

1390.00/B

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEURE ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
INSTITUT NATIONAL AGRONOMIQUE D'ALGER

THESE

En vue de l'obtention du diplôme de Doctorat d'Etat en Sciences Agronomiques

Présenté

Par AMRANE Rachid

PREVISION DE LA VALEUR NUTRITIVE DES FOURRAGES PAR DES METHODES DE LABORATOIRE. APPLICATION A DES FOURRAGES ALGERIENS

SOUTENUE LE 21 MAI 2002 DEVANT LE JURY COMPOSE DE



BELLAL Mohand Mouloud :	Maître de Conférences	Président
AZZOUT Bélkacem :	Professeur	Rapporteur
MICHALET-DOREAU Brigitte:	Maître de Recherches	Rapporteur
HOUMANI Mohaméd :	Maître de Conférences	Examineur
MESBAHI Mahmoud :	Maître de Conférences	Examineur

SOMMAIRE

INTRODUCTION GENERALE.....	1
-----------------------------------	----------

PARTIE BIBLIOGRAPHIQUE

I - LES FOURRAGES EN ALGERIE

1 - Situation.....	3
2 - Superficie et répartition des fourrages.....	3
2 - 1 - Superficie fourragère.....	3
2 - 2 - Répartition des fourrages secs.....	3
2 - 3 - Répartition des fourrages verts.....	4
3 - Importance du cheptel.....	5
4 - Les systèmes fourrager et les systèmes d'élevage pratiqués en Algérie.....	6
4 - 1 - Systèmes d'élevage.....	6
4 - 2 - Systèmes fourrager.....	6
5 - Conclusion.....	6

II - COMPOSITION MORPHOLOGIQUE.....	7
--	----------

III - COMPOSITION CHIMIQUE DES FOURRAGES.....	8
--	----------

1 - Rappel sur la composition chimique des fourrages.....	8
1 - 1 - Les constituants cytoplasmiques.....	9
1- 1 - 1 - Glucides.....	9
1- 1 - 2 - Les constituants azotées.....	10
1 - 1 - 2 - 1 - Les constituants azotées non protéiques.....	10
1 - 1 - 2 - 2 - Les constituants azotées proteiques.....	11
1 - 2 - Les constituants pariétaux.....	11
1 - 2 - 1 - La cellulose.....	12

1 - 2 - 2 - Les hemicelluloses.....	12
1 - 2 - 3 - Les substances pectiques.....	13
1 - 2 - 4 - La lignine.....	13
1 - 3 - Conclusion.....	14
2 - Facteurs de variation de la composition chimique.....	14
2 - 1 - Influence de l'âge ou du stade de développement.....	14
2 - 1 - 1 - Les constituants cytoplasmiques.....	15
2 - 1 - 1 - 1 - Les glucides.....	15
2 - 1 - 1 - 2 - Les matières azotées.....	15
2 - 1 - 2 - Les constituants pariétaux.....	16
2 - 2 - Influence de la famille et de l'espèce.....	17
2 - 3 - Influence du milieu.....	17
2 - 3 - 1 - Climat.....	17
2 - 3 - 2 - Lumière.....	18
2 - 3 - 3 - Fertilisation.....	18
2 - 4 - Influence du mode de conservation des fourrages.....	19
2 - 4 - 1 - Processus enzymatique durant la fenaison.....	19
2 - 4 - 1 - 1 - Respiration.....	19
2 - 4 - 1 - 2 - Protéolyse.....	21
2 - 4 - 1 - 3 - Modification liées aux réactions de Maillard.....	22
2 - 4 - 2 - Pertes mécaniques.....	22
 IV - VALEUR ENERGETIQUE DES FOURRAGES.....	25
 1 - Rappel sur la digestion des fourrages dans le rumen.....	25
2 - Digestibilité des constituants de la matière organique.....	26
2 - 1 - Les constituants cytoplasmiques.....	26
2 - 2 - Les constituants pariétaux.....	26
2 - 2 - 1 - Influence de la lignine sur la digestibilité des constituants pariétaux.....	27
2 - 2 - 2 - Effets des interactions entre les polysides pariétaux et la lignine.....	27
2 - 2 - 3 - Influence du degré de polymérisation et de cristallinité de la cellulose.....	27
2 - 2 - 4 - Influence de la présence de cutine et de silice.....	28
3 - Facteurs de variation de la digestibilité des fourrages.....	28
3 - 1 - Age et stade de développement.....	28

