAT/kg.MS; 0,12±0,08 à 25,57±0,16 g-éqAT/kg MS, et 0,01±0,00 à 1,80±0,08g-éqL/kgMS. Les temps de morts des nématodes de 64,8±4,7; 106±5,4 et 111,6±4,9 mn, hautement différents ($p<0,01$), ont été les meilleurs. Ils ont été obtenus respectivement avec le cultivar local rouge, le cultivar local noir et le cultivar local blanc. Par contre, la meilleure variété améliorée a été ICPL87119 GUIMU 3 (Asha), et son effet anthelminthique a été observé à 123,2±18,9 mn. Finalement, *in vivo* et en stabulation entravée, les taux de réduction des œufs dans les fèces ont été de 58,57 à 75% pour *T. colubriformis* et 27,62 à 50% pour *H. contortus* avec *C. cajan* cultivar local rouge. Avec la variété ICPL87119 GUIMU 3(Asha), les taux de réduction ont été de 68,16 à 86,99% et 62,86 à 84,82% dans le même ordre avec les nématodes. En parcours naturel, le cultivar rouge a permis un taux de réduction de 92,05 à 94,55% pour *T. colubriformis* et 27,67 à 93,51% pour *H. contortus*. La seconde variété, *C. cajan* ICPL87119 GUIMU 3(Asha), a enregistré des taux de réduction de 96,49 à 98,64% avec *T. colubriformis* et 86,56 à 98,90% avec *H. contortus.* En conclusion, les feuilles de *C. cajan* ont des propriétés anthelminthiques avérées. Cependant, ces propriétés sont très liées aux variétés.

Mots clés : Agneaux, anthelminthique, *Cajanus cajan*, nématodes

ABSTRACT

This study was conducted in order to limit synthetic anthelmintic use. The experiment hypothesis was "*Cajanus cajan* L. (Fabaceae) varieties have not the same anthelmintic effects". Thus, the objective was to measure 9 varieties anthelmintic effects, within whose 4 were local and 5 improved. In this context, the specific objectives were to measure the total polyphenols (TP), total tannins (TT) and condensed tannins (TC) contents; to test the 9 varieties in vitro leaves' extracts anthelmintic effects and in Djallonké lambs undergoing primary infestation, evalaute the best local and improved varieties effects on *Haemonchus contortus* and *Trichostrongylus colubriformis* eggs faecal excretion reduction. For this purpose, the nine varieties were grown under the same conditions, the leaves were harvested and the phytochemicals were determined. Secondly, *H. contortus* adults *in vitro* motility test was performed with each *C. cajan* variety leaves' extracts. Subsequently, the local variety and the improved variety with the best anthelmintic potential (AH) in the varieties and the one with the same result in were used for the in vivo tests. As results, PT, TT, and TCs contents varied significantly with varieties, respectively from 3.00±0.11 to 38.12±0.90 g TAE/kg.DM; 0.12±0.08 to 25.57±0.16 g TAE/kg.DM, and 0.01±0.00 to 1.80±0.08 g-LE/kg.DM. Similarly, the best nematode death times 64.8±4.7; 106±5.4 and 111.6±4.9 min were highly different ($p<0.01$), with local red cultivar, local black cultivar, and local white cultivar, respectively. In contrast, the best-improved variety was ICPL87119 GUIMU 3 (Asha), and its anthelmintic effects were observed at 123.2±18.9 min. Finally, in vivo and in stanchion housing, feces' eggs reduction rates were 58.57 to 75% for *T. colubriformis* and 27.62 to 50% for *H. contortus* with *C. cajan* local red cultivar. Looking at the variety ICPL87119 GUIMU 3 (Asha), the reduction rates were 68.16 to 86.99% and 62.86 to 84.82% in the same order with nematodes. In the natural pasture, the red cultivar provided 92.05 to 94.55% reduction rate for *T. colubriformis* and 27.67 to 93.51% for *H. contortus*. The second variety, *C. cajan* ICPL87119 GUIMU 3 (Asha), recorded 96.49 to 98.64% reduction rates with *T. colubriformis* and 86.56 to 98.90% with *H. contortus*. In conclusion, *C. cajan* leaves have proven anthelmintic properties, but these properties are highly related to varieties.

Keywords: Anthelmintic, *Cajanus cajan*, lambs, nematode

INTRODUCTION

La Côte d'Ivoire est un pays essentiellement agricole. L'agriculture contribue pour 27 % au PIB et emploie 2/3 de la population active. Elle fournit avec le secteur agroindustriel 40% des recettes d'exportation (DSRP, 2009). Le sous-secteur élevage, malgré son rôle socio-économique et alimentaire important, demeure encore une activité économique en développement. Sa contribution est d'environ 4,5 % du PIB agricole et 2 % du PIB total (Coulibaly, 2013). Les taux de couverture en 2015 étaient de 31,4 % pour la viande bovine, 14,4 % pour les porcs, 9,3 % pour le lait et produits laitiers et 64 % pour les petits ruminants (MIRAH, 2018).

En ce qui concerne les petits ruminants, seuls les ovins Djallonké ont fait, depuis 1977, l'objet d'une attention particulière de la part de l'Etat de Côte d'Ivoire (Gadji et Oya, 1987). Les efforts entrepris ont permis à l'effectif des ovins Djallonké de passer de 1 120 000 têtes en 1990 à 2 752 227 têtes en 2016 (MIRAH, 2010, 2018). Cet effectif reste tout de même insuffisant pour satisfaire les besoins de la Côte d'Ivoire (DSRP, 2009 ; Coulibaly, 2013). En effet, en 2016, la quantité de viande ovine importée était estimée à 2 364 tonnes (MIRAH, 2018). Les raisons d'un tel déficit en viande ovine sont, d'une part, la perpétuelle progression de la demande intérieure (Coulibaly, 2013) et d'autre part, la faible productivité des élevages ovins (Fogang-Zogang *et al.*, 2013; Awohouedji, 2014). Cette contre-performance des ovins est la résultante des effets intrinsèques et des facteurs extrinsèques dont l'alimentation (Gbangboche *et al.*, 2005). En effet, l'alimentation et le parasitisme sont de loin les facteurs qui impactent le plus la production (Gbangboche *et al.*, 2005 ; Fogang-Zogang *et al.*, 2013 ; Awohouedji, 2014).

Le pâturage naturel et les résidus de cultures sont les principaux aliments consommés par les petits ruminants (Shenkute *et al.*, 2013). Cependant, plusieurs essais ont permis de conclure que la savane naturelle et les graminées matures de savane conduisent à un retard de croissance, à une baisse du poids des agneaux et parfois à une mortalité pouvant même atteindre 60 % (Kouonmenioc *et al.*, 1992 ; Nianogo *et al.*, 1997 ; Nantoumé *et al.*, 2000). Ces diverses observations ont poussé la recherche à développer de nouvelles stratégies d'alimentation des ovins (Kouonmenioc *et al.*, 1992 ; Nianogo *et al.*, 1997 ; Fogang-Zogang *et al.*, 2013). Parmi celles-ci, la complémentation des fourrages grossiers avec des concentrés, donne de biens meilleurs résultats. Cependant, l'utilisation des concentrés en milieu paysan reste limitée à cause de la méconnaissance des sous-produits agro-industriels, de leur faible disponibilité, de leurs coûts élevés, et surtout du faible pouvoir financier des éleveurs (Nianogo *et al.*, 1997 ; Foster *et al.*, 2009). Un autre système d'alimentation à faible coût, basé sur la supplémentation des fourrages grossiers avec les légumineuses arbustives fourragères comme source de protéines a été dévéloppé (Kouonmenioc *et al.*, 1992 ; Kondombo et Nianogo, 2001 ; Shenkute

et al., 2013). Ces plantes, en tant que compléments, atténuent la carence en azote et améliorent ainsi le taux de dégradation du régime de base et plus en avant, la consommation d'aliments. En outre, elles augmentent l'apport en protéines à la fois dégradables et non dégradables à l'animal hôte (Shenkute *et al.*, 2013). Cette option demeure pour certains auteurs, le seul moyen de surmonter économiquement la pénurie d'aliments de saison sèche chez les petits éleveurs des pays en développement (Kouonmenioc *et al.*, 1992 ; Foster *et al.*, 2009 ; Shenkute *et al.*, 2013). De bons résultats comparables à ceux obtenus avec les concentrés ont été obtenus avec certaines espèces ligneuses (Njwe et Kona, 1994 ; Kondombo et Nianogo, 2001). Cependant, toutes les légumineuses arbustives ne donnent pas toujours satisfaction quand elles sont utilisées comme suppléments. La réponse est liée à la nature et au stade de développement de ces plantes (Kouonmenioc *et al.*, 1992 ; Yo *et al.*, 1992 ; Nianogo *et al.*, 1997).

Au niveau du parasitisme, les parasitoses internes sont les plus importantes en zone tropicale humide (Achi *et al.*, 2003 ; Mahieu *et al.*, 2009 ; Awohouedji, 2014). Chez les agneaux, elles peuvent provoquer près de 50 % de mortalité, et chez les ovins de pâturage, en plus d'un retard de croissance, des pertes pouvant aller jusqu'à 30 % de mortalité chez les brebis (Dorchies *et al.*, 2003). Elles constituent donc en zone tropicale, un problème majeur en raison de leur fréquence élevée et des pertes économiques importantes qu'elles engendrent dans les élevages de petits ruminants (Hounzangbe-Adote *et al.*, 2005).

Le moyen usuel de lutte contre ces parasitoses, depuis environ six décennies, est l'utilisation des anthelminthiques de synthèse tels que les benzimidazoles, les imidazothiazoles et les lactones macrocycliques (McKellar et Jackson, 2004 ; Geary *et al.*, 1999 ; Alvarez *et al.*, 2007). Cependant, les appels à une réduction d'emploi de ces produits de synthèse en élevage sont de plus en plus récurrents du fait de leur cherté, des résistances de plus en plus fréquentes au sein des populations de vers (Hounzangbe-Adote *et al.*, 2001 ; Kaplan, 2004 ; Okombe et Pongombo, 2013), de leur écotoxicité (Lumaret et Errouissi, 2002 ; Suarez, 2002) et des risques de présence de résidus dans les produits animaux et d'origine animale (Kyriazakis et Houdijk, 2006). De nouvelles approches dont l'objectif est de diminuer l'utilisation des anthelminthiques de synthèse, sont ainsi développées (Paolini *et al.*, 2003 ; Githiori *et al.*, 2006 ; Hoste *et al.*, 2006). Une d'entre elles est l'utilisation des plantes (Githiori *et al.*, 2005 ; Athanasiadou *et al.*, 2008 ; Koné *et al.*, 2019). Ces plantes sont utilisées comme des médicaments phytothérapeutiques, par voie orale, de la même manière qu'un anthelminthique de synthèse (Hoste *et al.*, 2008 ; Sandoval-Castro *et al.*, 2012). Depuis environ deux décennies, des études ont montré que les fourrages contenant des tanins pourraient être également utilisés comme des nutraceutiques, c'est-à-dire des aliments pour bétail qui combinent à la fois valeur nutritionnelle

et effets bénéfiques sur la santé animale, notamment des propriétés anthelminthiques (Hoste *et al.*, 2015).

Cette volonté de valorisation des plantes dans la lutte contre les parasitoses internes des ruminants a suscité des recherches sur *Cajanus cajan* (L) Millsp. (Fabaceae), une légumineuse, utilisée en Afrique à la fois comme culture vivrière et fourragère (Mergeai *et al.*, 2001 ; Shenkute *et al.*, 2013). C'est une espèce qui comporte plusieurs variétés, aussi bien traditionnelles qu'améliorées (Velay *et al.*, 2001 ; Sawargaonkar *et al.*, 2016). Elle est également utilisée dans le traitement de nombreuses maladies humaines et animales (Pal *et al.*, 2011 ; Ogni *et al.*, 2014). A ce jour, l'action *in vitro* de *C. cajan* sur les nématodes gastro-intestinaux (NGI) est documentée (Singh *et al.*, 2010 ; Pal *et al.*, 2011 ; Kaboré *et al.*, 2016). Cet effet anthelminthique a été attribué aux composés phénoliques (Singh *et al.*, 2010 ; Kaboré *et al.*, 2016) tels que les flavonoïdes et les tanins présents dans cette plante (Mohanty *et al.*, 2011 ; Harris *et al.*, 2014 ; Vidhya et Ahmed, 2017)**,** bien qu'aucune preuve scientifique n'ait été avancée pour soutenir cette assertion. Cependant, la teneur des composés phénoliques varie d'une variété à une autre et pour la même variété, selon les stades phénologiques (Azuhnwi *et al.*, 2011 ; Berard *et al.*, 2011 ; Stringano *et al.*, 2012). Par ailleurs, dans les essais *in vitro* qui ont été réalisés chez cette espèce, ni la variété encore moins le stade de développement n'ont été précisés (Singh *et al.*, 2010 ; Kaboré *et al.*, 2016). On croirait que chez *C. cajan*, les teneurs en composés phénoliques sont les mêmes quel que soit la variété et le stade phénologique.

En outre, l'effet positif de la supplémentation des fourrages grossiers avec les feuilles de *C. cajan* sur le gain de poids des petits ruminants, en l'absence des NGI est connu depuis plusieurs années. Cet effet positif est associé à des teneurs plus élevées en azote des feuilles de cette plantes (Odeny, 2007 ; Shenkute *et al.*, 2013 ; Kaboré *et al.*, 2016). A l'inverse, on en sait très peu, de l'effet de cette espèce sur le gain de poids en présence des NGI, d'autant plus que *C. cajan* possède des propriétés AH.

La valorisation de *C. cajan* dans la lutte contre les NGI passe selon les recommandations de Odeny (2007) par une exploration des variétés, car il existe une grande variabilité génétique chez cette espèce. La présente étude se propose d'étudier la variation de la teneur en polyphénols et en tanins chez les variétés traditionnelles de *C. cajan* de l'Afrique de l'Ouest et celles améliorées qui s'y adaptent aux fins d'en évaluer les propriétés anthelminthiques et nutraceutiques chez les agneaux Djallonké. Elle est basée sur les hypothèses suivantes :

1. la teneur en polyphénols et en tanins de *C. cajan* varie en fonction des variétés, du stade phénologique et du mode d'exploitation;
2. les effets anthelminthiques de *C. cajan* sont fonction de la variété ;

3. les tanins sont en partie (sinon en totalité) responsables de l'activité anthelminthique de *C. cajan* ;
4. la consommation de *C. cajan* comme fourrage entraîne une réduction de l'infestion parasitaire chez les agneaux Djallonké ;
5. la consommation des feuilles de *C. cajan* comme supplément du pâturage naturel ou des fourrages grossiers, entraîne une augmentation du poids des agneaux infestés.

Cette étude a pour objectif général de contribuer à la réduction de l'utilisation des anthelminthiques de synthèse dans la lutte contre les NGI. De façon spécifique, il s'est agi de (i) déterminer la teneur en polyphénols et en tanins de neuf variétés de *C. cajan* en fonction du stade phénologique et du mode d'exploitation ; (ii) déterminer les effets anthelminthiques *in vitro* de *C. cajan* en fonction de la variété ; (iii) déterminer la responsabilité des tanins dans l'activité anthelminthique de *C. cajan* ; (iv) évaluer l'effet de la consommation des feuilles de *C. cajan* sur la réduction de l'infestion parasitaire chez les agneaux Djallonké et (v) évaluer l'effet de la consommation des feuilles de *C. cajan* comme supplément du pâturage naturel ou des fourrages grossiers, sur la croissance des agneaux infestés.

Le présent document comporte une revue bibliographique sur les nématodes gastro-intestinaux, les anthelminthiques de synthèses et les limites de leur utilisation, les solutions complémentaires et/ou alternatives aux anthelminthiques ainsi que, des généralités sur *C. cajan*. Il présente et décrit également le matériel et les méthodes utilisés, les résultats obtenus et les discussions. Dans l'ordre chronologique, les essais réalisés sont (i) « Etude de la variation de la teneur en polyphénols totaux et en tanins des feuilles de neuf variétés de *C. cajan* au cours du premier cycle de croissance et en fonction du mode d'exploitation », (ii) « Etude de l'activité anthelminthique *in vitro* des extraits de feuilles de *C. cajan* sur *Haemonchus contortus* en fonction de la variété», (iii) « Effet de la supplémentation avec les feuilles de *C. cajan* d'une ration à base de paille de *Panicum maximum* C1, sur le parasitisme gastro-intestinal et la croissance des agneaux Djallonké» et (iv) « Effet de la consommation des feuilles de *C. cajan* en supplément du pâturage naturel sur le parasitisme gastro-intestinal et la croissance des agneaux Djallonké».

CHAPITRE I : REVUE BIBLIOGRAPHIQUE

Cette revue bibliographique porte sur l'état des connaissances sur les nématodes gastro-intestinaux des ruminants, les anthelminthiques de synthèse utilisés dans la lutte chimique contre ces parasites et leurs limites. Elle traite également de *C. cajan*, une légumineuse fourragère dont une caractéristique principale est son potentiel thérapeutique. Sa capacité à lutter contre les pathologies digestives justifie son choix dans cette étude d'évaluation de son effet nutraceutique sur les nématodes gastro-intestinaux des ovins.

1.1. Nématodes gastro-intestinaux (NGI) des ruminants

Les helminthes ou vers, parasites des ruminants domestiques sont composés de deux groupes. L'on distingue les vers ronds ou nématodes et les vers plats constitués de cestodes et de trématodes (Zinsstag, 2004 ; Hunter *et al.*, 2006 ; Krecek et Waller, 2006). Les nématodes gastro-intestinaux (NGI) sont les plus répandus. Ils causent économiquement plus d'impacts négatifs pour les animaux au pâturage en zone intertropicale (Dorchies *et al.*, 2003 ; Zinsstag, 2004 ; Mahieu *et al.*, 2009).

1.1.1. Systématique et distribution des nématodes gastro-intestinaux

1.1.1.1. Systématique des nématodes gastro-intestinaux

La classe des nématodes comporte six ordres. Cependant, les NGI appartiennent surtout aux ordres des Ascarididea, des Rhabditidea et des Strongylidea. Les nématodes parasites du tractus digestif les plus prévalents, appartiennent à l'ordre des Strongylidea et aux familles des Trichostrongyloïdae, des Strongyloidae et des Ancylostomatidae (Zinsstag, 2004 ; Hoste *et al.*, 2008 ; Sabater, 2012). Les principaux genres de la famille des Trichostrongyloidae sont *Teladorsagia*, *Cooperia*, *Trichostrongylus* et *Haemonchus* (Zinsstag, 2004). Les espèces de cette famille présentent une capsule buccale simple. C'est dans cette famille que l'on retrouve les espèces les plus prévalentes et/ou les plus pathogènes (Ouattara et Dorchies, 2001 ; Achi *et al.*, 2003 ; Sabater, 2012). Le principal genre de la famille des Strongyloidae est le genre *Oesophagostomum*. Les espèces de cette famille présentent une capsule buccale spécialisée et beaucoup plus développée. Enfin, le principal genre de la famille des Ancylostomatidae est le genre *Bunostomum* (Zinsstag, 2004 ; Sabater, 2012). Les principales espèces de la famille des Trichostrongyloidae les plus importantes de l'Afrique de l'Ouest, leurs hôtes et leurs sites de prédilection sont présentées dans le Tableau 1. Presque tous les moutons sont infestés par un ou plusieurs de ces nématodes, mais l'intensité de l'infection et les signes cliniques associés à la maladie peuvent varier considérablement (Roeber *et al.*, 2013).

Tableau 1. Principales espèces de la famille des Trichostrongyloïdae en l'Afrique de l'Ouest, leurs hôtes et leurs sites de prédilection dans le tube digestif

Sous-familles	Espèces	Localisation chez l'hôte	Hôtes	Références
Haemonchinae	*Haemonchus contortus*	Abomasum. Se rencontre quelquefois dans l'intestin grêle	Ovins, caprins	Atsé-Achi *et al.*, 2004; Brunet, 2008
	Haemonchus placei	Abomasum	Bovins	Brunet, 2008
	Haemonchus longistipes	Abomasum	Dromadaires	Brunet, 2008
Trichostrongylinae	*Trichostrongylus colubriformis*	Intestin grêle. Se rencontre quelquefois dans l'abomasum	Ovins, caprins et bovins	Atsé-Achi *et al.*, 2004; Brunet, 2008
	Trichostrongylus capricola	Intestin grêle	bovins	Zinsstag, 2004
	Trichostrongylus axei	Abomasum	Ovins, caprins, bovins	Zinsstag, 2004; Brunet, 2008
Ostertagilinae	*Teladorsagia circumcincta*	Abomasum	Ovins, caprins	Brunet, 2008
	Ostertagia ostertagi	Abomasum	Bovins, ovins et caprins	Brunet, 2008
Cooperlinae	*Cooperia curticei*	Intestin grêle	Ovins, caprins, bovins	Atsé-Achi *et al.*, 2004; Zinsstag, 2004; Brunet, 2008
	Cooperia oncophora	Intestin grêle	Ovins, bovins	Brunet, 2008
	Cooperia punctata	Intestin grêle	Ovin, caprins, bovins	Atsé-Achi *et al.*, 2004; Zinsstag, 2004
	Cooperia pectinata	Intestin grêle	Ovins, caprins, bovins	Atsé-Achi *et al.*, 2004; Zinsstag, 2004

1.1.1.2. Distribution des nématodes gastro-intestinaux

Les nématodes gastro-intestinaux (NGI) ont une distribution mondiale avec des prédominances d'espèces variables selon les grandes zones climatiques (Brunet, 2008). En zones tempérées, les espèces *Teladorsagia circumcincta*, les *Ostertagia spp*. et *Nematodirus spp*. sont prédominantes chez les petits ruminants (Hoste *et al.*, 1999 ; Waller, 2006), alors qu'elles sont quasi absentes dans les zones tropicale et subtropicale (Ouattara et Dorchies, 2001 ; Achi *et al.*, 2003). Par contre, les espèces *Haemonchus spp*. et *Cooperia spp*. présentes dans les environnements subtropicaux/tropicaux, sont quasi absentes en zones tempérées (Hoste *et al.*,

1999 ; Waller, 2006), bien qu'une présence de plus en plus fréquente de *H. contortus* soit signalée dans certains pays de l'Europe (O'Connor *et al.,* 2006). Toutefois, certaines espèces sont prévalentes aussi bien en climat tempéré qu'en climat chaud. C'est le cas par exemple de *Trichostrongylus colubriformis* (Atsé-Achi *et al.*, 2004 ; O'Connor *et al.,* 2006 ; Waller, 2006). En Afrique de l'Ouest, les NGI les plus dominants chez les petits ruminants, tant du point de vue de la fréquence que de l'intensité moyenne, sont *T. colubriformis*, *H. contortus* et secondairement *Oesophagostomum columbianum* (Achi *et al.,* 2003 ; Atsé-Achi *et al.*, 2004). Ces différents nématodes, bien qu'ils puissent parasiter différentes parties de l'organisme des ruminants, suivent à quelques exceptions près, des cycles de vie similaires (Roeber *et al.*, 2013).

1.1.2. Cycle de vie des nématodes gastro-intestinaux

Selon Awohouedji (2014), le cycle est monoxène (un seul hôte) et comprend deux phases dont une phase endogène et une phase exogène (Figure 1).

La phase exogène ou phase libre se déroule dans le milieu extérieur avec des stades de développement qui dépendent des conditions climatiques, surtout de la pluviométrie et de la température (Zinsstag, 2004). Les œufs sont expulsés avec les excréments. Les larves éclosent dans le milieu extérieur si les conditions d'humidité, de température et d'aération sont favorables. Les œufs des Strongyloïdae éclosent généralement entre un et deux jours. Après l'éclosion, les larves s'enveloppent dans la matière fécale et le sol. Elles se nourrissent de bactéries et muent deux fois avant d'atteindre le stade infestant L3 entre une et deux semaines (Hunter *et al.*, 2006 ; Roeber *et al.*, 2013). Ces dernières possèdent une gaine, qui représente la couche cuticulaire perdue lors de la transition du stade L2 au stade L3 et qui protège le stade L3 des conditions environnementales (Roeber *et al.*, 2013). Cette gaine empêche les larves L3 de s'alimenter mais leur confère une durée de survie très variable sur pâturage selon les conditions climatiques et l'espèce de nématode (Lecasble, 2011 ; Roeber *et al.*, 2013). Cette durée de vie est de trois à quatre semaines en moyenne pour *Haemonchus spp.* en zones tropicales et 6 à 12 mois pour *Teladorsagia spp.* en zone tempérée (Lecasble, 2011).

La phase endogène ou phase parasitaire se déroule dans l'organisme de l'hôte. Elle commence avec l'ingestion des L3 par l'hôte lors de la pâture (Roeber *et al.*, 2013).

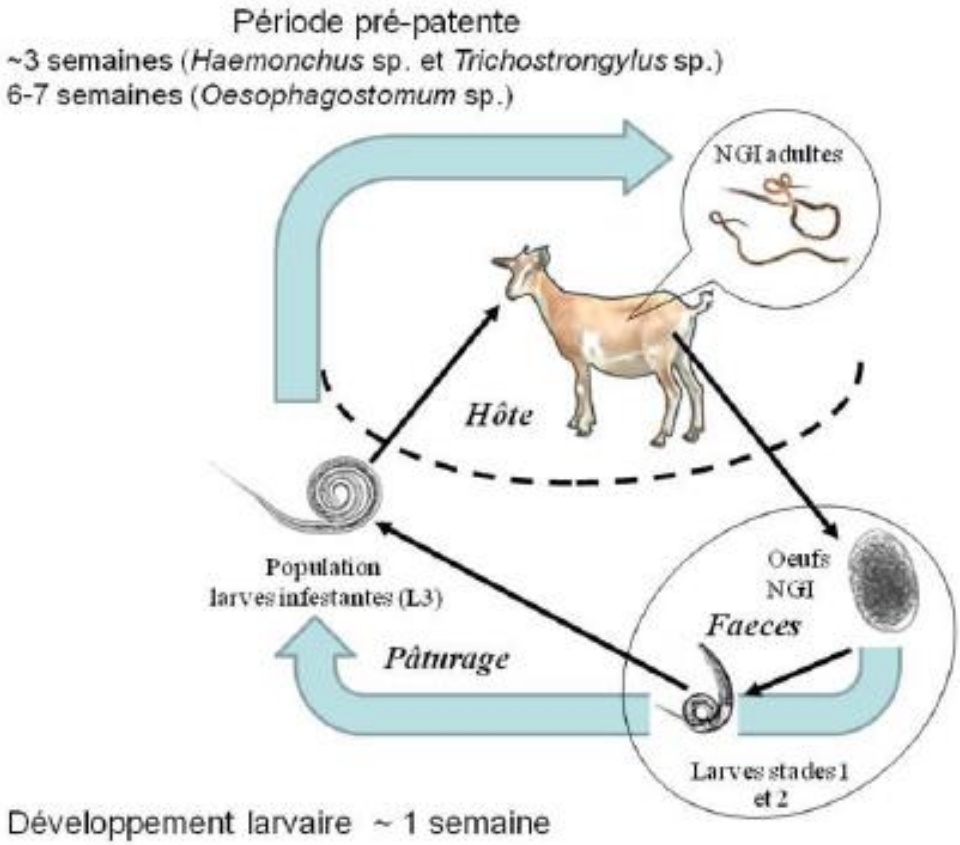


Figure 1. Cycle évolutif des NGI des ruminants (Mahieu, 2014).

Une fois avalée, la larve L3 pénètre plus ou moins profondément dans la muqueuse gastrique ou intestinale. Elle mue à nouveau en larve L4 avant de ressortir dans la lumière du tube digestif et d'atteindre le stade adulte, parfois après une migration intrapariétale. Les femelles pondent alors leurs œufs, qui sont évacués dans le milieu extérieur avec les excréments (Hunter *et al.*, 2006). Toutefois, d'autres espèces de NGI suivent un cycle différent. Les *Ancylostomatidae* infectent leurs hôtes activement à travers la peau. Ensuite, ils suivent les vaisseaux lymphatiques et veineux jusqu'aux poumons, avant d'arriver dans le tractus digestif par la trachée et le pharynx (Zinsstag, 2004). Chez les *Nematodirus spp.*, le développement larvaire se produit dans l'œuf (Hunter *et al.*, 2006).

Le déroulement de la phase endogène est conditionné par le comportement biologique des larves infestantes.

1.1.2.1. Biologie des larves infestantes

Les larves, une fois au stade L3, doivent s'éloigner de la matière fécale en s'introduisant dans l'herbe environnante pour être ingérées par les ruminants. Ce mouvement des larves de nématodes dépend de l'humidité des fécès et de la température du milieu (Stromberg, 1997).

Avec une humidité suffisante, les larves sont capables de mouvements vers le haut et vers le bas de l'herbe. Elles sont également capables de migrer verticalement et latéralement à travers le sol, puis de revenir sur l'herbe (Stromberg, 1997). La distance parcourue dépend en plus de l'humidité des fécès et de la température du milieu, de l'espèce végétale ainsi que de l'espèce de NGI (Stromberg, 1997). Le microclimat à la base de l'herbe, influence fortement la survie des larves. Cette zone peut abriter un grand nombre de larves de nématodes parasites (Stromberg, 1997).

Grâce à cette capacité de migrer vers des microenvironnements plus propices et à leur gaine protectrice, les larves L3 sont moins sensibles aux conditions climatiques défavorables que les larves pré-infestieuses (O'Connor *et al.*, 2006). Ainsi, elles peuvent survivrent plus longtemps sur les pâturages. Cependant, au fur et à mesure que les larves vieillissent, elles ont tendance à perdre leur infestiosité en raison des réserves alimentaires limitées (Stromberg, 1997). En zone tropicale, la quantité de larves L3 retrouvées dans l'herbe est maximale deux à trois semaines après le dépôt des fèces. Cette quantité diminue rapidement sous l'effet des rayonnements solaires et de l'épuisement de leurs réserves énergétiques pour tomber sous le seuil de détection au bout de six à sept semaines (Mahieu et *al*., 2009). Getachew *et al.* (2007) rapportent que dans les climats tropicaux humides de plusieurs pays insulaires du Pacifique, les concentrations maximales de larves des espèces *H. contortus* et *Trichostrongylus spp.* se produisent dans les pâturages, environ une semaine après la contamination. Mais ces concentrations maximales tombent à des niveaux à peine détectables en neuf semaines. Des températures plus fraîches (climat) et un métabolisme plus faible peuvent prolonger la survie des larves dans les pâturages (Stromberg, 1997).

L'infestion de l'hôte par les larves L3 débute par le dégainement, c'est-à-dire la perte active de la gaine ; ce qui marque la transition entre la vie libre et la vie parasitaire. Ce phénomène s'opère dans la portion du tube digestif qui précède le segment où s'établissent les adultes. Ainsi, les larves L3 des espèces abomasales le font dans le rumen alors que les espèces intestinales se dégainent dans l'abomasum (Brunet, 2008). Les larves L3 dégainées, présentent une phase histotrope (phase tissulaire), selon les espèces, avant de pénétrer ensuite dans la muqueuse digestive où elles muent en larves 4 (L4) (Hoste *et al.*, 2008 ; Roeber *et al.*, 2013). Les larves L4 se transforment 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 (Brunet, 2008). Ces adultes présents dans le tube digestif sont sexuellement dimorphes (Roeber *et al.*, 2013). Après fécondation, les femelles pondent des œufs qui sont excrétés dans les

matières fécales de l'hôte (Hoste *et al.*, 2008 ; Roeber *et al.*, 2013). Lorsque les conditions sont défavorables, les larves peuvent cesser de croître à un point précis du début du développement parasitaire, généralement du quatrième stade, mais parfois du troisième stade ou du cinquième. C'est le phénomène de l'hypobiose larvaire ou développement inhibé (Eysker, 1997). Les larves inhibées ont un métabolisme faible. Par conséquent, elles peuvent survivre pendant de longues périodes avant de reprendre leur développement. Cet arret de croissance est souvent facultative et ne se produit que dans certaines conditions chez une partie des vers (Eysker, 1997). La propension à l'inhibition chez les nématodes des ruminants domestiques varie selon les espèces de parasites et, au sein de celles-ci, en fonction de la gestion et du statut immunitaire de l'hôte ainsi que du climat. Les deux derniers facteurs sont les plus importants dans l'apparition de l'inhibition (Eysker, 1997). Dans les pays tropicaux, à saisons sèches bien marquées, les larves L3 de *H. contortus* ingérées vers la fin de la saison pluvieuse arrêtent leur développement jusqu'à la fin de la saison sèche où elles reprennent leur développement. L'infestation massive des pâturages par des œufs, suite à la maturation des larves précédemment inhibées, coïncide avec l'arrivée des animaux au pâturage, se traduisant par des flambées d'infestation au début de la saison des pluies (Fabiyi, 1987). Dans les régions où se produisent deux saisons humides avec des périodes sèches relativement courtes, la proportion de larves inhibées est faible (Atsé-Achi *et al.*, 2004). Au Sud de la Côte d'Ivoire où la saison sèche est très courte, Atsé-Achi *et al.* (2004) ont observé une absence d'hypobiose larvaire. La période entre l'ingestion des larves L3 et le démarrage de l'excrétion des œufs est appelée période prépatente (Zinsstag, 2004). En l'absence d'hypobiose, la période prépatente est variable en fonction de l'espèce de parasite. Elle est en général de deux à trois semaines pour les espèces *Heamonchus spp.* et *Trychostringylus spp.*, de six à sept semaines pour les *Oesophagostomum spp*. (Roeber *et al.*, 2013 ; Mahieu, 2014), et de six à dix semaines pour *Bunostomum trigonocephalum* (Roeber *et al.*, 2013). Les œufs, une fois pondus, ont un développement qui dépend de plusieurs facteurs.

1.1.2.2. Facteurs influençant le développement et la reproduction des NGI

La température et la pluviométrie sont deux facteurs qui influencent fortement l'épidémiologie de NGI (O'Connor *et al.*, 2006 ; Roeber *et al.*, 2013). Elles agissent pour déterminer le taux de réussite des éclosions ainsi que la vitesse de développement des larves. Cependant, il existe une variation considérable de ces effets entre les espèces, et entre les stades de vie libre du cycle au sein des espèces (O'Connor *et al.*, 2006).

Il existe selon O'Connor *et al.* (2006) des différences substantielles de résistance aux basses températures entre les stades pré-infestieux des espèces de NGI. Les espèces *T. circumcincta* et *T. colubriformis* se développent à des températures plus basses que *H. contortus*. Cependant, les larves en développement de *T. circumcincta* sont capables d'atteindre le stade infestieux dans des conditions plus froides que celles de *T. colubriformis* (figure 2).

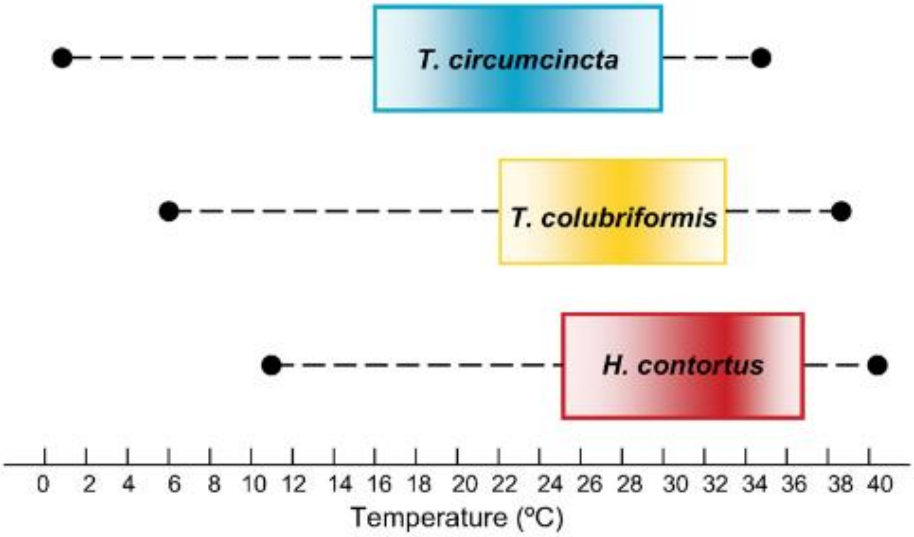


Figure 2. Intervalle de température pour le développement de l'œuf non embryonné à L3 des principales espèces de trichostrongylidés (O'Connor *et al.*, 2006).
Température optimale indiquée par la boîte, la température la plus optimale étant marquée par une intensité de couleur élevée. Les lignes pointillées (-) s'étendent jusqu'aux limites supérieure et inférieure de température pour le développement.

La température du milieu a également un effet sur le temps avant l'éclosion ainsi que le succès des éclosions. O'Connor *et al.* (2006) ont observé que les œufs de *T. circumcincta* sont embryonnés après 48 h d'incubation à 10° C, tandis que ceux de *H. contortus* prennent 96 h pour atteindre la même étape. Après une exposition constante à 18° C pendant 15 h, seulement 1,3% des œufs de *H. contortus* dans les fèces ont éclos, comparativement à 93% des œufs de *T. circumcincta*. En règle générale, les fluctuations de température à court terme sont nettement plus nuisibles aux stades pré-infestieux que les larves infectantes (O'Connor *et al.*, 2006).

Le temps requis pour le développement des larves L3 est également fortement régulé par la température du milieu. Chez *T. circumcincta*, le temps de passage de L1 à L3 est plus rapide à 30 ° C (4,9 jours), plus lent à 10 ° C (19,1 jours) (O'Connor *et al.*, 2006). En zone tropicale, avec une température moyenne d'environ 25°C et des extrêmes compris entre 15 et 35°C, les œufs de NGI déposés avec les fèces se développent en larves infestantes (L3) en une semaine environ (Mahieu *et al.*, 2009).

En dehors de la température de milieu, la pluviométrie joue un rôle important dans le développement des larves. Initialement, une précipitation mensuelle d'environ 50 mm a été suggérée pour les éclosions des oeufs de *H. contortus*. Cependant, des expériences ultérieures ont indiqué que la répartition des précipitations, les conditions des pâturages et l'humidité du sol sont des déterminants plus précis du développement des larves de *H. contortus*. La récupération des larves infestantes est optimisée lorsque l'humidité du sol est disponible au cours de la première semaine après le dépôt des oeufs (O'Connor *et al.*, 2006). Outre ces différents facteurs, le pH, le milieu d'incubation et l'humidité relative impactent également l'éclosion des oeufs. *In vitro* aucune éclosion d'œufs de *H. contortus* et aucun développement de larves de cette espèce sont observés lorsque le pH est de 2. Le taux d'éclosion des œufs est maximal lorsque l'humidité relative (HR) est supérieure à 80-90%. Les conditions d'alimentation des stades larvaires qui sont fonction de la densité des œufs dans les fèces ainsi que de la composition des fèces impactent également le développement et la survie des œufs en larves infestantes (Mahieu *et al.*, 2009). *In vitro*, le taux d'éclosion des œufs de *H. contortus* varie significativement avec les milieux de culture (Ashad *et al.*, 2011). Enfin, l'activité d'organismes tels que les virus, bactéries, champignons nématophages, vers, arthropodes coprophages, prédateurs divers, susceptibles de détruire les œufs et les larves, influence également le taux de développement et de survie des œufs en larves infestantes (Stromberg, 1997 ; Mahieu *et al.*, 2009).

Si plusieurs facteurs influençent les principales étapes du développement et de la reproduction des NGI, il n'en démeure pas moins que les réponses de l'hôte sont également sous la dépendance de plusieurs élements.

1.1.3. Facteurs de variation des réponses de l'hôte à l'infestion parasitaire

Plusieurs facteurs interviennent dans la variation des réponses de l'hôte à l'infestion parasitaire. Il y a les facteurs individuels et les facteurs épidémiologiques (Mahieu *et al.*, 2009 ; Roeber *et al.*, 2013).

1.1.3.1. Facteurs individuels

Les facteurs liés à l'hôte sont l'âge, l'immunité, le sexe, l'espèce et la résistance génétique (Roeber *et al.*, 2013). L'âge et le passé immunitaire font que les jeunes, les animaux primo–infestés sont plus sensibles à l'infestation, en raison du temps nécessaire à la maturation du système immunitaire et à la mise en place d'une réponse efficace à l'infestation (Mahieu *et al.*,

2009). Chez les ovins djallonké, l'intensité parasitaire, surtout de *H. contortus* est plus élevée chez les animaux âgés de moins d'un an que chez les animaux plus âgés (Atsé-Achi *et al.*, 2004). Coop et Holmes (1996) indiquent pour leur part que les jeunes agneaux de moins de 6 mois en croissance acquièrent une immunité à l'infestion des nématodes gastro-intestinaux à un rythme plus lent que les moutons plus âgés, du fait d'une réponse immunitaire locale dans la lymphe gastrique réduite. La raison de cette sensibilité n'est pas claire, d'autant plus que les très jeunes agneaux sont capables d'initier une réponse immunitaire efficace contre une gamme d'infections virales et bactériennes (Coop et Holmes, 1996).

Le stade physiologique de l'hôte intervient également en raison de changements de priorité dans l'allocation de l'énergie et des acides aminés vers les fonctions de reproduction aux dépens des fonctions immunitaires et de maintenance des tissus lésés par les parasites, au moins dans les cas de nutrition infra–optimale (Mahieu *et al.*, 2009). Toutefois, Atsé-Achi *et al.* (2004) ont observé que l'état de gestation n'a pas eu d'influence sur les intensités des différentes espèces parasitaires ni sur les excrétions d'œufs. Les systèmes de régulation hormonale qui se mettent en place au cours du développement modulent l'allocation des ressources entre les fonctions de croissance et de défense immunitaire, et les mâles en croissance sont plus sensibles aux NGI que les femelles (Mahieu *et al.*, 2009). Ce constat a également été fait dans la zone forestière de la Côte d'Ivoire par Atsé-Achi *et al.* (2004). Ces auteurs ont observé que les intensités des différentes espèces parasitaires et les excrétions d'œufs sont plus élevées chez les mâles que chez les femelles.

Il existe des différences d'origine génétique dans les capacités individuelles d'une part à s'opposer à l'installation, limiter la fertilité ou la durée de vie des parasites (résistance), d'autre part à produire (viande, lait, etc.) malgré l'infestation (résilience) (Coop et Holmes, 1996; Mahieu *et al.*, 2009). Enfin, une sous–alimentation, surtout protéique, peut entraîner un affaiblissement des mécanismes de défense. A contrario, une alimentation suffisante permettrait l'expression du potentiel génétique de l'animal, jusque dans ses dimensions de lutte contre des agresseurs comme les NGI (Mahieu *et al.*, 2009). Des animaux sous alimentés peuvent être tués par un nombre de parasites qu'ils supporteraient apparemment sans difficulté quand ils sont nourris correctement (Mahieu, 2014). Des résultats ont également indiqué un effet additif néfaste de la sensibilité génétique à celui d'une mauvaise alimentation. Cependant, l'expression de la supériorité génétique en termes de résistance aux maladies n'est pas compromise par une mauvaise nutrition, au moins au niveau d'une seule infestion modérée (Coop et Holmes, 1996).

Au total, les facteurs individuels, bien qu'influençant la réponse de l'hôte face au NGI ne sont les seuls éléments à considérer. Les facteurs épidémiologiques jouent également un rôle important dans la réponse de l'hôte.

1.1.3.2. Facteurs épidémiologiques

L'épidémiologie des NGI dépend du niveau d'infestation des pâturages (facteurs extrinsèques), c'est-à-dire de son niveau d'infestation par les larves L3 et du niveau d'infestion des animaux (facteurs intrinsèques) (Lecasble, 2011).

1.1.3.2.1. Facteurs extrinsèques

Le niveau d'infestation des pâturages dépend du nombre d'œufs déposés par unité de surface ou par kg de matière sèche (MS) de fourrage. Il dépend également du niveau d'infestion des hôtes ayant contribué à la contamination, puis du taux de développement et de survie des larves (Mahieu *et al.,* 2009). Ce taux de développement en larves infestantes peut être affecté par plusieurs facteurs que sont le niveau de réserve d'œufs stockés, les conditions d'alimentation des stades larvaires, les conditions environnementales (température, humidité, rayonnement solaire) et l'activité d'organismes susceptibles de les détruire (Waller, 2006 ; Mahieu *et al.*, 2009).

Le niveau de réserve d'œufs stockés est lié aux conditions de vie des parasites femelles (Achi *et al.*, 2003 ; Mahieu *et al.*, 2009). Elle dépend également des larves infestantes L3 ingérées (Valderrábano *et al.*, 2002). En région de savane de Côte d'Ivoire, la stratégie de survie adoptée par les NGI pour passer la saison sèche, est la réduction de la ponte (baisse de la fécondité). Cette stratégie a l'avantage de protéger les générations futures contre les effets néfastes de la sécheresse (Achi *et al.*, 2003). Par ailleurs, le nombre d'œufs fécaux, la charge de vers, et la proportion de femelles par rapport aux mâles, augmentent de manière significative avec la charge des larves L3 ingérées (Valderrábano *et al.*, 2002).

Les conditions d'alimentation des stades larvaires sont fonction de la densité des œufs dans les fèces, et de la composition des fèces (Mahieu *et al.*, 2009). Les conditions environnementales, en particulier la température, l'humidité et le rayonnement solaire influencent également le niveau d'infestation des pâturages. Ainsi, d'une façon générale, les populations des NGI dans les pâturages augmentent en saison humide et diminuent en saison sèche (Achi *et al.*, 2003 ; Zinsstag, 2004). Cependant, Achi *et al.* (2003) ont pu observer en région de savane en Côte d'Ivoire, un pic d'infestation par *T. colubriformis* durant la saison sèche, à un moment où les écarts thermiques sont les plus élevés. Ce nématode, adapté aux températures comprises entre

6 et 20°C, a dû être favorisé par les écarts thermiques élevés. Toutefois, en zone tropicale, l'aridité du climat n'exclut pas le développement des helminthes gastro-intestinaux (Ouattara et Dorchies, 2001). En effet, la forte probabilité des pluies même pendant les périodes sèches, la forte hygrométrie, la faible variabilité des températures, l'irrigation des pâtures, expliquent la permanence du risque d'infestation tout au long de l'année (Mahieu *et al.*, 2009).

L'activité d'organismes tels que les virus, les bactéries, les champignons nématophages, les vers, les arthropodes coprophages et prédateurs divers, susceptibles de détruire les œufs de NGI est également un facteur qui influence le niveau d'infestivité des pâturages (Waller, 2006).

1.1.3.2.2. Facteurs intrinsèques

Le niveau d'infestion des hôtes quant à lui, dépend du comportement alimentaire de l'hôte, de sa résistance et de sa résilience (Lecasble, 2011). Relativement au comportement alimentaire de l'hôte, les ovins qui ont un comportement de brouteur inféodé à l'herbe présentent ainsi un risque d'infestion supérieur à celui des caprins, qui eux, ont un comportement de cueilleur, exploitant les plantes arbustives (Lecasble, 2011). En zone savanicole de la Côte d'Ivoire, Achi *et al.* (2003) ont observé que les caprins ont, en saison sèche (mois de janvier) une charge parasitaire en NGI d'environ 450 vers en moyenne/animal contre environ 4300 vers en moyenne/animal chez ovins. Ils ont attribué cette observation à la propension des caprins à consommer les plantes ligneuses, riches en tanins, dont les effets anthelminthiques naturels sont connus.

La résistance de l'hôte, c'est-à-dire sa capacité à réguler l'établissement, le développement, la fécondité et la survie des nématodes gastro-intestinaux est également un facteur qui régule le niveau d'infestion des hôtes (Athanasiadou *et al.*, 2008 ; Khan *et al.*, 2012). Elle semble indissociable de la réponse immunitaire (Brunet, 2008). Cette résistance est fonction du niveau de production et de l'âge de l'hôte (Hoste *et al.*, 1999 ; Etter *et al.*, 2000 ; Pamo *et al.*, 2000). Les jeunes sevrés, surtout dans leur première saison de pâture sont les plus sensibles (Pamo *et al.*, 2000 ; Atsé-Achi *et al.*, 2004 ; Zinsstag, 2004). La gestation n'a pas d'influence sur les intensités parasitaires (Atsé-Achi *et al.*, 2004). Cependant, autour de la mise-bas, et lors de l'allaitement, la femelle détend son expression de l'immunité (relâchement périparturiente de l'immunité, RPPI), aux nématodes avec l'observation de pics d'excrétion fécale des œufs, dû à l'augmentation des besoins nutritionnels des femelles (Coop et Kyriazakis, 2001 ; Kahn *et al.*, 2003). Barry *et al.* (2002) ont observé en Guinée que les chèvres Djallonké en lactation ont des charges parasitaires plus élevées. La résistance aux NGI est également influencée par le statut nutritionnel de l'hôte (Kyriazakis *et al.*, 1996 ; Valderrábano *et al.*, 2002 ; Nnadi *et al.*, 2007),

de même que par le facteur génétique (Stear *et al.*, 1999a). En effet, Stear *et al.* (1999a) ont observé qu'il y a une variation dans l'excrétion des œufs fécaux de *Ostertagia circumcincta* et dans la longueur des vers adultes chez les agneaux de races différentes. Atsé-Achi *et al.* (2004) ont constaté que les moutons sahéliens âgés de moins de un an ont une intensité abomasale et intestinale plus élevée que les moutons Djallonké. Le sexe a également une influence sur la résistance aux NGI. En zone forestière de la Côte d'Ivoire, l'intensité parasitaire est plus élevée chez les mâles que chez les femelles pour *T. colubriformis et O. columbianum* (Atsé-Achi *et al.*, 2004). D'une façon générale, en condition d'infestion naturelle, les populations de nématodes chez les ovins sont surdispersées ; seuls quelques individus portant une lourde charge de vers, tandis que la majorité des individus abritent une faible charge de vers (Roeber *et al.*, 2013).

La résilience de l'hôte, C'est-à-dire sa capacité à maintenir un niveau raisonnable de productivité malgré les infestions (Khan *et al.*, 2012), voire à rester en vie, malgré la présence des parasites est également un facteur qui régule la charge des vers chez l'hôte (Mahieu, 2014). Elle est influencée par le niveau d'alimentation de l'hôte (Van Houtert et Sykes, 1996 ; Nnadi *et al.*, 2007 ; Khan *et al.*, 2012). Des animaux sous-alimentés peuvent mourir d'un niveau de parasitisme qu'ils supporteraient apparemment sans difficulté quand ils sont nourris correctement. Dans le cas d'un parasitisme dominé par *Hæmonchus* sp., l'hématocrite est un bon indicateur de la résilience (Mahieu *et al.*, 2009).

1.1.4. Conséquences des strongyloses gastro-intestinales chez les ruminants

Chez les ruminants, les conséquences des NGI diffèrent selon le niveau d'infestation de l'hôte (Brunet, 2008). Les impacts négatifs des NGI se manisfestent à la fois au plan zootechnique au niveau de la production, au plan physiologique et au plan économique. Des aspects positifs des NGI sont également à signaler (Ingale *et al.*, 2010).

1.1.4.1. Impacts des strongyloses gastro-intestinales sur la production et sur la qualité de la carcasse

Les impacts négatifs sur la production consécutifs aux NGI sont liés aux mortalités et à la baisse du poids vif des animaux infestés (Coop et Holmes, 1996 ; Dorchies *et al.*, 2003 ; Mahieu *et al.*, 2009). Le parasitisme peut altérer le gain de poids vif, la production de lait et de laine des animaux infestés (Coop et Holmes, 1996). En zone tropicale humide, ces pertes peuvent excéder 50 % du potentiel de production (Mahieu *et al.*, 2009). Les pertes de poids liées aux infestations par les trichostrongyles sont souvent difficiles à distinguer de celles de la malnutrition dans le

cas d'infections de faible intensité (Roeber *et al.*, 2013). Les pertes de production liées aux NGI font suite à une baisse de l'ingestion volontaire d'aliment et de l'efficacité de l'utilisation des aliments (Coop et Holmes, 1996 ; Datta *et al.*, 1998 ; Valderrábano *et al.*, 2002). L'importance relative de chacune des baisses dépend de l'espèce de nématode, du taux d'ingestion des larves et du site de l'infection (Coop et Holmes, 1996). On estime entre 40 et 90%, la perte de production attribuée à une réduction de la consommation d'aliments (Van Houtert et Sykes, 1996).

En plus d'influencer les performances de croissance, les NGI impactent négativement la composition de la carcasse des ovins et des bovins. Ils altèrent le dépôt de tissus mous. En outre, les carcasses des ruminants parasités contiennent généralement moins de protéines que celles des ruminants non infestés (Coop et Holmes, 1996 ; Fox, 1997; Valderrábano *et al.*, 2002).

Les NGI constituent également une cause importante, durant toute l'année, de la mortalité chez les jeunes après sevrage. En zone tropicale humide, ils peuvent provoquer chez les agneaux près de 50% de mortalité (Dorchies *et al.*, 2003), voire jusqu'à 60% de mortalité (Fabiyi, 1987). Ces pertes deviennent importantes en saison pluvieuse avec les charges parasitaires modérées à élevées. Chez les bovins, les mortalités dues aux NGI peuvent aller à plus de 30% dans les régions humides doublées d'une sévère perte de poids pour le troupeau restant (Fabiyi, 1987). Toutes ces pertes de production impactent la rentabilité économique de l'élevage.

1.1.4.2. Conséquences économiques

L'importance économique des parasitoses tient aux pertes de production associées à la présence des vers. Elle s'explique aussi par le coût des traitements anthelminthiques appliqués afin de contrôler ce parasitisme (Hoste *et al.*, 1999). Ces pertes financières impactent considérablement la rentabilité des exploitations (Roeber *et al.*, 2013). En Australie, le coût annuel associé aux maladies parasitaires chez les ovins et les bovins, relativement aux ventes de composés anthelminthiques, est évalué à un milliard de dollars U.S. Dans le monde, ce coût est estimé à des dizaines de milliards de dollars (Roeber *et al.*, 2013).

1.1.4.3. Symptomatologie clinique et pathophysiologie

1.1.4.3.1. Symptomatologie clinique

L'infestion parasitaire du tractus gastro-intestinal par des helminthes induit des effets néfastes sur les tissus et la physiologie de l'hôte (Hoste, 2001). En général, les strongyloses digestives évoluent sous forme chronique, d'expression subclinique, entrainant des déficits de productions

chroniques. Néanmoins, lors de fortes infestations, le parasitisme gastro-intestinal peut entraîner d'abord l'apparition de signes cliniques voire la mort chez les animaux les plus sensibles (Brunet, 2008). Le signe clinique le plus important est généralement la diarrhée (Holmes, 1987). Dans le cas d'une hémonchose, on observe une pâleur des muqueuses, des œdèmes sous-mandibulaires et l'inappétence (Khan *et al.*, 2012).

1.1.4.3.2. Effet des NGI sur la consommation et la conversion alimentaires

Au niveau physiologique, une réduction chronique de l'ingestion alimentaire est l'un des principaux effets néfastes des infestions parasitaires par les NGI (Fox, 1997 ; Hoste, 2001 ; Khan *et al.*, 2012). Le degré d'inappétence dépend du niveau et de la durée de l'infestion, et également du niveau de nutrition protéique (Coop et Holmes, 1996 ; Hoste, 2001 ; Valderrábano *et al.*, 2002). Il dépend également des espèces de parasite, du nombre de larves infestantes (L3) ingérées, du site d'infestion, de la race, de l'âge et du statut de résistance du mouton hôte (Van Houtert et Sykes, 1996 ; Knox *et al.*, 2006). La réduction de la consommation alimentaire qui accompagne le parasitisme gastro-intestinal, est généralement moins prononcée lorsque l'ingestion alimentaire est exprimée par unité de poids corporel (poids vif ou poids métabolique) (Van Houtert et Sykes, 1996). Dans les infestions modérées à fortes, avec des trichostrongyles, la réduction de l'ingestion alimentaire peut atteindre 50% (Knox *et al.*, 2006). Par contre, dans les infestions plus légères, elle est d'environ 10% (Valderrábano *et al.*, 2002).

Outre, la réduction de l'ingestion volontaire, une baisse de l'efficacité de la conversion alimentaire suite à une haemonchose a également été observée (Datta *et al.*, 1998). Enfin, les strongyloses entrainent un changement dans le comportement alimentaire. Forbes *et al.* (2000) ont observé que les génisses non traitées passent en moyenne 105 minutes de moins par jour en pâturage. Leur consommation quotidienne de fourrage est inférieure de 0,78 kg de matière sèche (MS) par jour, par rapport à celle des animaux traités à l'ivermectine.

En plus d'une réduction de la consommation et de la conversion alimentaires, les NGI entraînent également un changement dans la composition sanguine.

1.1.4.3.3. Changement dans la composition sanguine

Les NGI entraînent un certain nombre de changements caractéristiques dans les constituants sanguins. Les plus notables sont la réduction des concentrations de phosphore, d'albumine, de fructosamine, de fer dans le sérum de moutons parasités (Holmes, 1987 ; Nnadi *et al.*, 2007). Il y a aussi une augmentation des concentrations de pepsinogène sérique (indicatrice de lésions de la caillette) et de la perméabilité de la muqueuse abomasale d'une part et, une baisse des taux

de phosphate inorganique due aux lésions intestinales d'autre part (Hoste *et al.*, 1999; Hoste, 2001 ; Valderrábano *et al.*, 2002). Les perturbations fonctionnelles comprennent également une augmentation des concentrations plasmatiques de gastrine et du pH associée à une prolifération anormale de bactéries anaérobies (Hoste *et al.*, 1999). Toutefois, chez les ovins, d'autres facteurs semblent contribuer à l'hypergastrinémie qui peut survenir indépendamment des changements du pH gastrique induits par le parasite (Fox, 1997). Les espèces hématophages telles que *H. contortus*, provoquent en plus, une perte massive de globules rouges pouvant entrainer une anémie sévère puis la mort (Matanović *et al.*, 2007 ; Khan *et al.*, 2012). Dans une étude rapportée par Matanović *et al.* (2007), la mort des moutons infestés par des parasites gastro-intestinaux s'est produite lorsque l'hématocrite est tombé à 15%, contre 27-45% pour les valeurs normales (Byers et Kramer, 2010). Chez les petits ruminants, l'hématocrite est en corrélation négative avec la charge d' *H. contortus* et l'OPG (œufs par gramme) (Ndao *et al.*, 1995).

1.1.4.3.4. Modifications du métabolisme de l'hôte

Des modifications du métabolisme de l'hôte, dérivées des dommages pathologiques locaux sont documentées (Fox, 1997 ; Hoste, 2001 ; Knox *et al.*, 2006). On observe des pertes gastro-entériques importantes de protéines endogènes, sous forme de sang total, de plasma, de cellules épithéliales et de mucus (Knox *et al.*, 2006 ; Ingale *et al.*, 2010). Il y a également une augmentation des besoins en protéines métaboliques et en acides aminés, en conséquence de la perte de protéines endogènes. On observe aussi un détournement des nutriments de la synthèse des protéines des processus de production tels que les muscles, les os, la laine, le lait, les œufs, etc. vers la régénération des lésions tissulaires locales au niveau gastro-intestinal (Coop et Holmes, 1996 ; Ingale *et al.*, 2010). Il est également constaté la sécrétion de mucus et/ou la perte de plasma ou de sang ainsi que d'autres systèmes défensifs et immunomodulateurs pendant le parasitisme (Coop et Holmes, 1996 ; Ingale *et al.*, 2010).

Le métabolisme osseux est également influencé par le parasitisme subclinique en ce sens qu'il induit des changements dans l'absorption du phosphore et du calcium, entraînant une croissance osseuse réduite (Ingale *et al.*, 2010). Une carence locale dans l'absorption/assimilation des nutriments, en raison des multiples changements structurels et fonctionnels induits dans le site du parasitisme est également observée (Fox, 1997; Hoste, 2001 ; Knox *et al.*, 2006). Ces diverses réductions de l'absorption des nutriments au site de l'infestion parasitaire sont associées aux processus suivants (Hoste, 2001) :

- une réduction de la surface d'absorption, liée à une abrasion des villosités ;

- une diminution de la capacité d'absorption par entérocyte ;
- une réduction des activités enzymatiques, particulièrement celles associées à la bordure en brosse des cellules absorbantes et/ou ;
- des changements dans la motilité intestinale, ce qui entraîne une réduction du temps de contact entre les ingestats luminaux et l'épithélium absorbant.

La figure 3 résume les diverses conséquences pathologiques et physiopathologiques de l'infection à *H. contortus* chez les ovins et caprins.

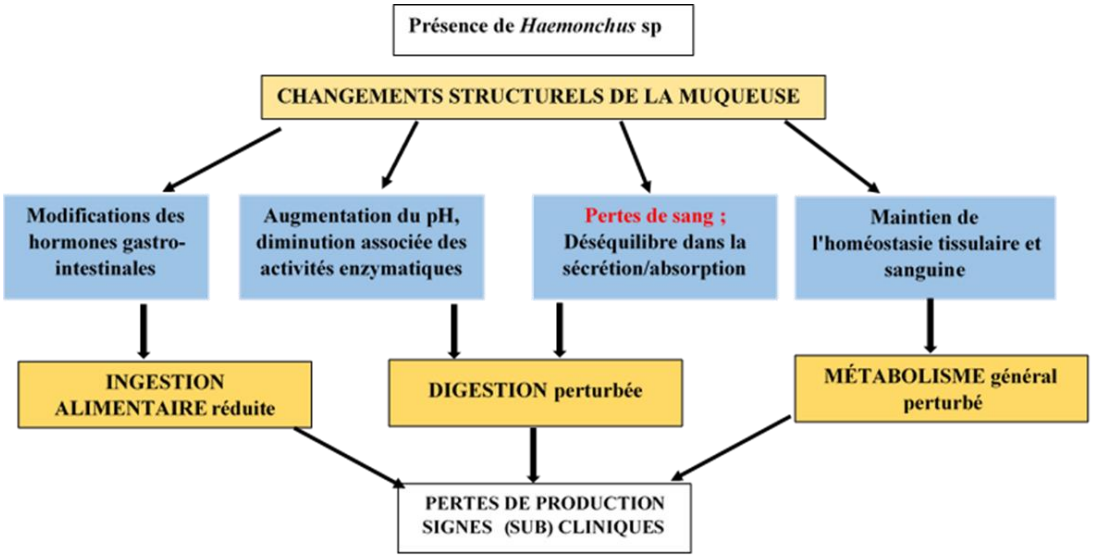


Figure 3. Résumé des principales conséquences pathologiques et physiopathologiques de l'infection à *H. contortus* chez les ovins et caprins (Hoste *et al.*, 2016)

Ces diverses modifications sont de nature adaptative, car elles aident l'hôte parasité à maintenir l'homéostasie (Hoste, 2001). Une fois le parasitisme est éliminé, la restauration de l'équilibre plasmatique devient prioritaire et rapidement réalisée (Kyriazakis *et al.*, 1996 ; Valderrábano *et al.*, 2002).

1.1.4.3.5. Changements structurels, fonctionnels et cytocinétiques des processus adaptatifs

Les animaux hôtes réagissent à l'infestion par les NGI par des mécanismes adaptatifs en vue de contrebalancer les conséquences des NGI. Les processus liés aux changements de comportement alimentaire, peuvent être interprétés comme un moyen pour l'hôte de maintenir les ressources nutritionnelles, malgré une perte d'appétit, permettant de couvrir les besoins métaboliques accrus dûs au parasitisme. Ces changements permettraient donc à l'hôte de faire face au parasitisme et d'accroître ainsi sa résilience (Hoste, 2001). Lorsque les animaux ont la possibilité de choisir entre des aliments de différentes valeurs nutritionnelles, ils choisissent le

régime alimentaire de meilleure qualité (teneur en protéines) pour compenser la diminution de l'ingestion due au parasitisme (Coop et Holmes, 1996 ; Hoste, 2001). D'une façon générale, les ruminants adaptent leur comportement alimentaire, en fonction de leur niveau de parasitisme et de leur état de santé (Hoste, 2001).

Au niveau physiologique, plusieurs études continuent de soutenir l'assertion d'une association étroite entre la diminution de l'ingestion alimentaire et les concentrations élevées de gastrine sanguine (Fox, 1997). Il a été postulé que l'augmentation observée de la gastrine lors d'une infestion chronique chez les moutons, pourrait être adaptative pour l'hôte afin de retrouver la capacité d'acidification du contenu gastrique malgré la présence de vers (Hoste, 2001).

