

UNIVERSITE DE OUAGADOUGOU

Faculté des Sciences et Techniques

T H E S E

Présentée pour l'obtention du grade de
DOCTEUR DE TROISIEME CYCLE

Spécialité : Sciences Biologiques Appliquées

Option : Biologie animale (Physiologie - Nutrition)

**CONTRIBUTION A L'ETUDE DE L'UTILISATION
DIGESTIVE COMPAREE DES REGIMES
A BASE DE FOURRAGES PAUVRES
CHEZ LE MOUTON ET L'ANE**

Soutenue publiquement le 21 mars 1998

Par : **Tinrmegson OUEDRAOGO**
Ingénieur Zootechnicien

Devant la commission d'examen composée de .

Président :

L. SAWADOGO Professeur à l'Université de Ouagadougou

Membres :

J.L. TISSERAND	Professeur à l'ENESAD de DIJON
A.P. OUEDRAOGO	Maître de Conférence - Université de Ouagadougou
A.J. NIANOGO	Maître Assistant - PhD - Université de Bobo
B.G. KABRE	Maître Assistant - Université de Ouagadougou

DEDICACES

A ma mère, **DJIEGUEMDE Yabiri Mariam**, disparue au cours de la préparation de notre thèse.

Je garderai en souvenir de toi les vertus de droiture, d'amour, d'humilité, de discrétion, de patience, de tendresse, de pardon et que sais-je encore... Tu fus une vraie mère, une maman pour tous.

Ce travail, est le tien, fut-il à titre posthume. N'est-il pas là aussi la marque des grands Hommes !!!

A ma belle mère, **BARRY Mariam**, également disparue au cours de la préparation de cette même thèse. Ce que j'ai dit de ton homonyme te convient parfaitement.

A mon père, **Zanna** pour tous les sacrifices consentis.

A mon épouse **Fatoumata**, à mes enfants, **Aïna et Benn**, pour leur amour, pour leurs multiples privations. Ce travail est le vôtre.

A mon pays, le **BURKINA FASO**

REMERCIEMENTS

Ce travail a été réalisé grâce à la collaboration active entre l'Université de Ouagadougou, l'Institut de l'Environnement et des Recherches Agricoles du Burkina Faso et le Laboratoire associé -INRA-ENESAD de Dijon (FRANCE). Que l'ensemble du personnel de ces trois institutions trouve ici l'expression de mes sincères remerciements et de ma profonde gratitude.

Au terme de ce travail, je tiens à remercier plus particulièrement :

Mon Directeur de thèse, Monsieur **L. SAWADOGO**, Professeur et Doyen de la Faculté des Sciences et Techniques de l'Université de Ouagadougou, pour avoir bien voulu accepter la responsabilité de la direction de cette thèse et me faire l'honneur d'assurer la présidence du jury.

Monsieur **J.L. TISSERAND**, Professeur titulaire de la Chaire de Zootechnie de l'ENESAD à Dijon (FRANCE), pour avoir bien voulu m'accueillir dans son laboratoire et accepter la direction technique de cette thèse. Je lui suis particulièrement reconnaissant pour la qualité de son encadrement et toute la rigueur scientifique qu'il s'est fait le devoir de m'inculquer lors de l'élaboration de ce travail.

Monsieur **A.J. NIANOGO**, Maître Assistant , Chef du Département Productions Animales de l'INERA , pour sa disponibilité constante et pour avoir accepté lire et critiquer à plusieurs reprises ce travail avant cette version définitive.

Monsieur **A.P. OUEDRAOGO**, Maître de Conférence et **B.G. KABRE** , Maître Assistant à la Faculté de Sciences et Techniques de l'Université de OUAGADOUGOU, qui m'ont fait l'honneur d'accepter juger ce travail.

Monsieur **C. PONCET**, Directeur de l'Unité de la Dynamique de la Digestion à Theix (FRANCE) qui a généreusement mis à notre disposition tout son savoir ainsi que les services de l'ensemble de son laboratoire.

Monsieur **F. FAURIE**, Responsable de l'animalerie d'Epoisses à Dijon et son équipe (**P. PASTERMANJAN, Mme PENNING Murielle...**), pour tout ce savoir faire que l'on ne retrouve point dans les livres mais ô combien utile pour débloquer des situations délicates.

Monsieur **L. LECLERE**, Technicien, pour le lourd travail d'analyses de laboratoire effectué. Cette contribution fut pour moi une grosse bouffée d'oxygène.

Messieurs **H. ZOURE** et **O. SITA**, pour leur compétence et leur disponibilité qui ont permis le traitement et l'analyse statistique des nombreuses données collectées.

Madame **E. SAWADOGO** et Mademoiselle **H. ZEMANE**, Secrétaires à l'INERA, qui ont toujours fait de leur mieux toutes les fois qu'elles furent sollicitées. Elles ont vécu de très près mes doutes et incertitudes à travers les nombreuses corrections de texte mais ont toujours fait preuve d'une grande et intelligente coopération.

Tout le **personnel de l'INERA** et particulièrement les **membres du Département Productions Animales** et tous ceux que j'ai pu oublier de citer et que j'ai sollicités pour la réalisation de ce travail.

Tous les **amis et copains**, au Burkina Faso et en France pour leurs aides multiformes et leurs encouragements de tous les jours. En particulier, mes pensées ultimes se tournent vers :

- Monsieur **P. M. SEDOGO**, Délégué Général du CNRST, pour son humilité, sa disponibilité constante et son esprit de sacrifice.

- MM. **J. S. ZOUNDI** ; Charles **OUEDRAOGO**, Mathias **OUEDRAOGO** ; Joachim **NIKIEMA** ; Gabriel **KELEM** ; pour leur amitié et leur soutien constants.

- **Docteur Z. COMPAORE**, Directeur Régional de l'Agriculture du Sahel, pour sa fidélité dans l'amitié et sa franche collaboration.

- MM. Harry **ARCHIMEDE** (GUADELOUPE), **ESTELA** (COLOMBIE) et **MONTSERRA** (ESPAGNE), pour leur amitié et leur soutien constant durant notre séjour commun à l'INA-PG de Paris.

Merci à tous

SOMMAIRE

INTRODUCTION	1
---------------------------	---

PREMIERE PARTIE

I - ORGANISATION ANATOMIQUE ET PHYSIOLOGIQUE DES APPAREILS DIGESTIFS DES RUMINANTS ET DES EQUIDES	5
--	---

1.1. Topographie et organisation fonctionnelle des appareils digestifs chez les ruminants et les monogastriques herbivores	5
---	---

1.2. Motricité des organes digestifs : circulation des digesta.	7
--	---

1.3. Caractéristiques internes des réservoirs digestifs	10
--	----

II - LES CONSTITUANTS BIOTIQUES DES ECOSYSTEMES DU RUMEN ET DU CAECUM	12
--	----

2.1. Nature des constituants biotiques : aspects qualitatifs et quantitatifs	12
---	----

2.2. Facteurs de variation du métabolisme microbien	13
--	----

III - LE TRANSIT DES DIGESTA	17
---	----

3.1. Facteurs de variation liés à l'animal	17
---	----

3.2. Facteurs de variation liés à l'aliment	18
--	----

3.3. Durées moyennes comparées du temps de séjour des digesta chez les différentes espèces herbivores.	19
---	----

IV - DIGESTION MICROBIENNE DANS LE RUMEN ET DANS LE GROS INTESTIN	22
--	----

4.1. Principales caractéristiques de la digestion chez les herbivores	22
--	----

4.1.1. Comparaison des sites de digestion entre ruminants et équidés	22
--	----

4.1.2. Produits terminaux de la dégradation des glucides pariétaux	30
--	----

4.2. Ingestion et utilisation digestive des fourrages chez les herbivores	34
--	----

4.2.1 - Facteurs de variation de l'ingestion volontaire	34
---	----

4.2.2. Facteurs de variation de la digestibilité des parois végétales	37
---	----

4.3. Particularités chez l'âne	45
---	----

4.4. Difficultés liées aux études comparatives entre espèces animales	46
--	----

DEUXIEME PARTIE

CHAPITRE I : MATERIEL ET METHODES	51
1.1. Ingestibilité et digestibilité in vivo (Expériences 1 et 2) :	51
1.1.1. Conditions communes aux études in vivo	51
1.1.2. Matériel et méthodes spécifiques à E1 et E2 :	53
1.2. Dégradabilité in sacco (E3, E4, E5).	55
1.2.1. Conditions communes aux études in sacco	55
1.2.2. Matériel et méthodes spécifiques à chaque expérience	57
1.3. Etude des paramètres fermentaires (E6 et E7)	58
1.4. Etude de transit digestif (E8)	60
1.5. Analyse statistique	64
CHAPITRE II : RESULTATS.	65
2.1. Utilisation digestive comparée des fourrages chez les deux espèces (E1).	65
2.1.1. Influence de la nature du fourrage sur l'ingestion.	65
2.1.2. Influence de la nature du fourrage sur la digestibilité	65
2.2. Effets comparés de la complémentation azotée et/ou énergétique sur l'utilisation digestive de la paille agglomérée (E2)	69
2.2.1. Effet de la forme de présentation sur l'ingestion et la digestion (E1/E2) ..	69
2.2.2. Effet de la complémentation sur l'ingestion et la digestibilité de la paille agglomérée (E2)	73
2.3. Influence de la nature du fourrage sur l'activité microbienne dans le rumen et le caecum : Dégradabilité in sacco (E3)	77
2.4. Influence de la nature du fourrage sur les paramètres fermentaires (E4).	82
2.4.1. Le pH des contenus du rumen et du caecum.	82
2.4.2. Teneur et évolution des AGV.	82
2.4.3. Evolution de la teneur en NH ₃	86
2.5. Effets de la complémentation sur l'activité microbienne (E5 et E7)	89
2.5.1. Etude de la dégradabilité in sacco	89
2.5.2. Etude des paramètres fermentaires.	89

2 6. Mise en évidence des capacités digestives comparées entre le rumen et le caecum.(E7)	98
2.7. Influence du niveau d'ingestion sur le transit digestif chez les deux espèces (E 8).	101
2 7 1. Effet du niveau d'ingestion chez le mouton.	101
2 7 2. Effet du niveau d'ingestion chez l'âne.	105
DISCUSSION ET CONCLUSION	108
CONCLUSION GENERALE	121
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	123
ANNEXES	144

SIGLES ET ABREVIATIONS

ADF	: Acid Detergent Fiber
AGV	: Acides Gras Volatils
AGVt	: Acides Gras Volatils Totaux
CB	: Cellulose Brute
CUD	: Coefficient d'Utilisation Digestive
FLD	: Foin Luzerne Dactyle
FP	: Foin de Prairie Naturelle
g	: gramme
h	: heure
kg	: kilogramme
l	: litre
MAT	: Matière Azotées Totales
MARA	: Ministère de l'Agriculture et des Ressources Animales
mg	: milligramme
μ	: micron
mM	: milli-moles
mV	: milli-volts
MO	: Matière Organique
MOD	: Matière Organique Digestible
MODI	: Matière Organique Digestible Ingérée
MS	: Matière Sèche
MSI	: Matière Sèche Ingérée
NH ₃	: Azote Ammoniacal
NDF	: Neutral Detergent Fiber
P	: Paille
PB	: Paille de Blé
PM	: Paille + Maïs
PMU	: Paille + Maïs + Urée
PMTS	: Paille + Maïs + Tourteau de Soja
P ^{0.75}	: Poids métabolique
PV	: Poids vif
TMR	: Temps Moyen de Rétention

LISTE DES TABLEAUX

- Tableau 1 : Caractéristiques comparatives du tube digestif des herbivores ruminants et non-ruminants.
- Tableau 2 : Caractéristiques chimiques et microbiologiques du contenu des différents segments digestifs des poneys et des bovins nourris au foin.
- Tableau 3 : Effet de la ration sur les populations microbiennes et le pH chez les équidés et les bovins.
- Tableau 4 : Temps moyen de rétention des phases solide et liquide dans le réticulo-rumen des ruminants et dans le caecum et le colon des monogastriques.
- Tableau 5 : Physiologie digestive comparée entre espèces animales.
- Tableau 6 : Caractéristiques principales et calendrier d'exécution des différentes expériences.
- Tableau 7 : Formulation et composition chimique des aliments et régimes utilisés.
- Tableau 8 : Durée et intervalles de temps pour les collectes de fécès.
- Tableau 9 : Ingestibilité comparée des trois fourrages entre l'âne et le mouton
- Tableau 10 : Utilisation digestive comparée des trois fourrages entre l'âne et le mouton
- Tableau 11 : Effet de la nature du complément sur l'Ingestibilité chez l'âne et le mouton.
- Tableau 12 : Utilisation digestive de la paille complémentée chez l'âne et le mouton
- Tableau 13 : Matrice de comparaison des moyennes entre les quatre régimes chez les deux espèces : résultats de digestibilité.
- Tableau 14 : Influence de la complémentation sur la digestibilité partielle de la paille.
- Tableau 15 : Influence de la nature du fourrage sur l'activité microbienne dans le rumen et le caecum.
- Tableau 16 : Effet de la nature du fourrage sur la teneur en AGV et en NH_3 chez le mouton et l'âne.
- Tableau 17 : Influence de la complémentation sur la dégradabilité de la paille dans le rumen et le caecum.
- Tableau 18 : Influence de la complémentation sur la teneur en AGV et en NH_3 chez le mouton et l'âne.
- Tableau 19 : Capacités digestives comparées entre le rumen et le caecum.

- Tableau 20 : Influence du niveau d'ingestion sur le temps de séjour des digesta (TMR) chez le mouton.
- Tableau 21 : Influence du niveau d'ingestion sur le temps de séjour des digesta (TMR) chez l'âne.
- Tableau 22 : Relations entre la digestibilité in vivo et la dégradabilité in sacco chez le mouton et l'âne.
- Tableau 23 : Matrice de corrélation entre dégradabilité in sacco et digestibilité in vivo chez l'âne et le mouton.
- Tableau 24 : Evolution du cheptel burkinabè sur 10 ans (1984 - 1994).
- Tableau 25 : Répartition des effectifs animaux par région (année 1994).
- Tableau 26 : Influence de la forme de présentation sur le temps moyen de rétention des digesta chez l'âne.

LISTE DES SCHEMAS ET FIGURES

- Figure 1 : Effets du pH sur l'orientation des fermentations dans le rumen.
- Figure 2 : Ingestion comparée entre les différentes espèces d'herbivores.
- Figure 3 : Effets associatifs de digestibilité chez les bovins.
- Figure 4 : Relation entre le poids vif et les capacités digestives chez les ruminants et les monogastriques.
- Figure 5 : Ingestion comparée entre l'âne et mouton.
- Figure 6 : Influence de la forme de présentation du fourrage sur la digestion chez l'âne et le mouton.
- Figure 7 : Influence de la forme de présentation sur la digestion chez l'âne et le mouton
- Figure 8 : Effet de la complémentation sur l'ingestion chez le mouton et l'âne.
- Figure 9 : Effet de la nature du fourrage sur l'évolution du pH dans le rumen et le caecum.
- Figure 10 : Effet de la nature du fourrage sur l'évolution de la teneur en AGV dans le rumen et le caecum.
- Figure 11 : Effet de la nature du fourrage sur l'évolution de la teneur en NH_3 dans le rumen et caecum.
- Figure 12 : Effet de la nature du complément sur le pouvoir fermentaire du rumen et du caecum.
- Figure 13 : Effet de la nature du complément sur l'évolution de la teneur en AGV dans le rumen et le caecum
- Figure 14 : Effet de la nature du complément sur l'évolution de la teneur en NH_3 dans le rumen et le caecum.
- Figure 15 : Dégradabilité comparée du foin dans le rumen et le caecum.
- Figure 16 : Cinétique d'excrétion fécale des différents marqueurs chez le mouton.
- Figure 17 : Cinétique d'excrétion des différents marqueurs chez l'âne.

- Schéma 1 : Différentes parties du rumen des ruminants et du gros intestin des équidés
- Schéma 2 : Mouvements des digesta dans le réticulo - rumen des ruminants et dans le gros intestin des équidés.
- Schéma 3 : Localisation des phénomènes enzymatiques et microbiens et de l'absorption chez les ruminants et les équidés
- Schéma 4 : Dégradation et fermentation des glucides pariétaux dans le rumen
- Schéma 5 : Voies du métabolisme des glucides dans le rumen
- Schéma 6 : Organisation anatomique et chimique des parois végétales.

ANNEXES

- Annexe 1 : Composition chimique des refus et des fécès chez l'âne et le mouton.
- Annexe 2 : Evolution dans le temps des effectifs animaux et leur répartition géographique au Burkina Faso.
- Annexe 3 : Influence de la forme de présentation de l'aliment sur le transit digestif chez l'âne.
- Annexe 4 : Composition chimique des blocs à lécher

INTRODUCTION

L'analyse zooéconomique de la situation de l'élevage burkinabè durant les deux dernières décennies fait ressortir deux constantes majeures qui peuvent paraître équivoques, voire, contradictoires. En effet cette période a été doublement marquée par une augmentation très significative des effectifs animaux et, paradoxalement, par une baisse aussi importante de la contribution du secteur élevage à l'économie nationale. A titre d'exemple, l'importance numérique du cheptel a été multipliée par deux en une dizaine d'années (1984-1994) alors que la part des produits animaux dans les recettes totales d'exportation est passée de 38,4 % en 1983 à seulement 16 % en 1989 (tab. 24 et 25 en annexe). Recherchant les causes de cette situation de crise que traverse l'élevage burkinabè, la plupart des analystes s'accordent au moins sur deux facteurs explicatifs essentiels à effets conjugués : il s'agit d'une part, de la très forte dépendance de ce type d'élevage (extensif) vis à vis des ressources primaires renouvelables (pâturages naturels) en constante régression, et d'autre part, de la persistance de certaines pratiques ou modes de production traditionnels qui n'ont pas toujours réagi de manière appropriée face aux contraintes imposées par une démographie galopante dans un contexte climatique défavorable (TOUTAIN *et al.*, 1977 ; MILLEVILLE., 1982; TOURE *et al.*, 1985 ; BREMAN *et al.*, 1986 ; TYC, 1989). Sur un plan strictement zootechnique. BREMAN *et al.*, (1986) relèvent tout d'abord que l'une des contraintes majeures au développement de l'élevage dans le contexte sahélien est la faible productivité du bétail. Examinant les causes de ce phénomène, ces auteurs affirment avec force la primauté des conditions alimentaires sur tous les autres paramètres influençant la productivité (climat, santé, génétique...). Les résultats des travaux effectués sur les pâturages tropicaux de saison sèche ces dernières années tendent à confirmer cette hypothèse. En effet, bien que constituant l'essentiel des ressources alimentaires pour les animaux pendant les 6 ou 9 mois de saison sèche, les fourrages tropicaux ont des teneurs moyennes en azote inférieures à 0,35 % (TOUTAIN *et al.*, 1977 , GROUZIS, 1988 ; BREMAN *et al.*, 1991). Or, selon BREMAN *et al* (1986), lorsque les fourrages contiennent moins de 0,5 % d'azote, soit 3 % de MAT, la baisse d'ingestion volontaire observée chez les ruminants est si forte que les pertes de poids cumulées sur la durée totale de la saison sèche deviennent très vite incompatibles avec la survie même des troupeaux. A cette baisse d'ingestion liée à ces facteurs nutritionnels, s'ajoute une mauvaise digestibilité de ces mêmes fourrages due à la présence dans leurs parois de substances indigestibles (lignine surtout). Il semble donc que ces deux facteurs (pauvreté

en azote et indigestible pariétal) soient ceux qui limitent véritablement l'utilisation des fourrages tropicaux et partant, la bonne productivité du bétail. Ainsi, beaucoup de spécialistes pensent aujourd'hui que les problèmes alimentaires des animaux en saison sèche dans les pays sahéliens ne devraient plus être raisonnés simplement en terme de quantité de biomasse disponible mais plutôt et surtout comment l'essentiel de ce potentiel fourrager peut-il être réellement utilisé par les animaux. Dans cette perspective, plusieurs voies sont actuellement proposées dans le but d'améliorer la valorisation de ces fourrages pauvres par les animaux. Parmi celles-ci, trois principaux types de procédés sont couramment utilisés :

- les traitements technologiques, physiques ou chimiques, permettant d'améliorer soit leur qualité nutritionnelle, soit leur ingestibilité ou leur digestibilité. Ces méthodes sont décrites en détail dans de nombreux ouvrages et revues aujourd'hui bien connus (JOUANY, 1975 ; MILLET *et al.*, 1975 ; HAN, 1978 ; SUNDSTOL et OWEN, 1984 ; CHENOST et DULPHY, 1987 ; DEMAQUILLY, 1987). Bien que techniquement éprouvés, le coût de ces traitements limite fortement leur utilisation à grande échelle surtout dans la plupart des pays en voie de développement où les modes de production animale restent de type traditionnel, extensif, à faible taux d'intrants;

- une deuxième voie pour améliorer et optimiser la dégradation des substances lignocellulosiques consiste à fournir aux micro-organismes présents dans les réservoirs digestifs des herbivores les nutriments dont ils ont besoin (énergie, azote, minéraux, oligoéléments). Bien de recommandations ont été faites dans ce domaine, allant de l'utilisation d'additifs alimentaires au génie génétique (JOUANY et THIVEND, 1989). Toutefois, au regard des observations précédentes, cette deuxième voie peut toujours être considérée comme une possibilité technologique supplémentaire mais demeure en pratique un espoir encore lointain pour les pays à économie faible;

- enfin, l'optimisation des fermentations microbiennes peut être également obtenue en exploitant judicieusement chez les différentes espèces d'herbivores les caractéristiques morphologiques et physiologiques des principaux réservoirs digestifs (type de compartiment, position, capacité, temps de rétention des aliments...). Quoique prometteuse, la mise en oeuvre et le succès d'une telle approche suppose au préalable une bonne connaissance des particularités de la physiologie digestive des différentes espèces d'herbivores domestiques qui sont les principaux utilisateurs des espaces naturels (herbacées spontanées surtout) ou semi-naturels (résidus de cultures

et espèces cultivées). En particulier, une bonne maîtrise des divers mécanismes mis en jeu par chaque espèce pour exploiter au mieux les divers pâturages, couplée avec une connaissance approfondie des règles qui gouvernent les fermentations microbiennes devraient favoriser l'émergence de stratégies appropriées pour une meilleure valorisation des fourrages pauvres tropicaux. C'est dans cette optique que s'inscrit la présente étude.

L'aptitude à ingérer et digérer les fourrages chez les différentes espèces d'herbivores (polygastriques et monogastriques) résulte de l'intégration de plusieurs phénomènes ou processus parmi lesquels, la mastication, le volume des réservoirs digestifs, les caractéristiques physico-chimiques internes de ceux-ci, le temps de séjour des digesta et l'intensité des fermentations microbiennes sont très importants à considérer. De nombreuses revues bibliographiques ont été consacrées aux études comparatives entre herbivores dans la digestion des parois végétales. Il ressort de ces travaux que les équidés dont les fermenteurs sont situés après l'intestin grêle sont moins efficaces dans la digestion et l'utilisation des substances lignocellulosiques que leurs homologues ruminants (HINTZ *et al.*, 1973 ; WOLTER *et al.*, 1982 ; MARTIN-ROSSET et DOREAU, 1984 ; DEMMENT et VAN SOEST, 1985 ; DULPHY *et al.*, 1995). On peut remarquer cependant que la plupart des données ayant servi de base de comparaison entre ruminants et équidés proviennent de travaux effectués sur des chevaux ou des poneys. Depuis, des études spécifiques semblent indiquer que les asins utilisent plus efficacement les fourrages pauvres que les équins (TISSERAND *et al.*, 1991 ; PEARSON, 1991). Il en serait de même vis à vis des phénomènes d'adaptation ou de résistance à la sécheresse, notamment dans l'économie de l'eau (SUFIT *et al.*, 1985 ; JONES *et al.*, 1989 ; IZRAELY *et al.*, 1989 a et 1989 b). Ces quelques observations indiquent qu'une prudence mérite d'être observée dans l'interprétation de certains résultats actuels et mettent surtout en évidence la nécessité de toujours approfondir nos connaissances sur les particularités de la physiologie digestive chez les différentes espèces herbivores domestiques. La présente étude devrait pouvoir préciser ou tout au moins contribuer à une meilleure compréhension des causes éventuelles des différences d'efficacité souvent constatées entre ruminants et équidés dans l'utilisation digestive des parois végétales. L'âne, certainement l'espèce domestique la moins étudiée de nos jours, est ici comparé au mouton qui, à l'opposé du premier, est souvent utilisé comme modèle dans la plupart des études comparatives chez les ruminants. Notre thème, intitulé, "Contribution à l'étude de l'utilisation digestive comparée des régimes à base de fourrages pauvres chez le mouton (*Ruminis*

ovis) et l'âne (*Equus asinus*) sera abordé en deux étapes principales.

Dans un premier temps, nous tenterons de rendre compte, au travers d'une revue bibliographique, des facteurs et mécanismes physiologiques connus ou supposés sur lesquels reposerait l'efficacité de l'utilisation digestive des parois végétales chez les herbivores domestiques. Un tel bilan devra permettre de mieux préciser les limites actuelles des études comparatives entre espèces de manière générale, et plus spécifiquement entre les ruminants et les équidés.

Dans une deuxième partie seront exposés les résultats d'une étude expérimentale conduite au laboratoire associé de recherches zootechniques - INRA/ENESAD de Dijon (France), à travers laquelle, en fonction du type de fourrage, de la forme de présentation de la ration ou de la nature des compléments apportés, (énergie et/ou azote) nous avons pu apprécier ou mesurer comparativement chez les deux espèces certains paramètres caractéristiques de l'efficacité d'utilisation digestive des parois végétales, à savoir :

- les capacités d'ingestion et de digestion de différents fourrages ;
- les pouvoirs fermentaires des principaux compartiments digestifs ;
- les capacités de dégradation spécifique des parois végétales par le rumen (mouton) et par le caecum (âne et mouton) ;
- enfin les temps de séjour totaux (ensemble tube digestif) ou partiels (par segment digestif) en fonction du niveau d'ingestion de l'animal.

PREMIERE PARTIE

ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

**PARTICULARITES DE LA PHYSIOLOGIE DIGESTIVE
CHEZ LES RUMINANTS ET LES MONOGASTRIQUES**

I. ORGANISATION ANATOMIQUE ET PHYSIOLOGIQUE DES APPAREILS DIGESTIFS DES RUMINANTS ET DES EQUIDES

1.1. TOPOGRAPHIE ET ORGANISATION FONCTIONNELLE DES APPAREILS DIGESTIFS CHEZ LES RUMINANTS ET LES MONOGASTRIQUES HERBIVORES

L'appareil digestif des ruminants se compose de trois pré-estomacs placés en avant de la caillette ou abomasum qui correspond à l'estomac des monogastriques. Contrairement à ces derniers, ce sont les compartiments postérieurs (caecum et côlon) qui sont les plus développés chez les monogastriques herbivores et plus particulièrement chez les équidés (schéma 1). Qu'il s'agisse des polygastriques ou des monogastriques, c'est grâce à ces compartiments que les herbivores sont capables de tirer partie de la digestion des parois végétales par l'intermédiaire des micro-organismes qu'ils hébergent.

Comparativement à la position du rumen, la situation des réservoirs digestifs chez le monogastrique a fait dire que ce dernier est un ruminant, à la différence près que les segments antérieurs et postérieurs sont inversés (WOLTER, 1984).

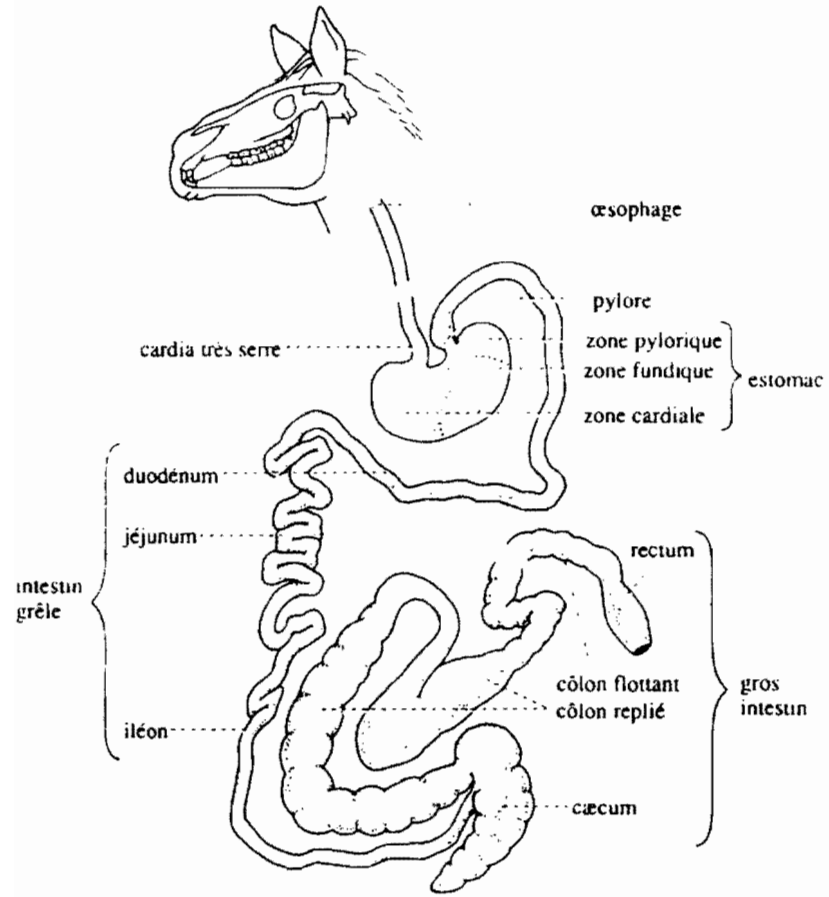
Chez le ruminant, le rumen est de loin, le réservoir digestif le plus volumineux. Il renferme 70 à 75 % du contenu total du tube digestif, soit 50 à 60 % de son volume (THIVEND *et al.*, 1985). Chez les équidés, des pourcentages comparables sont rapportés en comparant le contenu caeco-colique à celui de l'ensemble du tube digestif (GOUY, 1976 ; WOLTER, 1984).

En particulier chez l'âne, BARONE (1976) et GOUY (1976) font remarquer que proportionnellement au poids vif, la capacité relative des différents compartiments du tube digestif semble plus importante chez l'âne, comparativement aux autres équidés. Le tableau n° 1 compare les principaux segments digestifs des différents herbivores domestiques.

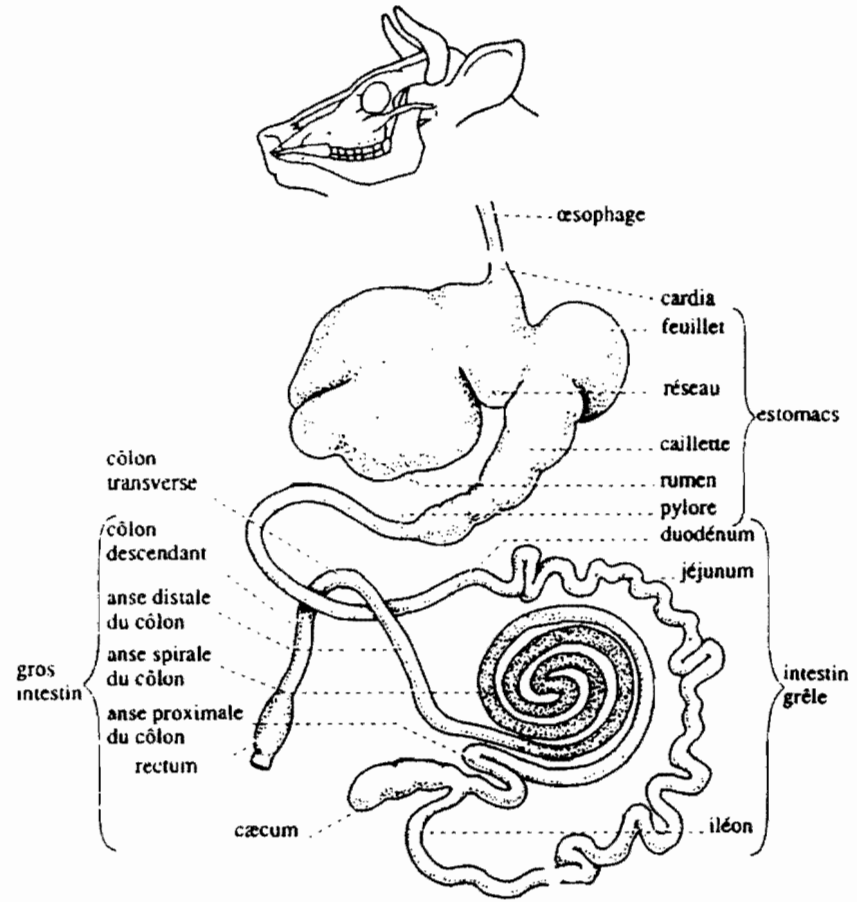
Anatomiquement, PRINS et DURAND (1990) pensent que l'on peut classer les principaux systèmes digestifs en deux grandes catégories :

- des tuyaux dans lesquels la digestion et l'absorption se font au fur et à mesure de l'avancement des digesta (intestin grêle, colon...) ;
- des réservoirs de digestion en continu avec deux orifices : rumen (ruminants) et caecum (équidés), bien adaptés à la digestion de la cellulose.

Schéma I : Différentes parties du rumen des ruminants et du gros intestin des équidés (RIVES, 1984)



Le tube digestif du cheval.



Le tube digestif du bovin adulte.

Tableau 1 : Quelques caractéristiques comparatives du tube digestif des herbivores ruminants ou non

Espèce	Ensemble du tube digestif	Estomac		Intestin grêle		Caecum		Colon (+rectum)	
Lapin	-	0.38 L*	15 %**	3,5 m**	12 % **	-	23 %**	-	27 %
Cheval***	230 L	15 L	7 %	70 L	30 %	30 L	13 %	115 L	50 %
Bovin***	330 L	230 L	70 %	65 L	20 %	10 L	3 %	25 L	7 %
Mouton*	-	15 L	-	25 m	-	6.3 m	-	-	-

* BARONE (1976); ** RUCKEBUSCH (1977); *** WOLTER, 1984

1.2. MOTRICITE DES ORGANES DIGESTIFS : CIRCULATION DES DIGESTA

De nombreuses études ont été consacrées à la motricité des préestomacs depuis plusieurs décennies et ont permis de connaître leur déterminisme ainsi que les mécanismes intimes de la dynamique des particules alimentaires dans ces réservoirs (REID et CORNWALL, 1959 ; RUCKEBUSCH et KAY, 1971 ; EHRLEIN, 1980 ; WYBURN, 1980 ; RUCKEBUSCH, 1988 ; BAUMONT et DESWYSEN, 1991...). Le réticulo-rumen est le siège de contractions cycliques et coordonnées connues sous le nom de "cycles moteurs", partant du réseau, à la fréquence d'une contraction toutes les 50 à 70 secondes, et se propageant à l'ensemble de l'organe d'avant en arrière (séquence A), puis de l'arrière vers l'avant (séquence B). Par ces mouvements de va-et-vient, le contenu du rumen est soumis à un brassage permanent, assurant ainsi un processus fermentaire continu et une bonne progression des digesta vers les segments postérieurs (schéma 2a).

Contrairement à ce qui est fait chez les ruminants, très peu de travaux ont été consacrés à la motricité digestive chez les équidés. Les informations disponibles proviennent d'études menées chez des poneys ou des chevaux et font état de l'existence de deux types de contractions au niveau du caecum : des contractions localisées, sans rythmicité bien définie, groupées par périodes de 3 à 8 minutes d'une part, et d'autre part, des contractions propagées dans le sens base-pointe du caecum et vice-versa, à la vitesse de 10 - 12 cm/s. Les contractions localisées qui semblent accrues pendant les repas seraient destinées à assurer un brassage des digesta tandis que celles propagées serviraient

à la vidange (CANDAU et VIGROUX , 1974 ; ARGENZIO et HARTMANN , 1974 ; DYCE *et al.*, 1973 ; ROGER , 1991). Le caecum est aussi présenté chez les équidés comme un organe régulateur du transit digestif. En effet, il semble que le degré de réplétion de cet organe est maintenu relativement constant grâce à un mécanisme de coordination entre l'activité iléale de remplissage et le débit caeco - colique de vidange (schéma 2b).

Schéma 2a. Schéma résumant les mouvements des digesta dans le réticulo-rumen observés par radiographie dans un plan vertical (1) et horizontal (2). Les flèches indiquent les directions des mouvements (BERNARD , 1992)

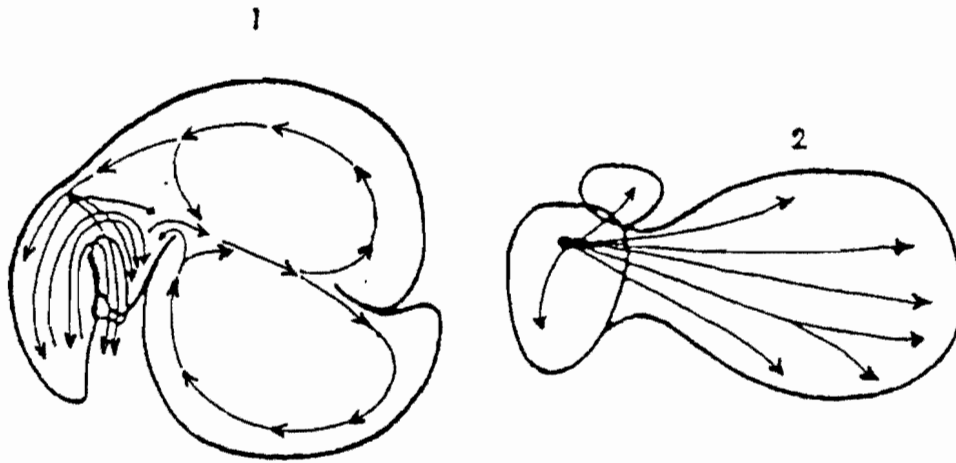
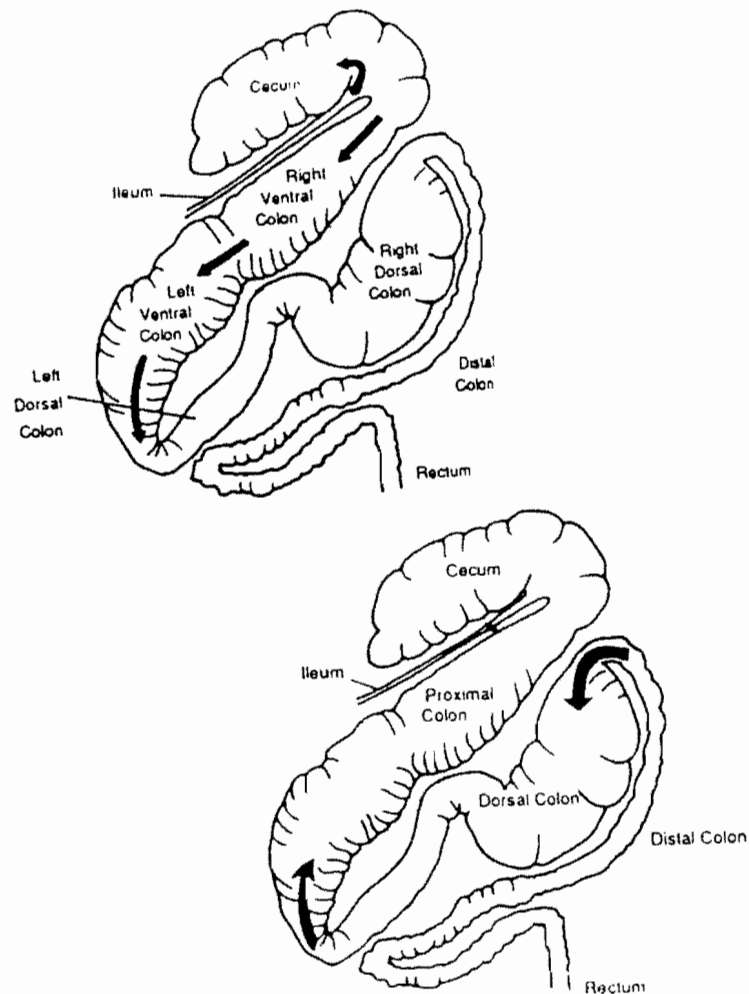


Schéma 2b : Schéma résumant les mouvements des digesta dans le gros intestin du cheval (SELLERS *et al.*, 1982)



D'un point de vue fonctionnel, le colon des équidés est subdivisé en quatre parties : colon ventral droit (CVD) et gauche (CVG), colon dorsal gauche (CDG) et colon dorsal droit (CDD). Le colon ventral serait le siège de contractions propagées dans le sens du péristaltisme intestinal à la vitesse de 5 - 6 cm/s jusqu'à la courbure pelvienne d'où parviennent des contractions rétrogrades le long du colon dorsal gauche (VIGROUX, 1976). En somme, l'activité des deux premières portions du colon est étroitement liée à celle du caecum pour former une unité anatomo-fonctionnelle, réglant le temps de rétention des digesta. La zone rétrécie du colon dorsal par le biais de son activité contractile rétrograde, joue le rôle d'un deuxième régulateur du transit mais la signification réelle de ce phénomène est encore mal connue (schéma 2b).

Chez les ruminants, l'organisation anatomique des préestomacs fait que les particules alimentaires ne peuvent quitter le rumen que lorsqu'elles ont atteint une taille "critique" (3 - 3,5 cm). Ce rôle sélectif du rumen apparaît comme l'une des spécificités majeures de cet organe par rapport au caecum ou au côlon des équidés.

1.3. CARACTERISTIQUES INTERNES DES RESERVOIRS DIGESTIFS

A quelques différences près, le rumen et le caecum (et dans une moindre mesure le côlon) des équidés présentent des conditions internes comparables (JOUANY *et al.*, 1985 ; JULLIAND et TISSERAND, 1992) :

- une concentration élevée en eau (80 à 90 %) ;
- une température constante : 39 - 40° c ;
- un milieu fortement anaérobie (potentiel oxydo-réduction variant entre -250 et 400 mv) ;
- un pH compris entre 6 et 7 et régulièrement tamponné par un apport régulier de bicarbonates et de phosphates, soit par le biais de la salive (chez les ruminants), soit par le biais des enzymes digestives (cas des équidés) ;
- un apport régulier de nutriments par le biais de l'alimentation ;
- une élimination continue des produits du métabolisme, soit par absorption à travers la paroi de l'organe (AGV, NH₃...), soit par passage dans la partie postérieure du tube digestif (résidus alimentaires, cellules microbiennes...) ;
- un brassage plus ou moins permanent du contenu (moins vrai dans le cas des équidés).

En conclusion, les conditions physico-chimiques internes du caecum et du colon des équidés et du réticulo-rumen des ruminants font que ces deux compartiments digestifs constituent des milieux particulièrement adaptés au développement d'une population microbienne anaérobie qui confère à ces deux organes la qualification de véritables "fermenteurs". Toutefois, monogastriques et ruminants présentent aussi quelques solutions anatomiques différentes qui confèrent certaines adaptations spécifiques à chaque groupe : présence de pré-estomacs très développés chez les ruminants, faible capacité de l'estomac mais fort développement des segments digestifs postérieurs (caecum + côlon) chez les équidés.