3 - 1 - 1 - 1 ^{er} cycle.....	28
3 - 1 - 2 - Repousses.....	29
3 - 2 - Influence de la famille, de l'espèce et de la variété.....	30
3 - 3 - Influence du milieu.....	30
3 - 4 - Influence du mode de conservation des fourrages.....	31
V - PREVISION DE LA VALEUR ENERGETIQUE DES FOURRAGES.....	31
1 - Méthodes chimiques.....	32
1 - 1 - Méthodes de Weende ou teneur en cellulose brute.....	32
1 - 2 - Alternative à la teneur en cellulose brute.....	34
1 - 2 - 1 - Estimation d'un résidu pariétal.....	34
1 - 2 - 2 - Estimation d'un résidu lignocellulosique.....	35
1 - 2 - 3 - Estimation d'un résidu ligneux.....	37
1 - 2 - 4 - Prévision de la digestibilité à partir des méthodes proposées par Van Soest..	37
1 - 3 - conclusion sur les méthodes chimiques.....	38
2 - Méthodes microbiologiques	39
2 - 1 - Méthodes in vitro de Tilley et Terry.....	39
2 - 2 - Méthodes in situ.....	40
3 - Méthodes enzymatiques	42
4 - Méthode utilisant un spectrophotomètre dans l'infrarouge.....	44
5 - Comparaison des méthodes.....	45
VI - VALEUR AZOTEE DES FOURRAGES.....	45
1 - Formules de base dans le calcul de la valeur PDI des aliments.....	46
2 - Mesure de la dégradation de l'azote dans le rumen.....	47
2 - 1 - Méthodes in sacco.....	47
2 - 1 - 1 - Caractéristique de l'aliment.....	47
2 - 1 - 2 - Influence du mode de conditionnement.....	48
2 - 1 - 3 - Influence de la contamination microbienne.....	48
2 - 1 - 4 - Modèles d'ajustement des cinétiques de disparition de l'azote dans le rumen.	49
2 - 1 - 5 - Conclusion.....	50
2 - 2 - Méthodes de laboratoires.....	51

2 - 2 - 1 - Solubilité de l'azote dans les solvants.....	51
2 - 2 - 2 - Dégradation enzymatique.....	52
a - Rapport enzyme/substrat.....	53
b - Mode de conditionnement de l'échantillon.....	53
c - Conclusion.....	53
3 - Comparaison des méthodes.....	54

PARTIE EXPERIMENTALE

<i>INTRODUCTION</i>	56
----------------------------------	-----------

MATERIEL ET METHODES

I - MATERIEL	58
1 - 1 - Fourrages verts	58
1- 1 - 1 - Présentation de la station.....	58
1 - 1 - 2 - Techniques culturales.....	59
1 - 1 - 3 - Récolte d'échantillons.....	60
1 - 2 - Foins	60
II - METHODES IN VITRO ET IN SACCO	61
1 - Mesures in vitro	61
2 - mesures in sacco	61
2 - 1 - Mode opératoire.....	61
2 - 2 - Calcul et expression des résultats.....	62
2 - 2 - 1 - Calcul de la dégradation de l'azote dans le rumen.....	62
2 - 2 - 2 - Prise en compte de la contamination microbienne.....	64

ANALYSES

I - ANALYSES CHIMIQUES.....	65
1 - Teneur en cendres.....	65
2 - Dosage de l'azote total.....	65
3 - Méthode de Weende.....	65
4 - Fibre au détergent neutre (NDF).....	66
5 - Fibre au détergent acide (ADF).....	66
6 - Lignine au détergent acide (ADL).....	66
7 - Solubilité de l'azote dans un solvant.....	67
II - DEGRADATION ENZYMATIQUE.....	67
1 - Pepsine-cellulase.....	67
2 - Protéase.....	68