1.1.4.3.6. Aspects immunologiques de l'infestion par les NGI

Deux types de réponses immunitaires (innée ou acquise) ont été évoqués pour expliquer la résistance de l'hôte aux infestations par les NGI. La réponse innée de l'hôte est la première ligne de défense contre les parasites (Athanasiadou *et al.*, 2008). Elle correspond à l'aptitude de l'hôte à réguler les populations de vers par des mécanismes non-spécifiques tels que des particularités physiologiques (mouvements péristaltiques, pH gastrique, sécrétion de mucus) et une grande réactivité inflammatoire (phagocytose, système du complément, sécrétion de cytokines). La réponse acquise fait suite à une ou à des infestions préalables (Brunet, 2008). Les antigènes parasites déclenchent suite à la réponse immunitaire innée, la différenciation, la maturation et la prolifération des lymphocytes associés aux réponses immunitaires (Athanasiadou *et al.*, 2008). Cette réponse est plus tardive mais plus spécifique du nématode GI concerné (Athanasiadou *et al.*, 2008 ; Hoste *et al.*, 2008).

1.2. Anthelminthiques de synthèse et limites de leur utilisation

Jusque dans les années 2000, la lutte contre les strongyloses gastro-intestinales chez les ruminants reposait essentiellement sur l'emploi des anthelminthiques (AHs) de synthèse modernes (Hoste *et al.*, 1999 ; McKellar et Jackson, 2004). Vingt ans après, la situation n'a pas évoluée. La lutte contre les strongyloses gastro-intestinales chez les ruminants continue de reposer pour l'essentiel sur l'utilisation des AHs de synthèse.

Un AH idéal peut être défini comme un traitement multivalent, non-toxique et rapidement éliminé par l'hôte, facile d'administration et d'un coût raisonnable (Brunet, 2008).

1.2.1. Classification des anthelminthiques de synthèse

Les AHs chimiques à large spectre utilisés en médecine vétérinaire chez les ruminants peuvent être classés en différentes grandes familles ou classes. La classe étant un groupe de composés qui sont liés sur la base d'une structure commune, d'un mécanisme d'action commun ou d'une résistance croisée (Geary *et al.*, 1999). Selon plusieurs auteurs (Geary *et al.*, 1999 ; Alvarez *et al.*, 2007), les familles chimiques les plus importantes utilisées pour contrôler les infestions aux helminthes sont les benzimidazoles (BZD), les imidazothiazoles et les lactones macrocycliques (Tableau 2). Toutefois, seuls les benzimidazoles sulfurés, le lévamisole, les avermectines et milbémycines sont les plus populaires à cause de leur activité et leur sécurité à large spectre (McKellar et Jackson, 2004).

Tableau 2. Principales molécules actives contre les strongles des petits ruminants (Lecasble, 2011)

Familles/classes		Quelques représentants	Spectre d'activité	Cible d'action
Benzimidazoles		Thiabendazole	SGI	la β-tubuline des microtubules (cellules intestinales et tégumentaires)
		Mébendazole	SGI	
		Oxfendazole	SGI/SR	
		Albendazole	SGI/SR/Douve	
		Fenbendazole	SGI/SR	
pro-benzimidazoles		Nétobimine	SGI/SR/Douve	
		Fébantel	SGI/SR	
Imidazothiazoles		Lévamisole	SGI/SR	Récepteur nicotinique à acétylcholine (cellules neuromusculaires)
Tétrahydropyrimidines		Pyrantel		
		Morantel		
Lactones macrocycliques	avermectine	Ivermectine	SGI/SR Insectes Acariens	Récepteurs ionotropiques du glutamate (canaux ioniques CT des cellules neuromusculaires du pharynx
	milbémycines	Abamectine		
		Doramectine		
		Eprinomectine		
		Moxidectine		
Salicylanilides*		Closantel	Douve Strongles hématophages	Phosphorylation oxydative
		Nitroxinil		

***Légende** : SGI : strongles gastro-intestinaux ; SR : strongles respiratoires*
**leur spectre d'activité contre les strongles digestifs étant étroit, leur rôle dans la lutte contre ces derniers restent secondaires par rapport à leur activité douvicide.*

Les AHs peuvent atteindre les helminthes cibles par ingestion orale, diffusion à travers la surface externe du parasite ou une combinaison des deux voies. Cependant, la voie

transcuticulaire de passage de la drogue, semble être plus importante que l'entrée par voie orale (Alvarez *et al.*, 2007). Leur puissance dépend de leur affinité pour un récepteur spécifique et des propriétés cinétiques qui affectent les concentrations efficaces du médicament au site d'action. La lipophilie et le gradient de concentration sont des facteurs importants de la capacité d'un AH à atteindre des objectifs thérapeutiques sur un parasite cible (Alvarez *et al.*, 2007).

1.2.1.1. Benzimidazoles et pro-benzimidazoles

Les benzimidazoles (BZD) sont des AHs qui se lient à la β-tubuline du nématode, inhibant ainsi la formation de microtubules, qui sont ensuite incapables de transporter les granules sécrétoires ou de sécréter des enzymes dans le cytoplasme cellulaire, ce qui entraîne une lyse cellulaire (McKellar et Jackson, 2004 ; Alvarez *et al.*, 2007). Sont appelés pro-benzimidazoles, des AHs (fébantel, thiophanate et netobimine) dont l'activité AH est due principalement à la formation *in vivo* de benzimidazoles par le métabolisme ruminal et hépatique (Bogan et Armour, 1987). Les membres les plus récemment développés du groupe, le fenbendazole, l'oxfendazole et l'albendazole, ont un spectre d'activité étendu. Ils sont très efficaces contre les stades larvaires adultes, immatures et hypobiotiques des nématodes importants. Ils ont également une activité contre les cestodes et les trématodes. Le fébantel et le thiophanate ont également une bonne activité contre les adultes et les stades larvaires en développement. Cependant, ils doivent être administrés à un débit de dose plus élevé (fébantel) ou à une dose divisée sur cinq jours (thiophanate) pour une bonne activité contre les larves hypobiotiques. Tous les benzimidazoles et probenzimidazoles sont ovicides (Bogan et Armour, 1987).

1.2.1.2. Imidazothiazoles et tétrahydropyrimidines

Les imidazothiazoles et les tétrahydropyrimidines ont des structures chimiques différentes. Ils ont le même mode d'action. Pour cette raison, ils sont classés dans une même famille (Brunet, 2008). Les imidothiazoles comprennent deux composés que sont le tétramisole et le lévamisole (Bogan et Armour, 1987). L'accumulation de ces substances se produit également par un mécanisme transcuticulaire, puis atteint son site d'action nicotinique au niveau du parasite (Alvarez *et al.*, 2007). Ils agissent comme un agoniste cholinergique aux jonctions neuromusculaires nicotiniques des parasites nématodes, d'abord en ouvrant puis en bloquant les canaux cationiques induits par les récepteurs de l'acétylcholine. L'augmentation de la dose peut ne pas être thérapeutiquement avantageuse (McKellar et Jackson, 2004). Leur indice thérapeutique est relativement faible (Bogan et Armour, 1987). Les Imidothiazoles ont une bonne activité contre les adultes et les stades larvaires en développement, mais pas contre les

larves hypobiotiques. Contrairement aux benzimidazoles, ils ne sont pas ovicides (Bogan et Armour, 1987). Les tetrahydropyrimidines sont représentés par le pyrantel et son analogue méthylique, le morantel. Ces deux composés (pyrantel et morantel) ont une grande efficacité contre les stades adultes des nématodes intestinaux mais sont moins actifs contre les stades larvaires. Ils ont une activité minimale contre les larves hypobiotiques et ne sont pas ovicides (Bogan et Armour, 1987).

1.2.1.3. Lactones macrocycliques

Les lactones macrocycliques sont les avermectines et leurs analogues déglycosylés, les milbémycines. Ces substances potentialisent l'effet du neurotransmetteur acide gamma amino butyrique (AGAB) chez les nématodes parasites (McKellar et Jackson, 2004). Les avermectines ont également un effet agissant par l'intermédiaire de récepteurs sur les canaux ioniques du chlorure glutamate qui a été directement corrélé à l'activité nématodicide. Il est considéré comme leur principal mode d'action (McKellar et Jackson, 2004). L'ivermectine est le seul dérivé de l'avermectine disponible dans le commerce. C'est un produit qui possède un très large spectre d'activité contre les nématodes. Il est très puissant et actif à des doses mesurées en microgrammes (Bogan et Armour, 1987). Il semble agir en se liant à un récepteur de glutamate d'un canal de chlorure membranaire (Prichard, 1994). Il inhibe ainsi la contraction des muscles pharyngiens, qui permet l'alimentation des nématodes, et provoque la paralysie des muscles du nématode (Alvarez *et al.*, 2007). C'est un composé extrêmement persistant dans les tissus, très efficace contre les adultes, les larves immatures et les larves hypobiotiques (Bogan et Armour, 1987; Eysker, 1997).

1.2.1.4. Salicylanilides

Le spectre d'activité des salicylanilides contre les strongles digestifs étant étroit, leurs rôles dans la lutte contre ces derniers, reste secondaire par rapport à leur activité douvicide (Brunet, 2008). Le closantel par exemple est un salicylanilide à spectre étroit qui est actif contre *Fasciola hepatica*, certains parasites arthropodes (acariens et tiques), *Oestrus ovis* et contre les souches de *H. contortus* résistantes aux ivermectines, BZD, levamisoles, morantels et rafoxanides (McKellar et Jackson, 2004 ; Alvarez *et al.*, 2007). Dans la plupart des cas où une résistance contre divers anthelminthiques a été signalée, le closantel est resté le seul médicament efficace disponible (Getachew *et al.*, 2007).

1.2.2. Limites de l'utilisation des anthelminthiques de synthèse

1.2.2.1. Ecotoxicité des anthelminthiques

Les résidus dans les matières fécales des lactones macrocycliques et de certains groupes tels que les coumaphos, dichlorvos, phénothiazines, pipérazines, pyréthroïdes de synthèse, provoquent des perturbations sur des invertébrés non-cibles, et sur leur participation à la dégradation des matières fécales ainsi qu'au recyclage des éléments du sol. Cette absence de dégradation des bouses, observée localement peut s'accompagner d'une érosion silencieuse de la biodiversité, avec un déséquilibre à long terme du fonctionnement des pâturages (Lumaret et Errouissi, 2002 ; Suarez, 2002).

1.2.2.2. Restrictions d'emploi des anthelminthiques

En raison de leur caractère tératogène, certaines molécules sont interdites dans certaines situations, en particulier chez les espèces à vocation laitière (Hoste *et al.*, 1999 ; Paolini *et al.*, 2003). Le thiabendazole, par exemple, ne doit pas être utilisé pour la traite des brebis ou des chèvres lorsque le lait est transformé en fromage, car les propriétés antifongiques de ce composé, interfèrent avec les ferments utilisés pour lancer le processus (Bogan et Armour, 1987). Les BZD que sont le cambendazole, le parbendazole, l'oxfendazole et l'albendazole se sont avérés tératogènes, ce qui limite leur utilisation chez les animaux en gestation. Les parbendazole, le cambendazole et l'ivermectine ne sont pas recommandés pour les bovins en lactation (Bogan et Armour, 1987).

1.2.2.3. Résistance des nématodes gastro-intestinaux aux anthelminthiques

1.2.2.3.1. Définition et mode d'apparition

La résistance correspond au développement de la capacité d'individus à tolérer des doses d'un toxique qui seraient mortelles pour la majorité des individus d'une population normale de la même espèce. La résistance apparaît dans les populations de nématodes, à la suite de la sélection efficace avec des anthelminthiques. Les survivants du traitement se reproduisent et transmettent des allèles qui confèrent une résistance à leur progéniture (Geary *et al.*, 1999 ; Silvestre *et al.*, 2002). Il s'agit donc d'une préadaptation par mutation dont le déterminisme est génétique et la transmission héréditaire (Okombe et Pongombo, 2013). La conséquence de la résistance aux AHs est qu'elle peut conduire à l'échec des traitements et à la persistance des effets néfastes du parasitisme.

1.2.2.3.2. Molécules et espèces de NGI concernées par la résistance

La résistance aux AHs touche toutes les régions du monde. Elle concerne presque toutes les espèces de strongles et elle est très répandue chez les nématodes parasites des petits ruminants (Prichard, 1994 ; McKellar et Jackson, 2004 ; Okombe et Pongombo, 2013). Dans certaines régions du monde, elle menace même la viabilité des industries de petits ruminants (Kaplan, 2004). Les principales familles d'AHs (benzimidazoles, lévamisole et ivermectine) sont concernées par cette résistance. Même chez le closantel, resté le seul médicament efficace disponible dans la plupart des cas où une résistance contre divers anthelminthiques a été signalée, une résistance a été trouvée chez *H. contortus* (Waller, 1997 ; McKellar et Jackson, 2004 ; Getachew *et al.*, 2007)). Toutefois, ce sont les benzimidazoles qui sont les molécules plus incriminées. Ceci à cause probablement du fait qu'ils sont les premiers anthelminthiques à large spectre d'action contre les strongles digestifs et les moins chers. Ce qui peut influencer les éleveurs dans leur utilisation exclusive et abusive (Okombe et Pongombo, 2013).

Au total, la résistance aux AH est susceptible de se développer partout où les AHs sont fréquemment utilisés (Prichard, 1994). Il est peu probable que le développement de nouveaux anthelminthiques sauve les éleveurs de bétail des pertes inévitables de productivité et des problèmes de bien-être animal qui résultent d'un manque de contrôle adéquat des vers multi-résistants aux AHs (Kaplan, 2004). La seule stratégie réaliste pour lutter durablement contre les nématodes parasites est de développer de nouvelles approches non chimiques qui diminuent la nécessité de traitements avec les AHs de synthèse et/ou d'employer les AHs qui restent efficaces de manière plus intelligente (Kaplan, 2004).

1.3. Méthodes alternatives aux anthelminthiques de synthèse

Les contraintes législatives de plus en plus fortes imposées pour l'usage des substances chimiques en élevage, associées à l'apparition et au développement des résistances aux anthelminthiques dans les populations de vers, font que le recours exclusif aux traitements chimiques, doit être reconsidéré à terme (Kyriazakis et Houdijk, 2006). Cette conviction est renforcée par l'inquiétude croissante de la population concernant la présence potentielle des résidus de médicaments dans les produits animaux et la nécessité d'un contrôle non pharmaceutique des nématodes gastro-intestinaux dans les systèmes d'agriculture biologique (Kyriazakis et Houdijk, 2006). Des solutions alternatives ou complémentaires à l'usage des anthelminthiques de synthèse sont recherchées. Ces méthodes alternatives sont dirigées d'une

part contre le parasite dans l'hôte et d'autre part, contre ce dernier dans l'environnement (Getachew *et al.*, 2007).

1.3.1. Méthodes de lutte contre les NGI dans l'environnement

Les stratégies de lutte dans l'environnement contre les NGI réduisent le nombre de larves dans les pâturages, grâce à une baisse durable du nombre d'œufs fécaux. Ils sont donc bénéfiques pour la lutte contre les parasites par la réduction de l'ingestion de larves (Kahn *et al.*, 2003). Ces méthodes sont la gestion des pâturages et la lutte biologique.

1.3.1.1. Gestion des pâturages

Une bonne gestion du pâturage permet de lutter contre la prolifération des larves infestantes dans le pâturage. En la matière, il existe trois façons de gérer le pâturage dans le but de contrôler les NGI. Il s'agit des méthodes préventives, des méthodes évasives et des méthodes de dilution (Waller, 2006).

Dans les méthodes préventives, il s'agit de placer des animaux sans vers dans des pâturages propres, c'est-à-dire avec un niveau de larves infestantes nul ou très faible. Ainsi, ″les animaux propres vont dans des pâturages propres″. Les taux de réinfestation sont par conséquent extrêment faibles et l'effet suppressif du traitement anthelminthique sur la production d'œufs de nématodes est prolongé de plusieurs mois, plutôt que de quelques semaines comme c'est le cas dans les pâturages infestés (Waller, 2006).

Les méthodes évasives quant à elles, reposent sur le déplacement du bétail vers un autre pâturage juste avant que les larves résultant de cette contamination ne soient susceptibles d'apparaitre en nombre important dans le pâturage d'origine (Waller, 2006). Parmi ces méthodes, on peut citer la rotation des pâturages, qui constitue une stratégie d'évitement dans laquelle les animaux sont déplacés avant qu'ils rencontrent des difficultés importantes dans les pâturages (Jackson et Miller, 2006).

Enfin, les méthodes de dilution sont des stratégies qui exploitent simultanément le pâturage des animaux sensibles avec une plus grande population d'animaux ayant acquis une résistance naturelle au NGI de la même espèce de bétail (généralement des animaux adultes), ou d'espèces de bétail différents, afin de réduire l'infestation de l'herbage résultant de leur production fécale combinée d'œuf de vers (Waller, 2006). Le pâturage alterné de différentes espèces hôtes fait également partie des méthodes de dilution. Il consiste à diminuer l'impact du parasitisme au pâturage, en diminuant le chargement des animaux sensibles aux NGI, pour diminuer la taille

des populations de larves L3, c'est-à-dire le niveau de recontamination (Mahieu *et al.*, 2009). À chargement global équivalent, l'association par exemple entre bovins et petits ruminants au pâturage, conduit à une diminution du niveau de contamination par les parasites de chaque espèce, par diminution du chargement partiel de chaque espèce (Mahieu *et al.*, 2009). Cette stratégie exploite la spécificité de l'hôte, selon laquelle les espèces parasitaires qui sont pathogènes chez une espèce hôte n'infestent pas l'hôte alternatif, ou sont moins pathogènes et prolifiques chez ce dernier.

1.3.1.2. Contrôle biologique

La lutte biologique contre les nématodes parasites, cible les stades de vie libre dans les pâturages (Waller, 1999). Elle emploie les ennemis naturels des NGI afin de réduire leur nombre dans l'environnement à un niveau qui n'affecte pas les performances ou le bien-être des animaux (Jackson et Miller, 2006). Il s'agit d'une méthode dans laquelle des agents biologiques sont utilisés pour réduire les populations de parasites dans les pâturages, et ainsi minimiser la fréquence d'utilisation des anthelminthiques (Getachew *et al.*, 2007). Cependant, au sens plus large, tout moyen par lequel les animaux sont séparés de leurs fèces (donc les stades de vie libre des parasites) constitue une forme de contrôle biologique (Waller, 2006). Ainsi, on pourrait soutenir que la manipulation par l'homme des mouvements et du nombre de têtes de bétail, pourrait être classée comme une forme de contrôle biologique. Les mouvements des animaux afin d'éviter les périodes de pics de présence des larves dans les pâturages est une excellente forme, bien qu'indirecte, de lutte biologique. De même, la vente, souvent à l'abattoir, des jeunes sensibles, prive les parasites d'hôtes sensibles dans lesquels ils peuvent facilement accomplir leur cycle de vie (Waller, 2006).

Concernant la lutte biologique au sens strict du terme, plusieurs micro-organismes ont été identifiés à cet effet, comme exploitant les stades libres des parasites, comme source de nourriture. Il s'agit de virus, de protozoaires, de nématodes, d'acariens, de bactéries et de champignons. Toutefois, c'est chez les champignons que l'on trouve un agent de lutte biologique efficace et commercialement acceptable pour les parasites nématodes (Waller, 2006). L'attention a été surtout portée sur les microchampignons qui se trouvent naturellement dans les sols et les environnements riches en matière organique. Il existe deux types de champignons, les prédateurs tels que *Duddingtonia flagrans*, qui piègent et détruisent les larves de nématodes, et les endoparasites dont les spores germent sur les larves de nématodes ou, lorsqu'elles sont ingérées dans celles-ci (Jackson et Miller, 2006). À cet égard, *Duddingtonia*

flagrans, semble être le candidat le plus prometteur (Larsen *et al.*, 1997; Waller, 2006; Ingale *et al.*, 2010). La lutte s'effectue par la capture par le champignon, des larves infestantes avant qu'elles ne migrent du fumier vers les pâturages pour compléter leur cycle de vie après ingestion du fourrage par les animaux (Waller, 2006).

L'utilisation également des vers de terre, comme moyen de lutte biologique pour limiter les populations de larves L3 de NGI a donné des résultats encourageants en laboratoire. Les espèces utilisées sont *Pontoscolex corethrus* et *Perionyx excavatus* (Mahieu *et al.*, 2009).

1.3.2. Méthodes de lutte contre les NGI dans l'hôte

Il existe plusieurs types de méthodes. Elles ont pour but de lutter contre les NGI dans l'hôte. Il s'agit de la sélection génétique, de la vaccination, de l'amélioration de la ration de l'hôte, de l'utilisation de l'oxyde de cuivre et de l'exploitation des plantes à propriétés anthelminthiques.

1.3.2.1. Sélection d'animaux génétiquement résistants

Il existe de grandes différences entre les animaux dans leur résistance aux NGI. Ces différences existent à la fois au sein d'une même race et entre les races (Getachew *et al.*, 2007 ; Ingale *et al.*, 2010). Chez les petits ruminants, ces différences sont susceptibles d'être encore plus importantes entre races, qu'au sein des races (Waller, 1999). Des études sur les moutons ont confirmé qu'au moins une partie de la variation de la capacité d'un individu à réguler les vers, est sous le contrôle génétique et que c'est une caractéristique modérément héréditaire chez les moutons, les bovins et aussi chez certaines races de chèvres (Jackson et Miller, 2006 ; Ingale *et al.*, 2010). La sélection génotypique d'animaux présentant une résistance naturelle, représente une option pour contrer les effets des nématodes gastro-intestinaux (Getachew *et al.*, 2007 ; Mahieu *et al.*, 2009 ; González-Garduño *et al.*, 2017). Le fait que la régulation de la charge de vers et de la production d'œufs soit sous le contrôle génétique, a permis le développement de lignées sélectionnées pour produire par croisements, des animaux ayant une meilleure capacité à réguler leurs populations d'endoparasites (Jackson et Miller, 2006).

1.3.2.2. Vaccination des animaux

La lutte contre les parasites gastro-intestinaux par la vaccination a été un objectif à long terme de nombreux programmes de recherche sur les parasites (Getachew *et al.*, 2007). Des progrès considérables ont été réalisés dans l'identification d'antigènes candidats pour les vaccins contre plusieurs NGI importants. Plusieurs antigènes hautement protecteurs ont été découverts et les

gènes codant pour plusieurs d'entre eux ont été clonés. Des études ont montré qu'il est possible d'obtenir une certaine protection en utilisant des produits recombinants (Jackson et Miller, 2006). A ce jour, il existe des vaccins expérimentaux contre des espèces de NGI. Cependant, aucun vaccin commercial n'est efficace contre les infestions plurispécifiques qui sont la règle en zone tropicale. Compte tenu de ces difficultés, il n'est pas envisageable d'utiliser la vaccination dans un programme de contrôle intégré du parasitisme (Mahieu *et al.*, 2009).

1.3.2.3. Amélioration de la ration de l'animal hôte

Plusieurs auteurs ont mis en évidence une interaction entre la nutrition de l'hôte, son statut nutritionnel et la dynamique des NGI (Van Houtert et Sykes, 1996 ; Ezenwa, 2004 ; Ingale *et al.*, 2010).

1.3.2.3.1. Effet de la nutrition protéique sur les NGI

La plupart des recherches sur les effets de la nutrition de l'hôte sur la résistance aux parasites gastro-intestinaux se sont concentrées sur la nutrition protéique. Pour Athanasiadou *et al.* (2008), cela est raisonnable puisque de nombreux composants des réponses des effecteurs immunitaires sont de nature hautement protéique. Par conséquent, on peut s'attendre à ce que le système immunitaire s'appuie fortement sur les ressources en protéines.

a. Effet de la nutrition protéique sur l'établissement et le développement des NGI

Coop et Holmes (1996) ont clairement décrit les relations entre la nutrition protéique et l'établissement et le développement des NGI. Chez les jeunes moutons en primo-infestion, l'établissement des nématodes n'est pas affecté par l'alimentation protéique, bien que les conséquences physiopathologiques soient généralement plus graves chez les animaux recevant des apports faibles en protéines (Coop et Holmes, 1996 ; Van Houtert et Sykes, 1996 ; Khan *et al.*, 2012). En revanche, le taux d'expulsion des parasites, est augmenté à des degrés divers chez les animaux « mieux nourris ». Ces résultats sont cohérents avec ce qui est également observé chez les bovins (Van Houtert et Sykes, 1996). Toutefois, chez la chèvre, la supplémentation en protéines alimentaires, retarde l'établissement des parasites (Nnadi *et al.*, 2007).

b. Effet de la nutrition protéique sur la résistance et la résilience des animaux hôtes

Coop et Holmes (1996) ont égalementt décrit les relations entre la nutrition protéique et les réponses immunitaires aux infestions parasitaires et l'expression du génotype. Au niveau des paramètres sanguins, la réduction de l'hématocrite, des concentrations totales de protéines

sériques et d'albumine, sont moins marquées chez les animaux ayant un niveau élevé de protéines métabolisables que chez les animaux recevant des rations de protéines faibles à modérées (Coop et Holmes, 1996 ; Coop et Kyriazakis, 2001).

Les améliorations de la résilience causées par la supplémentation alimentaire en protéines sont plus importantes chez les jeunes animaux en primo-infestation, chez lesquels les perturbations physiopathologiques du tractus gastro-intestinal telles que la gastro-entérite (entrainant une perte de protéines) et les changements dans la fonction intestinale sont les plus prononcées (Coop et Kyriazakis, 2001).

La supplémentation en protéines, des animaux en croissance réduit également le niveau de parasitisme principalement pendant les stades ultérieurs d'une infestion continue par des nématodes gastro-intestinaux (Datta *et al.*, 1998 ; Nnadi *et al.*, 2007 ; Khan *et al.*, 2012). La nutrition de l'hôte a un effet sur la rapidité avec laquelle l'immunité est acquise et exprimée pour se défendre contre le parasitisme. Chez les animaux gravement sous-alimentés qui perdent de la masse protéique, l'acquisition de l'immunité est gravement altérée (Ingale *et al.*, 2010). Chez les agneaux, l'effet de la supplémentation protéique sur la résistance est significatif lorsque les animaux reçoivent des niveaux protéiques élevés (environ> 12% MS) (Coop et Holmes, 1996). Chez les moutons âgés, Van Houtert et Sykes (1996) rapportent que les régimes pauvres en protéines ne montrent aucun effet négatif sur la résistance tandis que pour Coop et Holmes (1996), la résistance acquise à *H. contortus* peut être réduite, s'ils sont nourris avec un régime titrant moins de 30 g de protéine brute (PB)/kg MS. Datta *et al.* (1998) ont observé que les agneaux infestés ayant reçu des régimes dont le niveau de PB est inférieur à 16 % ont perdu du poids, alors que les agneaux témoins non infestés nourris par paire ont pris du poids. De même, ils ont observé que l'infestion n'a pas eu d'effet significatif sur l'hématocrite des animaux dont l'alimentation contient plus de 16 % de protéines brutes. Ce maintien de l'hématocrite pourrait être dû à une érythropoïèse améliorée ou à un taux réduit d'établissement ou de développement de nématodes adultes (Khan *et al.*, 2012). Ainsi, Van Houtert et Sykes (1996) rapportent que la "résistance" à l'infection chez les agneaux, est susceptible d'être compromise si l'apport en protéines brutes tombe en dessous de 14 g de protéines brutes (PB) par kg de poids vif métabolique ($PV^{0,75}$).

L'ampleur des effets de la supplémentation protéique sur la résilience et la résistance dépend également, non pas forcement de la quantité de protéines absorbées, mais de l'approvisionnement en protéines métabolisables (PM) de l'aliment, c'est-à-dire les protéines métabolisables pour l'absorption dans l'intestin grêle (Van Houtert et Sykes, 1996 ; Kyriazakis

et Houdijk, 2006 ; Athanasiadou *et al.*, 2008). En effet, les augmentations de l'apport en protéines alimentaires ne se traduisent souvent pas par une augmentation de l'absorption des acides aminés, c'est-à-dire de l'apport de PM à l'animal, en raison des différences dans l'étendue de la dégradation des protéines alimentaires dans le rumen et de l'efficacité de la conversion des PB alimentaires en PM (Van Houtert et Sykes, 1996). C'est ce qui justifie le fait qu'en cas de pénurie de protéines, la supplémentation en protéines métabolisables, entraîne une amélioration de la résilience des animaux parasités (Coop et Kyriazakis, 2001). Ainsi, l'apport de protéines pour la digestion et l'absorption intestinales à partir du régime de base détermine si des réponses à la supplémentation se produiront ou non (Datta *et al.*, 1998). Les réponses les plus importantes ont été obtenues avec des suppléments de protéines qui évitent la dégradation dans le rumen (protéine de dérivation) (Van Houtert et Sykes, 1996). Dans cette optique, l'approche utilisant des composés d'origine végétale tels que les tanins condensés qui réduisent la dégradation des protéines dans le rumen et augmentent l'approvisionnement en protéines duodénales est prometteuse (Coop et Holmes, 1996 ; Van Houtert et Sykes, 1996 ; Kahn *et al.*, 2003).

c. Effet de la nutrition protéique sur l'expression du génotype

L'influence de la supplémentation protéique sur l'expression du génotype, a également fait l'objet d'attention (Coop et Holmes, 1996 ; Khan *et al.*, 2012). Ainsi, un régime pauvre en protéines n'affecte pas les avantages d'un génotype résistant tandis qu'un régime riche en protéines aide un génotype sensible à surmonter l'infestion (Coop et Holmes, 1996 ; Khan *et al.*, 2012). Par ailleurs, l'alimentation supplémentaire ne réduit le nombre d'œufs fécaux (NOF) que si la race animale est très sensible au NGI, sinon le NOF n'est pas modifié (Khan *et al.*, 2012).

1.3.2.3.2. Effet de la nutrition énergétique sur les NGI

Bien que la plupart des recherches sur les impacts de la nutrition de l'hôte sur la résistance aux parasites gastro-intestinaux se soient concentrées sur la nutrition protéique, il existe des preuves irréfutables que l'augmentation de l'approvisionnement énergétique pourrait avoir un effet sur la résilience et la résistance des animaux (Coop et Kyriazakis, 2001 ; Valderrábano *et al.*, 2002; Knox *et al.*, 2006). Des travaux ont montré que chez les jeunes agnelles nourries avec des niveaux adéquats de protéines, une amélioration de l'approvisionnement énergétique améliore non seulement les caractéristiques de la carcasse, mais aussi clairement le développement de la résistance à l'infestion par les nématodes gastro-intestinaux (Valderrábano *et al.*, 2002). Ces

auteurs ont également montré que les régimes à énergie réduite, sans malnutrition protéique concomitante, diminuent à la fois l'acquisition et l'expression de l'immunité chez les agneaux infestés par les NGI. Pour Knox *et al.* (2006), le fait que l'énergie soit reléguée au second plan par rapport à la protéine dans les études d'interaction entre nutrition et parasites gastro-intestinaux, vient du fait que l'énergie est non limitative dans les régimes basaux. Pour ces auteurs, la supplémentation énergétique a un effet sur la résistance de l'hôte infesté lorsque ce nutriment est limitant dans l'alimentation des ruminants.

1.3.2.3.3. Effet des micronutriments sur les NGI

Il convient de noter que le système immunitaire a également des besoins en micronutriments comme les vitamines et les minéraux, notamment le Zn, Fe, Se (Athanasiadou *et al.*, 2008 ; Ingale *et al.*, 2010). Dans ce sens, de nombreuses preuves montrent que les macro-minéraux et les oligo-éléments peuvent influencer la relation hôte-parasite (Coop et Holmes, 1996). Des auteurs ont rapporté qu'une augmentation de la teneur en phosphore (P) de l'alimentation chez les moutons infestés expérimentalement par *Trichostrongylus vitrinus* avait réduit le NOF d'environ 55% et la charge en vers de 89% (Van Houtert et Sykes, 1996 ; Coop et Kyriazakis, 2001).

Faisant le constat de tout ce qui a été dit précédemment, Knox *et al.* (2006) ont suggéré que les suppléments nutritionnels utilisés pour les animaux parasités doivent cibler le ou les nutriments limitants. Athanasiadou *et al.* (2008) de conclure qu'en théorie, on peut s'attendre à ce qu'un apport accru de n'importe quel nutriment améliore la résistance de l'hôte aux parasites gastro-intestinaux, à condition qu'il soit d'abord rare en l'absence de supplémentation.

1.3.2.3.4. Cadre de partage des nutriments entre les différentes fonctions de l'organisme de l'hôte

Afin d'expliquer en partie la non-réponse immunitaire des ruminants à l'infestion gastro-intestinale par les nématodes relativement à la nutrition, un cadre de partage des nutriments entre les différentes fonctions de l'organisme, a été proposé (Coop et Holmes, 1996). Ce cadre qui décrit l'ordre de priorité possible pour l'allocation d'une ressource alimentaire rare, telle que les protéines, dans le corps de l'hôte, propose que l'apport de nutriments supplémentaires conduise à une meilleure résilience (Coop et Kyriazakis, 2001). Cela stipule que le maintien des protéines corporelles devrait avoir la plus haute priorité pour l'allocation des nutriments car il garantit la survie des animaux à court terme. La croissance et la reproduction se voient

accorder la deuxième priorité, car elles garantissent la préservation du matériel génétique de l'animal à long terme. Les fonctions de régulation de la population parasitaire (expression de l'immunité) seront fortement influencées par la nutrition de l'hôte, car on s'attend à ce qu'elles soient moins prioritaires pour une allocation de ressources limitées que les fonctions de maintien, de croissance ou de reproduction (Coop et Kyriazakis, 2001). Ainsi, la fonction d'entretien est ainsi privilégiée car elle assure la survie à court terme qui comprend la réparation et/ou le remplacement des tissus endommagés ou perdus causés par une infestation parasitaire. Une fois que les rares éléments nutritifs alloués à l'entretien ont été remplis, les ressources rares restantes sont affectées aux fonctions corporelles associées à la croissance, à la reproduction et à l'immunité aux parasites (Kyriazakis et Houdijk, 2006 ; Khan *et al.*, 2012). Cependant, l'hôte en croissance qui rencontre des parasites pour la première fois, donne la priorité à l'allocation des ressources rares à l'acquisition de l'immunité plutôt qu'à la croissance, car sinon il pourrait succomber aux conséquences néfastes du parasitisme avant d'atteindre la maturité reproductive (Jackson et Miller, 2006 ; Kyriazakis et Houdijk, 2006 ; Athanasiadou *et al.*, 2008). Une fois l'immunité acquise, la croissance et la reproduction seraient prioritaires sur l'expression de l'immunité aux parasites, car les anciennes fonctions corporelles assurent la préservation du matériel génétique de l'hôte (Kyriazakis et Houdijk, 2006 ; Athanasiadou *et al.*, 2008).

1.3.2.4. Utilisation de l'oxyde de cuivre

L'utilisation de particules de fil d'oxyde de cuivre comme mesure de traitement alternative contre les maladies parasitaires est une approche anthelminthique spécifique qui s'est révélée capable de réduire les charges des NGI chez les moutons et les chèvres (Jackson et Miller, 2006 ; Ingale *et al.*, 2010). L'administration de 2,5 à 5 g de particules de fil d'oxyde de cuivre chez les ovins a permis de réduire le nombre d'œufs fécaux de *H. contortus* (Getachew *et al.*, 2007). De même, l'administration de 5 g de capsules de cuivre à des agneaux a entrainé une réduction de 96% et de 56% des infestions à *H. contortus* et *O. circumcinta*, respectivement (Waller, 1999). Le traitement par les particules de cuivre semble réduire l'établissement et la fécondité des vers. Cet effet protecteur peut durer jusqu'à trois mois (Waller, 1999 ; Ingale *et al.*, 2010).

En somme, l'utilisation de capsules de cuivre offre aux producteurs un autre moyen de limiter la taille de la population des NGI dans l'hôte, en particulier dans les régions où la résistance aux anthelminthiques est fréquente. Cependant, il convient de noter que la toxicité du cuivre peut se produire chez les moutons ; ce qui peut limiter son utilisation potentielle (Jackson et

Miller, 2006). Par exemple, l'utilisation de 4 g de particules de fil de cuivre en fin de gestation menace la vie de plusieurs descendants (Getachew *et al.*, 2007).

1.3.2.5. Exploitation de plantes à propriétés anthelminthiques

Pendant des siècles, des parties ou des extraits de plantes ont été utilisés pour lutter contre le parasitisme. Cette méthode a été utilisée dans de nombreuses régions du monde, surtout celle en voie de développement, où de telles pratiques sont encore utilisées à cette fin (Githiori *et al.*, 2005 ; Koné et Atindehou, 2008 ; Koné *et al.*, 2019). En Côte d'Ivoire, pour une grande majorité des éleveurs pauvres en ressources financières, la médecine ethnovétérinaire est la principale ressource pour traiter diverses maladies et affections de leur bétail (Koné et Atindehou, 2008). Cependant, malgré leur large utilisation ethnovétérinaire, les preuves scientifiques de l'efficacité antiparasitaire de la plupart des produits végétaux sont limitées (Ingale *et al.*, 2010). Toutefois, des évaluations scientifiques *in vitro* et *in vivo* réalisées sur certaines d'entre elles ont révélé une très bonne efficacité (Hördegen *et al.*, 2003 ; Bodji *et al.*, 2017 ; Koffi *et al.*, 2018).

1.3.2.5.1. Origine des propriétés anthelminthiques des plantes

Les propriétés anthelminthiques des plantes sont dues à la large gamme de métabolites secondaires qu'elles contiennent (Athanasiadou *et al.*, 2008 ; Hoste *et al.*, 2008 ; Dedehou *et al.*, 2014). Ces métabolites sont des composés végétaux qui ne sont pas strictement essentiels aux fonctions principales des plantes, telles que leur croissance et leur reproduction. Ils sont cependant associés à des mécanismes de défense des plantes contre les prédateurs, tels que les herbivores et les insectes (Athanasiadou *et al.*, 2008 ; Hoste *et al.*, 2008 ; Sharma *et al.*, 2009). Parmi les nombreux métabolites secondaires des plantes, ceux qui sont impliqués dans les propriétés AH de diverses plantes à travers le monde sont les lactones sesquiterpéniques, les alcaloïdes, les polyphénols, les tanins, les flavonoïdes, les glycosides, les terpènes, et les cystéine protéinases (Githiori *et al.*, 2005 ; Hoste *et al.*, 2008 ; Dedehou *et al.*, 2014). Les concentrations de ces composés varient en fonction de l'espèce végétale, de la variété, du stade de développement de la plante, des organes de la plante, du processus de séchage, du mode de conservation et de l'environnement pédoclimatique (Hördegen *et al.*, 2003 ; Hoste *et al.*, 2008 ; Aufrère *et al.*, 2012).

1.3.2.5.2. Mode d'utilisation des plantes dans la lutte contre les NGI

D'une manière générale, il existe deux modes d'utilisation des plantes dans la lutte contre les NGI ; les médicaments phytothérapeutiques (ou produits à base de plantes) et les

nutraceutiques, c'est-à-dire des fourrages qui ont des actions contre les NGI (Hoste *et al.*, 2008 ; Sandoval-Castro *et al.*, 2012).

a. Médicaments phytothérapeutiques

Les médicaments phytothérapeutiques basés sur une plante, ou un ensemble de plantes, sont utilisés de la même manière qu'un AH de synthèse. Ils sont destinés à guérir à court terme et, sont généralement administrés à l'animal par voie orale (Hoste *et al.*, 2008 ; Sandoval-Castro *et al.*, 2012 ; Koné *et al.*, 2019). L'activité anthelminthique des médicaments phytothérapeutiques est dose-dépendante. Elle est également fonction de l'espèce végétale utilisée, de l'organe utilisé et de la nature de l'extrait, c'est-à-dire du solvant utilisé (Hördegen *et al.*, 2003 ; Hoste *et al.*, 2008 ; Dedehou *et al.*, 2014).

Les médicaments phytothérapeutiques, bien que largement utilisés dans les pays en développement font également l'objet de critiques. Les possibilités d'identification erronée des plantes, d'erreurs de préparation et/ou d'administration ont également été signalées (Hoste *et al.*, 2008). Il est également reproché aux remèdes phytothérapeutiques, la spécification inadéquate des parasites cibles. Par exemple, souvent des plantes sont citées comme ayant des propriétés anthelminthiques, bien qu'aucune espèce animale hôte cible ne soit indiquée. Même quand cela est indiqué, il arrive souvent que les utilisateurs ne puissent ni décrire les parasites ni avoir eu connaissance de la maladie (Githiori *et al.*, 2005). Par ailleurs, de nombreux métabolites secondaires des plantes ayant des propriétés AH ont également des effets négatifs sur les hôtes (Sandoval-Castro *et al.*, 2012). Par conséquent, comme pour les AH chimiques, la question de la toxicité potentielle d'extraits ou de fractions de plantes mérite d'être examinée (Hoste *et al.*, 2008).

b. Nutraceutiques

Les nutraceutiques sont des aliments pour animaux qui fournissent un bénéfice pour la santé, incluant la prévention et le traitement des maladies (Hoste *et al.*, 2011). Les nutraceutiques restent toujours des ressources alimentaires mais, la première raison de leur exploitation est en rapport avec leurs potentiels effets bénéfiques sur la santé animale. Leur objectif principal est la prévention contre les maladies, l'amélioration et/ou l'entretien de la santé. A l'exception de quelques métabolites secondaires tels que les lactones sesquiterpènes, suspectées d'être responsables des effets AHs de *Cichorium intybus* L. (Asteraceae) (Chicorée) et des flavonoïdes qui se trouvent également dans de nombreux légumineuses fourragères, la plupart des

nutraceutiques contre les nématodes ont été obtenus avec les légumineuses fourragères riches en tanins condensés (TC) (Hoste *et al.*, 2011).

Les TC sont une classe de tanins la plus représentée dans le monde végétal, aussi bien chez les angiospermes, les gymnospermes que chez les ptéridophytes. Ils sont des polymères d'unité flavanniques, le plus souvent liées entre elles par des liaisons C4-C8 ou C4-C6 (Zimmer et Cordessse, 1996 ; Aufrère *et al.*, 2013). Ils peuvent se lier aux protéines hydrolysables, aux amidons, aux celluloses, aux hémicelluloses et aux pectines et peuvent complexer, souvent de façon quasi-irréversible des ions comme les métaux (Reed, 1995 ; Zimmer et Cordessse, 1996 ; Aufrère *et al.*, 2013). Dans le cas des protéines alimentaires, cette insolubilisation les rend inaccessibles à l'hydrolyse enzymatique. La formation de complexe tanins-protéines et la réaction inverse dépendent de nombreux facteurs liés d'une part aux tanins et aux protéines et d'autre part, aux conditions de réaction. Ainsi, les tanins ont une grande affinité pour les prolamines, le collagène et la gélatine à cause de ce qu'elles contiennent une forte proportion d'un acide aminé : la proline C6 (Zimmer et Cordessse, 1996 ; Aufrère *et al.*, 2013). Le pH joue également un rôle important dans la liaison tannin-protéine et sa réversibilité. Les TC se lient aux protéines à des pH compris entre 3,5 et 7. La liaison est dissociée à des pH < 3,5 ou > 7 (Zimmer et Cordessse, 1996 ; Aerts *et al.*, 1999 ; Frutos *et al.*, 2004).

A ce jour, l'action des TC contre les NGI est largement documentée (Hoste *et al.*, 2006, 2015 ; Williams *et al.*, 2014). La consommation, par les petits ruminants, des fourrages riches en TC a été associée à une modulation de la biologie des nématodes élucidée par les impacts sur les différentes étapes clés du cycle de vie (Hoste *et al.*, 2011) :

- une diminution de l'établissement des larves infestantes L3 qui contribue à réduire l'invasion de l'hôte ;
- une diminution de l'excrétion des œufs de nématodes qui contribue à réduire la contamination des pâturages. Ce processus largement décrit a été associé soit à un nombre réduit de vers, soit à une réduction de la fertilité de vers femelles ;
- une diminution du développement des œufs en larves infestantes dans les fèces et / ou dans les pâturages ; ce qui contribue à réduire l'infestation des pâturages pour les moutons et les chèvres. Cependant, les résultats concernant ce dernier impact, sont moins nombreux et moins cohérents que pour les deux premiers aspects.

Les effets bénéfiques des plantes tannifères contre les NGI peuvent s'expliquer de trois manières :

- les tanins peuvent former des complexes non biodégradables avec des protéines du rumen, qui se dissocient à faible pH dans la caillette, pour libérer davantage de protéines pour le métabolisme dans l'intestin grêle des ruminants. Cela améliore indirectement la résistance et la résilience de l'hôte aux infestions par les NGI, par la voie indirecte de l'amélioration de la nutrition protéique (Waller, 2006 ; Athanasiadou *et al.*, 2008 ; Ingale *et al.*, 2010) ;
- les tanins peuvent avoir un effet anthelminthique direct sur les populations de vers résidents chez les animaux en affectant le fonctionnement physiologique (Waller, 2006 ; Ingale *et al.*, 2010) et ;
- les tanins présents dans les excréments peuvent avoir un effet direct sur la viabilité des stades de vie libre (Waller, 2006) .

L'action des TC sur les NGI est modulée par plusieurs facteurs dont la nature des tanins, qui elle-même est fonction du matériel végétal (Hoste *et al.*, 2006, 2011 ; Quijada *et al.*, 2015). L'effet inhibiteur des TC contre les NGI dépend également de l'espèce parasite (Hoste *et al.*, 2006; Quijada *et al.*, 2015). Chez le mouton, dans des études utilisant le quebracho comme source de tannins, on a observé une diminution de la fécondité des vers et du nombre de vers chez les espèces intestinales (*Nematodirus battus et T. colubriformis*), alors qu'aucun changement n'a été observé pour les espèces de l'abomasum (*Teladorsagia circumcincta et* Haemonchus *contortus*) (Hoste *et al.*, 2006). Enfin, la modulation de l'activité antiparasitaire des tanins condensés dépend aussi de leur concentration dans les différentes espèces végétales ; un seuil d'au moins 3-4% de matière sèche (MS) étant requis avant d'observer ces activités anthelminthiques (Hoste *et al.*, 2006 ; Manolaraki, 2011). Ceci contraste avec les résultats des travaux de Fluck *et al.* (2013). Ces derniers ont observé que les tanins condensés, même à de faibles concentrations, ont des impacts positifs sur la fermentation des légumineuses fourragères. Ces effets bénéfiques sont associés à une protection des protéines contre la dégradation microbienne excessive dans le rumen (Aerts *et al.*, 1999). La quantité de protéines non dégradées entrant dans l'intestin grêle et le flux de protéines microbiennes dans l'intestin sont ainsi augmentés, avec comme conséquence une augmentation de l'absorption des acides aminés chez l'animal (Aerts *et al.*, 1999 ; Njidda, 2010). Ceci a pour effet indirect d'améliorer la résistance et la résilience de l'hôte aux infestions par les NGI (Waller, 2006 ; Athanasiadou *et al.*, 2008 ; Ingale *et al.*, 2010). Ces controverses ont emmené Waller (2006) à conclure qu'il est difficile de relier les effets antiparasitaires aux quantités réelles de tanins condensés, car les tanins condensés sont un groupe de composés mal définis ; ce qui rend difficile les déterminations standardisées dans le matériel végétal.

Contrairement aux médicaments, les nutraceutiques ne sont pas des composés synthétiques formulés pour des indications spécifiques. Leur efficacité dépend directement du niveau de matière sèche volontairement ingérée par l'animal (Githiori *et al.*, 2005 ; Hoste *et al.*, 2011 ; Sandoval-Castro *et al.*, 2012). Ce niveau d'ingestion est influencé, comme pour les autres aliments pour animaux, par les caractéristiques physiques des nutraceutiques (Sandoval-Castro *et al.*, 2012). Toutefois, un niveau d'ingestion trop élevé en métabolites secondaires peut avoir des conséquences négatives sur l'animal. Par exemple, une consommation excessive de tanins condensés, supérieure à 7-8% MS, peut nuire à l'hôte parasité, en diminuant l'ingestion alimentaire, la digestibilité des nutriments et les performances (Githiori *et al.*, 2006 ; Hoste *et al.*, 2006). C'est pourquoi, les effets anthelminthiques possibles de la consommation de nutraceutiques doivent être considérés simultanément avec les conséquences anti-nutritionnelles des métabolites secondaires qu'ils contiennent (Hoste *et al.*, 2006)**.** En effet, à ce jour, la majorité des métabolites sécondaires est encore mieux connue pour ses propriétés anti-nutritionnelles plutôt que pour ses propriétés anti-parasitaires (Jackson et Miller, 2006).

1.3.2.5.3. Effets des plantes contre les NGI

L'exploitation des plantes à des fin de lutte contre les NGI a dans la plupart des cas entraîné des réductions du niveau de parasitisme beaucoup plus faibles que celles observées avec les anthelminthiques (Githiori *et al.*, 2005 ; Hoste *et al.*, 2008 ; Ingale *et al.*, 2010). Par exemple, avec les plantes riches en tanins, la plupart des données actuelles suggèrent que des valeurs de 60 à 80% sont parmi les réductions du nombre d'œufs fécaux (NOF) les plus élevées observées pour l'excrétion d'œufs parasites, alors qu'elles sont supérieures à 95% avec les AH de synthèse. En outre, l'efficacité contre les différentes espèces de nématodes varie, en particulier lorsque l'on considère des espèces habitant des organes digestifs distincts (Hoste *et al.*, 2008). On peut faire valoir qu'un effet utile est obtenu à partir de n'importe quelle plante ou remède à base de plante, si le niveau de réduction du NOF des animaux traités est de l'ordre de 70%. Cette valeur seuil est inférieure au seuil de 80% que les recommandations de l'Association mondiale pour l'avancement de la parasitologie vétérinaire décrivent comme étant insuffisamment actif. Cependant, elle est supérieure à la réduction de 60% du NOF prévue par un modèle qui a montré que l'utilisation d'un vaccin conventionnel dans 80% de la population est aussi efficace que l'utilisation d'anthelminthiques (Githiori *et al.*, 2005).

Au total, l'exploitation des plantes médicinales à des fins de lutte contre les NGI parait être une solution complémentaire à l'utilisation des AH de synthèse. Elle continuera de jouer un rôle

important dans la lutte contre les maladies animales en Afrique, ainsi qu'ailleurs dans les pays en développement. Par conséquent, du fait des effets antinutritionnels, tels qu'une réduction de l'apport alimentaire et des performances de certains métabolites secondaires impliqués dans les effets AH, l'utilisation des plantes à cette fin doit être validée pour établir leur efficacité contre les infestions parasitaires prévues (Githiori *et al.*, 2005 ; Ingale *et al.*, 2010). Dans ce sens, des études sont réalisées chez *Cajanus cajan* en vue de mieux la valoriser dans la lutte contre les NGI.

1.4. Généralités sur *Cajanus cajan* (L.) Millsp.

Cajanus cajan (L.) Millsp. est une légumineuse arbustive, généralement cultivée comme plante alimentaire pour répondre aux besoins des populations locales (Velay *et al.*, 2001).

1.4.1. Systématique de *Cajanus cajan*

La systématique de *C. cajan,* seule espèce domestiquée du genre *Cajanus* est la suivante (Baudoin, 2001) :

Règne : Végétal

Embranchement : Spermaphytes

Classe : Dicotylédones

Ordre : Fabales

Famille : Fabaceae

Sous famille : Papilionoïdeae

Tribu : Phaseoleae

Sous tribu : Cajaninae

Genre : *Cajanus*

Espèces : *Cajanus cajan* .

1.4.2. Appelations et origines de *C. cajan*

C. cajan se nomme de plusieurs façons. On parle de *Cajan bicolor, Cajan cajan, Cajan flavus, Cajanus indicus, Cajanus striatus, Cytisus cajan*, etc. En anglais, il porte les noms de ″pigeon

pea″ (le plus utilisé), ″congo pea″, ″no-eye pea″, ″red gram″, ″yellow dhal″, etc. En français, les noms les plus employés sont pois cajan, pois d'Angole, pois de bois, pois pigeon ou ambrevade (Baudoin, 2001 ; Velay *et al.*, 2001 ; Niyonkuru, 2002). En Côte d'Ivoire, le peuple Koulango, chez lequel cette plante est beaucoup intégrée l'appelle ″kakpô″.

Si tous les auteurs sont unanimes à dire que *C. cajan* est originaire de l'Inde (Baudoin, 2001 ; Odeny, 2007 ; Kaoneka *et al.*, 2016), certains pensent que la plante pourrait également avoir une seconde origine africaine, du fait de l'existence de nombreuses variétés sauvages dans ce continent (Niyonkuru, 2002). Ce dernier auteur cite également l'Australie comme origine probable du pois d'angole. Pour certains auteurs, la plante a été probablement introduite par les émigrants au 19^{e} siècle qui sont venus en Afrique pour être des cheminots et des commerçants (Baudoin, 2001 ; Odeny, 2007 ; Kaoneka *et al.*, 2016). Sur le continent africain, cette espèce a le plus de variétés traditionnelles et de proches parents sauvages, comme *Cajanus kerstingii* Harms et *Cajanus scarabaeoides* (L.) Thouars en Afrique de l'Est. Elle s'est répandue dans tout le continent africain en acquérant de l'importance à partir de cette zone de l'Afrique (Baudoin, 2001 ; Kaoneka *et al.*, 2016).

1.4.3. Description botanique de *C. cajan*

C. cajan est une plante pérenne ou annuelle selon les variétés (Velay *et al.*, 2001; Niyonkuru, 2002; Snapp *et al.*, 2003). Elle a une croissance érigée et peut atteindre 4 à 5 mètres de hauteur. Elle a une hauteur moyenne de 1 à 2 m. La tige principale et les branches sous-djacentes sont généralement érigées, et forme, avec ces dernières un angle aigü de 30 degrés ou moins (Caburet et Lethève, 2000 ; Niyonkuru, 2002 ; Snapp *et al.*, 2003). La racine pivotante est énorme, profonde (1 à 2 m) et possède de nombreuses racines secondaires secondaires (Snapp *et al.*, 2003). Les feuilles sont trifoliées et disposées en spirales sur les tiges. Les folioles sont pubescentes sur les deux faces. Elles ont une forme lancéolée à elliptique, avec une longueur de 2 à 8 cm (Niyonkuru, 2002). Les inflorescences sont des racèmes de 4 à 12 cm de long situés aux extrémités des branches. Les fleurs ont quatre lobes de calices séparées et leurs pétales ont une couleur qui évolue du jaune au rouge-pourpre. Elles sont bisexuées et autogames mais le taux d'allogamie peut dépasser les 20% (Caburet et Lethève, 2000 ; Niyonkuru, 2002). Les fruits sont des gousses aplaties, indéhiscentes avec une couleur qui évolue du vert au jaune brun ou bordeaux foncé et ayant une longueur qui varie de 4 à 10 cm. Elles portent deux à sept graines selon les variétés et sont terminées par un bec souvent velu (Caburet et Lethève, 2000 ; Niyonkuru, 2002). Les graines sont ovales et jaunâtres ou parfois pourpres ou tachetées. La

masse de 1000 graines varie de 60 à 280 g selon les variétés, avec une moyenne de 128 g (Figure 4) (Niyonkuru, 2002).

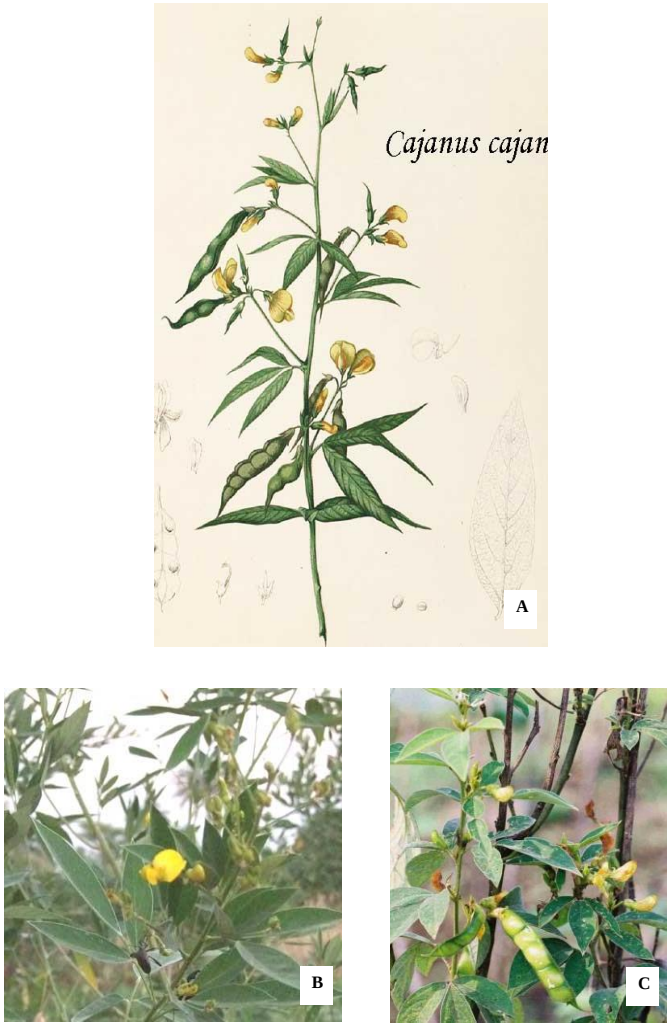


Figure 4. Quelques organes de *Cajanus cajan* : A- Pied complet B- Feuilles et fleurs C- Feuilles et gousses (Lebas, 2007)

C. cajan est une plante de jour court, mais la croissance et la floraison sont extrêmement influencées par la température, le photopériodisme et la variété (Silim, 2000 ; Niyonkuru, 2002). Chez *Cajanus cajanifolius* (Haines) Maesen (Fabaceae), le parent sauvage le plus probable de *C. cajan*, une chute brutale des bourgeons floraux s'observe lors de la floraison dès que la température atteint 30°C, réduisant ainsi la durée de la phase reproductive (Sahai et Rawat, 2013). *C. cajan* est une plante des régions tropicales où elle peut pousser dans les régions arides et semi-arides (Mathews *et al.*, 2001). Elle s'adapte à une large gamme de sols et supporte très bien les vertisols. Elle est souvent cultivée sur des sols très pauvres. Elle peut supporter quelque peu les sols salins et alcalins, mais pas une acidité excessive (pH < 5). Elle tolère la sécheresse, mais se développe mieux dans des climats ayant au moins cinq mois de saison des

pluies ; où la pluviométrie est de 1 000 à 2 000 mm/an. Elle ne supporte pas l'eau stagnante et l'excès d'humidité (Rao et Williams, 2000 ; Velay *et al.*, 2001). Sa tolérance à l'engorgement en eau et à la salinité, est fonction du génotype (Singh *et al.*, 2016).

1.4.4. Variétés de *C. cajan*

Il existe deux groupes variétaux : (i) les variétés *bicolor*, à fleurs jaunes et rouges, à gousses de quatre à cinq grains, pouvant vivre plusieurs années et (ii) les variétés *flavus*, à fleurs jaunes, à gousses courtes (trois grains) et à floraison précoce, cultivées en plante annuelle. Ces dernières sont moins sensibles au photopériodisme (Caburet et Lethève, 2000). Ces deux groupes de variétés sont interfertiles et ont produit de nombreuses variétés intermédiaires (Niyonkuru, 2002). Ces variétés initiales appelées variétés traditionnelles ont un cycle de développement long, allant de 7 à 11 mois. Elles s'associent mieux à certaines cultures telles que le maïs, le sorgho, l'éleusine, le niébé, le haricot, le cotonnier, le sésame, l'arachide, le manioc, etc. En zones bien arrosées, elles peuvent produire plusieurs récoltes par an. Les variétés traditionnelles sont sensibles à beaucoup de facteurs biotiques (*Fusarium udum* Butler, *Cercospora cajani* Henning, ravageurs arthropodes, etc.) et abiotiques (températures, engorgement en eau du sol, forte salinité, photopériodisme, etc). De ce fait, elles ont généralement des rendements faibles, moins de 300 kg/ha (Silim, 2000 ; Velay *et al.*, 2001). Cette situation a poussé la recherche à mettre au point autour des années 1980 par croisement ou par modification biotechnologique de nouvelles variétés à cycle court (environ 90 à 290 jours). Ces nouvelles variétés améliorées, plus productives, pouvant atteindre 4000 kg/ha en station, sont résistantes aux facteurs abiotiques et biotiques (Gupta *et al.*, 1989 ; Snapp *et al.*, 2003 ; Sawargaonkar *et al.*, 2016). Selon la durée de leur cycle, elles sont scindées en quatre catégories. On a les variétés (i) très précoces (cycle inférieur à 105 jours), (ii) précoces (environ 105 à 145 jours), (iii) intermédiaires (environ 146 à 199 jours) et (iv) tardives (supérieur à 200 jours) (Snapp *et al.*, 2003). Ces nouvelles variétés ne sont pas toutes adaptées à l'ensemble des régions tropicales. Chaque catégorie a une région spécifique d'adaptation. Par exemple, des variétés intermédiaires et tardives développées en Inde ayant montré de bonnes performances dans ce pays, ont enregistré de piètres résultats en Afrique de l'Est et du Sud (Silim, 2000). C'est pourquoi, avant leur introduction dans les systèmes d'exploitation des différentes régions pour ses divers usages, une approche régionale est nécessaire afin de s'assurer de leur adaptabilité et de leur acceptabilité par les paysans (Silim, 2000).

1.4.5. Intérêts de *C. cajan* en alimentation, pharmacopée, agriculture et élevage

C. cajan est une plante à usages multiples. Elle est utilisée en alimentation humaine, en agriculture, en élevage et pour bien d'autres usages non négligeables (Niyonkuru, 2002 ; Snapp *et al.*, 2003).

1.4.5.1. Intérêt de *C. cajan* en alimentation et en pharmacopée humaine

C. cajan est employée dans l'alimentation par certains peuples. Les gousses immatures sont utilisées comme légume à l'instar du haricot vert ; les grains étant consommés frais ou sec (Mergeai *et al.*, 2001 ; Snapp *et al.*, 2003). En Afrique de l'Est, au Caraïbes et dans certaines parties de l'Inde, les grains immatures ont les mêmes utilisations que celles des petits pois (Daniel et Ong, 1990). Au Kénya, une enquête menée dans deux localités a montré que 40 % de la production locale (dont 25% sous forme de gousses vertes et 15 % sous forme de grains secs) sont autoconsommées et les 60 % vendues (Mergeai *et al.*, 2001). Les grains sont riches en protéines (Tableau 3). Plusieurs auteurs situent la teneur en protéine entre 15 et 30% selon les variétés (Daniel et Ong, 1990 ; Caburet et Lethève, 2000). Ils sont également d'un bon équilibre nutritionnel selon les variétés. De plus, les grains fournissent cinq fois plus de vitamines A et C que le petit pois (*Pisum sativum* L.).

Tableau 3. Composition chimique comparée des graines de *C. cajan*, du soja et du haricot (100 g de graines) (Niyonkuru, 2002).

Nutriment	*C. cajan*	Soja	Haricots secs
Eau (g)	9	8	10
Energie (Kcal)	328	382	339
Protéines (g)	22	35	24
Lipides (g)	2	18	1,7
Glucides (g)	57	30	57
Fibres (g)	7	4,5	4
Calcium (mg)	100	200	110
Fer (mg)	5	7	8
Cendres totales (g)	3	4,5	3,3
Vit A (U.I)	70	100	105
Vit B1 (mg)	0,5	1,1	0,8
Vit B2 (mg)	0,15	0,3	0,2
Acide nicotinique	2,3	2	2,5

Les graines de *C. cajan* ont une composition très proche de celle du haricot. Elles sont plus pauvres que le soja en protéines et en lipides. De ce fait, elles sont plus aptes à être consommées en grandes quantités (Niyonkuru, 2002). Cependant, les grains de certaines variétés contiennent des teneurs en protéines et en acides aminés similaires à celles des grains du soja (Singh *et al.*,

1990 ; Snapp *et al.*, 2003). En Afrique de l'Est, *C. cajan* est la troisième légumineuse alimentaire la plus importante, après le haricot et le niébé (Velay *et al.*, 2001). Pour toutes ces raisons, *C. cajan* est considérée comme une culture avec laquelle les pays africains doivent compter dans le cadre de l'agriculture durable et de la sécurité alimentaire. Cela, grâce à son haut potentiel à faire face au changement climatique et sa capacité à fournir des aliments en quantité et en qualité suffisante (Kaoneka *et al.*, 2016).