II. LES CONSTITUANTS BIOTIQUES DES ECOSYSTEMES DU RUMEN ET DU CAECUM

2.1. NATURE DES CONSTITUANTS BIOTIQUES : ASPECTS QUALITATIFS ET QUANTITATIFS

Grâce à la présence de micro-organismes spécialisés dans leurs réservoirs digestifs, les herbivores sont les seuls mammifères capables de dégrader et d'utiliser efficacement les parois végétales. Compte tenu de l'importance de cette microflore dans l'alimentation des ruminants, celle-ci a fait l'objet de nombreux travaux depuis plusieurs années et trois populations distinctes ont été répertoriées à ce jour : les bactéries, les protozoaires et les champignons (EADIE, 1962 ; HUNGATE, 1966 ; RITCHIE *et al.*, 1970 ; ROBINSON *et al.*, 1975 ; BAUCHOP, 1979, 1981 ; JOBLIN, 1981 ; RUSSEL et HESPEL, 1981 ; ORPIN, 1984, THIVEND *et al.*, 1985...). Contrairement aux ruminants, l'écosystème microbien des équidés a fait l'objet de très peu d'études jusqu'à nos jours. Toutefois, les résultats actuellement disponibles révèlent une grande similitude entre la population microbienne ruminale et celle du gros intestin des équidés et plus particulièrement, celle du caecum (KERN *et al.*, 1973, 1974 ; BAUCHOP, 1977 ; ARGENZIO et STEVENS, 1984 ; JULLIAND, 1991, JULLIAND et TISSERAND, 1992).

Chez les ruminants, comme chez les équidés le nombre et/ou la composition des populations microbiennes dans les réservoirs digestifs sont difficiles à établir avec exactitude en raison de nombreux facteurs (alimentaires, expérimentaux...). Dans le rumen, la population bactérienne est estimée entre 8×10^9 et 40×10^9 cellules par ml de contenu, ce qui représente environ 50 % de la biomasse microbienne totale. Actuellement, plus de 200 espèces bactériennes ont été dénombrées et isolées du rumen, dont une trentaine seulement peut être considérée comme souches authentiques de l'organe (RUSSEL et HESPELL, 1981). Quant aux protozoaires du rumen, on compte essentiellement des ciliés mais on y trouve également des flagellés. On estime entre 2 et 5×10^6 le nombre de ciliés (HUNGATE, 1966) par ml de contenu ruminal tandis que celui des flagellés serait inférieur à 10^5 /ml (EADIE, 1962).

Contrairement aux ruminants, les aspects quantitatifs et qualitatifs des micro-organismes du caecum et du côlon des équidés sont encore très mal connus. La population bactérienne du caecum

du poney serait comprise entre $4,9 \times 10^8$ germes viables/g de contenu (KERN *et al.*, 1974) et $25,8 \times 10^8$ germes par gramme de contenu (MACKIE et WILKINS, 1988). Celle du côlon, toujours selon les mêmes auteurs, varierait entre $3,6 \times 10^8$ et 6×10^8 germes viables/g de contenu digestif.

Globalement, il y aurait moins de bactéries dans le côlon et dans le caecum que dans le rumen, mais plus dans le caecum que dans le côlon. Le tableau 2 donne un aperçu de la composition quantitative et qualitative des micro-organismes rencontrés dans les divers compartiments des ruminants et des équidés. Si les grands groupes de bactéries rencontrés dans le rumen et dans le gros intestin des équidés (caecum notamment) sont assez comparables, il y a une prédominance de bacilles dans les réservoirs digestifs des équidés (70% dans le caecum) alors que dans le rumen ce sont les cocci qui dominent (65%). Il y aurait très peu de protozoaires chez les équidés (25 à 40 fois moins que dans le rumen) mais il apparaît un fait frappant : on ne rencontre les protozoaires nulle part ailleurs que dans le rumen des polygastriques et dans le caecum des équidés (KERN *et al.*, 1973 et 1974). A côté des bactéries et des protozoaires, les champignons du rumen dont la mise en évidence est assez récente (1975), participent aussi directement à la dégradation des polyholosides pariétaux (BAUCHOP, 1981; ORPIN, 1984). Beaucoup de genres et d'espèces ont été identifiés mais l'estimation des populations demeure difficile du fait de leur adhésion aux particules végétales et de l'émission d'un grand nombre de zoospores à partir d'un seul sporange. Comme chez les ruminants des types morphologiques différents de champignons ont été identifiés dans le caecum des équidés et joueraient le même rôle que ceux rencontrés dans le rumen (ORPIN, 1984, JULLIAND et TISSERAND, 1992).

2.2. FACTEURS DE VARIATION DU METABOLISME MICROBIEN

Les micro-organismes des compartiments digestifs peuvent être caractérisés, soit par leur localisation dans ces réservoirs (bactéries libres, fixées à la paroi ou aux particules alimentaires), soit par la nature des substrats qu'ils dégradent (cellulolytiques, protéolytiques...). Globalement, le nombre de bactéries cellulolytiques par gramme de contenu digestif dans le caecum des équidés est inférieur à celui du rumen mais représente six à sept fois le nombre recensé dans le côlon des équidés ainsi que dans le caecum des ruminants (KERN *et al.*, 1974).

La finalité de la dégradation des parois végétales par les micro-organismes des réservoirs

digestifs est de se procurer l'énergie (A.T.P.) et le carbone qui leur sont nécessaires pour leur entretien, leur croissance et leur prolifération. Or, l'efficacité de l'utilisation de l'énergie par les microbes repose sur trois facteurs primaires qui sont :

- les apports de nutriments (nature, niveau, équilibre et séquence des apports énergétiques, azotés et minéraux...);
- les conditions physico-chimiques du milieu ruminal ou caecal (pH, pression osmotique, pouvoir tampon, conditions de transit des différentes phases solides et liquides);
- le faciès microbien qui en résulte (nature et activité de la population microbienne).

A l'évidence, le facteur alimentaire semble conditionner les autres facteurs (conditions physico-chimiques des réservoirs, faciès microbiens) et explique le nombre de travaux qui s'y rapportent. On retiendra surtout la revue présentée par DEMEYER et VAN NEVEL (1986) sur l'influence des apports d'énergie et d'azote ainsi que les informations se rapportant aux effets des compléments minéraux sur l'activité microbienne (DURAND et KAWASHIKA, 1980 ; DURAND, 1984). Beaucoup de ces travaux ont été faits *in vitro*. Certes, ils permettent de comprendre bon nombre de processus qui se déroulent *in vivo*, mais ces approches ont aussi leurs limites : les réservoirs digestifs (rumen, caecum) sont des milieux plus complexes, moins bien contrôlés et plus interactifs que les fermenteurs *in vitro* (VERITE *et al.*, 1986). Pour pallier les insuffisances ci-dessus évoquées, des études *in vivo*, utilisant des fourrages ou des rations mixtes ont été conduites et indiquent que la nature et le nombre de micro-organismes varient énormément en fonction du type de régime. Avec du foin seul KERN *et al.*, (1974) indiquent que le nombre des bactéries viables dans le rumen est trois fois plus élevé que dans le caecum du poney. Avec un régime mixte (foin + avoine), les mêmes auteurs rapportent une augmentation du nombre de bactéries vivantes chez les poneys et pas chez les bovins et constatent que ces régimes étaient sans effet sur le nombre de bactéries cellulolytiques (tableau 3).

Tableau 2 : Caractéristiques chimiques et microbiologiques du contenu des différents segments digestifs des poneys et des bovins nourris au foin

CARACTERISTIQUE	SEGMENTS DIGESTIFS DES PONEYS					SEGMENTS DIGESTIFS DES BOVINS				
	Estomac		iléon	Caecum	Colon terminal	Rumen	Abomasum	iléon	Caecum	Colon terminal
	Fondas	Pylore								
pH	5,4 ^w	2,6 ^x	7,4 ^w	6,6 ^w	6,6 ^w	6,9 ^{ax}	3,1 ^{bx}	7,3 ^{aw}	7,0 ^{aw}	7,2 ^{ax}
Bactéries totales/g. 10 ⁻⁷	278, ^a	192, ^b	208, ^{bw}	642, ^{cw}	319, ^a	3150, ^{ax}	348, ^b	353, ^{bx}	551, ^{cw}	333, ^b
Bactéries viables/g. 10 ⁻⁶	200, ^a	10, ^b	36 ^b	492, ^{cw}	363 ^d	1658, ^{ax}	1,9 ^b	5,4 ^b	320, ^c	12,7 ^d
Bacilles gram-négatifs (%)	16,2 ^a	14,8 ^a	9,2 ^a	63,8 ^{bw}	54,3 ^b	33,1 ^x	25,5	2,03	29,9 ^x	25,7
Bacilles gram-positifs	30,8	25,0	38,9	6,4	11,2	2,4	4,1	0,9	2,7	5,5
Coccies gram-négatifs (%)	19,0	22,9	6,4	33,1	22,6	44,1	42,7	33,9	46,9	45,9
Coccies Gram-positifs	33,9 ^a	37,2 ^a	36,2 ^a	5,6 ^a	11,2 ^b	19,4 ^a	27,9 ^b	44,7 ^c	22,7 ^b	25,3 ^b
Spirochètes (en %)	0,0 ^d	0,0 ^a	0,0 ^a	0,0 ^a	0,6b ^w	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
E. Coli /g. 10 ⁻⁴	<7,7 ^a	<0,1 ^b	0,9 ^b	2,6 ^c	21,4 ^d	<0,5	<3,1	16,9	5,8	13,5
ADN. µg/g	29,3 ^a	9,4 ^b	9,9 ^b	8,4 ^{cw}	6,2 ^c	51,6 ^{ax}	21,9 ^b	25,5 ^b	24,8 ^{bx}	13,5
Total protozoaires /g	0,0	0,0	0,0	567, ^w	0,0	10,203 ^{ax}	0,0 ^b	0,0 ^b	0,0 ^b	0,0 ^b
NH ₃ -N mg/100 ml	2,9 ^a	3,9 ^w	5,2 ^w	2,9 ^w	5,4	10,6 ^x	11,4 ^x	15,5 ^x	18,2 ^x	13,1
Ingesta (kg)	0,73		1,63	2,8	18,1	-	-	-	-	-

(KERN *et al.*, 1974).

^{a, b, c, d} Pour le même paramètre, les chiffres figurant sur la même ligne et portant des lettres différentes sont significativement différents (P< 0,01)

^{w, x} comparaison inter-compartiments : sur la même ligne, les chiffres portant des lettres différentes sont significativement différents (P< 0,01)

Tableau 3 : Effet de la ration sur les populations microbiennes et le pH chez les équidés et les bovins

Caractéristique	Foin de graminée seul		Foin de graminée + avoine		Foin de légumineuse seul		Foin de légumineuse + avoine	
	P	B	P	B	P	B	P	B
Bactéries Total/g. 10 ⁻⁷	481 ^e	504	702 ^f	622	458 ^e	573	652 ^f	556
Bacilles (en %)								
. Gram-négatifs	63,1	31,8 ^e	60,0	33,5 ^e	62,5	53,0 ^f	58,6	20,8 ^g
. Gram-positifs	8,6	2,8	8,5	0,5	6,8	0,0	5,7	0,0
Coccies (en %)								
. Gram-négatifs	23,0	49,3	16,5	52,5	18,1	32,5	22,4	60,0
. Gram-positifs	6,3	13,8	12,6	13,3	12,8	14,5	12,4	20,0
Spirochètes (%)	0,0	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Cellulolytiques/g. 10 ⁻⁷	2,2	4,7	7,9	1,1	6,3	1,9	5,8	3,5
Protozoaires/g. 10 ⁻³	4,0	152,0	6,0	162,0	4,0	156,0	4,0	100,0
pH du contenu	6,6	6,9	6,8	6,8	6,6	6,8	6,5	6,8

(KERN, 1973)

P = Poney : B = Bovin

e.f.g = les chiffres portant des lettres différentes et figurant sur la même ligne sont significativement différents (P<0.01).

III. LE TRANSIT DES DIGESTA

INTRODUCTION

La diversité des méthodes utilisées et le nombre de travaux consacrés à l'étude des vitesses de transit et des temps de rétention des digesta dans les réservoirs digestifs des herbivores témoignent de l'importance de ces facteurs sur l'efficacité de la digestion chez ces animaux. Le transit digestif est lui-même affecté par plusieurs facteurs : l'espèce animale, les quantités ingérées, la nature de l'aliment, sa forme de présentation. A cet ensemble de facteurs s'ajoutent des différences de conditions expérimentales si bien qu'en dépit des nombreuses données disponibles, la comparaison du transit des digesta entre espèces est particulièrement délicate.

3.1. FACTEURS DE VARIATION LIES A L'ANIMAL

** Dispositif anatomique et morphologique des organes digestifs*

Chez les ruminants, un véritable système de ségrégation (cf. Chapitre précédent) très efficace permet aux petites particules de quitter le rumen alors que les grosses y sont retenues tant qu'elles n'ont pas atteint une taille adéquate (≤ 1 mm) pour franchir l'orifice réticulo-omasal (THIVEND *et al.*, 1985 ; BAUMONT et DESWYSEN, 1991). Chez les équidés par contre, les principaux réservoirs digestifs (caecum et côlon) sont très peu sélectifs vis à vis des particules alimentaires (ARGENZIO *et al.*, 1974). Certains auteurs attribuent à ces particularités anatomiques les différences ou variations de temps de séjour des digesta observées entre les diverses espèces animales (ARGENZIO *et al.*, 1974 ; CANDAU et VIGROUX, 1974 ; VIGROUX *et al.*, 1975 . RUCKEBUSH *et al.*, 1981 ; SELLERS *et al.*, 1982...).

** Effets de la taille ou du poids de l'animal*

L'influence du poids vif sur le transit digestif des digesta est très discutée. Chez des génisses de poids différents nourries au foin, UDEN *et al.*, (1982) trouvent une bonne corrélation entre les poids des animaux et le temps de rétention moyen des digesta dans le rumen. Par contre chez les chevaux, les poneys, les moutons et les chèvres utilisées dans la même expérience, les auteurs ne trouvent aucune relation évidente entre les poids vifs et les temps de rétention mesurés. D'autres travaux conduits sur des moutons nourris au foin en conditions limitées rapportent des résultats de transit assez bien corrélés ($R=0,91$) avec les poids des animaux (FAICHNEY *et al.*, 1989). Le

nombre limité de travaux sur le sujet et certainement les différences de conditions expérimentales ne permettent pas de tirer des conclusions certaines.

*** Influence du niveau d'ingestion**

JOURNET et DEMARQUILLY, (1967) font remarquer que la condensation (granulés) du foin réduit le temps de séjour des digesta dans le rumen d'environ 47 % et augmente les quantités ingérées de 88 %. En limitant le niveau d'ingestion du granulé à celui du fourrage long, les auteurs indiquent que le temps de rétention des digesta dans le rumen n'est pas écourté et que la durée totale du transit est peu diminuée. Des observations similaires ont été faites chez des poneys par WOLTER et GOUY, (1976) qui ne trouvent aucune différence de transit lorsqu'une même ration (mixte) est présentée sous trois formes différentes (farine, granulé, expansé) et les animaux soumis à un même niveau d'ingestion. Ces quelques exemples indiquent qu'il existe un parallélisme étroit entre la vitesse de transit des digesta et le niveau d'ingestion des animaux, qu'ils soient ruminants ou équidés. Si les avis sont concordants chez les ruminants (BALCH, 1950 ; CAMPLING *et al.*, 1961 ; GROVUM et HECKER, 1973 ; COLUCCI *et al.*, 1982 ; ELIMAN et ORSKOV, 1983), quelques controverses persistent chez les équidés. En effet, MIRAGLIA *et al.*, par deux fois (1987 et 1992) affirment que le niveau d'alimentation ne modifie pas la vitesse de transit des digesta chez le cheval. Pourtant, certains travaux récents indiquent que l'augmentation du niveau d'ingestion accélère la vitesse de transit chez les équidés et que l'agglomération au contraire rallonge le temps de séjour des digesta (CABRERA, 1995). Là encore, l'insuffisance des données expérimentales obtenues dans des conditions comparables limite la portée des différentes conclusions.

3.2. FACTEURS DE VARIATION LIES A L'ALIMENT

L'influence des traitements physiques des fourrages ou des rations (forme de présentation) sur la vitesse de transit digestif a été particulièrement étudiée chez les polygastriques. Le hachage, le broyage ou l'agglomération ont souvent conduit à une diminution de la digestibilité de la matière sèche des fourrages et à une accélération de la vitesse de transit (JOURNET et DEMARQUILLY, 1967). Pourtant, certains travaux indiquent que le temps de séjour des digesta dans le rumen a répondu de manière très variable à la forme physique de présentation du fourrage. CAMPLING et FEER (1966) ont observé peu de variation (légère baisse) du temps de séjour de différents fourrages présentés longs, puis broyés à des vaches nourries à volonté. Avec les mêmes fourrages mais en conditions d'alimentation limitées, les mêmes auteurs enregistrent une diminution significative du

temps de séjour sous l'effet du broyage. D'autres auteurs font également état d'un rallongement du temps de séjour des particules alimentaires dans le rumen avec des fourrages broyés mais indiquent que les résultats variaient avec la finesse du broyage (BALCH, 1950). Chez les équidés, les travaux sont moins nombreux mais les résultats disponibles semblent indiquer que le broyage accélère le transit digestif même si là encore les résultats sont très variables d'une expérience à l'autre.

Avec des rations à base de foin, ALEXANDER (1946) estime la durée totale du temps de séjour des particules dans le tractus digestif du cheval à 47 heures alors que OLSSON *et al.*, (1949) affirment que la durée d'un tel transit atteindrait 72 heures. Toujours chez le cheval, VAN DER NOOT *et al.*, (1970) rapportent que l'excrétion fécale des marqueurs utilisés est maximale entre 36 et 48 heures après l'administration de la dose mais ne s'annule vraiment qu'aux environs de 96 heures.

En somme, le manque apparent de concordance ou de cohérence entre les résultats des différents travaux est certainement à mettre en liaison avec la diversité et la spécificité des conditions expérimentales : méthodes de calcul des temps de transit, marqueurs utilisés, mode d'administration, niveau d'ingestion des rations, qualité des fourrages, traitements subis...

3.3. DUREES MOYENNES COMPAREES DU TEMPS DE SEJOUR DES DIGESTA CHEZ LES DIFFERENTES ESPECES D'HERBIVORES

Chez les ruminants comme chez les équidés, il est actuellement démontré que les éléments solubles des rations (phase liquide) transitent plus rapidement que les éléments plus ou moins indigestibles (parois), c'est à dire, la phase particulaire ou solide des digesta. Comme indiqué plus haut, la durée de transit de ces différentes phases varie beaucoup d'un aliment à un autre et d'un compartiment digestif à un autre (tab. 4).

Tableau 4 : Temps moyen de rétention des phases solide et liquide dans le réticulo-rumen des ruminants et dans le caecum et le colon des monogastriques (en heures)

Types d'animaux	Poids vif (kg)	Temps moyen de rétention		Référence
		Liquide	Particules	
RUMINANTS				
Chameau	500	18	64	Heller (1983)
Vache	555	15	47	Van Soest (1982)
Génisse	243	16	38	Van Soest (1982)
Lamas	130	15	30	Heller (1983)
Mouton	30	19	35	Van Soest (1982)
Chèvre	29	19	28	Van Soest (1982)
MONOGASTRIQUES				
Cheval	388	11	10	Van Soest (1982)
Poney	132	9	10	Van Soest (1982)
Lapin	3	180	4	Van Soest (1982)

Chez les ovins le temps moyen de rétention (TMR) des particules serait de 50 heures pour l'ensemble du tube digestif, 21 heures dans le réticulo-rumen, 2 heures dans le feuillet, 2 heures dans la caillette, 3 heures dans l'intestin grêle, 12 heures dans le caecum et 8 heures dans le côlon (MAMBRINI, 1990). En dépit de quelques controverses, il semble, pour des niveaux d'ingestion comparables, que le TMR des particules dans le rumen des caprins soit plus faible que dans celui des ovins (VAN SOEST, 1982). Par contre, le TMR particulaire serait plus élevé dans le gros intestin de la chèvre que dans celui du mouton. Contrairement au débat sur les ovins par rapport aux caprins, la plupart des auteurs affirment que le TMR des digesta dans le rumen des bovins est supérieur à celui des moutons (THOMAS et CAMPLING, 1977 ; CARLE et DULPHY, 1980 ; POPPI *et al.*, 1980; REES et LITTLE, 1980). Le TMR (particules) de l'ensemble du tube digestif chez les bovins est d'environ 60 heures : 40 heures dans le réticulo-rumen, 9 heures dans le feuillet, 1 heure dans la

caillette, 3 heures dans l'intestin grêle, 2 à 5 heures dans le caecum et 5 heures dans le côlon, (MAMBRINI, 1990). La phase liquide transiterait plus rapidement dans le rumen des bovins que chez les ovins et les caprins (BAUMONT et DESWYSEN,(1991). Selon COLUCCI *et al.*, (1982), la vitesse de transit des particules alimentaires serait identique à celle de la phase liquide dans le caecum et le côlon proximal chez les ruminants.

Chez les équidés, contrairement à ce qui se passe chez les ruminants, les aliments séjournent très peu dans l'estomac. Par contre, c'est le caecum, viscère à volume constant, qui intervient largement pour moduler les temps de rétention de la phase solide sur l'ensemble du tube digestif. Le TMR total serait de l'ordre de 36 heures (21-48) avec les fourrages longs, mais seulement de 26 à 30 heures avec les aliments broyés (UDEN et VAN SOEST, 1982 ; WOLTER, 1982 ; MIRAGLIA *et al.*, 1992; CABRERA, 1995). L'estomac du cheval laisse passer une part importante du repas dans l'heure qui suit celui-ci et ne retient que la dernière fraction de la ration pendant 5 à 6 heures. Dans l'intestin grêle, le repas séjourne entre 1 à 2 heures et reste environ 5 à 6 heures dans le caecum. Le taux de renouvellement de l'ensemble du côlon serait de 13,5 % par heure, contre seulement 5,6% dans le caecum (MARTIN - ROSSET et DULPHY, 1987).

Il semble que la vitesse de transit digestif chez les équidés soit intermédiaire entre les valeurs admises, d'une part, chez les monogastriques non-herbivores, et d'autre part, celles rapportées chez les polygastriques, (WOLTER *et al.*, 1974). Ces observations renforcent les avis selon lesquels les équidés cumuleraient à la fois les caractéristiques digestives du monogastrique strict et de celles des herbivores polygastriques.

IV. DIGESTION MICROBIENNE DANS LE RUMEN ET DANS LE GROS INTESTIN

4.1. PRINCIPALES CARACTERISTIQUES DE LA DIGESTION CHEZ LES HERBIVORES

L'originalité des herbivores est de posséder des réservoirs spécialisés (réticulo-rumen chez les ruminants et gros intestin chez les équidés) dans lesquels sont dégradés, puis fermentés les parois végétales. L'organisation anatomique et topographique de ces organes, décrite plus haut, se traduit au plan de la physiologie digestive par des aptitudes propres à chaque site digestif et permet sans doute d'expliquer des variations ou différences observées entre espèces animales dans la digestion et l'utilisation digestive des aliments.

4.1.1. Comparaison des sites de digestion entre ruminants et équidés

Le schéma 3 rappelle la grande similitude existant entre les deux appareils digestifs mais leur organisation topographique confère à chacun d'eux des fonctions physiologiques et digestives spécifiques qu'il est intéressant de passer en revue.

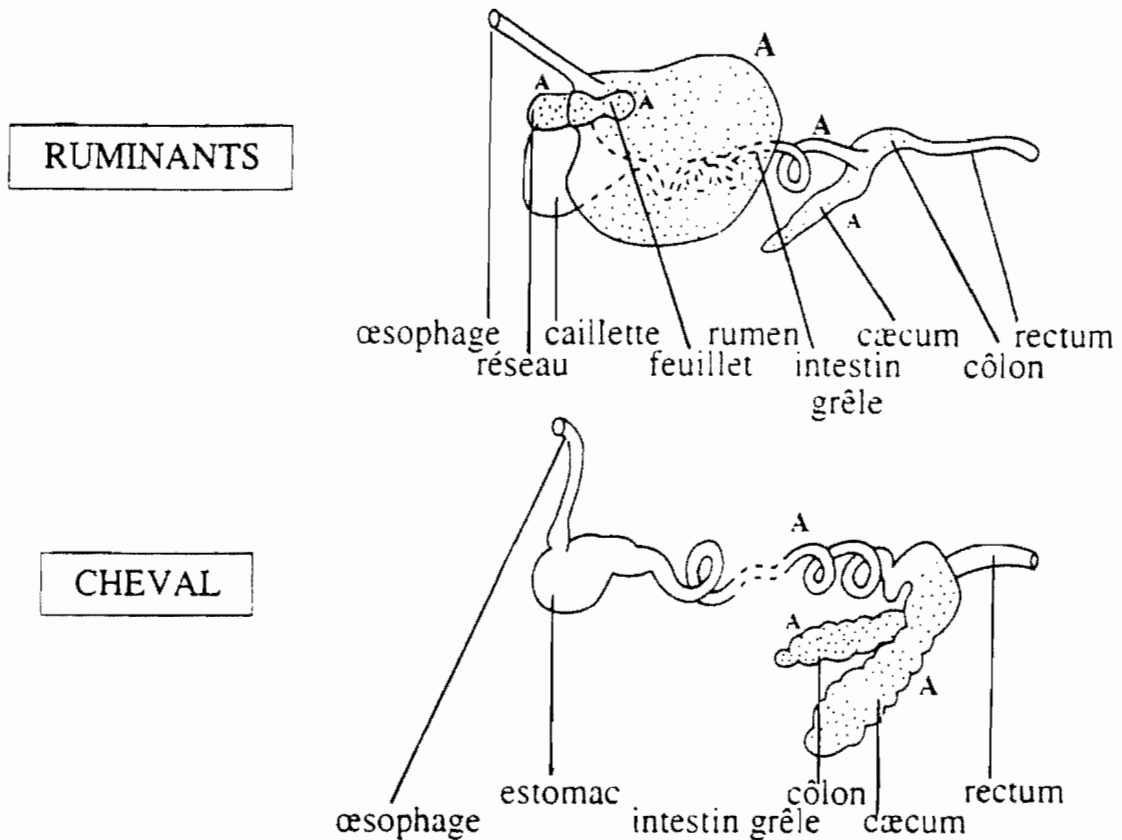
** La digestion buccale*

La mastication et l'insalivation des aliments sont les principales caractéristiques de la digestion buccale. Chez les ruminants, on distingue deux types de mastication :

- une mastication dite ingestive dont le rôle est triple : réduire la taille des fourrages longs et permettre leur ingestion ; libérer la fraction soluble des aliments pour favoriser les fermentations microbiennes ; et enfin détruire la structure interne du végétal favorisant ainsi la colonisation microbienne (BAILLEY et BALCH, 1961 ; POPPI *et al.*, 1980).
- la mastication mérycique (rumination) dont le rôle est double : endommager la structure interne des digesta régurgités pour favoriser leur digestion (CHAI *et al.*, 1984) ; réduire la taille des particules du matériel réfractaire de façon à ce qu'il puisse quitter le rumen. Ce dernier aspect serait la fonction essentielle de la rumination, tout en favorisant l'apport massif de salive pour tamponner le pH du milieu ruminal (REID *et al.*, 1979 ; POPPI *et al.*, 1981 ; WESTON et KENNEDY, 1984 ; NELSON, 1988.).

A défaut d'avoir deux types de mastication, la digestion dans la cavité buccale des équidés se caractérise par une mastication unique mais poussée, réduisant les particules alimentaires à une taille moyenne de 1,6 mm de long avant leur déglutition. Cette mastication unique assure chez les équidés les mêmes fonctions digestives que les deux types décrites chez le ruminant.

Schéma 3 : Localisation des phénomènes enzymatiques et microbiens et de l'absorption chez les ruminants et les équidés (RIVES , 1984)



*** La digestion dans l'estomac**

Chez les ruminants, c'est la caillette ou abomasum, seul réservoir sécrétoire des quatre compartiments gastriques qui est l'homologue de l'estomac des monogastriques. Les fonctions digestives de la caillette sont superposables à celles de l'estomac des équidés car sécrétant de l'acide chlorhydrique et de la pepsine qui interviennent dans l'hydrolyse partielle des protéines alimentaires. Deux particularités cependant méritent d'être signalées concernant la physiologie digestive de l'estomac des équidés. De taille réduite (10 litres en moyenne), la vidange gastrique est quasi permanente chez ces derniers pendant le repas, le sphincter pylorique ne se refermant qu'à la fin de la mastication (RUCKBUSCH, 1984). De ce fait, la digestion gastrique chez ces espèces n'a vraiment d'effet que sur la dernière fraction de chaque repas. Enfin contrairement à la caillette, le pH de l'estomac des équidés est relativement élevé (6, environ) et permet par conséquent l'implantation d'une flore microbienne capable de fermenter les glucides et produire des gaz et des AGV ou de l'acide lactique.

*** La digestion dans l'intestin grêle**

Chez les ruminants comme chez les monogastriques, la digestion dans l'intestin grêle est de type enzymatique dont les voies métaboliques sont assez classiques et bien connues. Ici, nous n'évoquerons que les particularités de cette digestion intestinale chez les équidés, comparativement aux ruminants.

Contrairement aux ruminants chez qui l'essentiel des protéines alimentaires sont dégradées dans le rumen au profit de la synthèse microbienne, plus de 65 % des protéines alimentaires sont dégradés dans l'intestin grêle des équidés, ce qui explique la plus grande dépendance de ces animaux à l'égard de la valeur biologique des protéines alimentaires, c'est à dire à la qualité et à la quantité relative des apports alimentaires (WOLTER et VELENDIA, 1970). Comme, les protéines, plus de 70 % des glucides facilement hydrolysables par voie enzymatique disparaissent avant d'atteindre le caecum, site de digestion important des parois végétales (HINTZ *et al.*, 1971 ; MARTIN-ROSSET et DOREAU, 1984). En somme, pour une même ration servie aux ruminants et aux équidés ; la qualité et la quantité de substrat parvenant aux micro-organismes du rumen et à ceux du caecum ou du côlon (équidés) ne sont plus comparables. Ainsi, certains auteurs se fondent sur des facteurs nutritionnels pour expliquer, au moins en partie, les différences de digestion des parois végétales observées entre ruminants et équidés, même si là encore se dégagent des partisans en faveur de l'énergie comme facteur limitant essentiel (BRUGIERE, 1981 ; BELLET, 1982 ; TISSERAND, 1989) et ceux militant en faveur de l'azote (WOLTER et VELENDIA, 1970 ; KOLLER *et al.*, 1978;

UDEN et VAN SOEST, 1982).

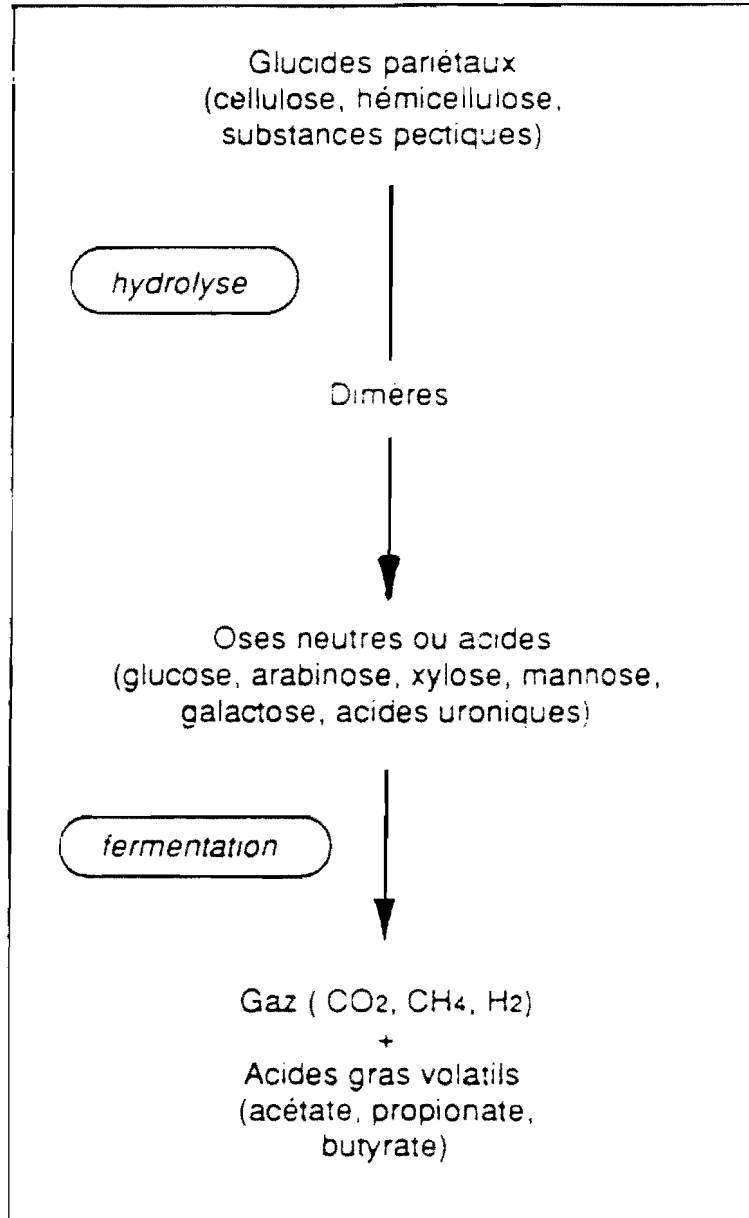
**** Digestion dans le rumen des polygastriques et dans le gros intestin des équidés***

- Dans le rumen

Le modèle "ruminant" est le plus adapté pour décrire la digestion microbienne dans les réservoirs digestifs des herbivores puisque, d'une part, il est beaucoup mieux connu et que, d'autre part, les données obtenues chez ces animaux peuvent être en grande partie extrapolées aux autres espèces animales capables d'utiliser les composés lignocellulosiques (BESLE et JOUANY, 1990). Le rumen peut être considéré comme un fermenteur semi continu où vit une micro population caractérisée par sa diversité et sa densité et qui a été décrite dans les chapitres précédents. Deux processus complémentaires caractérisent la digestion microbienne dans le rumen : la dégradation des glucides pariétaux et l'utilisation de l'azote non protéique. Grâce à un équipement enzymatique important, la population microbienne du rumen hydrolyse les polymères glucidiques des parois végétales (cellulose, hémicellulose, substances pectiques) en oses qui sont ensuite fermentés en anaérobiose selon des voies actuellement bien connues (schéma 4). Une autre particularité du fermenteur rumen est sa capacité d'incorporer l'azote non protéique, dans les protéines bactériennes qui constituent une source importante d'acides aminés pour satisfaire les besoins en azote de l'animal hôte. Cette caractéristique permet aux ruminants de tirer parti des sources d'azote tels que l'urée ou les sels ammoniacaux que les autres espèces domestiques ne peuvent pas utiliser.

Chez les ruminants, l'importance de la synthèse microbienne dans le rumen est considérable. Les travaux se rapportant aux aspects quantitatifs de cette protéosynthèse révèlent que la part de l'azote d'origine microbienne qui entre dans l'intestin grêle représente plus de la moitié de l'azote total. Lorsque l'énergie n'est pas un facteur limitant, la quantité d'azote microbien qui quitte le rumen peut même être supérieure à la quantité d'azote ingéré (alimentaire) grâce à un important recyclage de l'urée (HARRISON et MC ALLAN, 1980 ; DEMMEYER et VERVAEKE, 1984 ; SMITH, 1979...).

Schéma 4 : Dégradation et fermentation des glucides pariétaux dans le rumen (BESLE et JOUANY, 1990)



- Dans le caecum et dans le côlon des équidés

Les processus de dégradation des glucides pariétaux et des protéines alimentaires par les micro-organismes du caecum et du côlon des équidés suivent les mêmes voies métaboliques telles que décrites plus haut chez les ruminants. Là encore, seules les particularités de la digestion dans le gros intestin des équidés seront évoquées.

Dans les principaux réservoirs digestifs des équidés (caecum et côlon), les enzymes digestives de l'intestin grêle sont encore susceptibles de continuer quelque peu leur action microbienne. Elle est assurée par une population très active et très similaire à celle rencontrée dans les pré-estomacs des ruminants (LOWE *et al.*, 1970 ; KERN *et al.*, 1974 ; TISSERAND *et al.*, 1977 ; WOLTER *et al.*, 1978 ; DAVIES, 1979 ; JULLIAND et TISSERAND, 1992...). La position topographique des réservoirs digestifs des équidés, par comparaison à celle qu'occupe le rumen dans la chaîne digestive, appelle trois observations principales :

- les micro-organismes du caecum et du côlon des équidés disposent d'un substrat ayant déjà subi préalablement un épuisement plus ou moins poussé dans l'intestin grêle, à la différence de ce qui parvient dans le rumen des ruminants (ration entière, quantitativement et qualitativement)

- l'activité microbienne dans le gros intestin des équidés risque moins de concurrencer l'utilisation des nutriments dans l'intestin grêle de l'hôte, mais elle aura une importance, à priori, plus limitée que chez les ruminants (absorption incertaine des acides aminés dans les derniers segments du tube digestif) ;

- les micro-organismes du gros intestin, contrairement à ceux du rumen, ne sont pas directement sensibles à l'équilibre de la ration et à ses fluctuations : dans les conditions habituelles, ils dépendent essentiellement de la richesse du régime en glucides pariétaux et en protéines difficilement hydrolysables.

Contrairement à ce qui se passe chez les ruminants, les contributions à la nutrition azotée et vitaminique (groupe B) de l'hôte, provenant de la digestion microbienne dans le gros intestin des

équidés semblent modestes pour les raisons évoquées plus haut (BAILLIEN, 1960 ; REITNOUR *et al.*, 1970 ; SLADE *et al.*, 1970 ; JOHNSON, 1972 ; REITNOUR, 1979...).

Cependant, certains auteurs affirment que le cheval serait capable de recycler les 2/3 de sa production d'urée dont il récupère 50 % de l'azote (HOUPY, 1971 ; PRIOR *et al.*, 1974).

L'analyse des modèles de fonctionnement du rumen (polygastriques) et du gros intestin (équidés) semble indiquer que les premiers valoriseraient mieux les fourrages du fait que leurs réservoirs-digestifs soient situés avant l'intestin grêle, mais que les seconds présenteraient une amplitude d'adaptation plus importante aux conditions alimentaires et écologiques très variées en cumulant les avantages de la digestion du monogastrique (enzymatique) et ceux de la digestion microbienne de type polygastrique (WOLTER *et al.*, 1982).

4.1.2. Produits terminaux de la dégradation des glucides pariétaux

** Produits formés*

Les méthodes in vivo actuellement disponibles ne permettent pas de faire les bilans précis des substrats qui sont métabolisés par les microbes des réservoirs digestifs des herbivores et les produits qui sont formés. Toutefois, les différents processus et étapes de la fermentation des oses provenant de l'hydrolyse préalable des glucides par les microbes sont actuellement bien connus (schéma 5). Cette fermentation procure aux micro-organismes du rumen et du gros intestin (équidés) l'énergie (ATP) et le carbone nécessaire à leur entretien, leur croissance et leur prolifération. Il en résulte des produits de déchets qui sont un mélange d'acides organiques à courtes chaînes ou acides gras volatils (AGV) et des gaz (CO₂, CH₄...). Au cours des fermentations apparaissent également des produits intermédiaires mais qui sont rarement retrouvés dans les contenus digestifs car ceux-ci sont utilisés au fur et à mesure de leur formation par d'autres catégories de microbes : ces produits comprennent, l'hydrogène, l'éthanol, le formate, le succinate, le lactate...

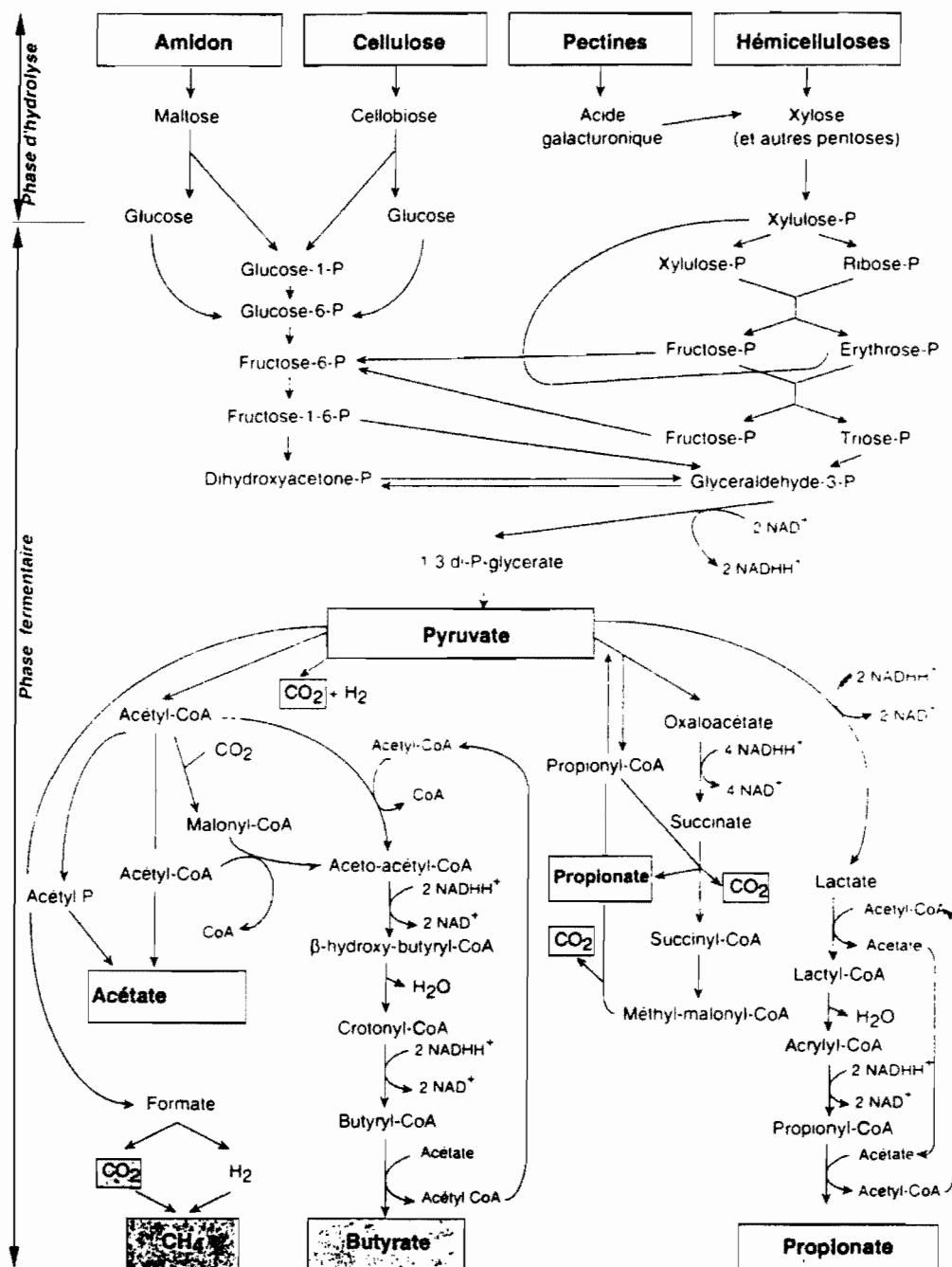
Parmi les produits terminaux dont profitera l'hôte, les plus importants en terme de quantité produite, sont dans l'ordre : l'acide acétique, propionique, butyrique et dans des proportions beaucoup plus faible, d'autres acides (iso-butyrique, valérique, iso-valérique) qui ne représentent que 1 à 4 % du mélange.