RESULTATS

I - COMPOSITION MORPHOLOGIQUE ET CROISSANCE DES FOURRAGES VERTS.....	69
1 - Composition morphologique.....	69
2 - Croissance.....	70
2 - 1 - Graminées.....	70
2 - 2 - Légumineuses.....	71
II - COMPOSITION CHIMIQUE DES FOURRAGES.....	71
1 - Influence de l'année de récolte.....	71
1 - Influence de la famille botanique.....	72
3 - Influence de l'âge et du stade de développement.....	72

3 - 1 - Teneur en MS.....	72.
3 - 2 - Teneur en cendres.....	73
3 - 3 - Teneur en matières azotées totales.....	74
3 - 4 - Teneur en constituants pariétaux.....	75
4 - Influence de la composition morphologique.....	79
5 - Influence de la fenaison.....	80
5 - 1 - Composition chimique.....	80
5 - 2 - Variation par rapport aux fourrages verts initiaux.....	81
III - DIGESTIBILITE ET VALEUR ENERGETIQUE DES FOURRAGES.....	82
1 - Digestibilité.....	82
1 - 1 - Relation entre la digestibilité in vitro et enzymatique.....	82
1 - 2 - Prévion de la digestibilité à partir de la composition morphologique.....	83
1 - 3 - Prévion à partir de l'âge.....	84
1 - 3 - 1 - Influence de la famille.....	85
1 - 3 - 2 - Influence de l'espèce.....	86
1 - 3 - 3 - Influence de l'âge et de la composition morphologique.....	87
1 - 4 - Prévion à partir de la composition chimique.....	87
1 - 4 - 1 - fourrages verts.....	87
1 - 4 - 2 - Foins.....	89
2 - Valeur énergétique des fourrages.....	92
2 - 1 - Fourrages verts.....	92
2 - 2 - Foins.....	93
2 - 2 - 1 - Au moment de la coupe.....	93
2 - 2 - 2 - En sec.....	94
IV - DEGRADABILITE IN SITU.....	95
1 - Dégradabilité de la MS des fourrages verts.....	95
1 - 1 - Cinétique de dégradation.....	95
1 - 2 - Variations de la dégradabilité en fonction du stade de développement.....	96
1 - 3 - Relation entre la dégradabilité et la composition chimique.....	96.
1 - 4 - Relation entre la dégradabilité in situ et la digestibilité de la MS.....	98
1 - 5 - Relation entre la dégradabilité et les autres paramètres de dégradation.....	98

2 - Dégradabilité de la MS des foins	100
2 - 1 - Au moment de la coupe.....	100
2 - 2 - Après fenaison.....	100
2 - 3 - Comparaison avec le fourrage vert initial.....	100
3 - 4 - Prise en compte de la contamination microbienne.....	101
3 - Dégradabilité de l'azote des fourrages verts	101
3 - 1 - Cinétique de dégradation.....	101
3 - 2 - Influence du stade de développement.....	101
3 - 3 - relation entre la dégradabilité et les autres paramètres de dégradation.....	102
3 - 4 - Prédiction de la dégradabilité à partir de la composition chimique.....	104
3 - 5 - Prédiction à partir de la solubilité dans un solvant et des méthodes enzymatiques.....	105
3 - 6 - Prédiction à partir de plusieurs variables.....	105
3 - 7 - Correction pour la contamination microbienne.....	106
4 - Dégradabilité de l'azote des foins	107
4 - 1 - Au moment de la récolte.....	107
4 - 2 - Après fenaison.....	107
4 - 3 - Variation par rapport au fourrage vert initial.....	107
4 - 4 - Prise en compte de la contamination microbienne.....	108
4 - 4 - 1 - Résultats obtenus au stomacher.....	108
4 - 4 - 2 - Contamination bactérienne résiduelle.....	109
5 - Conséquences sur la valeur azotée des fourrages	110
6 - Prévision de la valeur azotée des fourrages	111
6 - 1 - Prévision de la valeur PDIN d'un fourrage.....	112
6 - 2 - Prévision de la valeur PDIE d'un fourrage.....	112