Outre son emploi en alimentation humaine, *C. cajan* est également utilisée en pharmacopée traditionnelle humaine. Elle est utilisée dans le traitement de la diarrhée, la blennorragie, la rougeole, les brûlures, les infections oculaires, les douleurs d'oreille, les maux de gorge, les douleurs gingivales, les vertiges, l'épilepsie, la toux, les problèmes gastriques, la syphilis, le cancer, la jaunisse et la dysenterie. Elle est aussi utilisée comme sédatif, pour expulser des corps étrangers de la vessie et pour stabiliser la période de menstrues chez la femme (Pal *et al.*, 2011 ; Maheswari *et al.*, 2012).

1.4.5.2. Intérêt de *C. cajan* en agriculture

En Amérique du Sud et aux Caraïbes, *C. cajan* est une composante majeure des potagers et sert à délimiter des champs. Dans les systèmes traditionnels, *C. cajan* (à cycle long) est utilisée en cultures intercalaires avec les céréales (maïs, sorgho) ou les légumineuses à cycle court (niébé, haricot, arachide) ou avec d'autres cultures (éleusine, cotonnier, sésame, manioc, etc.), en début de saison pluvieuse (Silim, 2000 ; Mathews *et al.*, 2001 ; Snapp *et al.*, 2003). L'association des cultures, constitue un aspect très important des systèmes de production des petits producteurs, car elle permet d'accroître la rentabilité des systèmes de culture en terres arides. Les céréales sont récoltées vers la fin de la saison pluvieuse et *C. cajan* se développe rapidement après la récolte de la culture principale à partir de l'humidité résiduelle ou lors de la deuxième moitié de pluie dans le régime bimodal (Silim, 2000 ; Mathews *et al.*, 2001 ; Snapp *et al.*, 2003). Cela permet de limiter la compétition entre les cultures pour la lumière, l'eau et les nutriments et donc d'optimiser l'utilisation de la terre. La combinaison de deux légumineuses, une à cycle court et une autre à cycle long, n'autorise certes pas un meilleur rendement mais permet de produire plus de résidus de feuilles pour l'amélioration de la fertilité du sol et l'accroissement de la quantité de tiges pour leur utilisation en tant que bois de chauffe (Snapp *et al.*, 2003).

C. cajan étant une plante profondément enracinée ; elle puise les nutriments des couches profondes du sol et les retourne à la couche superficielle, à travers la litière. Une tonne de litière tombée peut contribuer à enrichir le sol d'au moins 10 kg d'azote. Cependant, la quantité de

litière déposée au sol dépend des variétés. Les variétés précoces et intermédiaires produisent moins de litière (moins de 1t/ha) que les variétés tardives (Daniel et Ong, 1990). Un autre bénéfice de *C. cajan* est sa capacité à fixer l'azote atmosphérique puis à retourner une grande partie de cet azote au sol à travers la litière, les racines et les nodules. Toutefois, comme dans le cas de la litière, la quantité d'azote fixée augmente avec la durée du cycle. En conséquence, la fertilité des sols où sont plantés les pieds de *C. cajan* est améliorée ; ce qui explique les hauts rendements obtenus au niveau des cultures subséquentes (Daniel et Ong, 1990). En Côte d'Ivoire, la rotation de la culture du riz avec *C. cajan* de 12 mois, a amélioré significativement le rendement du riz, avec un gain de paddy qui a varié entre 700 et 900 kg ha-1, par rapport à la jachère naturelle. De plus, cette jachère à *C. cajan* de 12 mois a permis de maintenir un minimum de rendement de 1t/ ha (Gbakatchetche *et al.*, 2010).

Par ailleurs, des propriétés nématicides de *C. cajan* ont également été signalées. Cultivée comme engrais vert dans les régions infestées par les nématodes, *C. cajan* permet de réduire la population des nématodes sur les cultures sensibles ulterieures (Daniel et Ong, 1990). Pour Garrido *et al.* (2008), planter *C. cajan* en conbinaison avec *Crotalaria juncea* dans les rangées d'igname est une méthode efficace pour contrôler les nématodes associés à l'igname que sont *Scutellonema bradys* (Steiner et Le Hew) Andrassy et *Rotylenchulus reniformis* Linford et Oliveira. En outre, l'incorporation dans le sol des parties aériennes fraiches de *C. cajan* est une méthode efficace pour le contrôle des bactéries dépérissantes de la tomate (Cardoso *et al.*, 2006).

Au Togo, *C. cajan* a été introduite avec succès en culture intercalaire dans une association maïs/manioc/*C. cajan*. Les rendements agricoles ont été améliorés à partir de la 3^{e} année. Les moyennes des productions sur les 3 ans sont de 1804 kg/ha (maïs), 10939 kg/ha (manioc) lorsque ces cultures sont associées au *C. cajan* contre respectivement 1490 kg/ha et 10065 kg/ha pour le maïs et le manioc lorsque le maïs et le manioc sont associés sans *Cajanus cajan* selon les pratiques paysannes (Defly, 2004). Par ailleurs, *C. cajan* a donné des résultats satisfaisants dans le cadre de l'introduction des jachères fourragères dans les rotations culturales. Ceci a permis d'enrichir le sol et d'augmenter les disponibilités alimentaires destinées au bétail (Adjalohoum, 2008), conférant ainsi un intérêt à cette plante en élevage.

1.4.5.3. Intérêt de *C. cajan* en alimentation animale

C. cajan peut satisfaire simultanément les besoins en nourriture humaine et animale. En alimentation animale, elle très bien appétée par les animaux domestiques, notamment la volaille, les porcs et les petits ruminants.

Chez les poulets, les grains constituent une importante source de protéine à moindre coût (Amaefule et Obioha, 2005 ; Amaefule *et al.*, 2006). De plus, les substances anti-nutritionnelles telles que les protéases inhibiteurs (trypsine et chymotrypsine), les amylases inhibiteurs et les polyphénoles qui sont connus pour être des problèmes dans la plupart des légumineuses comestibles, sont moins problématiques chez *C. cajan*, surtout ceux d'Afrique (Odeny, 2007 ; Shenkute *et al.*, 2013). Des auteurs ont indiqué que les grains de *C. cajan* peuvent être incorporés aux régimes pour volailles et permettre ainsi de réduire le coût de l'aliment (Yagoub, 1998 ; Amaefule et Obioha, 2005 ; Amaefule *et al.*, 2006). Avec un taux d'incorporation de 32% de graines torréfiées ou cuites à la vapeur de *C. cajan*, les poussins locaux extériorisent mieux leurs performances de croissance (Traore *et al.*, 2018). Cependant, contrairement au soja, les grains de *C. cajan* ne peuvent pas, à eux seuls satisfaire, les besoins en protéines pour une performance optimale des poules pondeuses (Agwunobi, 2000).

Pour les ruminants, *C. cajan* peut fournir un aliment de haute qualité qui pourrait être utilisé comme fourrage de base ou supplément alimentaire. Elle produit une grande quantité de biomasse (Karachi et Zengo, 1998 ; Rao et Williams, 2000 ; Shenkute *et al.*, 2013). Niyonkuru (2002) rapporte une productivité de 1,5 à 3,5 tonnes de matière sèche (MS) par hectare par coupe, avec des coupes tous les deux ou trois mois alors que Wallis *et al.* (1986) annoncent des productivités de 3,5 tonnes MS/ha à 6 tonnes MS/ha, avec 3 à 4 coupes à 25 et 50 cm de hauteurs respectivement. Avec des coupes de 60 jours, une biomasse moyenne sur 3 ans de 2,6 tonnes MS/ha en culture intercalaire dans une association maïs/manioc/*C. cajan* a été obtenue (Defly, 2004). Les feuilles fraîches de *C. cajan* contiennent des teneurs en matières azotées totales intéressantes (MAT), variables selon les auteurs (Tableau 4). La digestibilité de la matière sèche est supérieure à 50% (Rao *et al.*, 2002). La Matière Azotée Digestible (MAD) est de 10-12% MS (Niyonkuru, 2002). En dehors de la matière sèche, les différences dans la composition chimique entre les feuilles fraîches et les feuilles séchées ne sont pas significatives. Par ailleurs, les feuilles de *C. cajan* contiennent des teneurs en fibres relativement basses comparativement aux autres arbustes à usage multiple (Masama *et al.*, 1997 ; Shenkute *et al.*, 2013 ; Kaboré *et al.*, 2016).

Tableau 4. Composition bromatologique des feuilles de *C. cajan*.

Composantes	Teneurs (% MS)	Références
MAT	23,8	Masama *et al.*, 1997
	20,63	Karachi et Zengo, 1998
	17	Vitti *et al.*, 2005
	22,3	Shenkute *et al.*, 2013
	13,7	Foster *et al.*, 2009
	23,36	Kaboré *et al.*, 2016
MAD	10-12	Niyonkuru, 2002
ADF	25,85	Kaboré *et al.*, 2016
	29,4	Shenkute *et al.*, 2013
	34,2	Karachi et Zengo, 1998
	48,6	Foster *et al.*, 2009
	56,9	Vitti *et al.*, 2005
NDF	33,2	Shenkute *et al.*, 2013
	52,7	Masama *et al.*, 1997
	65,0	Foster *et al.*, 2009
	69,9	Vitti *et al.*, 2005

Pour Rao *et al.* (2002), la qualité des feuilles de certaines variétés est semblable à celle de la luzerne. Dans des régions où l'on ne peut cultiver de la luzerne ou du *Stylosanthes*, les feuilles de *C. cajan* peuvent les remplacer de manière relativement satisfaisante (Niyonkuru, 2002). Il a été démontré que le fourrage de *C. cajan* augmente la consommation des fourrages grossiers ; ce qui se traduisait par un poids vif élevé des animaux (Odeny, 2007). Des chèvres en croissance, supplémentées avec les feuilles de *C. cajan* en complément du pâturage naturel ont gagné des poids vifs plus rapidement ($P < 0,05$) que les animaux témoins. Les gains de poids vif varient de 25,5 à 43,2 g/tête/jour pour les animaux recevant des feuilles de *C. cajan* contre 6,7 à 21,6 g / tête / jour pour les animaux témoins (Karachi et Zengo, 1998).

En période sèche, des gains moyens quotidiens (GMQ) d'environ 70 g, 92 g et 84 g ont été obtenus chez des jeunes caprins de race Arsi-Bale supplémentés avec des feuilles de *C. cajan* séchées au soleil, à raison respectivement de 66 g/animal, 90 g/animal et 120 g/animal. Ce GMQ a été d'environ 5 g/animal pour les animaux témoins (Shenkute *et al.*, 2013). Chez les ovins, les animaux nourris avec les feuilles de *C. cajan* en complément au pâturage ont présenté des GMQ meilleurs à ceux nourris selon la pratique paysanne durant toute l'année, surtout en saison sèche. En pratique paysanne, en plus du pâturage, les animaux reçoivent de faibles quantités d'épluchures et de feuilles de manioc en période de récolte ainsi que des feuilles de divers arbres. En saison sèche, ce complément est constitué de feuilles d'arbres (Defly, 2004).

En plus de son intérêt en alimentation animale, *C. cajan* est également utilisée en santé animale.

1.4.5.4. Intérêt de *C. cajan* en santé animale

Bien que *C. cajan* soit largement utilisée en pharmacopée humaine, il existe très peu de publications sur son usage en phytotherapie vétérinaire. Ogni *et al.* (2014) signalent qu'au Benin, *C. cajan* est utlisée par les éleveurs pour traiter la coccidiose chez les poulets et les lapins. Au niveau anthelminthique, des extraits hydro-alcooliques des feuilles ont montré *in vitro* des effets anthelminthiques sur le ver de terre adulte indien *Pheretima posthuma*, ver ayant des ressemblances anatomique et physiologique avec les parasites intestinaux et les vers ronds (Singh *et al.*, 2010 ; Pal *et al.*, 2011). Ces propriétés anthelminthiques obtenues sur le ver de terre adulte indien *Pheretima posthuma* ont été confirmées ultérieurement *in vitro* sur *H. contortus* par Kaboré *et al.* (2016) à partir des extraits aqueux des feuilles de cette plante. *In vivo* et au niveau nutraceutique, seuls les résultats de l'essai de Kaboré *et al.* (2016) sont disponibles. Dans cet essai, lorsque les feuilles de *C. cajan* ont été distribuées comme suppléments aux ovins en complément du pâturage naturel, le pourcentage d'œufs de NGI excrétés a diminué de 4,1% tandis que celui des animaux témoins a augmenté de 33%. Cependant, il n'y avait aucune différence significative ($p>0,05$) du pourcentage d'excrétion entre les deux groupes. Pour ce qui est de l'hématocrite, il n'y a pas eu non plus de différence significative entre les deux groupes, bien qu'à la fin de l'essai, l'hématocrite du groupe témoin ait légèrement diminué et que celui du groupe traité ait légèrement augmenté. Concernant le gain de poids, les deux groupes ont enregistré une augmentation de leurs poids vifs du début à la fin de l'essai, mais aucune différence significative n'a été observée entre les deux groupes relativement à ce paramètre.

Au total, la pérennité de l'élevage des petits ruminants passe par l'adoption de mesures de contrôle intégrées, ne faisant appel aux médicaments qu'en dernier recours, pour en prolonger l'efficacité. Il faudrait pour cela combiner une gestion adéquate et durable des ressources génétiques, un niveau alimentaire suffisant, l'utilisation éventuelle de ressources à propriétés anthelminthiques, la gestion des populations parasitaires comme composante de la gestion du pâturage à l'échelle de tout le système d'élevage, l'association de ruminants à spectre parasitaire différent, et des traitements anthelminthiques basés sur des diagnostics individuels. L'emploi de *C. cajan* dans la lutte contre les NGI fait partie de cette solution, parce que cette plante possède des propriétés anthelminthiques, lesquelles propriétés ont été attribuées aux substances phénoliques telles que les flavonoïdes et les tanins qu'elle contient. Or les teneurs de ces

métabolites secondaires varient avec plusieurs facteurs dont la variété et le stade phénologique. Chez *C. cajan*, il existe une grande variabilité génétique chez les parents cultivés et cette variabilité doit être explorée pour n'importe quelle utilisation de cette espèce. C'est donc dans cette optique que s'inscrit la suite du travail dont le but est de contribuer à la réduction de l'utilisation des anthelminthiques de synthèse dans la lutte contres NGI. Il s'agira de voir en premier lieu si la la teneur en polyphénols et en tanins de *C. cajan* varie en fonction des variétés, du stade phénologique et du mode d'exploitation. En deuxième lieu, il s'agira, d'une part, de vérifier si les effets anthelminthiques de *C. cajan* sont fonction de la variété et d'autre part, d'élucider le rôle des tanins condensés dans l'activité anthelminthique de cette plante. En dernier lieu, il s'agira de vérifier si la consommation des feuilles de *C. cajan* par les agneaux Djallonké a, non seulement, des effets sur les nématodes gastro-intestinaux de ces derniers, mais en plus, améliore leur croissance.

CHAPITRE II :
MATERIEL ET METHODES

Pour atteindre les objectifs de cette étude, quatre essais ont été réalisés. Un premier essai a été réalisé au champ avec la culture de neuf variétés de *C. cajan*. Un deuxième essai a été ensuite conduit *in vitro* pour tester l'activité anthelminthique des variétés de *Cajanus* étudiées. Pour terminer, deux essais *in vivo* ont été réalisés pour étudier, chez les agneaux Djallonké, l'effet anthelminthique de deux variétés de *C. cajan*. Le premier a été réalisé exclusivement à l'auge et le second, sur pâturage naturel.

2.1. Analyse de la variation de la teneur en polyphénols totaux et en tanins des feuilles de neuf variétés de *C. cajan* au cours du premier cycle de croissance en fonction du mode d'exploitation

Cet essai a pour objectif de déterminer le meillleur mode d'exploitation, en évaluant la variation de la teneur en polyphénols et en tanins de *C. cajan* au cours du premier cycle de développement de la plante. Il vise également à identifier la variété la plus potentiellement active sur les nématodes gastro-intestinaux (NGI).

2.1.1. Matériel

2.1.1.1. Matériel végétal

Les semences de cinq variétés améliorées, d'une variété traditionnelle et de trois cultivars traditionnels de *C. cajan* ont été utilisées pour l'étude (Tableau 5). Les semences des cultivars traditionnels ont été obtenues en mars 2017 au grand marché de Bondoukou. Elles ont été recoltées en février 2017. Elles ont des couleurs différentes (blanche, rouge et noire). Les autres semences ont été obtenues auprès de l'Institut National de l'Environnement et de la Recherche Agronomique (INERA) du Burkina Faso. Elles sont toutes de couleur rouge et ont été recoltées en septembre 2016. Les variétés améliorées utilisées dans cette étude font parties des dix variétés dévéloppées par ″l'International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics″ (ICRISAT) qui ont pu s'adapter aux conditions locales de la zone sub-humide du Burkania Faso.

Tableau 5. Caractéristiques des variétés et cultivars utilisés.

Variétés/Cultivars	Couleur de la semence	Lieu d'achat de la semence	Nature de la variétés/cultivars
Cultivar local blanc	Blanc	Marché local en Côte d'Ivoire	Cultivar local de la Côte d'Ivoire
Cultivar local rouge	Rouge	Marché local en Côte d'Ivoire	Cultivar local de la Côte d'Ivoire
Cultivar local noir	Noir	Marché local en Côte d'Ivoire	Cultivar local de la Côte d'Ivoire
ICPL 87 119- ASHA	Rouge	**INERA, Burkina Faso	Variété améliorée
ICP 8863-MARUTI	Rouge	INERA, Burkina Faso	Variété améliorée
ICP 7035-KAMICA	Rouge	INERA, Burkina Faso	Variété améliorée
FKB-ROUGE	Rouge	INERA, Burkina Faso	Variété locale du Burkina Faso
ICPL 87 119 GUIMU 3 (Asha)	Rouge	INERA, Burkina Faso	Variété améliorée
ICPL 332 ABAAYA	Rouge	INERA, Burkina Faso	Variété améliorée

**INERA= Institut National de l'Environnement et de la Recherche Agronomique

2.1.1.2. Matériel de pesée, de prélèvement, de transport et de broyage des feuilles de *C. cajan*

Le prélèvement des feuilles fraîches de *C. cajan* a été réalisé à la main (Figure 5). Des sacs en polypropylène, laissant passer l'air ont été utilisés pour la collecte et le conditionnement des feuilles avant leur transport. Un Blender de marque PHILIPS® de capacité 200 ml a servi à broyer les feuilles séchées. Des sacs plastiques biodégradables autorisés en Côte d'Ivoire ont permis le condionnement et la conservation des farines obtenues après broyage. Une balance électronique QUINTIX de portée 600 g et de sensibilité 0,01 g a été utilisée pour peser les farines obtenues.

Figure 5. Prélèvement à la main des feuilles de *C. cajan* et leur mise dans le sac de transport

2.1.1.3. Matériel d'extraction des métabolites secondaires

Pour l'extraction des métabolites sécondaires, une solution d'eau-acétone (30 :70 v/v) a été utilisée. Un ultrason-H de marque J P SELECTA a permis de mettre en suspension dans un bain d'eau, les différents mélanges. Une centrifugeuse de marque HETTICH EBA III a été utilisée pour séparer les liquides, puis de la glace a été utilisée pour garder frais les différents surnageants obtenus. Du coton hydrophile a été utilisé pour filter les extraits liquides obtenus. Une étuve de marque MEMMERT a servi à obtenir des extraits secs à partir des extraits liquides placés dans des cristallisoirs en verre. Ces extraits secs ont été par la suite mis dans des boites à essai en verre.

2.1.1.4. Matériel de dosage des polyphénols totaux et des tanins

De l'eau distillée, des solutions de Folin–Ciocalteu (1 N) et de carbonate de sodium (20%) ont servi de réactifs pour doser les polyphénols totaux. En outre, une solution de polyvinylpyrrolidine insoluble (PVP) a été utilisée, pour le dosage des tanins totaux. En ce qui concerne le dosage des tanins condensés, l'acétone 70%, le réactif HCl-butanol et le réactif ferrique ont été utilisés. Un votex de marque DLAB MX-S a permis d'homogénéiser les solutions. Une centrifigeuse de marque HETTICH EBA III a servi à séparer les solutions et un spectrophotomètre UV JASCO 530 a été utilisé pour la lecture des absorbances.

2.1.2. Zone d'étude

Cette étude a été conduite dans la région centre de la Côte d'Ivoire, précisément dans le District Autonome de Yamoussoukro. L'expérience s'est déroulée à la station semencière de Yamoussoukro (6°54'35,66" N de latitude ; 5°30'57,21" O de longitude), sur un sol de type ferrasol, avec un pH de 6,5, composé majoritairement de sable (77,25%) et de limon (15,75%) avec 1,7% de carbone organique. La pluviosité annuelle moyenne enregistrée de 2006 à 2017 sur cette station est de 1 151,3 mm.

2.1.3. Méthode

2.1.3.1. Mise en place de la parcelle expériementale et dispositif expérimental

Les variétés de *C. cajan* ont été semées en mai 2017. Les graines ont été mises en poquets à raison de trois graines par poquet. Deux sarclages ont été effectués les 32^{e} et 68^{e} jours après le semis (JAS), moments où la population des mauvaises herbes a été jugée abondante. Le démariage a été réalisé au 45^{e} JAS de sorte, à avoir un pied par poquet. Aucun fertilisant ni

pesticide n'a été utilisé. Chaque variété a été semée sur des lignes à raison de huit lignes par variété. Sur chaque ligne, il y a 15 poquets. Les écartements sont de 1 m entre lignes et de 1 m à l'intérieur des lignes. La distance entre deux variétés a été de deux mètres, afin de faciliter la circulation des hommes. Sur les huit lignes par variété, quatre ont été fauchées trois mois après semis, à une hauteur de 100 cm du sol tel que recommandée par Bodji (1997) et les quatre autres lignes sont restées en l'état (Figure 6). Ceci définit deux modes d'exploitation par variété. Il s'agit des plants fauchés et des plants témoins. Pour chaque mode d'exploitation, des prélèvements de feuilles ont été effectuées. Pour l'identification des pieds sur lesquels les prélèvements de feuilles ont été réalisés, la parcelle a été virtuellement divisée en trois parties selon le sens de la pente. Ces parties sont le haut de pente, le milieu de pente et le bas de pente. Deux pieds par variété ont été choisis de façon aléatoire sur les lignes centrales dans chaque zone ainsi délimitée, aussi bien au niveau des lignes fauchées que des lignes non fauchées. Ce qui fait un total de six pieds pour les plants fauchés et six autres pour les plants non fauchés, soit un total de 12 pieds par variété. La figure 7 résume les étapes de mise en place de la parcelle expériementale et du dispositif expérimental.

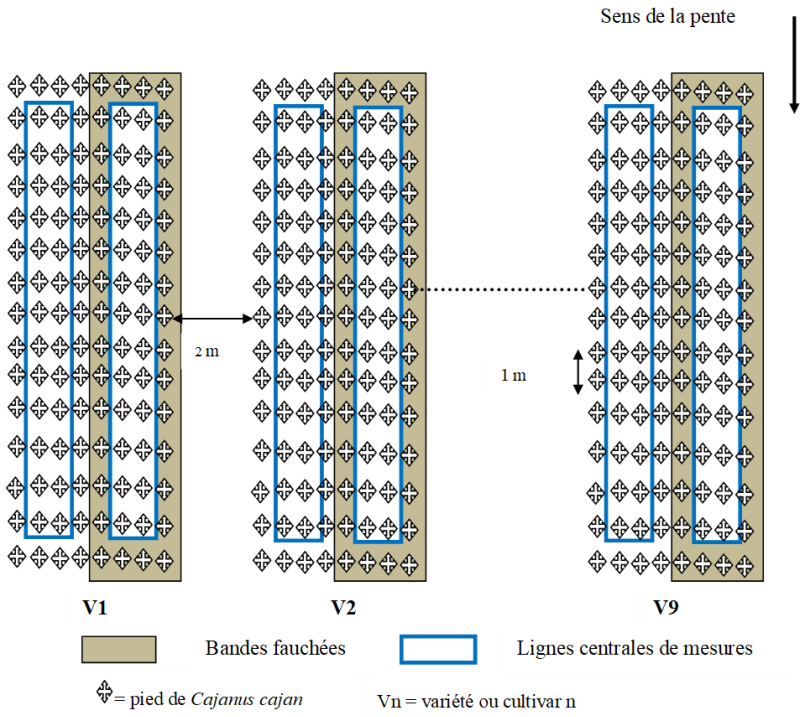


Figure 6. Dispositif de planting et de prélèvement du *C. cajan*

A chaque stade de développment, les feuilles ont été prélevées de la base au sommet de la plante pour chaque mode d'exploitation. Les stades retenus ont été le stade végétatif, le stade floraison, le stade fructification et le stade maturation des gousses. Pour le stade végétatif, les

prélèvements ont été effectués pour toutes les variétés à 90 JAS. Pour les autres stades, le prélèvement s'est fait selon le cycle végétatif de la variété ou du cultivar. Le stade de floraison a été considéré comme atteint, lorsqu'il y a présence des premières fleurs et absence des gousses. Pour le stade fructification, c'est lorsque les premières gousses immatures sont apparues. Enfin, pour le stade maturation des gousses, c'est quand ces premières gousses sont arrivées à maturité.

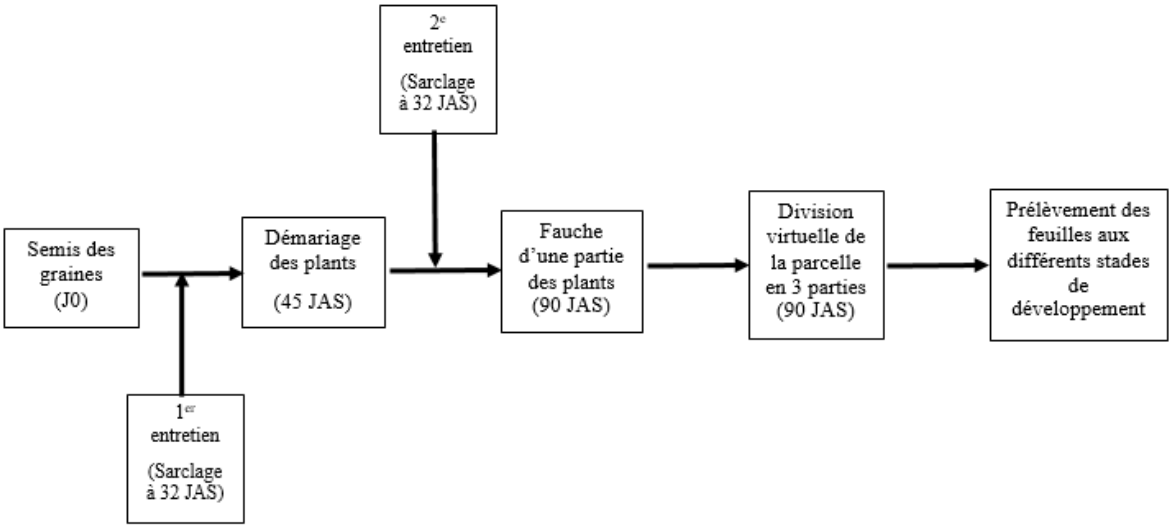


Figure 7. Etapes de mise en place de la parcelle expérimentale et du dispositif expérimental

2.1.3.2. Deshydratation des feuilles et extraction des métabolites secondaires

500 g des feuilles fraiches par stade de développement et variété ont été récoltées et séchées sous abri, à température ambiante pendant 21 jours dans une salle aérée. Elles ont été disposées par variété et par traitement. Les feuilles ont été retournées deux fois par jour pendant le séchage. Outre, le retournement, les feuilles n'ont subi aucun autre traitement pendant le séchage. Une fois sèches, les feuilles ont été par la suite broyées à l'aide d'un Blender de marque PHILIPS de capacité 200 ml. Les farines obtenues ont été conditionnées dans de la sacherie de commerce, puis conservées dans une pièce sèche, à l'abri de la lumière, à température ambiante jusqu'à leur utilisation. A 0,2 g de farine végétale, ont été ajoutés 10 ml d'une solution eau-acétone (30 :70 v/v). Le mélange obtenu a été mis en suspension dans un bain d'eau à ultrasons et soumis à un traitement par ultrasons pendant 30 min (deux fois 15 mn) à la température ambiante. Le contenu a été ensuite soumis à une centrifugation pendant 10 minutes. Le surnageant a été recueilli et gardé sous la glace jusqu'à la fin des analyses, pour la détermination des polyphénols totaux et des tanins (Figure 8).

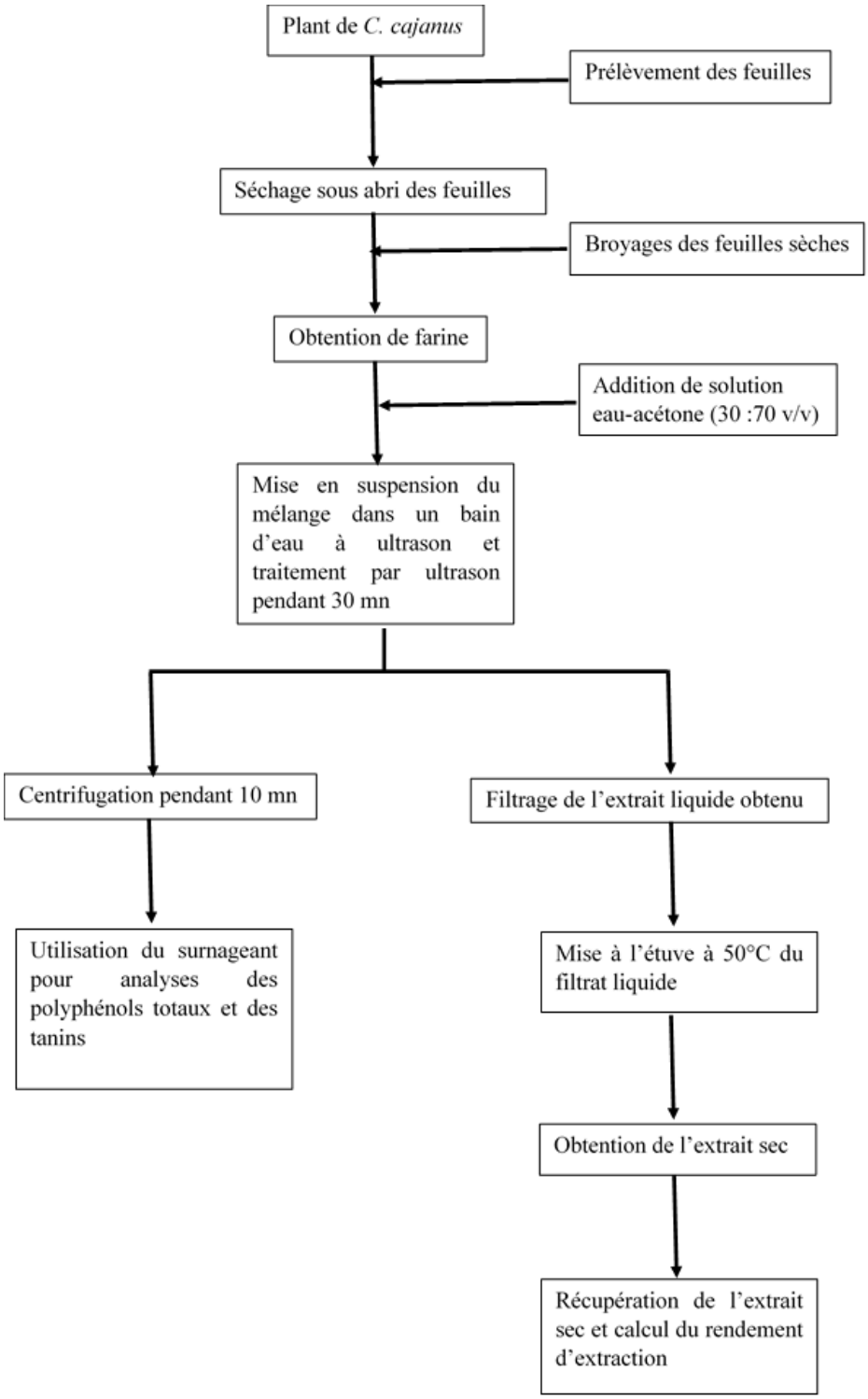


Figure 8. Etapes suivies pour l'obtention de l'extrait sec et du surnageant utilisés pour les dosages des polyphénols et des tanins.

Le même procédé a été repris sur un autre échantillon de farine végétale du stade maturation des gousses jusqu'au traitement par l'ultrason. L'extrait liquide obtenu a été filtré. Le filtrat liquide obtenu a été mis à l'étuve à 50 °C jusqu'à la dessiccation totale. L'extrait sec obtenu a été récupéré puis pesé. Il a été mis par la suite dans des boites à essai en verre et conservé à 4°C

jusqu' à son utilisation pour l'essai *in vitro*. Le rendement d'extraction (R) a été calculé par la suite à partir de la formule suivante.

$$R\ (\%) = \frac{\text{Extrait sec obtenu x 100}}{\text{Quantité de poudre végétale utilisée}}$$

2.1.3.3. Dosage des polyphénols totaux et des tanins

Trois échantillons par variété, par stade de développment et par mode d'exploitation ont été utilisés pour le dosage des polyphénols totaux et des tanins.

Les polyphénols totaux (PT) ont été déterminés par la méthode de Folin Ciocalteu décrite par Makkar (2000). A 25 µL de l'extrait liquide est ajoutée de l'eau distillée jusqu'à l'obtention d'un volume de 0,5 ml. Puis sont ajoutés 0,25 ml de solution de Folin–Ciocalteu (1 N) et 1,25 ml de solution de carbonate de sodium (20%). Le mélange a été homogénéisé et l'absorbance a été lue à la longueur d'onde de 725 nm, grâce à un spectrophotomètre, après 40 min d'incubation à l'obscurité, à la température ambiante (Figure 9). La teneur en PT a été exprimée en gramme équivalent acide tannique par kilogramme de matière sèche (g-éqAT/kg MS).

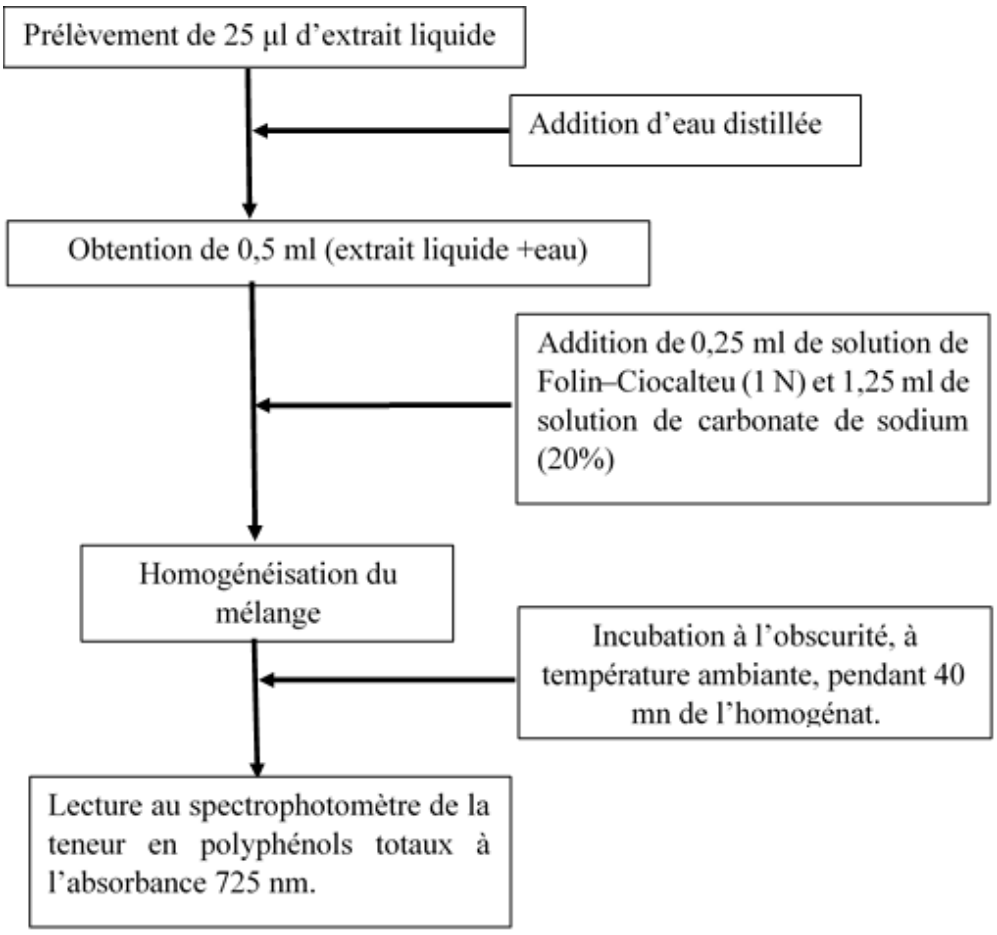


Figure 9. Diagramme de dosage des polyphénols totaux.

Les tanins totaux (TT) ont été estimés indirectement après avoir été bloqués dans la solution par la polyvinylpyrrolidine insoluble (PVP). Ensuite, la teneur en polyphénols totaux dans la solution a été déterminée à nouveau. La concentration des TT a été déterminée comme la différence entre la teneur en PT avant et après le traitement avec la PVP insoluble. En effet, une solution comprenant 100 mg de PVP, 1 ml d'eau distillée et 1 ml de l'extrait, a été constituée. L'ensemble a été homogénéisé puis gardé à 4 °C pendant 15 min. Il a été par la suite centrifugé pendant 10 min et le surnageant a été ensuite recueilli. La teneur en polyphénols totaux a été déterminée sur 50 µL de ce surnageant, par la procédure décrite par Makkar (2000) (Figure 10).

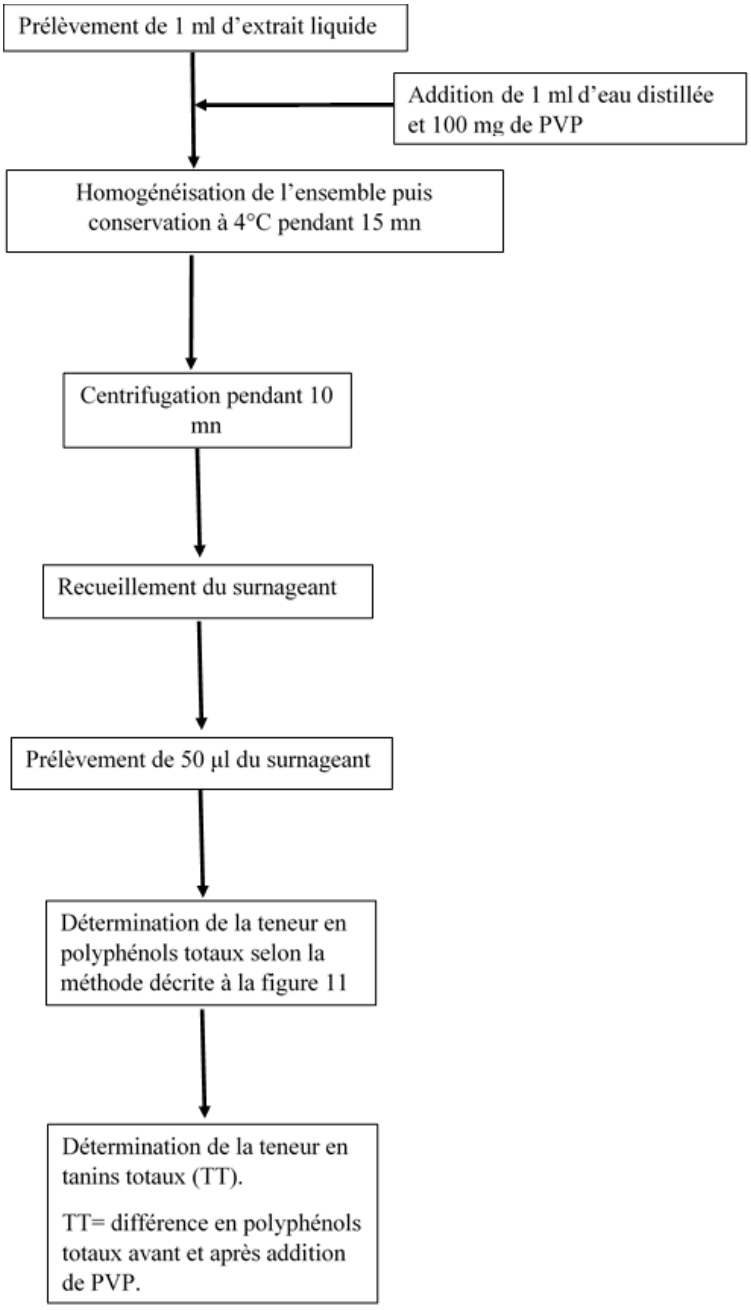


Figure 10. Diagramme de dosage des tanins totaux

Les tannins condensés (TC) ont été déterminés par la méthode de HCl-Butanol (Makkar, 2000). Une quantité de 0,50 ml de l'extrait dilué avec l'acétone 70% a été prélevé puis 3 ml du réactif HCl-butanol et 0,1 ml du réactif ferrique y ont été ajoutés et le tout, a été homogénéisé. Il a été mis par la suite dans un bain d'eau bouillante pendant 60 min puis refroidi. Les absorbances ont été lues à 550 nm, grâce au spectrophotomètre UV JASCO 530 (Figure 11).

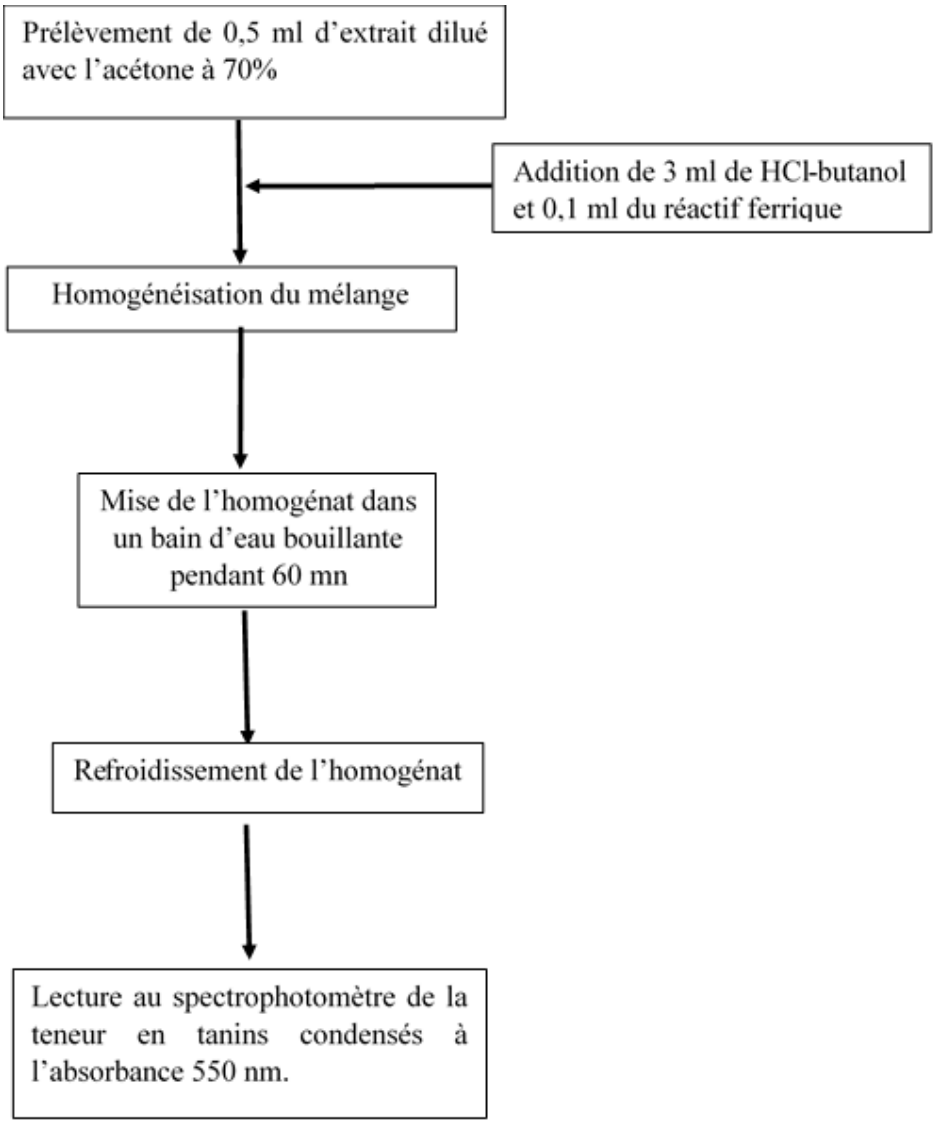


Figure 11. Diagramme de dosage des tanins condensés

La teneur en tanins condensés, exprimée en g-éq leucocyanidine/kg MS, est donnée par la formule suivante.

$$TC = \frac{A_{550nm} \text{ x } 78{,}26 \text{ x } 0{,}5}{\% \text{ matière sèche}}$$

2.2. Evaluation de l'activité anthelminthique *in vitro* des extraits de feuilles de *C. cajan* sur *Haemonchus contortus* en fonction de la variété

Cette étude a pour objectifs de vérifier s'il y a une différence significative entre les effets anthelminthiques (AH) des différentes variétés de *C. cajan* utilisées et d'élucider le rôle des tanins dans l'activité AH de cette espèce.

2.2.1. Matériel

L'étude a nécessité du matériel biologique, principalement les feuilles de *C. cajan* et des ovins *Ovis aries*. Du matériel de laboratoire et du matériel technique ont également été utilisés.

2.2.1.1. Matériel biologique

Les extraits hydroacétoniques secs (30:70 v/v) des neuf variétés, issus des feuilles de *C. cajan* récoltées au stade maturation, précédemment préparés dans l'essai antérieur ont été utilisés. Le stade maturation a été retenu parce que c'est à ce stade que les plantes concentrent le plus de métabolites secondaires.

Des vers adultes (âgés d'au moins 35 jourrs) de *H. contortus*, fraichement prélévés dans la caillette d'ovins (*Ovis aries*) sahéliens abattus, ont été utilisés pour tester l'efficacité *in vitro* des extraits. Ces ovins abattus sont des adultes dont le poids est supérieur à 40 kg. Ces ovins ont été élevés dans leur pays d'origine (Mali et Burkina Faso) selon un système extensif. Ils ont été presque nourris exclusievement sur pâturage naturel.

2.2.1.2. Matériel de laboratoire

La solution de Phosphate Buffered Saline (PBS) a été utilisée pour maintenir les vers adultes collectés en vie. Le PBS est un liquide physiologique qui maintient les vers adultes en vie, théoriquement pour au moins 24 heures. Le lévamisole en poudre (Polystrongle ®), un anthelminthique de synthèse, a été utilisé comme témoin.

2.2.1.3. Matériel technique

Des pinces ont été utilisées pour collecter soigneusement les vers adultes vivants dans la caillette des animaux. Cette même pince a servi à vérifier la motilité des vers adultes. Une bouteille en polypropylène a permis de recueillir les vers vivants collectés. Une loupe de grossissement (G x 10) de marque Motic, SMZ-161, a été utilisée pour observer la motilité des vers adultes dans les boîtes de Pétri.

2.2.2. Méthode

Le test de motilité des adultes (TMA) selon le modèle de Eguale *et al.* (2006), a été employé. *H. contortus* a été utilisé comme modèle. Ce nématode a été choisi parce qu'il est hautement pathogène et a été largement utilisé par plusieurs auteurs pour évaluer les effets anthelminthiques de diverses plantes médicinales (Eguale *et al.*, 2006). En Côte d'Ivoire, il constitue avec *T. colubriformis*, les nématodes les plus prévalents chez les petits ruminants. Par ailleurs, il est mis en cause dans la plupart des résistances aux traitements anthelminthiques en Afrique tropicale (Atsé-Achi *et al.*, 2004).

Après la collecte des vers adultes à l'abattoir de petits ruminants de Bouaké et leur maintien en vie, ils ont été immédiatement acheminés au Laboratoire National d'Appui au Développement Agricole (LANADA), à Bouaké. Après 1 heure de repos, six vers activement mobiles ont été exposés, à température ambiante (25 à 30 ° C), dans des boîtes de Pétri, à chacun des traitements suivants :

1. extraits aqueux-acétone bruts à 60 mg / ml préparés dans du PBS ;
2. extrait aqueux-acétone brut à 60 mg / ml plus 50 mg / ml de polyvinylpyrrolidone (PVP) pour éliminer sélectivement les tanins dans les extraits dissous (Williams *et al.*, 2014), tous préparés dans du PBS ;
3. lévamisole à 20 mg / ml selon Singh et *al*. (2010) préparé dans de l'eau distillée ;
4. PBS (contrôle négatif).

Le temps M (minutes), qui représente le temps écoulé entre le contact des vers avec la solution d'extrait et le moment où les vers ont perdu leur motilité, a été choisi comme critère d'activité anthelminthique. Cette motilité des vers a été évaluée en les touchant avec une pince pendant cinq à six secondes.

2.3. Evaluation de l'effet de la supplémentation avec les feuilles de *C. cajan* d'une ration à base de paille de *Panicum maximum* C1 sur le parasitisme gastro-intestinal et la croissance des agneaux Djallonké

Cet essai a pour objectifs d'évaluer en l'absence de la source de re-infestation (i) l'effet *in vivo* des feuilles de *C. cajan* sur NGI des ovins Djallonké nourris avec la paille de *Panicum maximum* C1, et (ii) son impact sur les performance de croissance des agneaux Djallonké. Le matériel utilisé et la démarche expérimentale sont décrits dans ce paragraphe.

2.3.1. Matériel

Le matériel est composé du matériel biologique, de l'anthelminthique de synthèse, des réactifs et du matériel de laboratoire. Le matériel biologique est constitué des animaux et des fourrages expérimentaux.

2.3.1.1. Animaux et fourrages expérimentaux

Des agneaux de race Djallonké sevrés âgés de six à sept mois, d'un poids compris entre 8 et 12 Kg, infestés naturellement et élevés en troupeau unique sur pâturage artificiel de *Panicum maximum* C1 depuis leur naissance ont été utilisés. Ces agneaux ont été déparasités contre les parasites internes, quatre mois avant le début de l'essai. L'anthelminthique de synthèse utilisé est le lévamisole (bolumizole ®), à raison d'un demi-bolus pour 75 Kg de poids vif. Ils ont également subi un déparasitage externe à l'alphacypermetrine au début de l'essai, à raison de 1 ml du produit pour 5 l d'eau et pour 5 têtes.

La paille de *P. maximum* C1 a servi d'aliment de base au cours de l'essai. Des feuilles fraiches du cultivar local rouge (CLR) (variété tardive) et de la variété ICPL 87 119 GUIMU 3 (Asha) (variété précoce) ont été utilisées comme supplément au fourrage de base. Elles ont été préalablement mises en place, sur le même site en octobre 2018, sur une superficie de 1250 m^2 (50 m x 25 m) chacune, et cultivées dans les mêmes conditions. Au cours de cet essai, le CLR a été au stade végétatif et la variété ICPL 87 119 GUIMU 3 (Asha) au stade floraison-fructification. Le choix de ces deux variétés est justifié par les résultats de l'essai précédent. Chez ces deux variétés, les tanins, responsables de l'activité nutraceutique des plantes fourragères, ont joué un rôle déterminant dans leurs activités anthelminthiques.

Des épluchures séchées de manioc ont été additionnées à la ration comme complément alimentaire.

2.3.1.2. Anthelminthique de synthèse, réactifs et matériel de laboratoire

Le lévamisole en bolus de 150 mg (bolumizole ®) a été utilisé comme anthelminthique de synthèse pour le déparisatage interne. Pour la détermination de la teneur en cendre, un creuset en porcelaine, un four à moufle électrique équipé de contrôleur de température de marque Nabertherm (30-3000°C) et un dessiccateur en verre avec déshydratant de gel de silice ont été utilisés. De l'acide sulfurique (95%), du cetyltrimet hylammonium bromure ($C_{19}H_{42}BrN$), de l'eau distillée et de l'acétone ont été utilisés, comme réactif pour la détermination des fibres (ADF). Pour la détermination des matières azotées totales (MAT), l'acide sulfurique et le mercure ont été utilisés comme de catalyseurs de minéralisation. La soude ayant été par la suite utilisée pour la transformation en ammoniac des ions NH_4^+. Un minéralisateur de Kjeldalh, un distillateur automatique de Parnas et Wagner et des tubes de minéralisation ont été employés pour la minéralisation et la distillation.

L'hexane a été employé comme solvant d'extraction pour l'obtention des matières grasses. Un rotavapor R-215 de marque BUCHI et une étuve de marque MEMMERT ont également été utilisés respectivement pour le refroidissement et le séchage du mélande constitué de l'héxane et de l'échantillon.

Une lame de Mac Master, un microscope optique Motic BA41OE, une solution saline de chlorure de sodium, un pilon à mortier, un passoire à thé à maille fine (maille de 0,5 mm de diamètre), une pipette pasteur, et la verrerie ont permis de soumettre les échantillons de fèces à la méthode quantitative de Mac Master. Des tubes héparinés ont servi à préléver des échantillons de sang. Puis des tubes capillaires (heparin, 75mm/µL) et une centrifugeuse à hématocrite (centrifugeuse différentielle) de marque HEMATOKRIT 210 à 1500 tours/min ont été employés pour la détermination de l'hématocrite.

Une balance électronique de portée 15 kg et de sensibilité 0,01 kg a permis de peser les animaux. Deux autres de portées 5 kg et 600 g et de sensibilités 1 g et 0,01g ont été utilisées, respectivement pour peser les aliments et les échantillons de fèces.

2.3.2. Zone d'étude

L'étude a été conduite à Toumodi, précisément à Station Ovine de Toumodi. La localité de Toumodi est située dans la région du Bélier à 30 km de la capitale politique Yamoussoukro et à 198 km de la capitale économique Abidjan. Elle est localisée entre les latitudes 6° 12 et 6° 50 Nord et les longitudes 4° 50 et 5° 20 Ouest. Le relief est peu accidenté avec quelques plateaux (dont l'altitude moyenne varie de 200 à 300 m) et des chaînes de collines granitiques. La

succession des hauts plateaux constitue une chaîne de montagnes connue sous le nom de «chaîne baoulé ou V baoulé ». Sa végétation est celle de la zone de transition des forêts et des savanes. Le climat est de type équatorial de transition entre les climats soudanien et guinéen appelé climat baouléen. Il est caractérisé par deux saisons de pluies (mars à juillet et septembre à octobre) et deux saisons sèches (juillet à août et novembre à février) avec présence d'harmattan. Les précipitations sont moyennement abondantes (1200 mm/an). L'humidité relative varie entre 75 et 85 % avec des chutes allant jusqu'à 40 % en période d'harmattan. Les températures quant à elles varient de 23° C à 33° C. Au niveau pédologique, on rencontre les sols ferralitiques sur roche-mère granitique en zone de forêt, les sols argileux ou sablo humifère ou hydro morphe, près des cours d'eau, dans les bas- fonds et dans les zones près du Bandama et les sols composés de roches basiques et des cuirasses en zone de savane (Alla, 2015).

2.3.3. Méthode

L'essai a été conduit de mai à juin 2019. Il a porté sur 24 agneaux sevrés Djallonké. Ces agneaux ont été divisés en fonction du poids vif de sorte à limiter les variations inter-groupes, et de la concentration initiale en œufs de nématodes par gramme (OPG) de fèces, de sorte à réduire les variations intra-groupe, très fréquentes en infestations naturelle (Roeber *et al.*, 2013; González-Garduño *et al.*, 2017). Quatre groupes de six têtes ont ainsi été créés (Tableau 6). Les animaux ont été placés dans des loges individuelles en grillage de dimension 2 m x 1 m (Figure 12). Ils ont reçu l'eau à volonté au cours de l'essai.

Tableau 6. Poids initiaux des différents lots d'animaux.

Lots d'animaux	Poids initial (kg)
Lot 1	11,04±1,69
Lot 2	11,55±1,04
Lot 3	10,49±1,39
Lot 4	10,66±1,25

Lot 1= animaux n'ayant reçu aucun traitement ; lot 2= animaux ayant reçu l'anthelminthique de synthèse ; lot 3= animaux ayant reçu les feuilles du cultivar local rouge de *C. cajan* et lot 4 = animaux ayant reçu les feuilles de la variété ICPL 87 119 GUIMU 3 (Asha) de *C. cajan.*

L'essai a duré 40 jours et a été fait en stabulation entravée, compte tenu des risques élevés de mortalité. Les animaux ont reçu comme aliment de base la paille de *Panicum maximum* C1. Deux groupes sur les quatres, ont reçu en plus, des feuilles fraiches soit du cultivar local rouge (CLR) (variété tardive), soit de la variété ICPL 87 119 GUIMU 3 (Asha) (variété précoce). Le

Tableau 7 et la Figure 13 donnent respectivement les traitements subis par chaque groupe d'animaux et le dispositif expériemental.

Figure 12. Agneaux Djallonké dans des loges individuelles

Tableau 7. Traitements subis par groupe d'animaux

Groupes d'animaux	Aliment	Traitements
Lot 1	Paille de *Panicum maximum* C1 + 50 g d'épluchure de manioc séchée au soleil.	Néant
Lot 2	Paille de *Panicum maximum* C1 + 50 g d'épluchure de manioc séchée au soleil	Lévamisole (bolumizole ®) en début d'essai, à raison d'un demi-bolus pour 75 Kg de poids vif.
Lot 3	Paille de *Panicum maximum* C1 + 50 g d'épluchure de manioc séchée.	Feuilles fraiches du CLR.
Lot 4	Paille de *Panicum maximum* C1 + 50 g d'épluchure de manioc séchée.	Feuilles fraiches de la variété ICPL 87 119 GUIMU 3 (Asha).

Lot 1= animaux n'ayant reçu aucun traitement ; lot 2= animaux ayant reçu l'anthelminthique de synthèse ; lot 3= animaux ayant reçu les feuilles du cultivar local rouge de *C. cajan* et lot 4 = animaux ayant reçu les feuilles de la variété ICPL 87 119 GUIMU 3 (Asha) de *C. cajan.*

La quantité de 50 g d'épluchure de manioc séchée a été retenue suivant les recommandations de Jabbar *et al.* (1997). Les épluchures ont été distribuées à 8h ; l'aliment de base à 9 h et les feuilles de *C. cajan* à 15 h.

Les feuilles de *C. cajan* ont été fauchées à 11 h pour éviter la rosée, puis conservées sous abri, avant d'être distribuées aux animaux. Leurs quantités ont été augmentées de 20% par rapport à

la moyenne de l'ingestion de la semaine qui précéde, de sorte à prendre en compte l'augementation éventuelle du poids corporelle des animaux.

Les quantités de *P. maximum* C1 distribuées ont été augmentées de 30% par rapport à la moyenne de l'ingestion de la période de dix jours qui précéde, de sorte à prendre en compte l'augementation éventuelle du poids corporelle des animaux.

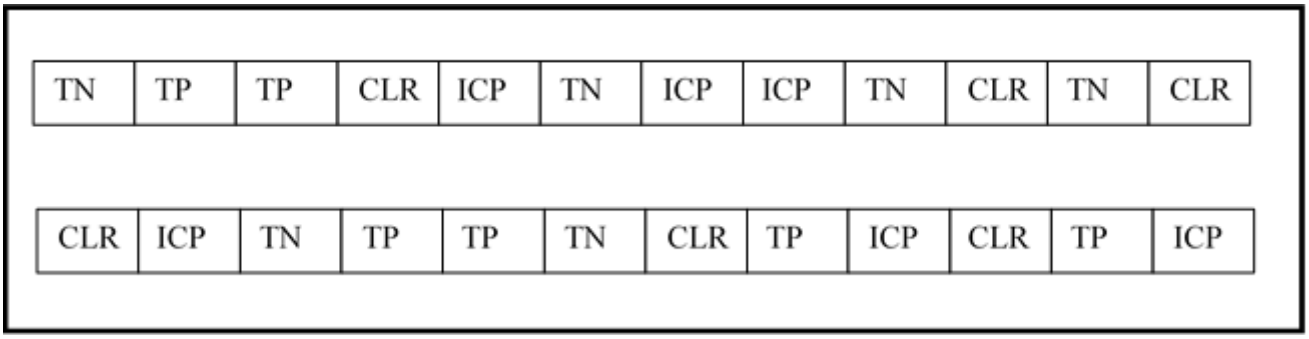


Figure 13. Dispositif expériemental

TN = animaux n'ayant reçu aucun traitement (témoin négatif); TP = animaux ayant reçu l'anthelminthique de synthèse (témoin positif); CLR= animaux ayant reçu les feuilles du cultivar local rouge de *C. cajan*; ICP = animaux ayant reçu les feuilles de la variété ICPL 87 119 GUIMU 3 (Asha) de *C. cajan*

2.4. Evaluation de l'effet de la consommation des feuilles de *C. cajan* en supplément du pâturage naturel sur le parasitisme gastro-intestinal et la croissance des agneaux Djallonké.

Cet essai a pour objectifs d'évaluer en présence continue de la source de re-infestation (i) l'effet *in vivo* des feuilles de *C. cajan* sur NGI des ovins nourris sur pâturage naturel et (ii) son impact sur les performance de croissance des agneaux Djallonké.

2.4.1. Matériel

Le matériel est composé du matériel biologique, de l'anthelminthique de synthèse, des réactifs et du matériel de laboratoire. Le matériel biologique est constitué des animaux et des fourrages expérimentaux.

2.4.1.1. Animaux et fourrages expérimentaux

L'aliment de base dans la présente étude est un pâturage naturel de deux ha. Un groupe de 24 agneaux de race Djallonké sevrés, âgés de six à sept mois, d'un poids compris entre 8 et 12 Kg ont été utilisés dans l'expériementation. Ces agneaux ont été déparasités contre les parasites internes, cinq mois avant le début de l'essai. L'anthelminthique utilisé est le lévamisole (bolumizole ®), à raison d'un demi-bolus pour 75 Kg de poids vif. Ils ont également subi un déparasitage externe à l'alphacypermetrine au début de l'essai, à raison de 1 ml du produit pour 5 l d'eau et pour 5 têtes.

2.4.1.2. Anthelminthique de synthèse, réactifs, matériel de laboratoire et zone d'étude

L'anthelminthique de synthèse, les réactifs et le matériel utilisés dans cette étude sont les mêmes que ceux utilisés dans l'essai *in vivo* précédent. La zone d'étude et le lieu de l'essai sont les mêmes que ceux de l'essai *in vivo* précédent, c'est-à-dire la Station Ovine de Toumodi.

2.4.2. Méthode

2.4.2.1. Mise en lot des animaux

L'essai a été conduit de juin à août 2019. Il a duré 46 jours et a concerné 24 agneaux Djallonké sevrés. Ces agneaux ont été regroupés en quatre lots homogènes de six têtes en fonction du poids vif et de la concentration initiale en œufs de nématodes par gramme (OPG) de fèces (Tableau 8). Ils ont été placés dans des loges individuelles en grillage de dimension 2 m x 1 m. Le dispositif expérimental est le même que celui de l'essai précédent.

Tableau 8. Caractéristiques initiales des différents lots d'animaux.

Lots d'animaux	Poids initial (kg)
Lot 1	10,60±1,69
Lot 2	11,14±1,10
Lot 3	10,05±1,42
Lot 4	10,26±0,93

Lot 1= animaux n'ayant reçu aucun traitement ; lot 2= animaux ayant reçu l'anthelminthique de synthèse ; lot 3= animaux ayant reçu les feuilles du cultivar local rouge de *C. cajan* et lot 4 = animaux ayant reçu les feuilles de la variété ICPL 87 119 GUIMU 3 (Asha) de *C. cajan.*

2.4.2.2. Alimentation des animaux

Le matin, à 8h, les animaux se rendent sur le pâturage naturel sous la conduite d'un berger et y séjournent jusqu'à 16 h. A leur retour du pâturage, ils reçoivent ou non, des feuilles fraiches, soit du CLR, soit de la variété ICPL 87 119 GUIMU 3 (Asha). Ils ont reçu l'eau à volonté au cours de l'essai. Au cours de cet essai, les deux variétés de *C. cajan* ont été, chacune au même stade de dévéloppment que dans l'essai *in vivo* précédent, c'est-à-dire au stade végétatif pour le CLR et au stade floraison-fructification pour la variété ICPL 87 119 GUIMU 3 (Asha). Le Tableau 9 résume les traitements subis par chaque groupe d'animaux.