Chez les ruminants, on estime que les AGV fournissent 65 à 75 % de l'énergie totale absorbée, le reste proviendrait des acides aminés (20 %) et des acides gras à longues chaînes (VERMOREL, 1978). Chez les équidés, la part des AGV dans l'énergie absorbée n'est pas connue : elle varierait entre 25 et 30 % selon (ARGENZIO *et al.*, 1974) et pour d'autres, elle représenterait jusqu'à 50 et 70 % de l'énergie totale absorbée (GLINSKY *et al.*, 1976).

** Facteurs de variation de la production d'AGV : orientation des fermentations*

Parmi les facteurs de variation des produits formés (AGV, en particulier), la nature de la ration alimentaire est le plus déterminant (JOUANY *et al.*, 1995). Les AGV produits dans les fermentateurs digestifs d'animaux recevant des rations de fourrages secs comportent une proportion importante d'acide acétique (70 % des AGV totaux).

Schéma 5 : Voies du métabolisme des glucides dans le rumen
(JOUANY *et al.*, 1995)

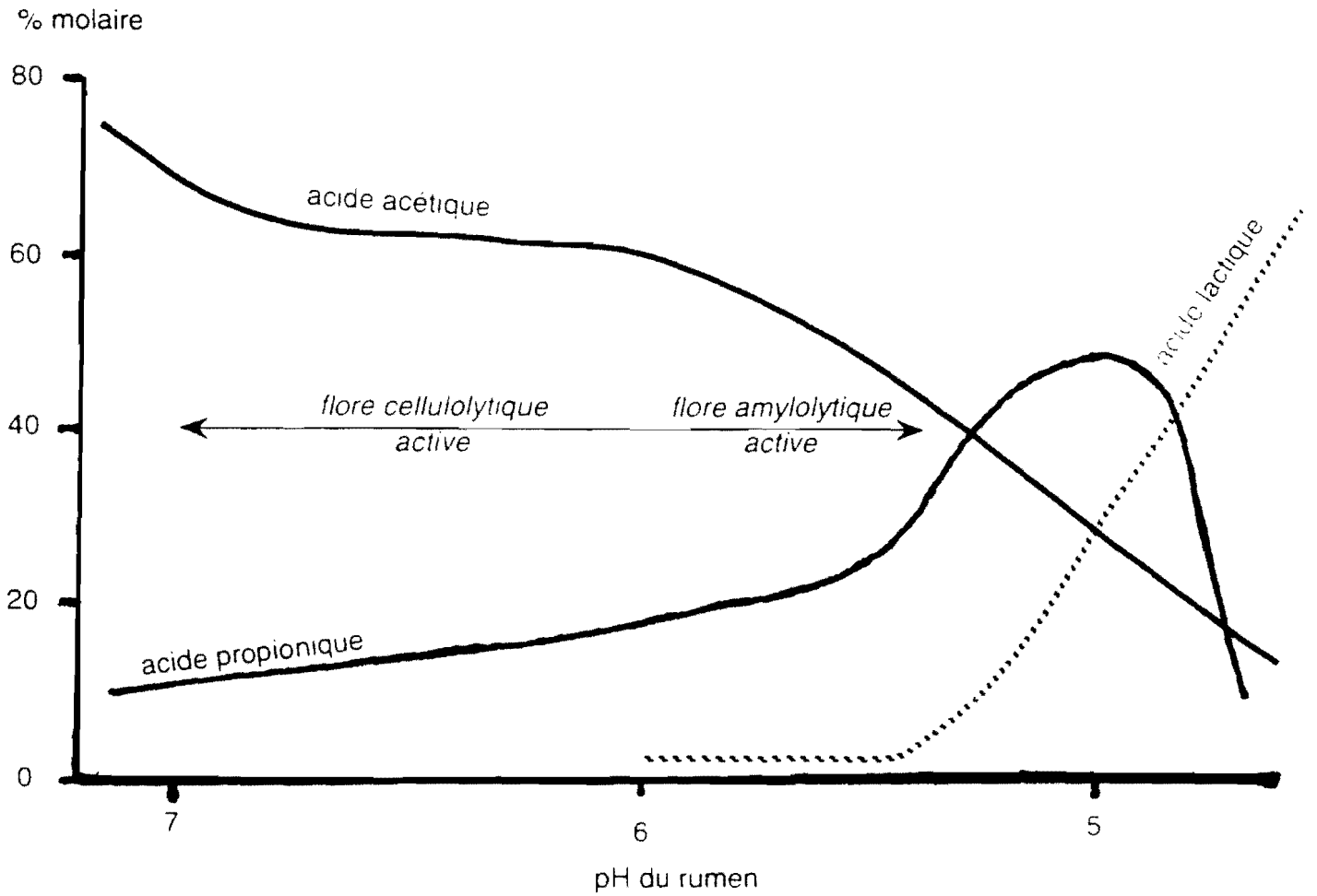


La présence d'amidon (donc d'aliment concentré) augmente la part du propionate dans le mélange des AGV. Celle-ci passe de 17 à 30 %, essentiellement au détriment de l'acétate. L'addition de glucides solubles accroît la proportion molaire du butyrate qui passe de 6 à 20 % (JOUANY *et al.*, 1995) et, à un moindre degré, celle du propionate, toujours au détriment de l'acétate. La distribution massive ou sans période d'adaptation adéquate de glucides très fermentescibles peut entraîner une production excessive d'acide lactique dont les conséquences sont très bien connues chez le ruminant (acidose).

Un autre facteur important mais qui est le plus souvent une conséquence du premier, est le pH, ou plus généralement, les conditions physico-chimiques des réservoirs digestifs. En effet ces conditions sont indispensables à l'équilibre entre espèces microbiennes et par conséquent, à l'activité fermentaire qui en résulte. La figure 1, établie par KAUFMANN *et al.*, (1980), montre que l'abaissement du pH lié au développement des bactéries amylolytiques et lactiques inhibe le développement et l'activité des bactéries cellulolytiques. Alors, la production d'acétate diminue fortement au profit de celle du propionate et/ou du butyrate et du lactate (BLAXTER et WAINMAN, 1964 ; FLATT *et al.*, 1969 ; REMOND et JOURNET, 1972 ; BERGE, 1982...).

La production d'AGV est également influencée par le niveau d'ingestion du fait de sa liaison avec la quantité de matière organique fermentée (DEMEYER et VAN NEVEL, 1986). L'élévation du niveau d'ingestion va se traduire par une augmentation de la production d'AGV mais les proportions molaires sont peu modifiées par ce facteur (WESTON et HOGAN, 1968).

Figure 1 : Effets du pH sur l'orientation des fermentations dans le rumen (Kaufman *et al.*, 1980)



4.2. INGESTION ET UTILISATION DIGESTIVE DES FOURRAGES CHEZ LES HERBIVORES

Chez les herbivores, la digestion est la résultante d'un grand nombre de processus dynamiques faisant intervenir, d'une part, l'animal (capacité d'ingestion, temps de séjour des digesta, pouvoir fermentaire des micro-organismes...), et d'autre part, l'aliment (nature et composition chimique, traitements physico-chimiques, forme de présentation...). Ces différents paramètres inter-agissent entre eux (positivement ou négativement) et permettent d'expliquer ou de comprendre les variations et les différences d'utilisation digestive des fourrages chez les différentes espèces animales.

4.2.1. Facteurs de variation de l'ingestion volontaire

** Facteurs liés à l'animal*

Les quantités de matière sèche ingérées (MSI) par les animaux dépendent de deux facteurs essentiels : l'ingestibilité du fourrage (facteur lié à l'aliment) et la capacité digestive des animaux considérés (JARRIGE *et al.*, 1978). La MSI est souvent exprimée en fonction du poids de l'animal (poids vif ou poids métabolique). Les figures 2a et 2b présentent respectivement, les MSI comparées de différentes espèces animales en fonction du poids vif (PV) et du poids métabolique ($P^{0.75}$) pour des fourrages secs (DULPHY *et al.*, 1995). L'examen des deux courbes indique que le format de l'animal, exprimé par son poids est le premier facteur modulant le niveau d'ingestion. Quel que soit le fourrage, la figure 2b (représentation sur la base du $P^{0.75}$) fait apparaître une bonne discrimination des animaux selon leur gabarit : bovins et équidés d'un côté ; caprins, ovins et cervidés de l'autre. Lorsque les quantités de MSI sont exprimées en fonction du poids vif (fig. 2a), les conclusions précédentes sont assez nuancées : pour les foins de bonne à moyenne qualité (18 à 21 g.MS/kg.PV), les quantités ingérées sont comparables entre les différentes espèces. Par contre, pour les foins pauvres ($MSI < 16$ g./kg. PV), on retrouve les mêmes tendances que dans le cas de la fig. 2b, c'est à dire une corrélation positive entre le poids de l'animal et sa capacité d'ingestion.

**Facteurs liés à l'aliment*

Chez les ruminants, parmi les mécanismes qui contrôlent l'ingestion alimentaire, la régulation physique de l'appétit est perçue par plusieurs auteurs, comme un facteur déterminant (BALCH et CAMPLING, 1962 ; CAMPLING, 1970 ; BAILE et FORBES, 1974; BINES, 1976 ; DULPHY et FAVERDIN, 1987...). A ces mécanismes qualifiés de "court terme", s'ajoutent les caractéristiques

physico-chimiques du contenu du rumen (GALLOUIN et FOCANT, 1980 ; CARTER et GROVUM, 1990). Chez les équidés par contre, la régulation de l'ingestion par l'état de réplétion des réservoirs digestifs (estomac, gros intestin) n'a pas été démontrée. En particulier, la mastication poussée des aliments avant déglutition chez ces derniers et l'absence d'orifices retenant sélectivement les grosses particules des fourrages, comme c'est le cas chez les ruminants, laisseraient penser que les équidés ne soient pas limités dans leur ingestion par la teneur en parois de fourrages. Certains auteurs pensent d'ailleurs que les caractéristiques organoleptiques des aliments seraient plus déterminantes chez les équidés (AGABRIEL *et al.*, 1982 ; MARTIN-ROSSET et DOREAU, 1984).

La forme de présentation de l'aliment est également déterminante pour son ingestion chez le ruminant. Ainsi, le hachage, le broyage ou l'agglomération amélioreraient l'ingestion des fourrages et ce d'autant qu'ils sont riches en parois (CAMPLING et FREER, 1966 ; JOURNET et DEMARQUILLY, 1967 ; GREENHALGH et REID, 1973...). Chez les équidés, l'influence de la forme de présentation de l'aliment sur les quantités ingérées est encore mal connue et les résultats disponibles sont très variables, voire contradictoires. Toutefois, les résultats les plus récents semblent traduire une faible influence de la forme de présentation sur les quantités ingérées chez ces espèces (CYMBALUK, 1990 ; DULPHY *et al.*, 1995).

Figure 2a : Quantité de MS ingérées comparées entre les différentes espèces (valeurs moyennes rapportées au poids vif, DULPHY *et al.*, 1995)

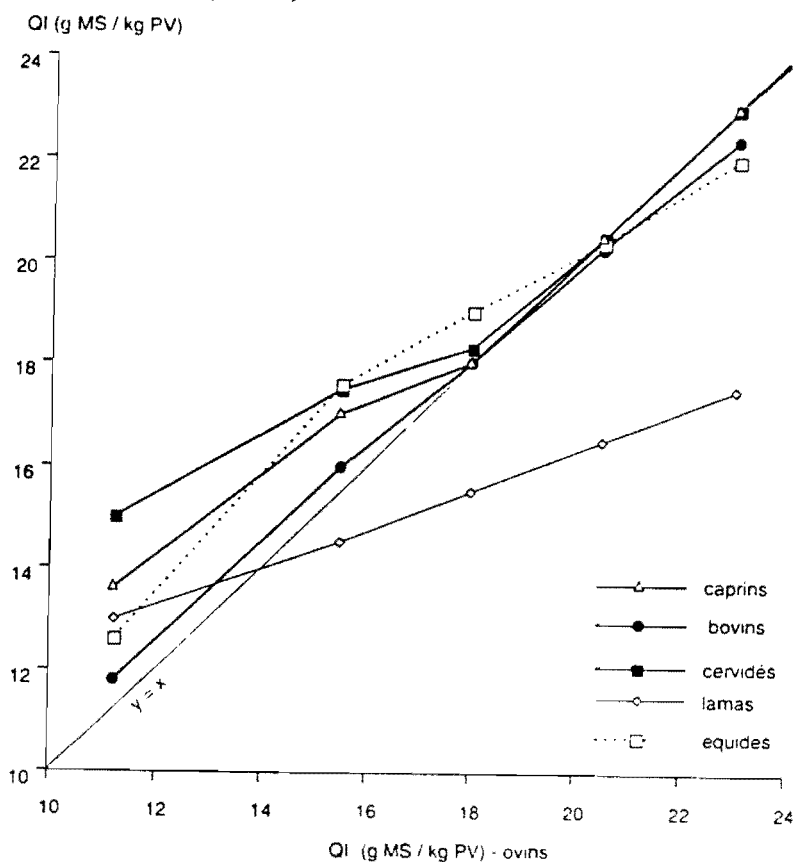
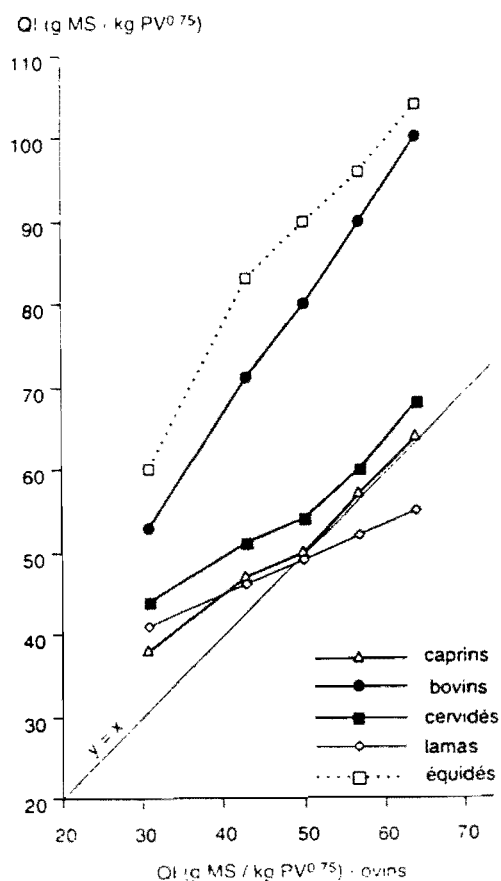


Figure 2b : Quantité de MS ingérées comparées entre les différentes espèces (valeurs moyennes rapportées au poids métabolique, DULPHY *et al.*, 1995).



4.2.2. Facteurs de variation de la digestibilité des parois végétales

Comme l'ingestion, l'importance de la dégradation des glucides pariétaux est extrêmement variable en raison de nombreux facteurs tant liés à l'aliment (teneur en fibres, traitements, présentation...) qu'aux caractéristiques propres des fermenteurs digestifs (liées à l'espèce animale).

** Variations liées à la nature et la composition chimique des fourrages*

La digestibilité d'un aliment ou d'une ration est fonction de la digestibilité de chacun de ses constituants chimiques. Il est classique de distinguer les constituants organiques contenus à l'intérieur des cellules végétales (matières azotées, lipides, glucides solubles ou de réserve) de ceux des parois cellulaires (cellulose, hémicellulose, lignine, substances pectiques...). En alimentation animale, on entend aussi parler de "fibres". Ce terme ne recouvre pas une entité biochimique définie mais désigne en général, la fraction la moins digestible des parois végétales.

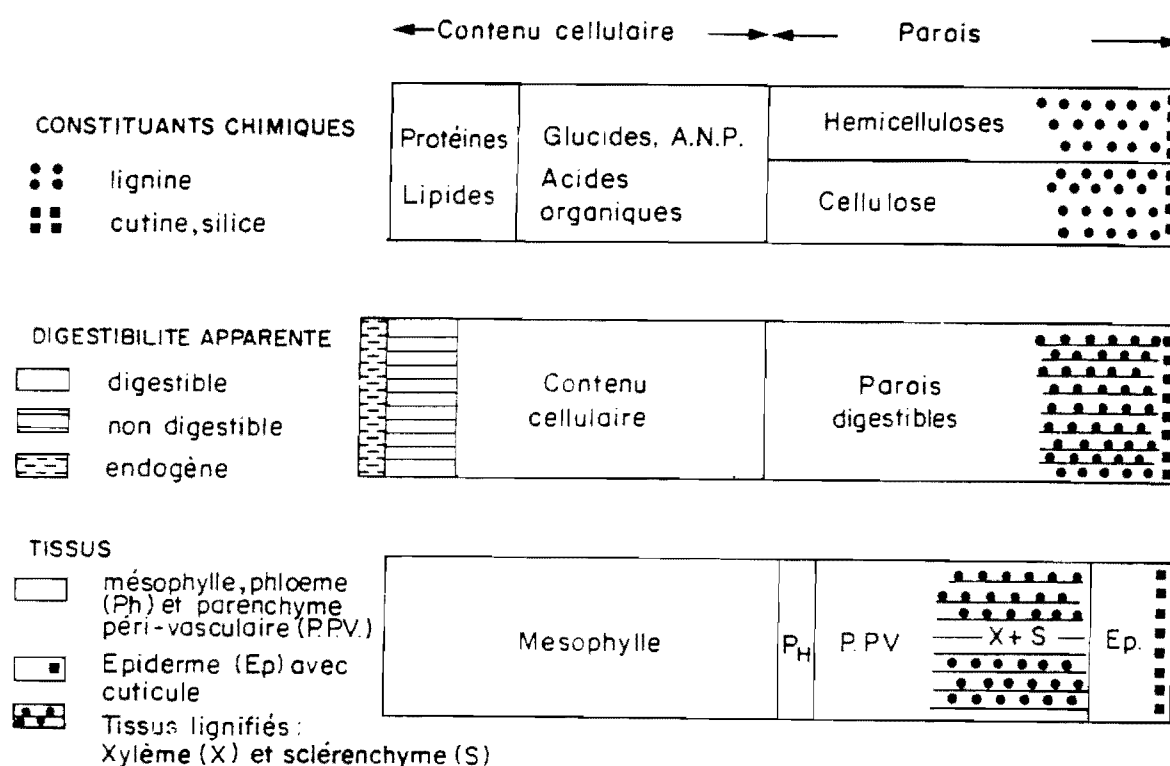
La digestibilité du contenu cellulaire est généralement élevée (proche de 1) et pratiquement constante (GRENET et BESLE, 1990). Ainsi, la digestibilité de la matière organique (d.MO) d'un fourrage dépend donc de celle des parois. Au plan nutritionnel, JARRIGE (1981) distingue deux types de constituants pariétaux (schéma 6).

- Une partie potentiellement digestible, correspondant aux tissus à parois minces et constitués de polyholosides non protégés de la dégradation microbienne par de la lignine ou de la cutine.

- Une partie totalement indigestible (indigestible pariétal) comprenant les tissus à parois épaisses dont les polyholosides sont protégés de l'attaque bactérienne par la lignine et la cutine. C'est pourquoi, la digestibilité des parois, donc des fourrages, est étroitement liée à leur teneur en lignine. Toutefois, en raison des difficultés analytiques (dosages) rencontrées avec la lignine (FONNESBECK, 1969 ; JARRIGE, 1981), la cellulose brute (CB) dosée par la méthode WEENDE, est le plus souvent utilisée comme critère analytique pour estimer la teneur en indigestible pariétal des fourrages. Plus récemment, d'autres critères sont proposés pour améliorer la précision des estimations. C'est le cas de la "teneur en parois totales ou Neutral Detergent Fiber (NDF)" et de la "lignocellulose ou Acid Detergent Fiber (ADF)" obtenues par des techniques de fractionnement développées par VAN SOEST (1963), et VAN SOEST et WINE (1967).

En général, la teneur en indigestible pariétal est plus élevée dans les tiges que dans les feuilles, s'accroît avec l'âge de la plante, plus élevée chez les graminées que chez les légumineuses. Elle est relativement faible pour les aliments concentrés. Les graines de céréales, de protéagineux et d'oléagineux en contiennent moins que leurs sous-produits (issues de meunerie, tourteaux). Les racines et les tubercules, ainsi que leurs sous-produits sont pauvres en indigestible pariétal (FONNESBECK, 1968 ; DEMARQUILLY *et al.*, 1978 ; JARRIGE, 1981).

Schéma 6 : Représentation schématique des constituants anatomiques et chimiques (organiques) d'un fourrage et de leur digestibilité (digestibilité de la matière organique : 0,70) (JARRIGE, 1981)



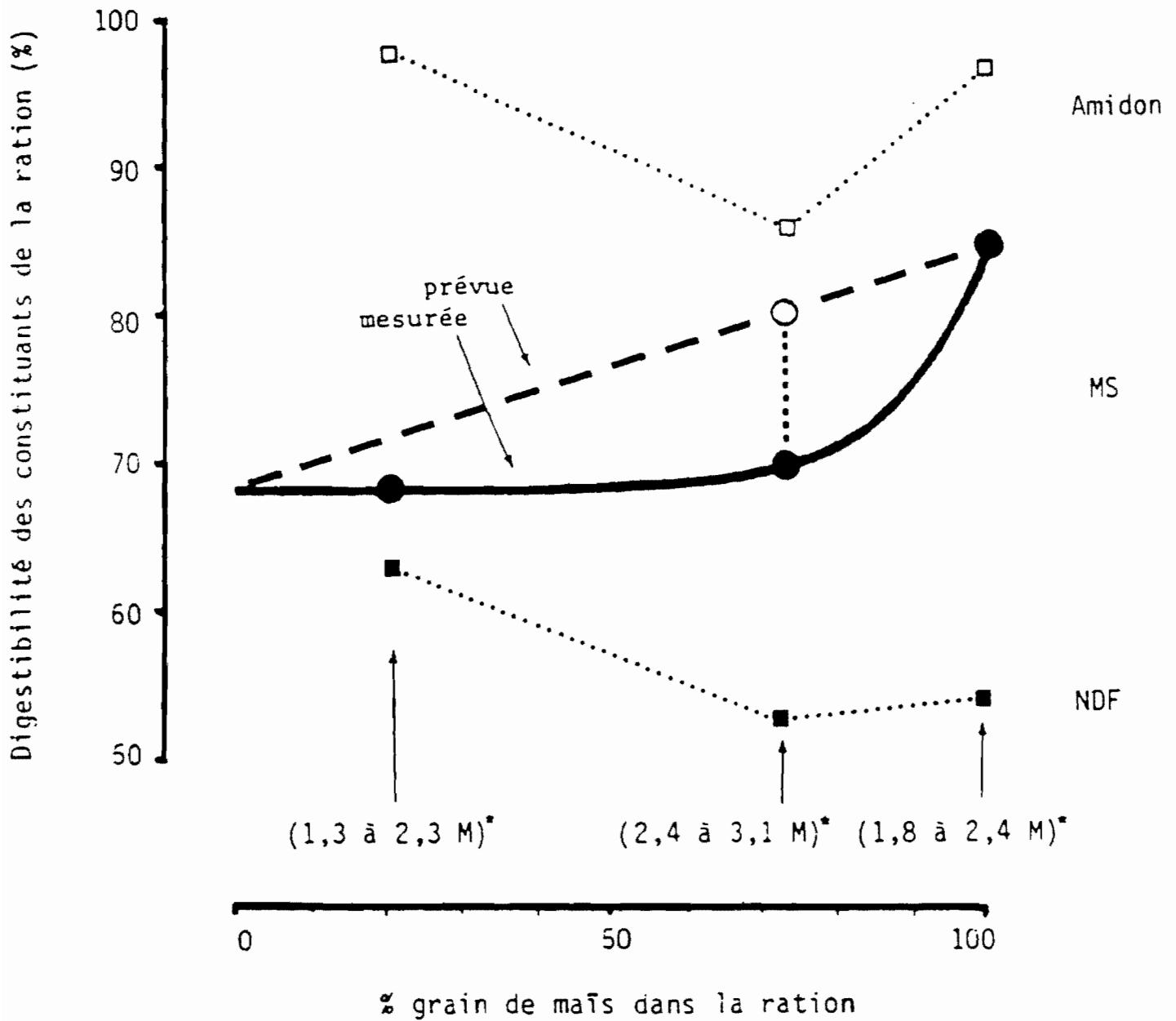
*** Variations liées à la forme de présentation du fourrage**

De nombreuses revues bibliographiques ont été consacrées à l'influence de la forme de présentation des aliments sur leur digestibilité. Le broyage et l'agglomération des fourrages se traduiraient par une diminution de leur digestibilité chez les ruminants mais améliore globalement le bilan énergétique (MINSON, 1962 ; GREENHALGH et WAINMAN, 1972). Ces auteurs soulignent néanmoins que l'amplitude de ces effets varie énormément d'un aliment à l'autre. Des observations similaires ont été faites chez les chevaux (FONNESBECK *et al.*, 1967 ; VAN DER NOOT et GILBREATH, 1970 ; CYMBALUK et CHRISTENSEN, 1986). Si le constat fait l'unanimité, l'identification et l'interprétation des mécanismes en cause sont très discutées. Pour certains, l'accélération de la vitesse de transit des aliments suite au broyage ou à l'agglomération serait le facteur déterminant de la baisse de digestibilité des parois (HINTZ et LOY, 1966 ; VAN SOEST, 1982). Pour d'autres, le comportement alimentaire des animaux serait en cause : pour un fourrage présenté en brins longs, les animaux ont tendance à trier les parties les plus digestibles de la plante; le broyage supprime cette possibilité (REYNOLDS et LINDAHL, 1960). Ces effets du traitement physique des fourrages sur leur digestibilité sont encore beaucoup plus discutés chez les équidés compte tenu du nombre limité de travaux disponibles. En condition d'alimentation limitée, WOLTER *et al.*, (1975) rapportent que le broyage entraîne une diminution de la digestibilité du foin de graminées chez les poneys tandis que HAENLEIN *et al.*, (1966) ne trouvent aucune différence entre le fourrage long et broyé si les animaux sont nourris *ad-libitum*. Plus récemment, CABRERA (1995) trouve que l'agglomération ne modifie pas la digestibilité apparente de l'azote chez le poney.

*** Effets des apports de concentrés : Inter-actions digestives entre fourrages et concentrés**

L'addition d'aliments concentrés aux fourrages distribués *ad-libitum* à des ruminants modifie, d'une part, les quantités de fourrages ingérées, et d'autre part, la digestibilité des constituants de la ration. Ces phénomènes sont connus sous le terme "d'interactions entre aliments". Les interactions concernant la digestibilité se traduisent, en général, par une valeur de digestibilité de la ration, mesurée sur l'animal, différente de celle calculée additivement en faisant la somme pondérée des digestibilités du fourrage et du concentré mesurées séparément (DEMARQUILLY *et al.*, 1978). On parle alors d'interaction digestive positive ou négative selon que la digestibilité mesurée de la ration globale est supérieure ou inférieure à la valeur attendue (fig. 3).

Figure 3 : Effet associatif de digestibilité chez des bovins recevant *ad libitum* de l'ensilage de maïs et un complément de graines de céréales.



Entre parenthèses* : niveau alimentaires approximatifs en multiples des besoins d'entretien. (JOANNING *et al.*, 1981)

Les principaux facteurs de variation connus des effets d'interactions digestives d'un aliment donné sont de quatre ordres :

- la proportion d'aliment concentré dans le fourrage : la digestibilité des parois diminue quand la proportion du concentré augmente au delà d'un certain seuil (DEMARQUILLY *et al.*, 1978 ; DULPHY et MICHALET - DOREAU, 1983 ; GUERIN et DULPHY, 1984) ;

- la nature du fourrage : les interactions négatives augmentent avec la teneur en cellulose brute du fourrage (DEMARQUILLY *et al.*, 1978) et sont particulièrement importantes dans le cas des pailles en présence de fortes doses de concentrés. Par contre, en présence de faibles quantités de concentrés, la digestibilité de la paille est améliorée (DULPHY et MICHALET - DOREAU, 1983) ;

- la nature du concentré : les interactions négatives sont plus fréquentes avec les concentrés à base de graines de céréales que lorsqu'il s'agit de concentrés moins riches en amidon comme les pulpes de tubercules et les sons de céréales (MULLER et BERANGER, 1979 ; VERITE et DULPHY, 1981). Par contre, les interactions négatives varient en sens inverse de la teneur en matières azotées totales (MAT) de la ration (DULPHY *et al.*, 1982 ; GUERIN et DULPHY, 1984) ;

- le niveau alimentaire des animaux : la digestibilité des fourrages varie en sens inverse du niveau de satisfaction des besoins de l'animal (JOANNING *et al.*, 1981 , ROBINSON *et al.*, 1987; EDIONW et OWEN, 1989).

Contrairement aux travaux menés chez les ruminants, les études sur les interactions digestives chez les équidés sont peu nombreuses et très récentes. Toutefois, beaucoup pensent que l'adjonction de concentrés aux fourrages ne modifie pas la digestion de ces derniers chez les équidés. Les interactions négatives observées chez les ruminants seraient dues au fait que les micro-organismes du rumen ont le choix entre l'amidon du concentré et les glucides pariétaux, plus difficiles à dégrader. Chez les équidés par contre, 70 à 95 % de l'amidon des concentrés sont dégradés dans l'intestin grêle tandis que la digestion des parois n'aura lieu que dans le gros intestin, en présence de peu de glucides facilement dégradables (HINTZ et HOUPPT, 1971 ; WOLTER et CHAABOUNI, 1979).

*** Facteurs de variation de la digestibilité liés à l'animal**

Compte tenu des interactions entre facteurs, il est difficile de dissocier les effets dûs à l'aliment et ceux se rapportant à l'animal isolément. Parmi les facteurs affectant la digestion des parois dans les réservoirs digestifs des herbivores et qui peuvent être attribués à l'animal, on peut citer :

- la résistance propre des parois à la mastication et aux attaques microbiennes ;
- le pouvoir fermentaire spécifique des réservoirs digestifs ;
- le temps de séjour des digesta dans le tractus digestif.

En résumé, on peut dire que les différences de digestion ou d'utilisation digestive des aliments existant entre les espèces d'herbivores peuvent déjà trouver un début d'explication dans les solutions anatomiques et physiologiques différentes que l'on observe chez les animaux. Le tableau 5 compare les principales espèces d'herbivores sur la base des trois principaux traits de leur physiologie digestive évoqués plus haut.

Globalement, il semble admis que les herbivores dont les fermenteurs sont situés avant l'intestin grêle soient plus efficaces dans la digestion des parois végétales que leurs homologues chez qui la digestion microbienne s'effectue après l'activité enzymatique intestinale (KOLLER *et al.*, 1978; DEMMENT et VAN SOEST, 1985 ; VAN SOEST *et al.*, 1983 ; MARTIN-ROSSET et DOREAU, 1984 ; ENGELHARDT *et al.*, 1985 ; MARTIN-ROSSET et DULPHY, 1987 ; DULPHY *et al.*, 1995...).

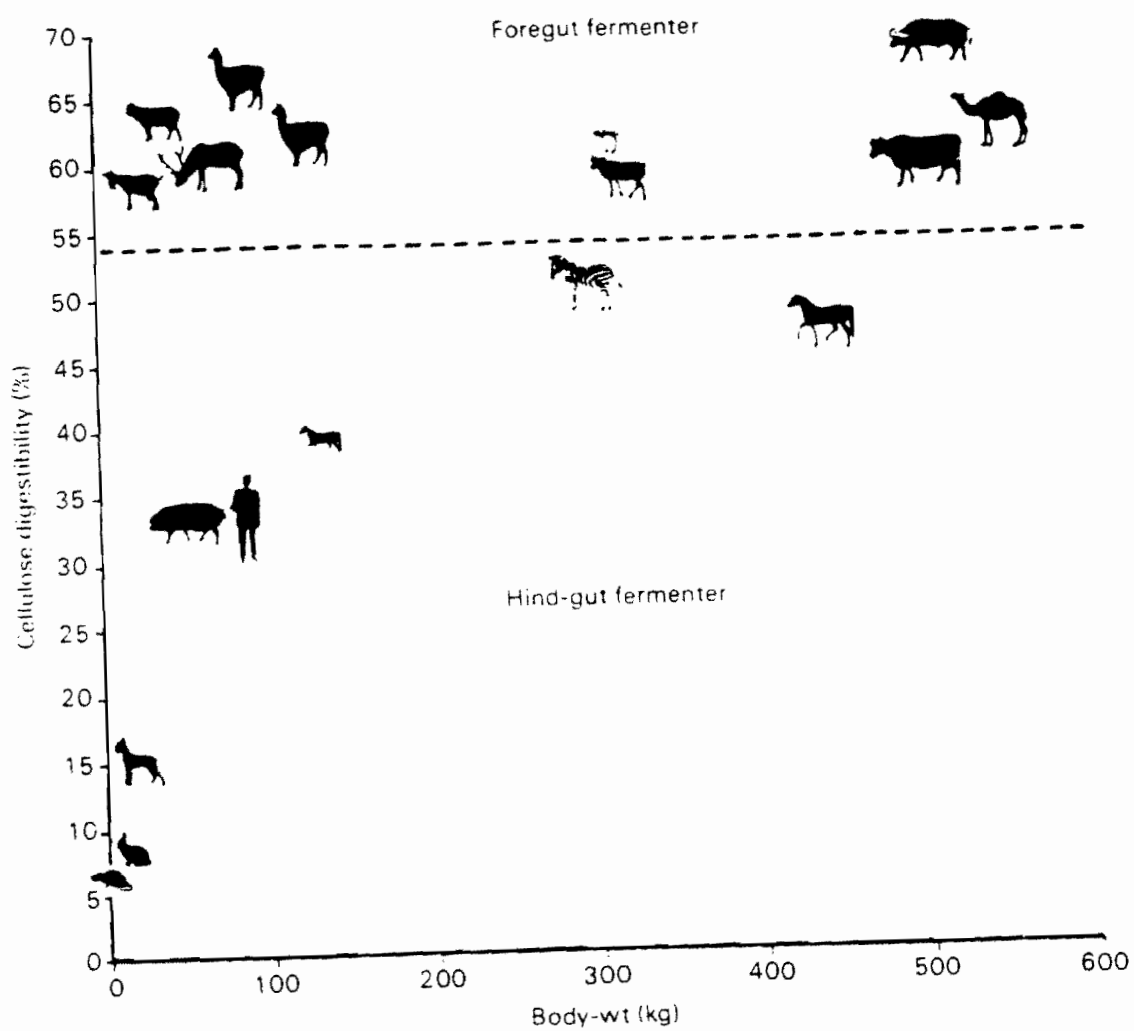
Tableau 5 : Physiologie digestive comparée entre les espèces étudiées, les ovins constituant le témoin (+ : plus élevé que chez les ovins, - : moins élevé que chez les ovins, ± : Comparable aux ovins, = : identique aux ovins)

	Caprins	Bovins	Cervidés	Camélidés	Equidés
Communion des aliments	+	-	=	-	-
Activités microbiennes	+ ⁽¹⁾	=	=	+	-
Temps de séjour de la MS					
- dans le rumen	-	+	-	+	-
- dans le caecum	+	-	-		-
Temps de séjour des liquides dans le réticulo-rumen	±	± / -	-	-	
Production de salive	+	±	±	± / +	±
Recyclage de l'azote	+	±	-	+	=

(1) Fourrages pauvres (DULPHY *et al.*, 1995)

Enfin, comme l'ingestibilité, la capacité digestive des herbivores semble être en rapport avec la taille de l'animal ou le volume des réservoirs digestifs (VAN SOEST *et al.*, 1983 ; ENGELHARDT *et al.*, 1985). La figure 4, met en évidence sur un même graphique l'influence du type de fermenteur digestif (polygastrique ou monogastrique) et du poids de l'animal sur l'efficacité de la digestion des parois cellulaires.

Figure 4 : Relation entre le poids vif et les capacités digestives des substances lignocellulosiques chez les ruminants et les monogastriques.



D'après ENGELHARDT SCHNEIDER (1977) et VAN SOEST (1982)

4.3. PARTICULARITES CHEZ L'ANE

Comparativement aux autres équidés domestiques (chevaux et poneys notamment), très peu d'études ont été consacrées à la connaissance de la physiologie digestive de l'âne. Pourtant, les quelques données disponibles et l'adaptation particulière de cet animal aux conditions de vie extrêmes des zones tropicales arides laissent penser que la physiologie digestive de cette espèce puisse présenter quelques particularités par rapport aux autres équidés.

Anatomiquement, le tube digestif de l'âne est semblable à celui des autres équidés. Cependant, BARONE (1976) signale que, proportionnellement au poids vif, la capacité relative des différents compartiments digestifs est plus importante chez l'âne. De même, il semble que le nombre de bactéries aérobies et anaérobies soit plus important dans le caecum de l'âne que dans celui des poneys (JULLIAND, 1991).

Par ailleurs, les travaux de SUFIT *et al.*, (1985), JONES *et al.* (1989) et MUELLER et HOUPPT (1991) révèlent que l'âne serait plus résistant à la carence d'eau que les autres équidés. Ces auteurs indiquent en effet qu'après une privation d'eau de 36 heures, la consommation volontaire d'aliment est réduite de 13 % seulement chez l'âne contre 32 % chez le poney. Une heure après la réalimentation en eau, la récupération du déficit est évaluée à 95 % chez l'âne, contre 63 % chez le poney. Plusieurs processus ou mécanismes sont avancés pour expliquer cette capacité d'économie de l'eau chez l'âne. En particulier, HUTCHINS (1984), observant que la teneur en eau des fécès est plus faible chez ce dernier pense que la réabsorption de l'eau serait plus efficace dans le colon de cette espèce.

Enfin, la plupart des auteurs s'accordent à reconnaître que les ânes possèdent aussi un pouvoir exceptionnel dans le recyclage de l'urée, surtout si le régime est carencé en azote (PRIOR *et al.*, 1974 ; IZRAELY *et al.*, 1989a et 1989b).

4.4. DIFFICULTES LIEES AUX ETUDES COMPARATIVES ENTRE ESPECES ANIMALES

Les quantités de matières sèches volontairement ingérées par les animaux sont le plus souvent exprimées en fonction du poids de l'animal. Deux modes d'expression sont couramment utilisés : le poids vif (PV) de l'animal et le poids métabolique ($P^{0.75}$). Pour comparer des espèces de tailles très différentes, il importe de porter une correction qui tienne compte du poids. Il est de plus en plus admis que le poids vif qui prend plus en compte le gabarit de l'animal soit le critère le plus pertinent pour comparer les capacités d'ingestion d'animaux très différents par la taille (DULPHY *et al.*, 1995). Par contre, la comparaison sur la base du poids métabolique permet une estimation du degré de satisfaction des besoins (KLEIBER, 1965).

Pour ce qui concerne la digestibilité, la donnée de base la plus déterminée est la digestibilité apparente de la ration ou de ses constituants. Celle-ci exprime le résultat final des processus digestifs, calculé selon la méthode de collecte intégrale des fécès.

Au delà des méthodes de collectes des données ou du choix du mode d'expression des résultats, il importe surtout, au plan théorique, de définir les conditions dans lesquelles devront s'effectuer toutes les comparaisons (ingestion, digestion, temps de transit, etc...). Pour comparer des espèces animales, celles-ci sont placées, en principe, dans des environnements comparables (alimentation, âge, sexe, stade physiologique, niveau d'ingestion, climat...). Parmi les facteurs aléatoires, la variabilité individuelle n'est pas à négliger. Dans un même lot d'animaux "comparables", les quantités ingérées varient de manière significative d'un individu à l'autre, même corrigées par rapport au poids vif ou métabolique. Le coefficient de variation de la matière sèche ingérée (MSI) serait relativement faible, de l'ordre de 2 %, ce qui correspond tout de même à des écarts potentiels de 5 points environ entre deux animaux d'un même lot. Un tel écart peut influencer significativement certaines comparaisons entre espèces, surtout si elles sont réalisées avec un nombre faible d'animaux (DULPHY *et al.*, 1995). Ainsi, parmi les conditions générales nécessaires à la validité des différentes mesures de digestibilité, DEMARQUILLY *et al.*, (1995) insistent sur deux points essentiels :

- une période pré-expérimentale ou d'adaptation au régime suffisamment longue, deux à trois semaines (RAYMOND *et al.*, 1953 ; CAMMEL, 1977 ; WAINMAN, 1977) pour permettre une bonne adaptation de la flore microbienne et s'assurer que la composition des fécès correspond uniquement au régime étudié ;

- une durée de la période expérimentale et un nombre d'animaux suffisants pour éviter d'une part, les erreurs dites de début et de fin de période du fait de l'excrétion fécale discontinue, et d'autre part, les différences de capacité digestive d'un animal à l'autre. Sur la base des données bibliographiques, la durée de la période de mesure varie selon les auteurs de 5 à 14 jours pour des effectifs d'animaux variant de 3 à 8.

CONCLUSION

Comme on peut le constater, les imprécisions ou les conclusions très diverses, voire contradictoires des résultats bibliographiques sur les comparaisons entre espèces animales, trouvent une bonne part de leur justification dans la diversité des méthodes et conditions expérimentales qui ont entouré les différents travaux. En particulier chez les équidés, même si les connaissances progressent, de nombreuses incertitudes demeurent et laissent penser qu'il n'est pas impossible que les conclusions actuelles puissent être significativement nuancées à l'avenir. Notre étude pourrait constituer de ce fait une contribution à l'enrichissement, voire l'approfondissement de l'état actuel des connaissances sur les mécanismes physiologiques connus ou supposés de l'adaptation des différentes espèces domestiques à la digestion et la valorisation des aliments lignocellulosiques. L'âne et le mouton ont été choisis pour des raisons différentes : le premier pour son rôle socio-économique reconnu dans la plupart des pays en voie de développement (transport, labours.) d'une part, et d'autre part, pour ses caractéristiques peu communes mais très mâles connues, lui permettant de vivre dans des conditions climatiques et nutritionnelles extrêmes. Le mouton a été choisi pour sa représentativité comme modèle aussi bien pour les études chez les ruminants que celles se rapportant aux comparaisons inter-espèces.

DEUXIEME PARTIE

ETUDE EXPERIMENTALE

INTRODUCTION

Toutes les expériences conduites dans le cadre de notre étude concourent à un seul objectif essentiel : situer la physiologie digestive de l'âne par rapport à celle du mouton afin de mieux comprendre et préciser les différences ou les variations d'efficacité d'utilisation digestive des parois végétales chez les ruminants et les monogastriques herbivores.