DISCUSSION

I - COMPOSITION CHIMIQUE	115
1 - Fourrage vert.....	115
2 - Foins.....	116
II - DIGESTIBILITE	118
1 - Fourrages verts.....	118

2 – Foins.....	121
3 – Conclusion.....	124
III – DEGRADABILITE DE L'AZOTE.....	126
1 – Fourrages verts.....	126
2 – Foins.....	128
3 – Conclusion.....	130
CONCLUSION GENERALE.....	132
ANNEXES.....	134
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	139

RESUME

L'objectif de ce travail est d'évaluer, d'une part la valeur énergétique et azotée des fourrages récoltés en Algérie, et d'autre part établir des équations de prévision qui pourraient être utilisées directement dans le cadre d'un plan de rationnement des animaux.

la composition chimique, la digestibilité in vitro et à la pepsine cellulase ont été déterminées sur 119 fourrages (109 fourrages verts et 10 foins de vesce-avoine). Des équations de régression ont été établies entre la digestibilité in vitro d'une part et la digestibilité enzymatique, l'âge et la composition chimique d'autre part.

La dégradabilité in sacco de la matière sèche et de l'azote a été étudiée sur 10 fourrages verts à différents stades végétatifs et 2 foins de vesce-avoine. Des équations de régressions ont été établies entre la dégradabilité in sacco et les méthodes de laboratoires (chimiques et enzymatiques).

La digestibilité moyenne des graminées étudiées est de 73,8% avec un coefficient de variation (CV) de 12,9. Les graminées sont plus digestibles de 5,4 pts que les légumineuses, car elles sont plus digestibles au stade végétatif. La méthode à la pepsine-cellulase, permet de prévoir la digestibilité des fourrages algériens avec une très bonne précision (supérieur aux méthodes chimiques), pour l'ensemble des fourrages l'écart type résiduelle (ETR) est de 2,88, par famille il est de 2,83 pour les graminées et de 2,92 pour les légumineuses, par espèce il varie de 0,5 à 3,82, avec des coefficients de corrélations supérieurs à 0,92.

La digestibilité des foins est en moyenne de 50,5 %, cette faible digestibilité est due essentiellement à leur faible teneur en matières azotées totales (10%). La digestibilité in vitro de la vesce-avoine est étroitement liée à la pepsine-cellulase que ce soit en vert au moment de la coupe ($R=0,97$ ETR= 1,41) ou en sec ($R=0,96$ ETR=1,61). De tous les tests chimiques effectués en vue de prédire la digestibilité des fourrages verts c'est la lignine sulfurique au détergent (ADL) qui donne la plus grande précision, ETR =2,68 pour les légumineuses et 4,21 pour les graminées. Pour les foins de vesce-avoine la précision de la prévision est meilleure avec la fibre au détergent acide(ADF) (ETR = 2,93).

La dégradabilité de l'azote du ray-grass est en moyenne de 71 % et celle de la luzerne de 73 %. Pour un stade végétatif comparable la dégradabilité de la luzerne est toujours supérieure à celle du ray-grass. La prise en compte de la contamination microbienne a entraîné une augmentation de la dégradabilité de l'azote des deux fourrages verts et cela à tous les stades végétatifs, elle est en moyenne de 80%. La dégradabilité de l'azote des fourrages verts est positivement liée à leur teneur en matières azotées totales(MAT) ($R=0,74$ ETR=2,50). Les méthodes de laboratoires (solubilité dans un tampon ou dégradabilité enzymatiques) ne permettent pas d'estimer la dégradabilité de l'azote, d'une manière précise comme les constituants chimiques.

La dégradabilité des deux foins de vesce avoine est faible ; elle est respectivement de 51% et 56%. Cette faible dégradabilité des foins est à mettre en relation avec une fraction d'azote indégradable élevée, qui représente à elle seule le tiers de l'azote total. La dégradabilité de l'azote peut être estimé à partir de la composition chimique, et plus précisément à partir de leur teneur en parois totales (NDF), les constituants pariétaux (NDF) étant étroitement liés à la dégradation de l'azote dans le rumen ($r= -0,91$).

Mots clés : fourrages, composition chimique, digestibilité, azote, dégradabilité.