Tableau 9. Traitements subis par groupe d'animaux

Groupes d'animaux	Aliment de base	Traitements
Lot 1	pâturage naturel	Néant
Lot 2	pâturage naturel	Lévamisole (bolumizole ®) en début d'essai, à raison d'un demi-bolus pour 75 Kg de poids vif
Lot 3	pâturage naturel	Feuilles fraiches du cultivar local rouge (CLR)
Lot 4	pâturage naturel	Feuilles fraiches de la variété ICPL 87 119 GUIMU 3 (Asha)

Lot 1= animaux n'ayant reçu aucun traitement ; lot 2= animaux ayant reçu l'anthelminthique de synthèse ; lot 3= animaux ayant reçu les feuilles du cultivar local rouge de *C. cajan* et lot 4 = animaux ayant reçu les feuilles de la variété ICPL 87 119 GUIMU 3 (Asha) de *C. cajan.*

Les feuilles de *C. cajan* ont été fauchées à 11 h pour éviter la rosée, puis conservées sous abri, avant d'être distribuées aux animaux. Leurs quantités ont été augmentées de 20% par rapport à la moyenne de l'ingestion de la semaine qui précéde, de sorte à prendre en compte l'augementation éventuelle du poids corporelle des animaux.

2.4.2.3. Caractérisation du pâturage naturel

A l'optimum de végétation, la strate herbacée du pâturage naturel a été caractérisée par la méthode des points quadrats alignés de Daget et Poissonet (1971). Elle a consisté à tendre un ruban gradué (décamètre) entre deux piquets au dessus ou au sein de la végétation. Tous les 100 cm, on a laissé pénétrer une tige métallique de 3 mm ou 4 mm de diamètre ayant une longueur égale au moins la hauteur de l'herbe. La lecture s'est faite en notant à chaque point les espèces dont un organe touche la tige métallique. Cependant, une espèce a été notée qu'une fois par point de lecture.

Trois relevés de 50 points, respectivement en haut de pente, au milieu de pente et en bas de pente ont été réalisés. La contribution spécifique des espèces présentes a été calculée selon la formule 1.

$$CSi = \frac{\text{ni}}{\sum \text{ni}} \quad (1)$$

Avec ni : nombre d'unités d'échantillonnage où l'espèce i a été trouvée.

La valeur pastorale globale brute (VPb) du pâturage, qui est un indice caractéristique de la valeur d'un pâturage de bovins et d'ovins, à partir d'un relevé en contribution spécifique (Kouassi, 2013) a été calculée. C'est une valeur qui permet de hiérarchiser les herbages selon leur qualité et leur intérêt pour l'alimentation du troupeau. Cet indice tient compte de la composition floristique, de la structure de la végétation et de l'intérêt des espèces animales (Daget *et al.*, 2010). Elle est obtenue en multipliant la contribution spécifique de chaque espèce par son indice spécifique (IS). La somme de tous ces produits a été ensuite divisée par 5 ; la valeur pastorale a été ainsi exprimée en pourcentage (César, 2005)**.**

Ainsi, la valeur pastorale globale brute (VPb) a été donnée par la formule 2.

$$\text{VPb } (\%) = \frac{1}{5} \text{x} \sum (\text{CSi x Isi}) \quad (2)$$

Avec VPb : Valeur pastorale globale brute ; CSI : Contribution spécifique de l'espèce i ; ISi : Indice Spécifique de l'espèce i.

La valeur pastorale globale nette (VPn) a été par la suite calculée par la formule 3 (Daget *et al.*, 2010).

$$\text{VPn } (\%) = \text{VPb x RV} \quad (3)$$

Avec VPn : Valeur pastorale globale nette ; RV (%) : Recouvrement de la végétation = 100 - ∑CSi.

L'indice spécifique (IS) traduit l'intérêt zootechnique d'une espèce végétale, c'est-à-dire sa valeur bromatologique. Sa détermination repose sur l'appétibilité (ou l'appétence), la productivité (kg MS/ha/jour) et la valeur nutritive des espèces obtenue à partir de la composition chimique (Akpo et Grouzis, 2000; Daget *et al.*, 2010; Kouassi, 2013). Les indices spécifiques (IS) des différentes espèces dans la présente étude ont été obtenus en s'appuyant en premier lieu sur le classement des espèces réalisé par les bergers de la Station Ovine de Toumodi. Ce classement a été par la suite comparé aux données de la littérature (César et Coulibaly, 1993; César, 2005; Daget *et al.*, 2010; Kouassi, 2013). La valeur qui a été retenue est celle qui est revenue le plus. Les meilleures espèces ont porté la note 5 et celles qui ne sont jamais broutées ont été notées 0 (César, 2005).

2.5. Mesure de l'effet de *C. cajan* sur la croissance

Au cours des deux essais *in vivo*, les animaux ont été pesés régulièrement. Ces pesées ont été effectuées les matins à jeûn. Une pesée a eu lieu en début d'essai et à intervalles réguliers de dix jours dans le premier essai *in vivo* (essai en stabulation entravée). Dans le second essai *in vivo* (essai sur pâturage naturel), une pesée a eu lieu en début d'essai et à intervalles réguliers de sept jours. L'effet des feuilles de *C. cajan*, sur la croissance des agneaux a été apprécie au travers des gains moyens quotidiens (GMQ), calculés selon la formule 4.

$$GMQ\ \left(\frac{\text{Kg}}{\text{j}}\right) = \frac{\text{Poids moyen final du lot} - \text{Poids moyen initial du lot}}{\text{Durée d}'\text{élevage(jour)}} \qquad (4)$$

2.6. Mésure de l'ingestion des aliments par les animaux

Une période d'adaptation de dix jours a été observée pendant les deux essais *in vivo*. Au terme de cette période d'adaptation, les quantités d'aliments offertes par jour, au cours des essais ont été pesées quotidiennement et trois échantillons ont été prélevés tous les dix jours pour l'essai en stabulation et chaque semaine pour l'essai sur pâturage naturel. Les quantités refusées ont également été pesées quotidiennement. Ces échantillons prélévés ont été portés à l'étuve à 70° pendant 72H pour la détermination du taux de matière (TMS) selon la formule 5.

$$\text{TMS}\ (\%) = \frac{\text{Poids frais de l}'\text{échantillon mis à l'étuve}}{\text{poids sec de l}'\text{échantillon mis à l'étuve}} \qquad (5)$$

La matière fraiche ingérée (MFI) a été déterminée par la différence entre la matière fraiche offerte et celle refusée, par la formule 6.

$$(\text{MFI}) = \text{quantité distribuée} - \text{quantité refusée} \quad (6)$$

La matière sèche ingérée (MSI) a été calculée par la suite, à l'aide de la formule 7.

$$\text{MSI} = \text{quantité de matière fraiche ingérée} \times \text{taux MS aliment ingeré} \quad (7)$$

2.7. Déterminatin de la valeur bromatologique des aliments consommés par les animaux

Les cendres, l'azote et la matière grasse ont été dosés par les méthodes standardes de AOAC (2000). Les fibres brutes (acid detergent fibre (ADF)) ont été dosées par la méthode de Van Soest et *al.* (1991). Pour chaque élément dosé, trois échantillons sechés à l'étuve à 70° pendant 72 H ont été utilisés. Ces échantillons secs ont été ensuite réduits en poudre à l'aide d'un Blender de marque PHILIPS.

La teneur en cendre a été obtenue par la méthode de calcination à 550 °C au four à moufle pendant 4 heures. Cinq (5) g d'échantillon ont été placés dans un creuset en porcelaine dont le poids à vide P0 a été préalablement déterminé. L'ensemble a été porté à 550 °C au four à moufle pendant 4 heures. Après calcination, puis refroidissement du creuset dans un dessiccateur en verre, la teneur en cendre a été déterminée par la formule 8.

$$\text{Taux en cendre (\%)} = \frac{(\text{P1}-\text{P0}) \text{ x } 100}{\text{PE}} \quad (8)$$

Avec P1 : poids de l'ensemble creuset+échantillon après refroidissement au sortir du dessicateur ; P0 : poids du creuset vide ; PE : poids de l'ensemble creuset+échantillon avant leur mise à la dessication.

L'azote organique a été minéralisé sous forme de sulfate d'ammonium par l'action conjuguée de l'acide sulfurique et du mercure, comme catalyseurs de minéralisation. Les ions NH_4^+ issus de cette minéralisation, ainsi que ceux qui préexistaient dans l'eau, ont été transformés ensuite en ammoniac par de la soude. L'ammoniac, entrainé par un courant de vapeur vers l'acide sulfurique (solution de piégeage) a été dosé par acidimétrie. L'azote total (MAT) a été obtenu par la formule 9.

$$\text{MAT}\ (\%) = 6{,}25\ \text{x}\ \text{N} \qquad (9)$$

Avec N : azote organique.

Pour l'obtention des matières grasses, 5 g de poudre de feuille ont été solubilisés dans de l'hexane pendant 4 heures. Les matières grasses ont été obtenues après évaporation au rotavapor, puis séchage à l'étuve à 80 °C pendant 30 mn. Après refroidissement au dessicateur, elles ont été pesées.

Pour la détermination des fibres (ADF), une solution détergente a d'abord été préparée avec 28,2 ml d'acide sulfurique (95%), 20 g de cetyltrimet hylammonium bromure ($C_{19}H_{42}BrN$) et de l'eau distillée. Ensuite, un échantillon (1 g) a été ajouté à la solution détergente d'acide ; le tout a été porté à ébullition, pendant une heure. Après lavage, filtration sous pression à vide du résidu puis séchage chimique à l'acétone suivi du séchage termique au four à 105°c pendant 12 heures, le taux de fibre (ADF) a été obtenu par la formule 10.

$$\text{ADF}\ (\%) = \frac{(\text{P2}-\text{P1})\ \text{x}\ 100}{\text{Pe}} \qquad (10)$$

Avec P2 : masse de (creuset+échantillon après opération) ; P1 : masse du creuset à vide et Pe : masse de l'échantillon avant opération.

2.8. Détermination de l'effet de *C. cajan* sur l'excrétion des œufs par NGI

Tout le long des essais, des prélèvements de fèces par fouille rectale, à l'aide des doigts (Figure 14) ont été effectués les matins (7 heure), au moment où les animaux sont encore à l'auge. Ces prélèvements ont pour but de suivre l'évolution du niveau d'excrétion des œufs de nématodes gastro-intestinaux que sont *H. contortus* et *T. colubriformis*. La quantité de fécès prélevés par animal est fonction du niveau de production de fécès de cet animal. Cependant, quelque soit ce niveau de production, un minimum de 20 g de fécès par animal a été prélévé

Figure 14. Séance de prélèvement de fèces au rectum

Le niveau d'excrétion des œufs a été apprecié par le nombre d'œufs par gramme (OPG) de fèces. Pour ce faire, les échantillons de fèces ont été transportés sous glace et soumis, une fois au laboratoire, à la méthode quantitative de Mac Master (Sacramento *et al.*, 2010). Trois (3) grammes de fèces pilées ont été melangés à 42 ml de chlorure de sodium. Le tout a été tamisé à travers un tamis à thé. La solution obtenue a été utilisée pour remplir un tube à centrifugation. Le surnageant a été prélévé à l'aide d'une pipette pasteur pour remplir les deux chambres de la lame de McMaster. La lecture a été effectuée au microscope (G x 40). L'OPG a été déterminé par la formule 11.

$$\mathrm{OPG} = (\mathrm{n1} + \mathrm{n2})\ \mathrm{x}\ 50 \qquad (11)$$

Avec n1 : nombre d'œufs dénombrés dans la cellule 1 ; n2 : nombre d'œufs dénombrés dans la cellule 2.

Au cours du premier essai *in vivo* (essai en stabulation entravée), les OPG ont été déterminés au début de l'essai (J0), puis à J20, J30 et J40. Pour le second essai *in vivo* (essai en stabulation libre), ces déterminations ont été effectuées aux jours J0, J20, J34 et J44.

L'efficacité des traitements a été évaluée par le test de réduction de l'excrétion des œufs dans les matières fécales, « FECR » (Faecal Egg Count Reduction) de Taylor *et al.* (2002) reprise par Pook *et al.* (2002). Ce test considère les OPG moyens avant et après les traitements, selon la formule 12.

$$\mathrm{FECR}\ (\%) = [1 - \left(\frac{\mathrm{T1}}{\mathrm{T2}}\right)\ (\frac{\mathrm{C2}}{\mathrm{C1}})]\mathrm{x}\ 100 \qquad (12)$$

Avec FECR (%) : taux de réduction fécale ; T1 : OPG au n^{e} jour après le traitement ; T2 : OPG initial du lot traité ; C1 : OPG au n^{e} jour après le traitement du lot témoin ; C2 : OPG initial du lot témoin.

Cette formule permet de corriger les réductions du nombre d'œufs en tenant compte des changements dans le nombre d'œufs du groupe témoin (Pook *et al.*, 2002).

2.9. Détermination de l'effet de *C. cajan* sur l'hématocrite des agneaux infestés par les NGI

Des échantillons de sang ont été prélévés au niveau de la veine jugulaire des animaux, dans des tubes héparinés tout au long des essais *in vivo* (Figure 15) pour des analyses hématologiques.

Figure 15. Prélèvement du sang au niveau de la veine jugulaire

Ces prélèvements ont été effectués aux débuts des essais (J0), puis aux jours J30 et J40 pour l'essai en stabulation et aux jours J14, J29 et J44 pour l'essai sur pâturage naturel. Les échantillons de sang ont été transportés sous glace jusqu'au laboratoire. Le sang contenu dans les tubes a été utilisé pour remplir les tubes capillaires. Ces tubes capillaires ont été ensuite classés dans le tube à hématocrite et passés à la centrifugation différentielle (centrifugeuse à hématocrite) pendant cinq minutes. L'hématocrite a été déterminé grâce à une grille de lecture et le résultat est exprimé en pourcentage.

2.10. Analyses statistiques des données

Les résultats obtenus ont été exprimés par la moyenne (μ) arithmétique suivi de l'écart type (σ) : $\mu \pm \sigma$. Afin de réaliser une comparaison des différentes moyennes obtenues, la normalité des

échantillons ainsi que l'homogénéité des variances des moyennes ont été vérifiées avec respectivement les tests de Shapiro et de Levene. En l'absence de normalité ou d'homogénéité des variances, les données ont été transformées. La fonction logarithmique log (x+1) a été utilisée pour les données relatives aux OPG et la fonction log (x) pour les autres données.

Les variances des moyennes des différents paramètres mesurés (teneurs en polyphénols et en tanins, temps moyen M mis par les vers adultes pour mourir, ingestion, poids des animaux, GMQ, OPG, hématocrite) ont été comparées, en utilisant l'analyse de variance à un facteur (ANOVA). En cas de différence significative, les moyennes ont été classées à l'aide d'un test post-hoc. Le test de Newman-Keuls a été utilisé pour comparer les teneurs en composés phénoliques ainsi que les moyennes des ingestions de matière sèche, des éléments chimiques des aliments, poids des animaux, des GMQ, des OPG et des hématocrites. Celui de Tukey HSD a été utilisé uniquement pour comparer les moyennes des temps M, mis par les vers adultes adultes pour mourrir dans le *test in vitro.*

L'ANOVA à deux facteurs a été utilisée pour évaluer l'effet de la variété et du mode d'exploitation de *C. cajan* sur les teneurs des différents composés phénoliques à chaque stade phénologique. Il a été également utilisé pour évaluer l'effet de la variété et de l'addition du PVP sur les activités vermicides des extraits de feuilles. En cas d'interaction entre les deux facteurs, le test t de student a été effectué pour comparer les moyennes deux à deux. Ce dernier test (t de student) a également été utilisé pour comparer les moyennes des teneurs en éléments chimiques (matières azotées totales, matière grasse, fibres et cendres) entre les deux variétés de *C. cajan*, lors des essais *in vivo*.

Le test d'homogénéité de Khi-2 a été utilisé pour comparer les taux de réduction des œufs de nématode. La procédure de Marascuito a été par la suite employée pour séparer les différentes proportions obtenues.

Les analyses ont été faites avec le logiciel XLSTAT version 2014 pour la comparaison des teneurs en polyphénols et en tanins au cours du premier cycle de développement. Pour les ANOVA 2 et les autres comparaisons de moyennes, le logiciel statistique R version 2.15.1. a été utilisé.

Au total, quatre essais ont été réalisés. Le premier essai a été réalisé au champ avec la culture de neuf variétés de *C. cajan*. Les teneurs en polyphénols totaux et en tanins ont été déterminées au cours du cycle de développement des plantes, en fonction de leur mode d'exploitation. La procédure décrite par Makkar a été utilisée à cet effet. Le deuxième essai a été conduit *in vitro* pour tester l'activité anthelminthique des extrairts hydroacétoniques secs (30:70 v/v) des neuf variétés précédemment étudiées. Cet essai avait également pour objectif d'élucider le rôle des tanins dans l'activité anthelminthiques de *C. cajan.* Le modèle de ver utilisé est *H. contortus*. Le test de motilité des adultes (TMA) a été employé. Les vers ont été exposés dans des boîtes de Pétri, dans des extraits aqueux-acétone bruts à 60 mg / ml préparés dans la solution de Phosphate Buffered Saline (PBS) et dans des extraits aqueux-acétone brut à 60 mg / ml auxquels ont été ajoutés 50 mg / ml de polyvinylpyrrolidone (PVP) pour éliminer sélectivement les tanins dans les extraits dissous, préparés également dans du PBS. Le temps écoulé entre le contact des vers avec la solution d'extrait et le moment où les vers ont perdu leur motilité, a été choisi comme critère d'activité anthelminthique. Enfin, deux essais *in vivo* ont été réalisés chez les agneaux Djallonké. Le premier a été réalisé exclusivement à l'auge et le second, sur pâturage naturel. Ces deux essais ont été réalisés pour tester sous deux conditions différentes, en présence des nématodes gastro-intestinaux (NGI), l'effet de la supplémentation avec les feuilles de *C. cajan* sur la croissance des agneaux, l'excrétion des œufs par les NGI et l'évolution de l'hématocrite chez les agneaux. Pour ce faire, les animaux ont été pesés à différentes périodes. De même, les prélèvements de fécès par fouille rectale ainsi que des prélèvements de sang à l'aide des tubes EDTA au niveau de la veine jugulaire, ont été réalisés à des périodes fixes. Au terme de ces essais, différents résultats ont été obtenus. Ces résultats seront exposés dans le chapitre 3 suivant, et feront l'objet dans le même temps d'une discussion en rapport avec les hypothèses de cette étude. Une discussion générale qui met rapport les résultats des différents essais et expose les limites de cette étude mettra fin à ce chapitre.

CHAPITRE III : RESULTATS-DISCUSSION

3.1. Variation de la teneur en polyphénols totaux et en tanins des feuilles de neuf variétés de *C. cajan* au cours du premier cycle de croissance et en fonction du mode d'exploitation

Ce paragraphe présente les résultats des rendements d'extractions des métabolites secondaires, de l'évolution des teneurs en composés phénoliques au cours du premier cycle et de l'effet du mode d'exploitation et de la variété sur la teneur en polyphénols et en tanins. Ces résultats sont suivis d'une discussion.

3.1.1. Résultats

Les résultats de cet essai concernent les rendements d'extraction des molécules bioactives, l'évolution des teneurs en composés polyphénoliques au cours de premier cycle de développement et l'effet du mode d'exploitation sur l'évolution de ces teneurs.

3.1.1.1. Rendements d'extraction des métabolites secondaires

Le rendement le plus élevé est de 24,86 %. Il a été obtenu avec le cultvar local blanc. Par contre, le cultivar local rouge, avec un rendement de 20,23 % présente le rendement le plus faible (Tableau 10).

Tableau 10. Rendements indicatifs d'extraction des variétés/cultivars de *C. cajan*

Variétés/Cultivars	Nombre d'échantillons	Rendement d'extraction (%)
Cultivar local blanc	1	24,86
Cultivar local rouge	1	20,23
Cultivar local noir	1	23,6
ICPL 87 119- ASHA	1	23,46
ICP 8863-MARUTI	1	22,41
ICP 7035-KAMICA	1	22,18
FKB-ROUGE	1	22,10
ICPL 87 119 GUIMU 3 (Asha)	1	23,07
ICPL 332 ABAAYA	1	21,48

3.1.1.2. Evolution des teneurs en composés phénoliques au cours du premier cycle

La teneur en polyphénols totaux des différentes variétés et des différents cultivars a varié de façon significative ($P<0,01$) de 3,00±0,11 à 24,73±0,08 g-éqAT/Kg MS pour les plants non

fauchés (Tableau 11). Le cultivar local blanc a présenté les concentrations en polyphénols totaux les plus élevées aux stades végétatif et fructification, respectivement 5,59±0,09 et 23,17±1,12 g-éqAT/Kg MS (P<0,01), tandis qu'aux stades floraison et maturation, c'est le cultivar local noir qui a enregistré les teneurs les plus élevées, respectivement 17,83±0,56 et 24,73 g-éqAT/Kg MS (P<0,01).

Tableau 11. Evolution des teneurs en polyphénols totaux (g éq AT/Kg MS) des variétés de *C. cajan* en fonction du stade de développement

Variétés	Stades de développement				SEM	P>F
	VG	Fl	FR	M		
	n=3	n=3	n=3	n=3		
CLB	5,59±0,09^{a3}	14,66±0,26^{b2}	23,17±1,12^{a1}	23,33± 0,81^{a1}	0,57	< 0,01
CLR	4,85±0,12^{b4}	17,66±0,64^{a2}	16,35±0,26^{c3}	19,89±0,49^{c1}	0,35	< 0,01
CLN	3,05±0,08^{f3}	17,83±0,56^{a2}	18,28±0,68^{b2}	24,73±0,08^{a1}	0,36	< 0,01
ICPL ASHA	3,72±0,18^{e4}	5,63±0,16^{d3}	12,64±0,69^{e2}	19,87±0,14^{c1}	0,30	< 0,01
ICP MARUTI	3,91±0,08d^{e4}	5,77±0,19^{d3}	13,78±0,40^{de1}	9,49±0,09^{bf2}	0,19	< 0,01
ICP KAMICA	3,00±0,11^{f4}	9,30±0,29^{c3}	17,13±0,53^{c1}	10,96±0,11^{e2}	0,25	< 0,01
FKB-ROUGE	4,38±0,16^{c3}	4,31±0,13^{e3}	14,70± 0,26^{d2}	19,33±0,21^{c1}	0,16	< 0,01
ICPL GUIMU 3	3,99±0,15^{d4}	5,20±0,27^{d3}	13,78±0,40^{de2}	20,11±0,49^{c1}	0,29	< 0,01
ICPL ABAAYA	4,45±0,06^{c3}	5,09±0,26^{d3}	14,65± 0,62^{d1}	13,53 ±0,33^{d2}	0,30	< 0,01
SEM	*0,10*	*0,28*	*0,47*	*0,34*		
P>F	*< 0,01*	*< 0,01*	*< 0,01*	*< 0,01*		

n= nombre d'échantillons, SEM= erreur standard à la moynne, P>F= valeur de la probabilité P supérieure au seuil de signification F de 1%, AT = acide tannique, CLB= cultivar local blanc, CLR= cultivar local rouge, CLN= cultivar local noir, VG= phase végétatif, Fl= phase floraison, FR= phase fructification, M= maturation. Les moyennes portant en exposant les lettres différentes (a, b, c, d, e, f) dans une même colonne diffèrent significativement (p< 0,01). Les moyennes portant en exposant les chiffres différents (1,2, 3, 4) dans une même ligne diffèrent significativement (P< 0,01).

Toutes les variétés et tous les cultivars ont connu une augmentation significative (P<0,01) de leur teneur en polyphénols totaux du stade végétatif au stade maturation. Cependant, selon les variétés et cultivars, la teneur maximale est obtenue soit en fructification (cas des variétés ICP 8863-MARUTI, ICP 7035-KAMICA et ICPL 332 ABAAYA), soit en maturation (cas des

cultivars locaux et des variétés ICPL 87 119-ASHA, FKB-ROUGE et ICPL 87 119 GUIMU 3 (Asha)). Toutefois, pour le cultivar local blanc, la différence observée entre le stade fructification et le stade maturation n'est pas significative (P>0,01).

Les teneurs en tanins totaux ont varié de façon significative (P<0,01) entre 0,12±0,08 et 11,42± 0,24 g-éqAT/Kg MS (Tableau 12). Aux stades végétatif et floraison, le cultivar local rouge a enregistré les teneurs en tanins totaux les plus élevées avec respectivement 2,96±0,10 et 7,26±0,62 g-éqAT/Kg MS (P<0,01).

Tableau 12. Evolution des teneurs en tanins totaux (g éq AT/Kg MS) des variétés de *C. cajan* en fonction du stade de développement

Variétés	Stades de développement				SEM	P>F
	VG	Fl	FR	M		
	n=3	n=3	n=3	n=3		
CLB	0,30±0,13^{d4}	5,73 ±0,26^{b3}	9,87± 0,54^{a2}	11,42± 0,24^{a1}	0,27	< 0,01
CLR	2,96±0,10^{a3}	7,26±0,62^{a2}	6,67±0,39^{b2}	9,09±0,43^{b1}	0,35	< 0,01
CLN	0,12±0,08^{d4}	7,10±0,25^{a2}	5,82±0,25^{c3}	8,24±0,41^{c1}	0,22	< 0,01
ICPL ASHA	0,21±0,15^{d4}	1,07±0,10^{d3}	3,82±0,09^{e2}	8,18±0,06^{c1}	0,08	< 0,01
ICP MARUTI	0,26±0,07^{d3}	0,41±0,27^{e3}	3,76±0,26^{e1}	1,82±0,26^{f2}	0,19	< 0,01
ICP KAMICA	0,26±0,05^{d4}	3,51±0,13^{c2}	5,38±0,32^{c1}	2,29±0,31^{f3}	0,19	< 0,01
FKB-ROUGE	1,90±0,04^{b3}	1,19±0,20^{d4}	4,74±0,17^{d2}	7,01±0,28^{d1}	0,16	< 0,01
ICPL GUIMU 3	0,25±0,03^{d4}	0,80±0,16^{de3}	2,40±0,30^{f2}	7,10±0,21^{d1}	0,16	< 0,01
ICPL ABAAYA	0,68±0,18^{c3}	0,95± 0,03^{de3}	4,34 ±0,26^{de1}	2,98± 0,50^{e2}	0,24	< 0,01
SEM	*0,08*	*0,23*	*0,25*	*0,26*		
P>F	*< 0,01*	*< 0,01*	*< 0,01*	*< 0,01*		

n= nombre d'échantillons, SEM= erreur standard à la moynne, P>F= valeur de la probabilité P supérieure au seuil de signification Fde 1%, AT = acide tannique, CLB= cultivar local blanc, CLR= cultivar local rouge, CLN= cultivar local noir, VG= phase végétatif, Fl= phase floraison, FR= phase fructification, M= maturation. Les moyennes portant en exposant les lettres différentes (a, b, c, d, e, f) dans une même colonne diffèrent significativement (p< 0,01). Les moyennes portant en exposant les chiffres différents (1,2, 3, 4) dans une même ligne diffèrent significativement (P< 0,01).

Le cultivar local blanc a obtenu les teneurs les plus élevées aux stades fructification et maturation avec respectivement 9,87± 0,54 et 11,42± 0,24 g-éqAT/Kg MS (P<0,01). Toutes les

variétés et tous les cultivars ont connu une augmentation significative (P<0,01) de leur teneur en tanins totaux du stade végétatif au stade maturation. Cependant, selon les variétés, la teneur maximale est obtenue soit en fructification (cas des variétés ICP 8863-MARUTI, ICP 7035-KAMICA et ICPL 332 ABAAYA), soit en maturation (cas des cultivars locaux et des variétés ICPL 87 119-ASHA, FKB-ROUGE et ICPL 87 119 GUIMU 3 (Asha)).

Enfin, concernant les tanins condensés, les teneurs des différentes variétés et des différents cultivars ont oscillé de façon significative (P<0,01) entre 0,01± 0,00 et 1,61± 0,06 g-éqL/Kg MS (Tableau 13).

Tableau 13. Evolution des teneurs en tanins condensés (g-éq L/Kg MS) des variétés de *C. cajan* en fonction du stade de développement

Variétés	Stades de développement				*SEM*	*P>F*
	VG	Fl	FR	M		
	n=3	n=3	n=3	n=3		
CLB	0,01±0,00^{b4}	1,12±0,05^{c3}	1,43±0,05^{a2}	1,61± 0,06^{a1}	*0,04*	*< 0,01*
CLR	0,01±0,00^{b4}	1,24±0,02^{b1}	1,19±0,01^{c2}	1,14±0,02^{c3}	*0,01*	*< 0,01*
CLN	0,02±0,00^{b4}	1,34±0,04^{a2}	1,28±0,02^{b3}	1,49± 0,04^{b1}	*0,03*	*< 0,01*
ICPL ASHA	0,02±0,00^{b4}	0,14±0,01^{g3}	0,99±0,03^{e2}	1,10±0,02^{c1}	*0,01*	*< 0,01*
ICP MARUTI	0,02±0,00^{b3}	0,16±0,01^{g2}	0,82±0,02^{f1}	0,86±0,07^{e1}	*0,03*	*< 0,01*
ICP KAMICA	0,02±0,00^{b4}	0,56±0,01^{e3}	1,22±0,05^{c1}	0,98±0,02^{d2}	*0,02*	*< 0,01*
FKB-ROUGE	1,05±0,02^{a2}	0,14±0,00^{g3}	1,10±0,03^{d1}	0,06±0,00^{f4}	*0,02*	*< 0,01*
ICPL GUIMU 3	0,01±0,00^{b4}	0,28±0,00^{f3}	1,16±0,05^{c1}	1,07±0,04^{c2}	*0,03*	*< 0,01*
ICPL ABAAYA	0,01±0,00^{b4}	0,63 ±0,04^{d3}	1,00 ±0,02^{e1}	0,83 ±0,02^{e2}	*0,02*	*< 0,01*
SEM	*0,01*	*0,02*	*0,03*	*0,03*		
P>F	*< 0,01*	*< 0,01*	*< 0,01*	*< 0,01*		

n= nombre d'échantillons, SEM= erreur standard à la moynne, P>F= valeur de la probabilité P supérieure au seuil de signification F de 1%, L= leucocyanidine, CLB= cultivar local blanc, CLR= cultivar local rouge, CLN= cultivar local noir, VG= phase végétatif, Fl= phase floraison, FR= phase fructification, M= maturation.
Les moyennes portant en exposant les lettres différentes (a, b, c, d, e, f) dans une même colonne diffèrent significativement (p< 0,01). Les moyennes portant en exposant les chiffres différents (1,2, 3, 4) dans une même ligne diffèrent significativement (P< 0,01).

Au stade végétatif, la variété FKB-ROUGE a enregistré la teneur en tanins condensés la plus élevée, soit 1,05±0,02 g-éqL/Kg MS (P<0,01), tandis qu'au stade floraison, c'est le cultivar local noir qui a connu la plus forte concentration avec 1,34±0,04 g-éqL/Kg MS (P<0,01). Le cultivar local blanc a enregistré les teneurs les plus élevées aux stades fructification et maturation avec respectivement 1,43±0,05 et 1,61± 0,06 g-éqL/Kg MS (P<0,01).

Toutes les variétés et tous les cultivars ont enregistré connu une augmentation significative (P<0,01) de leurs concentrations en tanins condensés du stade végétatif au stade maturation. Cependant, selon les variétés, la teneur maximale est obtenue soit en floraison (cas du cultivar local rouge), soit en fructification (cas des variétés ICP 7035-KAMICA, FKB-ROUGE, ICPL 87 119 GUIMU 3 (Asha) et ICPL 332 ABAAYA), soit encore en maturation (cas du cultivar local blanc, du cultivar local noir et des variétés ICPL 87 119-ASHA et ICP 8863-MARUTI).

3.1.1.3. Effet du mode d'exploitation des différents variétés de *C. cajan* sur la teneur en polyphénols et en tanins

A tous les stades de développement, tout mode d'exploitation confondu, il y a eu une différence significative (P<0,01) entre les variétés, dans la production polyphénols totaux. Le cultivar local rouge a présenté les teneurs les plus élevées au stade floraison et fructification, respectivement 25,98±9,12 et 27,24±11,94 g-éq AT/Kg MS. Au stade maturation, la teneur la plus élevée a été obtenue avec le cultivar local blanc (24,88±1,85 g-éq AT/Kg MS). Au niveau du mode d'exploitation, les plants fauchés ont produit beaucoup plus de polyphénols (17,12±9,50 g-éq AT/Kg MS) que les plants non fauchés (9,49±5,45 g-éq AT/Kg MS) au stade floraion (P<0,01). Aux stades fructification et maturation, il n'y a pas eu de différence significative (P>0,01) entre les plants fauchés et les plants non fauchés dans la production de polyphénols totaux (Tableau 14). Cependant, à tous les stades de développement, il existe une interaction (P<0,01) entre le mode d'exploitation et la variété dans la production de polyphénols totaux. Au stade floraison, les plants fauchés ont enregistré des teneurs en polyphénols plus élevées que les plants non fauchés, chez toutes les variétés et cultivars, à l'exception de la variété ICP 8863-MARUTI où aucune différence significative (P>0,01) n'est observée entre les plants fauchés et les plants non fauchés. Au stade fructification, pour certaines variétés et certains cultivars (cultivar local rouge, cultivar local noir et la variété ICP 7035-KAMICA), les plants fauchés ont présenté des teneurs plus importantes (P<0,01) que les plants non fauchés. Pour d'autres variétés (ICP 8863-MARUTI, FKB-ROUGE et ICPL 87 119 Asha), aucune différence significative (P>0,01) n'est observée entre les plants fauchés et les non fauchés.

Tableau 14. Effet du mode d'exploitation et des variétés de *C. cajan* sur la teneur en polyphénols totaux (g-éq AT/Kg MS)

		Stades de développement		
		Floraison n=3	Fructification n=3	Maturation n=3
Variétés/cultivars (V)				
CLB		18,45±4,19ab	19,91±3,67ac	24,88±1,85a
CLR		25,98±9,12a	27,24±11,94a	22,09±2,45a
CLN		23,62±6,37a	24,33±6,65ab	24,56±0,26a
ICPL ASHA		9,93±4,74bc	13,36±0,97c	17,33±2,79b
ICP MARUTI		5,74±0,20c	13,41±0,62c	11,47±2,20d
ICP KAMICA		13,36±4,49bc	18,28±1,35ac	11,55±0,79d
FKB-ROUGE		9,41±5,59bc	15,30±0,75bc	17,67±1,83b
ICPL GUIMU 3		6,38±1,31c	10,82±3,28c	16,20±4,36bc
ICPL ABAAYA		6,89±1,99c	10,62±4,42c	12,82±0,89cd
Mode d'exploitation (ME)				
Fauché.	.	17,12±9,50a	18,01±9,86a	17,33±5,75a
Non fauché		9,49±5,45b	16,05±3,12a	17,92±5,15a
SEM		*7,47*	*6,49*	*5,45*
P>F	*V*	*< 0,01*	*< 0,01*	*< 0,01*
	ME	*< 0,01*	*0,33*	*0,69*
	Vx ME	*< 0,01*	*< 0,01*	*< 0,01*

n= nombre d'échantillons, SEM= erreur standard à la moynne, P>F= valeur de la probabilité P supérieure au seuil de signification F de 1%, AT= acide tanique, CLB= cultivar local blanc, CLR= cultivar local rouge, CLN= cultivar local noir, V=variété, ME=mode d'exploitation. Les moyennes portant les lettres différents (a, b, c) dans une même colonne et pour le même facteur diffèrent significativement (P< 0,01).

Pour le cultivar local blanc et les variétés ICPL 87 119 GUIMU 3 (Asha) et ICPL 332 ABAAYA, les plants fauchés ont produits moins de polyphénols que les plants non fauchés. Enfin, au stade maturation, pour les cultivars locaux rouge et blanc ainsi que la variété ICP 8863-MARUTI, les plants fauchés ont produits plus de polyphénols que les plants non fauchés ; ce qui est le contraire pour les variétés FKB-ROUGE, ICPL 87 119 Asha et ICPL 87 119 GUIMU 3 (Asha). Au niveau du cultivar local noir et des variétés ICP 7035-KAMICA et ICPL 332 ABAAYA, aucune différence significative (P>0,01) n'est constatée entre les plants fauchés et les plants non fauchés (Figure 16).

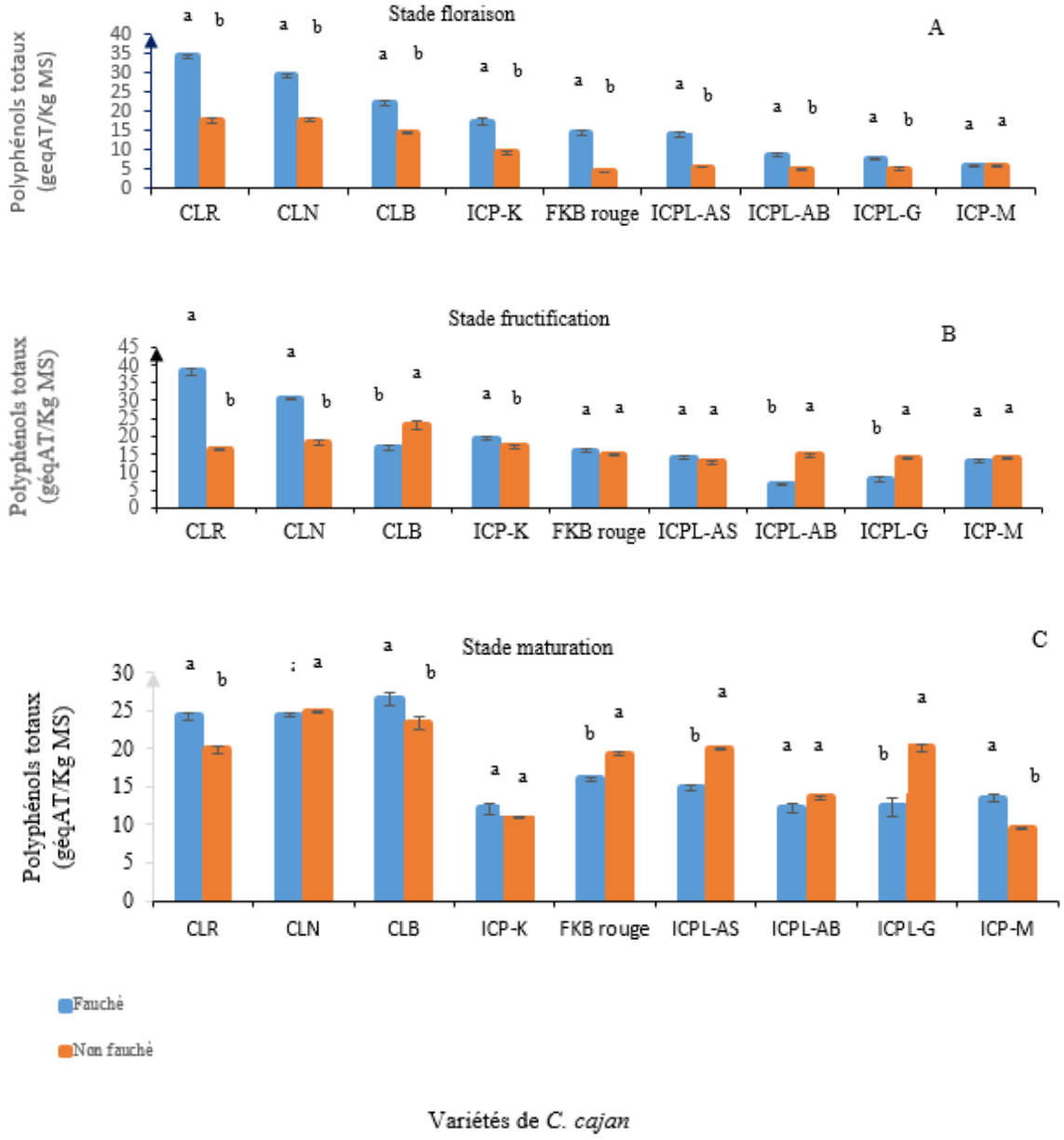


Figure 16. Influence du mode d'exploitation sur la production de polyphénols aux différents stades phénologiques en fonction de la variété.
AT= acide tanique, CLB= cultivar local blanc, CLR= cultivar local rouge, CLN= cultivar local noir, A= stade floraison ; B= stade fructification ; C= stade maturation. Pour la même variété, les batos portant les lettres différents (a, b) diffèrent significativement (P< 0,01).

De même, pour les teneurs en tanins totaux, il y a eu une différence significative (P<0,01) entre les variétés, à tous les stades de développement, quelque soit le mode d'exploitation. Le cultivar local rouge a présenté les teneurs les plus élevées au stade floraison et fructification, respectivement 16,42±10,04 et 13,65±7,64 g-éq AT/Kg MS. Au stade fructification, la teneur la plus élevée a été observée avec le cultivar local blanc (10,14±1,43 g-éq AT/Kg MS). Au niveau du mode d'exploitation, aux différents stades de développment, les plants fauchés et les plants non

fauchés ont produit les mêmes teneurs en tanins totaux (P>0,01), en moyenne 5,38, 5,99 et 5,83 g-éq AT/Kg MS, respectivement pour les stades floraison, fructification et maturation (Tableau 15). Toutefois, il existe, à tous les stades de développement, une interaction (P<0,01) entre le mode d'exploitation et la variété.

Tableau 15. Effet du mode d'exploitation et des variétés de *C. cajan* sur la teneur en tanins totaux (g-éq AT/Kg MS)

		Stades de développement		
		Floraison n=3	Fructification n=3	Maturation n=3
Variétés/cultivars (V)				
CLB		8,33±2,86bc	7,87±2,22a	10,14±1,43a
CLR		16,42±10,04a	13,65±7,64ab	9,09 ±0,28a
CLN		10,46±3,70ab	9,44±3,97bd	9,52±1,45a
ICPL ASHA		2,60±1,73cd	3,88±0,23cd	6,09 ±2,34b
ICP MARUTI		0,53±0,24d	3,28±0,56 bd	2,16 ±0,55c
ICP KAMICA		5,15±1,80 bd	6,13±0,96cd	2,69 ±0,51c
FKB-ROUGE		3,16±2,16 cd	5,19±0,51bd	6,05±1,07b
ICPL GUIMU 3		0,80±0,19d	1,79±0,70d	4,36 ±3,03bc
ICPL ABAAYA		1,05±0,13d	2,67±1,84cd	2,37±0,82c
Mode d'exploitation (ME)				
Fauché.	.	7,66±7,81a	6,78±6,10a	5,20±3,38a
Non fauché		3,11±2,76a	5,20 ±2,09a	6,46±3,22a
SEM		*5,29*	*4,10*	*3.30*
P>F	*V*	*< 0,01*	*< 0,01*	*< 0,01*
	ME	*0,03*	*0,21*	*0,17*
	Vx ME	*< 0,01*	*< 0,01*	*< 0,01*

n= nombre d'échantillons, SEM= erreur standard à la moynne, P>F= valeur de la probabilité P supérieure au seuil de signification α de 1%, AT= acide tanique, CLB= cultivar local blanc, CLR= cultivar local rouge, CLN= cultivar local noir, V=variété, ME=mode d'exploitation. Les moyennes portant les lettres différents (a, b, c) dans une même colonne et pour le même facteur diffèrent significativement (P< 0,01).

Au stade floraison, à l'exception des variétés ICPL 332 ABAAYA, ICPL 87 119 GUIMU 3 (Asha) et ICP 8863-MARUTI pour lesquelles aucune différence significative (P>0,01) n'est observée entre les plants fauchés et les plants non fauchés, les différentes variétés et cultivars ont enregistré une production significativement plus élevée (P<0,01) en tanins totaux chez les plants fauchés. Au stade fructification, pour les cultivars locaux rouge et noir ainsi que la variété FKB-ROUGE, les plants fauchés ont produits plus de tanins totaux que les plants non fauchés. Pour les variétés ICP 7035-KAMICA et ICPL 87 119 Asha, aucune différence significative (P>0,01) n'est observée entre les plants fauchés et les plants non fauchés. Pour le cultivar local blanc et les variétés ICP 8863-MARUTI, ICPL 87 119 GUIMU 3 (Asha) et ICPL 332 ABAAYA, les plants fauchés ont enregistré des teneurs en tanins totaux inférieures à celles des plants non fauchés. Enfin, au stade maturation, seul le cultivar local noir a enregistré une teneur plus élevée chez les plants fauchés comparativement aux plants non fauchés. Au niveau des autres variétés et cultivars, aucune différence significative (P>0,01) n'est observée pour le

cultivar local rouge, les variétés ICP 8863-MARUTI, ICP 7035-KAMICA et ICPL 332 ABAAYA. Par contre, pour le cultivar local blanc et les variétés FKB-ROUGE, ICPL 87 119 Asha et ICPL 87 119 GUIMU 3 (Asha), les plants fauchés ont produit moins de tanins totaux (Figure 17).

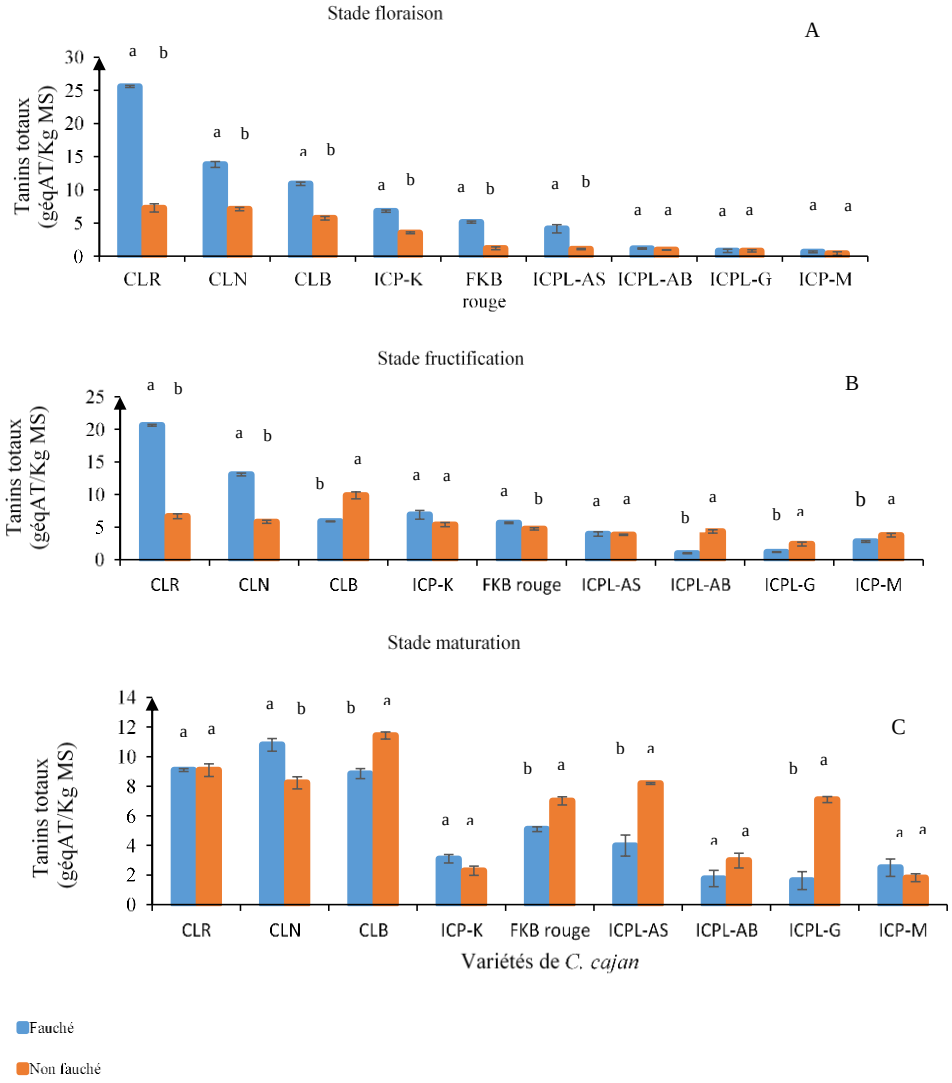


Figure 17. Influence du mode d'exploitation sur la production de tanins totaux aux différents stades phénologiques en fonctionde la variété.
AT= acide tanique, CLB= cultivar local blanc, CLR= cultivar local rouge, CLN= cultivar local noir,
A= stade floraison ; B= stade fructification ; C= stade maturation.
Pour la même variété, les batos portant les lettres différents (a, b) diffèrent significativement (P< 0,01).

Relativement aux tanins condensés, il y a eu une différence significative (P<0,01) entre les variétés et cultivars, à tous les stades de développement, quelque soit le mode d'exploitation. Le cultivar local rouge a présenté les teneurs les plus élevées au stade floraison et fructification, respectivement 1,49±0,27 et 1,39±0,22 g-éq L/Kg MS. Au stade fructification, la teneur la plus élevée a été obtenue avec le cultivar local blanc (10,14±1,43 g-éq L/Kg MS). Au niveau du

mode d'exploitation, les plants fauchés et les plants non fauchés, ont produit aux différents stades de développment, les mêmes teneurs en tanins totaux (P>0,01), en moyenne 0,70, 1,00 et 1,03 g-éq L/Kg MS, respectivement pour les stades floraison, fructification et maturation (Tableau 16).

Tableau 16. Effet du mode d'exploitation et des variétés de *C. cajan* sur la teneur en tanins condensés (g-éq L/Kg MS)

		Stades de développement		
		Floraison n=3	Fructification n=3	Maturation n=3
Variétés/cultivars (V)				
CLB		1,13±0,04a	1,36±0,08a	1,49±0,14a
CLR		1,49±0,27a	1,39±0,22a	1,47±0,36a
CLN		1,41±0,08a	1,37±0,11a	1,37±0,13ab
ICPL ASHA		0,41±0,30bc	0,89±0,11ab	0,90±0,23bc
ICP MARUTI		0,11±0,07c	0,73±0,11b	0,80±0,07c
ICP KAMICA		0,51±0,06bc	0,80±0,46b	0,80±0,19c
FKB-ROUGE		0,58±0,48b	1,04±0,07ab	0,57±0,56c
ICPL GUIMU 3		0,23±0,05bc	0,81±0,39b	1,04±0,06ac
ICPL ABAAYA		0,47±0,18bc	0,59±0,45b	0,84±0,03c
Mode d'exploitation (ME)				
Fauché.	.	0,78±0,57a	0,86±0,48a	1,05±0,37a
Non fauché		0,62±0,48a	1,13±0,17a	1,01±0,43a
SEM		*0,53*	*0,33*	*0,4*
P>F	*V*	*< 0,01*	*< 0,01*	*< 0,01*
	ME	*0,28*	*0,08*	*0,75*
	Vx ME	*< 0,01*	*< 0,01*	*< 0,01*

n= nombre d'échantillons, SEM= erreur standard à la moynne, P>F= valeur de la probabilité P supérieure au seuil de signification F de 1%, L= leucocyanidine, CLB= cultivar local blanc, CLR= cultivar local rouge, CLN= cultivar local noir, V=variété, ME=mode d'exploitation. Les moyennes portant les lettres différents (a, b, c) dans une même colonne et pour le même facteur diffèrent significativement (P< 0,01).

Toutefois, à tous les stades de développement, les teneurs en tanins condensés sont influencées à la fois par le mode d'exploitation et la variété (P<0,01). Au stade floraison, les plants fauchés des cultivars locaux rouge et noir ainsi que des variétés FKB-ROUGE et ICPL 87 119 Asha, ont produit plus de tanins condensés comparativement aux plants non fauchés. C'est le contraire chez les variétés ICPL 87 119 GUIMU 3 (Asha) et ICPL 332 ABAAYA, ICP 7035-KAMICA et ICP 8863-MARUTI. Pour le cultivar local blanc, aucune différence significative (P>0,01) n'est observée entre les plants fauchés et non fauchés. Au stade fructification, les cultivars locaux rouge et noir ont présenté des teneurs plus importantes en tanins condensés chez les plants fauchés. Avec le cultivar local blanc ainsi que les variétés FKB-ROUGE et ICPL 87 119 Asha, aucune différence significative (P>0,01) n'est observée entre les plants fauchés et les plants non fauchés. Cependant, les plants fauchés ont produits moins de tanins condensés que les plants non fauchés chez les variétés ICPL 87 119 GUIMU 3 (Asha), ICP 7035-KAMICA, ICP 8863-MARUTI et ICPL 332 ABAAYA.

Au stade maturation, seul le cultivar local rouge et la variété FKB-ROUGE, ont enregistré une teneur en tanins condensés plus élevée chez les plants fauchés comparativement aux plants non fauchés. Concernant les autres variétés et cultivars, aucune différence significative (P>0,01) n'est observée entre les plants fauchés et les plants non fauchés pour les variétés ICP 8863-MARUTI, ICPL 87 119 GUIMU 3 (Asha) et ICPL 332 ABAAYA. Cependant, les plants fauchés, ont produits moins de tanins condensés par rapport aux plants non fauchés pour les cultivars locaux noir et blanc et les variétés ICP 7035-KAMICA et ICPL 87 119 Asha (Figure 18).

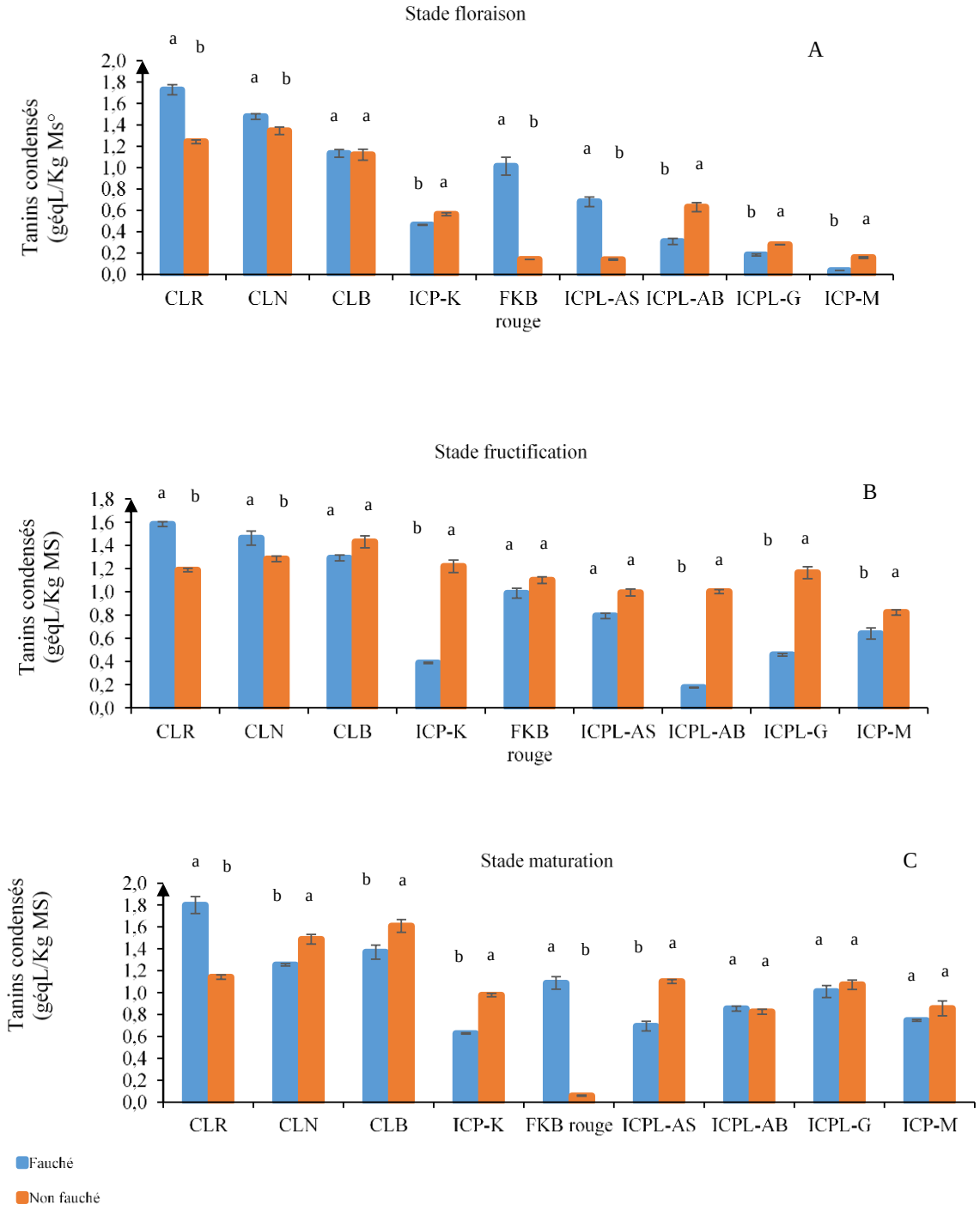


Figure 18. Influence du mode d'exploitation sur la production de tanins condensés aux différents stades phénologiques en fonction de la variété.

L= leucocyanidine, CLB= cultivar local blanc, CLR= cultivar local rouge, CLN= cultivar local noir, A= stade floraison ; B= stade fructification ; C= stade maturation. Pour la même variété, les batos portant les lettres différents (a, b) diffèrent significativement (P< 0,01).

3.1.2. Discussion

Il existe une différence variétale chez *C. cajan* dans la synthèse des composés phénoliques. Les variétés traditionnelles ont affiché des valeurs plus élevées aux différents stades phénologiques comparées aux variétés améliorées. Selon plusieurs auteurs (Sankara *et al.*, 2012 ; Kaoneka *et al.*, 2016), ces variétés traditionnelles sont sensibles à beaucoup de facteurs biotiques (champignons, arthropodes ravageurs, etc) et abiotiques (températures, engorgement en eau du sol, forte salinité, photopériodisme, etc.). Ceci pourrait expliquer les teneurs élevées des variétés traditionnelles dans ce travail. En effet, la production de tanins est une arme de défense des plantes contre les herbivores en modifiant le goût ou la digestibilité des aliments (Seresinhe et Pathirana, 2003 ; Hoste *et al.*, 2008 ; Sharma *et al.*, 2009). Chez certains parents sauvages de *C. cajan*, l'expression de la résistance à *Helicoverpa armigera*, insecte dévastateur des gousses, a été associée à des teneurs élevées de tanins et de polyphénols (Sharma *et al.*, 2009).

D'une façon générale, une augmentation des polyphénols totaux et des tanins, au cours du cycle de développement a été observée. Cette évolution pourrait s'expliquer par le fait que pendant la phase de croissance, les végétaux produisent beaucoup de biomasse si bien que, peu de carbone est donc disponible pour la synthèse des composés phénoliques et des tanins. A la floraison, qui correspond à un excès d'activité photosynthétique, il y a une faible demande en carbone pour la croissance, si bien que l'excès de carbone, est disponible pour la synthèse des tanins (Li *et al.*, 2014). Par ailleurs, pendant la phase de reproduction, la production de composés phénoliques et de tanins augmente, dans le but de se protéger des attaques des insectes. Toutefois, les cultivars locaux et les variétés ICP 7035-KAMICA, FKB-Rouge et ICPL 87 119 GUIMU 3 (Asha) ont, au cours de la phase reproductive (floraison, fructification et maturation) produit plus de polyphénols, ou plus de tanins au cours de la floraison que pendant la fructification, ou souvent même au cours de la fructification que pendant la maturation. Chez *C. cajan*, la distinction entre floraison, fructification et maturation des gousses n'est pas nette. En effet, la fructification se déroule en même temps que la floraison et même plus tard, avec la maturation des gousses. En réalité, on distingue deux phases dont une phase végétative et une phase reproductive. Ainsi on pourrait dire que les concentrations en polyphénols et tanins de *C. cajan* augmentent du stade végétatif au stade reproductif. Un résultat inattendu a été observé. La variété FKB-Rouge, contrairement aux autres variétés, a produit plus de tanins condensés, au stade végétatif qu'au stade reproductif. Ceci laisse supposer qu'elle a subi une contrainte particulière, au cours de cette phase comme par exemple une attaque d'insectes, un stress hydrique, etc. Enfin, pour chaque stade phénologique, la variété ayant

synthétisé plus de polyphénols totaux, n'a pas forcement synthétisé, plus de tanins totaux et de tanins condensés.

Pour chaque stade phénologique, un effet simultané de la variété et du mode d'exploitation sur la production de polyphénols totaux et de tanins est observé. Si pour certaines variétés, une augmentation de la teneur en polyphénols et tanins, a été observée après la fauche, pour d'autres, aucune différence n'a été observée. Pour d'autres encore, une baisse des teneurs en composés phénoliques et tanins, a été observée. Ceci est en désaccord avec les attentes de cette étude. Il était attendu à une augmentation des teneurs pour toutes les variétés, si l'on assimile la fauche à un broutage par les herbivores. En effet, la production de tanins est une arme de défense des plantes contre les herbivores en modifiant le goût ou la digestibilité des aliments (Seresinhe et Pathirana, 2003; Hoste *et al.*, 2008; Sharma *et al.*, 2009).

Au total, il ressort de cette étude qu'il existe une différence variétale chez *C. cajan* dans la production des polyphénols totaux et des tanins. Les variétés traditionnelles présentent les concentrations les plus élevées de ces métabolites secondaires. Une augmentation de leurs teneurs au cours du cycle de développement est également observée. Ces composés secondaires sont influencés à la fois par la variété, le stade phénologique et le mode d'exploitation. Ceci indique que dans des études portant sur *C. cajan* et impliquant les polyphénols et des tanins, la variété (ou le cultivar), le stade phénologique et le mode d'exploitation doivent être absolument précisés. Par ailleurs, la variabilité variétale observée relativement à la production de polyphénols et de tanins et les très faibles teneurs en tanins condensés (inférieures à 0,16 %) obtenues dans cette étude, sont très inférieures à la teneur en tanins condensés de 3-4 % MS suggérée par la littérature pour observer une activité anthelminthique. Cette observation suscite des questions relatives aux propriétés anthelminthiques des variétés utilisées. Il convient donc de vérifier cette hypothèse, objet du second essai.

3.2. Activités anthelminthiques *in vitro* de *C. cajan* et effet de la supplémentation dans une ration à base de paille de *Panicum maximum* C1 sur le parasitisme gastro-intestinal et la croissance

Ce paragraphe traite des résutats des activités *in vitro* de *C. cajan* et de l'effet *in vivo* de sa supplémentation dans une ration à base de paille de *Panicum maximum* C1 sur le parasitisme gastro-intestinal et la croissance des agneaux.

3.2.1. Résultats

3.2.1.1. Activités *in vitro* de *C. cajan*

Sans l'addition de polyvinylpyrrolidone (PVP), une réponse dépendante du temps d'exposition a été observée dans tous les traitements. Les extraits bruts de feuilles des neuf variétés de *C. cajan* ont montré des effets anthelminthiques, significativement plus faible ($p < 0,05$) que le lévamisole. La mort des vers adultes a été très lente ; 100% des vers adultes sont morts après 60 à 200 min d'exposition tandis que la mort est survenue à 12 min pour le lévamisole. Ce sont les cultivars locaux CLR, CLB et CLN qui ont montré au niveau des extraits les meilleurs potentiels anthelminthiques, avec respectivement 64,83±4,73 mn, 98,60±35,76 mn et 106,45±15,11 mn. Dans la solution physiologique (PBS), aucun ver mort n'a été trouvé jusqu'à 24 heures, après l'exposition. Un effet significatif ($P < 0,05$) au niveau de tous les extraits de feuilles a été observé sur la motilité des vers adultes de *H. contortus* (Figure 19).