La couverture des besoins alimentaires de tout animal dépend avant tout de deux paramètres essentiels : la capacité d'ingestion de l'animal et la digestibilité de l'aliment ou de la ration. Notre étude a donc consisté à une caractérisation de ces deux composantes à travers l'appréciation des effets de leurs principaux facteurs de variation : la nature du fourrage (notamment sa valeur alimentaire), la forme de présentation de l'aliment, la nature des compléments ou des concentrés apportés dans les rations mixtes (fourrages/concentrés).

En complément de ces données d'ingestion et de digestion, nous avons mesuré certains paramètres caractéristiques, soit de l'activité microbienne au niveau du rumen et du caecum (pH, AGV, NH_3 , disparition *in situ* de contenus des sachets nylon), soit de la dynamique des digesta dans le tube digestif (transit digestif, temps de rétention). Ces informations complémentaires devraient fournir quelques éléments d'explication ou tout au moins, des indications supplémentaires sur les causes possibles des différences ou variations de réponses observées chez les deux espèces.

Huit essais ou expériences (E) se rapportant aux questions de recherche énoncées plus haut furent ainsi conduits et peuvent être regroupés en trois séries en fonction des objectifs spécifiques poursuivis :

- Série 1 : Mesures (*in vivo*) des capacités d'ingestion et de digestion chez les deux espèces (E1 et E2);
- Série 2 : Etudes comparées (*in vivo et in situ*) des pouvoirs fermentaires du rumen et du caecum (E3, E4, E5, E6 et E7) ;
- Série 3 : Effets comparés du niveau d'ingestion sur le transit digestif chez les deux espèces (E8). Les principaux objectifs et les caractéristiques spécifiques des différentes expériences sont synthétisés dans le tableau 6.

Tableau 6 : Caractéristiques principales et calendrier d'exécution des différentes expériences

N° essai (E)	Nature de l'expérience	Régime alimentaire	Animaux utilisés	Période/ Durée	Objectifs poursuivis
E1	Ingestibilité et digestibilité des fourrages (<i>in vivo</i>)	* Foin de luzerne/Dactyle * Foin de prairie * Paille de blé	Moutons et ânes non fistulés (6x4)	du 04/01/1993 au 03/04/1993	* apprécier l'influence de la nature du fourrage sur l'ingestion et la digestion chez les deux espèces
E2	Effet de la complémentation azotée ou énergétique sur l'ingestion et la digestion (<i>in vivo</i>)	* Paille mélassée * Paille + Maïs * Paille + Maïs + Urée * Paille + Maïs + Soja	Idem E1	du 03/01/1994 au 27/04/1994	* Comparer les effets respectifs de l'azote et de l'énergie sur l'utilisation digestive chez les deux espèces
E3	Dégradabilité <i>in situ</i> : influence de la nature du fourrage	Idem E1	Moutons et ânes porteurs de canules (4x3)	du 23/01/1994 au 23/04/1994	* Apprécier par la technique des sachets en nylon l'effet de la nature du fourrage sur l'activité microbienne du rumen et du caecum
E4	Effet de la complémentation azotée ou énergétique sur les fermentations microbiennes <i>in situ</i>	Idem E2	Idem - E3	du 31/01/1994 au 16/04/1994	* Comparer les effets respectifs de l'azote et de l'énergie sur le pouvoir fermentaire du rumen et du caecum/technique-sachets nylon
E5	Capacités digestives comparées entre le rumen et le caecum (<i>in sacco</i>)	* Paille mélassée * Maïs * tourteau de soja	Idem - E3	du 23/07/1993 au 15/09/1993	* Comparer dans des conditions alimentaires non limitantes, les pouvoirs fermentaires respectifs du rumen et du caecum
E6	Caractéristiques physico-chimiques du rumen et du caecum : effet de la nature du fourrage	Idem E1	Idem - E3	du 18/01/1993 au 27/04/1993	* Apprécier l'influence de la nature du fourrage sur les principaux paramètres fermentaires (pH, AGV, NH ₃)
E7	Caractéristiques physico-chimiques du rumen et du caecum : effet de la complémentation	Idem E2	Idem - E3	du 31/01/1994 au 16/04/1994	* Etudier l'influence de la complémentation sur l'évolution des paramètres fermentaires dans le rumen et le caecum
E8	Etude de transit digestif	* Paille mélassée	Idem - E3	du 17/11/1994 au 20/02/1995	* Apprécier l'influence du niveau d'ingestion sur le transit digestif chez les deux espèces

CHAPITRE I : MATERIEL ET METHODES

1.1. INGESTIBILITE ET DIGESTIBILITE IN VIVO (EXPERIENCES 1 ET 2)

Pour mieux apprécier les effets des principaux facteurs de variation de l'ingestibilité et de la digestibilité chez l'âne et le mouton, cette partie de l'étude a été conduite en deux étapes :

- dans un premier temps, nous avons tenté de déterminer les capacités respectives des deux espèces à ingérer et à digérer des fourrages de nature et de composition différentes (tab. 7), distribués seuls, à volonté et présentés sous forme hachée : (E1 : Influence de la nature du fourrage sur l'ingestion et la digestion).

- dans un deuxième temps, les effets de différents types de complémentation (énergétique et/ou azotée) sur l'ingestibilité et la digestibilité d'un fourrage pauvre (la paille) ont été étudiés chez les deux espèces. En particulier, l'azote étant le facteur limitant essentiel à l'utilisation efficiente de ces fourrages pauvres, l'influence de deux sources d'azote (protéique et non-protéique) a été testée : (E2 : Effet de la complémentation sur l'ingestion et la digestion).

1.1.1. Conditions communes aux études in vivo

** Animaux utilisées*

L'ensemble des essais d'ingestibilité et de digestibilité in vivo (E1 et E2) a été réalisé avec 6 moutons et 4 ânes mâles adultes pesant respectivement 80 ± 6 kg et 280 ± 30 kg de poids vif moyen.

** Alimentation*

Les rations journalières sont distribuées à volonté (10 % de refus) en deux repas égaux (8 h et 16 h). Les animaux disposaient en outre, d'eau et de blocs minéraux à volonté (composition des blocs en annexe).

** Dispositif et méthodes de mesures*

L'animalerie d'Epoisses qui a abrité tous nos essais est équipé d'un système de régulation thermique permettant le maintien à $18 \pm 1^\circ\text{C}$ la température intérieure en toute saison. Les quantités ingérées et la digestibilité des aliments ont pu alors être déterminées par périodes

Tableau 7 Formulation et composition chimique des aliments et des régimes utilisés

Ingrédients (en % MS)	Régimes (*)							Paille de référence	Luzerne de référence
	FLD	FP	PB	P	PM	PMU	PMTS		
Foin de luzerne/dactyle	100								
Foin de prairie naturelle		100							
Paille de blé			90	89	66	66	66		
Maïs					23	22	15		
Mélasses			10	10	10	10	10		
Tourteau de soja							8		
Urée						1			
Sel (CMV)				1	1	1	1		
TOTAL	100	100	100	100	100	100	100		
COMPOSITION CHIMIQUE(% MS)									
MO	90,3	90,2	93,3	92,7	94,1	94,0	93,8	91,8	91,9
CB	33,0	34,1	40,5	36,5	27,6	27,5	28,1	46,3	38,1
NDF	51,4	66,5	76,6	71,7	60,4	61,2	61,7	77,1	61,1
ADF	35,2	38,4	45,3	42,6	32,2	32,4	33,8	46,5	41,9
ADL	7,2	5,9	6,2	6,7	5,2	5,2	5,3	6,2	7,9
MAT	17,1	9,2	3,1	5,6	6,9	10,0	11,2	3,5	14,3
MM	9,6	8,5	6,7	7,3	5,9	6,0	6,2	8,4	9,3

(*) FLD = Foin de luzerne/Dactyle
 FP = Foin de Prairie naturelle
 PB = Paille de Blé
 P = Paille de Blé agglomérée

PM = Paille + Maïs agglomérés
 PMU = Paille + Maïs + Urée agglomérés
 PMTS = Paille + Maïs + Tourteau de soja agglomérés.

successives en fonction du nombre de régimes étudiés (3 dans le cas de E1 et 4 dans celui de E2). Chaque période comportait 3 semaines d'adaptation au régime (en cage individuelle au sol), suivi de 10 et 6 jours consécutifs de collecte totale et individuelle des fécès et des refus, respectivement chez les moutons et les ânes. Pendant ces périodes de mesures, les animaux sont maintenus dans des cages individuelles à bilan permettant le contrôle et la collecte des échantillons.

**** Traitement des échantillons et méthodes d'analyse chimique***

Tous les échantillons prélevés du jour sont immédiatement pesés "frais" et mis dans une étuve à 105°C pendant 24 heures en vue de la détermination de la matière sèche (MS). Chez les ânes toutefois, en raison de la teneur élevée en eau des fécès et de l'importance des quantités prélevées, 48 heures ont été souvent nécessaires pour obtenir un poids sec stable.

A la fin de chaque période de mesure, les échantillons journaliers sont cumulés par nature et par animal et un échantillon représentatif y est prélevé. Cet échantillon moyen est ensuite broyé à la grille de 1 mm et conditionné (flacon étiqueté) en vue des analyses chimiques ultérieures au laboratoire.

Les compositions chimiques des échantillons moyens cumulés (distribué, refus et fécès) ont été déterminés selon les techniques habituelles de l'analyse fourragère. Le dosage de la cellulose brute (CB) a été faite selon la méthode de WEENDE et celle des fractions NDF, ADF et ADL selon VAN SOEST et WINE (1967).

1.1.2. Matériel et méthodes spécifiques à E1 et E2

Il s'agit essentiellement de la nature ou de la composition des aliments. Le tableau 7 rassemble tous les ingrédients ayant servi à la formulation des rations étudiées.

**** Cas de l'expérience 1***

Trois fourrages différents par leur composition chimique (tab.7) ont été utilisés :

- un mélange (50/50) de bon foin de luzerne (légumineuse) et de dactyle (graminée) = FLD;

- un foin médiocre de prairie naturelle = FP ;
- et une paille de blé mélassée à 10 % = PB.

Ces trois fourrages ont été présentés hachés (3-5 cm) et distribués ad-libitum aux animaux dans les conditions telles que décrites au paragraphe 1.1.1

** Cas de l'expérience 2*

Trois rations à base de paille et de maïs, iso-énergétiques et/ou iso-azotées, se différenciant, soit par la nature du complément (énergie ou azote), soit par la source d'azote (tourteau de soja ou urée), sont comparées à une ration "témoin" constituée uniquement de paille mélassée (10 %).

Pour des raisons d'ordre technique, les rations étudiées ont été présentées sous forme d'agglomérés complets en bouchons de 8 mm de diamètre après broyage (broyeur à marteau) à la grille de 3 mm. Cette forme de présentation a été choisie pour deux raisons principales :

- assurer une bonne homogénéité des différents constituants de la ration, donc un meilleur contrôle des quantités ingérées (énergie et azote);
- éviter les problèmes de refus d'ingestion rencontrés habituellement chez les moutons avec les fourrages grossiers et pauvres en azote.

En raison de la prise en compte de cette contrainte technique de présentation, il est apparu nécessaire d'apprécier de façon indirecte, l'effet de l'agglomération (forme de présentation) sur l'ingestibilité et la digestibilité des rations par simple comparaison entre les résultats obtenus après agglomération et ceux de l'expérience 1 (paille hachée).

Pour tenir compte des particularités de la digestion ruminale et minimiser les risques d'acidose que pourrait occasionner cette forme de présentation chez les ruminants, chaque mouton a reçu en moyenne 100 à 150 g, soit environ $5 \text{ g.MS/kg.P}^{0.75}$ par jour de paille hachée en plus de sa ration. Par souci d'uniformité des conditions expérimentales, une quantité équivalente ($5 \text{ g.MS/kg.P}^{0.75}$) de paille a été distribuée aux ânes.

La formulation et la composition des différentes rations présentées sous forme agglomérée figurent dans le tableau.7 et se résument comme suit :

- Ration 1 : paille seule + 10 % de mélasse + sel = P ;
- Ration 2 : paille seule + 10 % de mélasse + sel +Maïs = PM ;
- Ration 3 : paille seule + 10 % de mélasse + sel + Maïs + Urée = PMU ;
- Ration 4 : paille seule + 10 % de mélasse + sel + Maïs + T. Soja = PMTS.

1.2. DEGRADABILITE IN SACCO (E3, E4, E5)

Les expériences 3 et 4 (E3 et E4) complètent et précisent les résultats obtenus in vivo (E1 et E2). Il s'agit d'apprécier, parallèlement à ces résultats in vivo, les effets in situ de la nature du fourrage (E3) ou du type de complément (E4) sur l'activité microbienne dans les compartiments digestifs de l'âne (caecum) et du mouton (rumen et caecum).

L'expérience 5 (E5) complète E3 et E4 avec pour objectif spécifique de comparer les pouvoirs fermentaires propres du rumen et du caecum, indépendamment du régime alimentaire.

1.2.1. Conditions communes aux études in sacco

**** Animaux et alimentation***

Pour tous les essais de dégradabilité nous avons utilisé 4 moutons et 3 ânes mâles adultes pesant, en début d'expérience 220 ± 40 et 78 ± 9 kg de poids vif en début d'expérience. Les moutons étaient porteurs de deux canules (du rumen et du caecum) et les ânes ne portaient que celle du caecum.

Comme pour les études de digestibilité in vivo, les rations journalières dont les compositions figurent dans le tableau 7 ont été distribuées en 2 repas égaux (8 h et 16 h). Durant les périodes de mesure qui sont toujours précédées de trois semaines d'adaptation à chaque régime, les animaux sont maintenus dans des box individuels permettant le bon déroulement des opérations de pose ou de retrait des sachets nylon.

**** Méthode utilisée***

Dans son principe, nous avons utilisé la "méthode des sachets nylon" telle que décrite par

DEMARQUILLY et CHENOST (1969), modifiée et adaptée aux ovins et caprins par ALRAHMDUN (1985), puis aux équidés par MIRAGLIA *et al.*, (1988). Toutes les adaptations ont été faites en respectant une règle fondamentale : un rapport-prise d'essai/unité de surface constant, soit 20 mg d'aliment/cm² et ce, quelque soit la taille des sachets nylon. Pour adapter les dimensions des sachets à la taille de nos canules (4-6 cm de diamètre) tout en respectant le rapport, poids de la prise d'essai par unité de surface recommandé, nous avons confectionné des sachets de 2,5 x 9 cm pour une prise d'essai de 0,7 à 0,8 g d'échantillon par sachet. Le tissu de toile nylon utilisé était à mailles de diamètre variant entre 41 et 46 microns.

*** *Traitement des échantillons et détermination de la dégradabilité***

Après confection et identification, les sachets vides sont séchés dans une étuve à 80°C pendant 48 heures. Ils sont ensuite pesés et sont remplis du fourrage ou de l'aliment à tester (prise d'essai) qui a été préalablement broyé dans un broyeur à marteau muni d'un tamis à mailles de 0,8 mm. Une fois rempli, chaque sachet est fermé par une double soudure à chaud délimitant un espace dans lequel sera placé un oeillet auquel sera attaché un fil nylon de 25 cm environ et qui servira au retrait (par la canule) des sachets après leur incubation dans le rumen ou dans le caecum (schéma en annexe). Après son retrait, chaque sachet est rincé sous un jet d'eau froide (robinet), puis congelé à (-15°C) jusqu'à la sortie du dernier sachet de la série de mesure. Une fois tous les sachets d'une même série retirés, l'ensemble est décongelé et est soumis à un rinçage à l'aide d'une machine à laver à raison de 3 à 5 cycles de cinq minutes chacun, jusqu'à l'obtention d'une eau de rinçage claire. Les sachets ainsi lavés sont ensuite séchés à l'étuve à 80°C pendant 48 heures.

La disparition du contenu des sachets (dégradabilité) est calculée selon la formule ci-après:

$$\text{Matière sèche disparue (\%)} = \frac{\text{Matière sèche initiale} - \text{Matière sèche résiduelle}}{\text{Matière sèche initiale}} \times 100$$

1.2.2. Matériel et méthodes spécifiques à chaque expérience

*** Cas de E3 et E4 : Influence de la nature du fourrage (E3) ou du type de complément (E4) sur l'activité microbienne dans le rumen et le caecum.**

Afin d'apprécier les effets de la nature du fourrage ou du type de complément sur l'activité microbienne, la dégradabilité en sachet nylon d'une même paille de référence, de composition connue (tab.7) à été étudiée chez les 4 moutons et les 3 ânes fistulés et nourris successivement avec les mêmes aliments et dans les mêmes conditions telles que décrites dans les expériences 1 et 2.

Pour rester dans des conditions expérimentales comparables. nous avons fixé arbitrairement le temps d'incubation de chaque sachet nylon à 24 heures pour tous les compartiments digestifs considérés : rumen (Ru 24) ; caecum-âne (CA 24) ; caecum-mouton (CM 24).

Les calculs de dégradabilité ont été réalisés sur la base de cinq répétitions par temps d'incubation et par animal.

*** Cas de E5 : Mise en évidence des capacités digestives comparées entre le rumen et le caecum.**

- aliments utilisés

Ici, tous les animaux (ânes et moutons) recevaient une ration équilibrée à base de paille, de maïs et de tourteau de soja dont la composition et la formulation figurent dans le tableau 7. La ration était servie au niveau des besoins d'entretien. Après une phase d'adaptation de 3 semaines au régime, la dégradabilité en sachet nylon de deux fourrages de référence, l'un de bonne qualité (luzerne) et l'autre pauvre (paille de blé), a été étudiée. La composition de ces deux fourrages figure également dans le tableau 7 ;

- technique utilisée et dispositif expérimental

Nous avons utilisé dans cette expérience, une technique particulière de dégradabilité en sachet nylon dite "technique des sachets croisés" (TISSERAND *et al.*, 1991) basée sur l'hypothèse suivante : "Si le potentiel de dégradation d'un compartiment digestif (C1) est supérieur à celui d'un deuxième compartiment (C2), le séjour du contenu d'un sachet nylon pendant un temps déterminé dans le

compartiment C1, suivi d'un deuxième séjour de durée équivalente dans le compartiment C2 devrait se traduire par une moindre dégradation du résidus restant dans le sachet après son passage dans C1, et inversement si le sachet était d'abord introduit dans le compartiment C2 avant de séjourner dans C1".

Ainsi, trois sachets nylon contenant un même fourrage (paille de blé ou foin de luzerne) sont incubés pendant 24 heures dans chacun des trois compartiments (rumen, caecum-âne, caecum-mouton). Au terme des 24 heures d'incubation, un des trois sachet issus de chaque compartiment est retenu et servira de référentiel de dégradabilité après 24 heures d'incubation dans ledit compartiment. Les deux autres sachets restants de chaque compartiment vont séjourner à nouveau 24 heures supplémentaires dans les compartiments digestifs autres que celui dont ils sont issus, d'où la notion de "sachets croisés". Ainsi, huit (8) traitements ou temps d'incubation ont été définis :

- traitement 1 : Séjour du sachet pendant 24 heures dans le rumen (Ru 24) ;
- traitement 2 : Séjour du sachet pendant 24 heures dans le caecum-âne (CA 24) ;
- traitement 3 : Séjour du sachet pendant 24 heures dans le caecum-mouton (CM 24);
- traitement 4 : Séjour du sachet RU24, suivi de CA24 (RU CA24) ;
- traitement 5 : Séjour du sachet RU24, suivi de CM24 (RU CM24) ;
- traitement 6 : Séjour du sachet CA24, suivi de RU24 (CA RU24) ;
- traitement 7 : Séjour du sachet CA24, suivi de CM24 (CA CM24) ;
- traitement 8 : Séjour du sachet CM24, suivi de CA24 (CM CA24).

Au total, cinq (5) répétitions par traitement et par animal ont été réalisées.

1.3. ETUDE DES PARAMETRES FERMENTAIRES (E6 ET E7)

Les valeurs de pH, les teneurs en azote ammoniacal (NH₃) et en acides gras volatils (AGV) ont souvent été utilisés comme des indicateurs privilégiés de l'activité microbienne se déroulant à l'intérieur des réservoirs digestifs des ruminants et des équidés. Ainsi, l'étude des paramètres fermentaires complète-t-elle celle de la dégradabilité in sacco. L'expérience 6 (E6) se superpose à l'expérience 3 (E3) et permet d'apprécier l'influence de la nature du fourrage sur l'évolution des paramètres fermentaires dans le rumen et le caecum. De même, l'expérience 7 (E7) étudie les effets de la complémentation sur l'évolution de ces mêmes paramètres et se déroule parallèlement à l'expérience 4 (E4).

**** Protocole expérimental***

A la fin de chaque période de mesures in sacco, trois prélèvements cinétiques de jus de rumen (moutons) et caecum (mouton et âne) ont été réalisés sur chaque animal. Toutefois, pour permettre aux différents compartiments digestifs (rumen et caecum) de reconstituer les meilleures conditions d'anaérobiose suite aux perturbations occasionnées par les mesures in sacco, les précautions suivantes sont prises :

- un délai d'attente de 72 heures minimum est observé entre la fin de chacune de ces périodes de mesures et le début des prélèvements de jus ;
- pour une même période de prélèvements (ensemble de trois journées cinétiques), les trois journées cinétiques se succèdent au rythme de 72 heures d'intervalle.

Pour chaque compartiment digestif, cinq points cinétiques ont été définis : un prélèvement avant le repas du matin (8h), puis les autres prélèvements se succèdent au rythme de toutes les deux heures après la distribution de celui-ci et se terminent avec la distribution du prochain repas qui a lieu à 16 h. Ainsi, ces points cinétiques ont été désignés par les chiffres 0, 2, 4, 6 et 8 heures (après le repas).

**** Traitement des échantillons et analyse ou dosage des paramètres***

Après prélèvement, le contenu de chaque compartiment est filtré au travers d'un gaze de coton et le pH du jus est mesuré immédiatement à l'aide d'un pH - mètre digital à affichage numérique. Par la suite, deux ou trois gouttes de chlorure de mercure (Hg Cl_2) sont ajoutées et mélangées à chaque échantillon de jus par agitation vigoureuse du flacon afin de bloquer toute multiplication microbienne éventuelle à l'intérieur de celui-ci après le prélèvement. Les différents échantillons sont ensuite placés au frais et expédiés au laboratoire pour l'analyse et le dosage des autres paramètres, chacun suivant des méthodes et des techniques spécifiques :

- les AGV : dosés par chromatographie en phase gazeuse ;
- le NH_3 : dosé par la technique de microdiffusion de CONWAY (méthode colorimétrique);
- les MAT : minéralisation selon la méthode KJELDAHL et le dosage colorimétrique est effectué sur auto-analyseur "TECHNICON" (forme automatisée de la méthode KJELDAHL).

1.4. ETUDE DE TRANSIT DIGESTIF (E8)

Indépendamment de la nature du fourrage, l'efficacité de l'activité microbienne dans les réservoirs digestifs dépend surtout de la durée d'exposition des aliments (temps de séjour) au contact des micro-organismes qui s'y trouvent. Or, parmi les facteurs influençant la vitesse de transit digestif des aliments, le niveau d'ingestion apparaît comme un paramètre déterminant. C'est pourquoi, en complément aux informations recueillies sur les pouvoirs fermentaires des divers compartiments digestifs (E3 à E7), une étude comparative de l'influence du niveau d'ingestion d'un même fourrage sur le temps de transit des digesta chez les deux espèces a été entreprise.

Parmi les diverses méthodes et techniques utilisées nous avons retenu celle des marqueurs externes par administration d'une dose unique de marqueur, soit par voie buccale, soit par l'intermédiaire des canules ruminales ou caecales. L'évolution de la concentration du marqueur dans ou à la sortie des compartiments a été utilisée pour la détermination des différents temps de séjours des digesta dans les divers compartiments.

** Animaux et conditions alimentaires*

Les quatre moutons et les trois ânes porteurs de canules telles que décrites dans les expériences de dégradabilité (E3 et E4) ont été utilisés. Ils étaient alimentés avec la même paille hachée et mélassée (10 %) utilisée dans les expériences de digestibilité (E1).

** Marqueurs utilisés et principes de mesure*

- **Chez l'âne**, trois marqueurs ont été utilisés : l'ytterbium (Yb) comme marqueur de la phase solide et distribué par la bouche en vue de la détermination du temps moyen de rétention (TMR) du fourrage (paille) dans l'ensemble du tube digestif de l'âne.

Les deux autres marqueurs utilisés chez l'âne et administrés dans le caecum au travers de la canule ont été le CoEDTA et le Thulium (Tm) pour marquer respectivement les phases liquide et solide et mesurer les TMR partiels (caecum ou gros intestin) de ces deux phases.

Pour les doses de marqueurs administrées, 64 g de paille marquée à l'Yb (dosant 2,33 g/l) ont été ingérés par les animaux mélangés dans 1/3 du repas normal non marqué. Le CoEDTA et le Tm

ont été administrés dans le caecum 2 heures après l'ingestion du repas marqué (estimation du délai d'attente pour l'arrivée du repas dans le caecum). Quarante grammes de particules fécales (ânes) marquées au Tm (3,46 g/l) et 100ml de solution de CoEDTA (dosant 380 mg Co) ont été utilisés.

La cinétique d'élimination des trois marqueurs dans le fécès a permis le calcul des TMR (total et partiels) des phases solide et liquide des digesta dans le tube digestif de l'âne selon la formule :

$$\text{TMR} = \frac{\sum m_i t_i}{\sum m_i}$$

où

m_i = quantité de marqueur excrétée pendant la $i^{\text{ème}}$ intervalle dont le milieu est distant de t_i du moment de l'introduction du marqueur.

- **Chez le mouton** : également, 3 marqueurs externes ont été utilisés : l'Yb, distribué par la bouche pour la phase particulaire, le CrEDTA et le CoEDTA pour les phases liquides et administrés respectivement dans le rumen et le caecum au travers des canules. Ainsi, 32 g de paille marquée à l'Yb (dosant 2,33 g/l) ont été ingérés par les moutons dans 1/3 du repas normal non marqué. Après l'ingestion du repas marqué, 120 ml de CrEDTA (solution de Binnert dosant 2,77 g Cr/l) et 70 ml de CoEDTA (dosant 380 mg Co) ont été administrés respectivement dans le rumen et dans le caecum du mouton au travers des canules.

Comme dans le cas de l'âne, les cinétiques d'élimination de l'Yb et du CrEDTA dans les fécès ont permis le calcul des TMR (totaux) des phases solide et liquide. Toutefois, la détermination des TMR partiels chez le mouton (Ruminant) présente quelques particularités :

- Détermination des TMR des particules dans le réticulo-rumen (TMR_{RR} part.)

Il est difficile à mesurer directement par prélèvement du contenu de rumen à différents temps après le repas marqué, comme on le fait classiquement pour la phase liquide. En effet, il est quasi-impossible de prélever un échantillon représentatif du contenu solide du réticulo-rumen (RR). Nous avons donc opté pour le "calcul par différence" en n'ignorant pas les limites objectives d'un tel

procédé. Selon cette technique :

$$\text{TMR}_{\text{RR part}} = \text{TMR}_{\text{TD part}} - \text{TMR post-rum. part.}$$

$$(1) \text{TMR}_{\text{post-rum. part}} = \text{TMR}_{\text{rum. liq}} + 2 \text{ h} \quad \left\{ \begin{array}{l} \text{2 heures étant l'écart estimé entre} \\ \text{les phases particulaire et liquide} \\ \text{dans le feuillet et la caillette} \end{array} \right.$$

(2) le TMR de la phase solide dans l'intestin grêle = à celui de la phase liquide. Ainsi:

$$\text{TMR}_{\text{post-rum. part.}} = \text{TMR}_{\text{TD part.}} - \text{TMR}_{\text{TD Liq.}} - \text{TMR}_{\text{RR liq.}} + 2 \text{ H}$$

(TMR en heures)

Une autre solution pour le calcul du TMR_{RR} nous est fournie par la modélisation des cinétiques de concentration des marqueurs dans les fécès (modèle de Grovum et Williams, 1973).

- Détermination du TMR de la phase liquide dans le RR

A cette fin, trois prélèvements de jus de rumen à 30 minutes d'intervalle ont été effectués 2 h 30 après l'administration dans le rumen de la dose de Cr EDTA. Les mêmes prélèvements ont été répétés 24 h plus tard. Ces deux séries de prélèvements ont permis la détermination des concentrations C1 (1ère série) et C2 (2e série) et par suite, le calcul du TMR de la phase liquide dans le rumen selon la formule :

$$\text{TMR}_{\text{RR liq.}} = \frac{1}{24} (\text{Log } C_1 - \text{Log } C_2)$$

Il est également possible d'avoir ce $\text{TMR}_{\text{RR liq.}}$ par modélisation de la cinétique de concentration du CrEDTA dans les fécès.

- Détermination des TMR des phases solide et liquide dans le gros intestin (GI). Ceux-ci sont

calculés à partir de la cinétique d'excrétion dans les fécès des doses de CrEDTA et CoEDTA introduites respectivement dans le rumen et dans le caecum.

*** Modalités de collecte des fécès chez les deux espèces**

Chez l'âne comme chez le mouton il a été opéré une collecte totale des fécès. Cette collecte a été faite à intervalles de temps croissants tels que présentés dans le tableau 8. Elle a débuté chez l'âne, 6 heures après la fin de l'ingestion du repas marqué et s'est poursuivie jusqu'à la 80^e heure. Chez le mouton, elle s'est étalée de la quatrième à la 172^e heure après l'administration du CoEDTA. Le tableau 8 résume les modalités de collecte des fécès chez les deux espèces.

Tableau 8 : Durées et intervalles de temps pour les collectes des fécès

Temps après ingestion des marqueurs (heures)	Intervalles de prélèvements (heures)	
	Anes	Moutons
0 - 4 heures	-	3
6 - 14 "	2	3
14 - 25 "	3	3
25 - 32 "	3	6
32 - 40 "	4	6
40 - 50 "	5	6
50 - 68 "	6	6
68 - 80 "	12	6
80 - 172 "	-	12

*** Dosage des marqueurs dans les fécès**

Il a été réalisé par spectrométrie d'absorption atomique après minéralisation au four à 550°C pendant 6 heures et reprise des cendres dans un mélange oxydant + KBr O₃ à ébullition (3 mn).

1.5. ANALYSE STATISTIQUE

Suivant le type d'expérience, les résultats ont été soumis à une analyse de variance à 2 ou 3 facteurs comportant souvent plusieurs niveaux de combinaisons :

- les essais de digestibilité comportaient deux facteurs (espèces et régime) avec deux modalités pour le premier (ovin et âne) et trois (cas de E1) ou quatre (cas de E4) niveaux pour le second facteur ;
- les essais de dégradabilité in sacco comportaient une combinaison de 3 facteurs (site de digestion, régime et temps de séjour) dont trois niveaux pour le premier (rumen, caecum - âne et caecum - mouton), 3 ou 4 modalités pour le second et un seul niveau pour le troisième facteur (24 h) ;
- les études sur les paramètres fermentaires comptaient aussi trois facteurs (site de prélèvement, régime et temps de prélèvement). Comme dans les essais précédents, il y avait trois niveaux de facteur pour le premier (Rumen, caecum-âne et caecum-mouton), 3 ou 4 modalités pour le deuxième. Le troisième facteur par contre comportait cinq niveaux (0, 2, 4, 6 et 8 heures après le repas).

Pour tous les paramètres étudiés et aux effets significatifs, des comparaisons simples ou multiples de moyennes ont été effectuées suivant le "modèle Général Linéaire" (Proc.GLM) du logiciel SAS (1988).

CHAPITRE II : RESULTATS

2.1. UTILISATION DIGESTIVE COMPARÉE DES FOURRAGES CHEZ LES DEUX ESPECES (E1)

2.1.1. Influence de la nature du fourrage sur l'ingestion

Le tableau 9 et les figures 5a et 5b présentent les résultats d'ingestion comparée des trois fourrages chez les deux espèces. Les quantités de matière sèche ingérées (MSI) ont été rapportées soit au poids vif (PV) de l'animal, soit à son poids métabolique ($P^{0.75}$).

Chez les deux espèces, les quantités ingérées ont diminué avec l'accroissement de la teneur en parois des fourrages, mais de manière plus significative chez le mouton que chez l'âne (tab. 9). Par comparaison au fourrage FLD, la MSI enregistrée avec FP et PB a, respectivement diminué de 21 et 53 % chez le mouton, contre seulement 4 et 30 % chez l'âne. Exprimée par rapport au poids vif, il n'apparaît plus de différence significative d'ingestion entre les deux espèces avec FLD. Dans ces conditions, les MSI ont été de 20,8 et 20,3g/kg.PV, respectivement chez l'âne et le mouton. Avec les fourrages riches en parois, la supériorité d'ingestion des ânes est hautement significative ($P < 0,001$), quel que soit le mode d'expression des résultats. Les rapports d'ingestion entre les deux espèces ont été de 1,2 et 1,5, respectivement, avec FP et PB en faveur de l'âne même quand les résultats sont exprimés en fonction du poids vif (tab.9).

2.1.2. Influence de la nature du fourrage sur la digestibilité

Les résultats de digestibilité des trois fourrages chez les deux espèces sont présentés dans le tableau 10 et indiquent que la digestibilité globale des trois fourrages a évolué en sens inverse de leur teneur en parois, aussi bien chez l'âne que chez le mouton. Avec le bon foin (FLD), il n'est apparu aucune différence de digestibilité entre les deux espèces. Par contre, avec FP et PB (riches en parois et pauvres en azote) des différences significatives ($P < 0,001$) sont apparues avec des écarts de 4 à 6 points (%) de digestibilité en faveur des moutons.

Tableau 9 : Ingestibilité comparée des trois fourrages entre l'âne et le mouton

Mode d'expression de l'ingéré	Constituants	FLD		FP		PB	
		Ane	Mouton	Ane	Mouton	Ane	Mouton
Ingéré (en g/kg.PV)	MS	20,8 ± 0,5 NS	20,3 ± 4,5	19,3 ± 0,9 *	16,0 ± 2,8	14,5 ± 1,0 **	9,7 ± 1,9
	MO	18,5 ± 0,4 NS	18,5 ± 4,0	18,2 ± 0,7 *	14,6 ± 2,5	13,3 ± 0,9 **	9,1 ± 1,7
	CB	7,0 ± 0,2 NS	6,6 ± 1,4	6,9 ± 0,2 *	5,4 ± 0,9	5,8 ± 0,4 **	4,0 ± 0,8
	NDF	10,9 ± 0,3 NS	10,2 ± 2,2	13,9 ± 0,6 *	10,2 ± 1,0	10,8 ± 0,7 **	7,6 ± 1,5
	ADF	7,4 ± 0,2 NS	7,1 ± 1,6	8,0 ± 0,3 *	5,8 ± 1,0	6,3 ± 0,4 **	4,5 ± 0,9
	Rapport - Ane/Mouton	1,02		1,21		1,50	
Ingéré (en g/kg.P ^{0,75})	MS	85,2 ± 5,7 ***	62,8 ± 11,5	81,9 ± 7,1 ***	49,6 ± 8,5	59,3 ± 5,7 ***	29,5 ± 5,2
	MO	77,0 ± 5,1 ***	56,7 ± 10,4	77,4 ± 6,4 ***	44,9 ± 7,4	54,6 ± 5,3 ***	27,5 ± 4,9
	CB	28,5 ± 1,9 ***	20,4 ± 3,7	29,4 ± 2,3 ***	16,7 ± 2,6	23,7 ± 2,4 ***	12,1 ± 2,2
	NDF	44,5 ± 3,1 ***	31,6 ± 5,8	58,8 ± 4,7 ***	31,6 ± 2,9	44,2 ± 4,4 ***	22,9 ± 4,1
	ADF	30,2 ± 2,1 ***	21,9 ± 4,0	34,1 ± 2,7 ***	17,8 ± 2,9	25,9 ± 2,6 ***	13,6 ± 2,5
	Rapport - Ane/Mouton	1,36		1,65		2,01	

NS : Différences non significatives à P<0,05 entre les deux espèces

** : Différences significatives à P<0,01 entre les deux espèces

* : Différences significatives à P<0,05 entre les deux espèces

*** : Différences significatives à P<0,001 entre les deux espèces

L'analyse de la digestibilité des parois (CB, NDF et ADF) révèle des différences notables entre les deux espèces. La digestibilité de la CB, du NDF et de l'ADF chez le mouton augmente avec la teneur en parois du fourrage. En passant de FLD à PB, la digestibilité chez cette espèce de ces trois paramètres est améliorée de 12, de 6 et de 10 points, respectivement pour la CB, le NDF et l'ADF (tab. 10). Chez l'âne, par contre, la digestibilité de ces mêmes constituants pariétaux a été très peu influencée par la teneur en parois du fourrage : les écarts de digestibilité observés lorsqu'on passe de FLD à PB ont été de +1 ; -2 et -1 points, respectivement pour CB, NDF et ADF.

Quel que soit le fourrage considéré, la quantité de matière organique digestible ingérée (MODI) par kg de poids métabolique ($P^{0.75}$) est significativement ($P < 0,001$) plus élevée chez les ânes. En moyenne, ces derniers ont ingéré 10 à 15 g de MOD/kg. $P^{0.75}$ de plus que les moutons (tab.10).

Figure 5a : Ingestion comparée entre l'âne et le mouton (g.MSI/kg.PV)

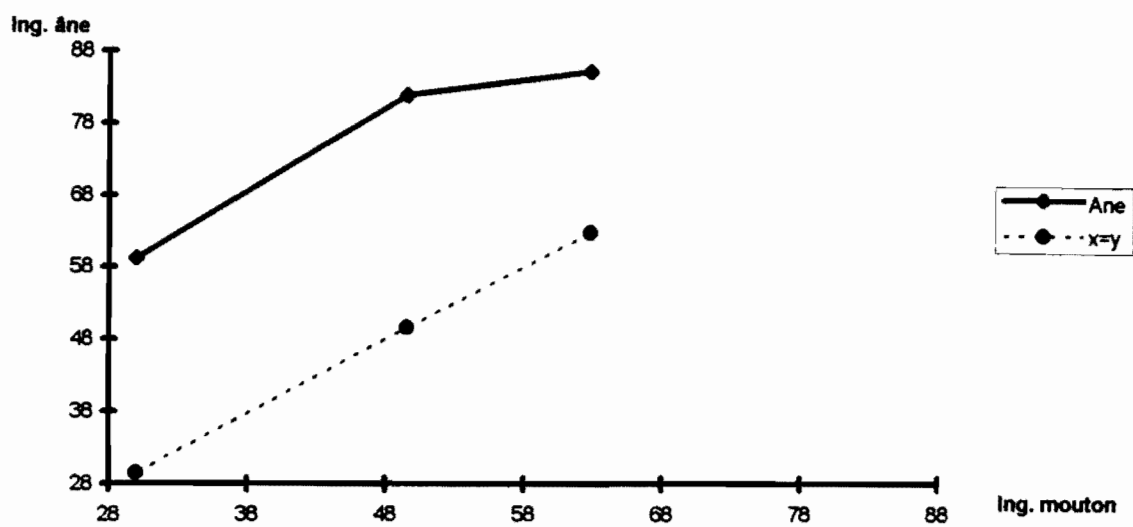
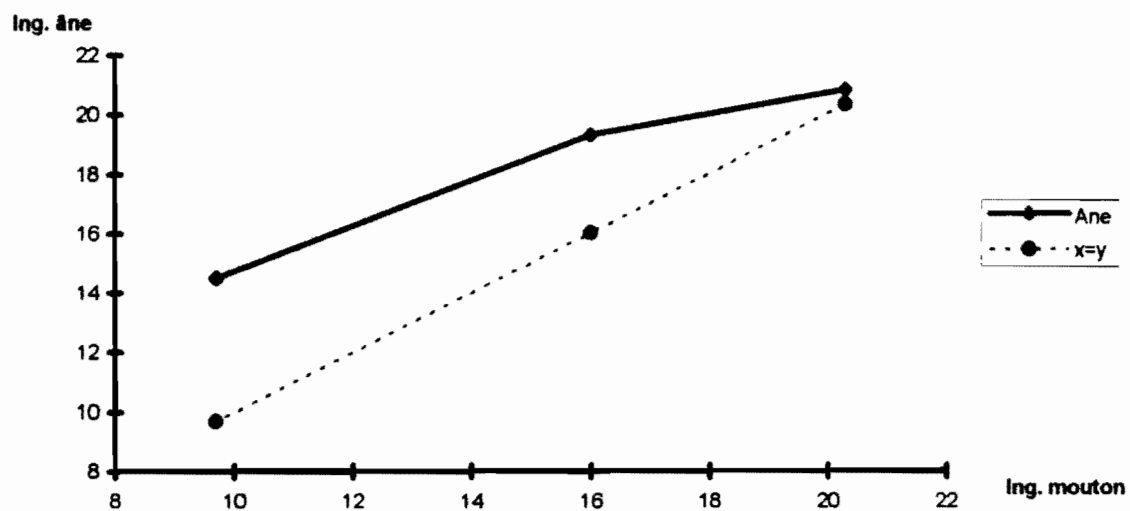


Figure 5b : Ingestion comparée (g.MSI/kg $p^{0.75}$)



x = ingéré-mouton ; y = ingéré-âne

2.2. EFFETS COMPARES DE LA COMPLEMENTATION AZOTEE ET/OU ENERGETIQUE SUR L'UTILISATION DIGESTIVE DE LA PAILLE AGGLOMEREES

2.2.1. Effet de la forme de présentation sur l'ingestion et la digestion (E1/E2)

** Effet sur l'ingestion*

La figure 6 illustre bien les effets de la forme de présentation (hachée/agglomérée) sur la capacité d'ingestion chez les deux espèces. Globalement, l'agglomération a amélioré l'ingestion chez les deux espèces, mais de manière plus significative chez le mouton. En effet, la matière sèche ingérée (MSI) s'est accrue de plus de 55 % avec la forme agglomérée (comparativement à la paille hachée) chez le mouton et seulement de 14 % chez l'âne (tab. 9 et 11). Rapporté au poids vif, il n'apparaît plus de différence d'ingestion ($P < 0,05$) entre les deux espèces (16,6 g. MS/kg PV chez l'âne, contre 15,6 g chez le mouton) comme c'était le cas avec la paille hachée (tab. 9). Néanmoins, la supériorité d'ingestion des ânes demeure manifeste quelle que soit la forme de présentation si les résultats sont rapportés au poids métabolique (fig. 10).

** Effet sur la digestibilité*

Les figures 7a et 7b résument les effets comparés de la forme de présentation (agglomérée/hachée) de la paille sur la digestibilité chez les deux espèces. Chez le mouton (fig. 7a) l'agglomération a entraîné une baisse significative de la digestibilité des différents constituants : -2,8 ; -4,0 ; -3,2 et -3,5 points, respectivement pour la MO, la CB, le NDF et l'ADF. Chez l'âne par contre, l'agglomération a plutôt amélioré la digestibilité de ces mêmes constituants, respectivement de +4,1 ; +3,5 ; +4,0 et 0,4 points (figure 7b). Au total, il n'apparaît plus de différence de digestibilité entre l'âne et le mouton lorsque la paille est présentée sous forme agglomérée et distribuée ad-libitum.