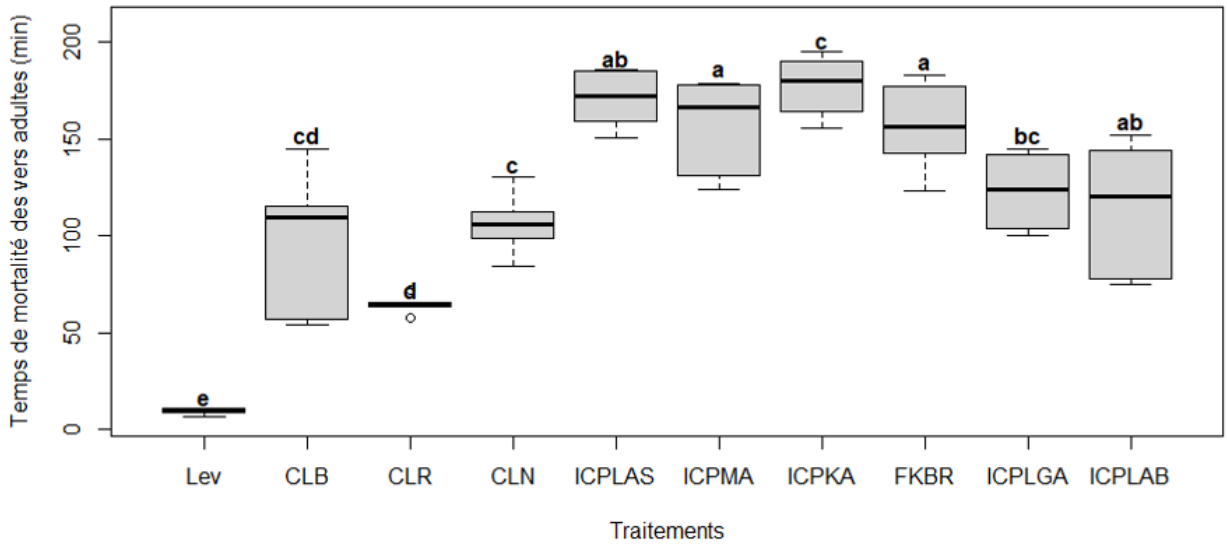


Figure 19. Activité anthelminthique *in vitro* (le moment de la mort) des extraits bruts acétone-eau à 60 mg / mL en comparaison avec le contrôle positif lévamisole (20 mg / mL) (Lev). Les valeurs indiquées sont des moyennes, la lettre supérieure indique une différence significative par rapport à la valeur précédente à $P < 0,05$

Il existe une interaction (p <0,05) entre les variétés et l'addition du polyvinylpyrrolidone (PVP). L'ajout du PVP n'a pas entrainé une augmentation du temps de mort des vers pour toutes les variétés (p> 0,05), à l'exception de la variété ICPL 87 119 GUIMU 3 (Asha) et des cultivars locaux Rouge et Noir, pour lesquels une augmentation significative (P <0,05) du temps de mort a été observée après l'addition du PVP (Figure 20).

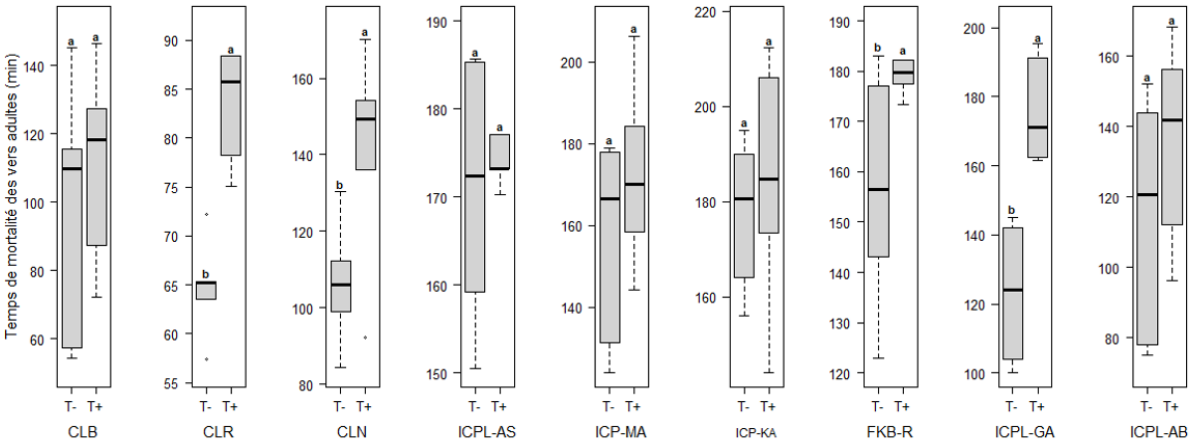


Figure 20. Activité anthelminthique *in vitro* (le temps de la mort) des extraits bruts acétone-eau à 60 mg/ml par rapport aux extraits bruts acétone-eau à 60 mg/ml combinés avec la PVP à 50 mg/ml sur les vers matures vivants de *Haemonchus contortus* du mouton.
T- = extrait sans PVP ; T+ = extrait avec PVP. Les valeurs indiquées sont des moyennes, la lettre supérieure indique une différence significative par rapport à la valeur précédente à P <0,05

3.2.1.2. Composition chimique des aliments

De tous les aliments consommés, seules les variétés de *C. cajan* sont riches en matières azotées totales (MAT), supérieures à 20 %. Les teneurs en MAT du *Panicum maximum* C1, l'aliment de base (2,90±0,10 %) et des épuchure de manioc (2,17±0,08 %) sont très faibles. Cependant, la teneur en matières grasses de ces derniers est la plus élevée, avec des moyennes supérieures à 9 %. Les teneurs en fibres brutes de tous les aliments sont supérieures à 30 % (Tableau 17).
Les deux variétés de *C. cajan* ont été significativement différentes (p<0,01) au niveau de leurs teneurs en MAT et en polyphénols totaux. Le Cultivar local rouge a présenté une teneur en MAT significativement supérieure (p<0,01) à celle de la variété ICPL 87 119 GUIMU 3 (Asha), mais une teneur en polyphénols totaux significativement plus faible (p<0,01) par rapport à cette dernière (Tableau 17).

Tableau 17. Composition chimiques des aliments consommés par les agneaux au cours de l'essai *in vivo* 1.

	Aliments			
	C. cajan cv CLR	*C. cajan* var ICPL 87 119 GUIMU 3 (Asha)	Paille de *Panicum maximum* C1	Epluchure de manioc
	n=3	n=3	n=3	n=3
Cendre (%)	8,57±0,39a	8,49±0,18a	9,11±0,04	9,56±0,45
ADF (%)	34,17±0,29a	34,28±0,13a	35,00±0,26	34,92±0,21
MAT (%)	25,63±3,49a	21,82±0,20b	2,90±0,10	2,17±0,08
MG (%)	2,52±0,08a	2,18±0,11a	11,16±0,58	9,93±0,24
PT (g-éqAT/Kg MS)	8,30±0,16b	8,97±0,12a		
TT (g-éqAT/Kg MS)	0,39±0,07a	0,46±0,02a		
TC (g-éqL/Kg MS)	0,34±0,02a	0,34±0,03a		

n= nombre d'échantillons, ADF= acid detergent fibre, MAT= matières azotées totales, MG= matière grasse, PT= polyphénols totaux, TT= tanins totaux, TC= tanins condensés. g-éqAT= gramme equivalent acide tannique ; g-éqL= gramme equivalent acide leucocyanidine. ( ) : les PT, TT et TC n'ont pas été dosés sur ces aliments. Les moyennes portant la même lettre dans la même ligne ne diffèrent pas significativement (p>0,01)

3.2.1.3. Ingestion de la matière sèche et de la matière azotée totale

L'ingestion de la matière sèche de la paille de *Panicum maximum* C1 a varié au cours de l'essai de 40,96±6,61 à 31,11±6,60 g MS/ Kg PV, soit une diminution de 24,05% (Tableau 18). Ce niveau d'ingestion a été le même chez tous les groupes d'animaux au cours de l'essai, durant les différentes périodes de l'essai.

La consommation de la matière sèche des épuchures de manioc est passée de 3,41±0,23 à 4,09±0,48 g MS/ Kg PV, soit une augmentation de 19,94%. Les ingestions en matière sèche des feuilles de *C. cajan* ont connu des améliorations au cours de l'essai. Elle est passée de 8,07±2,24 à 8,80±2,21 g MS/ Kg PV pour le cultivar local rouge (CLR), soit une augmentation de 9,05%. Par contre, celle de la variété ICPL 87 119 GUIMU 3 (Asha) est passée de 7,76±3,23 à 8,20±2,89 g MS/ Kg PV, soit une amélioration de 5,67%.

Les ingestions totales en matière sèche ont varié de 38,85±7,42 à 50,81±6,96 g MS/ Kg PV. Elles ont été identiques pour tous les groupes d'animaux (p>0,05) au cours des différentes périodes de l'essai. Cependant, la consommation totale en MAT des animaux supplémentés ont été significativement supérieures (p<0,05) à celles des animaux témoins au cours de ces périodes (Tableau 19).

Tableau 18. Ingestion moyenne journalière des ingrédients alimentaires (g MS/ Kg PV) au cours de l'essai *in vivo* 1

	Aliments			Total ingéré
	Panicum maximum C1	Epluchure de manioc	*C. cajan*	
J11-J20				
G 1	40,96±6,61	3,78±0,73		44,74±7,32
G 2	38,04±2,63	3,41±0,23		41,45±2,80
G 3	38,76±7,33	4,06±0,60	8,07±2,24	50,89±8,19
G 4	39,28±4,55	3,76±0,43	7,76±3,23	50,81±6,96
SEM	*3,90*	*0,37*	*2,84*	*4,72*
P>F	*0,89*	*0,41*	*0,88*	*0,16*
J21-J30				
G 1	38,16±3,58	3,94±0,73		42,10±3,92
G 2	40,19±2,39	3,60±0,31		43,78±2,59
G 3	36,00±5,72	3,92±0,43	8,37±2,18	48,30±4,06
G 4	37,44±2,53	3,86±0,48	8,04±4,01	49,35±6,67
SEM	*2,52*	*0,37*	*3,09*	*3,25*
P>F	*0,50*	*0,78*	*0,90*	*0,14*
J31-J40				
G 1	36,28±5,04	3,79±0,19		40,07±5,18
G 2	35,05±7,12	3,80±0,34		38,85±7,42
G 3	31,11±6,60	4,09±0,54	8,80±2,21	44,00±7,84
G 4	36,71±3,52	4,09±0,48	8,20±2,89	49,02±7,91
SEM	*4,37*	*0,31*	*2,55*	*5,18*
P>F	*0,61*	*0,64*	*0,78*	*0,23*

SEM= erreur standard à la moynne, P>F= valeur de la probabilité P supérieure au seuil de signification Fde 5%, G 1= groupe d'animaux n'ayant reçu aucun traitement ; G 2= groupe d'animaux ayant reçu l'anthelminthique de synthèse ; G 3= groupe d'animaux ayant reçu les feuilles du cultivar local rouge de *C. cajan* et G 4= groupe d'animaux ayant reçu les feuilles de la variété ICPL 87 119 GUIMU 3 (Asha) de *C. cajan.*

Les moyennes portant la même lettre dans la même colonne pour le même ingrédient alimentaire et pour la même période ne diffèrent pas significativement (p>0,05).

Tableau 19. Ingestion moyenne journalière de la MAT (g/ Kg PV) au cours de l'essai *in vivo* 1.

	Total MAT ingérée (g/ Kg PV)	Total MAT ingérée (% MS ingérée)
J11-J20		
G 1	1,27±0,21b	2,84
G 2	1,18±0,08b	2,84
G 3	3,28±0,68a	6,45
G 4	2,91±0,78a	5,74
SEM	*0,39*	
P>F	*< 0,05*	
J21-J30		
G 1	1,19±0,11c	2,83
G 2	2,04±0,12bc	4,65
G 3	3,28±0,40a	6,78
G 4	2,92±0,94ab	5,92
SEM	*0,37*	
P>F	*< 0,05*	
J11-J20		
G 1	1,13±0,15b	2,83
G 2	1,19±0,15b	3,06
G 3	3,25±0,65a	7,38
G 4	2,94±0,73a	6,01
SEM	*0,43*	
P>F	*<0,05*	

SEM= erreur standard à la moynne, P>F= valeur de la probabilité P supérieure au seuil de signification F de 5%, G 1= groupe d'animaux n'ayant reçu aucun traitement ; G 2= groupe d'animaux ayant reçu l'anthelminthique de synthèse ; G 3= groupe d'animaux ayant reçu les feuilles du cultivar local rouge de *C. cajan* et G 4= groupe d'animaux ayant reçu les feuilles de la variété ICPL 87 119 GUIMU 3 (Asha) de *C. cajan.*
Les moyennes portant la même lettre dans la même colonne et pour la même période ne diffèrent pas significativement (p>0,05).

3.2.1.4. Croissances et gains moyens quotidiens des animaux

Le poids moyen des animaux n'ayant reçu aucun traitement (témoin négatif) de 11,79±2,20 kg au début de l'essai est passé à 10,80±0,21 kg en fin d'essai (Figure 21). Celui des animaux ayant reçu uniquement l'anthelminthique de synthèse (témoin positif) est passé de 12,20±1,53 kg à 10,62±1,04 kg du début à la fin de l'essai. Le poids des animaux ayant consommé le cultivar local rouge est passé du début à la fin de l'essai, de 10,77±1,63 kg à 10,14±1,21 kg respectivement. Par contre, celui des animaux ayant consommé la variété ICPL GUIMU 3 est passé de 11,39±1,23 kg à 10,10±1,26 kg du début à la fin de l'essai respectivement. Toutefois, aucune différence significative (p>0,05) n'a été observée entre le poids initial, les poids mesurés au cours de l'essai et le poids final pour tous les groupes.

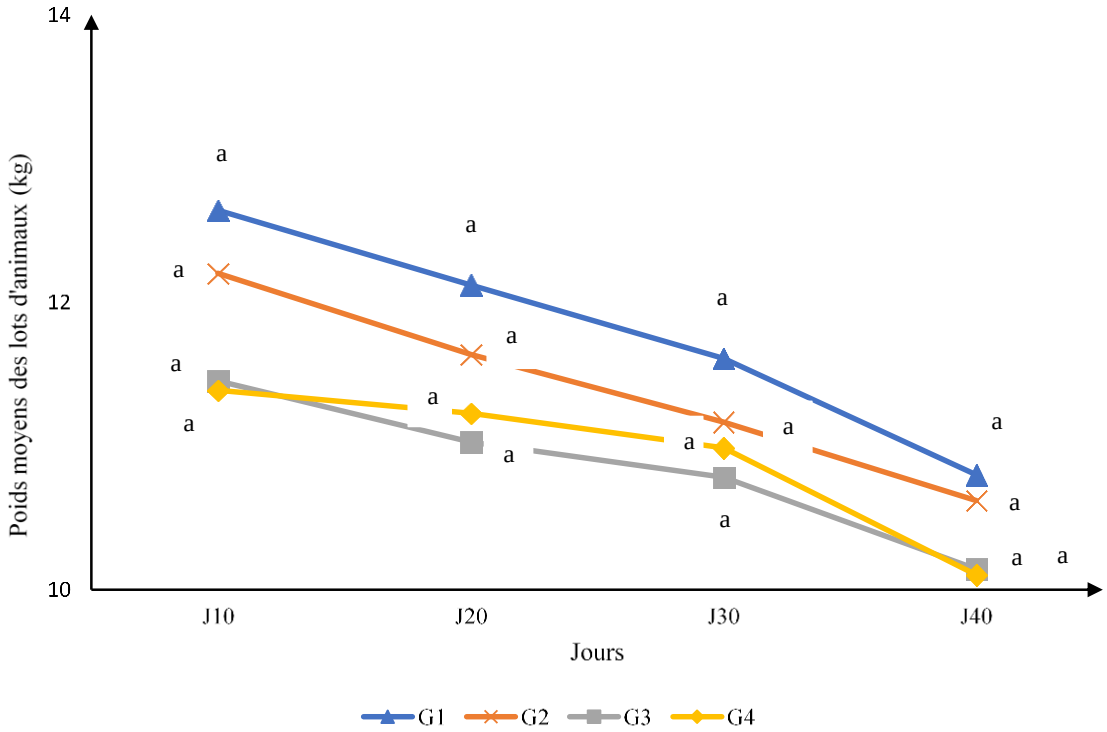


Figure 21. Evolution du poids moyen des lots d'animaux au cours de l'essai *in vivo* 1.
Groupe 1= groupe d'animaux n'ayant reçu aucun traitement ; Groupe 2= groupe d'animaux ayant reçu l'anthelminthique de synthèse ; Groupe 3= groupe d'animaux ayant reçu les feuilles du cultivar local rouge de *C. cajan* et Groupe 4= groupe d'animaux ayant reçu les feuilles de la variété ICPL 87 119 GUIMU 3 (Asha) de *C. cajan.*
Les moyennes portant la même lettre sur la courbe ne diffèrent pas significativement (p>0,05).

Les gains moyens quotidiens (GMQ) des différents lots d'animaaux au terme de l'essai ont varié de -61,33±51,44 g/j à -42,11±15,26 g/j (Tableau 20). Aucune différence significative (p>0,05) entre les GMQ des différents groupes d'animaux n'a été observée au terme de l'essai et aux différentes périodes de mesure. A la période 1 (J11 à J20), la moyenne des différents GMQ a été de -41,33±43,12 g/j contre -39,64±48,53 g/j à la période 2 (J21 à J30) et -100,73±55,37 g/j à la période 3 (J31 à J40).

Tableau 20. GMQ (g) des différents groupes d'animaux au cours de l'essai *in vivo* 1.

Périodes	**Groupes d'animaux**				*SEM*	*P>F*
	Groupe 1	Groupe 2	Groupe 3	Groupe 4		
J11-J20	-56,00±54,50	-56,40±30,01	-42,67±48,17	-1,50±18,12	*27,37*	*0,16*
J21-J30	-51,00±32,05	-47,20±38,43	-24,33±68,70	-24,00±63,79	*39,80*	*0,74*
J31-J40	-81,00±76,74	-136,00±22,63	-64,00±51,07	-133,67±33,13	*48,30*	*0,54*
GMQ global	-61,33±51,44	-52,73±29,31	-43,67±4,73	-42,11±15,26	*59,12*	*0,54*

SEM= erreur standard à la moynne, P>F= valeur de la probabilité P supérieure au seuil de signification F de 5%, Groupe 1= groupe d'animaux n'ayant reçu aucun traitement ; Groupe 2= groupe d'animaux ayant reçu l'anthelminthique de synthèse ; Groupe 3= groupe d'animaux ayant reçu les feuilles du cultivar local rouge de *C. cajan* et Groupe 4= groupe d'animaux ayant reçu les feuilles de la variété ICPL 87 119 GUIMU 3 (Asha) de *C. cajan.* Les moyennes portant la même lettre dans la même ligne pour la même période ne diffèrent pas significativement (p>0,05).

3.2.1.5. Evolution des excrétions d'oeufs de nématodes dans les fèces

Au début de l'essai, les niveaux d'excrétions des œufs de *T. colubriformis* ont été de 180,00±75,83, 240,00±119,37, 360,00±307,00 et 210,00±124,50 respectivement pour les animaux n'ayant reçu aucun traitement, ceux traités avec l'anthelminthique de synthèse, ceux ayant consommé les feuilles de *C. cajan* cv CLR et ceux ayant consommé les feuilles de *C. cajan* var ICPL 87 119 GUIMU 3 (Asha). Les œufs excrétés par *T. colubriformis* par les animaux n'ayant reçu aucun traitement ont augmenté tout au long de l'essai. Les OPG sont passés de 180 ± 75,23 au début de l'essai à 1866,67 ± 472,58 après 40 jours ($p<0,05$). Les témoins positifs, eux n'ont pas excrétés d'oeufs *T. colubriformis* après le début de l'essai. Les animaux ayant consommé les feuilles de *C. cajan* cv CLR ont connu d'abord une légère diminution non significative du niveau d'excrétion des œufs de *T. colubriformis*, de J0 à J20, puis une augmentation significative de J20 à J40 (933,33±236,29) ($p<0,05$). Quant aux animaux ayant consommé les feuilles de *C. cajan* var ICPL 87 119 GUIMU 3 (Asha), l'excrétion moyenne des œufs a connu une légère baisse non significative de J0 à J20 puis une hausse significative pour atteindre un OPG de 283±104,08 à J40 ($p<0,05$) (Figure 22).

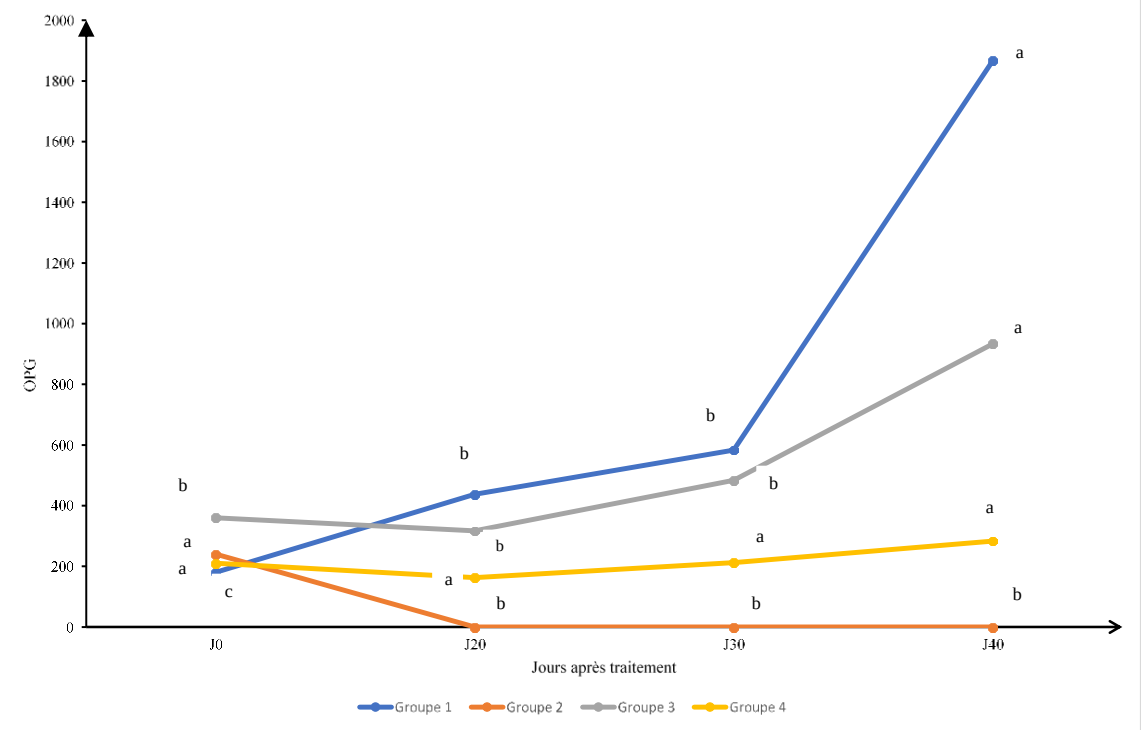


Figure 22. Evolution des excrétions des œufs de *T. colubriformis* dans les fèces des différents groupes d'animaux au cours de l'essai *in vivo* 1.

Groupe 1= groupe d'animaux n'ayant reçu aucun traitement ; Groupe 2= groupe d'animaux ayant reçu l'anthelminthique de synthèse ; Groupe 3= groupe d'animaux ayant reçu les feuilles du cultivar local rouge de *C. cajan* et Groupe 4= groupe d'animaux ayant reçu les feuilles de la variété ICPL 87 119 GUIMU 3 (Asha) de *C. cajan*.

Les moyennes portant la même lettre (a, b, c) sur la même courbe ne diffèrent pas significativement ($p>0,05$).

Concernant *H. contortus*, les niveaux initiaux d'excrétions des œufs étaientont été de 2070,00±651,54, 2036,00±712,34, 1940,00±1047,76 et 2310,00±691,38 respectivement pour les animaux n'ayant reçu aucun traitement, ceux traités avec l'anthelminthique de synthèse, ceux ayant consommé les feuilles de *C. cajan* cv CLR et ceux ayant consommé les feuilles de *C. cajan* var ICPL 87 119 GUIMU 3 (Asha). L'excrétion des œufs dans les fèces par le groupe témoin négatif, a augmenté de façon significative tout au long de l'essai ($p<0,05$). L'excrétion d'œufs est passée de 2070 ± 651,54 OPG à J0, à 7333,33 ± 1040,83 OPG à J40. Les animaux ayant reçu l'anthelminthique de synthèse, n'ont pas excrétés d'oeufs de *H. contortus* après le début de l'essai. Les animaux ayant consommé les feuilles de *C. cajan* cv CLR ont connu d'abord une diminution non significative du niveau d'excrétion des œufs de *H. contortus* de J0 à J20 puis une hausse non significative de J20 à J40 (2066,67±568,62 OPG). Les animaux ayant consommé les feuilles de la variété ICPL 87 119 GUIMU 3 (Asha), ont enregistré, d'abord une dininution non significative du niveau d'excrétion des œufs de *H. contortus* de J0 à J20 puis une augmentation également non significative de ce niveau de J20 à J30 et de J30 à J40 (Figure 23).

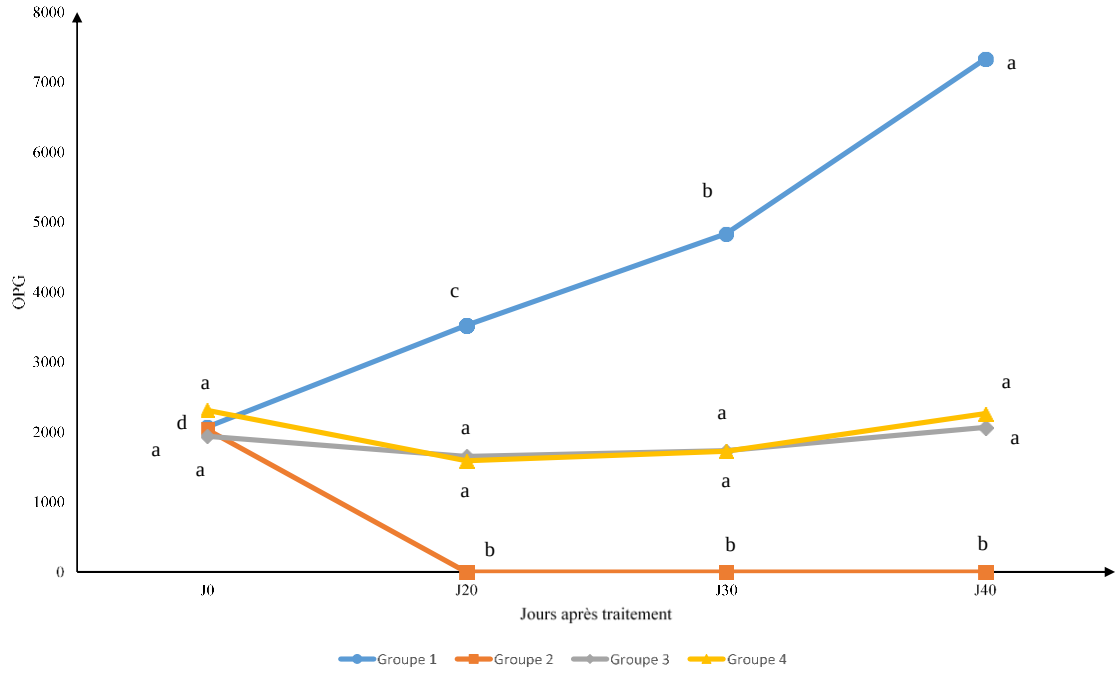


Figure 23. Evolution des excrétions des œufs de *H. contortus* dans les fèces des différents groupes d'animaux au cours de l'essai *in vivo* 1.

Groupe 1= groupe d'animaux n'ayant reçu aucun traitement ; Groupe 2= groupe d'animaux ayant reçu l'anthelminthique de synthèse ; Groupe 3= groupe d'animaux ayant reçu les feuilles du cultivar local rouge de *C. cajan* et Groupe 4= groupe d'animaux ayant reçu les feuilles de la variété ICPL 87 119 GUIMU 3 (Asha) de *C. cajan*.
Les moyennes portant la même lettre (a, b, c, d) sur la même courbe ne diffèrent pas significativement ($p>0,05$).

3.2.1.6. Taux de réduction des œufs fécaux

Les réductions dans les fèces des œufs de *H. contortus* et de *T. colubriformis*, engendrées par le lévamisole ont été immédiates. Elles se traduisent par des taux de réduction de 100 % dès le 20^{e} jour après le début de l'essai (Tableau 21). Les deux variétés de *C. cajan* ont également entrainé des réductions des œufs de *H. contortus* et de *T. colubriformis* dans les fèces, manisfestées par des taux de réduction compris entre 50,05 % et 86,99 %. Cependant, leur efficacité ont été dépendantes du temps.

Le lévamisole a enregistré des taux réduction supérieurs à ceux des deux variétés de *C. cajan* durant tout l'essai (P< 0,05). Les deux varités de *C. cajan* ont quant à elles, présenté des taux de réduction similaires tout le long de l'essai (p>0,05).

Tableau 21. Taux de réduction (%) des œufs de NGI des différents traitements au cours de l'essai *in vivo* 1

	Traitements			*Khi 2*	*Valeur de p*
	Lévamisole	*C. cajan* CLR	*C. cajan* var ICPL 87 119 GUIMU 3 (Asha)		
Taux de réduction des œufs de *T. colubriformis*					
J20	100,00^{1}	63,81^{b2}	68,16^{b2}	*44,53*	*< 0,05*
J30	100,00^{1}	58,57^{c2}	68,78^{b2}	*50,77*	*< 0,05*
J40	100,00^{1}	75,00^{a2}	86,99^{a2}	*28,56*	*< 0,05*
Khi 2	*0*	*6,26*	*12,09*		
Valeur de p	*1*	*< 0,05*	*< 0,05*		
Taux de réduction des œufs de *H. contortus*					
J20	100,00^{1}	50,05^{c2}	59,58^{2}	*66,82*	*< 0,05*
J30	100,00^{1}	61,73^{b2}	68,02^{2}	*46,97*	*< 0,05*
J40	100,00^{1}	69,93^{a2}	72,34^{2}	*35,93*	*< 0,05*
Khi 2	*0*	*8,36*	*3,79*		
Valeur de p	*1*	*< 0,05*	*0,15*		

Les moyennes portant en exposant les lettres différentes (a, b, c) dans une même colonne diffèrent significativement (p< 0,05). Les moyennes portant en exposant les chiffres différents (1,2, 3) dans une même ligne diffèrent significativement (P< 0,05).

3.2.1.7. Evolution de l'hématocrite

Les valeurs de l'hématocrite (%) ont diminué durant l'essai pour tous les groupes d'animaux. L'allure des courbes d'évolution de l'hématocrite diffère selon les groupes d'animaux. Les animaux n'ayant reçu aucun traitement sont passés significativement d'une valeur moyenne de 23,40±2,07 % à J0 à 18,33±2,52 % à J30 (p<0,05) puis de façon non significative à 17,33±3,06 % à J40. Les animaux ayant reçu l'anthelminthique de synthèse ont présenté, des valeurs d'hématocrite qui sont passées de façon non significative de 24,40±4,28 % à J0 à 23,80±1,30 % à J40. Les valeurs d'hématocrites du groupe d'animaux ayant consommé les feuilles de *C.*

cajan cv CLR sont passées de façon significative de 21,60±0,89 % au début de l'essai à 15,33±2,12 % après 40 jours ($p<0,05$). Celles des animaux ayant consommé les feuilles de *C. cajan* var ICPL 87 119 GUIMU 3 (Asha) ont connu une réduction non significative du début de l'essai (21,20±1,40 %) au trentième jour de l'essai (19,25±1,71 %), puis une nouvelle diminution significative du trentième jour à la fin de l'essai (15,33±2,12 %) ($p<0,05$) (Figure 24).

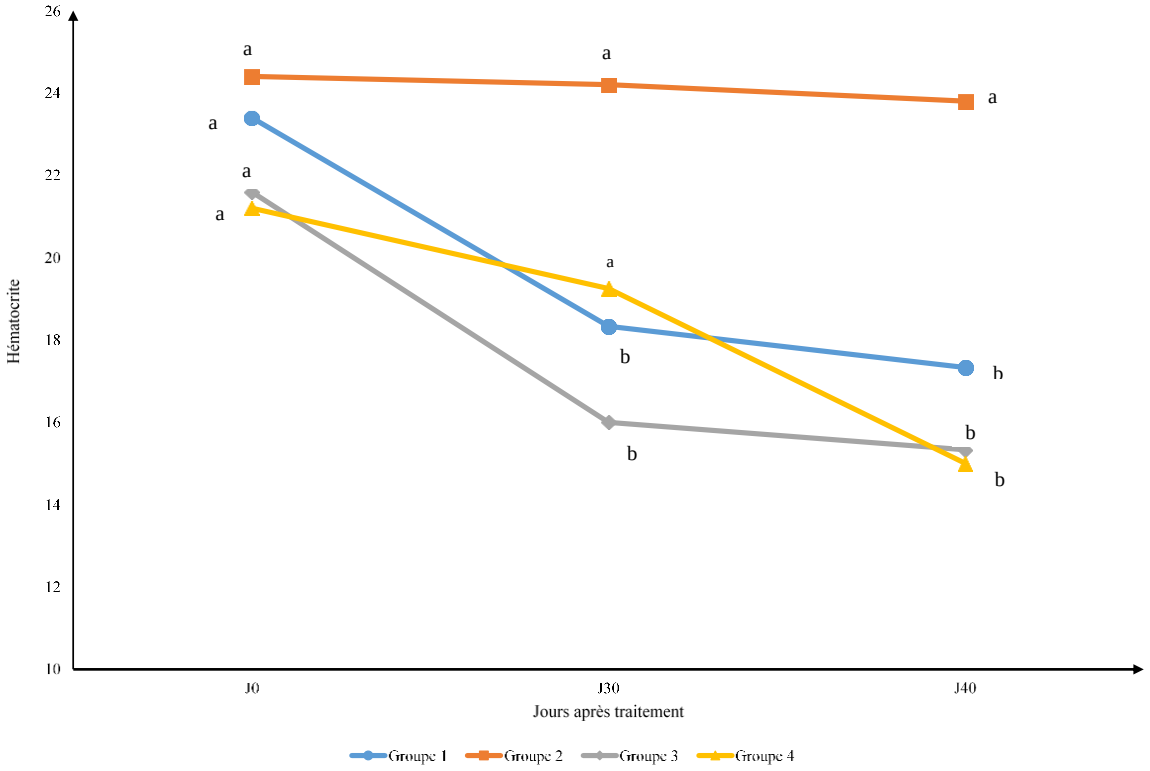


Figure 24. Evolution de l'hématocrite (%) en fonction des groupes au cours de l'essai *in vivo* 1.

Groupe 1= groupe d'animaux n'ayant reçu aucun traitement ; Groupe 2= groupe d'animaux ayant reçu l'anthelminthique de synthèse ; Groupe 3= groupe d'animaux ayant reçu les feuilles du cultivar local rouge de *C. cajan* et Groupe 4= groupe d'animaux ayant reçu les feuilles de la variété ICPL 87 119 GUIMU 3 (Asha) de *C. cajan*.

Les moyennes portant la même lettre (a, b) sur la même courbe ne diffèrent pas significativement ($p>0,05$).

3.2.1.8. Taux de mortalité des ovins

Aucune mortalité n'a été observée dans le groupe d'animaux ayant reçu l'anthelminthique de synthèse (Figure 25). Les autres groupes d'animaux ont connu des mortalités de 33,33 %. Chez les animaux témoins, les mortalités sont intervenues aux jours 18 et 27 de l'essai. Chez les animaux qui ont consommé les feuilles de *C. cajan* CLR, les mortalités sont intervenues aux jours 17 et 19. Enfin, chez les animaux qui ont consommé les feuilles de *C. cajan* variété ICPL 87 119 GUIMU 3 (Asha), les mortalités sont intervenues aux jours 15 et 36 de l'essai.

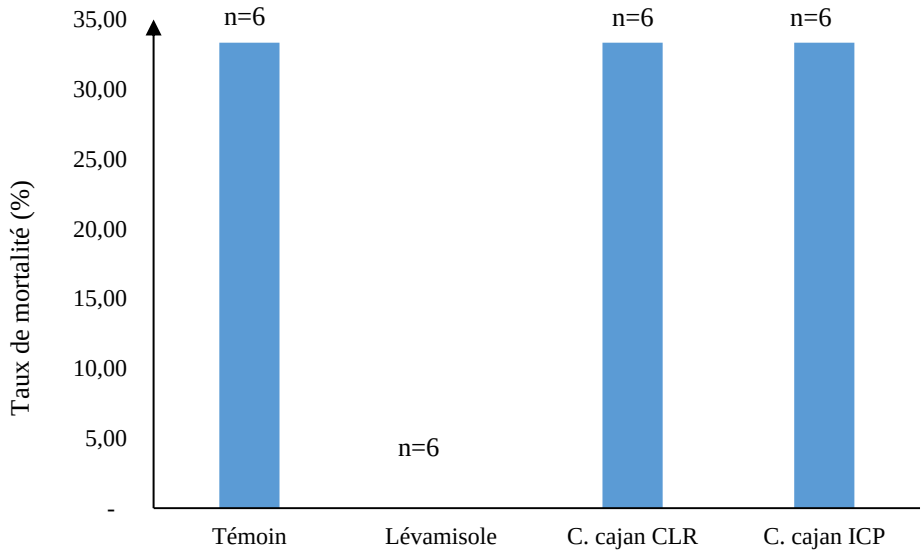


Figure 25. Taux de mortalité (%) des ovins observés suite aux différents traitements au cours de l'essai *in vivo* 1.

3.2.2. Discussion

3.2.2.1. Activités anthelminthique *in vitro* de *C. cajan*

Les résultats obtenus ont montré des propriétés anthelminthiques pour tous les extraits bruts hydroacétoniques, confirmant ainsi des résultats *in vitro* déjà obtenus ailleurs (Singh *et al.*, 2010 ; Kaboré *et al.*, 2016). Cependant, les temps necessaires pour la mort des vers, enregistrés sont restés supérieurs aux 17 minutes obtenues par Singh *et al.* (2010) avec des extraits hydroéthanoliques de *C. cajan* sur des vers de terre adultes *Pheretima posthuma*, en Inde (40 mg / ml). Par contre, ils sont inférieurs aux six heures obtenues par Kaboré *et al.* (2016) sur *H. contortus*, avec un extrait aqueux de *C. cajan* à 100 mg/ml. Les effets anthelminthiques de *C. cajan* sont dus, selon plusieurs auteurs, aux composés phénoliques présents dans la plante, notamment les tanins et les flavonoïdes (Singh *et al.*, 2010 ; Kaboré *et al.*, 2016). Ces composés sont moins polaires et se disolvent plus aisement dans des solvants relativement moins polaires que l'eau (Eguale *et al.*, 2006). Les travaux de Mohanty *et al.* (2011) ont montré une concentration en flavonoïdes dans les extraits éthanoliques deux à trois fois plus élevée que dans les extraits aqueux. Ceci expliquerait le temps relativement long (6 h) obtenu Kaboré *et al.* (2016) avec des extraits aqueux comparés à ceux obtenus dans la présente étude et à ceux obtenus par Singh *et al.* (2010). En effet, l'activité anthelminthique des molécules bioactives des plantes est dose-dépendante (Singh *et al.*, 2010 ; Kaboré *et al.*, 2016 ; Houngnimassou *et al.*, 2017).

Lorsque la polyvinylpyrrolidone (PVP) a été ajoutée aux extraits, une augmentation du temps de mort a été observée, mais cette augmentation n'a été significative que pour quelques variétés. Ce nouveau temps de mort obtenu a été inférieur à 24 heures ; ce qui indique que les tanins ont peu d'effet sur l'activité anthelminthique. Chez cette espèce, d'autres métabolites secondaires seraient plus responsables des actions anthelminthiques que les tanins. C'est certainement la raison pour laquelle la variété ICPL 332 ABAAYA a présenté une efficacité anthelminthique plus élevée que les variétés FKB-Rouge et ICPL 87 119-ASHA, alors que la teneur en tanins dans les feuilles de cette variété est très faible par rapport à celles des variétés FKB-Rouge et ICPL 87119-ASHA. Ces résultats confirment le rôle d'autres métabolites secondaires, en dehors des tanins, dans l'activité anthelminthique des plantes, comme l'ont déjà noté certains auteurs (Hoste *et al.*, 2006 ; Manolaraki, 2011). L'activité anthelminthique ainsi observée pourrait être due aux flavonoïdes. En effet, outre les tanins condensés (dans la mojorité des cas) et les lactones sesquiterpènes chez *Cichorium intybus*, les flavonoïdes qui se trouvent dans de nombreuses légumineuses fourragères sont également responsables des propriétés nutraceutiques contre les nématodes de certaines légumineuses fourragères (Hoste *et al.*, 2011). Chez *C. cajan*, la teneur des flavonoïdes dans les feuilles est environ 10 fois supérieure à celle des tanins (Harris *et al.*, 2014).

3.2.2.2. Effet de la consommation des feuilles de *C. cajan* sur les NGI des agneaux en l'absence de la source de ré-infestation

Alors que les OPG des animaux non traités ont augmenté au cours de l'essai, ceux des animaux supplémentés avec les feuilles de *C. cajan* ont eu une tendance au maintien ou à la diminution. Cela suggère que les feuilles de *C. cajan* ont réduit soit la population des NGI, soit la fertilité des vers femelles (Hoste *et al.*, 2011). Cependant, en mettant en rélation ces résulats et les valeurs de l'hématocrite des animaux supplémentés qui ont diminué au cours de l'essai, une réduction de la fertilité des vers femelles serait plus probable. En effet, des auteurs, ont mis en évidence une corrélation négative entre l'hématocrite d'une part, les œufs par gramme (OPG) de fèces et la charge d'*H. contortus*, espèce hématophage d'autre part (Ndao *et al.*, 1995 ; Taylor *et al.*, 2002 ; Chandrawathani *et al.*, 2006).

Les deux variétés de *C. cajan* ont entrainé des réductions de l'excrètion des œufs de *H. contortus* et de *T. colubriformis*, tout au long de l'essai. Les taux de réduction ont été dépendants du temps, surtout pour la variété ICPL 87 119 GUIMU 3 (Asha). Cette réduction prouve la capacité des feuilles de *C. cajan* à réduire les niveaux d'excrétion des œufs de nématodes gastro-intestinaux, lorsqu'elles sont utilisées en supplément d'un fourrage grossier.

C. cajan peut contribuer à réduire l'infestation des pâturages (Hoste *et al.*, 2011; González-Garduño *et al.*, 2017). Toutefois, les taux de réduction obtenus pour les deux variétés ont été inférieurs à ceux obtenus après l'utilisation de l'anthelminthique de synthèse.

L'hématocrite des différents groupes, à l'exception de celui du groupe soumis à l'anthelminthique de synthèse, a diminué drastiquement durant l'essai. Dans le même temps, les OPG de *H. contortus* ont été très élevés dans tous les groupes, à l'exception du groupe soumis à l'anthelminthique de synthèse. Ceci confirme que les vers adultes sont toujours vivants et que les réductions d'excrétion des œufs constatées sont plutôt dues à une une baisse de la fertilité des vers femelles. L'amélioration du niveau de protéines alimentaires chez les animaux supplémentés avec les feuilles de *C. cajan* semble n'avoir eu aucun effet sur l'hématocrite chez les agneaux Djallonké soumis à une hémonchose. Cette observation pourrait être due au niveau de protéines dans la ration. Van Houtert et Sykes (1996) rapportent que la "résistance" à l'infestion chez les agneaux, est susceptible d'être compromise, si l'ingestion en protéines brutes (PB) tombe en dessous de 4,45 g PB/Kg PV. Dans cette étude, l'ingestion en PB des animaux supplémentés, comprise entre 2,91 et 3,28 g PB/ Kg PV, a été en dessous de ce seuil. Ceci pourrait justifier la chute de l'hématocrite constatée ; car la résistance à *H. contortus* a été compromise.

3.2.2.3. Effet de la consommation de *C. cajan* sur la croissance des agneaux en l'absence de la source de ré-infestation des NGI

Tous les groupes d'animaux ont maintenu leur poids durant l'essai, même s'il y a eu une tendence à la diminution. Le gain de poids chez les ovins est lié à plusieurs facteurs que sont le niveau d'ingestion de la matière sèche (Kouonmenioc *et al.*, 1992 ; Ndlovu, 1992 ; Karachi et Zengo, 1998), la qualité nutritionnelle de l'aliment (Nianogo *et al.*, 1997 ; Guerin, 1999), la présence des NGI et le statut immunitaire de l'animal (Jackson et Miller, 2006 ; Kyriazakis et Houdijk, 2006 ; Athanasiadou *et al.*, 2008). Dans la présente étude, l'ingestion totale de matière sèche, comprise entre 35 g MS/ Kg PV et 50 g MS/Kg PV, est en accord avec les données normales d'ingestion des ovins qui sont situées entre 30 et 40 g MS/Kg PV (Rivière, 1991). Le maintien du poids chez les animaux ayant reçu l'anthelminthique de synthèse, animaux chez lesquels l'effet négatif des NGI sur la croissance des animaux, a été supprimé, indique également que les maintiens du poids observés ne sont pas dus aux NGI. La qualité de la ration et le statut immunitaire des animaux pourraient donc expliquer ces poids constants observés. En effet, une teneur minimale de 7 % de MAT dans la ration est requise pour couvrir les besoins azotés des microorganismes du rumen (Nianogo *et al.*, 1997 ; Guerin, 1999). La ration de base

avec une teneur en MAT de 2,90 % MS ne peut donc permettre à elle seule, une croissance des animaux même en l'absence des NGI. D'où le constat fait chez les animaux témoins. La supplémentation non plus avec les feuilles de *C. cajan* n'a pas donné les résultats escomptés. Selon Datta *et al.* (1998), c'est la composition en protéines du régime de base qui détermine la réponse à la supplémentation. Ainsi, dans cet essai, si le régime de base avait une composition en MAT de 8 % de MS, la proportion de MAT dans la ration des animaux traités, en maintenant les mêmes niveaux d'ingestion, serait comprise entre 9,33 et 10,98 % MS. Une réponse positive sur le gain de poids pouvait être espérée.

Dans les essais d'alimentation qui ont été réalisés (Karachi et Zengo, 1998 ; Shenkute *et al.*, 2013), pour tester l'efficacité des feuilles de *C. cajan* en tant que suppléments et qui ont enregistré des gains de poids, les nétatodes gastro-intestinaux (NGI) sont absents, puisque les animaux expérimentaux ont été préalablement traités avec des anthelminthiques de synthèse. Dans la présente étude, les essais ayant été réalisés en présence des NGI dont les OPG étaient faibles à modérés pour *T. colibriformis* (entre 200 et 950 OPG) et élevés pour *H. contortus* (OPG supéreiurs à 1900) selon l'échelle rapportée par Githiori *et al.* (2005). Or, chez les agneaux en croissance qui rencontrent des parasites pour la première fois, l'acquisition de l'immunité prime sur la croissance, sinon, ils pourraient succomber aux conséquences néfastes du parasitisme avant d'atteindre la maturité reproductive (Jackson et Miller, 2006 ; Kyriazakis et Houdijk, 2006 ; Athanasiadou *et al.*, 2008). Les ressources rares sont donc d'abord mobilisées pour l'acquisition de la fonction immunitaire plutôt qu'à la croissance. Les rations alimentaires dans cette étude étant pauvres, le peu de nutriments seraient, selon toute vraisemblance, consacrés d'abord à l'acquisition de l'immunité plutôt qu'à la croissance des animaux. C'est ce qui expliquerait le fait que les animaux n'aient pas pris de poids au cours de l'essai.

Au total, sur la base de l'étude *in vitro*, on peut conclure que les neuf variétés et cultivars de *C. cajan* considérés dans cette étude peuvent être utilisés pour réduire la charge des vers chez les moutons. Toutefois, les tanins jouent un rôle limité dans leurs propriétés anthelminthiques. Au terme de l'essai *in vivo*, il ressort qu'en l'absence de toute source de ré-infestion, la consommation de *C. cajan* entraîne une réduction de la fertilité des vers femelles. Cependant, les taux de réduction des œufs obtenus pour les deux variétés testées ont été inférieurs à ceux obtenus avec l'anthelminthique de synthèse. La consommation des feuilles de *C. cajan* n'a aucun effet sur la croissance des agneaux en primo-infestation soumis aux nématodes gastro-

intestinaux, si l'aliment de base est très pauvre en MAT. Elle n'a non plus, aucun effet sur l'hématocrite des agneaux Djallonké soumis à une hémonchose. Ainsi, l'utilisation des feuilles de *C. cajan* dans la lutte contre les NGI doit être associée à des traitements isolés des animaux qui présentent des signes cliniques d'anemie. De la sorte, l'utilisation des anthelminthiques de synthèse se verrait reduite.

3.3. Effet de la consommation des feuilles de *C. cajan* en supplément du pâturage naturel sur le parasitisme gastro-intestinal et la croissance des agneaux Djallonké

3.3.1. Résultats

Cette section traite des résutats relatifs à l'effet de la consommation des feuilles de *C. cajan* en supplément du pâturage naturel sur le parasitisme gastro-intestinal et la croissance des agneaux Djallonké.

3.3.1.1. Composition chimique des aliments

Les deux variétés de *C. cajan* ont présenté similairement des teneurs en matières azotées totales (MAT) et en fibres élevées. Les teneurs en MAT sont de l'ordre de 21, 80 % tandis que celles des fibres de l'ordre de 34 %. Au niveau des cendres, le cultivar local rouge a présenté une teneur de 9,05±0,05 %, supérieure à celle de la variété *C. cajan* var ICPL 87 119 GUIMU 3 (Asha) (8,59±0,21 %). Relativement à la matière grasse, les deux variétés ont présenté similairement des teneurs faibles, de l'ordre de 2,10 % (Tableau 22).

Tableau 22. Composition chimiques des aliments consommés par les agneaux au cours de l'essai *in vivo* 2.

	Aliments		*SEM*	*P>F*
	C. cajan cv CLR	*C. cajan* var ICPL 87 119 GUIMU 3 (Asha)		
	n=3	n=3		
Cendre (%)	9,05±0,05	8,59±0,21	*0,13*	*< 0,05*
ADF (%)	34,09±0,23	34,01±0,25	*0,24*	*0,73*
MAT (%)	21,94±0,17	21,80±0,26	*0,22*	*0,46*
MG (%)	2,10±0,00,	2,52±0,37	*0,19*	*0,12*

n= nombre d'éch antillons, SEM= erreur standard à la moynne, P>F= valeur de la probabilité P supérieure au seuil de signification Fde 5%, ADF= acid detergent fibre, MAT= matières azotées totales, MG= matière grasse.

3.3.1.2. Composition de la strate herbacée et valeur pastorale du pâturage naturel

La couverture végétale de la strate herbacée du pâturage naturel est de 97,1 %. La strate herbacée est composée de 34 espèces végétales représentées par 11 familles botaniques. *Sporobolus pyramidalis* (Poaceae), avec une contribution spécifique (CS) de 25,4 % est l'espèce dominante. Au niveau des familles botaniques, les Poaceae sont les plus représentées, avec une une CS de 44,7 %. Elles ont été suivies par les Fabaceae (CS=13,5 %), les Lamiaceae (CS=12,3 %) et les Rubiaceae (CS=11,1 %) (Tableau 23). La valeur pastorale nette (VPn) du pâturage est de 29,30 %.

Tableau 23. Contribution spécifique des espèces et valeur pastorale nette du pâturage naturel

N°	Espèces de la strate basse	Famille	CS/espèce (%)	CS/famille (%)
1	*Annona senegalensis*	Annonaceae	1,6	**1,6**
2	*Acanthospermum hispidium*	Asteraceae	0,4	
3	*Ageratum conyzoïdes*	Asteraceae	2,5	
4	*Aspilia bussei*	Asteraceae	0,4	
5	*Chromolaena odorata*	Asteraceae	0,8	**7,4**
6	*Tridax procumbens*	Asteraceae	2,0	
7	*Vernonia cinerea*	Asteraceae	0,4	
8	*Vernonia guineensis*	Asteraceae	0,8	
9	*Evolvulus alsinoïdes*	Convolvulaceae	0,4	**0,4**
10	*Cyperus rotondus*	Cyperaceae	0,4	
11	*Fimbristylis ferrugenea*	Cyperaceae	0,4	**3,7**
12	*Mariscus alternifolius*	Cyperaceae	2,9	
13	*Desmodium gangeticum*	Fabaceae	0,4	
14	*Desmodium triflorum*	Fabaceae	11,9	**13,5**
15	*Zornia glochidiata*	Fabaceae	1,2	
16	*Hyptis canum*	Lamiacea	0,4	**12,3**
17	*Hyptis suaveolens*	Lamiacea	11,9	
18	*Corchorus tridens*	Malvaceae	0,8	
19	*Sida rhombifolia*	Malvaceae	0,4	**1,6**
20	*Urena lobata*	Malvaceae	0,4	
21	*Acroceras amplectens*	Poaceae	0,4	
22	*Andropogon fastigiatus*	Poaceae	1,2	
23	*Chasmopodium caudatum*	Poaceae	0,4	
24	*Chrysopogon aciculatus*	Poaceae	2,0	
25	*Dieteropogon contortus*	Poaceae	0,4	**44,7**
26	*Hyparrhenia dissoluta*	Poaceae	0,8	
27	*Panicum pansum*	Poaceae	6,6	
28	*Pennisetum polystachion*	Poaceae	7,4	
29	*Sporobolus pyramidalis*	Poaceae	25,4	
30	*Borreria scabra*	Rubiaceae	0,4	
31	*Mitracarpus scraber*	Rubiaceae	9,4	**11,1**
32	*Oldenlandia corymbosa*	Rubiaceae	1,2	
33	*Waltheria indica*	Sterculiaceae	0,4	**0,4**
34	*Lippia multiflora*	Verbenaceae	0,4	**0,4**
	TOTAL CS (%)		**97,1**	
	VPn (%)		**29,62**	

CS/espèce = contribution spécifique des espèces ; CS/famille = contribution spécifique des familles ; VPn = valeur pastorale nette.

3.3.1.3. Ingestion de la matière sèche

L'ingestion de la matière sèche des deux variétés de *C. cajan* a été significativement identique ($p>0,05$) tout au long de l'essai. Elle a varié entre 2 g et 6 g MS/kg PV. La consommation des

feuilles de chaque variété de *C. cajanus* a augmenté significativement (p<0,05) au cours de l'essai (Tableau 24).

Tableau 24. Ingestion moyenne hebdomadaire des feuilles de *C. cajan* (g MS/Kg PV) au cours de l'essai *in vivo* 2.

	C. cajan		SEM	P>F
	C. cajan cv CLR	*C. cajan* var ICPL		
J11-J17	2,71±0,75b	2,79±0,67b	*0,71*	*0,87*
J18-J24	4,57±1,29ab	4,92±1,11a	*1,2*	*0,66*
J25-J31	4,77±1,51ab	5,64±0,96a	*1,24*	*0,31*
J32-J38	4,33±1,52ab	4,59±1,13ab	*1,33*	*0,77*
J39-J45	5,36±1,42a	5,30±0,94a	*1,18*	*0,95*
SEM	*0,84*	*0,62*		
P>F	*< 0,05*	*< 0,05*		

SEM= erreur standard à la moynne, P>F= valeur de la probabilité P supérieure au seuil de signification Fde 5%, Les moyennes portant les lettres différentes (a, b) dans une même colonne diffèrent significativement (p< 0,05).

3.3.1.4. Croissance pondérale des animaux

Au cours de l'essai, le poids des différents groupes d'animaux a évolué en dents de scie. Le poids moyen du lot d'animaux n'ayant reçu aucun traitement (témoin négatif) est passé de 11,26±1,61 kg au début de l'essai à 11,09±1,95 kg en fin d'essai. Celui des animaux ayant reçu uniquement l'anthelminthique de synthèse (témoin positif) est passé de 11,64±1,27 kg à 11,55±1,04 kg du début à la fin de l'essai.

Le poids moyen des animaux ayant consommé le cultivar local rouge est passé du début à la fin de l'essai de 10,67±1,46 kg à 10,49±1,39 kg. Enfin, le poids moyen des animaux ayant consommé la variété ICPL GUIMU 3 est passé de 10,91±0,83 kg à 11,16±0,68 kg du début à la fin de l'essai. Toutefois, aucune différence significative (p>0,05) n'a été observée entre le poids initial, les poids mesurés au cours de l'essai et le poids final pour tous les groupes d'animaux (Figure 26).

Les gains moyens quotidiens (GMQ) des différents lots d'animaaux au terme de l'essai ont été tous négatifs. Ils ont varié de -10,46±25,42 g/j à -1,14±10,02 g/j. Aucune différence significative (p>0,05) n'a été cependant observée, au terme de l'essai et aux différentes périodes de mesure, entre les GMQ des différents groupes d'animaux (Tableau 25).

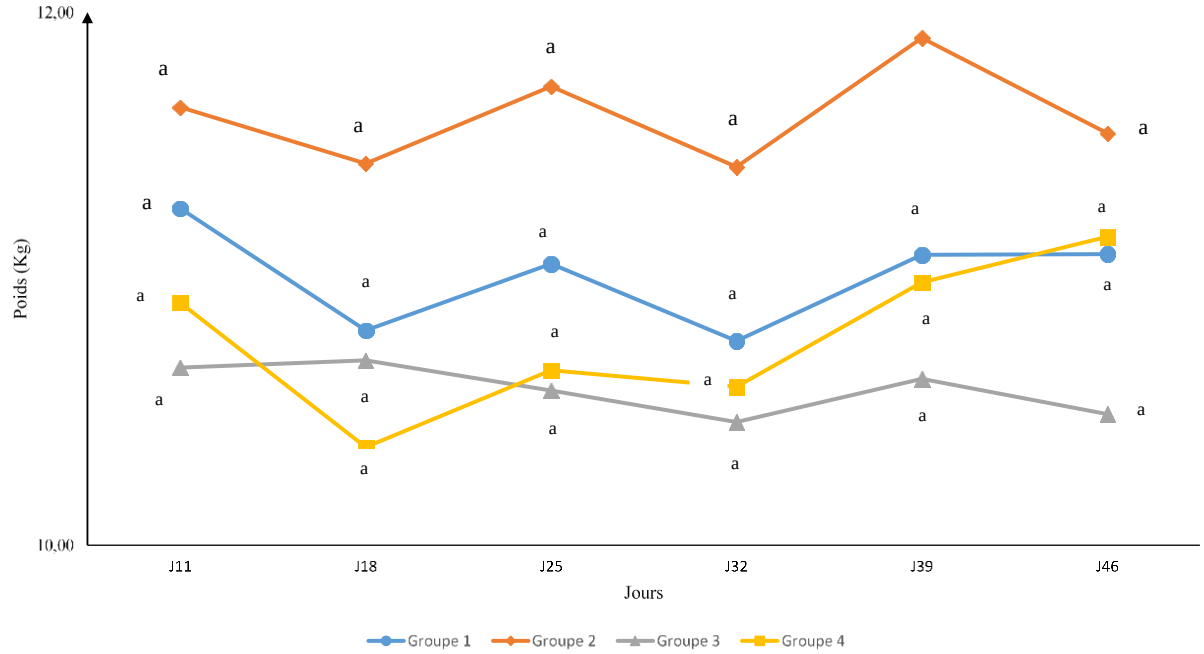


Figure 26. Evolution du poids moyen des lots d'animaux au cours de l'essai *in vivo* 2.
Groupe 1= groupe d'animaux n'ayant reçu aucun traitement ; Groupe 2= groupe d'animaux ayant reçu l'anthelminthique de synthèse ; Groupe 3= groupe d'animaux ayant reçu les feuilles du cultivar local rouge de *C. cajan* et Groupe 4= groupe d'animaux ayant reçu les feuilles de la variété ICPL 87 119 GUIMU 3 (Asha) de *C. cajan*.
Les moyennes portant la même lettre (a, b) sur la même courbe ne diffèrent pas significativement (p>0,05).

Tableau 25. GMQ (g) des différents groupes d'animaux au cours de l'essai *in vivo* 2.

Périodes	Groupes d'animaux				SEM	P>F
	Groupe 1	Groupe 2	Groupe 3	Groupe 4		
J11-J18	-65,43±94,51	-30,29±25,10	4,00±151,47	-77,43±46,61	58,89	0,52
J18-J25	35,71±23,32	41,43±24,60	-16,29±136,17	41,14±18,33	44,75	0,52
J25-J32	-41,43±28,27	-43,14±26,90	-16,86±45,02	-11,07±41,10	22,67	0,43
J32-J39	46,29±51,67	69,14±34,53	23,14±26,94	56,00±45,53	26,81	0,34
J39-J46	-17,46 ±74,24	-44,75±53,02	-16,50±40,10	-18,44±25,36	34,08	0,79
GMQ global	-10,46±25,42	-2,80±7,82	-4,97±7,48	-1,14±10,02	9,46	0,79

Groupe 1= groupe d'animaux ne recevant aucun traitement ; Groupe 2= groupe d'animaux recevant l'anthelminthique de synthèse ; Groupe 3= groupe d'animaux ayant reçu les feuilles du cultivar local rouge de *C. cajan* et Groupe 4= groupe d'animaux ayant reçu les feuilles de la variété ICPL 87 119 GUIMU 3 (Asha) de *C. cajan*.

3.3.1.5. Evolution des excrétions d'œufs de nématodes dans les fèces

L'excrétion d'œufs de *T. colubriformis* par les animaux n'ayant pas été traités a augmenté significativement (p<0,05) du début de l'essai (OPG=20±44,72) au 34^{e} jour (OPG=360,00±277,04). Ensuite, elle est restée statistiquement constante de J34 à J44 (OPG= 200,00 ± 70,71). Les animaux traités au lévamisole, après une absence d'excrétion d'oeufs du début de l'essai jusqu'à J20, ont connu de nouveau, des excrétions d'œufs à partir du 34^{e}. Les animaux qui ont consommé les feuilles de la variété CLR et ceux qui ont consommé les feuilles

de la variété ICPL 87 119 GUIMU 3 (Asha), n'ont pas connu de variations significatives du niveau d'excrétion des œufs (Figure 27).

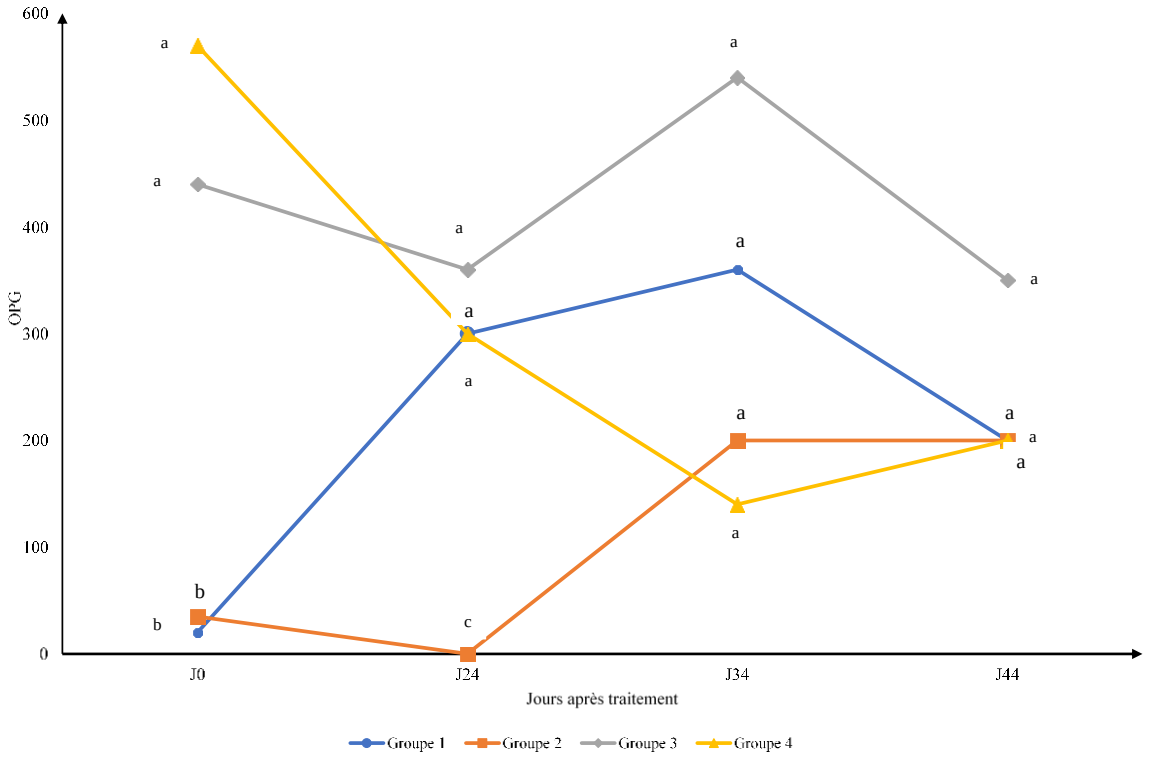


Figure 27. Evolution des excrétions des œufs de *T. colubriformis* dans les fèces des différents groupes d'animaux au cours de l'essai *in vivo* 2.
Groupe 1= groupe d'animaux n'ayant reçu aucun traitement ; Groupe 2= groupe d'animaux ayant reçu l'anthelminthique de synthèse ; Groupe 3= groupe d'animaux ayant reçu les feuilles du cultivar local rouge de *C. cajan* et Groupe 4= groupe d'animaux ayant reçu les feuilles de la variété ICPL 87 119 GUIMU 3 (Asha) de *C. cajan.*
Les moyennes portant la même lettre (a, b,c) sur la même courbe ne diffèrent pas significativement (p>0,05).

Concernant les excrétions des œufs de *H. contortus*, celles des animaux n'ayant pas été traités sont restées statistiquement les mêmes du début (OPG= 2130 ± 674,17) à la fin de l'essai (OPG= 1500 ± 212,13). Les animaux traités au lévamisole (groupe 2), n'ont pas excrétés d'oeufs de *H. contortus* après le début de l'essai jusqu'au 34^{e} jour (OPG=570±103,68), puis le niveau d'excrétion est resté statistiquement constant jusqu'à la fin de l'essai. L'excrétion des œufs de *H. contortus* par les ovins ayant consommé les feuilles de la variété CLR (groupe 3) a significativement diminué le long de l'essai. Les OPG sont passés de façon significative ($p<0,05$) de 3940,00 ± 1872,97 au début de l'essai à 180 ± 103,68 à la fin de l'essai. Celle des ovins ayant consommé les feuilles de la variété ICPL 87 119 GUIMU 3 (Asha) a également diminué de façon significative ($p<0,05$). Les valeurs des OPG sont passées de 12300,00 ± 2049,39 au début de l'essai à 150,00 ± 40,82 à la fin de l'essai (Figure 28).

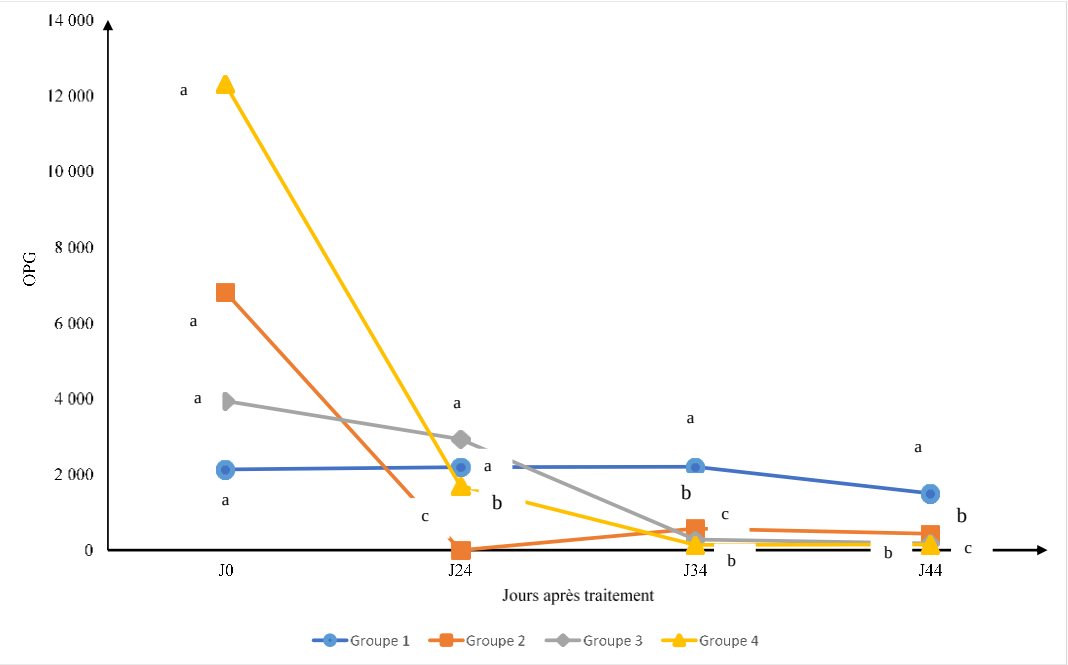


Figure 28. Evolution des excrétions des œufs de *H. contortus* dans les fèces des différents groupes d'animaux au cours de l'essai *in vivo* 2.
Groupe 1= groupe d'animaux n'ayant reçu aucun traitement ; Groupe 2= groupe d'animaux ayant reçu l'anthelminthique de synthèse ; Groupe 3= groupe d'animaux ayant reçu les feuilles du cultivar local rouge de *C. cajan* et Groupe 4= groupe d'animaux ayant reçu les feuilles de la variété ICPL 87 119 GUIMU 3 (Asha) de *C. cajan*.
Les moyennes portant la même lettre (a, b) sur la même courbe ne diffèrent pas significativement (p>0,05).

3.3.1.6. Taux de réduction des œufs fécaux

Les effets du lévamisole sur les œufs de *H. contortus* et de *T. colubriformis* ont été immédiats. Des taux de réduction de 100 % ont été observés dès le 20^{e} après le début de l'essai. Cependant, ils ont diminué avec le temps. L'utilisation des deux variétés de *C. cajan* a entraîné, tout au long de l'essai, des taux de réductions des œufs de *H. contortus* et de *T. colubriformis* positifs, compris entre 27,67 % et 98,90 %. Les réductions ont été immédiates et continues pour la variété ICPL 87 119 GUIMU 3 (Asha) aussi bien pour les œufs de *T. colubriformis* que pour ceux de *H. contortus*. Avec le cultivar local rouge (CLR), la réduction a été immédiate et continue que pour les œufs de *T. colubriformis*. Pour les œufs de *H. contortus*, le taux de réduction a été fonction du temps.

Pour les œufs de *T. colubriformis*, l'utilisation du lévamisole a entraîné des taux réduction similaires à ceux observés avec les deux variétés de *C. cajan* à J20. Par la suite, avec les deux variétés de *C. cajan*, des taux de réduction similaires ont été observés. Cependant, ces taux sont supérieurs à celui obtenu avec l'utilisation du lévamisole ($P< 0,05$). En ce qui concerne les œufs de *H. contortus*, l'utilisation du lévamisole a entraîné des taux de réduction supérieurs à ceux

observés après l'utilisation des deux variétés de *C. cajan* à J20 (P< 0,05). Par ailleurs, tous les traitements ont entraîné des taux de réduction statistiquement similaires (p>0,05) (Tableau 26).

Tableau 26. Taux de réduction (%) des œufs de NGI des différents traitements au cours de l'essai *in vivo* 2

	Traitements			*Khi 2*	*Valeur de p*
	Lévamisole	*C. cajan* CLR	*C. cajan* var ICPL 87 119 GUIMU 3 (Asha)		
Taux de réduction des œufs de *T. colubriformis*					
J20	100,00^{a}	94,55	96,49	*5,27*	*0,07*
J34	44,44^{b2}	93,18^{1}	98,64^{1}	*106,44*	< 0,05
J44	4,00^{c2}	92,05^{1}	96,49^{1}	*236,73*	*< 0,05*
Khi 2	*185,86*	*0,50*	*1,14*		
Valeur de p	*< 0,05*	*0,78*	*0,57*		
Taux de réduction des œufs de *H. contortus*					
J20	100,00^{a1}	27,67^{b3}	86,56^{b2}	*144,99*	*< 0,05*
J34	91,90^{b}	93,12^{a}	98,90^{a}	*5,51*	*0,06*
J44	90,99^{b}	93,51^{a}	98,27^{a}	*5,05*	*0,08*
Khi 2	*9,15*	*140,79*	*18,83*		
Valeur de p	*< 0,05*	*< 0,05*	*< 0,05*		

Les moyennes portant en exposant les lettres différentes (a, b, c) dans une même colonne diffèrent significativement (p< 0,05). Les moyennes portant en exposant les chiffres différents (1,2, 3) dans une même ligne diffèrent significativement (P< 0,05).

3.3.1.7. Evolution de l'hématocrite

Les hématocrites des différents groupes d'animaux ont évolué de façon différente au cours de l'essai. L'hématocrite des animaux non traités est resté quasi constant (p>0,05) durant tout l'essai, bien qu'il y ait eu une tendance à la diminution (p>0,05). Pour les animaux traités au lévamisole, les valeurs d'hématocrite sont restées quasi constantes du début de l'essai (28,20± 2,05 %) à la fin de l'essai (24,40±4,28 %) (p>0,05). Les valeurs de l'hématocrite des animaux ayant consommé les feuilles de *C. cajan* CLR sont passées de 19,20±4,15 % au début de l'essai à 27,00±3,74 % à la fin (p>0,05). Par contre, pour les animaux supplémentés avec la variété ICPL 87 119 GUIMU 3 (Asha), les valeurs l'hématocrite ont significativement augmenté (p<0,05) du début de l'essai (17,40±7,47 %) à la fin de l'essai (32,60±6,11 %) (Figure 29).

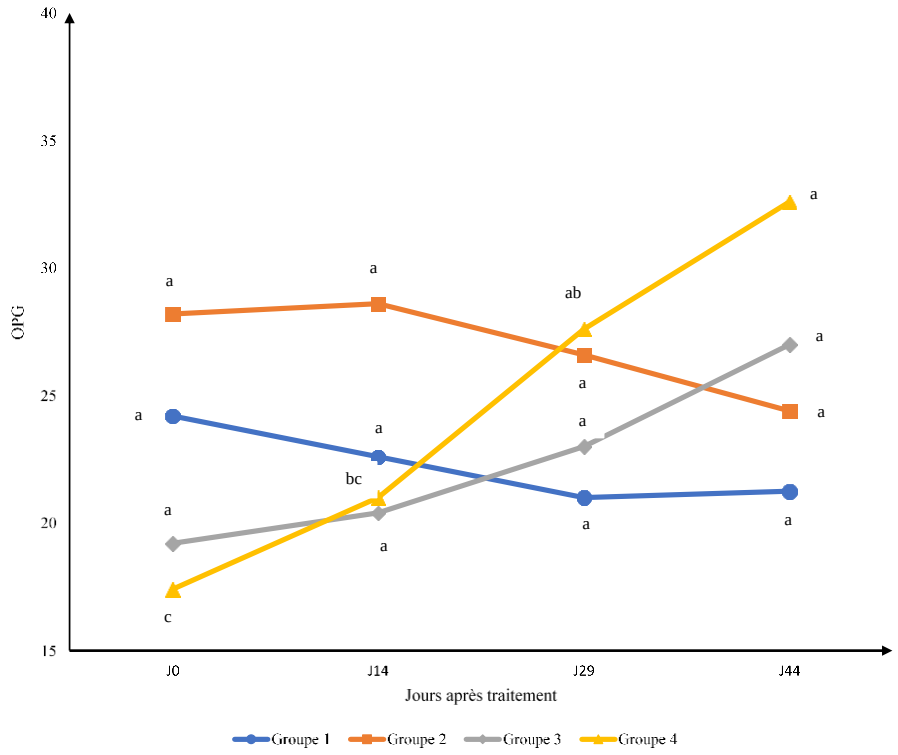


Figure 29. Evolution de l'hématocrite (%) au cours de l'essai *in vivo* 2

Groupe 1= groupe d'animaux n'ayant reçu aucun traitement ; Groupe 2= groupe d'animaux ayant reçu l'anthelminthique de synthèse ; Groupe 3= groupe d'animaux ayant reçu les feuilles du cultivar local rouge de *C. cajan* et Groupe 4= groupe d'animaux ayant reçu les feuilles de la variété ICPL 87 119 GUIMU 3 (Asha) de *C. cajan.*
Les moyennes portant la même lettre (a, b) sur la même courbe ne diffèrent pas significativement (p>0,05).

3.3.1.8. Taux de mortalité

Une mortalité de 16,33 % a été observée chez les anaimaux non traités (témoins). Cette mortalité est intervenue au 37^{e} jour après le début de l'essai. Aucune mortalité n'est survenue chez les animaux qui ont été soumis aux autres traitements.

3.2.2. Discussion

3.2.2.1. Effet de la consommation des feuilles de *C. cajan* en supplément du pâturage naturel, sur les NGI des agneaux Djallonké

Le niveau d'excrétion des œufs de *T. colubriformis* est resté constant. Par contre, la réduction du niveau d'excétion des œufs de *H. contortus* au cours de l'essai suggère l'existence d'une action anthelminthique sur les nématodes gastro-intestinaux. Deux hypothèses peuvent être émises quant à l'origine de cette action. Pour ce qui est de la première, les animaux ont dû consommer des espèces ayant des propriétés anthelminthiques. Parmi le cortège floristique

recensé dans le pâturage, certaines espèces telles que *Annona senegalensis* sont utilisées par les éleveurs ouest africains pour lutter contre les parasitoses internes (Ogni *et al.*, 2014). Une évalaution *in vivo* effectuée par Bodji *et al.* (2017) a confirmé les propriétés anthelminthiques de cette espèce. Les prélèvements par les animaux de feuilles ainsi constatés sur des jeunes pieds d'*A. senegalensis* pourraient en être une preuve. Bien que des évaluations scientifiques sur l'activité anthelminthiques de *Vernonia cinerea* et *Vernonia guineensis* n'aient pas été réalisées, *Vernonia anthelmintica*, une espèce du même genre, a déjà montré des propriétés anthelminthiques (Hördegen *et al.*, 2003). Dans ces conditions, les propriétés anthelminthiques observées seraient le résultat d'un effet conjugué entre l'action des feuilles de *C. cajan* et celle des plantes à propriété anthelminthique du pâturage naturel, comme l'a déjà démontré *in vitro* Singh *et al.*(2010). Les preuves des capacités d'automédication chez les petits ruminants n'ont pas encore été clairement décrites, bien que la survenue de tels processus ait été suggérée (Hoste *et al.*, 2008). Cette hypothèse tend à confirmer davantage ce processus. La deuxième hypothèse serait que la majorité des espèces inventoriées dans le pâturage naturel sont peu ou pas appetées (annexe 1) par les ovins. Les larves infestantes L3 qui ont migré sur ces plantes peu ou pas appetées seraient peu ou pas ingérées par les agneaux.

Les deux variétés de *C. cajan* ont entrainé des taux de réduction positifs tout au long de l'essai. Les réductions ont été immédiates pour avec l'utilisation de la variété ICPL 87 119 GUIMU 3 (Asha) aussi bien pour les œufs de *T. colubriformis* que de *H. contortus*. L'utilisation du cultivar local rouge (CLR) a entraîné la réduction immédiate et continue des œufs de *T. colubriformis* uniquement. Pour les œufs de *H. contortus*, le taux de réduction a été dépendant du temps. Les taux de réduction de la variété ICPL 87 119 GUIMU 3 (Asha) ont été élevés pour les œufs de *H. contortus*, malgré des excrétions fécales d'œufs qui sont restées toujours élevées. Cela pourrait s'expliquer par le fait que la formule 12 utilisée tient compte des changements dans le nombre d'œufs fécaux des animaux non traités (Pook *et al.*, 2002). Ces animaux non traités ont connu des niveaux d'excrétion fécale d'œufs de nématodes élevés qui avaient une tendance à l'augmentation tout le long de l'essai.

Les valeurs de l'hématocrite des animaux non traités et ceux soumis à l'anthelminthique de synthèse sont restés statistiquement les mêmes. Cependant, celles des animaux non traités sont restées inférieures à 24 %, valeur en dessous de laquelle l'anémie est envisagée chez les ovins (Polizopoulou, 2010). Tout se passe comme si ces animaux, pour leur survie, ont essayé de maintenir leur hématocrite. Selon toute probabilité, cela a été possible grâce à la consommation durant la pâture, des espèces qui ont amélioré leur érythropoïèse (Datta *et al.*, 1998 ; Khan *et*

al., 2012). Ces espèces seraient selon toute vraisemblance, des légumineuses, car chez les animaux soumis à une haemonchose, la réduction de l'hématocrite, est moins marquée chez ceux ayant un niveau élevé de protéines métabolisables que ceux recevant peu (Coop et Holmes, 1996 ; Coop et Kyriazakis, 2001). Sujon *et al.* (2008) ont rapporté que chez les bovins, les problèmes de vers peuvent être pratiquement contrôlés dans les pâturages contenant 20 à 25 % de légumineuses. Dans cette étude, la contribution des légumineuses dans le pâturage étaita été de 13,5 %. L'hématocrite, par contre, des animaux supplémentés a augmenté. Cet hématocrite est passé, des valeurs inférieures à 24 % à des valeurs supérieures à 30 %. La consommation des feuilles de *C. cajan* serait responsable de cette augmentation. Elle aurait améliorée davantage l'érythropoïèse des animaux.

3.2.2.2. Effet de la consommation des feuilles de *C. cajan* en supplément du pâturage naturel, sur la croissance des agneaux Djallonké

Tous les groupes d'animaux ont maintenu leurs poids au cours de l'essai. Le maintien du poids chez les animaux traités avec l'anthelminthique de synthèse (absence de NGI) au même titre que les autres groupes d'animaux indique que les NGI n'ont pas eu d'effet sur la croissance des animaux. Le régime alimentaire serait donc responsable de l'évolution du poids des animaux ; et ce régime n'assurerait que l'entretien des animaux. Cette supposition est renforcée par la valeur de l'indice globale de qualité du pâturage (29,62 %) qui a été moyenne (Oumorou *et al.*, 2011). En effet, la valeur pastorale des savanes en bon état avoisine 70 % à 90 % et celle des jachères restaurées atteint 80 % à 100 % (César, 2005). La valeur pastorale d'un pâturage dépend, en premier lieu, des espèces présentes dont l'appétibilité conditionne l'ingestion alimentaire. Elle est proportionnelle à la contribution des bonnes et moyennes graminées (Aboh *et al.*, 2012). Dans l'essai de Kaboré *et al.* (2016) qui a évalué l'effet anthelminthique des feuilles de *C. cajan* chez les ovins, lorsqu'elles sont utilisées en suppléments du pâturage naturel, les animaux supplémentés ont eu un gain de poids au même titre que les animaux témoins. Cependant, l'âge des animaux n'a pas été précisé. Mais, au vu de leur poids initial (16 ± 4.1 kg et 15,7 ± 3.9 kg), et en référence aux ovins utilisés par Nianogo *et al.* (1997), il est possible que les animaux utilisés par Kaboré *et al.* (2016) aient plus de un an d'âge. Dans ce cas, ils ont acquis déjà l'immunité contre les NGI (Atsé-Achi *et al.*, 2004). Le peu de nutriments disponibles, est désormais consacré à leur croissance. C'est selon toute vraisemblance la raison pour laquelle, les animaux témoins dans l'étude de Kaboré *et al.* (2016) ont eu un gain de poids.

Au total, utilisation de *C. cajan* comme supplément du pâturage naturel entraîne une réduction de la fertilité des vers femelles. Cependant, l'ampleur de l'effet est fonction de la composition floristique du pâturage. De même, l'ampleur de l'effet de la consommation des feuilles de *C. cajan* sur l'anémie des ovins dépend également de la composition floristique du pâturage. Par ailleurs, en présence des nématodes gastro-intestinaux (NGI), la consommation des feuilles de *C. cajan,* en supplément du pâturage, n'a aucun effet sur la croissance des agneaux en primo-infestation soumis aux nématodes gastro-intestinaux, lorsque le pâturage naturel est de qualité médiocre à moyenne. Ainsi, sur pâtuarage naturel, l'utilisation des anthelminthiques dans la lutte contre les NGI doit être réalisée en rapport avec la composition floristique du pâturage naturel.

3.4. Discussion générale

Cette étude trouve son originalité dans la combinaison des trois facteurs susceptibles d'impacter l'effet anthelminthique et nutraceutique d'une plante, chez les agneaux, à savoir la variété, le stade de développement et le mode d'exploitation de la plante. Ainsi, ont été testés successivement (i) l'effet de la varité et du mode de d'exploitation de *C. cajan* sur la teneur en polyphénols totaux et en tanins au cours du premier cycle de croissance, (ii) l'effet anthelminthique *in vitro* de neuf variétés de *C. cajan* et l'effet *in vivo* de deux variétés de *C. cajan* sur les NGI et la croissance des agneaux Djallonké. Chez *C. cajan*, il existe une différence variétale dans la synthèse des composés phénoliques. L'approche méthodologique utilisée a le mérite de de passer d'un essai au champ aux essais *in vivo*, en passant par un test *in vitro*. Ainsi, en mettant en rapport les résultats des différents essais réalisés, il est à suggérer que dans les études portant sur *C. cajan*, mettant en jeu les composés phénoliques, l'activité anthelminthique et la valeur alimentaire, la variété (ou le cultivar), le stade phénologique et le mode d'exploitation doivent être impérativement précisés ; ce qui n'a pas été le cas dans plusieurs travaux (Amarteifio *et al.*, 2002 ; Harris *et al.*, 2014 ; Vidhya et Ahmed, 2017)**.**

In vivo, les résultats ont montré qu'en présence des nématodes gastro-intestinaux (NGI), *C. cajan* ne peut permettre de gains de poids, chez les agneaux en primo-infestation, si l'aliment de base est très pauvre. Ceci tiendrait au fait que *C. cajan* bien que riche en protéines brutes, avec des teneurs supérieures à 17 % MS, fournirait peu de protéines métabolisables à l'organisme. Ceci en raison de sa teneur en tanins condensés, inférieure au seuil de 2–4%, requis dans la ration pour protéger les protéines contre de la dégradation microbienne excessive dans le rumen (Aerts *et al.*, 1999 ; Barry et McNabb, 1999). De la sorte, la quantité de protéines non dégradées entrant dans l'intestin grêle et le flux de protéines microbiennes dans l'intestin sont augmentés, et cela entraîne une augmentation de l'absorption des acides aminés chez l'animal (Aerts *et al.*, 1999 ; Njidda, 2010). En se référant aux travaux de Kaboré *et al.* (2016), l'on pourrait suggérer que des gains de poids peuvent être espérés chez les ovins à partir des fourrages grossiers en utilisant *C. cajan* comme supplément que, si les animaux sont âgés de plus d'un an, âge à partir duquel l'immunité est acquise chez les ovins Djallonké (Achi *et al.*, 2003). Néanmoins, l'atteinte d'une réponse positive sur le gain de poids chez les agneaux Djallonké âgés de moins d'un an, en primo-infestation, supplémentés avec les feuilles de *C. cajan*, exige un fourrage de base ayant au moins 8 % de MAT. A défaut, l'adjonction d'un autre complément riche en protéines brutes, capable de fournir suffisament d'azotes métabolisables s'impose.

L'évolution des excrétions fécales d'œufs de nématodes dans les deux tests *in vivo*, laisse suggérer que les feuilles de *C. cajan*, peuvent être utilisées comme supplément pour limiter l'infestation des pâturages (Stear *et al.*, 1999b ; Hoste *et al.*, 2011) et ainsi, réduire l'infestion des ovins aux pâturages. Cette réduction du nombre d'œufs fécaux est constatée malgré des teneurs en tanins condensés largement inférieures aux valeurs de 3–4 % MS proposées par Hoste *et al.* (2011) pour obtenir des effets anthelminthiques chez les petits ruminants. Ces résultats confirment ainsi ceux obtenus *in vitro*, qui ont montré que les tanins interviennent peu, dans l'activité anthelminthique de *C. cajan*. Les flavonoïdes de cette espèce, seraient donc plus responsables de son activité anthelminthique que ses tanins. Toutefois, leur effet anthelminthique doit être également prouvé.

L'activité anthelminthique de *C. cajan* se résume en une diminution de la fertilité des vers femelles. Ceci est en accord avec les observations de certains auteurs sur l'action anthelminthique des plantes consommées (Etter *et al.*, 2000 ; Olounladé *et al.*, 2017). Cependant, leur niveau d'efficacité est inférieur à celui de l'anthelminthique de synthèse. Les faibles quantités de matière sèche ingérées des feuilles de *C. cajan* expliqueraient ce faible niveau d'efficaité par rapport à l'anthelminthique de synthèse. En effet, l'effet anthelminthique des métabolites secondaires des plantes est dose-dépendante (Ombasa *et al.*, 2012 ; Kaboré *et al.*, 2016). L'efficacité des nutraceutiques dépend donc directement de la matière sèche volontairement ingérée par l'animal (Hoste *et al.*, 2015). Ainsi, toute stratégie visant à augmenter la quantité de matière sèche ingérée des feuilles de *C. cajan* aura également pour effet d'accroître l'efficacité anthelminthique de cette plante. La fabrication de granulés avec les feuilles de *C. cajan* pourrait en être une bonne option. Marie-Madeleine et Archimède (2015) ont obtenu avec des granulés de *Leucæna leucocephala* un taux de réduction de 8 % pour une consommation de 22 g/Kg PV. En passant de 22 g/Kg PV à 30 g/Kg PV de granulés de *Leucæna leucocephala*, un taux de réduction de 92 % a été observé. Les résultats de l'évolution de l'hématocrite autorisent à conclure que la consommation des feuilles de *C. cajan* n'empêche pas la baisse de l'hématocrite face à une heamonchose. En offrant donc aux agneaux un fourrage de base ayant au moins 8 % de MAT, ou en ajoutant à leur ration, un complément riche en protéines métabolisables, l'on les dispose à être plus résilients face à la baisse de l'hématocrite (Coop et Holmes, 1996 ; Coop et Kyriazakis, 2001). A défaut de cette option, l'utilisation de *C. cajan* dans la lutte contre les nématodes gastro-intestinaux, doit s'accompagner de traitements individuels avec les anthelminthiques de synthèse, des animaux présentant les signes cliniques d'anémie.

Les résultats de l'essai *in vivo* 2 dans lequel les animaux ont été sur pâturage naturel, indiquent que la réduction de l'utilisation des anthelminthiques de synthèse, en cas de conduite des animaux sur pâturage naturel, doit tenir compte de la composition floristique du paturage. L'usage systématique des anthelminthiques de sysnthèse, doit être évité dans les pâturages riches en légumineuses et autres espèces à propriétés anthelminthiques. Les anthelminthiques de synthèses ne doivent être utilisés que pour les traitements individuels des animaux présentant des signes cliniques de la présence de nématodes.

Bien que *C. cajan* n'ait pas permis des gains de poids chez les agneaux Djallonké en primo-infestation, elle mérite l'appelation de nutraceutique relativement à la lutte contre les nématodes gastro-intestinaux, si l'on s'en tient aux caractériqtiques des nutraceutiques définies par Hoste *et al.* (2011). Selon ces auteurs, les nutraceutiques restent toujours des ressources alimentaires. Cependant, la première raison de leur exploitation, est en rapport avec leurs potentiels effets bénéfiques sur la santé animale. L'objectif principal des nutraceutiques, est la prévention des maladies.

La comparaison des taux de réduction des deux variétés de *C. cajan,* obtenus dans les deux essais, a permis de montrer que la variété ICPL 87 119 GUIMU 3 (Asha) a été plus efficace que le cultivar local rouge, alors que le test *in vitro* a montré l'inverse. Ceci pourrait s'expliquer par le fait que, les deux variétés n'étaient pas au même stade de développement durant l'essai. Le cultivar local rouge (CLR) était au stade végétatif alors que la variété ICPL 87 119 GUIMU 3 (Asha), qui est une variété précoce, au stade floraison-fructification. C'est à ces derniers stades (floraison-fructification) que les métabolites secondaires, supposés responsables de l'activité anthelminthique des plantes sont en fortes concentrations dans les feuilles (Li *et al.*, 2014). Cette affirmation est confirmée par les résultats de l'essai au champ intitulé « variation de la teneur en polyphénols totaux et en tanins des feuilles de neuf variétés de *C. cajan* au cours du premier cycle de croissance et en fonction du mode d'exploitation ». Elle est également confirmée par la teneur en polyphénols totaux de la variété ICPL 87 119 GUIMU 3 (Asha) supérieure à celle du cultivar local rouge, au début de l'essai. La valorisation de *C. cajan* en tant que nutraceutique chez les ovins, dans la lutte contre les nématodes gestro-intestinaux, doit ainsi prendre en compte la variété et le stade phénologique. Ces deux élements doivent être mis en rapport avec l'épidémiologie des nématodes gastro-intestinaux afin de choisir la variété qui convienne.

Par ailleurs, au terme de cette étude, force est de reconnaître qu'elle présente tout de même des limites. La première est le fait que le test au champ relatif à la variation des teneurs en composés

phénoliques n'a pas été repété sur deux à trois ans, afin de confirmer ou infirmer les tendances observées en première année de culture.

La seconde limite vient du fait que les résultats ont clairement montré que les tanins ont un rôle limité dans l'activité anthelminthique de *C. cajan*. Cependant, la présente étude n'a pas permis d'identifier le ou les autres métabolites sécondaires impliqués dans cette activité anthelminthique et qui joueraient un rôle beaucoup plus prépondérant que celui des tanins dans cette activité.

La troisième limite de cette étude réside dans le test *in vitro*. En effet, les vers adultes de *H. contortus* utilisés n'ont pas été cultivés. Ils sont directement issus de la caillette de divers moutons abattus. Ces vers n'avaient certainement pas le même âge, la même vigueur et la même résistance face aux extraits utilisés. Ce qui pourrait avoir impacté les résultats obtenus.

Enfin, la quatrième limite de cette étude est le nombre limité d'animaux utilisé par groupe pour les essais *in vivo*. Un nombre d'animaux plus élevé aurait probablement permis d'observer des différences significatives entre les moyennes de certains traitements, là où dans cette étude, ces différences ont été non significatives. En effet, l'éthique et le bien-être animal suggèrent de réduire au maximum le nombre d'animaux dans les essais où les animaux sont susceptibles de mourir, de souffrir de maladies ou de faim. Cette exigence a obligé à limiter, dans les deux essais *in vivo* le nombre d'animaux par groupes à six. Ce nombre d'animaux est le nombre minimal recommandé par l'Association mondiale pour l'avancement de la parasitologie vétérinaire (WAAVP) dans les tests *in vivo* des produits anthelminthiques (Githiori *et al.*, 2005). En effet, dans chacun des deux essais, seul un groupe sur quatre a été traité avec un anthelminthique de synthèse. Les trois autres groupes étaient donc susceptibles de souffrir de parasitoses internes. Or, ces parasitoses, comme préalablement mentionné, provoquent des pertes pouvant excéder 50 % du potentiel de production. Chez les agneaux, elles peuvent provoquer près de 50% de mortalités (Dorchies *et al.*, 2003 ; Mahieu *et al.*, 2009). En outre, l'aliment de base dans les deux essais (paille de *Panicum maxiimum* C1 ou pâturage naturel) n'était pas de bonne qualité. Ils étaient susceptibles de conduire à un retard de croissance, à une perte de poids des agneaux, parfois à une mortalité pouvant même atteindre 60% (Kouonmenioc *et al.*, 1992 ; Nianogo *et al.*, 1997 ; Nantoumé *et al.*, 2000).

CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES

Au terme de cette étude, il ressort qu'il existe une différence variétale chez *C. cajan,* dans la synthèse des polyphénols totaux et des tanins. Les teneurs les plus élevées sont enregistrées chez les variétés traditionnelles. Bien que les quantités produites soient faibles, une augmentation des teneurs au cours du cycle de développement est observée. La fauche influence la production de polyphénols totaux et de tanins. Toutefois, selon les variétés et le stade de développement, la fauche peut entraîner soit une augmentation, soit une diminution, soit encore aucune variation des teneurs en polyphénols totaux et en tanins. Ainsi, les teneurs de *C. cajan* en polyphénols totaux et en tanins sont à la fois influencées par la variété, le stade phénologique et le mode d'exploitation.

C. cajan possède bel et bien des propriétés anthelminthiques *in vitro*. Cependant, ses effets anthelminthiques *in vitro* sont fonction de la variété. A un même stade phénologique, des différences variétales existent. Sur les neuf variétés testées, seulement cinq ont montré un effet nématicide prometteur, bien que leurs effets soient significativement inférieurs à celui de l'anthelminthique de synthèse, habituellement utilisé. Il s'agit de CL-Rouge, CL-Blanc, CL-Noir, la variété ICPL 87119 GUIMU 3 (Asha) et la variété ICPL 332 ABAAYA.

In vivo, la consommation des feuilles de *C. cajan* en tant nutraceutique contre les nématodes gastro-intestinaux a été également confirmée. Sur pâturage naturel riche en légumineuses et autres espèces à propriétés anthelminthiques, l'efficacité des feuilles de *C. cajan*, est plus élevée par rapport à la situation où elle est employée à l'auge, en supplément d'un fourrage grossier. L'effet nutraceutique de *C. cajan* contre les nématodes gastro-intestinaux consiste en une réduction de la fertilité des vers femelles, laquelle permet une réduction de l'infestation des pâturages. Cependant, chez les agneaux Djallonké en primo-infestion, la consommation des feuilles de *C. cajan* ne permet pas de prévenir la baisse de l'hématocrite. Par ailleurs, les tanins, responsables des effets nutraceutiques de plusieurs légumineuses fourragères, interviennent très peu dans l'activité anthelminthique et nutraceutique de *C. cajan.* D'autres molécules jouent un rôle plus important que celui des tanins. Une meilleure valorisation de cette espèce passe donc par l'identification précise de toutes les molécules bioactives impliquées dans les propriétés anthelminthiques de cette espèce.

Les feuilles de *C. cajan* malgré leur richesse en protéines brutes ne permettent pas aux agneaux Djallonké en primo-infestion de gagner en poids, si l'aliment de base est très pauvre. Pour y parvenir, il faut donner aux agneaux, en plus d'une source d'énergie fermentescible beaucoup plus importante, un fourrage de base moins pauvre en MAT. Une telle ration permettra aux agneaux de satisfaire à la fois leurs besoins d'entretien, d'acquisition d'immunité et de croissance. En outre, une telle ration aura l'avantage de limiter la réduction de l'hématocrite.

En recommandation de cette étude, la variété (ou le cultivar), le stade phénologique et le mode d'exploitation doivent être impérativement précisés, dans les études sur *C. cajan* mettant en jeu les polyphénols, les tanins, la valeur alimentaire et les propriétés anthelminthiques et nutraceutiques. En outre, la valorisation de *C. cajan* dans la lutte contre les NGI chez les agneaux Djallonké, à l'état actuel des choses, doit utiliser less variétés traditionnelles, et les utiliser aux stades reproductifs. Cette valorisation doit être accompagnée de traitements isolés avec les anthelminthiques de synthèse, des animaux qui présenteront des signes cliniques d'anémie. Ainsi, *C. cajan* doit mériter toute l'attention de la part des autorités en charge de l'agriculture et des resources animales de la Côte d'Ivoire, car c'est une plante à usage multiple. Elle peut non seulement contribuer à la sécurité alimentaire du pays, restaurer la fertilité des sols dégradés et lutter efficacement contre les nématodes gatro-intestinaux des ovins. Elle peut donc contribuer à augmenter les revenus des agriculteurs et des éleveurs.

En perspective de cette étude, il ressort que l'utlisation des feuilles de *C. cajan* en tant que nutraceutique dans la lutte contre les nématodes gastro-intestinaux est prometteur, en ce sens qu'il limiterait l'utilisation des anthelminthiques de synthèse, qui sont de plus en plus remis en cause. Toutefois, pour porter des jugements catégoriques sur leur efficacité en tant que nutraceutique, il faudrait poursuivre les études en augmentatant le nombre d'animaux par groupe (10 à 15 animaux par lot) d'une part et en réduisant le nombre de lots d'animaux à deux d'autre part (lot témoin et lot expérimental). Ceci revient à poursuivre l'étude avec une seule variété. En outre, toute stratégie qui viserait à augmenter l'ingestion de la matière sèche de cette espèce, permettrait d'avoir des effets anthelminthiques beaucoup plus spectaculaires que ce qui a été observé dans cette étude. La fabrication d'aliments granulés à base de feuilles séchées de *C. cajan* participerait de cette stratégie.

Enfin, jusqu'à ce jour, l'amélioration variétale de *C. cajan* a privilégié les rendements grainiers et la résistance aux facteurs abiotiques et biotiques. Aujourd'hui, avec les enjeux de développement durable, il devient urgent que l'améliorateur intègre désormais, en plus des rendements et de la résistance, la capacité de la plante à accroître les teneurs en molécules bioactives à propriétés anthelminthiques. Dans cette optique, la recherche doit aller dans le sens de la création des variétés ayant un fort potentiel nutraceutique. En outre, les cultivars locaux rencontrés en Côte d'Ivoire qui ont montré de bon potentiel anthelminthique *in vitro,* doivent être caractérisés (agronomique et moléculaire) et conservés, en vue de leur meilleure exploitation dans la lutte contre les nématodes gastro-intestinaux.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. Aboh B. A., Babatounde S., Oumorou M., Houinato M., Sinsin B., 2012. Valeur pastorale des parcours naturels en zone soudanoguinéenne et stratégie paysanne d'adaptation aux effets de leur invasion par *Chromolaena odorata* au Bénin. *Int. J. of Biol. Chem. Sci.*, 6(4), 1633-1646. http://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v6i4.22.
2. Achi Y., Zinsstag J., Yeo N., Déa V., Dorchies P. , 2003. Épidémiologie des helminthoses des moutons et des chèvres dans la région des savanes du Nord de la Côte d'Ivoire. *Revue Méd. Vét.*, 154(3), 179-188.
3. Adjalohoum S. , 2008. Yield, Nutritive value and effect on soils fertility of forage grasses and legumes cultivated as ley pasture in the Borgon region of Benin. Thèse de doctorat, Faculté universitaire des sciences agronomiques, Gembloux, Belgique, 101 p.
4. Aerts R., Barry T., McNabb W. , 1999. Polyphenols and agriculture: beneficial effects of proanthocyanidins in forages. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 75, 1-12.
5. Agwunobi L. , 2000. Effect of feeding heat treated soybean (*Glycine max*) and pigeon pea (*Cajanus cajan*) as major sources of protein on layer performance. *Global Journal of Pure and Applied Science*, 6, 1-3.
6. Akpo L.-E., Grouzis M. , 2000. Valeur pastorale des herbages en région soudanienne, le cas des parcours sahéliens du Nord-Sénégal. *Tropicultura*, 18(1), 1-8.
7. Alla K. J. B., 2015. Impact du niveau de fibres dans un aliment complet granulé sur les performances de reproduction chez l'aulacode (*Thryonomys swinderianus*, Temminck 1827). Mém. Master 2, Univ. Nangui Abrogoua, Abidjan, RCI, 45 p
8. Alvarez L. I., Mottier M. L., Lanusse C. E. , 2007. Drug transfer into target helminth parasites. *Trends in Parasitology*, 23(3), 97-104. https://doi.org/10.1016/j.pt.2007.01.003.
9. Amaefule K., Obioha F. , 2005. Performance of pullet chicks fed raw or processed pigeon pea (*Cajanus cajan*) seed meal diets. *Livestock Research for Rural Development*, 17(33). Disponible sur: http://www.cipav.org.co/ lrrd/ lrrd17/03/amae17033.htm.
10. Amaefule K. U., Ironkwe C., Ojewela S. , 2006. Pigeon pea (*Cajanus cajan*) seed meals as protein source of pullets. 1. Performance of grower pullets fed raw or processed pigeon pea seed meal diets. *International journal of poultry science*, 5(1), 60-64.
11. Amarteifio O., Munthali C., Karikari K., KT M. , 2002. The composition of pigeon peas (*Cajanus cajan* (L.) Millsp.) grown in Botswana. *Plant Foods for Human Nutrition*, 57, 173-177. https://doi.org/10.1023/A:1015248326920.
12. Ashad F., Anisuzzaman M., Begum N., Dey A., Mondal M. , 2011. Factors Affecting the Development and Hatching of Eggs and the Survival of Infective Larvae of Haemonchus contortus in Laboratory Condition. *Progressive Agriculture*, 22(1-2), 75-83.

https://doi.org/10.3329/pa.v22i1-2.16469.

13. Athanasiadou S., Houdijk J., Kyriazakis I. , 2008. Exploiting synergisms and interactions in the nutritional approaches to parasite control in sheep production systems. *Small Ruminant Research*, 76(1-2), 2-11. https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2007.12.016.
14. Atsé-Achi L., Komoin-Oka C., Koné P., N'depo A., Zinsstag J. , 2004. Le parasitisme digestif des ruminants domestiques de Côte d'Ivoire. In Centre Suisse de Recherche Scientifique (Ed) *"Le parasitisme des ruminants domestiques en Afrique de l'Ouest, cas de la Côte d'Ivoire"*. *Sempervira* 11, Centre Suisse de Recherches Scientifiques, Côte d'Ivoire, 29-59.
15. Aufrère J., Theodoridou K., Baumont R. , 2012. Valeur alimentaire pour les ruminants des légumineuses contenant des tannins condensés en milieux tempérés. *INRA Productions Animales*, 25(1), 29-44. https://doi.org/10.20870/productions-animales.2012.25.1.3193.
16. Aufrère J., Theodoridou K., Baumont R. , 2013. Valeur agronomique et alimentaire du sainfoin. *Fourrages*, 213, 63-75.
17. Awohouedji D. , 2014. *Etude des propriétés anthelminthiques de « Boerhavia diffusa » et de « Khaya senegalensis » sur les nématodes « Haemonchus contortus » chez les ovins « Djallonké » au Bénin*. GRIN Verla. Munich. https://www.grin.com/document/305981.
18. Azuhnwi B. N., Boller B., Martens M., Dohme-Meier F., Ampuero S., Günter S., Kreuzer M., Hess H. D. , 2011. Morphology, tannin concentration and forage value of 15 Swiss accessions of sainfoin (Onobrychis viciifolia Scop.) as influenced by harvest time and cultivation site. *Grass and Forage Science*, 66(4), 474-487. https://doi.org/10.1111/j.1365-2494.2011.00811.x.
19. Barry A. M., Pandey V. S., Bah S. et Dorny P. , 2002. Etude épidémiologique des helminthes gastro-intestinaux des caprins en Moyenne Guinée. *Revue d'élevage et de médecine vétérinaire des pays tropicaux*, 55(2), p. 99-104. https://doi.org/10.19182/remvt.9839.
20. Barry T. N., McNabb W. C. , 1999. The implications of condensed tannins on the nutritive value of temperate forages fed to ruminants. *British Journal of Nutrition*, 81(4), 263-272. https://doi.org/10.1017/S0007114599000501.
21. Baudoin J.-P. , 2001. Contribution des ressources phytogénétiques à la sélection variétale de légumineuses alimentaires tropicales. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ*, 5(4), 221-230.
22. Berard N. C., Wang Y., Wittenberg K. M., Krause D. O., Coulman B. E., McAllister T. A., Ominski K. H. , 2011. Condensed tannin concentrations found in vegetative and mature forage legumes grown in western Canada. *Canadian Journal of Plant Science*, 91(4),

669-675. https://doi.org/10.4141/cjps10153.

23. Bodji N. , 1997. Influence de la hauteur et du rythme de coupe sur la productivité et la pérennité d'une culture de Cajanus cajan CIAT 18700. *Revue Elev. Med. Vét. Pays trop.*, 50(4), 309-312. https://doi.org/10.19182/remvt.9562.
24. Bodji N. C., Koutouan F. P., Wandan E. N., Yapi Y. M., N'din N. S., Iritié M. B. , 2017. Évaluation *in vivo* des propriétés anthelminthiques des extraits aqueux d'*Annona senegalensis* Pers. (Annonaceae) chez les ovins Djallonké. *Journal of Animal &Plant Sciences*, 32(2), 5111-5119.
25. Bogan J., Armour J. , 1987. Anthelmintics for ruminants. *International Journal for Parasitology*, 17(2), 483-491. https://doi.org/10.1016/0020-7519(87)90124-X.
26. Brunet S. , 2008. Analyse des mécanismes d'action antiparasitaire de plantes riches en substances polyphénoliques sur les nématodes du tube digestifs des ruminants. Thèse de doctorat, Univ. Toulouse, France, 246 p + annexes.
27. Byers R., Kramer W. , 2010. Normal Hematology of Sheep and Goats. In: Weiss J. D., Wardrop J. K. (Eds):"Chalm's Veterinary Hematology Sixth edition". Wiley-Blackwell, 836-842
28. Caburet A., Lethève H. , 2000. Les légumineuses à graines. In CIRAD (éd.) *Mémento de l'agronome*. CIRAD, 865-878.
29. Cardoso S. C., Soares A. C. F., Brito A. D. S., Laranjeira F. F., Ledo C. A. S., Santos A. P. D., 2006. Control of tomato bacterial wilt through the incorporation of aerial part of pigeon pea and crotalaria to soil. *Summa Phytopathologica*, 32(1), 27-33. https://doi.org/10.1590/S0100-54052006000100004.
30. César J. , 2005. Productions fourragères en zone tropicale. L'évaluation des ressources fourragères naturelles. *Production animale en Afrique de l'Ouest 17*, 12 p.
31. César J., Coulibaly Z. , 1993. Conséquence de l'accroissement démographique sur la qualité de la jachère dans le Nord de la Côte d'Ivoire. In Floret, C. et Serpantié, G. (éds.) *La jachère en Afrique de l'Ouest*. Montpellier, France, 2 Décembre 1991/5 Décembre 1991: ORSTOM, 415-434.
32. Chala M., Temesgen A.,Tegegn G. , 2013. Effect of feeding Leucaena pallida with concentrate and antihelmentic treatment on growth performance and nematode parasite infestation of Horro ewe lambs in Ethiopia. *International Journal of Livestock Production*, 4(10), 155-160. https://doi.org/10.5897/IJLP2013.0176.
33. Chandrawathani P., Chang K., Nurulaini R., Waller P., Adnan M., Zaini C., Jamnah O., Khadijah S., Vincent N. , 2006. Daily feeding of fresh Neem leaves (*Azadirachta indica*)

for worm control in sheep. *Tropical Biomedicine*, 23(1), 23-30.

34. Coop R. L., Holmes P. H. , 1996. Nutrition and parasite interaction. *International Journal for Parasitology*, 26(8-9), 951-962. https://doi.org/10.1016/S0020-7519(96)80070-1.
35. Coop R. L., Kyriazakis I. , 2001. Influence of host nutrition on the development and consequences of nematode parasitism in ruminants. *Trends in Parasitology*, 17(7), 325-330. https://doi.org/10.1016/S1471-4922(01)01900-6.
36. Coulibaly D. , 2013. Politique de développement de l'élevage en Côte d'Ivoire. 9ième conférence des Ministres africains en charge des Ressources Animales, DPP, MIRAH, 13 p.
37. Daget P., Poissonet J. , 1971. Une méthode d'analyse phytologique des prairies. *Ann. Agron*, 22(1), 5-41.
38. Daget P., Poissonet J., Huguenin J. , 2010. Prairies et pâturages - méthodes d'étude de terrain et interprétations. Montpellier: CIRAD, 955 p..
39. Daniel J. N. et Ong C. K. , 1990. Perennial pigeonpea: a multi-purpose species for agroforestry systems », *Agroforestry Systems*, 10(2), 113-129. https://doi.org/10.1007/BF00115360.
40. Datta U. F., Nolan U. F., Rowe J. B., Gray D. G. , 1998. Protein supplementation improves the performance of parasitised sheep fed a straw-based diet. *International Journal for Parasitology*, 28(8), 1269-1278. https://doi.org/10.1016/S0020-7519(98)00104-0.
41. Dedehou V.F.G.N. , Olounladé P.A. , Adenilé A.D. , Azando E.V.B., Alowanou G.G., Daga F.D., Hounzangbé-Adoté M.S. , 2014. Effets *in vitro* des feuilles de Pterocarpus erinaceus et des cosses de fruits de Parkia biglobosa sur deux stades du cycle de développement de Haemonchus contortus nématode parasite gastro-intestinal de petits ruminants. *Journal of Animal &Plant Sciences*, 22(1), 3368-3378.
42. Defly A. , 2004. Intégration des cultures fourragères dans les systemes agropastoraux des zones à fortes pressions démographiques du sud-est du Togo. In Dicko M., Ehouinsou M., Aboh A.B., Desquesnes M. (Eds): " Introduction des plantes fourragères dans les systèmes de production en Afrique de l'Ouest". CIRDES, PROCORDEL, actes de l'atelier tenu à Cotonou (Bénin), du 19 au 21 janvier 2004, 45-53.
43. Dorchies P., Achi Y.L., Zinsstag J., Yeo N., Dea V. , 2003. Épidémiologie des helminthoses des moutons et des chèvres dans la région des savanes du Nord de la Côte d'Ivoire. *Revue Méd. Vét.*, 154(3), 179-188.
44. DSRP , 2009. Document stratégique de réduction de la pauvreté. Abidjan (Côte d'Ivoire), 161 p.

45. Eguale T., Tilahun G., Gidey M., Mekonnen Y. , 2006. *In vitro* anthelmintic activities of four Ethiopian medicinal plants against *Haemonchus contortus. Pharmacologyonline*, 3, 153-165.
46. Etter E., Hoste H., Chartier C., Pors I., Koch C., Broqua C., Coutineau H. , 2000. The effect of two levels of dietary protein on resistance and resilience of dairy goats experimentally infected with *Trichostrongylus colubriformis* : comparison between high and low producers. *Veterinary Research*, 31(2), 247-258. https://doi.org/10.1051/vetres:2000120.
47. Eysker M. , 1997. Some aspects of inhibited development of trichostrongylids in ruminants. *Veterinary Parasitology*, 72(3-4), 265-283. https://doi.org/10.1016/S0304-4017(97)00101-5.
48. Ezenwa V. O. , 2004. Interactions among host diet, nutritional status and gastrointestinal parasite infection in wild bovids. *International Journal for Parasitology*, 34(4), 535-542. https://doi.org/10.1016/j.ijpara.2003.11.012.
49. Fabiyi J. P. , 1987. Production losses and control of helminths in ruminants of tropical regions. *International Journal for Parasitology*, 17(2), 435-442. https://doi.org/10.1016/0020-7519(87)90119-6.
50. Fluck A. C., Kozloski G. V., Martins A. A., Mezzomo M. P., Zanferari F., Stefanello S. , 2013. Relationship between chemical components, bacterial adherence and in vitro fermentation of tropical forage legumes », *Ciência e Agrotecnologia*, 37(5), 457-463. https://doi.org/10.1590/S1413-70542013000500010.
51. Fogang Zogang B., Tendonkeng F., Sawa C., Boukila B., Pamo E. T. , 2013. Effets de l'nclusion de différents niveaux de feuilles de Tithonia diversifolia dans des blocs multinutritionnels sur l'ingestion et la digestibilité *in vivo* de rations à base de paille de *Brachiaria ruziziensis* chez la brebis Djallonké. *Revue d'élevage et de médecine vétérinaire des pays tropicaux,* 66(3), 103-107. https://doi.org/10.19182/remvt.10133.
52. Forbes A. B., Huckle C.A ., Gibb M. J., Rook A. J., Nuthall R. , 2000. Evaluation of the effects of nematode parasitism on grazing behaviour, herbage intake and growth in young grazing cattle. *Veterinary Parasitology*, 90(1-2), 111-118. https://doi.org/10.1016/S0304-4017(00)00218-1.
53. Foster J. L., Adesogan A. T., Carter J. N., Blount A. R., Myer R. O., Phatak S. C. , 2009. Intake, digestibility, and nitrogen retention by sheep supplemented with warm-season legume hays or soybean meal », *Journal of Animal Science*, 87(9), 2891-2898. https://doi.org/10.2527/jas.2008-1637.
54. Fox M. T. , 1997. Pathophysiology of infection with gastrointestinal nematodes in domestic

ruminants: recent developments. *Veterinary Parasitology*, 72(3-4), 285-308. https://doi.org/ 10.1016/S0304-4017(97)00102-7.

55. Frutos P., Hervás G., Giráldez F. J., Mantecón A. R. , 2004. Review. Tannins and ruminant nutrition. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 2(2), 191. https://doi.org/10.5424/sjar/2004022-73.
56. Gadji H., Oya A. , 1987. Systèmes de production ovine et caprine en Côte d'Ivoire. In Timon, VM ; Baber, R. (éds.) "La production de viande ovine et caprine dans les régions tropicales, humides de l'Afrique de l'Ouest". Compte rendu de séminaire, Yamoussoukro, Côte d'Ivoire, 21–25 septembre 1987.
57. Garrido M. da S., Soares A. C. F., Coimbra J. L., Sousa C. da S. , 2008. Management of crotalaria and pigeon pea for control of yam nematode diseases. *Summa Phytopathologica*, 34(3), 222-227. https://doi.org/10.1590/S0100-54052008000300003.
58. Gbakatchetche H., Sanogo S., Camara M., Bouet A., Keli J. , 2010. Effet du paillage par des residus de pois d'angole (cajanus cajan l.) sur le rendement du riz (*oryza sativa*) pluvial en zone forestiere de Côte d'Ivoire. *Agronomie Africaine*, 22(2). https://doi.org/10.4314/aga.v22i2.68361.
59. Gbangboche A., Hornick J.-L., Adamou-N'diaye M., Edorh A., Farnir F., Abiola F., Leroy P. , 2005. Caractérisation et maîtrise des paramètres de la reproduction et de la croissance des ovins Djallonké (*Ovis amon aries*). *Ann. Méd. Vét.*, 149, 148-160.
60. Geary T. G., Sangster N. C., Thompson D. P. , 1999. Frontiers in anthelmintic pharmacology. *Veterinary Parasitology*, 84(3-4), 275-295. https://doi.org/10.1016/S0304-4017(99)00042-4.
61. Getachew T., Dorchies P., Jacquiet P. , 2007. Trends and challenges in the effective and sustainable control of *Haemonchus contortus* infection in sheep. Review. *Parasite*, 14(1), 3-14. https://doi.org/10.1051/parasite/2007141003.
62. Githiori B., Höglund J., Waller J. , 2005. Ethnoveterinary plant preparations as livestock dewormers: practices, popular beliefs, pitfalls and prospects for the future. *Research Reviews*, 6(1), 91-103. https://doi.org/10.1079/AHR200599.
63. Githiori J. B., Athanasiadou S., Thamsborg S. M. , 2006. Use of plants in novel approaches for control of gastrointestinal helminths in livestock with emphasis on small ruminants. *Veterinary Parasitology*, 139(4), 308-320. https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2006.04.021.
64. González-Garduño R., López Arellano M. E., Mendoza de Gives P., García J. A., Marie-Magdeleine C., Hernández G. T., Hernández J. O., Hinojosa-Cuéllar J. A. , 2017. Comparative response of IgA and IgG activity and hematological parameters among four

main beef-cattle breeds infected with gastrointestinal nematodes in the warm humid tropic of Mexico. *Annals of Animal Science*, 17(3), 819-833. https://doi.org/10.1515/aoas-2016-0089.

65. Guerin H. , 1999. Valeurs alimentaires des fourrages cultivées. In Roberge, G ; Toutain, B. (éds.) *"Culture fourragères tropicales"*. CIRAD, France, 93-145.
66. Gupta C., Rao P., Redoy C. , 1989. Development of short-duration pigeonpea cultivars. *Piqeonpea breeding*. Progress Report 26, ICRISAT, 110 p.
67. Harris K., Sahu M., Verma D. , 2014. Phytochemical analysis of the leaf, stem and seed extracts of *Cajanus cajan* L. (Dicotyledoneae: Fabaceae). *World journal of pharmacy and pharmaceutical sciences*, 3(8), 694-733. https://doi.org/10.20959.
68. Holmes P. H. , 1987. Pathophysiology of nematode infections. *International Journal for Parasitology*, 17(2), 443-451. https://doi.org/10.1016/0020-7519(87)90120-2.
69. Hördegen P., Hertzberg H., Heilmann J., Langhans W., Maurer V. , 2003. The anthelmintic efficacy of five plant products against gastrointestinal trichostrongylids in artificially infected lambs. *Veterinary Parasitology*, 117(1-2), 51-60. https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2003.07.027.
70. 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 Prod. Anim*, 12(5), 377-389.
71. Hoste H. , 2001. Adaptive physiological processes in the host during gastrointestinal parasitism. *International Journal for Parasitology*, 31, 231-244. https://doi.org/10.1016/S0020-7519(00)00167-3.
72. Hoste H., Jackson F., Athanasiadou S., Thamsborg S. M., Hoskin S. O. , 2006. The effects of tannin-rich plants on parasitic nematodes in ruminants. *Trends in Parasitology*, 22(6), 253-261. https://doi.org/10.1016/j.pt.2006.04.004.
73. Hoste H., Torres-Acosta J., Alonso-Diaz M., Brunet S., Sandoval-Castro C., Houzangbe-Adote S. , 2008. Identification and validation of bioactive plants for the control of gastrointestinal nematodes in small ruminants. *Trop. Biomed*, 25, 56–71. Disponible sur: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18414378.
74. Hoste H., Manolaraki F., Brunet S., Arroyo López C., Martínez-Ortiz de Montellano C., Sotiraki S., Torres Acosta F. , 2011. The anthelmintic properties of tannin-rich legume forages: from knowledge to exploitation in farm conditions. In Ranilla, MJ; Carro, M.D, Ben Salem, H; Moran d-Fehr, P. (éds.) *"Challenging strategies to promote the sheep and goat sector in the current global context".* Options Méditerranéennes: Série A. Séminaires

Méditerranéens; n°. 99: Zaragoza: CIHEAM / CSIC / Universidad de León / FAO, 295-304.

75. Hoste H., Torres-Acosta J. F. J., Sandoval-Castro C. A., Mueller-Harvey I., Sotiraki S., Louvandini H., Thamsborg S. M., Terrill T. H. , 2015. Tannin containing legumes as a model for nutraceuticals against digestive parasites in livestock. *Veterinary Parasitology*, 212(1-2), 5-17. https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2015.06.026.
76. Hoste H., Torres-Acosta J. F. J., Quijada J., Chan-Perez I., Dakheel M. M., Kommuru D. S., Mueller-Harvey I., Terrill T. H. , 2016. Interactions Between Nutrition and Infections With Haemonchus contortus and Related Gastrointestinal Nematodes in Small Ruminants. *Advances in Parasitology*, 93, 239-351. https://doi.org/10.1016/bs.apar.2016.02.025.
77. Houngnimassou H. M. A., Attindehou S., Salifou Soumanou, Koumodji K. D., Salifou Sahidou , 2017. Effets strongylicides in vitro de l'extrait aqueux de feuilles de *Ficus exasperata* Valh. 1805 (Moraceae). *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 11(3), 1012-1020. https://doi.org/10.4314/ijbcs.v11i3.6.
78. Hounzangbe-Adote M. S., Zinsou F. E., Affognon K. J., Koutinhouin B., Adamou N'Diaye M., Moutairou K. , 2001. Efficacité antiparasitaire de la poudre de graines de papaye (Carica papaya) sur les strongles gastro-intestinaux des moutons Djallonké au sud du Bénin. *Revue d'élevage et de médecine vétérinaire des pays tropicaux*, 54(3-4), 225-229. https://doi.org/10.19182/remvt.9778.
79. Hounzangbe-Adote M. S., Paolini V., Fouraste I., Moutairou K., Hoste H. , 2005. *In vitro* effects of four tropical plants on three life-cycle stages of the parasitic nematode, Haemonchus contortus. *Research in Veterinary Science*, 78(2), 155-160. https://doi.org/10.1016/j.rvsc.2004.05.009.
80. Hunter A., Uilenberg G., Meyer C. , 2006. *La santé animale 1. Principales maladies*. Agricultur. Édité par CIRAD-CTA. KARTHALA, 310 p.
81. Ingale L., Mulik V., Suryawanshi A., Zadbuke S. , 2010. Nutrition-parasite interaction- A review. *Agric. Rev.*, 31(1), 48-55.
82. Jabbar M. A., Reynolds L., Larbi A., Smith J. , 1997. Nutritional and economic benefits of Leucaena and Gliricidia as feed supplements for small ruminants in humid West Africa. *Tropical Animal Health and Production*, 29(1), 35-47. https://doi.org/10.1007/BF02632347.
83. Jackson F., Miller J. , 2006. Alternative approaches to control—Quo vadit? *Veterinary Parasitology*, 139(4), 371-384. https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2006.04.025.
84. Kaboré A., Konate A., Gnanda B., Yougbare B., Traore A., Teguera A., Diarra S.,

Tamboura H., Belem A. , 2016. Seed germination and anthelmintic activity of *Cajanus cajan* on sheep. *Journal of Chemical and Pharmaceutical Research*, 8(1), 403-410.

85. Kahn L. P., Knox M. R., Walkden-Brown S. W., Lea J. M. , 2003. Regulation of the resistance to nematode parasites of single- and twin-bearing Merino ewes through nutrition and genetic selection. *Veterinary Parasitology*, 114(1), 15-31. https://doi.org/10.1016/S0304-4017(03)00099-2.
86. Kaoneka S. R., Saxena R. K., Silim S. N., Odeny D. A., Ganga Rao N. V. P. R., Shimelis H. A., Siambi M., Varshney R. K. , 2016. Pigeonpea breeding in eastern and southern Africa: challenges and opportunities. *Plant Breeding* 135(2), 148-154. https://doi.org/ 10.1111/pbr.12340.
87. Kaplan R. M. , 2004. Drug resistance in nematodes of veterinary importance: a status report. *Trends in Parasitology*, 20(10), 477-481. https://doi.org/10.1016/j.pt.2004.08.001.
88. Karachi M., Zengo M. , 1998. Legume forages from pigeonpea, leucaena and sesbania as supplements to natural pastures for goat production in western Tanzania. *Agroforestry Systems*, 39, 13–21. https://doi.org/10.1023/A:1005859617603.
89. Khan F. A., Sahoo A., Sonawane G. G., Karim S. A., Dhakad S., Pareek A. K., Tripathi B. N., 2012. Effect of dietary protein on responses of lambs to repeated Haemonchus contortus infection. *Livestock Science*, 150(1-3), 143-151. https://doi.org/10.1016/j.livsci.2012.08.013.
90. Knox M. R., Torres-Acosta J. F. J., Aguilar-Caballero A. J. , 2006. Exploiting the effect of dietary supplementation of small ruminants on resilience and resistance against gastrointestinal nematodes. *Veterinary Parasitology*, 139 (4), 385-393. https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2006.04.026.
91. Koffi Y., Kossonou Y., Kouame A., Kouadio N., Bakayoko A., Tra Bi F., Koné M. , 2018. Activité Anthelminthique *In Vitro* Et Teneurs En Tanins Et Flavonoïdes De Huit Plantes Fourragères Utilisées En Elevage Des Petits Ruminants En Côte d'Ivoire. *European Scientific Journal, ESJ*, 14(15), 434-449. https://doi.org/10.19044/esj.2018.v14n15p434.
92. Kondombo R., Nianogo J. , 2001. Performance d'ovins Djallonké alimentés à base de résidus de récolte au Burkina Faso. *Agronomie Africaine*, 13(2), 59-66.
93. Koné K., Coulibaly K., Konan K. , 2019. Plantes à usage médicinale en élevage d'ovins à Sinématiali (Nord de la Côte d'Ivoire). *Journal of Animal & Plant Sciences*, 6828-6839. https://doi.org/10.35759/JAnmPlSci.v41-1.9.
94. Koné W. M., Atindehou K. , 2008. Ethnobotanical inventory of medicinal plants used in traditional veterinary medicine in Northern Côte d'Ivoire (West Africa). *South African*

Journal of Botany, 74(1), 76-84. https://doi.org/10.1016/j.sajb.2007.08.015.

95. Kouassi A. , 2013. Etude agrostologique et socio-économique des exploitations fourragères dans les zones urbaines et périurbaines de la ville d'Abidjan (Côte d'Ivoire). Thèse de doctorat, Univ. Félix Houphouet-Boigny, Abidjan, RCI, 180 p.
96. Kouonmenioc J., Lacoste A., Guérin H. , 1992. Etude de l'influence de quatre fourrages ligneux sur l'évolution pondérale des ovins de la race naine de l'Afrique de l'Ouest. In Stares, JES; Said, A. (éds.) *"Complementary of feed ressources for animal production in Africa"*. Gaborone, Bostwana, 4 – 8 March 1991: Feed Ressources Networks Workshop.
97. Krecek R. C., Waller P. J. , 2006. Towards the implementation of the "basket of options" approach to helminth parasite control of livestock: Emphasis on the tropics/subtropics. *Veterinary Parasitology*, 139(4), 270-282. https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2006.04.018.
98. Kyriazakis I., Anderson D. H., Coop R. L., Jackson F. , 1996. The pathophysiology and development of immunity during long-term subclinical infection with Trichostrongylus colubriformis of sheep receiving different nutritional treatments. *Veterinary Parasitology*, 65(1-2), 41-54. https://doi.org/10.1016/0304-4017(96)00947-8.
99. Kyriazakis I., Houdijk J. , 2006. Immunonutrition: Nutritional control of parasites. *Small Ruminant Research*, 62(1-2), 79-82. https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2005.07.036.
100. Larsen M., Nansen P., Grønvold J., Wolstrup J., Henriksen S. A. , 1997. Biological control of gastro-intestinal nematodes — facts, future, or fiction? *Veterinary Parasitology*, 72(3-4), 479-492. https://doi.org/10.1016/S0304-4017(97)00112-X.
101. Lebas F., 2007. Plantes tropicales utilisables comme fourrage pour les lapins. *In* Djago A. Y., Kpodekon M., Lebas F. (éds.). *Méthodes et Techniques d'élevage du Lapin. Elevage du lapin en milieu tropical*. France: association CUNICULTURE, 1-84.
102. Lecasble C. , 2011. Le marc de café comme source atypique de tanins condensés dans le contrôle intégré des nématodes gastro-intestinaux chez les petits ruminants du Yucatán. Thèse Doctorat Vétérinaire, ENV, ALFORT, France, 84 p.
103. Li Y., Iwaasa A. D., Wang Y., Jin L., Han G. , Zhao M. , 2014. Condensed tannins concentration of selected prairie legume forages as affected by phenological stages during two consecutive growth seasons in western Canada. *Canadian Journal of Plant Science*, 94(5), 817-826. https://doi.org/10.4141/cjps2013-234.
104. Lumaret J.-P., Errouissi F. , 2002. Use of anthelmintics in herbivores and evaluation of risks for the non target fauna of pastures. *Veterinary Research*, 33(5), 547-562. https://doi.org/10.1051/vetres:2002038.
105. Maheswari U., Reddy M., Rambabu M., Basha S. , 2012. Traditional medicinal flora

habituated in various regions of ysr (kadapa) district, andhra pradesh, india. *Indian Journal of Fundamental and Applied Life Sciences*, 2(3), 162-175.