Tableau 10 : Utilisation digestive comparée des trois fourrages entre l'âne et le mouton

Fourrages	Constituants	Digestibilité (en %)		Matière digestible ingérée (en g/kg. P ^{0,75})	
		âne	mouton	âne	mouton
Foin de Luzerne /Dactyle	MS	60,9 ± 1,9 NS	59,5 ± 2,8	51,9 ± 4,3 ***	37,6 ± 7,1
	MO	61,2 ± 1,9 NS	60,1 ± 2,8	47,1 ± 3,9 *	34,3 ± 6,7
	CB	47,5 ± 3,2 NS	45,1 ± 4,2	13,5 ± 1,4 *	9,3 ± 2,0
	NDF	48,9 ± 3,2 NS	48,5 ± 4,0	21,5 ± 2,2 *	15,2 ± 3,9
	ADF	46,9 ± 3,4 NS	45,4 ± 4,5	14,2 ± 1,5 *	9,9 ± 2,8
	NDS	74,7 ± 1,6 *	70,5 ± 2,6	-	-
Foin de Prairie	MS	48,2 ± 1,7 **	53,2 ± 8,7	39,3 ± 4,2 ***	26,3 ± 4,6
	MO	51,7 ± 1,6 **	56,5 ± 3,5	40,0 ± 3,6 ***	25,3 ± 4,1
	CB	46,1 ± 2,8 **	57,2 ± 4,2	13,5 ± 0,8 ***	9,5 ± 1,3
	NDF	48,6 ± 2,4 **	56,2 ± 4,4	28,5 ± 1,7 ***	17,7 ± 2,9
	ADF	45,3 ± 2,7 **	53,5 ± 4,8	15,4 ± 0,9 ***	9,5 ± 1,7
	NDS	50,4 ± 0,5 *	47,9 ± 1,7	-	-
Paille de Blé	MS	42,4 ± 4,2 **	48,4 ± 4,7	25,2 ± 4,0 ***	14,3 ± 3,1
	MO	44,5 ± 4,2 **	50,9 ± 4,7	24,4 ± 3,8 ***	14,0 ± 3,0
	CB	48,9 ± 4,0 ***	57,3 ± 4,1	11,6 ± 1,5 ***	6,9 ± 1,5
	NDF	47,1 ± 4,7 ***	54,9 ± 4,8	20,8 ± 3,0 ***	12,6 ± 2,7
	ADF	46,1 ± 5,8 ***	55,1 ± 4,7	11,9 ± 207 ***	7,5 ± 1,7
	NDS	32,3 ± 2,3 ***	26,7 ± 2,3	-	-

NS : Différences non significatives à P<0,05 entre les deux espèces

* : Différences significatives à P<0,05 entre les deux espèces

** : Différences significatives à P<0,01 entre les deux espèces

*** : Différences significatives à P<0,001 entre les deux espèces

Figure 6 : Influence de la forme de présentation sur l'ingestion

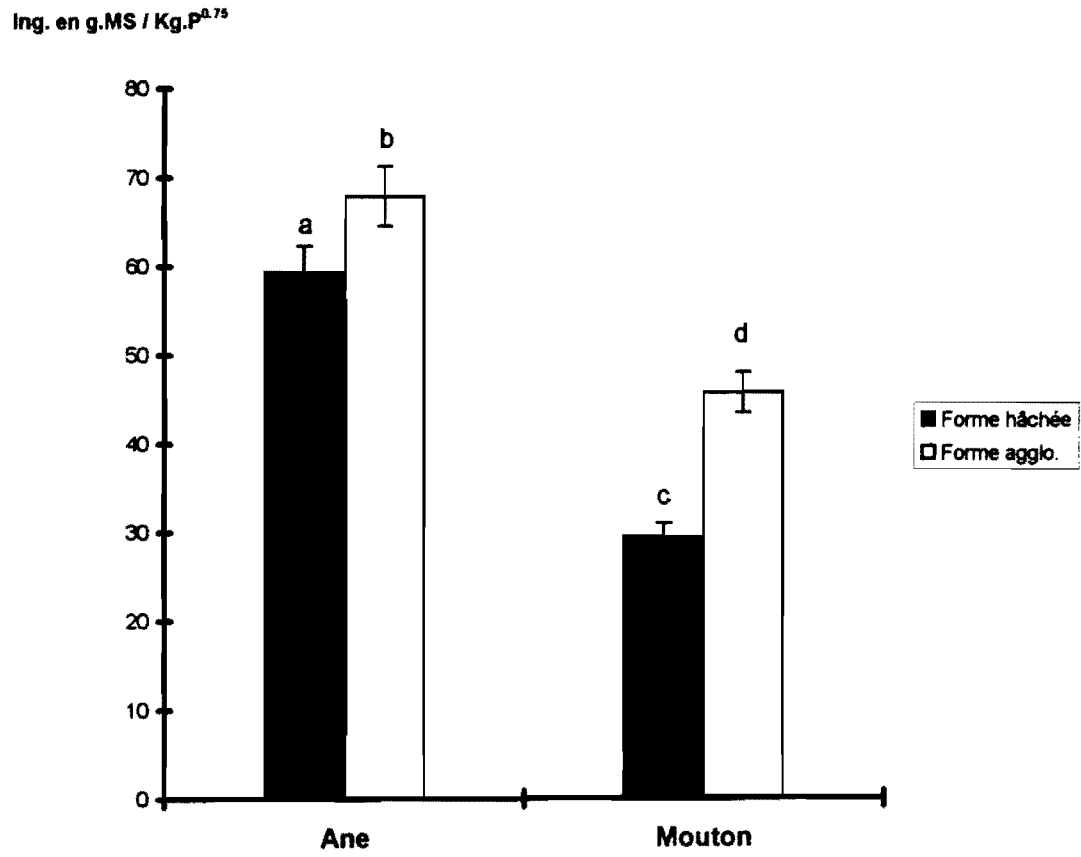


Figure 7a : Effets de l'agglomération sur la digestibilité chez le mouton

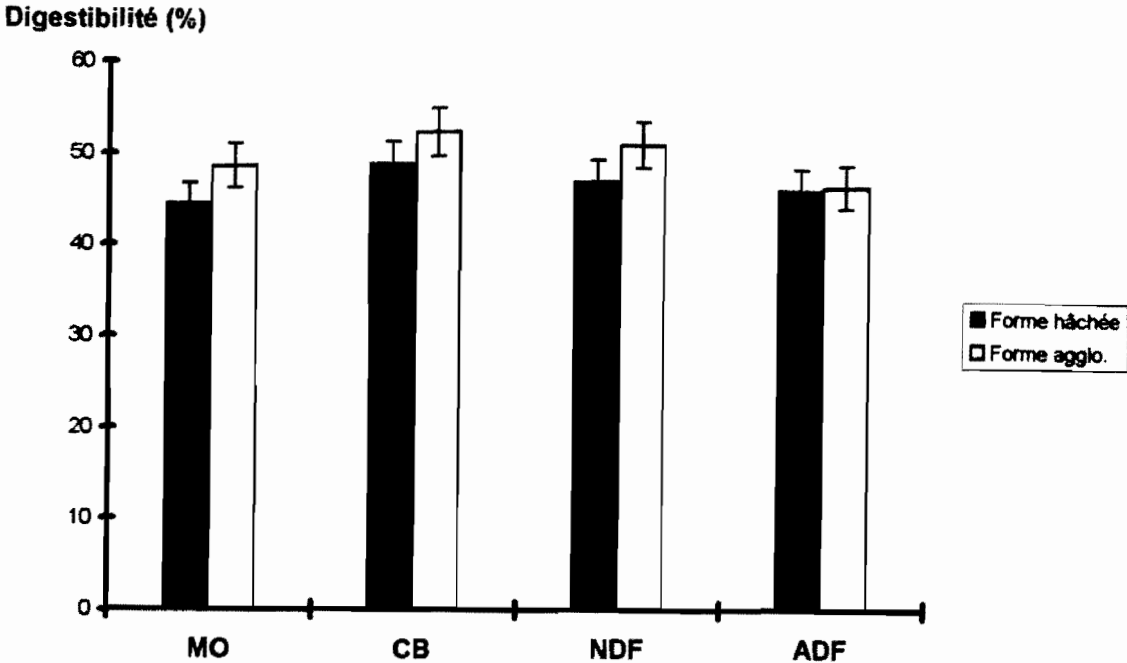
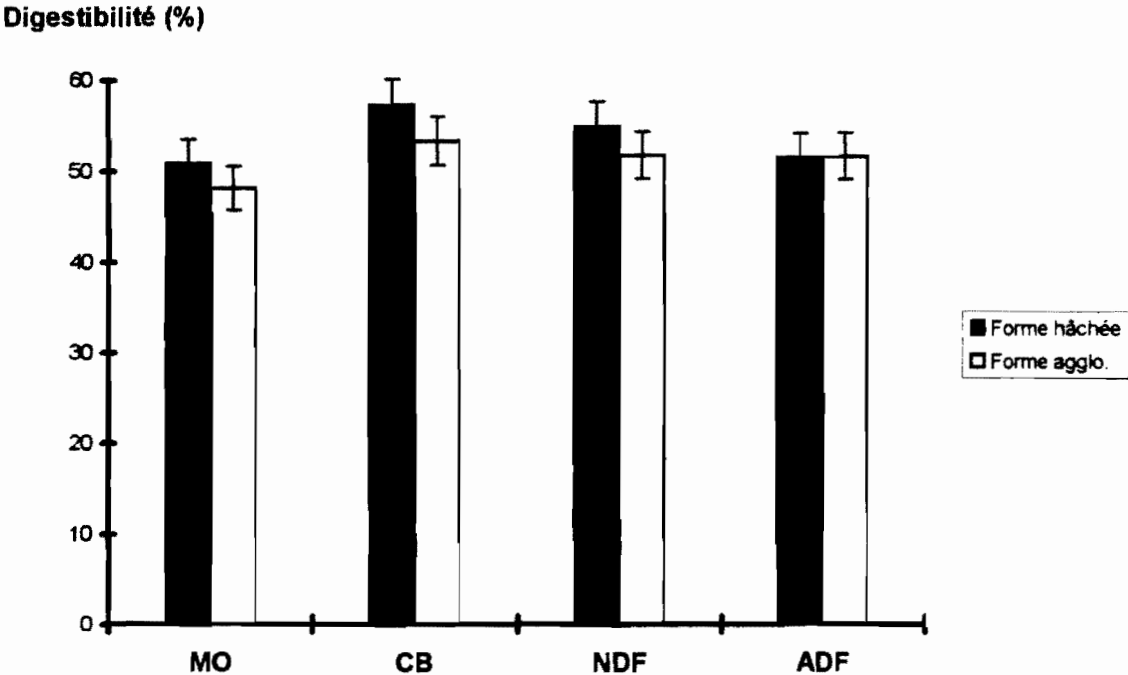


Figure 7b : Effets de l'agglomération sur la digestibilité chez l'âne



2.2.2. Effet de la complémentation sur l'ingestion et la digestibilité de la paille agglomérée (E2)

**** Effet de la nature du complément sur l'ingestion***

Les résultats d'ingestion rapportés dans le tableau 11 et les figures 8a et 8b indiquent que la complémentation a eu des effets variables sur les quantités ingérées chez les deux espèces.

Chez le mouton, le régime "paille-maïs" (PM) n'a eu aucun effet significatif, comparativement au témoin (P), sur les quantités ingérées (tab. 11). Par contre, avec les régimes "paille-maïs-tourteau de soja" (PMTS) et "paille-maïs-urée (PMU), le niveau d'ingestion a été significativement ($P < 0,001$) amélioré. Toutefois, il n'est apparu aucune différence significative entre les effets des deux sources d'azote (protéique, et non protéique) que représentent respectivement le tourteau de soja et l'urée (fig. 8a).

Chez l'âne, les différents types de complémentation ont eu des effets comparables à ceux observés chez le mouton. Cependant, en valeur absolue les résultats d'ingestion sont plus élevés avec le régime PMTS, comparativement à PMU (fig. 8b.).

Exprimé en fonction du poids vif, il n'existe aucune différence d'ingestion entre les deux espèces, quel que soit le complément apporté (tab.11). Néanmoins, les moutons ont tendance à mieux ingérer que les ânes dans le cas du régime PMU alors que dans la plupart des cas, c'est l'inverse qui est observé. Enfin, quel que soit le type de complément, les rapports d'ingestion sont en faveur des ânes dès que les résultats sont exprimés par rapport au poids métabolique : ils varient de 1,3 à 1,5 mais restent en deçà de celui enregistré avec la paille hachée (2,0).

**** Effet de la nature du complément sur la digestibilité***

Deux types d'effets ont été analysés : l'influence de la complémentation sur la digestibilité de la ration totale et celle sur la digestibilité de la paille seule (digestibilité partielle) obtenue par différence entre la digestibilité totale mesurée de la ration et celle calculée théoriquement (à partir des tables INRA, 1988) des concentrés utilisés comme compléments.

- Digestibilité totale de la ration

La digestibilité des différents constituants de chaque régime figure dans le tableau 12 et montre que celle-ci varie suivant le type de complément et aussi l'espèce.

- Digestibilité de la matière organique (d.MO)

Comparativement à la ration témoin (P), la d.MO a augmenté de façon significative chez les deux espèces, et ce, quelle que soit la forme de la complémentation. Chez le mouton, l'amélioration de la d.MO a été de l'ordre de +3,7 ; +5,1 et +7,0 points (%), respectivement pour PM ; PMU et PMTS alors que chez l'âne, celle-ci a été en moyenne de +8,7 ; +6,8 et +6,6 points, respectivement pour les mêmes régimes.

Tableau 11 : Effet de la nature du complément sur l'ingestibilité chez l'âne et le mouton

Mode d'expression de l'ingéré	Constituants	P		PM		PMU		PMTS	
		âne	mouton	âne	mouton	âne	mouton	âne	mouton
Ingéré (en g/kg.pv)	MS	16,6 ± 0,5 NS	15,6 ± 2,0	16,1 ± 1,0 NS	16,0 ± 1,7	17,2 ± 2,8 NS	19,6 ± 1,5	19,3 ± 1,2 NS	19,6 ± 0,9
	MO	15,4 ± 0,4 NS	14,7 ± 1,5	15,1 ± 0,9 NS	15,3 ± 1,1	16,1 ± 2,6 NS	18,4 ± 1,4	18,0 ± 1,1 NS	18,4 ± 0,8
	CB	6,4 ± 0,2 NS	6,4 ± 0,7	5,8 ± 0,4 NS	5,8 ± 0,4	6,2 ± 0,9 NS	7,2 ± 0,5	7,0 ± 0,4 NS	7,2 ± 0,3
	NDF	12,5 ± 0,3 NS	12,4 ± 1,3	11,6 ± 0,7 NS	12,1 ± 0,8	12,0 ± 1,9 NS	14,3 ± 1,1	13,5 ± 0,8 NS	14,3 ± 0,6
	ADF	7,3 ± 0,2 NS	7,5 ± 0,8	6,9 ± 0,4 NS	7,0 ± 0,5	7,2 ± 1,1 NS	8,5 ± 0,7	8,1 ± 0,5 NS	8,5 ± 0,4
	Rapport - Ane/Mouton		1,06		1,00		0,88		0,98
Ingéré (en g/kg.p ^{0,75})	MS	67,9 ± 3,7 ***	45,8 ± 5,8	66,2 ± 5,5 ***	47,9 ± 3,4	73,9 ± 8,4 ***	57,9 ± 4,2	79,4 ± 3,6 ***	58,5 ± 1,9
	MO	63,1 ± 3,2 ***	42,7 ± 5,5	61,9 ± 5,1 ***	45,1 ± 2,5	69,2 ± 7,6 ***	54,4 ± 3,9	74,2 ± 3,4 ***	54,7 ± 1,8
	CB	26,1 ± 1,3 ***	18,7 ± 2,4	23,8 ± 2,0 ***	17,2 ± 1,0	26,3 ± 2,8 ***	21,2 ± 1,5	28,7 ± 1,3 ***	21,3 ± 0,7
	NDF	51,3 ± 2,6 ***	36,1 ± 4,6	47,7 ± 3,9 ***	35,5 ± 2,0	51,4 ± 5,6 ***	42,4 ± 3,1	55,6 ± 2,5 ***	42,6 ± 1,4
	ADF	29,9 ± 1,5 ***	21,9 ± 2,6	28,2 ± 2,3 ***	20,6 ± 1,2	30,7 ± 3,3 ***	25,0 ± 2,0	33,4 ± 1,5 ***	25,2 ± 1,3
	Rapport - Ane/Mouton		1,48		1,38		1,28		1,36

NS : différences non significatives à P<0,05 entre les deux espèces

*** : différences significatives à P<0,001 entre les deux espèces

Figure 8a : Effets de la nature du complément sur l'ingestion chez le mouton

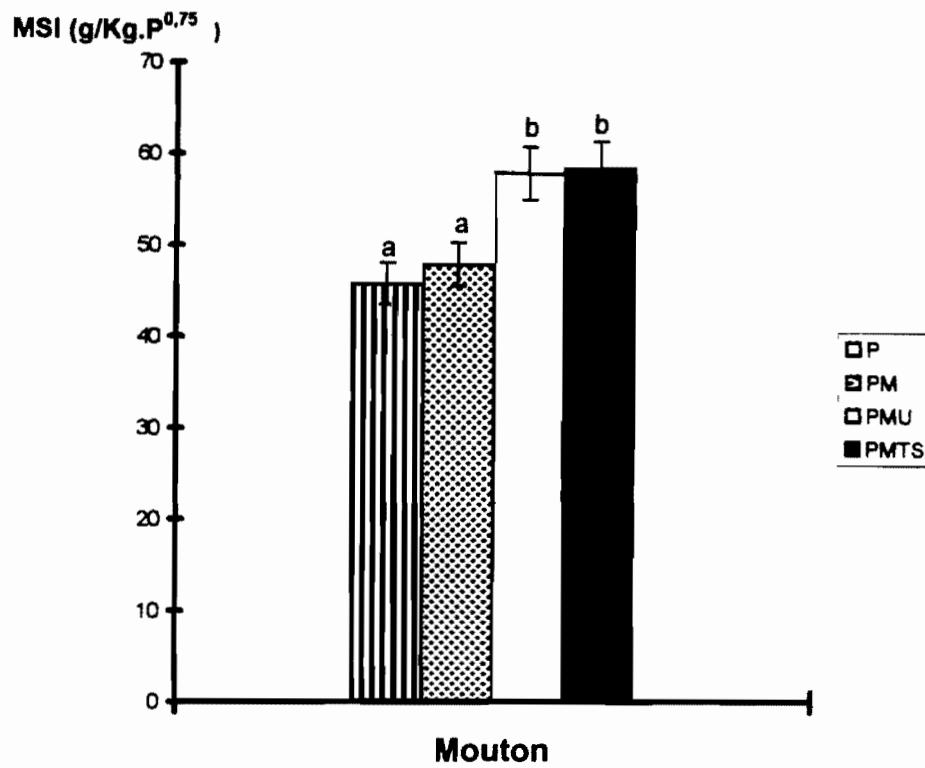
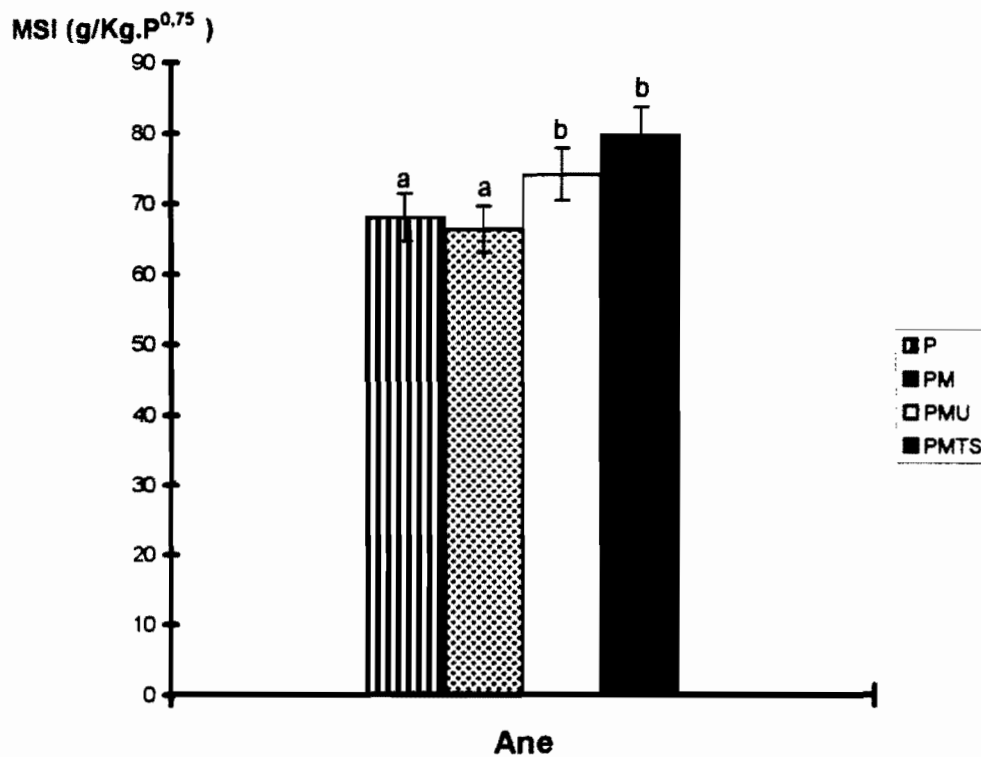


Figure 8b : Effets de la nature du complément sur l'ingestion chez l'âne



- Digestibilité des parois (CB, NDF et ADF)

Chez le mouton, quel que soit le constituant pariétal et le complément considérés, il n'est apparu aucune différence significative de digestibilité avec le régime témoin, bien que les valeurs absolues indiquent une tendance à la hausse de cette digestibilité. Chez l'âne, les mêmes observations peuvent être faites, excepté le régime PM qui a entraîné une amélioration significative ($P < 0,05$) de la digestibilité des parois de 5 à 8 points (tab. 12).

Excepté le régime PM pour lequel la digestibilité chez l'âne est significativement plus élevée, les deux espèces ont des digestibilités comparables pour tous les autres régimes. Toutefois, la MODI/kg $P^{0.75}$ est à l'avantage des ânes, quel que soit le régime considéré. Ceux-ci ont ingéré en moyenne 10 à 13 g de MOD/kg $P^{0.75}$ par jour de plus que les moutons (tab. 12).

- Digestibilité partielle de la paille

Contrairement à la ration totale, la digestibilité partielle de la paille dans la ration a diminué de manière significative, comparativement à la ration témoin, et ce, quel que soit le type de complémentation. Chez le mouton, cette baisse a été de : 9,8 (PM) ; 7,5 (PMU) ; et 9,7 (PMTS) points pour la d.MO et 7,9 (PM) ; 6,9 (PMU) et 7,1 (PMTS) points pour la d. CB.

Chez l'âne, la digestibilité des mêmes constituants a accusé une baisse moyenne de 4 à 11 points pour la d.CB et de 3 à 8 points pour la d.MO (tab. 12).

2. 3. INFLUENCE DE LA NATURE DU FOURRAGE SUR L'ACTIVITE MICROBIENNE DANS LE RUMEN ET LE CAECUM : DEGRADABILITE IN SACCO (E3)

L'effet de la nature du fourrage sur la dégradabilité de la paille de référence est rapporté dans le tableau 15.

Globalement, ces résultats font apparaître une nette supériorité du compartiment ruminal pour les fourrages de très bonne qualité (FLD) et pour les fourrages très pauvres (PB). Pour les fourrages de qualité intermédiaire (FP), les résultats sont plus nuancés (tab. 15).

Entre le caecum de l'âne et celui du mouton, le constat suivant se dégage : les deux compartiments présentent des pouvoirs de dégradation des parois (NDF) comparables pour les

fourrages de bonne qualité et de qualité intermédiaire (FLD et FP). Par contre, dans le cas des fourrages pauvres le caecum de l'âne se révèle être plus efficace ($P < 0,05$) que celui du mouton (fig. 13c).

L'examen des résultats par compartiment révèle que la dégradabilité de la MS et des parois totales (NDF) dans le Ru après 24 heures d'incubation est stable, quel que soit le fourrage considéré. Par contre dans le caecum celle-ci varie en fonction de la nature du fourrage (tab. 15).

Tableau 12 : Utilisation digestive de la paille complétée chez l'âne et le mouton

Régimes	Constituants	Digestibilité (en %)		Matière digestible ingérée (en g/kg. P ^{0,75})	
		âne	mouton	âne	mouton
Paille seule	MS	47,3 ± 4,4	NS 46,8 ± 4,3	32,1 ± 3,0	*** 21,7 ± 2,5
	MO	48,6 ± 4,2	NS 48,1 ± 5,4	30,6 ± 2,5	*** 20,7 ± 2,4
	CB	52,4 ± 4,1	NS 53,3 ± 5,3	13,6 ± 1,0	** 10,0 ± 1,1
	NDF	51,1 ± 3,9	NS 51,7 ± 5,1	26,2 ± 2,1	*** 18,8 ± 2,2
	ADF	46,5 ± 4,1	NS 51,6 ± 5,3	13,9 ± 1,3	** 11,3 ± 1,2
Paille + Maïs	MS	56,2 ± 3,9	* 51,0 ± 3,6	38,1 ± 2,9	*** 24,5 ± 2,1
	MO	57,3 ± 3,7	* 51,8 ± 3,7	36,3 ± 2,7	*** 23,3 ± 2,0
	CB	57,6 ± 4,1	* 51,9 ± 4,4	14,0 ± 0,9	*** 8,9 ± 0,9
	NDF	55,9 ± 4,1	* 51,1 ± 4,0	27,3 ± 2,0	*** 18,1 ± 1,6
	ADF	54,3 ± 3,6	* 49,6 ± 4,2	15,7 ± 1,1	*** 10,2 ± 0,9
Paille + Maïs + Urée	MS	54,2 ± 3,4	NS 52,1 ± 3,4	40,5 ± 4,3	*** 29,9 ± 2,7
	MO	55,4 ± 3,2	NS 53,2 ± 3,3	38,7 ± 4,0	*** 28,7 ± 2,6
	CB	53,1 ± 4,6	NS 53,6 ± 3,7	13,8 ± 1,0	** 11,3 ± 1,0
	NDF	52,6 ± 3,5	NS 52,2 ± 3,6	27,1 ± 2,5	*** 21,9 ± 2,0
	ADF	51,3 ± 4,0	NS 50,6 ± 4,0	15,7 ± 1,3	** 12,5 ± 1,2
Paille + Maïs + T. Soja	MS	54,1 ± 3,0	NS 54,0 ± 2,2	42,5 ± 2,8	*** 31,5 ± 1,7
	MO	55,2 ± 3,1	NS 55,1 ± 2,3	40,5 ± 2,5	*** 30,1 ± 1,6
	CB	52,6 ± 4,6	NS 55,7 ± 2,6	14,9 ± 1,2	** 11,8 ± 0,6
	NDF	52,8 ± 4,7	NS 54,7 ± 2,5	28,9 ± 2,6	*** 23,2 ± 1,2
	ADF	51,3 ± 5,6	NS 54,6 ± 2,6	16,8 ± 1,9	** 13,7 ± 0,8

NS : Différences non significatives à P<0,05 entre les deux espèces
 * : Différences significatives à P<0,05 entre les deux espèces

** : Différences significatives à P<0,01 entre les deux espèces
 *** : Différences significatives à P<0,001 entre les deux espèces

Tableau 13 : Matrice de Comparaison des moyennes entre les quatre régimes chez les deux espèces : résultats de digestibilité

	Constituants digérés	PM		PMU		PMTS	
		mouton	âne	mouton	âne	mouton	âne
P	MO	***	+++	***	+++	***	+++
	CB	NS	+++	NS	NS	NS	NS
	NDF	NS	+++	NS	NS	NS	NS
	ADF	NS	+++	NS	NS	NS	NS
PM	MO			NS	NS	*	NS
	CB			NS	+	*	+
	NDF			NS	+	*	+
	ADF			NS	+	*	+
PMU	MO					NS	NS
	CB					NS	NS
	NDF					NS	NS
	ADF					NS	NS

*** ou +++ = Différences significatives entre les régimes concernés à $P < 0,001$
 * ou + = Différences significatives à $P < 0,05$
 NS = Différences non significatives
 P = Paille mélassée Agglomérée
 PM = Paille mélassée Agglomérée + Maïs
 PMU = " " " + " + Urée
 PMTS = " " " + " + Tourteau de soja

Tableau 14 : Influence de la complémentation sur la digestibilité partielle de la paille dans chaque ration

Constituant	Espèce animale	Digestibilité (en %)			
		P	PM	PMU	PMTS
d.MS	Mouton	42,2 ± 6,5 ^a	33,0 ± 4,3 ^b	35,2 ± 2,8 ^b	41,1 ± 1,7 ^a
	Ane	42,0 ± 2,0 ^a	39,8 ± 3,4 ^a	34,9 ± 2,2 ^b	44,7 ± 1,0 ^a
d.MO	Mouton	43,0 ± 6,5 ^a	33,2 ± 4,4 ^b	35,5 ± 2,8 ^b	33,3 ± 1,8 ^b
	Ane	43,5 ± 1,8 ^a	40,4 ± 3,5 ^a	35,6 ± 2,0 ^b	36,7 ± 0,6 ^b
d.CB	Mouton	51,7 ± 5,5 ^a	43,8 ± 4,8 ^b	44,8 ± 3,3 ^b	44,6 ± 1,8 ^b
	Ane	53,9 ± 1,9 ^a	49,4 ± 3,6 ^b	42,9 ± 4,9 ^c	45,5 ± 0,3 ^c

Sur la même ligne les chiffres portant la même lettre ne diffèrent pas significativement au seuil de 5 %.

Tableau 15 : Influence de la nature du fourrage sur l'activité microbienne dans le rumen et le caecum

Fourrages	Constituants	Dégradabilité de la paille (en %)		
		Ru 24(*)	CA 24	CM 24
Foin de Luzerne/Dactyle	MS	40,5 ± 3,5 ^a	32,4 ± 3,2 ^b	32,4 ± 2,9 ^b
	NDF	33,4 ± 3,9 ^a	23,9 ± 3,5 ^b	25,3 ± 3,2 ^b
	ADF	36,5 ± 3,7 ^a	26,8 ± 3,4 ^b	29,5 ± 3,1 ^b
Foin de Prairie	MS	38,6 ± 1,1 ^a	35,3 ± 2,1 ^b	33,1 ± 2,6 ^b
	NDF	31,8 ± 1,1 ^a	31,4 ± 2,3 ^a	29,7 ± 2,8 ^a
	ADF	33,0 ± 1,1 ^a	29,0 ± 2,3 ^b	32,5 ± 2,7 ^a
Paille de Blé	MS	39,3 ± 2,0 ^a	36,0 ± 1,7 ^b	34,8 ± 4,3 ^b
	NDF	32,6 ± 2,2 ^a	26,6 ± 1,9 ^b	21,5 ± 4,8 ^c
	ADF	36,2 ± 2,2 ^a	25,8 ± 1,9 ^b	25,6 ± 25,6 ^b

Sur la même ligne les chiffres portant des lettres différentes sont significativement différents au seuil de 5 %.

- (*) Ru 24 = 24 heures de séjour du sachet dans le rumen
 CA 24 = 24 heures de séjour du sachet dans le caecum de l'âne
 CM 24 = 24 heures de séjour du sachet dans le caecum du mouton

2.4. INFLUENCE DE LA NATURE DU FOURRAGE SUR LES PARAMETRES FERMENTAIRES (E 4)

D'une manière générale, l'analyse de variance des données recueillies a mis en évidence trois types d'effets significatifs mais de manière assez variables suivant le paramètre biochimique considéré (pH, AGV, NH_3) : il s'agit des effets, "type de compartiment digestif," "régime" et "moment du prélèvement". Les résultats se rapportant à l'influence de la nature du régime (fourrage) ou du type de compartiment sont présentés dans le tab. 16 et l'évolution des différents paramètres biochimiques en fonction du temps sur les séries de figures 9, 10 et 11.

2.4.1. Le pH des contenus du rumen et du caecum

- En valeur absolue, les variations moyennes de pH observées dans les trois compartiments digestifs sont restées faibles entre fourrages, exception faite de FLD qui a entraîné une baisse significative de pH du contenu caecal chez l'âne. De même, quel que soit le fourrage considéré, les pH des contenus du rumen (Ru) et du caecum-âne (CA) sont significativement ($p < 0,001$) plus bas que celui du caecum-mouton (CM). Les valeurs minimales et maximales enregistrées ont été de 6,5 et 6,9 ; 6,3 et 6,9 ; 7,0 et 7,3, respectivement pour les contenus Ru, CA et CM.

- La tendance générale des courbes des figures 9a et 9b indique que les pH des contenus du rumen et du caecum-âne sont affectés par l'heure du prélèvement, c'est à dire, par le temps qui sépare les repas. Toutefois, pour les trois fourrages étudiés, seules les variations enregistrées avec FLD sont significatives ($P < 0,001$). Les pH les plus bas sont enregistrés entre 2 et 4 heures après le repas dans le cas du rumen (fig. 9 a) et entre 4 et 6 heures pour le CA (fig. 9b). Quel que soit le fourrage considéré, le pH du contenu du CM ne semble pas affecté par l'heure du prélèvement (fig. 9c).

2.4.2. Teneur et évolution des AGV

Comme pour le pH, les concentrations en AGV totaux dans les trois compartiments digestifs sont influencées de manière différente par la nature du fourrage (tab. 16; fig. 10a, b et c).

- * Pour les fourrages de bonne à moyenne qualité (FLD et FP), la teneur moyenne en AGV totaux (AGVt) est significativement ($P < 0,001$) plus élevée dans le Ru que dans le CA et celle du

CA est systématiquement plus élevée que dans le CM. Dans le cas des fourrages pauvres (PB), il n'apparaît aucune différence significative entre le Ru et le CA (tab. 16). Les teneurs moyennes (tous fourrages confondus) varient entre 55 et 105 mM/l de contenu Ru, entre 55 et 93 mM/l de contenu CA et entre 40 et 61 mM/l de contenu CM.

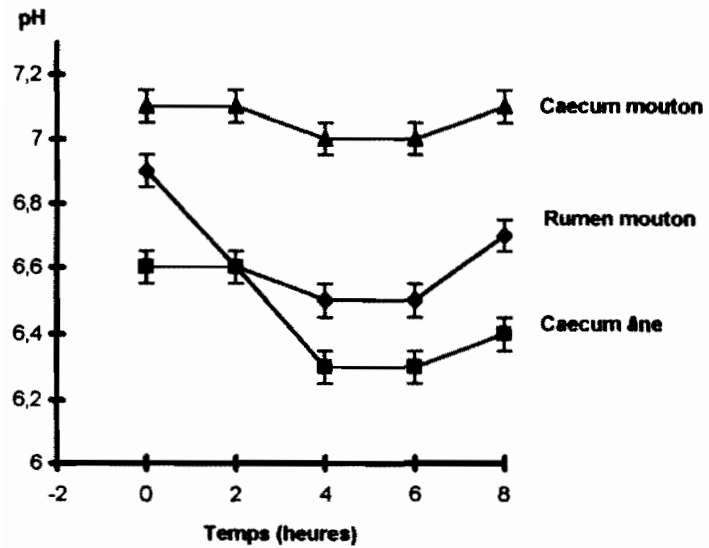
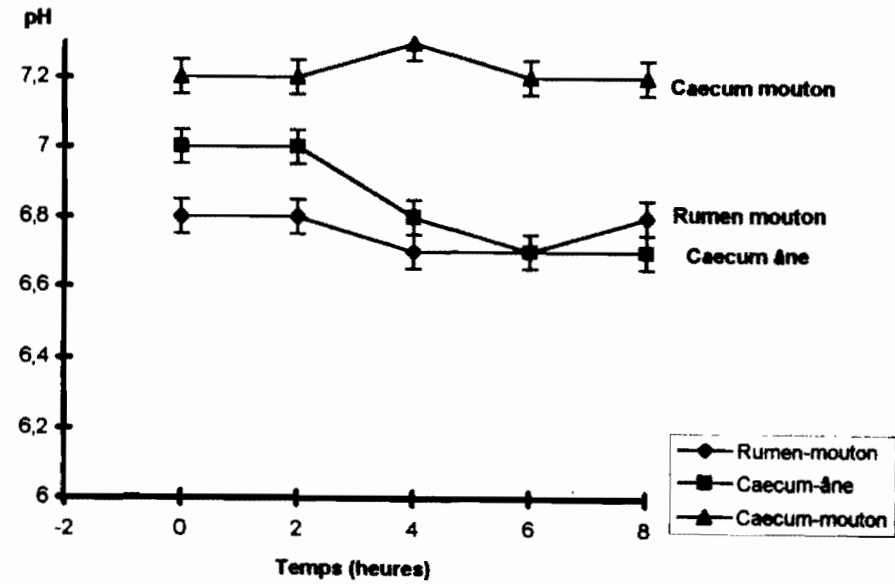
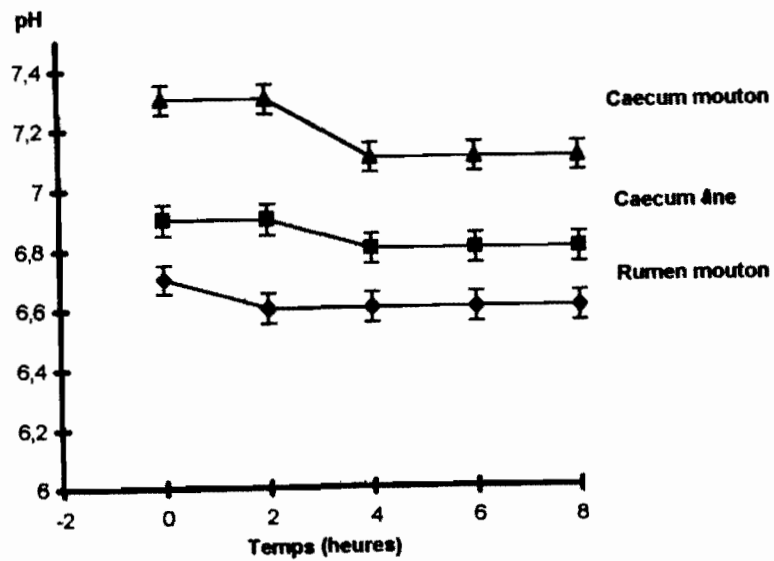
* La teneur en AGVt évolue en sens inverse de la teneur en parois du fourrage et dans le même sens que la teneur en azote (tab. 7). Les résultats figurant dans le tableau 16 indiquent que les variations de teneurs en AGVt liées à la composition chimique des fourrages sont beaucoup plus importantes dans le rumen que dans le caecum. En passant de FLD à PB, la teneur en AGVt a chuté de près de 50 % dans le rumen et seulement entre 35 % et 40 % respectivement dans les caecum de l'âne et du mouton.

* Comme le pH, pour un fourrage donné, la variation de la teneur en AGVt en fonction de l'heure de prélèvement n'est vraiment significative qu'avec le bon fourrage (FLD) et même dans ce cas, seuls le Ru et le CA sont concernés (fig. 10a). La variation dans le temps de la teneur en AGVt du CM demeure non significative, quel que soit le fourrage considéré (fig. 10c). Les teneurs en AGVt les plus élevées sont enregistrées entre 2 et 4 heures après le repas dans le cas du Ru et entre 4 et 6 heures après la distribution du fourrage pour le CA (fig. 10b).

Tableau 16 : Effets de la nature du fourrage sur la teneur moyenne d'AGV et de NH₃ chez le mouton et l'âne

Régimes	Compartiment digestif	AGVt (en mM/l)	NH ₃ (en mg/l)	pH	Proportions molaires d'AGV. (En % AGVt)			
					C2	C3	C4	C5
FLD	RU	105,2 ± 13,2 ^a	257,5 ± 50,7 ^a	6,7 ± 0,1 ^a	71,5 ± 1,1	17,5 ± 1,4	8,6 ± 0,9	2,4 ± 0,4
	CA	92,9 ± 5,8 ^b	87,5 ± 14,8 ^b	6,4 ± 0,1 ^b	76,6 ± 1,3	17,3 ± 1,1	5,5 ± 0,1	0,6 ± 0,1
	CM	61,4 ± 2,4 ^c	215,0 ± 5,0 ^c	7,1 ± 0,1 ^c	76,9 ± 0,6	14,7 ± 0,4	6,2 ± 0,3	2,2 ± 0,1
FP	RU	76,4 ± 2,6 ^a	107,5 ± 10,9 ^a	6,8 ± 0,1 ^a	73,5 ± 1,0	17,0 ± 1,1	7,4 ± 0,2	1,6 ± 0,1
	CA	62,6 ± 7,3 ^b	42,5 ± 10,8 ^b	6,8 ± 0,1 ^a	76,3 ± 0,8	19,5 ± 0,6	3,9 ± 0,2	0,3 ± 0,1
	CM	53,1 ± 1,7 ^c	135,0 ± 5,0 ^c	7,2 ± 0,1 ^b	72,5 ± 0,4	17,0 ± 0,3	7,5 ± 0,3	3,0 ± 0,1
PB	RU	55,6 ± 1,2 ^a	40,0 ± 0,1 ^a	6,6 ± 0,1 ^a	75,5 ± 0,4	19,2 ± 0,4	4,8 ± 0,4	0,7 ± 0,1
	CA	55,4 ± 2,9 ^a	30,0 ± 0,1 ^b	6,8 ± 0,1 ^a	66,9 ± 0,8	27,2 ± 0,5	6,0 ± 0,5	0,4 ± 0,1
	CM	40,0 ± 2,3 ^b	117,5 ± 0,1 ^c	7,2 ± 0,1 ^b	67,3 ± 1,7	20,8 ± 1,8	7,8 ± 1,8	3,1 ± 0,1

Pour chaque fourrage et pour un même paramètre, les chiffres affectés d'une même lettre ne sont pas statistiquement différents au seuil de 5 %

Figure 9 : Effet de la nature du fourrage sur l'évolution du pH dans le rumen et le caecum**Figure 9a** : Foin de luzerne/dactyle**Figure 9b** : Foin de pré**Figure 9c** : Paille de blé

L'examen des rapports acide acétique/acide propionique (C_2/C_3) en fonction de la nature du fourrage (tab. 16) indique que pour les fourrages de bonne qualité (FLD), le Ru et le CA ont des rapports C_2/C_3 identiques : 4,4 et 4,1, respectivement pour le Ru et la CA. Dans le cas des fourrages pauvres, la proportion de propionate dans le CA est significativement ($p < 0,001$) plus élevée que celle du Ru. Ainsi, avec la paille (PB), la proportion d'acétate n'est plus que de 2,5 fois celle du propionate dans le CA, alors que dans le rumen l'acétate reste 4 fois supérieur (en proportion) au propionate, comme c'était le cas avec FLD (tab. 16).

2.4.3. Evolution de la teneur en NH_3

L'évolution de la concentration en NH_3 dans les différents compartiments digestifs en fonction de la nature du fourrage est assez comparable à celle des AGV. Cependant, exception faite du rumen avec le fourrage de bonne qualité (FLD), l'influence de l'heure de prélèvement n'a pas pu être mise en évidence. Les résultats contenus dans le tableau 16 indiquent que les concentrations moyennes de NH_3 dans les trois compartiments varient énormément, non seulement en fonction du fourrage, mais aussi d'un compartiment à l'autre. Dans le Ru la concentration en NH_3 varie de 250 mg/l de contenu avec FLD à 40 mg/l avec le régime paille (PB).