106. Mahieu M., Arquet R., Fleury J., Coppry O., Marie-Magdeleine C., Boval M., Archimede H., Alexandre G., Bambou J.-C., Mandonnet N. , 2009. Contrôle intégré du parasitisme gastro-intestinal des petits ruminants au pâturage en zone tropicale humide. *Renc. Rech. Ruminants*, 16, 265-268.

107. Mahieu M. , 2014. Gestion du parasitisme gastro-intestinal des petits ruminants en zone tropicale humide. Thèse, Université de Lorraine, France, 177 p.

108. Makkar H. , 2000. Quantification of tannins in tree foliage. A laboratory manual for the FAO/IAEA co-ordinated research project on 'Use of Nuclear and Related Techniques to Develop Simple Tannin Assays for Predicting and Improving the Safety and Efficiency of Feeding Rumin. FAO/IAEA working document IAEA, VIENA (Austria), 26 p.

109. Manolaraki F. , 2011. Propriétés anthelminthiques du sainfoin (Onobrychis viciifoliae): Analyse des facteurs de variations et du rôle des composés phénoliques impliqués. Thèse de Doctorat, INP Toulouse, Univ. Toulouse, France, 185 p.

110. Marie-Madeleine C., Archimède H. , 2015. Plantes anthelminthiques pour les animaux d'élevage. INRA, 20 p.

111. Masama E., Topps J. H., Ngongoni N. T., Maasdorp B. V. , 1997. Effects of supplementation with foliage from the tree legumes *Acacia angustissima, Cajanus cajan, Calliandra calothyrsus* and *Leucaena leucocephala* on feed intake, digestibility and nitrogen metabolism of sheep given maize stover ad libitum. *Animal Feed Science and Technology*, 69(1-3), 233-240. https://doi.org/10.1016/S0377-8401(97)81638-0.

112. Matanović K., Severin K., Martinković F., Šimpraga M., Janicki Z., Barišić J. , 2007. Hematological and biochemical changes in organically farmed sheep naturally infected with Fasciola hepatica. *Parasitology Research*, 101(6), 1657-1661. https://doi.org/10.1007/s00436-007-0709-2.

113. Mathews C., Jones B., Saxena B. , 2001. Maize and Pigeonpea Intercropping Systems in Mpumalanga, South Africa. *International Chickpea and Pigeonpea Newsletter*, 8, 52-53.

114. McKellar Q. A., Jackson F. , 2004. Veterinary anthelmintics: old and new. *Trends in Parasitology*, 20(10), 456-461. https://doi.org/10.1016/j.pt.2004.08.002.

115. Mergeai G., Kimani P., Mwang'ombe A., Olubayo F., Smith C., Audi P., Baudoin P., Le Roi A. , 2001. Survey of pigeonpea production systems, utilization and marketing in semi-arid lands of Kenya. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.*, 5(3), 145–153.

116. MIRAH , 2010. Annuaire des statistiques des ressources animales et halieutiques. DPP,

MIARH, Abidjan (Côte d'Ivoire), 68 p.

117. MIRAH , 2018. Statistiques sur les ressources animales et halieutiques. DPSP, MIRAH, Abidjan (Côte d'Ivoire), p. 10.

118. Mohanty P., Chourasia N., Bhatt N., Jaliwala Y. , 2011. Preliminary Phytochemical Screening of *Cajanus cajan* Linn. *Asian J. Pharm. Tech.*, 1(2), 49-52.

119. Nantoumé H., Kouriba A., Togola D., Ouologuem B. , 2000. Mesure de la valeur alimentaire de fourrages et de sous-produits utilisés dans l'alimentation des petits ruminants. *Revue d'élevage et de médecine vétérinaire des pays tropicaux*, 53(3), 279. https://doi.org/10.19182/remvt.9725.

120. Ndao M., Belot J., Zinsstag J., Pfister K. , 1995. Épidémiologie des helminthoses gastro-intestinales des petits Ruminants dans la zone sylvo-pastorale au Sénégal. *Veterinary Research, BioMed Central*, 26(2), 132-139.

121. Ndlovu L. , 1992. Complementarity of forages in ruminant digestion: Theoretical considerations. In Stares, JES; Said, A. (éds.) *"Complementary of feed ressources for animal production in Africa"*. Gaborone, Bostwana, 4 – 8 March 1991: Feed Ressources Networks Workshop.

122. Nianogo A., Bougouma-Yaméogo V., Cordesse R. , 1997. Ingestibilité et digestibilité de deux fourrages tropicaux distribués en l'état, traités à l'urée ou complémentés en matières azotées. *Annales de Zootechnie*, 46(5), 439-449. https://doi.org/10.1051/animres:19970506.

123. Niyonkuru N. , 2002. La culture du pois cajan : un trésor méconnu en Afrique centrale. *Collection expériences des fédérations* 10. SAILD, 22 p.

124. Njidda A. , 2010. Determining Dry Matter Degradability of Some Semi-Arid Browse Species of North- Eastern Nigeria Using the *In Vitro* Technique. *Nigerian Journal of Basic and Applied Sciences*, 18(2), 160-167. https://doi.org/10.4314/njbas.v18i2.64306.

125. Njwe R., Kona B. , 1994. Comparative evaluation of stylo (*Stylosanthes guianensis*) hay and concentrate as protein supplement for West African Dwarf sheep fed basal diet of elephant grass (*Pennisetum purpureum*). In Lebbie S. H. B., Kagwini E. (Eds): ″Small Ruminant Research and Development in Africa″. Proceedings of the Third Bienmal Conference of the African Small Ruminant Research Network UICC, Kampala, Ouanganda, 5-9 December 1994, 231-234.

126. Nnadi P. A., Kamalu T. N., Onah D. N. , 2007. The effect of dietary protein supplementation on the pathophysiology of Haemonchus contortus infection in West African Dwarf goats. *Veterinary Parasitology*, 148(3-4), 256-261.

https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2007.06.017.

127. O'Connor L. J., Walkden-Brown S. W. et Kahn L. P. , 2006. Ecology of the free-living stages of major trichostrongylid parasites of sheep. *Veterinary Parasitology*, 142(1-2), 1-15. https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2006.08.035.

128. Odeny D. A. , 2007. The potential of pigeonpea (*Cajanus cajan* (L.) Millsp.) in Africa. *Natural Resources Forum*, 31(4), 297-305. https://doi.org/10.1111/j.1477-8947.2007.00157.x.

129. Ogni C., Kpodekon M., Dassou H., Boko C., Koutinhouin B., Dougnon J., Youssao A., Yedomonhan H., Akoegninou A. , 2014. Inventaire ethno-pharmacologique des plantes utilisées dans le traitement des pathologies parasitaires dans les élevages extensifs et semi-intensifs du Bénin. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 8(3), 1089. https://doi.org/10.4314/ijbcs.v8i3.22.

130. Okombe E., Pongombo S. , 2013. Suspicion de la résistance aux benzimidazoles chez les strongles gastrointestinaux du caprin à Lubumbashi, R.D. Congo. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 7(6), 2426-2433. https://doi.org/10.4314/ijbcs.v7i6.20.

131. Olounladé A., Attakpa Y., Azando E., Hounzangbé–Adoté M., Hoste H. , 2017. Effet In Vivo De Newbouldia laevis (Bignoniaceae) Sur Des Strongles Gastro-Intestinaux Des Moutons. *European Scientific Journal, ESJ*, 13(12), 335-351. https://doi.org/10.19044/esj.2017.v13n12p335.

132. Ombasa O., Kareru P., Rukunga G., Mbaria J., Keriko J., Njonge F., Owuor B. , 2012. *In-vitro* antihelmintic effects of two Kenyan plant extracts against Heamonchus contortus adult worms. *International Journal of Pharmacological Research* 2(3), 113-116. https://doi.org/10.7439/ijpr.v2i3.707.

133. Ouattara L., Dorchies P. , 2001. Helminthes gastro-intestinaux des moutons et chèvres en zones sub-humide et sahélienne du Burkina Faso. *Revue Méd. Vét.*, 152(2), 165-170.

134. Oumorou M., Aboh B., Babatounde S., Houinato M., Sinsin B. , 2011. Valeur pastorale, productivité et connaissances endogènes de l'effet de l'invasion, par *Hyptis suaveolens* L. Poit., des pâturages naturels en zone soudano-guinéenne (Bénin). *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 4(4). https://doi.org/10.4314/ijbcs.v4i4.63062.

135. Pal D., Sachan N., Ghosh A., Mishra P. , 2011. Biological activities and medicinal properties of *Cajanus cajan* (L) Millsp. *Journal of Advanced Pharmaceutical Technology & Research*, 2(4), p. 207-214. https://doi.org/10.4103/2231-4040.90874.

136. Pamo T., Mpoame M., Sonchieu J. , 2000. Infestations parasitaires gastro-intestinales précoces chez la chèvre naine de Guinée (Capra reversa) à Dschang dans l'ouest du

Cameroun. *Revue d'élevage et de médecine vétérinaire des pays tropicaux*, 53(4), 333-336. https://doi.org/10.19182/remvt.9711.

137. Paolini V., Dorchies P., Hoste H. , 2003. Effet des tanins condensés et des plantes à tanins sur les strongyloses gastro-intestinales chez le mouton et la chèvre. *Alter agri*, 61, 17-19.
138. Polizopoulou Z. S. , 2010. Haematological tests in sheep health management. *Small Ruminant Research*, 92(1-3), 88-91. https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2010.04.015.
139. Pook J.F., Power M.L., Sangster N.C., Hodgson J.L., Hodgson D. R. , 2002. Evaluation of tests for anthelmintic resistance in cyathostomes. *Veterinary Parasitology*, 106(4), 331-343. https://doi.org/10.1016/S0304-4017(02)00093-6.
140. Prichard R. , 1994. Anthelmintic resistance. *Veterinary Parasitology*, 54(1-3), 259-268. https://doi.org/10.1016/0304-4017(94)90094-9.
141. Quijada J., Fryganas C., Ropiak H. M., Ramsay A., Mueller-Harvey I., Hoste H. , 2015. Anthelmintic Activities against *Haemonchus contortus* or *Trichostrongylus colubriformis* from Small Ruminants Are Influenced by Structural Features of Condensed Tannins. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 63(28), 6346-6354. https://doi.org/10.1021/acs.jafc.5b00831.
142. Rao C., Williams D. , 2000. Water Utilization of Pigeonpea Used as Forage vs Grain. *International Chickpea and Pigeonpea Newsletter*, 7, 75-77.
143. Rao S. C., Coleman S. W., Mayeux H. S. , 2002. Forage Production and Nutritive Value of Selected Pigeonpea Ecotypes in the Southern Great Plains. *Crop Science*, 42(4), 1259-1263. https://doi.org/10.2135/cropsci2002.1259.
144. Reed J. D. , 1995. Nutritional toxicology of tannins and related polyphenols in forage legumes. *Journal of Animal Science*, 73(5), 1516-1528. https://doi.org/10.2527/1995.7351516x.
145. Rivière R. , 1991. Manuel d'alimentation des ruminants domestiques en milieu tropical. Manuel et précis d'élevage 9. Édité par IEMVT, Ministère de la Coopération, France, 529 p.
146. Roeber F., Jex R., Gasser B. , 2013. Impact of gastrointestinal parasitic nematodes of sheep, and the role of advanced molecular tools for exploring epidemiology and drug resistance - an Australian perspective. *Parasites & Vectors*, 6(153), 1-13. https://doi.org/10.1186/1756-3305-6-153.
147. Sabater F. , 2012. Détermination d'une dose efficace et d'une dose toxique de tanins condenses dans le contrôle des strongyloses digestives chez les caprins. Thèse d'exercice, Médecine vétérinaire, Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse - ENVT, France, 135 p.

148. Sacramento T., Ategbo J.-M., Mensah G., Adote-Hounzangbe S. , 2010. Effet antiparasitaire des graines de papaye (Carica papaya) chez l'aulacode (Thryonomys swinderianus Temminck, 1827) d'élevage : cas des aulacodicultures du Sud-Bénin. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 4(6). https://doi.org/10.4314/ijbcs.v4i6.64981.

149. Sahai K., Rawat K. , 2013. Thermo-Sensitive Flowering Behaviour of *Cajanus cajanifolius* (Haines) Maesen-A Threatened Wild Relative of *Cajanus cajan*. *Nature and Science*, 11(11).

150. Sandoval-Castro C. A., Torres-Acosta J. F. J., Hoste H., Salem A. Z. M., Chan-Pérez J. I. , 2012. Using plant bioactive materials to control gastrointestinal tract helminths in livestock. *Animal Feed Science and Technology*, 176(1-4), 192-201. https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2012.07.023.

151. Sankara F., Dabire L., Dugravot S., Cortesero A., Sanon A. , 2012. Capacités de discrimination des femelles de quatre souches de *Callosobruchus maculatus* Fab. (Coléoptera : Chrysomelidae, Bruchinae) pour la localisation de l'hôte et la ponte aux dépens d'hôtes secondaires. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 6(3), 1303-1315. https://doi.org/10.4314/ijbcs.v6i3.33.

152. Sawargaonkar L., Saxena K., Saxena K. R , 2016. Overview of hybrid pigeonpea seed production technology and its on-farm validation. *Plant Knowledge Journal*, 5(1), 13-17.

153. Seresinhe T., Pathirana K. , 2003. Forage tannins in ruminant nutrition. *Tropical agricultural Research and Extension*, 6, 29-43. http://doi.org/10.4038/tare.v6i0.5437.

154. Sharma H. C., Sujana G., Rao M. , 2009. Morphological and chemical components of resistance to pod borer, Helicoverpa armigera in wild relatives of pigeonpea. *Arthropod-Plant Interactions*, 3(3), 151-161. https://doi.org/10.1007/s11829-009-9068-5.

155. Shenkute B., Hassen A., Ebro A., Amen N. , 2013. Performance of Arsi-Bale kids supplemented with graded levels of pigeonpea in dry season in Mid Rift valley of Ethiopia. *African Journal of Agricultural Research*, 8(20), 2366-2370. https://doi.org/10.5897/AJAR11.1533.

156. Silim N. , 2000. Strategies and experiences in pigeonpea variety development for Eastern and Southern Africa. *In* Silim N. S., Mergeai G., Kimani M. P. (Eds): *" Status and Potential of Pigeonpea in Eastern and Southern Africa"*. Proceedings of a Regional Workshop Nairobi, Kenya, 12-15 Sep 2000, 11-20

157. Silvestre A., Leignel V., Berrag B., Gasnier N., Humbert J.-F., Chartier C., Cabaret J. , 2002. Sheep and goat nematode resistance to anthelmintics: pro and cons among breeding

management factors », *Veterinary Research*, 33(5), 465-480. https://doi.org/10.1051/vetres:2002033.

158. Singh S., Grover P., Kaur J., Singh I., Kaur J., Singh P., Choudhary O., Hingane A., Kumar S., Saxena B. , 2016. Genetic Variability of Pigeonpea *(Cajanus cajan* (L.) Millsp.) for Water Logging and Salinity Tolerance under in vitro and in vivo Conditions. *American Journal of Experimental Agriculture*, 12(1), 1-13. http://dx.doi.org/10.9734/AJEA/2016/24071.
159. Singh S., Mehta A., John J., Mehta P. , 2010. Anthelmintic Potential of Andrographis paniculata, Cajanus cajan and Silybum marianum. *Phcog. J.*, 1(4), 243-245. http://doi.org/10.4135/9788132104940.n3.
160. Singh U., Jambunathan R., Saxena K., Subrahmanyam N. , 1990. Nutritional quality evaluation of newly developed high-protein genotypes of pigeonpea (*Cajanus cajan*). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 50(2), 201-209. https://doi.org/10.1002/jsfa.2740500208.
161. Snapp S., Jones B., Minja M., Rusiké J., Silim N. , 2003. Pigeon pea for Africa: A versatile vegetable - And more. *Hort. Science*, 38(6), 1073-1079.
162. Stear M. J., Strain S., Bishop S. C. , 1999a. How lambs control infection with Ostertagia circumcincta. *Veterinary Immunology and Immunopathology*, 72(1-2), 213-218. https://doi.org/10.1016/S0165-2427(99)00134-8.
163. Stear M. J., Strain S., Bishop S. C. , 1999b. Mechanisms underlying resistance to nematode infection. *International Journal for Parasitology*, 29(1), 51-56. https://doi.org/10.1016/S0020-7519(98)00179-9.
164. Stringano E., Hayot Carbonero C., Smith L. M. J., Brown R. H., Mueller-Harvey I. , 2012. Proanthocyanidin diversity in the EU 'HealthyHay' sainfoin (*Onobrychis viciifolia*) germplasm collection. *Phytochemistry*, 77, 197-208. https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2012.01.013.
165. Stromberg B. E., 1997. Environmental factors influencing transmission. *Veterinary Parasitology*, 72(3-4), 247-264. https://doi.org/10.1016/S0304-4017(97)00100-3.
166. Suarez V. H., 2002. Helminthic control on grazing ruminants and environmental risks in South America. *Veterinary Research*, 33(5), 563-573. https://doi.org/10.1051/vetres:2002039.
167. Sujon M., Mostofa M., Jahan M., Das A., Rob S. , 2008. Studies on medicinal plants against gastroinstestinal nematodes of goats. *Bangladesh Journal of Veterinary Medicine*, 6(2), 179-183. https://doi.org/10.3329/bjvm.v6i2.2333.

168. Taylor M. A., Hunt K. R., Goodyear K. L. , 2002. Anthelmintic resistance detection methods. *Veterinary Parasitology*, 103(3), 183-194. https://doi.org/10.1016/S0304-4017(01)00604-5.

169. Traore B., Orsot B., Komara M., Ouattara S., Dofara S. , 2018. Effet Du Niveau Protéique Et Du Traitement Des Graines De Pois D'angole (*Cajanus Cajan* (L.) Huth, 1893) Sur La Croissance Du Poulet Local (Gallus Gallus Domesticus, Linnaeus 1758) En Côte d'Ivoire, *European Scientific Journal*, 14(36), 452-466. https://doi.org/10.19044/esj.2018.v14n36p452.

170. Valderrábano J., Delfa R., Uriarte J. , 2002. Effect of level of feed intake on the development of gastrointestinal parasitism in growing lambs. *Veterinary Parasitology*, 104(4), 327-338. https://doi.org/10.1016/S0304-4017(01)00638-0.

171. Van Houtert M. F. J., Sykes A. R. , 1996. Implications of nutrition for the ability of ruminants to withstand gastrointestinal nematode infections. *International Journal for Parasitology*, 26(11), 1151-1167. https://doi.org/10.1016/S0020-7519(96)00120-8.

172. Velay F., Baudoin J.-P., Mergeai G. , 2001. Caractérisation du savoir paysan sur les insectes nuisibles du pois d'Angole (*Cajanus cajan* (L.) Millsp.) dans le Nord de l'Ouganda. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.*, 5(2), 105–114.

173. Vidhya A., Ahmed J. , 2017. Preliminary Phytochemical and Trace metal Screening from *Cajanus cajan* (L.) Millsp. *Asian Journal of Pharmaceutical Technology & Innovation*, 5(23), 1-6.

174. Vitti D. M. S. S., Abdalla A. L., Bueno I. C. S., Filho J. C. S., Costa C., Bueno M. S., Nozella E. F., Longo C., Vieira E. Q., Filho S. L. S. C., Godoy P. B., Mueller-Harvey I. , 2005. Do all tannins have similar nutritional effects? A comparison of three Brazilian fodder legumes. *Animal Feed Science and Technology*, 119(3-4), p. 345-361. https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2004.06.004.

175. Waller J. P., 1997. Anthelmintic resistance. *Veterinary Parasitology*, 72, 391-412. https://doi.org/10.1016/S0304-4017(97)00107-6.

176. Waller P. J., 1999. International approaches to the concept of integrated control of nematode parasites of livestock. *International Journal for Parasitology*, 29(1), 155-164. https://doi.org/10.1016/S0020-7519(98)00178-7.

177. Waller P. J., 2006. Sustainable nematode parasite control strategies for ruminant livestock by grazing management and biological control. *Animal Feed Science and Technology*, 126(3-4), 277-289. https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2005.08.007.

178. Wallis E., Faris D., Elliott R., Byth D. , 1986. Varietal improvement of pigeonpea for small-

holder livestock production systems. In Workshop on Crop-Livestock Systems Research, July 7-11, 1986, Khon Kaen, Thailand.

179. Williams A. R., Fryganas C., Ramsay A., Mueller-Harvey I., Thamsborg S. M. , 2014. Direct Anthelmintic Effects of Condensed Tannins from Diverse Plant Sources against Ascaris suum. *PLoS ONE*. Édité par J. Keiser, 9(5), p. e97053. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0097053.

180. Yagoub M. , 1998. Effect of pigeon pea and cow pea on the performance and gut immunity of broiler chicks. Thesis Master of Science, Faculty of Animal Production, University of Khartoum, Rep. du Soudan, 46 p.

181. Yo T., Kouao B., Bodji N. C., Touré G. , 1992. Effet de la complémentation de Panicum maximum avec des fourrages ligneux sur la croissance et le rendement en carcasse d'ovins Djallonké mâles. In Stares, JES; Said, A. (éds.) *"Complementary of feed ressources for animal production in Africa"*. Gaborone, Bostwana, 4 – 8 March 1991: Feed Ressources Networks Workshop.

182. Zimmer N., Cordessse R. , 1996. Influence des tanins sur la valeur nutritive des aliments des ruminants. *INRA Prod. Anim.*, 9(3), 167-179.

183. Zinsstag J., 2004, 2004. Introduction aux parasites gastro-intestinaux des bovins en zone de savane de l'Afrique de l'Ouest**.** *In* Centre Suisse de Recherche Scientifique (Ed) *"Le parasitisme des ruminants domestiques en Afrique de l'Ouest, cas de la Côte d'Ivoire"*. *Sempervira* 11, Centre Suisse de Recherches Scientifiques, Côte d'Ivoire, 1-7.

ANNEXES

Annexe 1. Images de quelques matériels utilisés pour les essais

Photo 1. Blender de marque PHILIPS utilisé pour le broyage des feuilles séchées de C. cajan

Photo 2. Sacherie ayant servi au conditionnement et à la conservation des farines obtenues

Photo 3. Ultrason-H de marque J P SELECTA

Photo 4. Centrifugeuse de marque HETTICH EBA III

Photo 5. Matériel utilisé pour l'obtention et le conditionnement de l'extrait sec : a- étuve de marque MEMMERT, b- cristallisoirs en verre et c- boîte à essai.

Photo 6. Spectrophotomètre UV JASCO 530

Photo 7. Séchage sous abri dans un baâtiment du matériel végétal

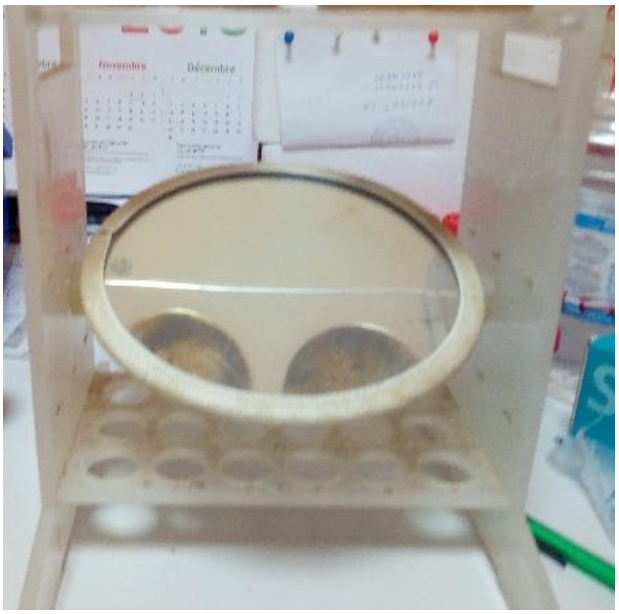


Photo 8. Loupe de grossissement utilisée pour observer la motilité des vers adultes

Photo 9. Four à à moufle électrique équipé de contrôleur de température de marque Nabertherm

Photo 10. Minérisateur de Kjeldalh

Photo 11. Rotavapor R-215 de marque BUCHI

Photo 12. Centrifugeuse à hématocrite de marque HEMATOKRIT 210

Annexe 2. Indices spécifiques des espèces végétales de la strate herbacée du pâturage naturel

N°	Espèces de la strate basse	Famille	IS
1	*Acanthospermum hispidium*	Asteraceae	0
2	*Acroceras amplectens*	Poaceae	2
3	*Ageratum conyzoïdes*	Asteraceae	1
4	*Andropogon fastigiatus*	Poaceae	1
5	*Annona senegalensis*	Annonaceae	1
6	*Aspilia bussei*	Asteraceae	1
7	*Borreria scabra*	Rubiaceae	1
8	*Chasmopodium caudatum*	Poaceae	2
9	*Chromolaena odorata*	Asteraceae	0
10	*Chrysopogon aciculatus*	Poaceae	2
11	*Corchorus tridens*	Malvaceae	1
12	*Cyperus rotondus*	Cyperaceae	1
13	*Desmodium gangeticum*	Fabaceae	2
14	*Desmodium triflorum*	Fabaceae	2
15	*Dieteropogon contortus*	Poaceae	1
16	*Evolvulus alsinoïdes*	Convolvulaceae	1
17	*Fimbristylis ferrugenea*	Cyperaceae	2
18	*Hyparrhenia dissoluta*	Poaceae	4
19	*Hyptis canum*	Lamiacea	0
20	*Hyptis suaveolens*	Lamiacea	0
21	*Lippia multiflora*	Verbenaceae	1
22	*Mariscus alternifolius*	Cyperaceae	2
23	*Mitracarpus scraber*	Rubiaceae	1
24	*Oldenlandia corymbosa*	Rubiaceae	2
25	*Panicum pansum*	Poaceae	1
26	*Pennisetum polystachion*	Poaceae	2
27	*Sida rhombifolia*	Malvaceae	0
28	*Sporobolus pyramidalis*	Poaceae	2
29	*Tridax procumbens*	Asteraceae	2
30	*Urena lobata*	Malvaceae	1
31	*Vernonia cinerea*	Asteraceae	3
32	*Vernonia guineensis*	Asteraceae	1
33	*Waltheria indica*	Sterculiaceae	1
34	*Zornia glochidiata*	Fabaceae	2

Annexe 3. Publication scientifique N°1: Composition en polyphénols totaux et en tanins des feuilles de neuf variétés de *Cajanus cajan* (L.) Millsp. au cours du premier cycle de croissance et en fonction du mode d'exploitation

Available online at http://www.ifgdg.org

Int. J. Biol. Chem. Sci. 13(2): 882-898, April 2019

ISSN 1997-342X (Online), ISSN 1991-8631 (Print)

International Journal of Biological and Chemical Sciences

Original Paper http://ajol.info/index.php/ijbcs http://indexmedicus.afro.who.int

Composition en polyphénols totaux et en tanins des feuilles de neuf variétés de *Cajanus cajan* (L.) Millsp. au cours du premier cycle de croissance et en fonction du mode d'exploitation

Faustin Parfait KOUTOUAN[1*], Yapo Magloire YAPI[2], Eboua Narcisse WANDAN[3], Nguessan Clément BODJI[2] et Kessé Phillipe N'DA[4]

[1]*Institut National Polytechnique-Félix Houphouët Boigny de Yamoussoukro. Laboratoire Sciences Société & Environnement, UMRI Sciences Agronomiques et Génie Rurale, BP 1093, Yamoussoukro.*
[2]*Institut National Polytechnique-Félix Houphouët Boigny de Yamoussoukro, Département Agriculture et Ressources Animales, Laboratoire de Zootechnie et Productions Animales, BP 1313, Yamoussoukro.*
[3]*Institut National Polytechnique-Félix Houphouët Boigny de Yamoussoukro, Laboratoire Sciences Société & Environnement, UMRI Sciences Agronomiques et Génie Rurale, BP 1093 Yamoussoukro.*
[4]*Institut National Polytechnique-Félix Houphouët Boigny de Yamoussoukro, Département de Recherche et de Formation Génie Chimique et Agro-alimentaire, Laboratoire de Chimie, de l'Eau et des Substances Naturelles, BP 1093, Yamoussoukro.*
[*] *Auteur correspondant, E-mail: koutouanparfait@gmail.com*

RESUME

Le pois d'angole est une légumineuse fourragère et vivrière dotée de propriétés anthelminthiques dues à ses métabolites secondaires. En vue de caractériser les teneurs en composés polyphénoliques de neuf variétés au cours des stades végétatifs, une étude a été menée. Les variétés ont été semées à raison de huit lignes par variété. Quatre lignes ont été fauchées trois mois après semis et quatre autres sont restées en l'état. Les polyphénols totaux (PT), les tanins totaux (TT) et les tanins condensés (TC) ont été déterminés dans les feuilles des plants fauchés et des plants non fauchés au cours du cycle végétatif. Les PT et les TT ont été déterminés par la méthode de Folin Ciocalteu et les TC, par la méthode HCl-butanol. Les teneurs en PT, TT et TCs, tout stade confondu ont varié, pour les plants non fauchés, respectivement de 3,00±0,11 à 24,73±0,08 g-éqAT/kg MS, 0,12±0,08 à 11,42± 0,24 g-éqAT/kg MS et 0,01± 0,00 à 1,61± 0,06 g-éqL/kg MS. Ces teneurs étaient respectivement de 5,72±0,24 à 38,12±0,90 g-éqAT/kg MS, 0,66±0,14 à 25,57±0,16 g-éqAT/kg MS et 0,04±0,00 à 1,80±0,08 g-éqL/kg MS pour les plants fauchés. La teneur en ces composés évolue au cours du cycle et est influencée par la fauche.
© 2019 International Formulae Group. All rights reserved

Mots clés: Pois d'Angole, métabolites secondaires, teneur, cycle végétatif.

Concentration of polyphenols and tannins in the leaves of nine varieties of *Cajanus cajan* (L.) Millsp. during the growth cycle and according to the mode of exploitation

ABSTRACT

Pigeon pea is a shrub fodder legume with anthelmintic properties coming from its secondary metabolites content. This study aimed at characterizing the levels of polyphenols and tannins in nine varieties of *Cajanus cajan* during their cycle of development. The varieties of *Cajanus cajan* were sown in eight rows

© 2019 International Formulae Group. All rights reserved.
DOI: https://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v13i2.25

F. P. KOUTOUAN et al. / Int. J. Biol. Chem. Sci. 13(2): 882-898, 2019

per variety. Four lines were mowed at 3 months of age at the height of 100 cm from the ground. Folin Ciocalteu method was used to measure Total polyphenols (TPs), and total tannins (TT) in the leaves of mowed and unmown plants during their development stages. Total condensed tannins (TCs) were also measured by the HCl-butanol method. Levels of PTs found in unmown plants ranged from 3.00±0.11 to 24.73±0.08 eq-gTA/kg DM while the levels in mown plants ranged from 5.72±0.24 to 38.12±0.90 eq-gTA/kg DM. The concentration of TTs ranged from 0.12± 0.08 to 11.42± 0.24 eq-gTA/kg DM in unmown plants, and from 0.66±0.14 eq-gTA/kg DM to 25.57±0.16 eq-gTA/kg DM in mown ones. The levels of CTs in unmown plants ranged from 0.01± 0.00 to 1.61± 0.06 eq-gL/kg DM while they were found to ranges from 0.04±0.00 eq-gL/kg to 1.80±0.08 eq-gL/kg in mown plants. In general, the levels of polyphenols and tannins in *C. cajan* increased during the growing cycle, and were influenced by both variety and exploitation mode.
© *2019 International Formulae Group. All rights reserved*

Keywords: Pigeon pea, secondary compounds, levels, vegetative cycle.

INTRODUCTION

Cajanus cajan L. est une légumineuse arbustive fourragère et vivrière qui s'intègre bien en Afrique dans les systèmes de production culture-bétail (Onana et al., 2007 ; Pal et al., 2011). Elle produit une grande quantité de biomasse fourragère de haute qualité (Fondevila et al., 2002 ; Shenkute et al., 2013) et est également utilisée dans le traitement de certaines pathologies humaines et animales (Pal et al., 2011; Ogni et al., 2014; N'draman-donou et al., 2015). Sur le plan parasitaire, l'action de *Cajanus cajan* contre les nématodes gastro-intestinaux **(**Pal et al., 2011; Kaboré et al., 2016**)** est à ce jour documentée. La présence dans cette plante de flavonoïdes et de polyphénols (Harris et al., 2014; Vidhya et Ahmed, 2017), particulièrement les tanins condensés (Fondevila et al., 2002) serait la source de ces propriétés anthelminthiques **(**Pal et al., 2011; Kaboré et al., 2016**)**. A ce jour, l'effet des tanins condensés sur les nématodes gastro-intestinaux est prouvé (Hoste et al., 2006). Cependant, malgré les qualités fourragère et anthelminthique de *Cajanus cajan*, la littérature reste très peu pourvue sur cette espèce en ce qui concerne ses propriétés nutraceutiques, c'est-à-dire sa possibilité à combiner à la fois des propriétés nutritionnelle et anthelminthique (Hoste et al., 2015). Dans les travaux de Kaboré et al. (2016) qui traitent de ce sujet, l'activité anthelminthique n'a pas été significative, la variété et le stade phénologique n'ont pas non plus été précisés, alors que les polyphénols et les tanins condensés, supposés responsables de l'activité anthelminthique varient avec la variété et le stade phénologique (Azuhnwi et al., 2011 ; Girard et al., 2013). Même dans les tests *in vitro* où l'effet anthelminthique est mis en évidence **(**Pal et al., 2011; Kaboré et al., 2016**)**, les variétés et les stades phénologiques n'ont pas été non plus précisés, alors que *Cajanus cajan* regorge une multitude de variétés, aussi bien traditionnelles qu'améliorées (Yadav et al., 2012).

L'étude des propriétés nutraceutiques de cette espèce passe donc par la connaissance de l'évolution, en fonction des variétés et du stade phénologique, de la teneur en polyphénols et en tanins, lesquels suivant leurs teneurs dans la plante ont des effets bénéfiques ou néfastes sur la valeur alimentaire du fourrage et sur les performances des ruminants (Seresinhe et Pathirana, 2003). L'étude de la teneur en polyphénols et en tanins doit prendre, également en compte le mode d'exploitation, car l'exploitation de *Cajanus cajan* en tant que culture vivrière et fourragère, nécessite de développer une stratégie d'exploitation. Certains agro-éleveurs fauchent deux fois de suite les plants de cette espèce à des fins fourragères avant de récolter les graines pour l'autoconsommation, puis la ré-exploitent à nouveau dans un but fourrager (Banfoh, 2004).

Cette étude est menée afin d'étudier les teneurs en polyphénols totaux et en tanins de neuf variétés de *Cajanus cajan* d'origine diverses et cultivées sur le même site au cours de la première année de culture en rapport avec le mode d'exploitation.

MATERIEL ET METHODES

Zone d'étude

L'étude a été conduite dans la région centre de la Côte d'Ivoire, précisément dans le District Autonome de Yamoussoukro. L'expérience proprement dite s'est déroulée à la Station Semencière de Yamoussoukro (6°54'35,66" N de latitude ; 5°30'57,21" O de longitude), sur un sol de type ferrasol avec un pH de 6,5, composé majoritairement de sable (77,25%) et de limon (15,75%) avec 1,7% de carbone organique (Koutouan et al., 2017). La pluviosité annuelle moyenne enregistrée de 2006 à 2017 sur cette station est de 1 151,3 mm.

Matériel végétal

Cinq variétés améliorées, une variété traditionnelle et trois cultivars traditionnels de *Cajanus cajan* de diverses origines ont été utilisés pour l'étude. Leurs caractéristiques sont consignées dans le Tableau 1.

Dispositif expérimental et collecte des échantillons

Les semis des variétés et cultivars ont été réalisés à la grande saison pluvieuse, notamment en mai 2017. Les graines ont été mises en poquets à raison de trois graines par poquet. Deux sarclages ont été effectués les 32^{e} et 68^{e} jours après le semis (JAS). Le démariage a été réalisé au 45^{e} JAS de sorte à avoir un pied par poquet. Aucun fertilisant ni pesticide n'a été utilisé.

Chaque variété a été semée sur des lignes à raison de huit lignes par variété. Sur chaque ligne, 15 poquets ont été ensemencés. Les écartements de 1 m en tous sens ont été utilisés. Sur les huit lignes par variété, quatre ont été fauchées trois mois après semis à une hauteur de 100 cm du sol tel que recommandée par Bodji (1997) et quatre autres sont restées en l'état (Figure 1). Pour l'identification des plants sur lesquels les feuilles ont été prélevées, la parcelle a été virtuellement divisée en trois parties selon le sens de la pente : haut de pente, milieu de pente et bas de pente. Par variété, deux plants ont été choisis au hasard sur les lignes centrales dans chaque zone ainsi délimitée, aussi bien au niveau des lignes fauchées que des lignes non fauchées. Ce qui fait un total de six plants pour la bande fauchée et six autres pour la bande non fauchée, soit un total 12 plants par variété.

A chaque stade, les feuilles ont été prélevées sur toute la plante. Pour la phase végétative, les prélèvements ont été effectués pour toutes les variétés à 90 JAS. Pour les autres phases, le prélèvement s'est fait selon le cycle de la variété ou du cultivar. Le stade de floraison a été considéré comme atteint, lorsqu'il y avait présence des premières fleurs et absence des gousses. De même, le stade fructification a été atteint lorsqu'on a observé les premières gousses immatures. Enfin le stade maturation a été atteint lorsque les premières gousses sont arrivées à maturité.

Les feuilles collectées ont été transportées dans des sacs laissant passer l'air, aussitôt que possible et séchées sous abri pendant au moins 21 jours dans une salle aérée. Elles ont par la suite été broyées à l'aide d'un Blender de marque PHILIPS, puis les poudres obtenues ont été placées dans des sachets noirs et conservées dans une pièce sèche et sombre à température ambiante jusqu'à la période d'analyse.

Extraction

A 0,2 g de poudre végétale, ont été ajoutés 10 ml d'une solution eau-acétone (30 :70 v/v). Le mélange obtenu a été mis en suspension dans un bain d'eau à ultrasons pendant 30 min (deux fois 15 mn) à la température ambiante. Le contenu a été ensuite soumis à une centrifugation pendant 10 minutes. Le surnageant a été recueilli et gardé sous la glace jusqu'à la fin des analyses.

Pour le calcul du rendement d'extraction, le même protocole jusqu'au traitement par l'ultrason a été repris sur un autre échantillon de poudre végétale du stade maturation. L'extrait liquide obtenu a été filtré à l'aide de coton à laine. Le filtrat liquide obtenu a été mis à l'étuve à 50 °C jusqu'à la dessiccation totale. L'extrait sec obtenu a permis de calculer le rendement d'extraction

Calcul du rendement d'extraction

Le rendement d'extraction (R) a été obtenu grâce à la formule suivante :

$$R(\%) = \frac{\text{Extrait sec obtenu} \times 100}{\text{quantité de poudre végétale utilisée}}$$

Détermination des teneurs en composés phénoliques

Les polyphénols totaux (PT), les tanins totaux (TT) et les tanins condensés (TC) ont été déterminés sur les plants fauchés et sur les plants non fauchés aux stades végétatifs, floraison, fructification et maturation.

Les PT ont été déterminés par la méthode de Folin Ciocalteu décrite par Makkar (2000). A 25 µL de l'extrait liquide est ajoutée de l'eau distillée jusqu'à l'obtention de 0,5 ml. Puis sont ajoutés 0,25 ml de solution de Folin–Ciocalteu (1 N) et 1,25 ml de solution de carbonate de sodium (20%). Le mélange a été vortexé et l'absorbance a été lue à 725 nm après 40 min d'incubation à la température ambiante et à l'obscurité. La teneur en PT déterminée à l'aide d'une droite d'étalonnage réalisée avec de l'acide tannique de Merck a été exprimée en gramme équivalent acide tannique par kilogramme de matière sèche (g-éqAT/kg MS).

Les tanins totaux (TT) ont été estimés indirectement après avoir été absorbés par la polyvinylpyrrolidine insoluble (PVP). Une solution comprenant 100 mg de PVP, 1,0 ml d'eau distillée et 1,0 ml de l'extrait a été constituée. L'ensemble a été vortexé puis gardé à 4 °C pendant 15 min. Il a été par la suite centrifugé pendant 10 min et le surnageant a été ensuite recueilli. La teneur en polyphénols totaux (ne contenant pas les tanins) a été déterminée sur 50 µL de ce surnageant. La concentration des TT a été déterminée comme la différence en PT avant et après le traitement avec la PVP insoluble.

Les tannins condensés ont été déterminés par la méthode de HCl-Butanol décrite par Makkar (2000). Une quantité de 0,50 ml de l'extrait dilué avec70% d'acétone a été prélevé puis 3,0 ml du réactif HCl-butanol et 0,1 ml du réactif ferrique y ont été ajoutés et vortexé. Le tout a été mis dans un bain d'eau bouillante pendant 60 min puis refroidi. Les absorbances ont été lues à 550 nm. La teneur en tanins condensés, exprimée en g-éq leucocyanidine/kg MS, est donnée par la formule suivante :

Analyses statistiques

L'analyse de variance (ANOVA) à un critère de classification au seuil de 1% a été utilisée pour la comparaison des moyennes des différents composés phénoliques au cours du cycle de développement de la variété et pour la comparaison entre variété pour chaque stade de développement. Lorsqu'il y avait une différence significative, le test de comparaison multiple de Newman-Keuls au seuil de 1% a été appliqué.

Ensuite, l'ANOVA à deux critères de classification au seuil de 1% a été utilisée pour les interactions entre les variétés et le mode d'exploitation pour les différents composés phénoliques à chaque stade phénologique. Lorsque l'interaction était significative, des tests t de Student ont été effectués pour comparer deux à deux les moyennes afin de localiser le lieu de l'interaction. Toutes les analyses ont été faites avec le logiciel XLSTAT version 2014.

Tableau 1: Caractéristiques des variétés et cultivars utilisés.

Variétés/Cultivars	Couleur de la semence	Lieu d'achat de la semence	Nature de la variétés/cultivars
Cultivar local blanc	Blanche	Marché local de Bondoukou (Côte d'Ivoire)	Cultivar local de la Côte d'Ivoire
Cultivar local rouge	Rouge	Marché local de Bondoukou (Côte d'Ivoire)	Cultivar local de la Côte d'Ivoire
Cultivar local noir	Noire	Marché local de Bondoukou (Côte d'Ivoire)	Cultivar local de la Côte d'Ivoire
ICPL 87 119-ASHA	Rouge	**INERA, Burkina Faso	Variété améliorée
ICP 8863-MARUTI	Rouge	INERA, Burkina Faso	Variété améliorée
ICP 7035-KAMICA	Rouge	INERA. Burkina Faso	Variété améliorée
FKB-ROUGE	Rouge	INERA, Burkina Faso	Variété locale du Burkina Faso
ICPL 87 119 GUIMU 3 (Asha)	Rouge	INERA. Burkina Faso	Variété améliorée
ICPL 332 ABAAYA	Rouge	INERA. Burkina Faso	Variété améliorée

**INERA= Institut National de l'Environnement et de la Recherche Agronomique.

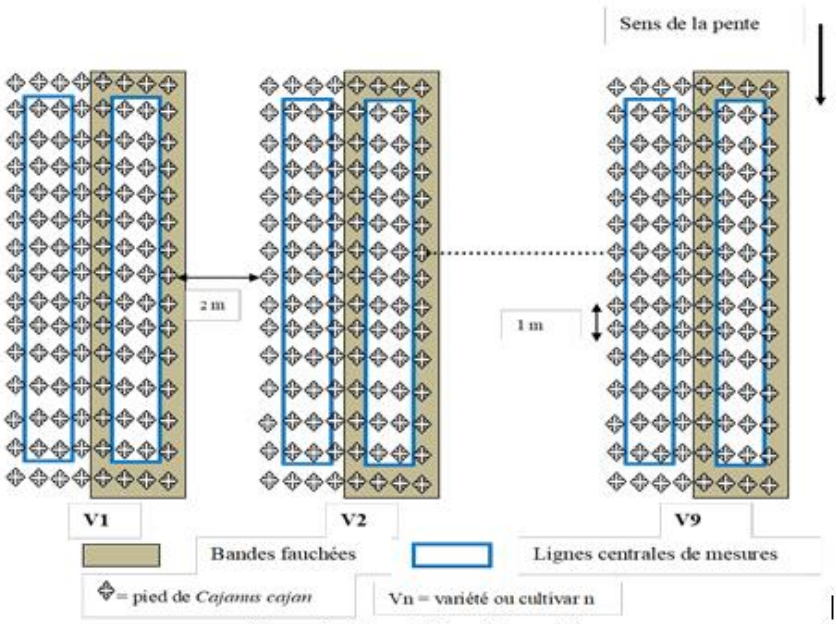


Figure 1: Dispositif expérimental.

RESULTATS

Rendements d'extraction

Les rendements d'extraction sont consignés dans le Tableau 2. Ils varient de 20,23 à 24,86%.

Evolution des teneurs en composés phénoliques des variétés de *C. cajan* au cours du premier cycle de développement de *Cajanus cajan*

La teneur en polyphénols totaux des différentes variétés a varié de 3,00±0,11 à 24,73±0,08 g-éqAT/kg MS pour les plants non fauchés (Figure 2). Pour chaque stade phénologique, une différence significative (P<0,01) existe entre les variétés et les cultivars de *C. cajan* de l'étude. Le cultivar local blanc a obtenu les concentrations en polyphénols totaux les plus élevées aux stades végétatif et fructification (respectivement 5,59±0,09 et 23,17±1,12 g-éqAT/kg MS), tandis qu'aux stades floraison et maturation, c'est le cultivar local noir qui a enregistré les teneurs les plus importantes (respectivement 17,83±0,56 et 24,73 g-éqAT/kg MS). Toutes les variétés et cultivars ont connu une augmentation de leur teneur en polyphénols totaux du stade végétatif au stade maturation. Cependant, selon les variétés et cultivars, la teneur maximale est obtenue soit en fructification (cas des variétés ICP 8863-MARUTI, ICP 7035-KAMICA et ICPL 332 ABAAYA), ou soit en maturation (cas des cultivars locaux et des variétés ICPL 87 119-ASHA, FKB-ROUGE et ICPL 87 119 GUIMU 3 (Asha)). Toutefois, pour le cultivar local blanc, la différence constatée entre le stade fructification et le stade maturation n'est pas significative (P>0,01).

Pour les tanins totaux, leurs teneurs sont situées entre 0,12±0,08 et 11,42± 0,24 g-éqAT/kg MS (Figure 3). Une différence significative (P<0,01) existe entre les variétés et les cultivars aux différents stades phénologiques. Aux stades végétatif et floraison, le cultivar local rouge a enregistré les teneurs en tanins totaux les plus élevées avec respectivement 2,96±0,10 et 7,26±0,62 g-éqAT/kg MS. Le cultivar local blanc a obtenu les teneurs les plus élevées aux stades fructification et maturation avec respectivement 9,87± 0,54 et 11,42± 0,24 g-éqAT/kg MS. Toutes les variétés et cultivars ont connu une augmentation de leur teneur en tanins totaux du stade végétatif au stade maturation. Cependant, selon les variétés, la teneur maximale est obtenue soit en fructification (cas des variétés ICP 8863-MARUTI, ICP 7035-KAMICA et ICPL 332 ABAAYA), soit en maturation (cas des cultivars locaux et des variétés ICPL 87 119-ASHA, FKB-ROUGE et ICPL 87 119 GUIMU 3 (Asha)).

Enfin, pour les tanins condensés, les teneurs des différentes variétés et cultivars ont oscillé de 0,01± 0,00 à 1,61± 0,06 g-éqL/kg MS (Figure 4). Une différence significative (P<0,01) existe également entre les variétés et les cultivars aux différents stades phénologiques. Au stade végétatif, la variété FKB-ROUGE a enregistré la teneur en tanins condensés la plus importante (1,05±0,02 g-éqL/kg MS), tandis qu'au stade floraison, c'est le cultivar local noir qui a connu la plus forte concentration avec 1,34±0,04 g-éqL/kg MS. Le cultivar local blanc a obtenu les teneurs les plus élevées aux stades fructification et maturation avec respectivement 1,43±0,05 et 1,61± 0,06 g-éqL/kg MS. Toutes les variétés et cultivars ont également connu une augmentation de leurs concentrations en tanins condensés du stade végétatif au stade maturation. Cependant, selon les variétés, la teneur maximale est obtenue soit en floraison (cas du cultivar local rouge), soit en fructification (cas des variétés ICP 7035-KAMICA, FKB-ROUGE, ICPL 87 119 GUIMU 3 (Asha) et ICPL 332 ABAAYA), ou soit encore en maturation (cas du cultivar local blanc, du cultivar local noir et des variétés ICPL 87 119-ASHA et ICP 8863-MARUTI).

Interaction mode d'exploitation et variétés sur la teneur en polyphénols et en tanins

La teneur en polyphénols totaux des plants fauchés des variétés et cultivars a varié de 5,72±0,24 à 38,12±0,90 g-éqAT/kg MS (Figure 5). Au stade floraison, les plants

fauchés ont enregistré des teneurs en polyphénols plus élevées que les plants non fauchés chez toutes les variétés et cultivars à l'exception de la variété ICP 8863-MARUTI où aucune différence significative (P>0,01) n'est observée entre les plants fauchés et les plants non fauchés. Au stade fructification, pour certaines variétés et cultivars (cultivar local rouge, cultivar local noir et la variété ICP 7035-KAMICA), les plants fauchés ont présenté des teneurs plus importantes (P<0,01) que les plants non fauchés. Pour d'autres variétés (ICP 8863-MARUTI, FKB-ROUGE et ICPL 87 119 Asha), aucune différence significative (P>0,01) n'est constatée entre les plants fauchés et les non fauchés. Enfin, pour le cultivar local blanc et les variétés ICPL 87 119 GUIMU 3 (Asha) et ICPL 332 ABAAYA, les plants fauchés ont produit moins de polyphénols que les plants non fauchés. Enfin, au stade maturation, pour les cultivars locaux rouge et blanc ainsi que la variété ICP 8863-MARUTI, les plants fauchés ont produit plus de polyphénols que les plants non fauchés ; ce qui est le contraire pour les variétés FKB-ROUGE, ICPL 87 119 Asha et ICPL 87 119 GUIMU 3 (Asha). Au niveau du cultivar local noir et des variétés ICP 7035-KAMICA et ICPL 332 ABAAYA, aucune différence significative (P>0,01) n'est constatée entre les plants fauchés et les plants non fauchés.

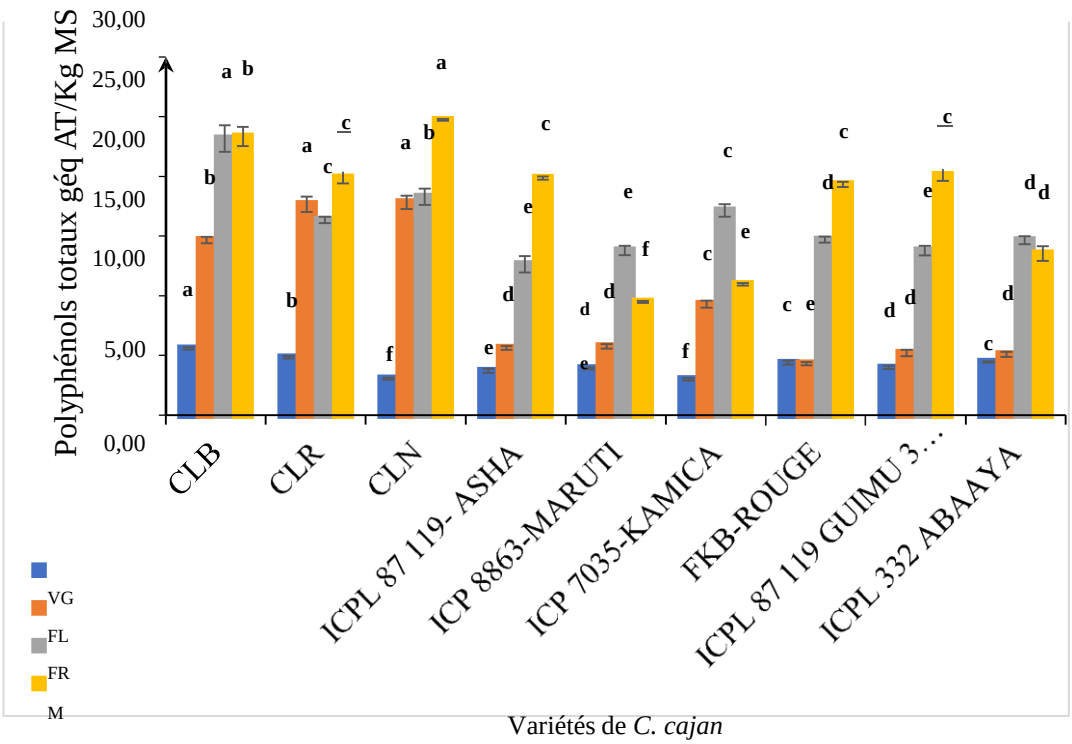
La teneur en tanins totaux des plants fauchés est comprise entre 0,66±0,14 et 25,57±0,16 g-éqAT/kg MS (Figure 6). Au stade floraison, à l'exception des variétés ICPL 332 ABAAYA, ICPL 87 119 GUIMU 3 (Asha) et ICP 8863-MARUTI pour lesquelles aucune différence significative (P>0,01) n'est observée entre les plants fauchés et les plants non fauchés, les différentes variétés et cultivars ont enregistré une production plus élevée en tanins totaux chez les plants fauchés. Au stade fructification, pour les cultivars locaux rouge et noir ainsi que la variété FKB-ROUGE, les plants fauchés ont produit plus de tanins totaux que les plants non fauchés. Pour les variétés ICP 7035-KAMICA et ICPL 87 119 Asha, aucune différence significative (P>0,01) n'est constatée entre les plants fauchés et les plants non fauchés. Enfin, pour le cultivar local blanc et les variétés ICP 8863-MARUTI, ICPL 87 119 GUIMU 3 (Asha) et ICPL 332 ABAAYA, les plants fauchés ont enregistré des teneurs en tanins totaux inférieures à celles des plants non fauchés. Enfin, au stade maturation, seul le cultivar local noir a enregistré une teneur plus élevée chez les plants fauchés comparativement aux plants non fauchés. Au niveau des autres variétés et cultivars, soit aucune différence significative (P>0,01) n'est constatée pour le cultivar local rouge et les variétés ICP 8863-MARUTI, ICP 7035-KAMICA et ICPL 332 ABAAYA. Par contre, pour le cultivar local blanc et les variétés FKB-ROUGE, ICPL 87 119 Asha et ICPL 87 119 GUIMU 3 (Asha), les plants fauchés ont produit moins de tanins totaux.

Pour les tanins condensés, les valeurs des plants fauchés ont varié de 0,04±0,00 à 1,80±0,08 g-éqL/kg MS (Figure 7). Au stade floraison, les plants fauchés des cultivars locaux rouge et noir ainsi que des variétés FKB-ROUGE et ICPL 87 119 Asha ont produit plus de tanins condensés comparativement aux plants non fauchés. Ce qui est le contraire chez les variétés ICPL 87 119 GUIMU 3 (Asha) et ICPL 332 ABAAYA, ICP 7035-KAMICA et ICP 8863-MARUTI. Pour le cultivar local blanc, aucune différence significative (P>0,01) n'est constatée entre les plants fauchés et non fauchés. Au stade fructification, les cultivars locaux rouge et noir ont présenté des teneurs plus importantes en tanins condensés que les plants non fauchés. Avec le cultivar local blanc ainsi que les variétés FKB-ROUGE et ICPL 87 119 Asha, aucune différence significative (P>0,01) n'est constatée entre les plants fauchés et les plants non fauchés. Cependant, les plants fauchés ont produit moins de tanins condensés que les plants non fauchés pour chez les variétés ICPL 87 119 GUIMU 3 (Asha), ICP 7035-KAMICA, ICP 8863-MARUTI et ICPL 332 ABAAYA. Au

stade maturation, seul le cultivar local rouge et la variété FKB-ROUGE ont enregistré une teneur en tanins condensés plus élevée chez les plants fauchés comparativement aux plants non fauchés. Concernant les autres variétés et cultivars, aucune différence significative (P>0,01) n'est constatée entre les plants fauchés et les plants non fauchés pour les variétés ICP 8863-MARUTI, ICPL 87 119 GUIMU 3 (Asha) et ICPL 332 ABAAYA. Cependant, les plants fauchés ont produit moins de tanins condensés par rapport aux plants non fauchés pour les cultivars locaux noir et blanc et les variétés ICP 7035-KAMICA et ICPL 87 119 Asha.

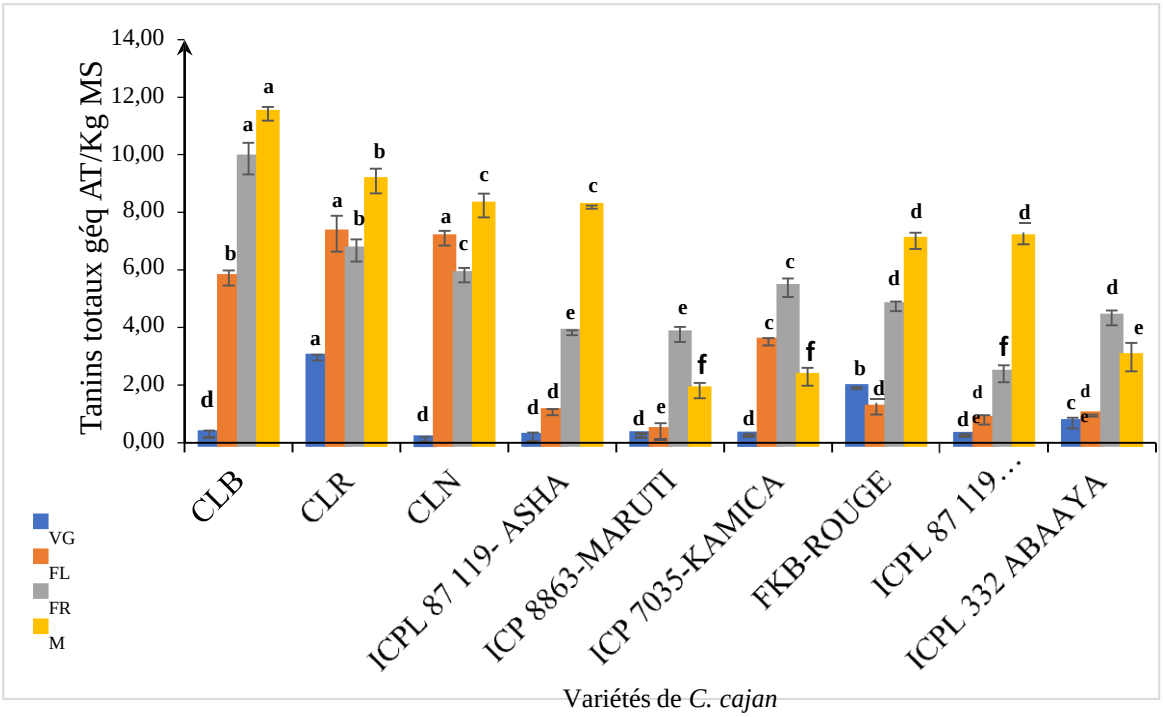
Tableau 2 : Rendements d'extraction.

Variétés/Cultivars	R (%)
Cultivar local blanc	24,86
Cultivar local rouge	20,23
Cultivar local noir	23,6
ICPL 87 119- ASHA	23,46
ICP 8863-MARUTI	22,41
ICP 7035-KAMICA	22,18
FKB-ROUGE	22,10
ICPL 87 119 GUIMU 3 (Asha)	23,07
ICPL 332 ABAAYA	21,48



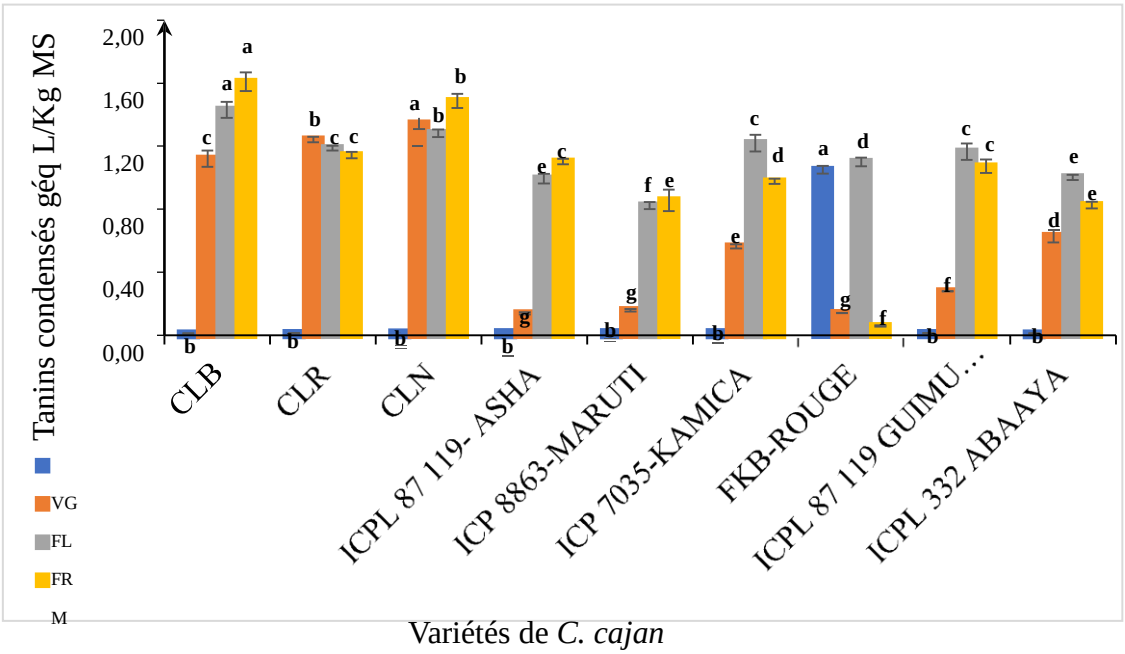
AT = acide tannique, CLB= cultivar local blanc, CLR= cultivar local rouge, CLN= cultivar local noir, VG= phase végétatif, Fl= phase floraison, FR= phase fructification, M= maturation.
Les bâtons portant les lettres différentes (a, b, c , d, e, f) pour le même stade phénologique diffèrent significativement (p< 0,01).

Figure 2: Polyphénols totaux des différentes variétés aux différents stades phénologiques.