Dans les mêmes conditions, les concentrations de NH_3 varient de 30 à 87 mg/l de contenu CA et de 117 à 215 mg/l de contenu CM. On note surtout que quand le fourrage est de bonne qualité, la teneur en NH_3 dans le rumen atteint 3 fois celle du CA alors que pour les fourrages pauvres (PB), les teneurs moyennes en NH_3 dans les deux compartiments sont tout à fait comparables (tab. 16).

Figure 10 : Effet de la nature du fourrage sur l'évolution de la teneur en AGV totaux dans le rumen et le caecum

Figure 10a : Foin de luzerne/Dactyle

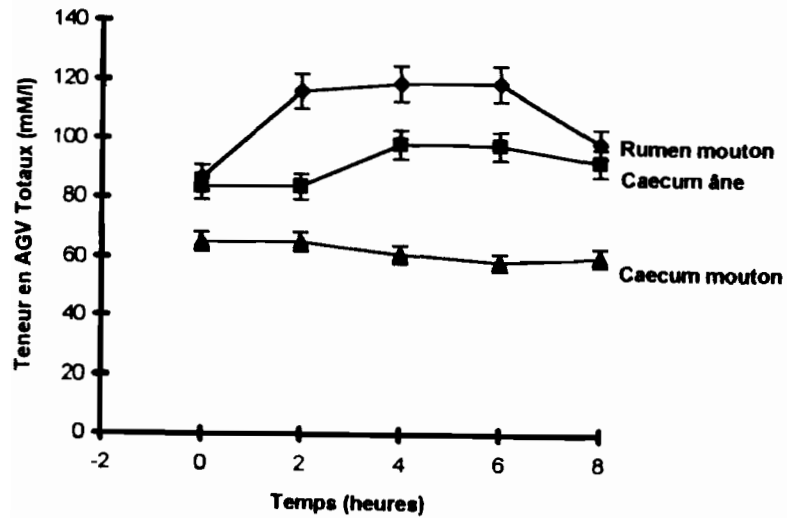


Figure 10b : Foin de pré

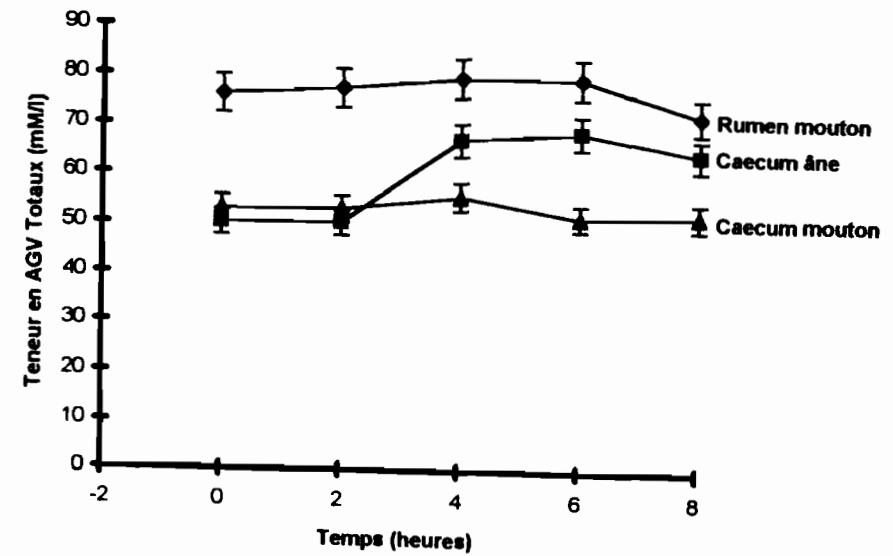


Figure 10c : Paille de blé

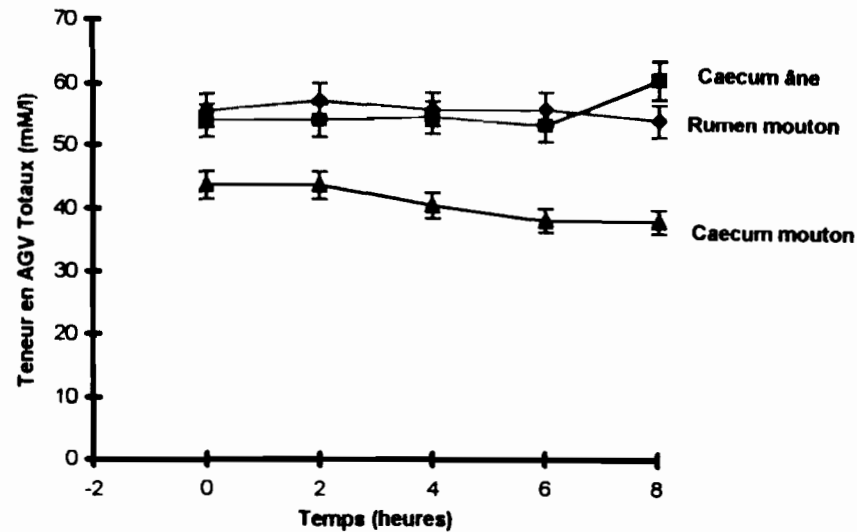


Figure 11 : Effet de la nature du fourrage sur l'évolution de la teneur en NH₃ dans le rumen et le caecum

Figure 11a : Foin de luzerne/Dactyle

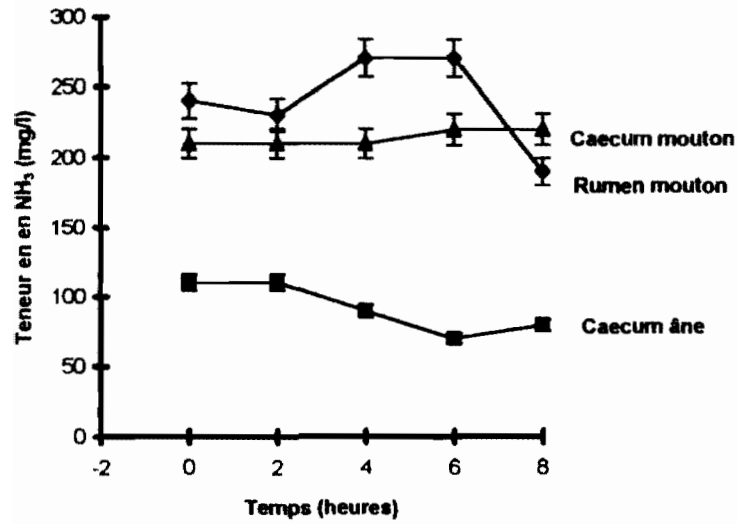


Figure 11b : Foin de pré

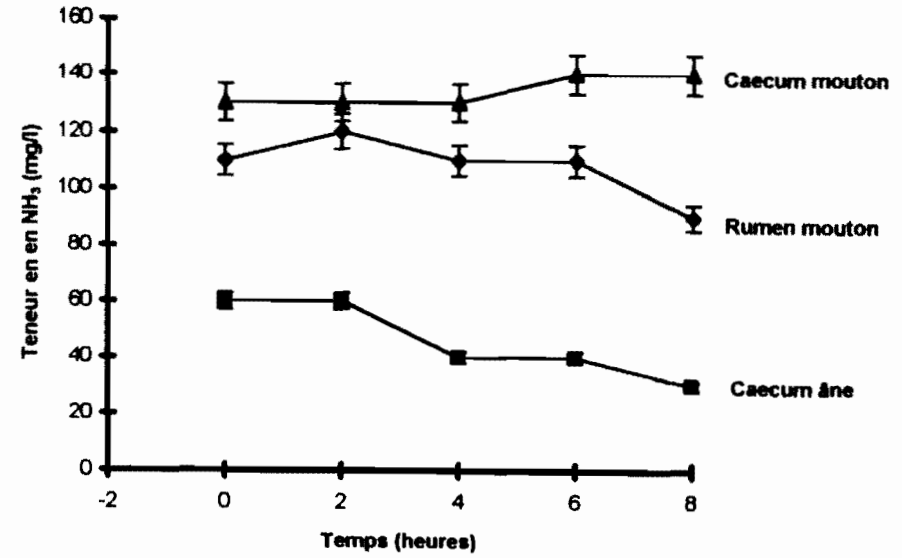
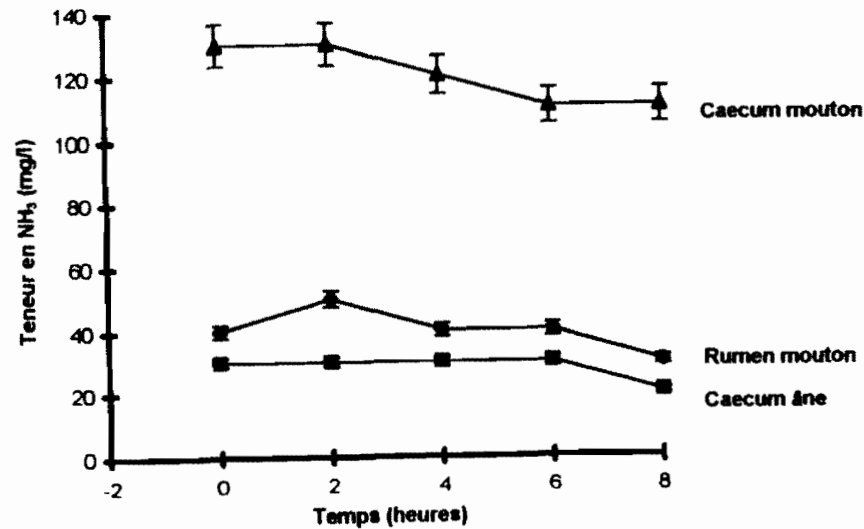


Figure 11c : Paille de blé



2.5. EFFETS DE LA COMPLÉMENTATION SUR L'ACTIVITÉ MICROBIENNE (E5 et E6)

2.5.1. Etude de dégradabilité in sacco (E5)

* *Dans le rumen du mouton*

L'effet de la complémentation a été variable suivant la nature du concentré (tab. 17). Avec PM, la dégradabilité de la paille de référence a fortement diminué ($P < 0,001$). Les écarts de dégradabilité entre le témoin (P) et ce régime ont été respectivement, de 8 et 6 points pour le NDF et l'ADF en faveur du témoin. De même, le régime PMU n'a pas amélioré la dégradabilité de la paille (fig. 12a). Seul le PMTS a amélioré de manière significative la dégradabilité de la paille dans le rumen avec des écarts positifs d'avec le témoin de 6 et 8 points respectivement pour le NDF et l'ADF.

* *Dans le caecum de l'âne*

Exceptés les régimes PMTS et PM, tous les autres régimes n'ont présenté aucune différence significative avec le témoin (tab. 17). En valeur absolue, PM et PMU ont même entraîné une baisse de la dégradabilité de la paille de 1 à 2 points (fig. 12b). Toutes les observations faites au sujet du CA sont aussi valables pour le CM, sauf que les effets positifs du PMTS ou négatifs de PM et PMU sont toujours plus accentués dans ce dernier compartiment (fig. 12 c).

2.5.2. Etude des paramètres fermentaires

* *Effets de la complémentation sur le pH moyen par compartiment et par régime*

Comparativement au régime témoin (P), les différents types de complémentation ont eu peu d'effet sur le pH des contenus des caecum (âne et mouton).

De même que le type de complément, l'heure de prélèvement ne révèle pas de variation significative de pH dans le CA et dans celui du mouton, quel que soit le complément considéré. Par contre, exception faite du régime "paille-maïs (PM), la variation du pH ruminal en fonction du temps après le repas a été significative ($P < 0,05$) avec tous les autres types de complémentation (PMU et PMTS). Les valeurs de pH les plus basses ont été enregistrées entre 4 et 6 heures après le repas.

* *Effets de la complémentation sur la teneur en AGV*

Les concentrations moyennes d'AGV totaux par type de compartiment digestif et par nature de complément sont présentées dans le tableau 18 et révèlent des différences significatives entre

compartiments, et pour un même compartiment, des variations entre régimes.

Globalement, la teneur moyenne en AGVt dans le Ru est significativement ($p < 0,001$) plus élevée que dans le CA, excepté avec le régime PM (tableau 18). Comparativement au témoin, les effets globalement positifs des différents compléments sont à nuancer suivant le type de compartiment digestif :

- **Cas du rumen** : dans ce compartiment, le régime PM n'a présenté aucune différence significative avec le témoin (60 mM/l de contenu). Par contre, avec les régimes PMU et PMTS les concentrations moyennes par litre de jus de rumen ont été, respectivement de 70 et 80 mM.
- **Cas du caecum-âne** : toujours par rapport au témoin, l'apport d'urée (PMU) n'a pas amélioré significativement la teneur en AGVt dans ce compartiment (57,9 et 59,7 mM/l, respectivement pour P et PMU). Par contre, l'apport du maïs comme unique complément à la paille (PM) a amélioré la teneur en AGVt de 11 %. En y ajoutant du tourteau de soja (PMTS), la concentration d'AGVt est améliorée de près de 25 % (tab 18).
- **Cas du caecum-mouton** : Le régime PM n'a pas apporté plus de réaction positive dans le CM qu'il ne l'a fait dans le rumen. Par contre, les régimes PMU et PMTS ont eu des effets plus significatifs dans le CM que dans les deux autres compartiments. Comparativement au témoin, les teneurs moyennes en AGVt ont été améliorées de l'ordre de 8, 33 et 53 % respectivement avec le PM, PMU et PMTS.

L'évolution en fonction du temps des concentrations en AGV dans les trois compartiments révèle, certes, quelques similitudes mais aussi bien des différences entre compartiments, et pour le même compartiment, entre types de complémentation (fig. 13a, 13b, 13c et 13d).

Tableau 17 : Influence de la complémentation sur la dégradabilité de la paille dans le rumen et le caecum

Fourrages	Constituants	Dégradabilité de la paille (en %)		
		MS	NDF	ADF
P	Ru 24	32,2 ± 3,1 ^a	26,9 ± 2,7 ^a	26,4 ± 2,7 ^a
	CA 24	26,9 ± 3,5 ^b	22,3 ± 3,7 ^b	23,0 ± 3,7 ^b
	CM 24	29,9 ± 2,5 ^b	24,2 ± 2,7 ^b	21,5 ± 2,7 ^b
PM	Ru 24	24,4 ± 2,5 ^a	19,0 ± 2,7 ^a	20,0 ± 2,7 ^a
	CA 24	28,6 ± 2,3 ^b	19,8 ± 2,1 ^a	20,5 ± 2,1 ^a
	CM 24	26,6 ± 2,1 ^b	19,6 ± 2,2 ^a	19,3 ± 2,3 ^a
PMU	Ru 24	33,0 ± 2,2 ^a	28,7 ± 2,3 ^a	27,9 ± 2,3 ^a
	CA 24	27,4 ± 2,2 ^b	25,8 ± 1,9 ^b	22,4 ± 3,2 ^b
	CM 24	25,7 ± 2,3 ^b	20,2 ± 3,1 ^b	18,4 ± 3,1 ^b
PMTS	Ru 24	37,7 ± 1,8 ^a	32,9 ± 1,9 ^a	34,9 ± 1,8 ^a
	CA 24	30,3 ± 2,0 ^b	25,0 ± 2,2 ^b	25,3 ± 2,2 ^b
	CM 24	32,0 ± 2,5 ^b	25,3 ± 2,7 ^b	24,8 ± 2,7 ^b

Pour le même régime et pour un même paramètre, les chiffres portant des lettres différentes sont statistiquement différents (P < 0,05)

Figure 12 : Effet de la nature du complément sur le pouvoir fermentaire du rumen et du caecum

Figure 12a : Dans le rumen du mouton

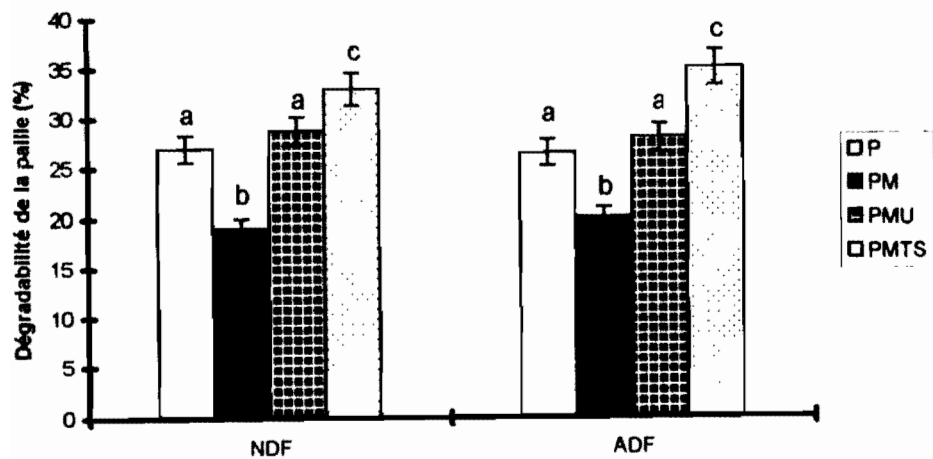


Figure 12b : Dans le caecum-âne

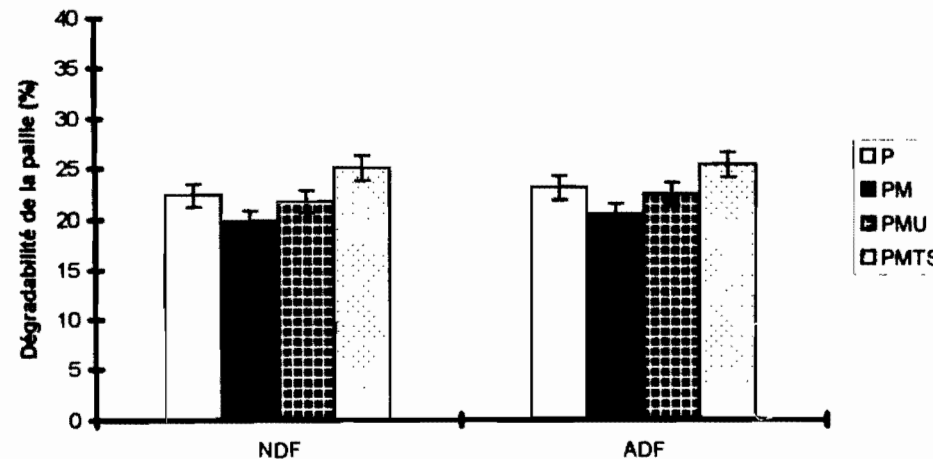


Figure 12c : Dans le caecum-mouton

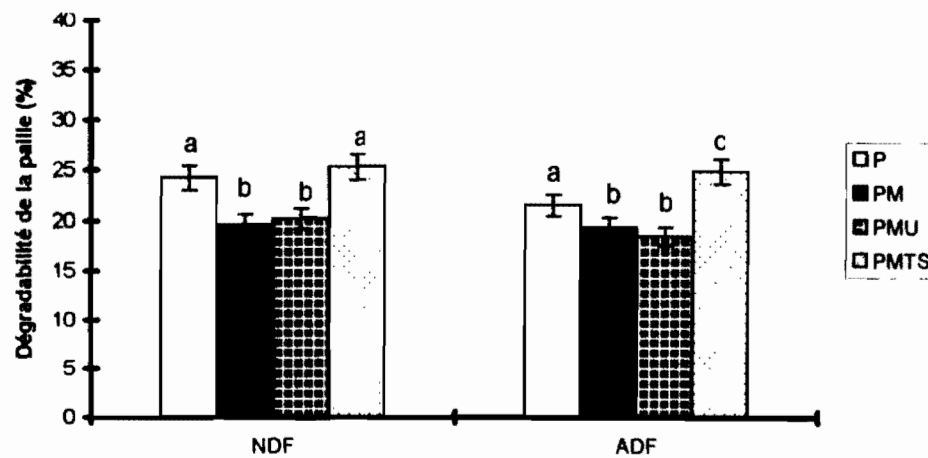


Tableau 18 : Influence de la complémentation sur la teneur moyenne d'AGV et de NH₃ chez le mouton et l'âne

Régimes	Compartiment digestif	AGVt (en mM/l)	NH ₃ (en mg/l)	PH	Proportion molaire d'AGV (en % AGVt)			
					C2	C3	C4	C5
P	RU	66,7 ± 2,6 ^a	28,3 ± 9,8 ^a	6,9 ± 0,1 ^a	72,7 ± 0,9	18,9 ± 0,4	7,3 ± 0,3	1,1 ± 0,03
	CA	57,9 ± 4,4 ^b	14,3 ± 5,6 ^b	6,8 ± 0,1 ^a	71,9 ± 0,6	22,0 ± 0,7	5,6 ± 0,5	0,6 ± 0,2
	CM	38,5 ± 2,5 ^c	108,1 ± 4,7 ^c	7,3 ± 0,1 ^b	72,7 ± 0,1	18,9 ± 0,5	6,1 ± 0,2	2,2 ± 0,4
PM	RU	66,6 ± 4,5 ^a	50,3 ± 4,4 ^a	6,7 ± 0,1 ^a	65,5 ± 0,2	23,1 ± 0,6	10,0 ± 0,5	1,4 ± 0,2
	CA	64,5 ± 3,2 ^a	53,1 ± 12,1 ^a	6,9 ± 0,1 ^a	66,1 ± 0,9	26,7 ± 1,1	6,9 ± 0,5	0,8 ± 0,2
	CM	41,5 ± 4,0 ^b	82,7 ± 3,6 ^c	7,2 ± 0,1 ^c	65,4 ± 0,9	25,7 ± 0,5	7,1 ± 0,5	2,0 ± 0,1
PMU	RU	71,3 ± 6,1 ^a	149,8 ± 21,6 ^a	6,7 ± 0,1 ^a	67,3 ± 1,0	21,0 ± 0,5	9,8 ± 0,4	1,9 ± 0,4
	CA	59,7 ± 5,6 ^b	74,3 ± 9,5 ^b	6,9 ± 0,1 ^a	66,3 ± 0,6	21,1 ± 3,0	6,1 ± 0,2	0,6 ± 0,2
	CM	51,2 ± 7,9 ^c	130,5 ± 5,7 ^c	7,2 ± 0,1 ^c	66,9 ± 2,3	20,7 ± 1,2	9,3 ± 1,6	2,6 ± 0,5
PMTS	RU	77,5 ± 1,6 ^a	109,7 ± 12,5 ^a	6,6 ± 0,1 ^a	70,4 ± 0,6	17,5 ± 0,6	10,4 ± 0,2	1,5 ± 0,4
	CA	71,9 ± 3,5 ^b	87,1 ± 15,4 ^b	6,8 ± 0,2 ^a	69,4 ± 1,2	22,7 ± 1,2	7,1 ± 0,6	0,9 ± 0,2
	CM	58,9 ± 6,9 ^c	145,5 ± 6,7 ^c	7,2 ± 0,1 ^c	72,6 ± 1,5	18,3 ± 1,9	6,5 ± 0,3	2,5 ± 0,1

Pour chaque régime et pour un même paramètre, les chiffres affectés d'une même lettre ne sont pas statistiquement différents au seuil de 5 %

• **Evolution dans le rumen** : Globalement, quel que soit la nature du complément, la teneur en AGVt augmente régulièrement à partir de la prise de nourriture, atteint un maximum entre 2 et 4 heures après le repas, puis diminue pour atteindre un niveau de base proche de l'état à jeun aux environs de 8 heures après le repas . L'examen des courbes individuelles (par régime) montre que la variation au cours du temps de la teneur en AGVt est plus faible avec le PMTS qu'avec PMU. Avec ce dernier, on enregistre une augmentation brutale de la concentration en AGVt dès la prise de nourriture qui se poursuit jusqu'à 6 heures après, puis commence une chute qui est aussi brutale que la montée.

• **Evolution dans le caecum de l'âne** : trois remarques principales se dégagent de l'examen des différentes courbes :

- avec P et PMU, la teneur en AGVt à jeun (t_0) est plus élevée que celles mesurées après le repas quelle que soit l'heure de prélèvement (t_2 à t_8). Cette baisse de concentration s'estompe entre 2 et 4 heures après le repas et dans le cas de PMU, il y a une remontée de la concentration en AGV à partir de t_4 (4 heures après le repas) ;

- avec PM, l'allure de la courbe rappelle le cas du rumen avec PMU, sauf que dans le cas du CA, la brusque augmentation de la concentration en AGV est légèrement décalée dans le temps : elle débute 2 heures après le repas, atteint son maximum à 4 heures, puis s'en suit une baisse brutale qui ramène la teneur en AGVt à un niveau comparable à celui observé à jeun dès la huitième heure après le début du repas (60 mM/l).

Enfin, l'allure de la courbe "PMTS" est assez semblable à celle observée au niveau du rumen.

Dans le cas du caecum du mouton, excepté PM, le maximum de concentration en AGVt avec les régimes complémentés (PMU et PMTS) est enregistré à jeun (t_0). Après la prise de nourriture, la teneur en AGVt dans ce compartiment a diminué régulièrement pendant toute la durée des observations.

Figure 13 : Effet de la nature du complément sur l'évolution de la teneur en AGV totaux dans le rumen et le caecum

Figure 13a : Paille de blé

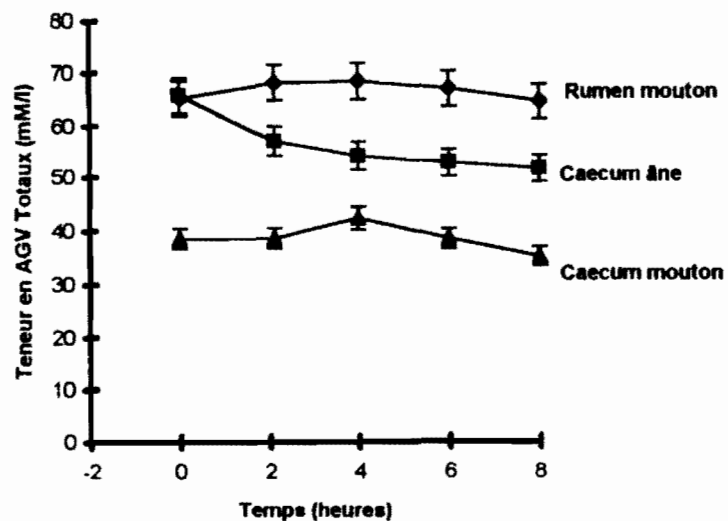


Figure 13b : Paille + Maïs

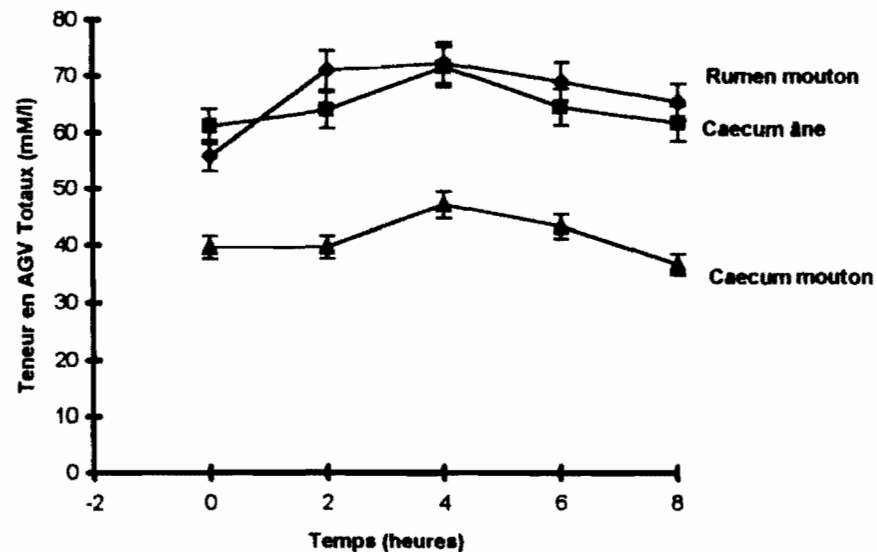


Figure 13c : Paille + Maïs + Urée

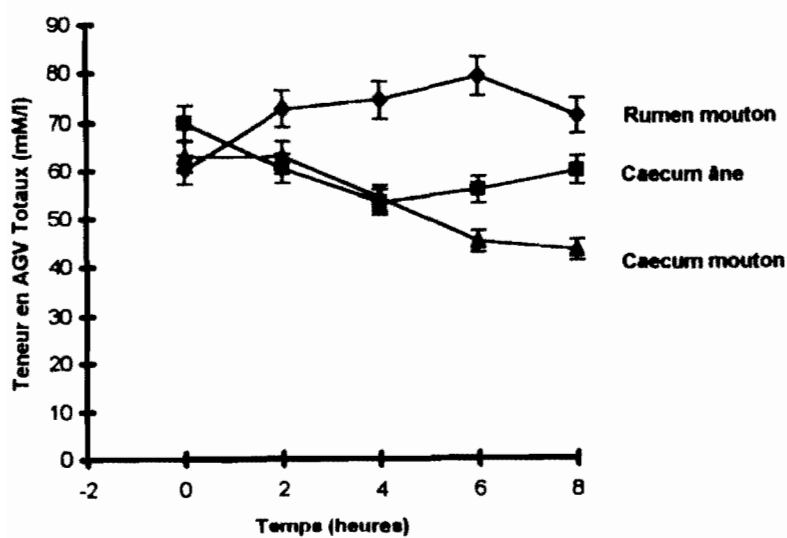
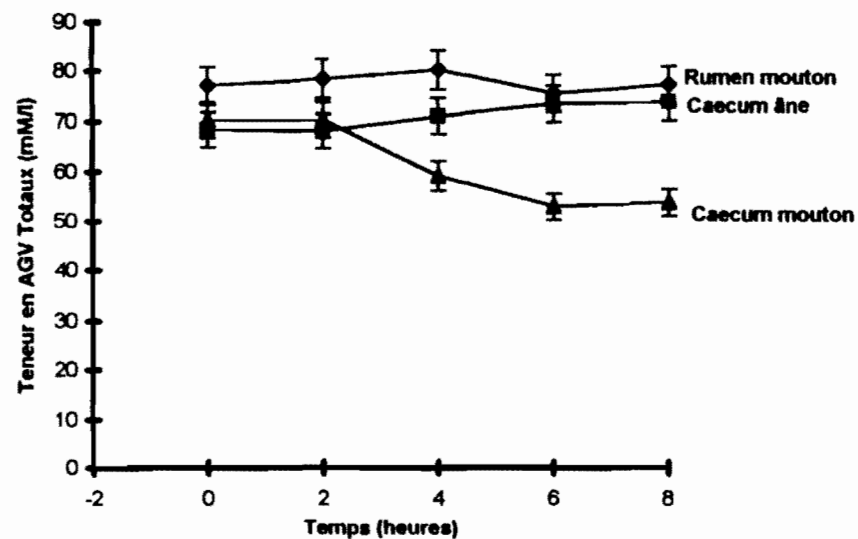


Figure 13d : Paille + Maïs + T Soja



• Proportions molaires des différents AGV dans le mélange total

Les proportions molaires moyennes des principaux AGV (C2, C3, C4 et C5) figurant dans le tableau 18 font apparaître un effet significatif de la complémentation (énergie, l'azote) sur l'orientation des fermentations microbiennes. Globalement, la proportion de C2 dans le mélange a diminué avec l'apport des compléments et dans le même temps celle des sucres en C3, C4 et C5 a augmenté. Toutefois, les différentes interconversions varient de manière significative suivant le compartiment considéré.

- Dans le rumen : comparativement à P et exception faite du régime PMTS, le rapport C2/C3 a chuté, quel que soit le complément apporté, soit 3,8 ; 2,8 ; 3,2 et 4,0, respectivement, pour P, PMU et PMTS. De même, on constate que le rapport C2/C4 a fortement diminué, passant de 10 avec le témoin (P) à 6,5 ; 6,9 et 6,8, respectivement avec PM, PMU et PMTS.
- Dans le caecum-âne : les différentes interconversions se sont faites en faveur de C3 et C4. Exception faite de PMTS, les rapports C2/C3 sont passés de 3,3 (P) à 2,5 et 2,4, respectivement pour PM et PMU. De même, le rapport C2/C4 qui était de 12,8 avec le régime témoin est passé à 9,6 ; 10,9 et 9,8, respectivement pour PM, PMU et PMTS (tab. 18).
- Dans le caecum du mouton : plus proche anatomiquement du caecum-âne, les effets des quatre régimes sur la répartition molaire des différents AGV sont plutôt comparables à ceux observés dans le rumen.

* Effet de la complémentation sur la teneur en NH₃

- Exception faite du régime PM (tab. 18), la teneur moyenne en NH₃ est significativement ($P < 0,001$) plus élevée dans le Ru que dans le CA dans des proportions variant entre 1,3 (PMTS) et 2,1 (PMU). Par contre, la concentration de NH₃ dans le CM est plus importante que dans le Ru, et ce d'autant plus que le régime est riche en parois. Avec le régime témoin, la teneur en NH₃ dans le CM est 4 fois supérieure à celle du Ru.

- L'effet régime est très variable suivant le type de compartiment digestif. Dans le rumen, PM n'apporte aucune amélioration de la teneur en NH₃, comparativement au témoin. Entre PMU et PMTS, c'est le premier qui procure la plus forte concentration en NH₃ dans le rumen. Pour le CA, contrairement à ce qui se passe dans le rumen, le régime PMU n'améliore pas significativement la teneur en NH₃, comparativement au témoin (tab. 18).

Figure 14 : Effet de la nature du complément sur l'évolution de la teneur en NH₃ dans le rumen et le caecum

Figure 14a : Paille de blé

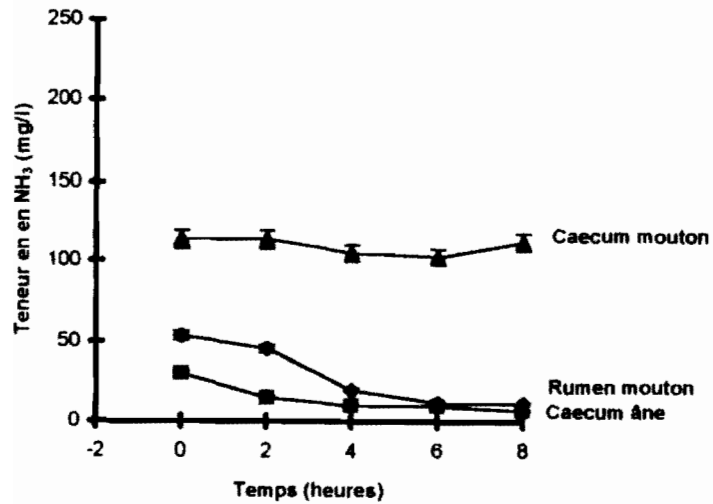


Figure 14b : Paille + Maïs

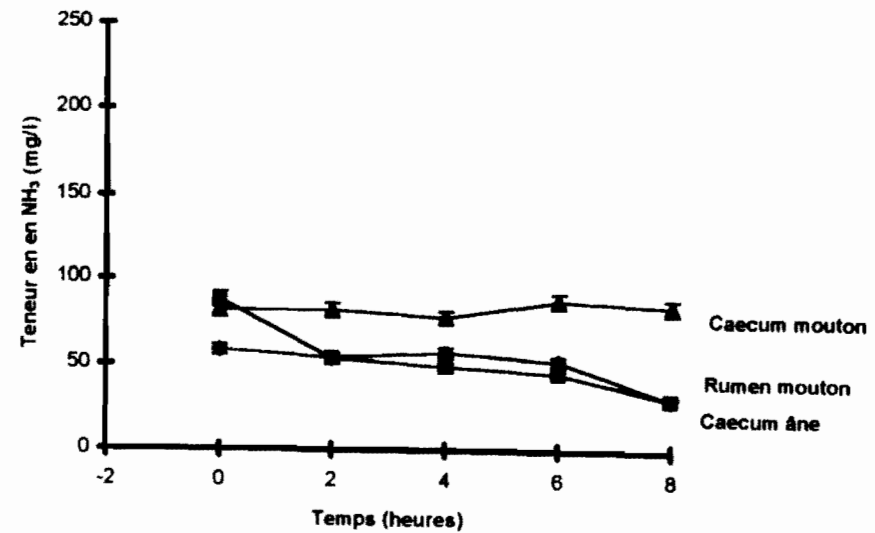


Figure 14c : Paille + Maïs + Urée

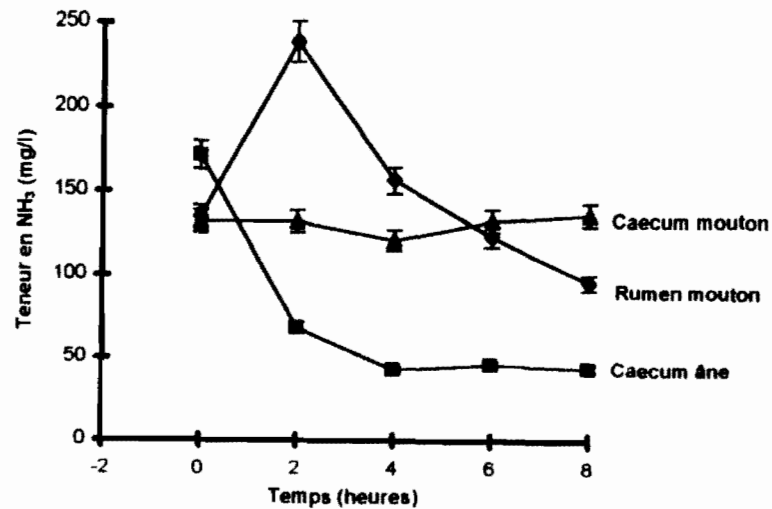
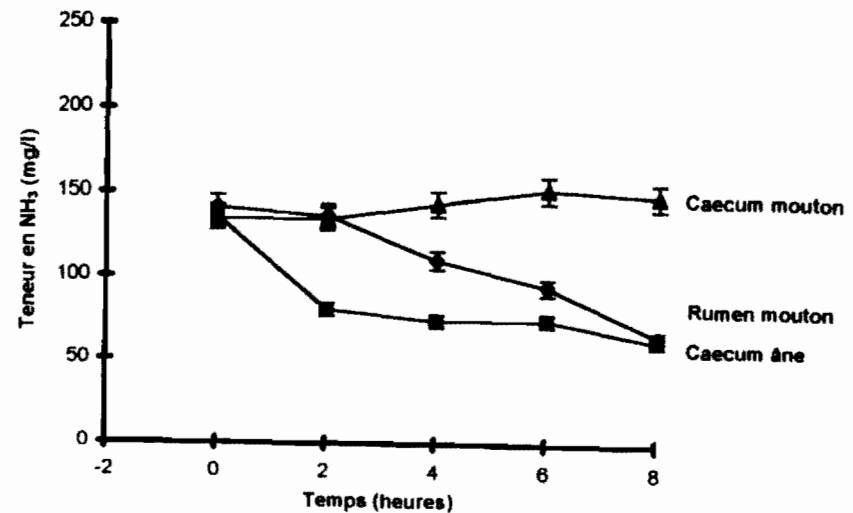


Figure 14d : Paille + Maïs + T Soja



L'évolution de la teneur en NH_3 au cours du temps (fig. 14a, 14b, 19c et 14d) est assez comparable dans le rumen et dans le CA, exception faite du régime PMU qui provoque une hausse brutale de la teneur en NH_3 au cours des deux heures qui suivent la prise alimentaire. En effet, pendant que la concentration en NH_3 monte dans le rumen, celle du CA chute avec la même allure, passant de 170 mg/l de contenu à jeun à 68 mg/l 2 heures après la distribution du repas. Ces évolutions de la concentration du NH_3 dans le rumen et le CA rappellent celles déjà décrites au sujet des AGVt dans ces mêmes compartiments. Pour tous les autres régimes, la concentration en NH_3 diminue régulièrement au cours des heures qui suivent le repas. Quant au CM, la concentration en azote n'est pas significativement influencée par le temps après repas.

2.6. MISE EN EVIDENCE DES CAPACITES DIGESTIVES COMPAREES ENTRE LE RUMEN ET LE CAECUM (E7)

Les résultats de l'expérience 7 sont rassemblés dans le tableau 19 et illustrés par les figures 15a et 15b.

Qu'il s'agisse du foin ou de la paille, les résultats font apparaître des différences significatives entre les trois compartiments étudiés, quant à leurs capacités respectives à dégrader les parois végétales.

Dans tous les cas de figure, il apparaît que le rumen (RU) dégrade mieux les parois, comparativement au caecum de l'âne (CA), et ce, d'autant que le fourrage est riche en parois. Globalement (paille et foin), l'écart de dégradabilité de la lignocellulose entre le RU et le CA est de 3 points (%) environ (tab.19).

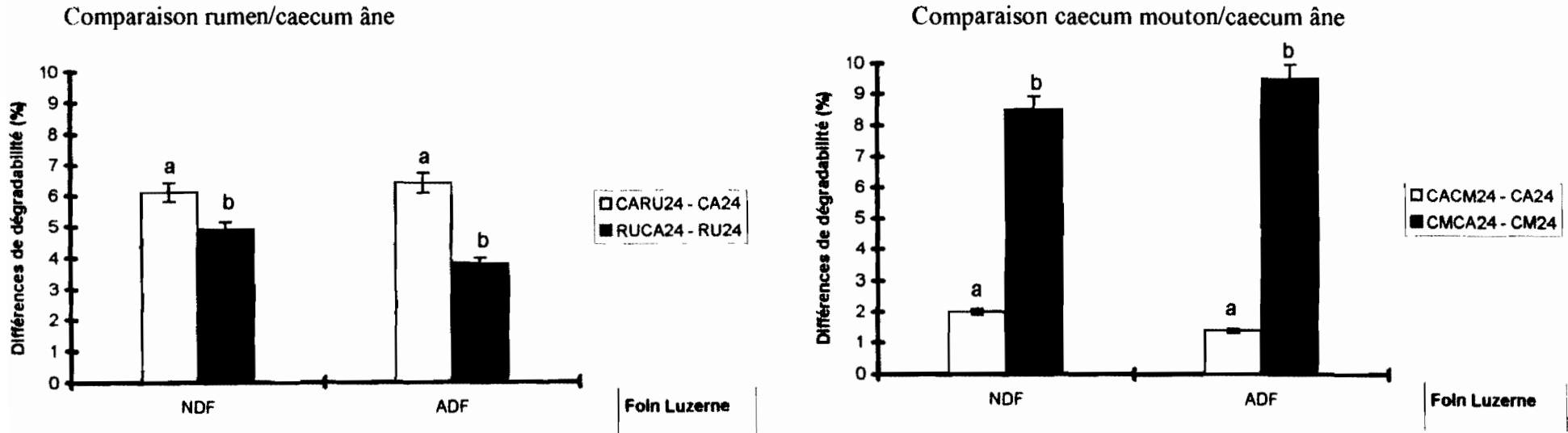
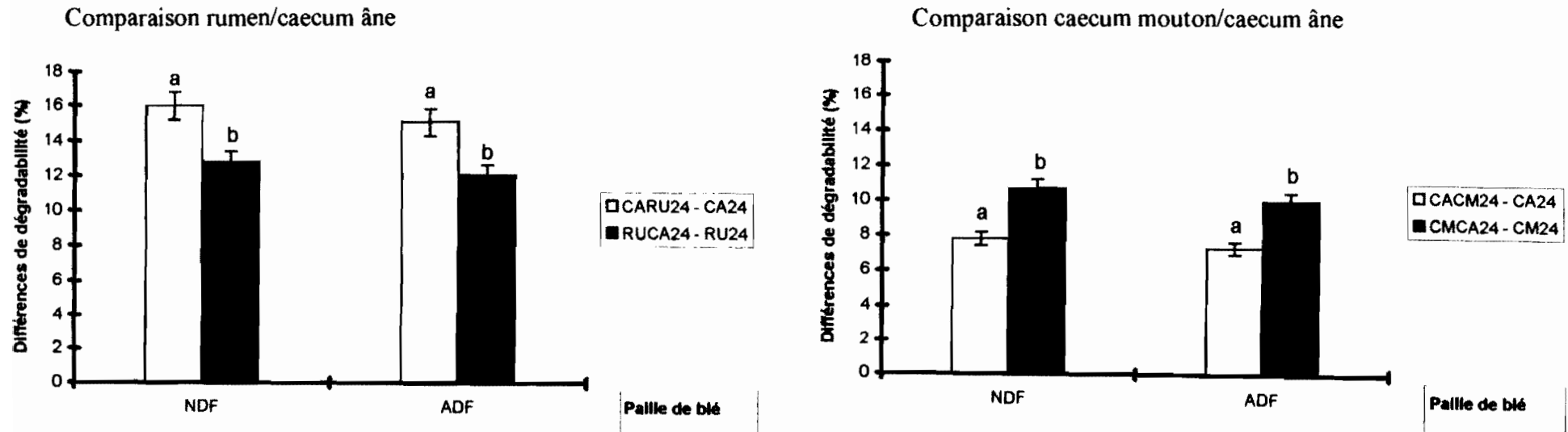
Entre les caecum (âne et mouton), celui de l'âne est globalement plus performant mais la différence entre les deux compartiments se réduit sensiblement avec l'augmentation de la teneur en parois du fourrage (fig. 15a et 15b). En effet, avec le foin, l'écart de dégradabilité de l'ADF entre les deux compartiments est de 8 points environ alors qu'avec la paille, il n'y a plus que 3 points d'écart entre les deux réservoirs digestifs.

Tableau 19 : Capacités digestives comparées entre rumen et caecum

Temps de séjour et localisation-sachets	Dégradabilité du foin (en %)			Dégradabilité de la paille (%)		
	MS	NDF	ADF	MS	NDF	ADF
RU 24	58,8 ± 2,7	41,0 ± 3,9	41,0 ± 3,8	41,2 ± 4,3	37,3 ± 4,6	40,1 ± 4,4
CA 24	56,2 ± 3,4	38,4 ± 4,8	38,5 ± 4,8	35,2 ± 2,9	30,6 ± 3,1	31,9 ± 3,1
CM 24	56,1 ± 3,2	36,8 ± 4,6	36,2 ± 4,7	34,5 ± 5,8	28,3 ± 6,4	29,5 ± 6,3
RU CA 24	61,4 ± 4,7	45,9 ± 6,5	46,8 ± 6,4	50,4 ± 3,9	50,1 ± 3,9	52,2 ± 3,7
RU CM 24	59,2 ± 2,8	43,7 ± 3,9	44,0 ± 3,9	49,1 ± 4,6	47,3 ± 4,7	48,7 ± 4,6
CA RU 24	60,9 ± 3,3	44,5 ± 4,7	44,9 ± 4,7	48,9 ± 2,7	46,6 ± 2,9	47,0 ± 2,8
CA CM 24	58,3 ± 2,9	40,4 ± 4,1	39,9 ± 4,1	42,4 ± 4,1	38,4 ± 4,4	39,2 ± 4,3
CM CA 24	60,4 ± 2,2	45,3 ± 3,0	45,7 ± 3,0	43,5 ± 4,1	39,0 ± 5,5	39,5 ± 5,5
RU CA 24 - RU 24 (1)	2,6 ^a	4,9 ^a	3,8 ^a	9,2 ^a	12,8 ^a	12,1 ^a
CA RU 24 - CA 24 (2)	4,7 ^b	6,1 ^b	6,4 ^b	13,7 ^b	16,0 ^b	15,1 ^b
CM CA 24 - CM 24 (3)	4,3 ^b	8,5 ^c	9,5 ^c	9,0 ^a	10,7 ^c	10,0 ^c
CA CM 24 - CA 24 (4)	2,1 ^a	2,0 ^d	1,4 ^d	7,2 ^c	7,8 ^d	7,3 ^d

* (1) = Points (en %) de dégradabilité supplémentaires enregistrés lorsque le sachet séjourne d'abord 24 heures dans le rumen avant de séjourner à nouveau 24 heures dans le caecum de l'âne ; (2), (3), et (4) = respectivement, premier séjour passé dans le caecum de l'âne avant rumen ; caecum-mouton avant caecum-âne ; caecum-âne avant caecum mouton.

* Dans la même colonne, les chiffres portant les mêmes lettres ne diffèrent pas significativement à $P < 0,05$.

Figure 15a : Dégradabilité comparée du foin entre le rumen et le caecum**Figure 15b : Dégradabilité comparée de la paille entre le rumen et le caecum.**

2.7. INFLUENCE DU NIVEAU D'INGESTION SUR LE TRANSIT DIGESTIF CHEZ LES DEUX ESPECES (E 8)

2.7.1. Effet du niveau d'ingestion chez le mouton

La figure 16 donne le profil des cinétiques d'excrétion fécale des différents marqueurs utilisés et qui ont permis le calcul ou la prédiction (par modélisation) des temps moyens de rétention (TMR) des digesta (phase liquide et solide) dans les différents compartiments ou segments digestifs.

L'examen de l'allure des courbes correspondant au différents marqueurs (Yb, Cr et Co) révèle que l'excrétion fécale de l'Yb, utilisé comme marqueur de la phase solide n'est pas nulle après une semaine d'excrétion (172 h) comme le prévoyait notre protocole. Il aurait fallu un à deux jours de prélèvements supplémentaires pour couvrir totalement le temps d'excrétion de ce marqueur. Ceci implique que les temps moyens de rétention (TMR) des phases solides ont certainement été estimés par défaut.

Le tableau 20 présente les TMR totaux ou partiels des phases liquide et solide des digesta dans les différents segments du tube digestif du mouton en fonction du niveau d'ingestion de la paille hachée. Pour les deux phases et quel que soit le compartiment digestif considéré, les valeurs de TMR prédites par modélisation sont tout à fait comparables à celles issues des mesures directes.

Le niveau d'ingestion a eu des effets hautement significatifs ($P < 0,001$) sur les TMR des phases particulaire et liquide des digesta (tab. 20). En passant du niveau limité à l'ingestion ad-libitum, le niveau d'ingestion s'est accru de plus de 55 % chez les animaux et dans le même temps le TMR total tube digestif a été raccourci d'environ 15 %, par rapport à celui enregistré en condition limitée. L'examen des TMR partiels, liquides et solides des différents compartiments fait apparaître les constats suivants :

- en condition ad-libitum, le TMR-réticulo-ruminal (TMR_{RR}), phase particulaire, représente environ 66,6 % soit 2/3 du "TMR tube digestif total" (phase particulaire). Dans les mêmes conditions, le TMR_{RR} , phase liquide représente un peu moins de la moitié (48,7 %) du "TMR tube digestif total", phase liquide. Lorsque la paille hachée est offerte en quantité limitée, la part du TMR_{RR} phase solide, dans le TMR tube total (solide) atteint 75 % alors que la part du

TMR_{RR}, phase liquide dans celui du tube digestif total (liquide) reste comparable à celle observée en condition ad-libitum ;

- les TMR - “après rumen” et “caeco-colique” : le premier terme désigne l’ensemble, feuillet + caillette + intestin grêle + le gros intestin alors que le deuxième ne prend en compte que le gros intestin. Le “TMR après rumen” est obtenu par simple différence entre le “TMR tube digestif total” (phase solide ou liquide) et le TMR réticulo-rumen. Or, comme le montre le tableau 20, il n’existe aucune différence significative entre les TMR “après rumen” et “caeco-colique”, quel que soit le type de digesta (phase solide ou liquide). Ceci semble indiquer que la part des segments du tube digestif compris entre le rumen et le caecum dans le temps de rétention des aliments serait négligeable ;

- enfin, on constate que les phases solide et liquide transitent à la même vitesse dans le compartiment caeco-colique (Tab. 20).

Figure 16 : Cinétique d'excrétion fécale des différents marqueurs chez le mouton

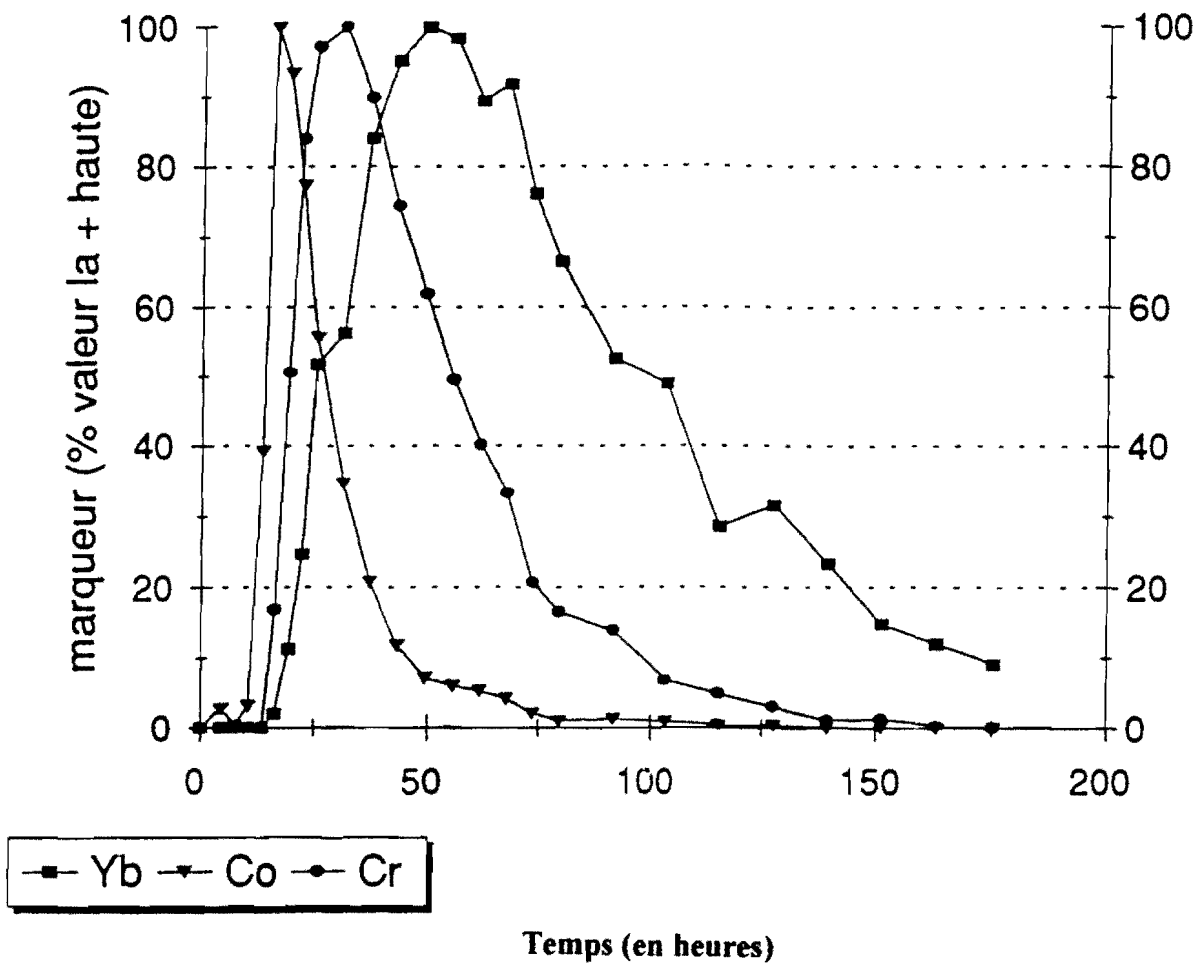


Tableau 20 : Influence du niveau d'ingestion sur le temps de séjour des digesta (TMR) chez le mouton

Niveau d'alimentation	Poids vif moyen (kg)	MSI/j (g/kg p ^{0,75})	Contenu digestif	Temps moyen de retention (TMR en heures)							
				TD Total		Réticulo-Rumen		Après-Rumen		Caeco-colique	
				Direct (a)	Modèle	Direct (b)	Modèle	Direct (a-b)	Modèle	Direct (c)	Modèle
Ad-Libitum	68,7	41,6	Phase liquide	46,6 ^a (± 5,2)	52,3 (± 4,6)	23,2 ^a (± 2,5)	26,8 (± 3,8)	24,4 ^a (± 2,8)	25,5 (± 1,3)	25,0 ^a (± 3,2)	-
			phase solide	79,1 ^b (± 5,4)	92,3 (± 7,7)	52,7 ^b (4,1)	51,6 (± 6,1)	26,4 ^a (± 2,8)	40,7 (± 1,3)	25,1 ^a (± 3,2)	-
Quantité limitée	66,5	26,9	Phase liquide	54,5 ^c (± 6,8)	62,4 (± 10,1)	26,3 ^c (± 6,5)	28,0 (± 5,1)	28,2 ^b (± 1,3)	26,5 (± 3,1)	21,0 ^b (± 4,5)	-
			phase solide	93,2 ^d (± 14,1)	107,1 (± 3,6)	70,2 ^d (± 17,0)	63,1 (± 0,2)	25,7 ^b (± 1,3)	44,0 (± 3,8)	20,9 ^b (± 3,2)	-

Dans la même colonne, les moyennes portant la même lettre ne diffèrent pas significativement au seuil de 5 %

2.7.2. Effet du niveau d'ingestion chez l'âne

Comme on peut le remarquer sur la figure 17, la durée de prélèvement retenue dans le protocole expérimental a permis une excrétion totale de l'Yb chez les ânes, ce qui a rendu plus précis les résultats chez cette espèce.

Les TMR totaux ou partiels des digesta (phase solide et liquide) dans les principaux réservoirs digestifs de l'âne sont résumés dans le tableau 21. Comme chez le mouton, la distribution à volonté de la paille hachée a entraîné une augmentation des quantités ingérées d'environ 52 % chez l'âne, comparativement au niveau limité. La vitesse de transit des digesta a été affectée significativement mais de façon très variable selon la nature du digesta (liquide ou solide) et suivant le type de compartiment digestif.

Comparativement au temps moyen de rétention total (TMR_{TD}) enregistré en condition limitée, la distribution ad-libitum a entraîné un raccourcissement du TMR_{TD} de 21 % environ pour la phase solide.

Comme chez le mouton, les phases particulières et liquide transitent à la même vitesse dans le gros intestin de l'âne (tableau 21). La part du "TMR caeco-colique" dans le TMR_{TD} est de 75 % et cette proportion n'est pas influencée par le niveau d'ingestion, comme c'est le cas avec le rumen du mouton. De même, on constate que le "TMR antécaecal" (estomac + intestin grêle), représente environ 24 % du TMR_{TD} , et n'est pas non plus influencée par le niveau d'ingestion.

Dans nos conditions expérimentales, les TMR "Rumen" (mouton) et "caeco-colique" (âne) représentent les 3/4 du TMR total tube digestif de chacune de ces deux espèces. Toutefois, les aliments séjournent en moyenne deux fois plus longtemps dans le rumen du mouton que dans le gros intestin de l'âne. Ce rapport devrait être plus important si la durée des prélèvements retenue chez le mouton avait été plus adéquate (9 à 10 jours).

Figure 17 : Cinétique d'excrétion fécale de l'Yb chez l'âne

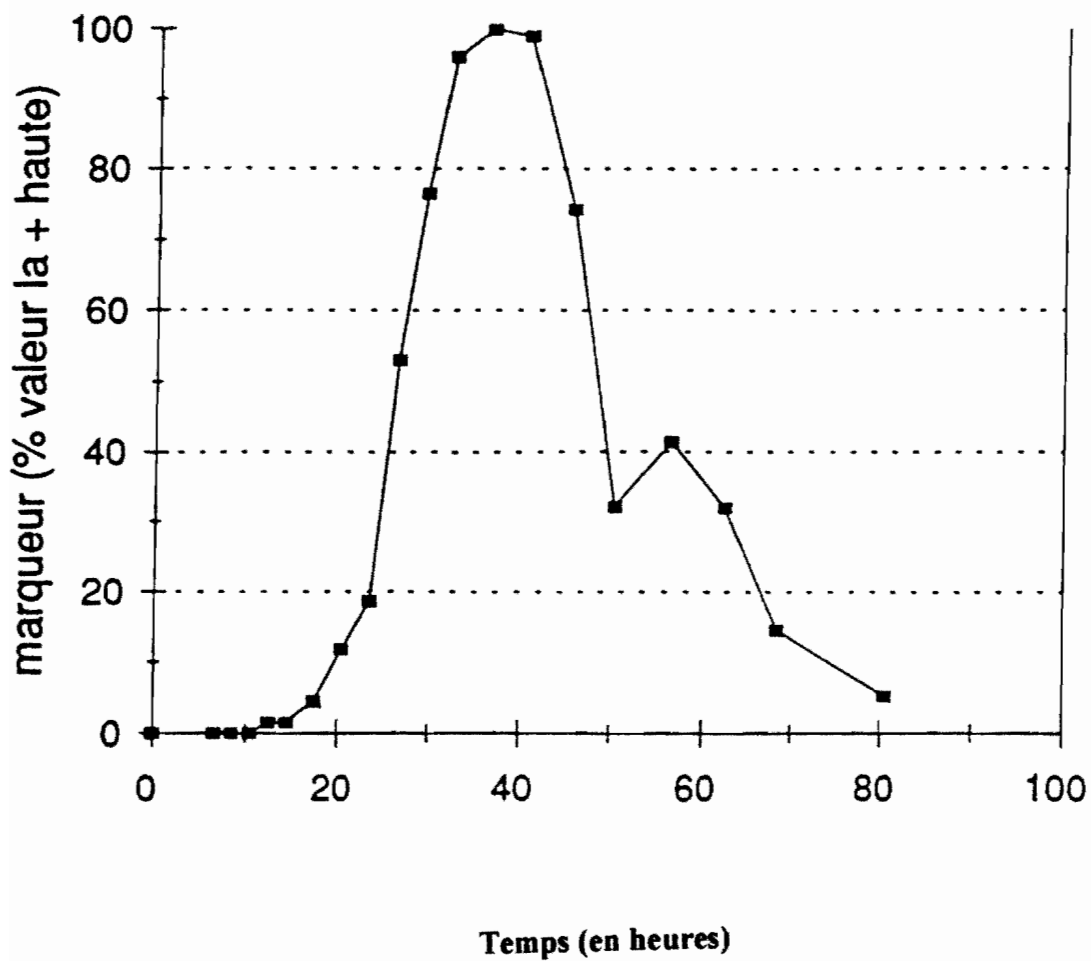


Tableau 21 : Influence du niveau d'ingestion sur les temps de séjour (TMR) des digesta chez l'âne

Niveau alimentaire	Poids vif moyen (en kg)	MSI/j (en g/kg p0,75)	Contenu digestif	Temps moyen de retention (en heures)		
				TD total	Anté -caecal	Caeco-colique
Ad-Libitum	221,3	54,8	Phase liquide	-	-	28,4 ± 4,2 ^a
			Phase solide	38,8 ± 5,4 ^a	9,4 ± 4,9 ^a	29,4 ± 1,9 ^a
Quantité limitée	217,7	36,1	Phase liquide	-	-	36,2 ± 6,3 ^b
			Phase solide	49,1 ± 7,6 ^b	11,9 ± 5,2 ^a	37,1 ± 4,6 ^b

Dans la même colonne, les chiffres portant des lettres différentes sont significativement différents (P<0,05).

DISCUSSION ET CONCLUSION

L'objectif de ce travail expérimental était de mieux préciser et comprendre les principaux mécanismes et adaptations physiologiques (nature des fermenteurs, capacité d'ingestion, durée de transit..) en liaison avec certains facteurs environnementaux (nature des fourrages, types de complémentation, mode d'alimentation...) qui conditionnent l'efficacité de l'utilisation digestive des parois végétales chez les herbivores domestiques. En effet, une bonne maîtrise de ces différents processus devrait permettre, d'une part, de mieux raisonner l'alimentation et la nutrition de ces animaux, et d'autre part, d'ouvrir des perspectives intéressantes dans la recherche de meilleures stratégies pour une bonne valorisation des fourrages pauvres tropicaux qui constituent de nos jours, l'essentiel des bilans fourragers annuels dans ces pays.

1. INGESTION ET DIGESTION COMPAREES CHEZ LES DEUX ESPECES

1.1. CAPACITE D'INGESTION

La revue bibliographique présentée dans la première partie et les résultats de l'étude expérimentale du présent travail ont mis en évidence certaines difficultés méthodologiques majeures se rapportant aux études comparatives inter-espèces. Des observations similaires ont déjà été faites par de nombreux auteurs qui se sont penchés sur le sujet. Ainsi, à travers une synthèse bibliographique récente, DULPHY *et al.*, (1995) révèlent que la comparaison des capacités d'ingestion entre des espèces de taille très différente (comme c'est le cas dans notre étude) pose le problème du choix de l'exposant à prendre en compte pour l'expression des résultats. Pour des animaux de taille très voisine, KLEIBER (1965) a proposé l'exposant 0,75 ($P^{0,75}$), appelé couramment "poids métabolique". Plus récemment, DULPHY *et al.*, (1990) aboutissent à des résultats d'ingestion tout à fait comparables entre des chèvres, des moutons et des taurillons en utilisant les exposants 0,9 et 1. Par contre, l'application de l'exposant 0,75 aux mêmes données conduit à des quantités ingérées nettement plus élevées chez les bovins (animaux de grande taille) que chez les ovins et caprins. Au regard de ces incertitudes persistantes, nous avons préféré conserver les deux modes d'expression des résultats les plus utilisés actuellement, à savoir, le poids vif (PV) et le poids métabolique ($P^{0,75}$).

Quels que soient le fourrage ou la ration considérés (E1 et E2), les résultats d'ingestion

exprimés en fonction du poids métabolique révèlent une nette supériorité des ânes par rapport aux moutons (tab. 9 et 11). Pourtant, rapportés au poids vif, les différences d'ingestion entre les deux espèces ne sont statistiquement significatives qu'avec les fourrages pauvres (FP et PB) présentés sous forme grossière (hachée). Comme DULPHY *et al.*, (1995), nous observons que la présentation des résultats d'ingestion en fonction du poids métabolique revient à une discrimination des animaux selon leur gabarit. A l'inverse, lorsque les résultats sont rapportés au poids vif, la qualité du fourrage devient le critère discriminant. Dans nos conditions expérimentales et au regard des objectifs poursuivis (valorisation des fourrages pauvres), l'exposant 1, c'est-à-dire le poids vif de l'animal peut être considéré comme critère pertinent pour comparer les capacités d'ingestion d'animaux très différents par la taille. De même, nous convenons avec KLEIBER (1965) que le poids métabolique ($p^{0,75}$) serait mieux adapté pour l'évaluation des besoins nutritionnels des animaux.

Par ailleurs, DULPHY *et al* (1995) ont essayé de caractériser les fourrages en fonction de leur ingestibilité. Ainsi sont qualifiés de bonne qualité, les fourrages ayant permis une ingestion volontaire comprise entre 18 et 21 g.MS/kg.PV. En dessous de 16 g.MS/kg.PV volontairement ingérés, les fourrages sont considérés comme pauvres ou médiocres. En confrontant nos résultats d'ingestion à la grille de classification des fourrages proposée par ces auteurs, on constate que le foin de pré (FP) apparaît comme un fourrage médiocre chez le mouton ($MSI \leq 16$ g/kg.PV) tandis que chez l'âne il se classe encore parmi les fourrages de bonne qualité (MSI comprise entre 18 et 21 g/kg.PV). Cette différence d'appréciation ou de comportement alimentaire expliquerait en partie le fait que la consommation volontaire de l'âne apparaisse très peu influencée par la nature ou la forme de présentation du fourrage (tab. 9 et 11). Nos observations rejoignent de ce point de vue, celles déjà faites par SYMBALUK (1990) qui ne trouve aucune différence d'ingestion entre des chevaux nourris avec des fourrages secs se différenciant par leur teneur en parois. Deux mécanismes physiologiques sont souvent évoqués pour expliquer l'absence de régularisation physique de l'ingestion chez les équidés : la mastication puissante et très poussée des aliments avant déglutition et l'absence de dispositifs sélectifs au niveau des principaux réservoirs digestifs comparables à ceux décrits dans le réticulo-rumen (AGABRIEL *et al.*, 1982 ; MARTIN-ROSSET et DOREAU, 1984). Chez le mouton, les phénomènes physiques de régularisation de la prise alimentaire semblent être la cause essentielle de la forte baisse d'ingestion constatée avec les fourrages pauvres (tab. 9). Cette hypothèse d'implication des mécanismes de régularisation qualifiés de "court terme" se confirme d'ailleurs avec le retour à un bon niveau d'ingestion chez ces derniers dès lors que la paille est

présentée sous forme agglomérée (tab. 11). Sur ce point, nos observations sont en accord avec les conclusions de nombreux auteurs qui considèrent que chez les ruminants la régulation physique de l'appétit serait prépondérante dans le cas des régimes à base de fourrages (BALCH et CAMPLING, 1962 ; BAILE et FORBES, 1974 ; DULPHY et FAVERDIN, 1987).

Chez l'âne comme chez le mouton, le régime "paille-maïs" (PM) n'a eu aucun effet significatif sur le niveau d'ingestion, comparativement à la ration témoin (P). Par contre, chez les deux espèces, l'apport de l'urée (PMU) ou du tourteau de soja (PMTS) a significativement amélioré le niveau d'ingestion des rations (tab. 11). Ces résultats fournissent au moins deux indications intéressantes. Ils confirment d'abord des affirmations bien connues selon lesquelles l'azote serait le facteur limitant essentiel de la valorisation des fourrages tropicaux (BREMAN *et al.*, 1986). Dans nos conditions expérimentales, la paille dosait 0,8% d'azote, soit 5 % de MAT. Pourtant, en zone tropicale sahélienne, la teneur moyenne en azote des pâturages herbacés en saison sèche serait de l'ordre de 0,5 %, soit environ 3 % de MAT (BREMAN *et al.*, 1986). Il est donc vraisemblable que l'ingestibilité des fourrages tropicaux soit encore plus faible que celle enregistrée dans notre étude. La deuxième indication intéressante se rapporte à l'influence du niveau de complémentation sur l'ingestion de la paille. En effet, seuls les apports de concentrés ayant permis de relever la teneur minimale en MAT de la paille aux environs de 10% ont significativement amélioré son ingestibilité. En ceci, nos résultats complètent et précisent ceux de CHARRY (1982) et de KONDOMBO (1991) et qui affirment qu'il existe des taux optimum pour l'incorporation des concentrés dans les rations mixtes si le but est de stimuler la consommation volontaire du fourrage. Pour ces auteurs, 20 à 30 % serait la fourchette à ne pas dépasser.

1.2. DIGESTION COMPAREE CHEZ LES DEUX ESPECES

Avec les fourrages pauvres (E1), la consommation volontaire a été fortement réduite chez les moutons mais dans le même temps la digestibilité des parois a été sensiblement améliorée (tab. 9 et 10). Chez les ânes par contre, ni la matière sèche ingérée (MSI), ni la digestibilité des parois n'ont été significativement affectées par la nature du fourrage. Ces observations indiquent que l'âne et le mouton utilisent des stratégies différentes, voire opposées pour valoriser les fourrages pauvres. Toutefois, en se référant au bilan énergétique de la digestion exprimé par la matière organique

digestible ingérée (MODI), les ânes semblent tirer meilleure partie des fourrages pauvres plus que les moutons (tab. 10). Le maintien d'un niveau d'ingestion élevé semble avoir compensé la pauvreté du régime mieux que l'augmentation de la digestibilité des parois. Cette analyse est aussi partagée par IZRAELY *et al.*, (1989a) qui précisent qu'avec les fourrages pauvres en glucides et en azote solubles, seul un renouvellement constant du flux de matières ingérées permet de mieux optimiser l'exploitation des substances solubles ou potentiellement dégradables contenues dans ces types de fourrages.

Le bilan analytique des résultats d'ingestion et de digestion (E1 et E2) révèle également que la supériorité des ruminants sur les équidés dans la digestion des parois végétales n'est pas systématique comme tendent à le démontrer la plupart des revues bibliographiques (HINTZ, 1969; VAN DER NOOT et GILBREATH, 1970 ; KOLLER *et al.*, 1978 ; MARTIN-ROSSET et DOREAU, 1984 ; DULPHY *et al.*, 1995). En effet, dans nos conditions expérimentales, lorsque le fourrage est de bonne qualité (cas de FLD), il n'apparaît aucune différence d'ingestion (tab 9) ou de digestion (tab. 10) entre l'âne et le mouton. Même avec les fourrages pauvres (FP et PB), la meilleure digestibilité observée chez les moutons semble être en rapport avec la différence de niveau d'ingestion enregistrée chez les deux espèces avec ces types de fourrages. Cette hypothèse trouve en partie sa justification dans les résultats de E2 (tab. 10) qui révèlent qu'à même niveau d'ingestion, la digestibilité de la paille agglomérée est tout à fait comparable chez les deux espèces. Il faudrait sans doute nuancer ces propos du fait des contraintes techniques qui ont conduit à des changements dans la forme de présentation de la paille entre les deux expériences (hachée dans E1 et agglomérée dans E2). En effet, ces conditions font que les effets respectifs du niveau d'ingestion et de la forme de présentation ne pouvaient être analysés indépendamment. Toutefois, les données de la littérature indiquent que le biais dû à la forme de présentation n'entraînerait pas de modifications significatives sur les tendances dégagées plus haut. Plusieurs auteurs estiment en effet que le broyage et l'agglomération conduisent à une baisse de la digestibilité des parois aussi bien chez les ruminants que chez les équidés (FONNESBECK *et al.*, 1967 ; VAN DER NOOT et GILBREATH, 1970 ; CYMBALUCK et CHRISTENSEN, 1986). Si nos résultats sont en accord avec ces données littéraires en ce qui concerne les moutons, l'agglomération a plutôt amélioré de manière significative la digestibilité des parois chez l'âne (tab. 10 et 12). Chez les ruminants, deux types de processus sont souvent évoqués pour justifier la baisse de digestibilité résultant du broyage ou de l'agglomération.

Pour certains l'accélération de la vitesse de transit qu'entraîne cette forme de présentation expliquerait la baisse de digestibilité (HINTZ et LOY, 1966 ; VAN SOEST, 1982). Pour d'autres, le broyage supprimerait la possibilité de tri qui permet aux ruminants d'ingérer préférentiellement les parties les plus digestibles des plantes permettant ainsi d'améliorer la digestibilité globale de la ration (REYNOLDS et LINDAHL, 1960). Chez les ânes, la forme de présentation ayant peu d'influence sur l'ingestion volontaire, l'amélioration de la digestibilité observée avec la paille agglomérée traduirait, à l'inverse de ce qui se passe chez le mouton, un ralentissement de la vitesse de transit, consécutive à l'agglomération de la paille (tab.26 en annexe).

Un des objectifs fondamentaux de ce travail étant de contribuer à la recherche des meilleures stratégies possibles de valorisation des fourrages pauvres, les résultats de digestibilité enregistrés avec la paille complétée semblent encourageants. En effet, l'apport des divers concentrés (E2) a mis en évidence des phénomènes d'interactions digestives positives vis à vis de la digestibilité de la matière organique (dMO) et sans conséquences négatives notables sur la digestibilité globale des parois (tab 12). Il est pourtant bien connu chez les ruminants que l'apport de concentrés dans les rations de fourrages s'accompagne habituellement d'une baisse de la digestibilité des parois végétales (DEMARQUILLY *et al.*, 1978 ; GUERIN et DULPHY, 1984). Dans nos conditions expérimentales, l'absence de modification de la digestibilité des parois serait à rapprocher avec la faiblesse relative des taux de concentrés retenus ($\leq 35\%$). Comme précédemment, nos résultats sur le mouton concordent assez bien avec ceux de la littérature mais ceux se rapportant à l'âne semblent contredire les données existantes. En effet, certains auteurs estiment que l'adjonction de concentrés aux fourrages ne modifie pas la digestibilité de la ration chez les équidés (HINTZ *et al.*, 1971 ; MARTIN-ROSSET et DULPHY, 1987 ; WOLTER et CHAABOUNI, 1979). Ces auteurs expliquent que les inter-actions négatives observées chez les ruminants seraient dues au fait que les micro-organismes du rumen ont le choix entre l'amidon du concentré et les glucides pariétaux qui sont plus difficiles à dégrader. Chez les équidés par contre, 70 à 95 % de l'amidon des concentrés sont dégradés dans l'intestin grêle alors que la digestion des parois n'aura lieu que dans le gros intestin en présence de peu de glucides facilement dégradables. Toutefois, il est probable que la contradiction apparente entre nos résultats sur l'âne et ceux des auteurs cités plus haut traduise, soit des différences dans les conditions expérimentales, soit des particularités spécifiques à l'intérieur même de la grande famille des équidés. Cette dernière hypothèse est d'autant plus vraisemblable que

les données actuelles sur le sujet sont peu nombreuses et proviennent essentiellement de travaux réalisés sur des chevaux ou des poneys.

L'analyse comparative des effets des différents types de compléments (énergie ou azote) chez les deux espèces met singulièrement en évidence les actions spécifiques du tourteau de soja (PMTS) chez le mouton et du maïs (PM) chez l'âne (tab. 12). Chez les équidés en particulier, l'importance relative de l'énergie et de l'azote comme facteur limitant de la digestion est très discutée. Ainsi, WOLTER et VELANDIA (1970) estiment que c'est l'insuffisance d'azote dans le gros intestin (GI) des équidés qui limite la dégradation des parois végétales chez ces derniers. Pour ces auteurs, l'existence d'une dissociation chronologique et topographique entre la digestion précoce et enzymatique des protéines dans l'intestin grêle (IG) et celle retardée et microbienne des parois végétales expliquerait la pauvreté en azote du contenu du GI des équidés. BRUGIERE (1981), BELLET (1982) et TISSERAND (1989) affirment par contre que l'activité microbienne dans le GI des équidés est essentiellement modulée par la disponibilité en énergie. Dans nos conditions expérimentales, la comparaison des valeurs de digestibilités obtenues chez les deux espèces avec les concentrés énergétiques (PM) et azotés (PMU et PMTS) met en évidence une plus grande sensibilité à la carence d'azote chez le mouton. Chez l'âne par contre, c'est plutôt l'énergie qui limiterait la digestibilité des parois (tab 12). Ces tendances se confirment davantage à travers les résultats comparatifs des effets des deux sources d'azote (PMU et PMTS). Chez le mouton la plus faible digestibilité observée avec le complément azoté apporté sous forme d'urée s'expliquerait par un découplage dans le temps entre la disponibilité en azote (urée) et en énergie (amidon du maïs). En effet, la dégradation quasi-instantanée de l'urée aboutit à la production d'importante quantité de NH_3 , mais la dégradation relativement moins rapide de l'amidon du maïs limite le bon fonctionnement du couple azote/énergie qui conditionne l'efficacité digestive chez les ruminants. La meilleure digestibilité enregistrée avec la source d'azote protéique (PMTS) semble traduire un meilleur couplage entre celle-ci et l'amidon du maïs. Chez l'âne, l'apport d'azote, quelle que soit sa forme (protéique ou non), n'a pas amélioré la digestibilité des rations, comparativement à l'apport du maïs comme unique complément, confirmant une fois de plus la faible sensibilité des ânes vis à vis de la carence en azote. Selon IZRAELY *et al.*, (1989a), cette aptitude de l'âne serait en rapport avec la capacité particulière de cette espèce dans le recyclage de l'urée endogène et l'auteur ajoute que ce pouvoir de recyclage est d'autant plus fort que les rations servies sont plus pauvres en azote.

2. BILAN COMPARE DES PRODUITS TERMINAUX DE LA DIGESTIBILITE DES PAROIS

Globalement, le bilan de l'ensemble des paramètres fermentaires (pH, AGV, NH₃) reflète assez bien les résultats de digestibilité *in vivo* des différentes rations expérimentales (E1 et E2). En outre, il met en évidence ou confirme certaines particularités physiologiques chez les deux espèces ou entre compartiments digestifs.

2.1. LE pH

Les variations moyennes de pH observées dans les trois compartiments (rumen, caecum-âne et caecum mouton) sont restées faibles tant avec les fourrages distribués seuls qu'avec la paille complémentée. Quel que soit le fourrage ou le type de complément (tableau 16 et 17), les pH du rumen (Ru) et du caecum-âne (CA) évoluent de manière similaire et sont toujours significativement plus bas que celui du caecum-mouton (CM). Ces observations tendent à confirmer l'idée selon laquelle, le caecum des équidés, anatomiquement comparable à celui des ruminants, est beaucoup plus proche physiologiquement du rumen. Par ailleurs, la faible variation du pH des contenus ruminal et caecal malgré l'apport des concentrés serait imputable au niveau relativement bas des taux d'incorporation retenus. De même, ces faibles taux d'incorporation des concentrés ont certainement limité l'action inhibitrice spécifique du pH sur la cellulolyse ruminale et caecale. Ainsi pourrait également s'expliquer, en partie, l'absence d'interactions digestives négatives observée avec la paille complémentée. Enfin, ces observations tendent aussi à créditer la théorie développée par MOULD *et al.*, (1983), cité par ARCHIMEDE (1992), selon laquelle il faudrait relativiser la part de l'acidité des contenus digestifs (ruminal ou caecal) dans les phénomènes d'interaction digestive au profit d'effets indirects liés plutôt à des modifications au sein des populations microbiennes dominantes consécutives aux apports de concentrés.

2.2. TENEUR ET EVOLUTION DES AGV

Quel que soit le régime considéré (E1 et E2), la teneur en AGVt dans le rumen du mouton ou

dans le caecum de l'âne évolue dans le même sens que la digestibilité mesurée in vivo de ces régimes. Nos observations rejoignent celles de JOURNET *et al.*, (1995) qui indiquent qu'il existe une forte corrélation entre la production d'AGV et la matière organique fermentée (MOF), c'est à dire, réellement digérée dans les divers segments digestifs des herbivores. Le bilan de la digestion des divers régimes, (E1 et E2) exprimé par la MODI/kg. P^{0,75} a révélé une nette supériorité des ânes par rapport aux moutons, quel que soit le régime considéré (tab 10 et 12). Pourtant, l'analyse comparative des teneurs moyennes en AGVt dans le rumen et le caecum semble apporter quelques nuances à ces conclusions suivant la qualité de la ration :

- **premièrement** : lorsque le régime est de bonne qualité (FLD) ou équilibré en énergie et en azote (PMU et PMTS), la teneur moyenne en AGVt est nettement plus élevée dans le Ru que dans le CA (tab. 16 et 18) ;

- **deuxièmement** : dans le cas des régimes pauvres (FP et PB) ou particulièrement carencés en azote (PM), les teneurs en AGVt dans le Ru et le CA sont tout à fait comparables.

Ces nuances, voire contradictions, entre le bilan de la digestion in vivo et la production d'AGVt ne sont qu'apparentes et pourraient s'expliquer de plusieurs manières. Les différences observées pourraient traduire tout d'abord les limites objectives des méthodes et techniques utilisées pour évaluer la production des AGV chez les deux espèces. En effet, chez les ruminants, plus de 90 % de la matière organique digestible (MOD) est effectivement dégradée dans le rumen (THIVEND *et al.*, 1985) tandis que chez les équidés, la production d'AGV a lieu dans deux sites (le caecum et le colon) dont les capacités digestives sont estimées à égale importance (MARTIN-ROSSET *et al.*, 1984). Dans nos conditions expérimentales, les mesures de teneurs en AGV s'étant limitées au caecum uniquement, il s'en suit que le bilan fait chez l'âne n'est que très partiel, comparé à celui réalisé chez le mouton. D'autre part, ces différences pourraient aussi traduire des différences de sensibilité de la flore ruminale et caecale vis à vis de la qualité des substrats alimentaires. En effet, la position topographique du caecum et du colon fait que les micro-organismes de ces réservoirs digestifs sont moins dépendants de la qualité de la ration que ceux du rumen.

L'évolution comparative des teneurs en AGVt dans le Ru et le CA en fonction de la nature du régime (tab. 16 et 18) confirme les observations déjà faites quant à la sensibilité spécifique des deux

espèces à certaines carences nutritionnelles (azote/énergie). En particulier, le mouton semble être beaucoup plus dépendant de la qualité de la ration que l'âne. En effet, en passant du fourrage de bonne qualité (FLD) à la paille (PB), la teneur en AGVt a diminué de moitié dans le Ru et seulement de 40 % dans le CA. Ces observations tendent également à créditer la thèse "nutritionnelle" développée par beaucoup d'auteurs comme facteur explicatif essentiel des différences d'efficacité observées entre ruminants et équidés dans la dégradation des parois végétales (WOLTER et VELENDIA, 1970 ; BRUGIERE, 1981 ; BELLET, 1982 ; TISSERAND, 1989..). Par ailleurs, dans nos conditions expérimentales, la nature de la ration a eu des effets divers sur l'orientation des fermentations microbiennes chez les deux espèces. Avec les fourrages distribués seuls, les proportions molaires des différents AGV dans le mélange total sont restés comparables entre les deux espèces et aussi en accord avec les données de la littérature (tab. 16). En effet, avec des régimes de foins, KERN *et al* (1973) rapportent que chez les équidés les proportions molaires moyennes des différents AGV dans le mélange fluctuent entre 70-75, 18-23 et 5-7 %, respectivement pour C₂, C₃ et C₄. Dans des conditions d'alimentation similaires, JOURNET *et al* (1995) indiquent que chez les ruminants, ces proportions molaires évoluent dans des limites comparables : 70 à 72 % pour C₂, 17 à 21 % pour C₃ et 12 à 19 % pour C₄ et C₅ cumulés.

Il est généralement admis que l'adjonction de concentrés dans les rations de fourrages oriente les fermentations microbiennes vers des proportions plus accrues d'acide propionique (C₃) et/ou butyrique (C₄) aux dépens de l'acide acétique (BLAXTER et WAINMAN, 1964; EADIE *et al.*, 1970; REMOND et JOURNET, 1972 ; WOLTER, 1984 ; JOUANY *et al.*, 1995). Ces tendances se confirment à travers nos résultats expérimentaux mais les effets des différents concentrés sont restés relativement modérés en raison certainement des faibles taux d'incorporation retenus (tab. 18). Toutefois, les inter conversions entre AGV du fait des apports de concentrés confirment une fois de plus le rôle bénéfique du complément "maïs" (PM) chez l'âne. En effet, avec ce complément, la proportion de propionate a été améliorée de 5 %, comparativement au témoin sans complément (P). On sait par ailleurs que ce précurseur est la principale source de glucose provenant de la dégradation des parois végétales chez les herbivores. Ainsi, ce type de conversion ou d'orientation des fermentations microbiennes devrait être particulièrement bénéfique aux animaux fournissant des efforts musculaires intenses et plus singulièrement pour l'âne utilisé comme bête de somme dans les pays en voie de développement.