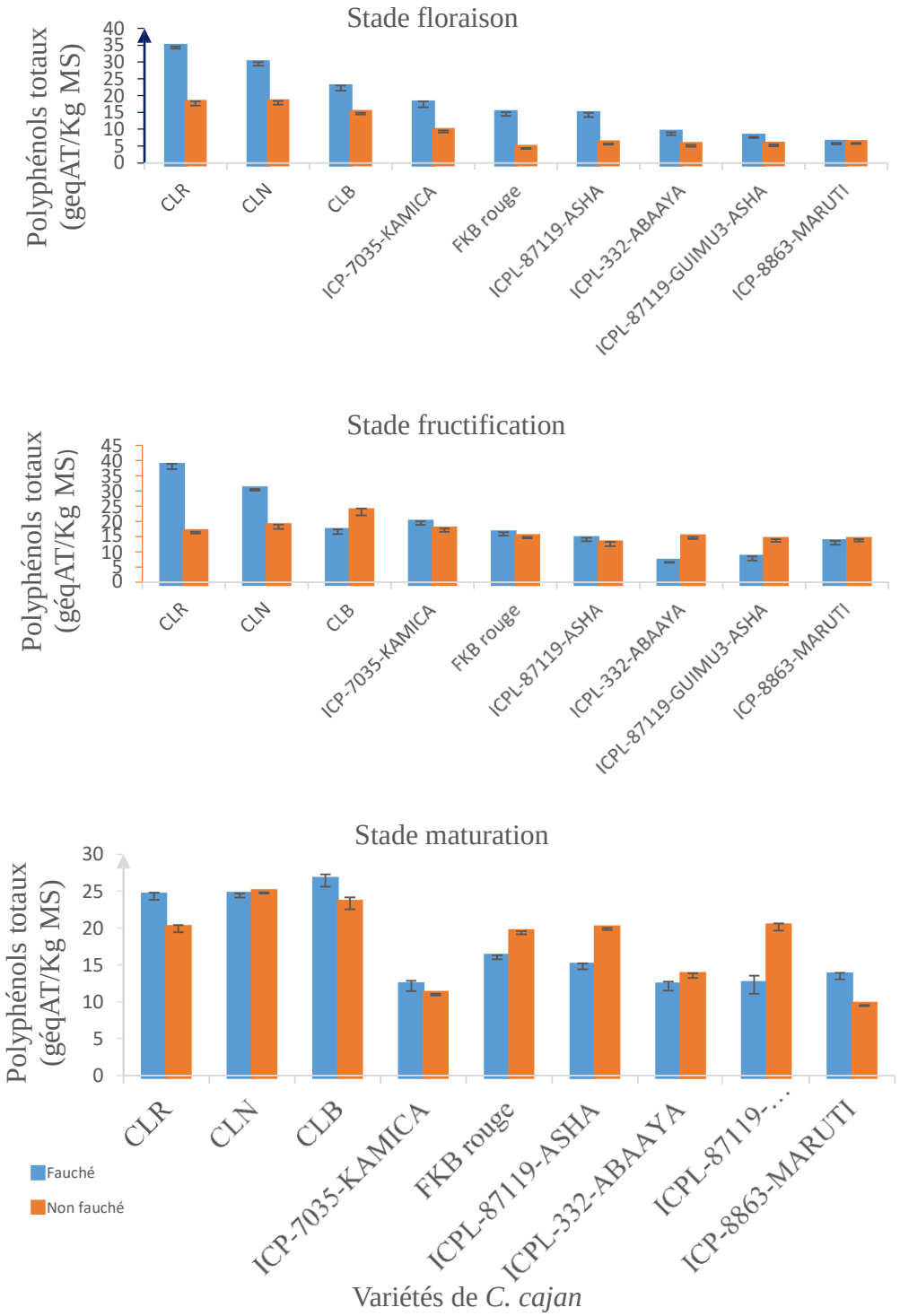
AT = acide tannique, CLB= cultivar local blanc, CLR= cultivar local rouge, CLN= cultivar local noir, VG= phase végétatif, Fl= phase floraison, FR= phase fructification, M= maturation.
Les bâtons portant les lettres différentes (a, b, c, d, e, f) pour le même stade phénologique diffèrent significativement (p< 0,01).

Figure 3: Tanins totaux des différentes variétés aux différents stades phénologiques.



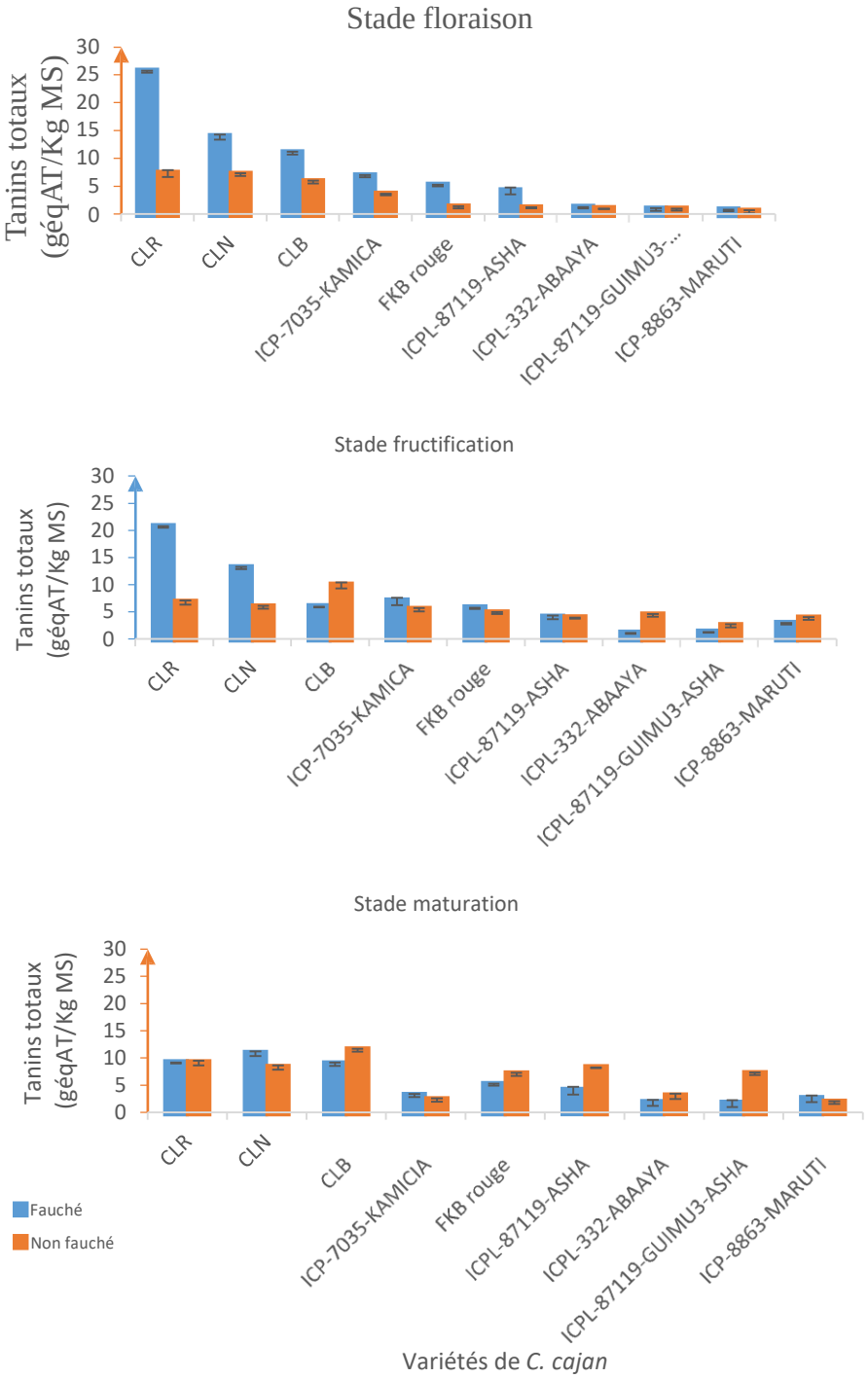
L= leucocyanidine, CLB= cultivar local blanc, CLR= cultivar local rouge, CLN= cultivar local noir, VG= phase végétatif, Fl= phase floraison, FR= phase fructification, M= maturation.
Les bâtons portant les lettres différentes (a, b, c, d, e, f, g) pour le même stade phénologique diffèrent significativement p< 0,05).

Figure 4: Tanins condensés des différentes variétés aux différents stades phénologiques.



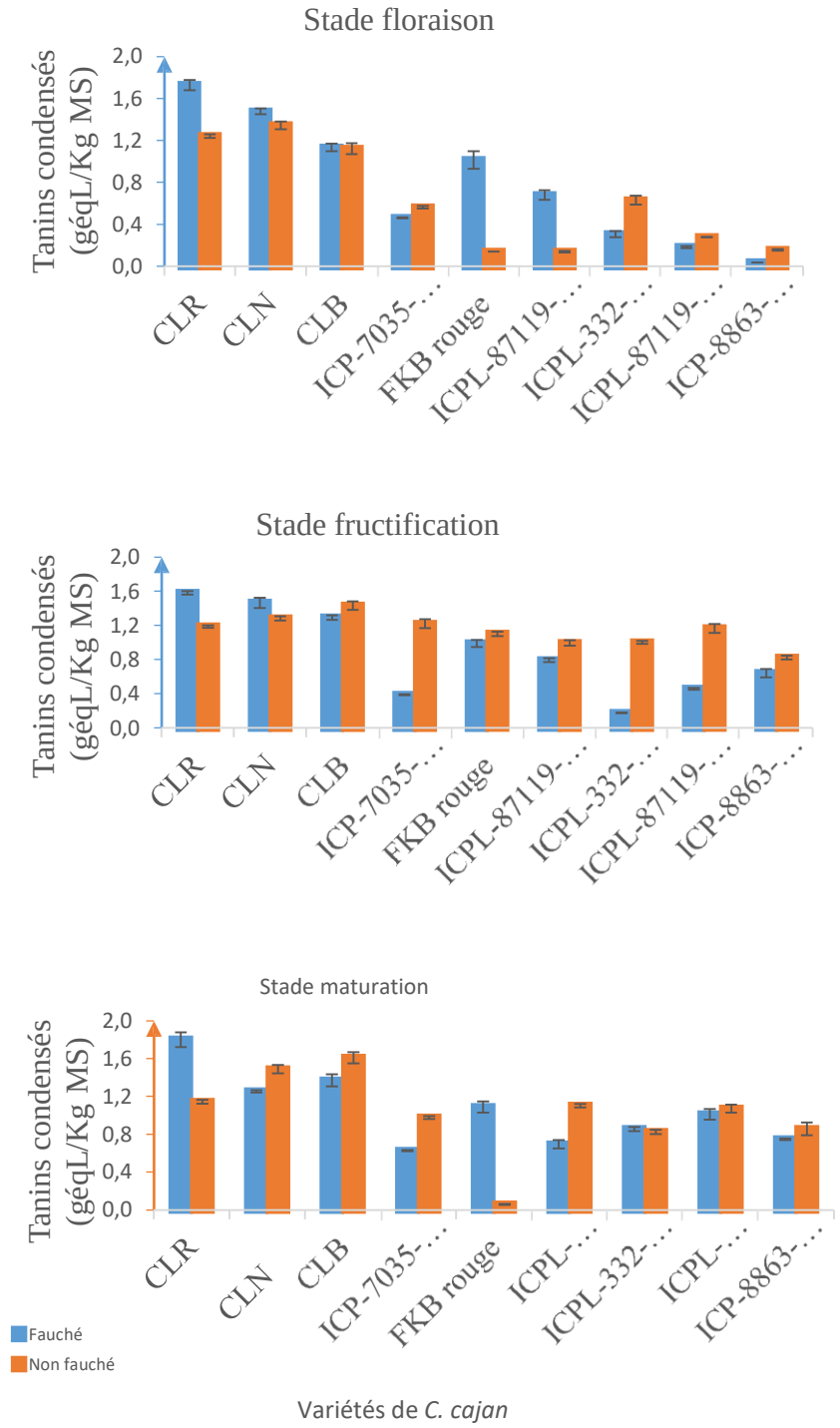
AT= acide tanique, CLB= cultivar local blanc, CLR= cultivar local rouge, CLN= cultivar local noir

Figure 5: Influence de la variété et du mode d'exploitation sur la production de polyphénols aux différents stades phénologiques.



AT= acide tanique, CLB= cultivar local blanc, CLR= cultivar local rouge, CLN= cultivar local noir,

Figure 6: Influence de la variété et du mode d'exploitation sur la production de tanins totaux aux différents stades phénologiques.



L= leucocyanidine, CLB= cultivar local blanc, CLR= cultivar local rouge, CLN= cultivar local noir,

Figure 7: Influence de la variété et du mode d'exploitation sur la production de tanins condensés aux différents stades phénologiques.

DISCUSSION

Les concentrations en polyphénols totaux des différentes variétés sont comparables à celles obtenues par différents auteurs. Fluck et al. (2013) ont obtenu 11 g/kg MS, tandis que Vitti et al. (2005) ont trouvé 8,2 g/kg MS. Ces concentrations demeurent tout de même inférieures à la valeur trouvée par Harris et al. (2014) qui est de 116,1 g/kg MS.

Les teneurs en tanins totaux sont également comparables à celles de Vitti et al. (2005) et Harris et al. (2014) qui sont respectivement de 5 g/kg MS et 4,9 g/kg MS.

Enfin, les concentrations en tanins condensés se rapprochent des 0,5 g/kg MS trouvés par Vitti et al. (2005). Elles demeurent néanmoins très faibles comparées au 109,6g/kg MS rapportés par Fondevila et al. (2002). Ces derniers auteurs ont utilisé comme standard, les tanins quebracho. Or ces tanins, lorsqu'ils sont utilisés en tant que tel, ont tendance à surestimer la teneur en tanins (Vitti et al., 2005). Ce qui pourrait expliquer la valeur élevée des tanins condensés rapportée par ces derniers. Ces valeurs en tanins condensés, bien que faibles, se rapprochent des 0,08 à 0,38 g/kg de MS trouvées pour certains fourrages ligneux des régions semi-arides du Nigéria (Njidda, 2010) et de l'intervalle de 0,41 à 0,81 g/kg MS rapportée par Njidda et al. (2012) pour les fourrages des zones semi-arides. En référence aux valeurs seuils rapportées par Hoste et al. (2011) (40–50g/kg MS) et Seresinhe et Pathirana (2003) (20–40 g/kg MS), ces valeurs en tanins condensés obtenues dans le cadre de cette étude ne pourraient induire chez les petits ruminants, respectivement des effets anthelminthiques et des effets positifs sur la digestion des protéines et le gain de poids vif. Cependant, cette supposition est à prendre avec beaucoup de précautions, car les travaux de Vitti et al. (2005) et de Fluck et al. (2013) ont montré que les tanins condensés, même à de faibles concentrations, ont un impact positif sur la fermentation des légumineuses fourragères. Ces effets bénéfiques ont pour conséquences non seulement un gain de poids vif (Chala et al., 2013) mais en plus, une action indirecte sur les parasites gastro-intestinaux grâce à l'amélioration de la réponse (résistance et résilience) de l'hôte contre les vers (Hoste et al., 2011). De plus, d'autres métabolites secondaires autres que les tanins, peuvent avoir des capacités de liaison aux protéines ou avoir des propriétés anthelminthiques (Hoste et al., 2006). C'est pourquoi des études ultérieures sont nécessaires pour confirmer ou non les propriétés anthelminthique, nutritionnelle et nutraceutique des différentes variétés et cultivars étudiés.

Au regard des différents résultats, il existe une différence variétale pour tous les paramètres mesurés. Les variétés traditionnelles ont affiché les valeurs les plus élevées aux différents stades phénologiques comparées aux variétés améliorées. Ces variétés traditionnelles sont sensibles à beaucoup de facteurs biotiques (*Fusarium udum* Butler, *Cercospora cajani* Henning, ravageurs arthropodes, etc.) et abiotiques (températures, engorgement en eau du sol, forte salinité, photopériodisme, etc.) (Sankara et al., 2012; Kaoneka et al., 2016); ce qui pourrait expliquer leurs teneurs élevées. En effet, la production de polyphénols et de tanins est une tactique de résistance contre les insectes (Sharma et al., 2009). Chez certains parents sauvages de *Cajanus cajan*, l'expression de la résistance à *Helicoverpa armigera*, insecte dévastateur des gousses a été associée à des teneurs élevées de tanins et de polyphénols (Sharma et al., 2009). Cette différence variétale a également été constatée par Azuhnwi et al. (2011) chez *Onobrychis viciifolia* (sainfoin). Enfin, pour chaque stade phénologique, la variété ayant présenté la teneur la plus élevée en polyphénols totaux, n'a pas forcement enregistré la valeur la plus élevée en tanins totaux et en tanins condensés.

D'une façon générale, une évolution des polyphénols totaux et des tanins au cours du cycle de développement a été constatée. Ce même constat a été fait par Li et al. (2014). Ceci tiendrait au fait que pendant la phase de croissance, les végétaux produisent beaucoup de biomasse et peu de carbone sont disponibles pour la synthèse des composés

phénoliques et des tanins. A la floraison, qui correspond à un excès d'activité photosynthétique, il y a une faible demande en carbone pour la croissance et un excès de carbone est disponible pour la synthèse des tanins (Li et al., .2014). On pourrait aussi penser au fait que les fleurs et gousses de *C. cajan* étant fortement agressées par les insectes, la plante augmente pendant la phase de reproduction, sa production en composés phénoliques et en tanins, dans le but de se protéger des attaques des insectes.

Toutefois, les cultivars locaux et les variétés ICP 7035-KAMICA, FKB-ROUGE et ICPL 87 119 GUIMU 3 (Asha) ont, au cours de la phase reproductive (floraison, fructification et maturation) produit soit plus de polyphénols soit plus de tanins à la floraison qu'à la fructification et souvent même qu'à la maturation ou à la fructification qu'à la maturation. Concernant *C. cajan,* la distinction entre floraison, fructification et maturation n'est pas nette. En effet, la fructification se déroule en même temps que la floraison et même plus tard avec la maturation. Il convient donc de distinguer deux phases: la phase végétative et la phase reproductive. Ainsi on pourrait dire que les polyphénols et tanins de *C. cajan* augmentent du stade végétatif au stade reproductif. Un résultat inattendu dans le cadre de cette étude est celui de la variété FKB-ROUGE. Contrairement aux autres variétés, elle a produit plus de tanins condensés au stade végétatif qu'au stade reproductif. Ce qui laisse supposer qu'elle a subi une contrainte particulière au cours de cette phase comme par exemple une attaque d'agents pathogènes.

L'effet du mode d'exploitation (fauche ou non) sur la production de polyphénols et de tanins est un peu mitigé. Cependant, il existe pour chaque stade phénologique, une interaction entre les variétés et le mode d'exploitation. Si pour certaines variétés une augmentation des polyphénols et tanins a été observée après la fauche, pour d'autres, aucune différence n'a été observée. Pour d'autres encore, une baisse des composés phénoliques et tanins a même été observée. Ce qui est en désaccord avec nos attentes, car on s'attendait à une augmentation des composés phénoliques et des tanins pour toutes les variétés, si l'on assimile la fauche à un broutage par les herbivores. Car en effet, la production de tanins est une arme de défense des plantes contre les herbivores en modifiant le goût ou la digestibilité des aliments (Seresinhe et Pathirana, 2003; Zaidi et al., 2009).

Tous ces résultats obtenus dans cette étude suggèrent que dans les études portant sur *C. cajan* mettant en jeu les polyphénols et les tanins, la variété (ou le cultivar), le stade phénologique et le mode d'exploitation doivent être précisés; ce qui n'a pas été souvent le cas dans plusieurs travaux **(**Harris et al., 2014; Kaboré et al., 2016 ; Vidhya et Ahmed, 2017).

Conclusion

Le but de cette étude est d'étudier les teneurs en polyphénols totaux et en tanins des variétés de *Cajanus cajan* au cours de la première année de culture en rapport avec le mode d'exploitation. Il ressort au terme de cette étude qu'il existe une différence variétale chez cette espèce dans la production de ces composés secondaires. Les variétés traditionnelles présentent les concentrations les plus élevées en ces métabolites secondaires. Bien qu'ils soient faiblement produits par les différentes variétés, on observe une augmentation de leurs teneurs au cours du cycle de développement. Ces composés sont influencés à la fois par la variété, le stade phénologique et le mode d'exploitation. Ce qui indique que dans des études portant sur *C. cajan* et impliquant les polyphénols et des tanins, la variété (ou le cultivar), le stade phénologique et le mode d'exploitation doivent être absolument précisés. Par ailleurs, il se peut que la variabilité variétale observée dans la production de polyphénols et de tanins induise également une différence variétale dans les effets anthelminthiques, nutritionnels et nutraceutiques. Des études ultérieures devront être menées afin de confirmer ou infirmer cette hypothèse.

CONFLIT D'INTERETS

Les auteurs déclarent qu'ils n'ont pas de conflits d'intérêts.

CONTRIBUTIONS DES AUTEURS

FPK a participé à la rédaction du protocole expérimental, à sa mise en œuvre, à la collecte des données puis à la rédaction du manuscrit. YMY a participé à la rédaction du protocole expérimental, au suivi des travaux puis à la rédaction du manuscrit. NCB a participé à la rédaction du protocole expérimental puis à la rédaction du manuscrit. KPN a réalisé les analyses chimiques puis a participé à la rédaction du manuscrit. ENW a supervisé tout le travail depuis la rédaction du projet de protocole jusqu'à la rédaction du projet de manuscrit puis à la validation du manuscrit.

REMERCIEMENTS

Les auteurs du présent manuscrit remercient le Projet de Gestion Intégré des Ranchs et Stations du Ministère des Ressources Animales et Halieutiques de Côte d'Ivoire pour avoir accepté que la Station Semencière de Yamoussoukro serve de site d'expérimentation.

REFERENCES

Azuhnwi BN, Boller B, Martens M, Dohme-Meier F, Ampuero S, Gûnter S, Kreuzer M, Hess HD. 2011. Morphology, tannin concentration and forage value of 15 Swiss accessions of sainfoin (*Onobrychis viciifolia* Scop.) as influenced by harvest time and cultivation site. *Grass Forage Sci.*, **66**: 474–487. DOI : https://doi.org/10.1111/j.1365-2494.2011.00811.x

Banfoh B. 2004. Introduction des légumineuses fourragères dans les pratqiues culturales : expérience des projets de développement du Togo. In *Introduction des Plantes Fourragères dans les Systèmes de Production en Afrique de l'Ouest*, Dicko M, Ehouinsou M, Aboh AB, Desquesnes M (Eds). CIRDES, PROCORDEL, actes de l'atelier tenu à Cotonou (Bénin), du 19 au 21 janvier 2004, pp 59- 65.

Bodji NC. 1997. Influence de la hauteur et du rythme de coupe sur la productivité et la pérennité d'une culture de *Cajanus cajan* CIAT 18700. *Revue Elev. Med. Vét. Pays Trop*., **50**(4) : 309-312.

Chala M, Temesgen A, Tegegn G. 2013. Effect of feeding *Leucaena pallida* with concentrate and antihelmentic treatment on growth performance and nematode parasite infestation of Horro ewe lambs in Ethiopia. *International Journal of Livestock Production*, **4**(10): 155-160. DOI: 10.5897/IJLP2013.0176

Fluck AC, Kozloski GV, Martins AA, Mezzomo MP, Zanferari F, Stefanello S. 2013. Relationship between chemical components, bacterial adherence and *in vitro* fermentation of tropical forage legumes. *Ciênc. agrotec., Lavras*, **37** (5) : 457-464. DOI: http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542013000500010.

Fondevila M, Nogueira-Filho JCM, Barrios-Urdanata A. 2002. In vitro microbial fermentation and protein utilisation of tropical forage legume grown during the dry season. *Anim. Feed and Technology*, **95**: 1-14. DOI: https://doi.org/10.1016/S0377-8401(01)00315-7

Girard M, Grosse BA, Ampuero KS, Arrigo Y, Wyss U, Kreuzer M, Dohme-Meier F, Bee G. 2013. Le mode de conservation du fourrage et le cycle influent sur la teneur en tanins condensés des légumineuses. *Renc. Rech. Ruminants*, **20**: 99.

Harris KK, Sahu M, Verma D. 2014. Phytochemical analysis of the leaf, stem and seed extracts of *Cajanus cajan* L. (Dicotyledoneae: Fabaceae). *World Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences*, **3** (8): 694-733.

Hoste H, Jackson F, Athanasiadou S, Thamsborg SM, Hoskin SO. 2006. The effects of tannin-rich plants on parasitic nematodes in ruminants. *TRENDS in*

Parasitology, **22**(6): 253-261. DOI: 10.1016/j.pt.2006.04.004

Hoste H, Manolaraki F, Brunet S, Arroyo López C, Martínez-Ortiz de Montellano C, Sotiraki S, Torres Acosta F. 2011.The anthelmintic properties of tannin-rich legume forages: from knowledge to exploitation in farm conditions. In *Challenging Strategies to Promote the Sheep and Goat Sector in the Current Global Context*, Ranilla MJ, Carro MD, Ben Salem H, Moran d-Fehr P (eds.). Zaragoza: CIHEAM / CSIC / Universidad de León / FAO ; 295-304 (Option s Méditerranéennes: Série A. Séminaires Méditerranéens; n°. 99).

Hoste H, Torres-Acosta JFJ, Sandoval-Castro CA, Mueller-Harvey I, Sotiraki S, Louvandini H, Thamsborg SM, Terrill TH. 2015. Tannin containing legumes as a model for nutraceuticals against digestive parasites in livestock. *Veterinary Parasitology*, **212**: 5–17. DOI: http://dx.doi.org/10.1016/j.vetpar.2015.06.026

Kabore A, Konate A, Gnanda BI, Yougbare B, Traore A, Teguera A, Diarra S, Tamboura HH, Belem AMG. 2016. Seed germination and anthelmintic activity of *Cajanus cajan* on sheep. *Journal of Chemical and Pharmaceutical Research*, **8** (1): 403-410.

Kaoneka RS, Saxena KR, Silim NS, Odeny AD, Rao GRPVN, Shimelis AH, Siambi M, Varshney KR. 2016. Pigeonpea breeding in eastern and southern Africa: challenges and opportunities. *Plant Breeding*, **135** : 148–154. DOI : 10.1111/pbr.12340

Koutouan FP, Bodji NC, Wandan EN, Ta Bi D B. 2017. Effet de la fertilisation phospho-potassique sur le rendement grainier et la qualité des semences de *Cajanus cajan* L. Millsp. sur un ferrasolà Yamoussoukro, région centre de la Côte d'Ivoire. *European Scientific Journal*, **21**(13): 1857–7881. DOI: 10.19044/esj.2017.v13n21p7

Li Y, Iwaasa AD, Wang Y, Jin L, Han G, Zhao M. 2014. Condensed tannins concentration of selected prairie legume forages as affected by phenological stages during two consecutive growth seasons in western Canada. *Can. J. Plant Sci*. **94**: 817-826. DOI: 10.4141/CJPS2013-234.

Makkar HPS. 2000. Quantification of tannins in tree foliage. A laboratory manual for the FAO/IAEA co-ordinated research project on 'Use of Nuclear and Related Techniques to Develop Simple Tannin Assays for Predicting and Improving the Safety and Efficiency of Feeding Ruminants on Tanniniferous Tree foliage. FAO/IAEA working document IAEA, VIENA (Austria), 14 p.

N'draman-donou E, Fofié Y, Adjambri E, Mélèdje MF, Sawadogo D. 2015. Caractérisation et évaluation *in vitro* de l'effet antifalcimiant des graines de *Cajanus cajan* (Fabacées) sur les drépanocytes à Abidjan - Côte d'Ivoire. *Int. J. Biol. Chem. Sci*., **9** (5): 2300-2308. DOI: http://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v9i5.4

Njidda AA. 2010. Determining Dry Matter Degradability of Some Semi-Arid Browse Species of North-Eastern Nigeria Using the *In Vitro* Technique. *Nigerian Journal of Basic and Applied Science*, **18**(2): 160-167. DOI: http://dx.doi.org/10.4314/njbas.v18i2.64306

Njidda AA, Olatunji EA, Raji AY. 2012. Semi arid browse forages: Their antinutritive substances and *in sacco*neutral detergent fibre and organic matter degradability. *Journal of Agriculture and Veterinary Science*, **1**(6): 21-30.

Ogni CA, Kpodekon MT, Dassou HG, Boko C K, Koutinhouin BG, Dougnon JT, Youssao AKI, Yedomonhan H, Akoegninou A. 2014. Inventaire ethno-pharmacologique des plantes utilisées dans le traitement des pathologies parasitaires dans les élevages extensifs et semi-intensifs du Bénin. *Int. J. Biol.*

Chem. Sci., **8**(3): 1089-1102. DOI: http://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v8i3.22

Onana J, Ze MA, Sadou I, Awa AA, Mainam F, Guibert H, Mvondo AJ-P, Tarla NF. 2007. Impact des légumineuses fourragères et/ou de couverture sur la biodiversité floristique au Nord-Cameroun. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, **1**(2): 165-175. DOI: http://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v1i2.39687

Pal D, Mishra P, Sachan N, Ghosh AK. 2011. Biological activities and medicinal properties of *Cajanus cajan* (L) Millsp. *J Adv Pharm Technol Res.*, **2**(4): 207–214. DOI: 10.4103/2231-4040.90874

Sankara F, Dabiré BCL, Dugravot S, Cortesero MA, Sanon A. 2012. Capacités de discrimination des femelles de quatre souches de *Callosobruchus maculatus* Fab. (Coléoptera : Chrysomelidae, Bruchinae) pour la localisation de l'hôte et la ponte aux dépens d'hôtes secondaires. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, **6**(3): 1303-1315. DOI: http://dx.doi.org/10.4314/ijbcs. v6i3.33

Seresinhe T, Pathirana KK. 2003. Forage tannins in ruminant nutrition. *Tropical Agricultural Research and Extension*, **6**: 29-43.

Sharma HC, Sujana G, Rao MD. 2009. Morphological and chemical components of resistance to pod borer, *Helicoverpa armigera* in wild relatives of pigeonpea. *Arthropod-Plant Interactions*, **3**: 151–161. DOI: 10.1007/s11829-009-9068-5

Shenkute B, Hassen A, Ebro A, Amen N. 2013. Performance of Arsi-Bale kids supplemented with graded levels of pigeonpea in dry season in Mid Rift valley of Ethiopia. *Afr. J. Agric. Res.*, **8**(20): 2366-2370. DOI: 10.5897/AJAR11.1533

Vidhya AT, Ahmed JS. 2017. Preliminary Phytochemical and Trace metal Screening from *Cajanus cajan* (L.) Millsp. *Asian Journal of Pharmaceutical Technology & Innovation*, **05**(23): 01-06. www.asianpharmtech.com

Vitti dMSS, Abdalla AL, Bueno ICS, Silva Filho JC, Costa C, Bueno MS, Nozella EF, Longo C, Vieira EQ, Cabral Filho SLS, Godoy PB, Mueller-Harvey I. 2005. Do all tannins have similar nutritional effects? A comparaison of three brazilian fodder legumes. *Anim. Feed Sci. Technol.*, **119**(3-4): 345-361. DOI: 10.1016/j.anifeedsci.2004.06.004

Yadav K, Yadav KS, Yadav A, Pandey PV, Dwivedi. NU. 2012. Genetic Diversity of Pigeonpea (*Cajanus cajan* (L.) Millsp.) Cultivars and Its Wild Relatives Using Randomly Amplified Polymorphic DNA (RAPD) Markers. *American Journal of Plant Sciences*, **3**: 322-330. DOI: http://dx.doi.org/10.4236/ajps.2012.33038

Zaidi F, Hassissene N, Allouache H, Kichou M, Ourdani S, Rezki K, Bellal MM, Grongnet JF, Youyou A. 2009. Les composés phénoliques, facteur limitant du grignon d'olive chez les ruminants. *Revue Méd. Vét.*, **160**(2) : 67-73.

Annexe 4. Publication scientifique N°2: Anthelmintic Activity of Nine Varieties of *Cajanus cajan* (L.) Millsp on Haemonchus contortus from Sheep

B-1400
[1-5]

RESEARCH ARTICLE Indian Journal of Animal Research

Anthelmintic Activity of Nine Varieties of *Cajanus cajan* (L.) Millsp on *Haemonchus contortus* from Sheep

Faustin Parfait Koutouan[1,2], Yapo Magloire Yapi[1,3], Souleymane Kande[4], Eboua Narcisse Wandan[1,2]

10.18805/IJAR.B-1400

ABSTRACT

Background: Internal parasitosis is the most important parasitism in small ruminants in tropical region. Synthetic anthelmintics are usually used for their control. Due to the emergence of resistance in worm population, the use of alternative methods such as plants bioactive molecules are developed. This study aimed at assessing anthelmintic activity of nine varieties of *Cajanus cajan,* a taniferous plant cultivated in West Africa.

Methods: Leaves of the nine varieties of *Cajanus cajan* were dried, ground and hydroacetonic extracts were obtained by cold maceration at a concentration of 60 mg/ml. Live adult of *Haemonchus contortus* were obtained from sheep's stomach and exposed, in triplicate, to the following solutions: hydroacetonic extracts (60 mg/ml), hydroacetonic extracts (60 mg/ml) associated with polyvinylpyrrolidone (PVP) (50 mg/ml), Levamisole (20 mg/ml) and phosphate buffered saline (PBS) solution. Worm death time was recorded for each treatment.

Result: Worms exposed to Levamisole recorded the shortest death time about 9.73±1.77 min. The potent of the extracts induced worm death time of 64.83±4.73 min while the least efficient induced a death time of 156.50±23.20 min. Worms in the PBS solution were still alive after 24 hours of exposure. These results indicated that the four varieties of *C. cajan* used in this study have promising wormicidal. Besides that, the effect of tannins were not the only compound responsible for the anthelmintic activity.

Key words: Condensed tannin, Helminthosis, Hydroacetonic extracts, Polyphenols, Small ruminants, Taniferous plant.

INTRODUCTION

In tropical regions, internal parasitosis are the most important parasitism in small ruminants which constrain animals' survival and productivity (Mahieu *et al.,* 2009, Krecek and Waller, 2006). Their high frequency causes significant economic losses in small ruminant breeding (Hounzangbe-Adote *et al.,* 2005). Synthetic anthelmintics are used usually to control these parasitosis (Hoste *et al.,* 2006). However, requests for a reduction of their use are more and more recurrent (Jackson and Miller, 2006), due to the emergence of resistance in worm population, their ecotoxicity and residues presence in animal products (Hoste *et al.,* 2006; Krecek and Waller, 2006, Papadopoulos, 2008). For this purpose, alternative and or complementary methods are developed to control this gastrointestinal parasitism. Plant bioactive molecules use is one of these methods (Jackson and Miller, 2006; Githiori *et al*., 2006; Meenakshisundaram *et al*., 2017).

Cajanus cajan L., is an important legume forage (Kaboré *et al*., 2016; Sarkar *et al.*, 2020) with several species (Sawargaonkar *et al*., 2016; Talari and Shakappa, 2018) which are medicinal plants containing tannins. Traditional varieties of this species have a long development cycle (7-11 months) (Velay *et al*., 2001) allowing sheep whose diet is composed of 20 to 50% ligneous and sub-ligneous species in the savannah (Bodji *et al*., 1996; César and Zoumana, 1999) to have feed during the dry season. Odeny (2007) reported that *C. cajan* forage increased roughage consumption, which resulted in a high live weight of the animals. *In vitro* action of *Cajanus cajan* on nematode is currently documented. This anthelmintic action has been attributed to phenolic compounds (Singh *et al*., 2010) such as tannins and flavonoids (Harris *et al*., 2014). Tannins play an important role in gastrointestinal parasitism control (Hoste *et al*., 2006; Williams *et al*., 2014), but this anthelmintic activity of the tannins depend on plant species (Hoste *et al*., 2006; Quijada *et al*., 2015). In addition, phenolic compounds vary according to *Cajanus cajan* varieties (Koutouan *et al.,*

[1]Institut National Polytechnique-Félix Houphouët Boigny de Yamoussoukro, BP 1093 Yamoussoukro, Côte d'Ivoire.
[2]Laboratoire Sciences Société and Environnement, UMRI Sciences Agronomiques et Génie Rurale, BP 1093 Yamoussoukro, Côte d'Ivoire.
[3]Département Agriculture et Ressources Animales, Laboratoire de Zootechnie et Productions Animales, BP 1313, Yamoussoukro, Côte d'Ivoire.
[4]Laboratoire National d'Appui au Développement Agricole/ Laboratoire Régional de Bouaké, BP 639 Bouaké 01, Côte d'Ivoire.
Corresponding Author: Yapo Magloire Yapi, Institut National Polytechnique-Félix Houphouët Boigny de Yamoussoukro, BP 1093 Yamoussoukro, Côte d'Ivoire. Email: yapimagloire@yahoo.fr

How to cite this article: Koutouan, F.P., Yapi, Y.M., Kande, S. and Wandan, E.N. (2022). Anthelmintic Activity of Nine Varieties of *Cajanus cajan* (L.) Millsp on *Haemonchus contortus* from Sheep. Indian Journal of Animal Research. DOI: 10.18805/IJAR.B-1400.

Submitted: 18-06-2021 **Accepted:** 20-12-2021 **Online:** 16-01-2022

2019). This in turn, could lead to a varietal difference in anthelmintic activity (Nguyen *et al.,* 2005), as already noted by some authors in Sainfoin (Manolaraki, 2011; Azuhnwi, 2012). In previous anthelmintic tests performed with *C. cajan*, no indication was given on the varieties (Singh *et al.,* 2010; Kaboré *et al*., 2016).

So, this study aimed to investigate the anthelmintic properties of nine varieties of *Cajanus cajan* against adult *Haemonchus contortus* from sheep and to elucidate the role of tannins in this activity.

MATERIALS AND METHODS

The study was carried out at the Institut National Polytechnique Félix Houphouët-Boigny (INP-HB) of Yamoussoukro (Côte d'Ivoire), from May 2018 to June 2019. The climate of the region is characterized by annual rainfall of 900 to 1100 mm, temperatures ranging from 18°C to 35°C and a relative humidity between 75% and 85%. Five improved varieties (ICPL 87 119-ASHA, ICP 8863-MARUTI, ICP 7035-KAMICA, ICPL 87 119 GUIMU 3 (Asha), ICPL 332 ABAAYA), one Burkina Faso traditional variety (FKB-Red) and ivorian three traditional cultivars (white, red, black) of *C. cajan*, adapted of Côte d'Ivoire local agro-climatic conditions, were used in this study.

The characteristics of these varieties are described in Table 1. The plants were grown on the same site, under the same conditions. The leaves of these varieties were harvested at the early stage of ripening throughout the plant. Total polyphenols and tannins contents of the leaves were previously evaluated (Koutouan *et al.,* 2019). The collected leaves were shade dried and ground into a fine powder using an electric blender. Then, the powders were stored in a dry and dark room at ambient temperature. Hydroacetonic extract was prepared by a cold maceration method using a 70% aqueous-acetone solution as previously described by Makkar (2000). The resulting mixture was suspended in an ultrasonic bath and sonicated for 30 minutes (two times 15 minutes) at room temperature. The obtained macerate was filtered and the extract was dried in an oven at 5°C. The dry extracts were stored at 4°C until use.

Leaf extracts of the nine varieties of *Cajanus cajan* were evaluated for their ability to kill adult worms using the Adult Motility Assay (AMT). The AMT was conducted on mature *H. contortus* worms according to Eguale *et al*. (2006) technique. Live adult worms of *H. contortus* were collected from the abomasum of freshly slaughtered sheep at the national slaughterhouse of the city of Bouaké (Côte d'Ivoire). The worms were stored in a polypropylene bottle containing Phosphate Buffered Saline (PBS) solution. They were then immediately sent to the National Laboratory Office of Agricultural Development Support (LANADA, Côte-d'Ivoire) for anthelmintic tests. Six actively moving worms were exposed in triplicate to each of the four following treatments in separate Petri dishes at room temperature (25-30°C):

- **Treatment 1:** Hydroacetonic extracts at 60 mg/mL prepared in phosphate buffered saline (PBS) solution.
- **Treatment 2:** Hydroacetonic extract at 60 mg/mL with polyvinylpyrrolidone (PVP) at 50 mg/ml to selectively remove tannins in dissolved extracts (Williams *et al*., 2014), all prepared in PBS.
- **Treatment 3:** Levamisol at 20 mg/ml, prepared in distiller water, according to Singh *et al.* (2010).
- **Treatment 4:** PBS (Negative control).

The death time (M, minutes) of the worms was chosen as a criterion of anthelmintic activity. It represents the time elapsed between contact with the extract solution and the moment when they lost their motility, evaluated by touching the worms with a clamp for five to six seconds.

A comparison of the mean time of death of adult worms for the different varieties was performed by one-way analysis of variance (ANOVA). The post hoc statistical significance test employed was Tukey HSD, differences between the means were considered significant at $P<0.05$. The effect of PVP on the wormicidal activities of leaf extracts was assessed using t-student test at $P<0.05$. Previously, when necessary, the data was transformed into a log (x) transformation to normalize the distribution. All statistical analyzes were performed using the R software (R Development Core Team).

Table 1: Characteristics of the varieties and cultivars used.

Varieties / Cultivars	Seed color	Origin of the seed	Nature of the varieties / cultivars
White local cultivar (TCW)	White	Local market of Côte d'Ivoire	Local cultivar from Côte d'Ivoire
Red local cultivar (TCR)	Red	Local market of Côte d'Ivoire	Local cultivar from Côte d'Ivoire
Black local cultivar (TCB)	Black	Local market of Côte d'Ivoire	Local cultivar from Côte d'Ivoire
ICPL 87 119- ASHA (ICPLAS)	Red	INERA, Burkina Faso*	Improved variety
ICP 8863-MARUTI (ICPMA)	Red	INERA, Burkina Faso	Improved variety
ICP 7035-KAMICA (ICPKA)	Red	INERA, Burkina Faso	Improved variety
FKB-RED (FKBR)	Red	INERA, Burkina Faso	Local variety from Burkina Faso
ICPL 87 119 GUIMU 3 (Asha) (ICPLGA)	Red	INERA, Burkina Faso	Improved variety
ICPL 332 ABAAYA (ICPLAB)	Red	INERA, Burkina Faso	Improved variety

*INERA= Burkina National Institute for Environment and Agronomic Research.

RESULTS AND DISCUSSION

Anthelmintic effect of the nine varieties of *cajanus cajan*

The extracts of the nine varieties of *Cajanus cajan* have been studied to assess their in vitro anthelmintic activity. A time-dependent response was observed with all the treatments (Fig 1). All the extracts showed an anthelmintic effect, although significantly lower compared to levamisol, as 100% of adult worms died after 60 to 200 min of exposure to the extracts while death occurred at 12 min for levamisol. Regarding PBS, no dead worm was found up to 24 hours after exposure. A significant effect ($P<0.05$) was observed on the motility of adult *H. contortus* worms in all the leaves extracts. Moreover, according to their effects, the varieties used in this study can be grouped. Group one comprising four varieties (ICPL 87 119- ASHA, ICP 8863-MARUTI, ICP 7035-KAMICA and FKB-Red) are those with a higher average time of death (156.50±23.20 mn to 177.67±15.08 mn). Group two includes four other varieties (TC-W hite, TC-Black, ICPL 87 119 GUIMU 3 (Asha) and ICPL 332 ABAAYA) with a medium average time of death (98.60±35.76 mn to 123.17±18.90 mn). The last group, represented by the traditional cultivar red (TC-Red), induced a low average time of death (64.83±4.73 mn). The results of this study confirm the anthelmintic properties of *Cajanus cajan*, already reported by other authors (Singh *et al*., 2010; Kaboré *et al*., 2016). However, the average times of death recorded remained greater than the 17 minutes obtained by Singh *et al*. (2010) with hydroethanolic extracts (40 mg/ml) of *C. cajan* on Indian adult earthworms *Pheretima posthuma* and much less than the six hours obtained by Kaboré *et al*. (2016) on *Haemonchus contortus* with an aqueous extract of *C. cajan* at 100 mg/ml. The anthelmintic effects of *C. cajan* are due, according to several authors, to the polyphenolic compounds present in the plant, notably tannins and flavonoids (Singh *et al.,* 2010; Kaboré *et al.,* 2016). These compounds found in the leaves are less polar and therefore are prone to dissolve in relatively less polar solvents, than water (Eguale *et al.,* 2006). The work of Mohanty *et al*. (2011) showed a concentration of flavonoids in ethanolic extracts two to three times higher than in aqueous extracts. This explains the relatively long time (6 h) obtained by Kaboré *et al*. (2016**)** with aqueous extracts compared to those obtained in the present study and to that obtained by Singh *et al*. (2010). These facts indicate that *in vitro* anthelmintic effects of the same plant species and the same organ are variable depending on the solvent used. Although the mechanism of action of bioactive molecules involved in anthelmintic activity is still poorly understood. It is known that anthelmintic substances can reach the target worm by oral route or by diffusion, or absorption through the cuticle of the parasite, or a combination of both routes. But, the passive transfer of the drug by the cuticle is the predominant entry mechanism (Alvarez *et al.,* 2007).

Effects of polyvinylpyrrolidone on anthelmintic effects of the extracts

Polyvinylpyrrolidone (PVP) at 50 mg/ml was used combined to hydroacetonic extract at 60 mg/mL to selectively remove tannins in dissolved extracts (Williams *et al*. 2014). The average time of death increased significantly ($p<0.05$) for the varieties ICPL 87 119 GUIMU 3 (Asha), FKB-Red, traditional red and black with the PVP addition in the hydroacetonic extracts. However, the others varieties did not experienced a significant ($p>0.05$) increase in the time of death after PVP addition (Fig 2).

This result indicates that the tannins contained in the varieties of *C. cajan* in this study are not the only ones involved in the anthelmintic activity. Other secondary metabolites in these varieties certainly play an important

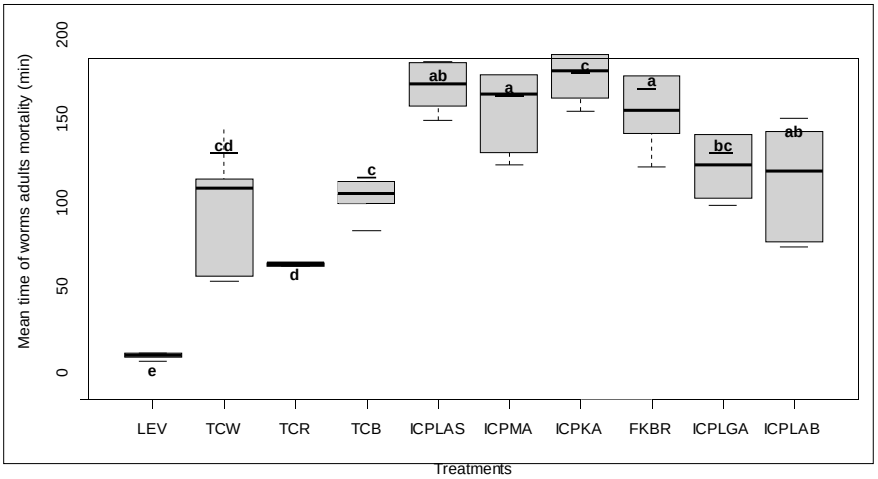


Fig 1: Graph showing in vitro anthelmintic activity (the time of death) of hydroacetonic extract at 60 mg/mL in comparison with positive control levamisol (20 mg/mL) (Lev). The time of death of the worms was used as the criterion for anthelmintic activity. Values shown are means, letter upper indicated significant difference from previous value at $P<0.05$.

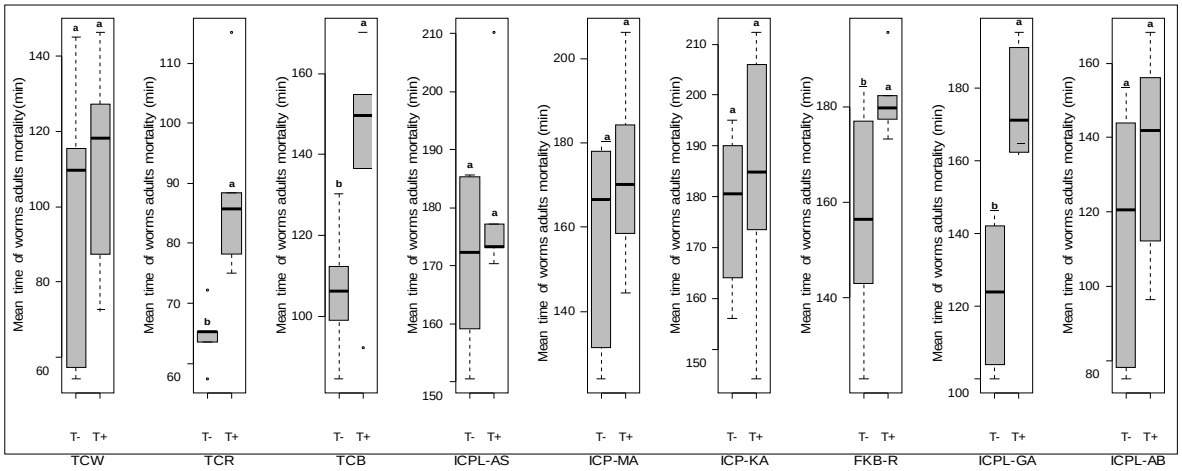


Fig 2: Graph showing *in vitro* mean anthelmintic activity (the time of death) of hydroacetonic extract at 60 mg/mL compared to combined hydroacetonic extract at 60 mg/mL with Polyvinylpyrrolidone (PVP) at 50 mg/ml on mature live *Haemonchus contortus* of sheep. The time of death of the worms was used as the criterion for anthelmintic activity. Values shown are means, letter upper indicated significant difference from previous value at P<0.05. T- = no PVP; T+ = with PVP.

role in anthelmintic actions. This could explain why the variety ICPL 332 ABAAYA showed a higher nematicidal efficacy than the varieties FKB-Red and ICPL 87 119-ASHA, while in a previous study, Koutouan *et al*. (2019) showed that the level of tannin of the first variety was very low compared to the seconds. These results confirmed the role of other secondary metabolites, apart from tannins, in the anthelmintic activity of plants, as already noted by Hoste *et al*. (2006) and Manolaraki (2011). The wormicidal activity hereby found could be due to flavonoids (Singh *et al.,* 2010; Kaboré *et al.,* 2016). Their content in the leaves of *C. cajan* is about 10 times that of tannins (Harris *et al*., 2014).

CONCLUSION

This study aimed to evaluate the anthelmintic activity of the leave extracts of nine varieties of *Cajanus cajan* a taniferous plant cultivated in West Africa. The results indicated that four of the varieties have promising wormicidal effect and that tannins were not the only ones responsible for this anthelmintic activity. However, an *in vivo* assay must be conducted in subsequent studies to confirm this result.

ACKNOWLEDGEMENT

The authors would like to thank the National Laboratory Office of Agricultural Development Support (LANADA, Côte-d'Ivoire) for performing the in vitro tests of this study.

REFERENCES

Alvarez, I.L., Mottier, L.M., Lanusse, E.C. (2007). Drug transfer into target helminth parasites. Trends in Parasitology. 23(3): 997-104. https://doi.org/10.1016/j.pt.2020.02.007.

Azuhnwi, N.B. (2012). Cultivar differences in nutritional and anthelmintic potential of Sainfoin (*Onobrychis vociifolia*) in ruminants. Doctoral Thesis, Univ. Hohenheim, Germany.

Bodji, N.C., Traore, D., Guerin, H. (1996). Comportement alimentaire du bétail (bovin, ovin et caprin) sur un pâturage de savanes arborées et arbustives guinéennes de Foro-Foro à Bouaké, Côte d'Ivoire. IDESSA, 32 p.

César, J., Zoumana, C. (1999) : Les régimes alimentaires des bovins, ovins et caprins dans les savanes de Côte-d'Ivoire, et leurs effets sur la végétation. Fourrages. 159 : 237-252. Available at : http://pascal-francis.inist.fr/vibad/index.php?action=getRecordDetailandidt=1184754.

Eguale, T., Tilahun, G., Gidey, M., Mekonnen, Y. (2006). *In vitro* anthelmintic activities of four Ethiopian medicinal plants against *Haemonchus contortus*. Pharmacologyonline. 3: 153-165. DOI: 10.1002/0471141755.ph0547s40.

Githiori, J.B., Athanasiadou, S., Thamsborg, S.M. (2006). Use of plants in novel approaches for control of gastrointestinal helminths in livestock with emphasis on small ruminants. Veterinary Parasitology. 139(4): 308-320. https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2020.109101.

Harris, K.K., Sahu, M., Verma D. (2014). Phytochemical analysis of the leaf, stem and seed extracts of *Cajanus cajan* L. (Dicotyledoneae: Fabaceae). World Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences. 3(8): 694-733.

Hoste, H., Jackson, F., Athanasiadou, S., Thamsborg, S.M., Hoskin S.O. (2006). The effects of tannin-rich plants on parasitic nematodes in ruminants. Trends in Parasitology. 22(6): 253-261. https://doi.org/10.1016/j.pt.2020.02.007.

Hounzangbé-Adoté, M.S., Paolini, V., Fouraste, I., Moutairou, K., Hoste H. (2005). *In vitro* effects of four tropical plants on three life-cycle stages of the parasitic nematode *Haemonchus contortus*. Res. Vet. Sci. 78: 155-160. https://doi.org/10.1016/j.rvsc.2020.03.028.

Jackson, F., Miller J. (2006). Alternative approaches to control-Quo vadit? Veterinary Parasitology. 139: 371-384. https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2020.109101.

Kabore, A., Konate, A., Gnanda, B.I., Yougbare, B., Traore, A., Teguera, A.A., Diarra, S., Tamboura, H.H., Belem, A.M.G. (2016). Seed germination and anthelmintic activity of *Cajanus cajan* on sheep. Journal of Chemical and Pharmaceutical Research. 8(1): 403-410. www.jocpr.com

Koutouan, F.P., Yapi Y.M., Wandan E.N., Bodji N.C. and N'da K.P. (2019). Composition en polyphénols totaux et en tanins des feuilles de neuf variétés de *Cajanus cajan* (L.) Millsp. au cours du premier cycle de croissance et en fonction du mode d'exploitation. Int. J. Biol. Chem. Sci. 13(2): 882-898. http://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v9i2.47

Krecek, R.C. and Waller, P.J. (2006). Towards the implementation of the basket of options approach to helminth parasite control of livestock: Emphasis on the tropics/subtropics. Veterinary Parasitology. 139: 270-282. https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2020.109095.

Mahieu, M., Arquet, R., Fleury, J., Coppry, O., Marie-Magdeleine, C., Boval, M., Archimède, H., Alexandre, G., Bambou, J.-C. and Mandonnet, N. (2009). Contrôle intégré du parasitisme gastro-intestinal des petits ruminants au pâturage en zone tropicale humide. Renc. Rech. Ruminants. 16: 265-268. Conference: 16ème Rencontres Recherches Ruminants, INRA - Institut de l'Elevage At: Paris (France), Volume: http://www.journees3r.fr/IMG/pdf/2009_08_03_Mahieu.pdf

Makkar, H.P.S. (2000). Quantification of tannins in tree foliage. A laboratory manual for the FAO/IAEA co-ordinated research project on 'Use of Nuclear and Related Techniques to Develop Simple Tannin Assays for Predicting and Improving the Safety and Efficiency of Feeding Ruminants on Tanniniferous Tree foliage'. FAO/IAEA working document IAEA, VIENA (Austria), 26 p. https://www.researchgate.net/publication/279349709.

Manolaraki, F. (2011). Propriétés anthelminthiques du sainfoin (*Onobrychis viciifoliae*): Analyse des facteurs de variations et du rôle des composés phénoliques impliqués. Thèse de Doctorat, INP Toulouse, Univ. Toulouse, France, 185 p. ULR : https://oatao.univ-toulouse.fr/7091/1/manolaraki.pdf

Meenakshisundaram A., Harikrishnan J.T., Anna T. (2017). Anthelmintic evaluation of Cucurbita pepo against gastrointestinal nematodes of sheep. Indian Journal of Animal Research. 51: 518-524. DOI : 10.18805/ijar.v0iOF.7264.

Mohanty, P.K., Chourasia, N., Bhatt, N.K. and Jaliwala, Y.A. (2011). Preliminary Phytochemical Screening of *Cajanus cajan* L. Asian J. Pharm. Tech. 1(2): 49-52. DOI: 10.5958/2231-5713.

Nguyen, M.T., Binh, V.D. and Orskov, R.E. (2005). Effect of foliages containing condensed tannins and on gastrointestinal parasites. Animal Feed Science and Technology. 121: 77-87. DOI: 10.1016/j.anifeedsci.2005.02.013.

Papadopoulos, E. (2008). Anthelmintic resistance in sheep nematodes. Small Ruminant Research. 76: 99-103. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2018.e00205.

Odeny, D.A. (2007). The potential of pigeon pea [*Cajanus cajan* (L.) Millsp.] in Africa. Natural Resources Forum. 31(4): 297-305. https://doi.org/10.1111/j.1477-8947.2007.00157.x.

Quijada, J., Fryganas, C., Ropiak, H.M., Ramsay, A., Mueller-Harvey, I. and Hoste, H. (2015). Anthelmintic activities against *Haemonchus contortus* or *Trichostrongylus colubriformis* from small ruminants are influenced by structural features of condensed tannins. J. Agric. Food Chem. 63: 6346-6354. https://doi.org/10.1021/jf60158a601.

Sarkar, S., Panda, S., Yadav, K.K., Kandasamy, P. (2020). Pigeon pea (*Cajanus cajan*) an important food legume in Indian scenario- A review. Legume Research. (43): 601-610. DOI: 10.18805/LR-4021.

Sawargaonkar, L.S., Saxena, K. and Saxena, K.R. (2016). Overview of hybrid pigeonpea seed production technology and its on-farm validation. Plant Knowledge Journal. 5(1): 13-17. URL, http://www.sciencej.com.

Singh, S., Mehta, A., John, J. and Mehta, P. (2010). Anthelmintic Potential of *Andrographis paniculata, Cajanus cajan and Silybum marianum*. Phcog J. 1(4): 243-245. DOI: 10.4135/9788132104940.n3

Talari, A., Shakappa, D. (2018). Role of pigeon pea (*Cajanus cajan* L.) in human nutrition and health: A review. Asian Journal of Dairy and Food Research. 37: 212-220. DOI: 10.18805/ajdfr.DR-1379.

Velay, F., Baudoin, J.-P. et Mergeai, G. (2001). Caractérisation du savoir paysan sur les insectes nuisibles du pois d'Angole [*Cajanus cajan* (L.) Millsp.] dans le Nord de l'Ouganda, Biotechnol. Agron. Soc. Environ. 5(2): 105-114. Available at: https://popups.uliege.be/1780-4507/index.php/base/issue/index.php?id=17467andfile=1andpid=14928.

Williams, A.R., Fryganas C., Ramsay, A., Mueller-Harvey, I. and Thamsborg, S.M. (2014). Direct anthelmintic effects of condensed tannins from diverse plant sources against *Ascaris suum*. PLoS ONE 9(5): e97053. DOI:10.1371/journal.pone.0097053.

Annexe 5. Résumé de la communication 1. Détermination des teneurs en polyphénols totaux et en tanins des variétés de *Cajanus cajan* (L.) Millsp. en fonction du stade phénologique et du rythme d'exploitation

Faustin Parfait KOUTOUAN[1*], Yapo Magloire YAPI[2], Eboua Narcisse WANDAN[3], N'guessan Clément BODJI[2], Kessé Phillipe N'DA[4]

[1]*Institut National Polytechnique-Félix Houphouët Boigny de Yamoussoukro. Laboratoire Sciences Société & Environnement, UMRI Sciences Agronomiques et Génie Rurale,*
[2]*Institut National Polytechnique-Félix Houphouët Boigny de Yamoussoukro, Département Agriculture et Ressources Animales, Laboratoire de Zootechnie et Productions Animales,*
[3]*Institut National Polytechnique-Félix Houphouët Boigny de Yamoussoukro, Laboratoire Sciences Société & Environnement, UMRI Sciences Agronomiques et Génie Rurale, BP 1093 Yamoussoukro,*
[4]*Institut National Polytechnique-Félix Houphouët Boigny de Yamoussoukro, Département de Recherche et de Formation Génie Chimique et Agro-alimentaire, Laboratoire de Chimie, de l'Eau et des Substances Naturelles,*

*Email: koutouanparfait@gmail.com

Cajanus cajan est une légumineuse fourragère riche en composées phénoliques auxquels sont attribués des propriétés anthelminthiques [1]. Malheureusement, peu d'informations sont disponibles sur ce sujet concernant les variétés traditionnelles de l'Afrique de l'Ouest et les variétés améliorées qui s'y adaptent. La littérature suggère qu'une teneur en tanins condensés de 3–4 % MS est nécessaire pour induire une activité anthelminthique [2]. En vue d'identifier les variétés à effet anthelminthique, des essais ont été menés pour déterminer les teneurs en composés phénoliques de neuf variétés. Les résultats ont montré qu'il existe une différence variétale en ce qui concerne la teneur en composés phénoliques. Au stade maturation, la teneur en tanins totaux des trois cultivars locaux se situait entre 8,24 et 11,42 géqAT/Kg MS alors qu'elle était comprise entre 2,98 et 7,10 géqAT/Kg pour les variétés améliorées. Les résultats ont montré que ces teneurs évoluaient au cours du cycle de développement de la plante et étaient influencées par la fauche.

Mots clés : *Cajanus cajan*, variétés, composées phénoliques, effet anthelminthique, tanin.

Références bibliographiques

[1] Pal D, Mishra P, Sachan N, Ghosh AK. 2011. Biological activities and medicinal properties of *Cajanus cajan* (L) Millsp. *J Adv Pharm Technol Res*. **2** (4): 207–214. DOI: 10.4103/2231-4040.90874.

[2] Hoste H. , 2001. Adaptive physiological processes in the host during gastrointestinal parasitism. *International Journal for Parasitology*, 31, 231-244. https://doi.org/10.1016/S0020-7519(00)00167-3.

Annexe 6. Résumé de la communication 2. Valorisation de *Cajanus cajan* (L.) Millsp. dans la lutte contre les nématodes gastro-intestinaux des ovins Djallonké

I.

Faustin Parfait KOUTOUAN[1*], Yapo Magloire YAPI[2], Eboua Narcisse WANDAN[3], N'guessan Clément BODJI[2],

[1]*Institut National Polytechnique-Félix Houphouët Boigny de Yamoussoukro. Laboratoire Sciences Société & Environnement, UMRI Sciences Agronomiques et Génie Rurale,*
[2]*Institut National Polytechnique-Félix Houphouët Boigny de Yamoussoukro, Département Agriculture et Ressources Animales, Laboratoire de Zootechnie et Productions Animales,*
[3]*Institut National Polytechnique-Félix Houphouët Boigny de Yamoussoukro, Laboratoire Sciences Société & Environnement, UMRI Sciences Agronomiques et Génie Rurale, BP 1093 Yamoussoukro,*
[4]*Institut National Polytechnique-Félix Houphouët Boigny de Yamoussoukro, Département de Recherche et de Formation Génie Chimique et Agro-alimentaire, Laboratoire de Chimie, de l'Eau et des Substances Naturelles,*

*Email: koutouanparfait@gmail.com

Cajanus cajan est une légumineuse fourragère riche en composées phénoliques auxquels sont attribués des propriétés anthelminthiques [1] [2]. Malheureusement, peu d'informations sont disponibles sur ce sujet concernant les variétés traditionnelles de l'Afrique de l'Ouest et les variétés améliorées qui s'y adaptent. En vue d'identifier les variétés à effet anthelminthique, des essais ont été menés pour évaluer *in vitro* les effets anthelminthiques contre les vers adultes de *Haemonchus contortus.* Des extrairts hydroacétoniques secs (30:70 v/v) de neuf variétés de *C. cajan*, dont quatre variétés traditionnelles et cinq variétés améliorées, ont été utilisés. Le test de motilité des adultes a été employé. Le temps écoulé entre le contact des vers avec la solution d'extrait et le moment où les vers ont perdu leur motilité, a été choisi comme critère d'activité anthelminthique. Les résultats ont montré qu'il existe une différence variétale dans l'expression du potentiel anthelminthique. Les cultivars locaux ont présenté les meilleurs effets anthelminthiques avec des temps de mort des nématodes compris entre 64,83±4,73 mn et 106,45±15,11 mn.

Mots clés : *Cajanus cajan*, effet anthelminthique, extrairts hydroacétoniques, variétés.

Références bibliographiques

[1] Onana J, Ze MA, Sadou I, Awa AA, Mainam F, Guibert H, Mvondo AJ-P, Tarla NF. 2007. Impact des légumineuses fourragères et/ou de couverture sur la biodiversité floristique au Nord-Cameroun. *Int. J. Biol. Chem. Sci.* **1** (2): 165-175. DOI: http://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v1i2.39687.
[2] Pal D, Mishra P, Sachan N, Ghosh AK. 2011. Biological activities and medicinal properties of *Cajanus cajan* (L) Millsp. *J Adv Pharm Technol Res*. **2** (4): 207–214. DOI: 10.4103/2231-4040.90874.