2.3. TENEUR ET EVOLUTION DU NH₃

L'évolution des teneurs en NH₃ est comparable à celle des AGVt. Avec les fourrages de bonne qualité (FLD) les taux de NH₃ sont toujours significativement plus élevés dans le Ru que dans le CA (tab. 16). Par contre avec la paille (PB) les teneurs en NH₃ dans les deux compartiments demeurent comparables. Comme mentionné plus haut, des différences de nature ou d'équilibre nutritionnel des substrats alimentaires arrivant dans le Ru et dans le CA seraient à l'origine des différences de teneurs observées entre les deux organes.

Les résultats de l'adjonction des différents compléments à la paille confirment une fois de plus, l'importance de l'énergie chez l'âne et la nécessité d'un bon équilibre du rapport azote/énergie chez le mouton. Dans nos conditions expérimentales, la teneur en azote enregistrée dans le rumen avec le complément PMTS ne représente que 70 % de la valeur obtenue avec PMU. Ces résultats confirment la différence d'efficacité entre ces deux sources protéiques. Ici encore l'existence d'un découplage dans le temps entre l'énergie apportée sous forme d'amidon de maïs (plus lent à dégrader) et l'azote fournie par l'urée (très fermentescible) expliquerait le mauvais fonctionnement du couple azote/énergie lorsque l'azote non protéique est associé au maïs, comparativement au complément PMTS.

3. CAPACITES DIGESTIVES COMPAREES ENTRE LE RUMEN ET LE CAECUM PAR LA METHODE DES SACHETS NYLON

La méthode des sachets nylon a fourni des résultats de dégradabilité des différents constituants pariétaux assez cohérents avec ceux obtenus dans les essais de digestibilité in vivo (E1 et E2). Chez le mouton, la dégradabilité (24 heures) des différents constituants des parois est fortement corrélée ($R=0,95$) à la digestibilité in vivo (annexe 1a), confirmant ainsi que l'essentiel (90 %) de la digestion des parois végétales chez les ruminants se déroule dans le rumen. Chez l'âne par contre, la dégradabilité in sacco (24 h) de ces mêmes constituants ne semble pas être un bon prédicateur de leur digestibilité in vivo (annexe 1a). Ce constat confirme les observations déjà faites sur la contribution relative du caecum dans les bilans globaux de la digestion des parois chez les équidés. Les valeurs faibles de corrélation ($R=0,60$ et $0,50$, respectivement pour NDF et ADF) qui lient les résultats in sacco et in vivo (annexe 1a) indiquent bien qu'une bonne part de la variabilité totale de cette digestibilité demeure inexpliquée. Nos résultats rejoignent ainsi les conclusions de BRUGIERE (1981) qui rapporte que pour avoir une bonne prédiction de la digestibilité in vivo chez

les équidés à partir de la dégradabilité in sacco dans le caecum, le temps de séjour des sachets nylon devrait être porté à 48 heures.

Les résultats comparés de dégradabilité en sachet nylon révèlent une nette supériorité du rumen sur le caecum dans la digestion des parois et ce, quels que soient la nature du fourrage ou le type de complément apporté (tab. 15 et 18). Si la plupart des auteurs s'accordent sur ce constat, les causes précises de la plus faible activité microbienne dans les compartiments digestif des équidés restent encore très discutées. Comme déjà évoqué plus haut, deux thèses essentielles sont généralement développées pour justifier ou expliquer cette situation : l'une alimentaire ou nutritionnelle (nature des substrats, azote, énergie...), l'autre physiologique (vitesse de transit, nature des compartiments digestifs.). Dans nos conditions expérimentales, le temps d'incubation des sachets nylon étant fixé (24 heures), les différences de dégradabilité observées entre le Ru et le CA ne semblent pas directement liées à d'éventuelles différences de temps de séjour ou de vitesse de transit des digesta dans ces deux compartiments. Par ailleurs, en confrontant ces résultats in sacco avec ceux des AGV (tab. 16 et 18), il apparaît que la supériorité du Ru par rapport au CA n'est vérifiée que dans le cas des fourrages de bonne qualité (FLD) ou de rations équilibrées en azote et énergie (PMU et PMTS). Ces observations semblent traduire, d'une part, la prépondérance des facteurs nutritionnels dans les variations ou les différences observées entre capacités digestives du rumen et du caecum, et d'autre part, confirment que chez les équidés la prédiction des bilans fécaux de la digestion des glucides pariétaux à partir de leur dégradabilité théorique in sacco conduit à des sous estimations non négligeables. Les effets de la complémentation sur la dégradabilité in sacco dans le Ru et le CA sont de même nature que ceux observés in vivo (tab. 17), à savoir que le maïs et le tourteau de soja sont les meilleurs stimulants de l'activité microbienne, respectivement dans le CA et dans le Ru. Aussi, l'utilisation du PMTS comme complément dans l'expérience 7 pour comparer le Ru et le CA a pu amplifier les écarts entre les deux organes en faveur du rumen (tab. 19).

4. LE TRANSIT DIGESTIF

Comme le font remarquer DULPHY *et al.*, (1995), la digestion des parois végétales dans les compartiments digestifs des herbivores va résulter d'un compromis entre leur vitesse de dégradation et le temps de séjour des particules alimentaires à l'intérieur de ces compartiments. Pour une ration donnée, l'équilibre entre ces deux mécanismes va expliquer en grande partie les différences d'efficacité constatées entre individus ou entre espèces. De nos jours, la certitude est faite que les

aliments séjournent moins longtemps dans les réservoirs digestifs des équidés que dans ceux des ruminants. Mieux, certains analystes considèrent cette particularité comme un handicap majeur à la valorisation des substances lignocellulosiques chez les non-ruminants (HINTZ, 1969 ; VAN DER NOOT et GILBREATH, 1970 ; UDEN et VAN SOEST, 1982 ; MARTIN-ROSSET *et al.*, 1984). Pour ce qui est des valeurs biologiques brutes, nos résultats expérimentaux de transit sont en accord avec les données de la littérature, exception faite cependant de la vitesse de transit des deux phases (particulaire et liquide) chez l'âne. Dans nos conditions expérimentales en effet, ces deux phases transitent à la même vitesse dans le compartiment caeco-colique de ce dernier alors que les données bibliographiques indiquent que chez les équidés la phase liquide transiterait plus rapidement que la phase solide (VAN SOEST, 1982). Toutefois, la contradiction qui existe entre les deux conclusions semble être à notre sens une question de perception ou de considération statistique. En effet, nos chiffres de transit (tableau 21) comme ceux rapportés par ces auteurs (tableau 4) font apparaître un écart maximum de ± 1 point (en heure) entre les deux phases. Or, dans nos conditions expérimentales, cet écart de plus ou moins un point entre les TMR solide et liquide dans le compartiment caeco-colique (âne et mouton) est apparu statistiquement non significatif.

L'analyse comparative de la dynamique des digesta à l'intérieur de chaque réservoir ou segment digestif révèle que les différences observées entre les deux espèces ne sont pas simplement arithmétiques mais témoignent de l'existence de véritables stratégies ou mécanismes physiologiques propres, permettant à chaque espèce de valoriser au mieux les fourrages pauvres.

Chez le mouton, le passage de l'alimentation en quantité limitée au régime ad-libitum s'est traduit par un raccourcissement du TMR-tube digestif total (TMR_{TD}) d'environ quatorze (-14) heures. En examinant de plus près le phénomène (tab. 20) on se rend compte que le raccourcissement du TMR_{TD} résulte d'une diminution en valeur absolue du TMR Réticulo-ruminal (- 18 heures) suivie d'une légère augmentation du TMR-caeco-colique (+ 4 heures). Concrètement, au plan nutritionnel, une accélération du transit chez le mouton se traduirait, d'une part, par une baisse d'efficacité de l'activité microbienne dans le rumen (diminution du temps d'exposition des aliments) et d'autre part, par une quantité plus accrue d'éléments nutritifs non absorbés du fait de leur digestion et de leur séjour prolongé dans les segments postérieurs du tube digestif (caecum et colon). Ainsi chez le mouton, un ajustement à la baisse des quantités ingérées qui favorise une rétention plus prolongée des digesta dans le réticulo-rumen semble être la stratégie la mieux appropriée pour la

valorisation des fourrages riches en parois. Chez l'âne, en passant de l'alimentation en quantité limitée à la distribution ad-libitum, le TMR_{TD} a été écourté de dix (-10) heures. A la différence du mouton cependant, ce temps en moins est réparti uniformément sur l'ensemble des principaux segments digestifs de l'âne et non supporté par le principal compartiment responsable de la digestion microbienne (rumen chez les ruminants, caeco-colique chez les équidés). Cette différence de mécanisme mis en jeu dans le processus de raccourcissement du TMR_{TD} expliquerait sans doute que la digestibilité des parois (CB, NDF, ADF) soit restée stable chez l'âne quelle que soit la quantité de matière sèche ingérée alors que chez le mouton celle-ci a évolué en sens inverse du niveau d'ingestion (tab. 9 et 10). Ainsi, toute proportion gardée, l'accélération du transit chez l'âne, tout en permettant à ce dernier d'ingérer des quantités de matières plus importantes ne semble pas affecter significativement l'efficacité de la digestion microbienne. Aussi, à l'opposé du mouton, un accroissement des quantités ingérées semble être la stratégie la mieux appropriée pour valoriser les fourrages pauvres chez l'âne. Ces observations semblent dire, contrairement à l'idée fort répandue, que la plus grande vitesse de transit observée chez les équidés, comparativement aux ruminants, n'est pas véritablement un handicap pour la valorisation des fourrages pauvres. Bien au contraire, les résultats de bilan digestif comparé issus des expériences in vivo (tab. 10 et 12) indiquent que l'augmentation des quantités ingérées (cas de l'âne) compense mieux la pauvreté des fourrages qu'une simple augmentation de la digestibilité des parois au détriment de la matière sèche ingérée (cas du mouton).

CONCLUSION GENERALE

Ce travail expérimental a démontré une fois de plus la complexité du système digestif des herbivores, notamment la difficulté à pouvoir appréhender expérimentalement et spécifiquement les divers mécanismes ou phénomènes que l'on souhaite étudier. Ce constat souligne la nécessité de pouvoir poursuivre les efforts au plan méthodologique si l'on veut espérer progresser dans la connaissance des règles qui gouvernent l'efficacité de la digestion microbienne. Une des difficultés majeures couramment rencontrées dans les études comparatives de capacité digestive entre des espèces de taille très différentes réside dans le choix de l'exposant à prendre en considération pour l'expression des résultats. Dans nos conditions expérimentales, le poids vif est apparu comme le critère le plus pertinent pour comparer les capacités d'ingestion entre l'âne et le mouton. Par ailleurs, les résultats obtenus chez les deux espèces révèlent que la supériorité des ruminants sur les équidés dans la digestion des parois végétales n'est pas toujours systématique. Au delà des simples différences arithmétiques, le bilan analytique des résultats d'ingestion, de digestion et de transit révèle plutôt l'existence de véritables mécanismes d'adaptation physiologique chez ces deux catégories d'herbivores. Chez le mouton un ajustement à la baisse des quantités ingérées au profit d'une amélioration de la digestibilité des parois semble être la stratégie la plus appropriée pour la valorisation des fourrages riches en parois. Chez l'âne par contre, l'accroissement des quantités ingérées paraît être la meilleure solution pour optimiser l'exploitation des substances lignocellulosiques. Toutefois, le bilan comparé de la digestion, exprimé par la matière organique digestible ingérée indique que les ânes semblent tirer meilleure partie des fourrages pauvres, comparativement aux moutons. Le maintien d'un niveau d'ingestion élevé semble avoir compensé la pauvreté des fourrages et la baisse relative de digestibilité observées chez les ânes. Cette aptitude de l'âne explique sans doute la résistance particulière de cette espèce aux conditions climatiques et nutritionnelles extrêmes qui caractérisent les pays sahéliens.

Enfin, l'utilisation de concentrés énergétiques et/ou azotés comme complément à la paille a montré qu'il est possible d'améliorer la digestibilité de la matière organique de la ration totale sans altérer significativement celle des parois végétales. En outre, cette opération a permis de mettre en évidence la sensibilité spécifique des deux espèces à certaines carences nutritionnelles. Ainsi, l'énergie semble être le facteur limitant essentiel de l'activité microbienne chez l'âne alors que chez le mouton, un bon fonctionnement du couple énergie/azote apparaît comme la condition indispensable à l'optimisation des fermentations microbiennes dans le rumen.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

AGABRIEL J., TRILLAUD-GEYL C., MARTIN-ROSSER W., JUSSIAUX M., 1982. Utilisation de l'ensilage du maïs par le poulain de boucherie. *Bull. Tech CRZV Theix*, INRA, 49, 5-13.

ALEXANDER F., 1946. The rate of passage of food residues through the digestive tract of the horse. *J. Comp. Path.*, 56, 266-268.

ALRAHMOUN W., 1985. Utilisation digestive comparée chez les caprins et les ovins : effet de la nature du régime, du traitement des pailles par la soude, de la nature de la source azotée. Thèse d'Etat - Université de Dijon. 213 p.

ARCHIMEDE H., 1992. Etude des facteurs impliqués dans les interactions digestives entre les fourrages et les aliments concentrés chez les ruminants. Thèse - INA - PG, Paris, 144p.

ARGENZIO R. A., STEVENS C.E., 1984. The large bowel, a supplementary rumen ? *Proc. Nutr. Soc.* 3, 13-23.

ARGENZIO J.B., LOWE J.E., PICKARD D. W., STEVENS C. E., 1974. Digesta passage and water exchange in the equine large intestine. *Am. J. Physiol.*, 226, 1035-1042.

BAILE C.A., FORBES I. M., 1974. Control of feed intake and regulation of energy balance in ruminants. *Physiol. Rev.*, 54, 161-214.

BAILLEY C. B., BALCH C.C., 1961. Saliva secretion and its relation to feeding in cattle. 2. The composition and rate of secretion of mixed saliva in the cow at rest. *Br. J. Nutr.* 15, 382-402.

BAILLIEN M., 1960. Le transport actif d'acides aminés à travers la muqueuse intestinale isolée de tortue. *Arch Inter Phys Bioch* 68, 669-670.

BALCH C.C., 1950. Factors affecting the utilization of food by dairy cows. 1 The rate of passage of food through the digestive tract. *G.J. Nutr.* 4, 361.

BALCH C.C., CAMPLING R.C., 1962. Regulation of voluntary food intake in ruminants. *Nutr.*

Abst. Rev. 32, 669-686.

BARONE R., 1976. Anatomie comparée des mammifères domestiques. Fascicule 1er. Ecole Nationale vétérinaire de Lyon, Laboratoire d'anatomie, 879 pp.

BAUCHOP T., 1977. Foregut fermentation 223-250 In CLARKE R. T. J., BAUCHOP T. Microbial ecology of the gut. Acad. Press New York.

BAUCHOP T., 1979. Rumen anaerobic fungi of cattle and sheep. Appl. Environ. Microbiol., 38, 148-158.

BAUCHOP T., 1981. The anaerobic fungi in rumen fibre digestion. Agri. Environ., 6, 39-348.

BAUMONT R., DESWYSEN A.G., 1981. Mélange et propulsion du contenu du réticulo-rumen. Reprod. Nutr. Dev. 31, 335-359.

BELLET S., 1982. Etude des effets de différents régimes sur la microflore caecale et colique de poney. Thèse 3è cycle, Université de Dijon, 99p.

BELSE J.M., JOUANY J.P., 1990. La biomasse pariétale des fourrages et sa valorisation par les herbivores. INRA, Prod. Anim. 3 (1), 39-50

BERGE P., 1982. Interactions entre les fourrages et les aliments concentrés. Conséquences sur la prévision de l'ingestibilité et de la digestibilité des rations mixtes et sur la mesure de la digestibilité des aliments concentrés chez le ruminant. Thèse 3e cycle. ENSAM Montpellier, 105p + annexes.

BERNARD L., 1992. Etude de la dynamique des particules et des liquides dans le réticulo-rumen chez le mouton recevant une ration de foin de dactyle sous forme hachée et broyée en différentes proportions. Thèse de Doctorat de l'Université de BLAISE PASCALE - CLERMONT - FERRAND - FRANCE, 179p.

BINES J.A., 1976. Regulation of food intake in dairy cows in relation to milk production. Livest. Prod. Sci., 3, 115 - 128.

BLAXTER K.L., WAINMAN F.W., 1964. The utilization of energy of different rations by sheep and cattle for maintenance and for fattening. *J. Agric. Sci., Cambridge* 63, 113-128.

BREMAN H., TRAORE N., BONIFIGLIO A., 1986. Analyse des conditions de l'élevage et propositions de politique et de programmes - club du sahel - Ouagadougou - Burkina Faso 202p

BREMAN H., DE RIDDER N. KETALAARS J., KEULEN H., 1991. Manuel sur les pâturages des pays tropicaux. Ed. ACCT - CTA - KATHALA, 471p.

BRUGIERE D., 1981. Essai de stimulation de l'activité microbienne dans le caecum du poney par des substances glucidiques. Thèse 3e cycle. Université de Dijon, 1070p.

CABRERA L., 1995. Contribution à l'étude de l'utilisation de l'azote alimentaire chez les *Equus caballus* : effet de la source d'azote, du mode de distribution et de la forme de présentation du régime sur l'aminocidémie et sur l'urémie. Thès. doc. Université de Bourgogne - Dijon - France, 145p.

CAMMELL S.B., 1977. Equipment and techniques used for research into the intake and digestion of forages by sheep and calves. Grassland Research Institute, report n° 24.

CAMPLING R. C., FREER M., CAMPLING C. C., 1961. Factors affecting the voluntary intake of food by cows. 2. The relationship between the voluntary intake of roughages, the amount of digesta in the reticulo-rumen, and the rate of disappearance of digesta from the alimentary tract. *Br J. Nutr* 15, 531.

CAMPLING R.C., 1970. Physical regulation of voluntary food intake. In : A.T. PHILIPSON (ed), *Physiology of digestion and metabolism in ruminant*, 226-234. Oriel press Ltd, Newcastle upon Tyne

CAMPLING R. C, FREER M., 1966. Factors affecting the voluntary intake of food by cows. 8 - Experiments with ground, pelleted roughages. *Br. J. Nutr.* 20, 229-244.

CANDAU M., VIGROUX P., 1974. Sur le mécanisme de l'hypermotricité caecale liée au repas chez le cheval. *C.R. Soc. Bio.*, 168, 893-897.

CARLE B., DULPHY J.P., 1980. Comportement alimentaire comparé des ovins et des bovins.

Relation avec la digestibilité des aliments. *Reprod. Nutr. Develop.*, 20 (5B), 59-65.

CARTER R.R., GROVUM W.L., 1990. A review of the physiological significance of hypertonic body fluids on feed intake and ruminal function : salivation, motility and microbes. *J. Anim. Sci.*, 68, 2811 - 2832.

CHAI K., KENNEDY P.M., MILLIGAN L. P., 1984. Reduction in particle size during rumination in cattle. *Can. J. Anim. Sci.* 66, 992-999.

CHARRY J., 1982. Notes techniques sur l'élevage ovin en Côte d'Ivoire. IDESSA, IEMVT.

CHENOST M., DULPHY J.P., 1987. Amélioration de la valeur alimentaire (composition, digestibilité, ingestibilité) des mauvais foin et des pailles par les différents types de traitements. In: C. DEMARQUILLY ed. : "les fourrages secs : récolte, traitement, utilisation" p. 199 - 230. INRA - PARIS.

COLUCCI P. E., CHASE., YAN SOEST P.J., 1982. Feed intake, apparent diet digestibility, and rate of particulate passage in dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 65, 1445-1456.

CONWAY E.J., 1962. *Microdiffusion analysis and volumetric error* (5è Ed.). Crosby Lockwood. London, 468p.

CYMBALUK N.F., 1990. Comparison of forage digestion by cattle and horses. *Can. J. Anim. Sci.* 70, 601 - 610.

CYMBALUK N.F., CHRISTENSEN D.A., 1986. Nutrient utilization of pelleted and unpelleted forages by ponies. *Can J. Anim. Sci.* 66, 237-244.

DAVIES E.M., 1979. Studies on the microbial flora of the large intestine of the horse by continuous culture in an artificial colon. *Vet. Sci. Comm.*, 3, 39-44.

DEMARQUILLY C., 1987. *Les fourrages secs : récolte, traitement, utilisation*. INRA - Paris, 689p.

DEMARQUILLY C., CHENOST M., 1969. Etude de la digestion des fourrages dans le rumen par la méthode des sachets nylon : liaison avec la valeur alimentaire. *Ann. Zootech.*, 18, 419 - 436.

DEMARQUILLY C., CHENOST M., GIGER S., 1995. Pertes fécales et digestibilité des aliments et des rations. In : *Nutrition des ruminants domestiques. Ingestion et digestion*. Ed. R. JARRIGE, Y. RUCKEBUSH, C. DEMARQUILLY, M.H. FARCE, M. JOURNET, INRA, 601-647.

DEMARQUILLY C., ANDRIEU J., SAUVANT D., DULPHY J.P., 1978. Composition et valeur nutritive des aliments. In : *Alimentation des ruminants*, Ed. INRA Publications, 469-518.

DEMEYER D.I., VERVAEKE I., 1984. Rumen digestion and microbial processes for increasing the feed value of poor quality materials with special reference to animal feed. Braunschweig 19-21 Sept.

DEMEYER D.I., VAN NEVEL C.J., 1986. Influence of substrate and microbial interaction on efficiency of rumen microbial growth. *Reprod. Nutr. Develop.* (26 (1B)), 161-169.

DEMMENT M. W., VAN SOEST J.P., 1985. A nutritional explanation for body size patterns of ruminant and non-ruminant herbivores. *Ann. Nat.*, 125, 640-671.

DORLEANS M., 1985. Descriptif du mode opératoire de la méthode VAN SOEST adaptée à l'analyse des aliments concentrés. *Cah. Techn. INRA*, 11, 33-40.

DULPHY J.P., DEMARQUILLY C., 1981. Problèmes particuliers aux ensilages. In : *prévision de la valeur nutritive des aliments des ruminants*. Ed. DEMARQUILLY C., INRA - Paris, p.81-104.

DULPHY J.P., FAVERDIN P., 1987. L'ingestion alimentaire chez les ruminants : modalités et phénomènes associés. *Reprod. Nutr. Develop.*, 27 (18), 129 - 155.

DULPHY J.P., MICHALET-DOREAU B., 1983. Comportement alimentaire et merycique d'ovins et de bovins recevant des fourrages verts. *Ann. Zootech* 32, 465-474.

DULPHY J.P., KOUASSI A., BIENAIME A. 1982. Etude de la valeur alimentaire des pailles de céréales traitées ou non à la soude. II. Influence de la nature du complément énergétique Ann. Zootch. 31, 215-232.

DULPHY J.P., CARLE B., DEMARQUILLY C., 1990. Quantités ingérées et activités alimentaires comparées des ovins, bovins et caprins recevant des fourrages conservés avec ou sans aliment concentré. I : Etude descriptive. Ann. Zootech., 39, 95 - 111.

DULPHY J.P., MARTIN - ROSSET W., JOUANY J.P., 1995. Ingestion et digestion comparées des fourrages chez différentes espèces d'herbivores. INRA Prod. Anim., 8 (4), 29-307.

DURAND M., 1984. Le rôle du soufre dans le rumen. Conséquences pour les besoins et recommandations d'apport chez les ruminants. In : le point sur le magnésium et le soufre en alimentation animale. Cycle approfondi d'alimentation animale, 14 Juin 1984, I.N.A. Paris-Grignon.

DURAND M., KAWASHIMA R., 1980. Influence of minerals in rumen microbial digestion, 375-408. In : RUCKEBUSCH Y, THIVEND P., Digestive physiology and metabolism in ruminants. MTP Press Ltd, Lancaster.

DYCE K. M., HARTMANN E. G., 1973. An endoscopic study of the cecal base of horse. Tijdschr. Diergeneskd, 98, 957-962.

EADIE J. M., 1962. The developpement of rumen microbial populations in lambs and calves under various conditions of management J. Gen. Microbiol., 29, 563-578.

EADIE J.M., HYLDGAARD - JENSEN J., MANN S.O., REID R.S., WHITELAW F.G., 1970. Observations on the microbiology and biochemistry of the rumen in cattle given different quantities of a pelleted barley straw. Br. J. Nutr., 20, P.157.

EDIONWE A.D., OWEN F.G., 1989. Relation of intake to digestibility of diets containing soyhulls and distillers dried grains. J. Dairy Sci., 72, 1786 - 1792.

- EHRLEIN H. J., 1980. Forestomach motility in ruminants. Publ Wiss Film. Sect. Med. Nr, 29p.
- ELIMAN M.E., ORSKOV E.R., 1983. Factors affecting the outflow of protein supplements from the rumen. 1. Feeding level. Anim. Prod., 38, 45-51.
- ENGELHARDT, W., SCHEINEIDER W., 1977. Animal Research and Development 5, 68-72.
- ENGELHARDT W. V., DELLOW D. W., HOELLER H., 1985. The potential of ruminants for the utilization of fibrous low-quality diets. Proc. Nutr. Soc. 44, 37-43.
- FAICHNEY G. J., PONCER C., BOSTON R. C., 1989. Passage of internal and external markers of particulate matter through the rumen of sheeps. Reprod. Nutr. Dev 29, 325-337.
- FLATT W.P., MOE P.W, MOORE L.A., 1969. Influence of pregnancy and ration composition on energy utilization. In : Energy metabolism of farm animals. Ed. Oriel press, Newcastler, 123-136.
- FONNESBECK P.V., 1968. Digestion of soluble and fibrous carbohydrates of forage by horses. J. Anim. Sci, 27, 1306-1344.
- FONNES BECK P.V., 1969. Partitioning the nutrients of forage for horses. J. Anim. Sci., 29, 624-623.
- FONNESBECK P.V., LYNDMAN R.K., VAN DER NOOT G.W., SYMONS L.D. 1967. Digestibility of the proximate nutrients of forages by horses. J. Anim. Sci 26, 1039-1045.
- GALLOUIN F., FOCANT M., 1980. Bases physiologiques du comportement alimentaire chez les ruminants. Reprod. Nutr. Develop., 20, 1563-1614.
- GLINSKY M.J., SMITH R. M., SPIRES H.R., DAVIS C.L., 1976. Measurement of volatile fatty acid production rate in the caecum of the pony. J. Anim. Sci. 42, 1465-1470.

GOUY D., 1976. Une étude de la digestion chez les équidés par analyse du contenu intestinal, après abattage. Thèse de doctorat vétérinaire, Lyon, 82p

GREEN HALGH J.F.D., REID GW., 1973. The effect of pelleting various diets on intake and digestibility in sheep and cattle. *Anim. Prod.*, 16, 223.

GREENHARGH J. F.D., WAINMAN F. W., 1972. The nutritive value of processed roughages for fattening cattle and sheep. *Proc Br Soc. Anim. Prod. Sci* 26, 1039-1045.

GRENET E., BELSE J.M., 1990. La dégradation des fibres. In : métabolisme du rumen. Ed. PACCARD, P. AUGERRO, D. MASSON, INRA, Theix, 31-33

GROUZIS M., 1988. Structure, productivité et dynamique des systèmes écologiques sahéliens. ORSTOM. Etudes et thèses (MARE d'Oursi) Ouagadougou - Burkina Faso.

GROVUM W. L., HECKER J.F., 1973. Vitesse de transit des digesta chez le mouton. Effet de la quantité d'aliment ingéré sur les temps de rétention du digesta, et sur l'absorption de l'eau et des électrolytes au niveau du gros intestin. *Br. J. Nutr.*, 30, 231-240.

GROVUM W. L., WILLIAMS V.J., 1973. Rate of passage of digesta in sheep. 4. Passage of markers through the alimentary tract and the biological relevance of rate constants derived from the changes in concentration of marker in faeces. *Br J. Nutr.* 30, 313 - 328.

GUERIN H., DULPHY J.P., 1984. Influence de l'apport complémentaire de maïs, de pulpe de betterave ou de mélasse sur la valeur alimentaire d'un foin. *Ann Zootech.* 33, 509-532.

HAENLEIN G.F.W., SMITH R.C., YOON Y.M., 1966. Determination of the fecal excretion rate of horses with chronic oxide J. *Anim. Sci.* 25, 1091-1095.

HAN Y.W., 1978. Microbial utilization of straw (a review). *Adv. Appl. Microbiol.*, 23, 119 - 153.

HARRISON D.G., Mc ALLAN A.B., 1980. Factors affecting microbial growth yields in the reticulorumen, 205-206. In : RUCKEBUSH Y., THIVEND P., Digestive Physiology and metabolism in ruminants. PTP Press Ltd, Landcaster.

HINTZ H.F., 1989. Review. Equine nutrition. Comparisons of digestion coefficients obtained with sheep, cattle, rabbits and horses. Veterinaria 6, 45 - 57.

HINTZ H. F.N LOY R.G., 1966. The effect of pelleting on the nutritive value of horse rations. J. Anim. Sci. 25, 1059-1062.

HINTZ H.F., ARGENZIO R.A., SCHRYVER H.F., 1971. Apparent digestion in various segments of digestion tract of ponies fed diets with varying roughage grains ratios. J. Anim. Sci., 32, 245 - 248.

HINTZ H.F., SCHRYVER H.F., HALBERT M., 1973. A note of the comparison of digestion by new world camels, sheep and panica. Anim. Prod. 16, 33 - 306.

HOUPPT T.R., HOUPPT K.A., 1971. Nitrogen conversion by ponies fed a low protein diet. Am. J. Vet. Res. 32, 579.

HUNGATE R. E., 1966. The rumen and its microbes, Academic press, New York and London.

HUTCHINS B., 1984. The donkeys in veterinary practice. Equine Practice, 6, 8-12.

IZRAELY H., CHOSHNIK I., STEVENS C.E., SHKOLNIK A., 1989b. Energy digestion and nitrogen economy of the domesticated donkey (*Equus asinus*) in relation to food quality J. Arid Environ. 17, 97-101.

IZRAELY H., CHOSHNIK I., STEVENS C.E., DEMMENT M.W., SHKOLNIK A., 1989a. Factors determining the digestive efficiency of the domesticated donkeys (*Equus asinus*). Quarterly J. Exp. Physiol., 74, 1-6.

- JARRIGE R., 1981. Les constituants glucidiques des fourrages : variations, digestibilité et dosage. In : prévision de la valeur nutritive des aliments des ruminants. Ed. DEMARQUILLY C., INRA, 13-40.
- JARRIGE R., MORAND-FEHR P., HODEN A. 1978. Consommation d'aliments et d'eau. In : Alimentation des ruminants. INRA Editions, Paris, 374p.
- JOANNING J.W., JOHSON D.E, BARRY B.P., 1981. Nutrient digestibility depressions in corn silage. Corn grain mixtures fed to steer J. Anim. Sci., 53, 1095.
- JOBLIN K. N., 1981. : Isolation, numeration and maintenance of rumen anaerobic fungi in roll tubes. Appl. Environ. Microbiol., J Dairy sci., 64, 1133-1169.
- JOHNSON R.J., 1972. Studies on the utilization of nitrogen by the horse. Part II : Dietary urea and biuret. Feedstuff, 36, 19 - 26.
- JONES N.L., HOUP T.K.A., HOUP T.R., 1989. Stimuli of thirst in donkeys (*Equus asinus*). Physiol Behav., 46, 661-665.
- JOUANY J.P., 1975. Etude des traitements permettant d'améliorer la valeur alimentaire des fourrages pauvres (pailles). Bull. Techn. CRZV. Theix - INRA 21, 519 - 524.
- JOUANY J.P., 1982. Volatile fatty acid and alcohol determination in digestive contents, silages juices, bacterial cultures and aerobic fermentor contents. Sciences des aliments, 2, 131 - 144.
- JOUANY J.P., THIVEND P., 1989. Non-genetic manipulation of rumen microbes, pp. 277 - 294. In : "Biotechnology for livestock Aduction. FAD ed., Plenum Publishing Corporation.
- JOUANY J.P., BROUDISCOU L., PRINS R.A., KOMISARCZUK-BONY S., 1995. Metabolisme et nutrition de la population microbienne du rumen. In : Nutrition des ruminants domestiques. Ingestion et digestion INRA publ. 147, rue de l'université. 75338 Paris, 349-381.

JOURNET M., DEMARQUILLY C. 1967. Valeur alimentaire des foins condensés. Influence du broyage et de la mise en agglomérés sur la digestion du foin de luzerne dans le rumen. *Ann. Zootech.*, 16, 307-321.

JOURNET M., HUNTINGTON G., PEYRAUD J.L. 1995. Le bilan des produits terminaux de la digestion. In : *Nutrition des animaux domestiques. Ingestion et digestion*, R. JARRIGE, Y. RUCKEBUSCH, C. DEMARQUILLY, M.H. FARCE (ed), INRA - Paris, 671 - 720.

JULLIAND V., 1991. Comparaison de la flore microbienne caecale chez l'âne et le poney. Mémoire de DEA - ENSBANA - INRA - Dijon.

JULLIAND V., TISSERAND J. L., 1992. Alimentation du poney : importance de la qualité de l'azote sur la flore caecale 18e journée d'étude (Mars 1991), CEREOPA, 64-73.

KAUFMAN W., HAGEMEISTER H., DIRKSEN G., 1980. Adaptation to changes in dietary composition, level and frequency of feeding. In : Y. RUCKERBUSCH and P. THIVEND (eds), *Digestive physiology and metabolism in ruminants*; 587-602. MTP Press Ltd, Landcaster, England.

KERN D. L., SLYTER L.L., LEFFEL E. C., WEAVER J. M., OLTJEN R.R., 1974. Ponies vs steers : Microbial and chemical characteristics of intestinal ingesta. *J. Anim. Sci.*, 38, 559 - 564.

KERN D. L., SLYTER L.L., WEAVER J. M., LEFFEL E. C., SAMUELSON G., 1973. Pony caecum vs steer rumen : The effect of oats and hay on the microbial ecosystem *J. Anim. Sci.*, 37, 463-469.

KLEIBER M., 1965. Metabolic body size. In : K.L. BLAXTER (ed), *3rd symposium of Energy Metabolism*, 427 - 435. London, New York, Academic Press.

KOLLER B.L., HINTZ H.F., ROBERTSON J.B., VAN SOEST P.J., 1978. Cell wall digestion by ponies and cows. *J. Anim. Sci.* 47, 209-215.

KONDOMBO S., 1991. Niveau d'offre alimentaire et taux de concentré sur les performances de croissance et de boucherie du mouton Peul Bali-Bali au Nord du Burkina Faso. Mém. de fin d'études IDR - Université de Ouagadougou 71p.

LOWE J.E., HINTZ H.F., SCHRYVER J. F., 1970. A new technique for long term caecal fistulation in ponies. *Am. J. Vet. Res.* 31,6. 1104-1111.

MACKIE R. I., WILKINS C. A., 1988. Enumeration of anaerobic bacterial microflora of the equine gastrointestinal tract. *Appl. Environ. Microbiol.*, 54, 2155-2160.

MAMBRINI M., 1990. Etude du temps de séjour des résidus alimentaires dans le tube digestif des vaches laitières : aspects méthodologiques et facteurs de variation. Thèse de docteur de l'université de Rennes I. N° 564, 171p.

MARA, 1995. Bulletin Annuel Statistique de l'Elevage (DSPA-Ouagadougou - Burkina Faso).

MARTIN-ROSSET W., DOREAU M., 1984. Besoins et alimentation de la jument. In : *Le cheval: reproduction, sélection, alimentation, exploitation* INRA publ., Paris, 355-370.

MARTIN-ROSSET W., DULPHY J.P., 1987. Digestibility interactions between forages and concentrate in horse : Influence of feeding level in comparaison with sheep. *Livest. Prod. Sci.* 17, 263-276.

MARTIN - ROSSET W., ANDRIEU J., VERMOREL M., DULPHY J.P., 1984. Valeur nutritive des aliments pour le cheval. In : *Le cheval, reproduction, sélection, alimentation, exploitation*, INRA publ., Paris, 209 - 238.

MICHALET-DOREAU B., VERITE R., CHAPOUTOT P., 1987. Méthodologie de mesure de la dégradabilité in sacco de l'azote des aliments dans le rumen. *Bull. Techn. CRZYV -Theix, INRA*, 69, 5 - 7.

MILLET M.A., BAKER H. J., SATTER L.D., 1975. Pretreatment to enhance chemical, enzymatic, and microbiological attack of cellulosic materials. *Biotechnol, bio-eng. Symp.*, 5, 193-219.

MILLEVILLE P., 1982. Système d'élevage sahélien - Etude de cas. ORSTOM. Ouagadougou Burkina Faso.

MINSON D.J., 1962. The effect of pelleting and wafering on the feeding value of roughage - A review. *J. British Grassland Soc.* 18, 39-44.

MIRAGLIA N., MARTIN - ROSSET W., TISSERAND J.L., 1988. Mesure de la digestibilité des fourrages destinés aux chevaux par la technique des sachets nylon. *Ann. Zootech.*, 37 (1), 13 - 20.

MIRAGLIA N., PONCET C., MARTIN-ROSSET W., 1987. Effet de l'état physiologique et des quantités ingérées sur le transit. *Ann. Zootechn.* 37,13-20.

MIRAGLIA N. PONCET C. MARTIN-ROSSET W., 1992. Effect of feeding level, physiological state and breed on the rate of passage of particulate matter through the gastrointestinal tract of the horse. *Ann. Zootech.* 41, 69.

MOULD F.L., ORSKOV E.R., MANN S.D., 1983. Associative effects of mixed feed. Effect of type and level of supplementation and the influence of the rumen fluid pH on cellulolysis in vivo and dry matter digestion of various roughages. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 10 15-30.

MUELLER P.J., HOUP T K.A., 1991. A comparison of the responses of donkeys (*Equus asinus*) and ponies (*Equus caballus*) to 36 hours of water deprivation. In : *Donkeys, mules and horses in tropical agricultural development*. Ed. FIEL-DING D., PEARSON R. A., University of Edinburgh p. 86-95.

MULLER A., BERANGER C., 1979. Utilisation des pulpes des betteraves déshydratées en complément d'ensilage d'herbe par les bovins en croissance et à l'engrais. *Bull. Techn. CRZV Theix, INRA*, 35, 53.

NELSON M. L. 1988. Factors affecting the particle size distribution of grazed forage due to ingestive mastication by steers and wethers.

OLSON N., KIHLEN G., CAGELL W., 1949. Digestibility experiments on horses and evacuation experiments to investigate the time required for the food to pass through the horses digestive tract. *Meddl. Fran. Lantbru. Hurdj.*, 36-1-51.

ORPIN G.C., 1984. The role of ciliate protozoa and fungi in the rumen digestion of plant cell walls *Anim. Feed Sci. Technol.*, 10, 121-143.

PEARSON R.A., 1991. Effect of exercise on the digestive efficiency in donkeys given ad libitum hay and straw diets. In : *Donkeys, Mules and Horses in Tropical agricultural Development* (D. Fielding, RA Pearson, eds), University of Edinburgh, Edinburgh, UK, 79 -85.

POPPI D.P., MINSON D. J., TERNOUTH J. H., 1981. Study of cattle and sheep eating leaf and stem fractions of grasses. I. The voluntary intake, digestibility and retention time in the reticulorumen. *Aust. J. Agric. Res.* 32, 99-108.

POPPI D.P., NORTON B.W., MINSON D. J., HENDRICKSEN R.E., 1980. The validity of the critical size theory for particles leaving the rumen. *J. Agric. Sci* 94, 275-280.

PRINS R.A., DURAND M., 1990. Comparaison entre le rumen et les autres écosystèmes digestifs microbiens. In : *Métabolisme du rumen* (ITEB éd.). Conférence - Université d'été de l'INRA - Theix , 23 - 24.

PRIOR R.L., HINTZ H.F., LOWE J.E., VISER W. J., 1974. Urea recycling and metabolism in ponies. *J. Anim. Sci.* 38, 565

RAYMOND W.F., HARRIS C.E., HARKER V.G., 1953. Studies of the digestibility of herbage I. Technique of measurement of digestibility and some observations on factors affecting the accuracy of digestibility data. *J. Brit. Grassl. Soc.* 8, 301-320.

REES M. C, LITTLE D.A., 1980. Differences between sheep and cattle in digestibility, voluntary intake and retention time in the rumen of three tropical grasses. *J. Agric. Sci.*, 92(2), 483-485.

REID C. S. W., CORNWALL J. B., 1959. The mechanical activity of the reticulorumen of cattle. *Proc. N. Z. Soc. Prod.* 19, 23-35.

REID C. S.W., JOHN A, ULYATT M. J., WAGHORN GC., MILLIGAN L. P., 1979. Chewing and the physical breakdown of feed in sheep. *Ann Rech. Vet.* 10, 205-207.

REITNOUR C.M., 1979. Effect of cecal administration of corn starch on nitrogen metabolism in ponies. *Anim Sci.* 33, 992-995.

REITNOUR C.M. BAKER J.P., MITCHELL G.E. LITTLE C. O., KRATZER D.D., 1970. Amino acids in equine cecal contents, cecal bacteria and serum. *J. Nutr.*, 100, 349-354.

REMOND B., JOURNET M., 1972. Alimentation des vaches laitières avec des rations à forte proportion d'aliments concentrés II. Comportement alimentaire et digestion dans le rumen - *Ann. Zootech* 19, 111.

REYNOLDS P.J., LINDAHL I.L., 1960. Effect of pelleting on the digestibility of hay by sheep. *J. Anim. Sci.* 19, 873-880.

RITCHIE A. E., ROBINSON I. M., ALLISON M. K., 1970. Rumen bactériophage : survey of morphological types. 7e congr. Int. Microscop. Electron. Grenoble, 333-334.

RIVERS R., 1984. Différentes parties du rumen des ruminants et du gros intestin des équidés. In : Alimentation des bovins. I.T.E.B. (éd.) I.N.R.A.P., BERCY, 7595 PARIS p.70.

ROBINSON I.M., ALLISON M.J., HARTMAN P.A., 1975. *Anaeroplasma abactoclasticum* : an obligatory anaerobic mycoplasma from the rumen. *Int. J. Syst. Bacteriol.*, 25, 173-181.

ROBINSON P.H., TAMMINGA S., VAN VUUREN A.M., 1987. Influence of declining level of feed intake and varying the proportion of starch in the concentrate on milk production and whole tract digestibility in dairy cows. *Livest. Prod Sci* 17, 19-35.

ROGER T., 1991. Déterminisme de la vidange caeco-colique chez le poney : contrôle du péristaltisme par la base du caecum. 17e journée d'étude - CEREOPA 54-63.

RUCKEBUSCH Y., 1977. *Physiologie, pharmacologie, thérapeutique animales*. Maloire, Paris. 424p.

RUCKEBUSCH Y., 1984. Motricité digestive chez les équidés. In : *le cheval* (Jarrige R : Martin Rosset W, eds) INRA, Paris, 173 -187.

RUCKEBUSCH Y., 1988. Motility of the gastro-intestinal tract. In : *the ruminant animal, Digestive physiology and nutrition* (D.C. CHURCH, éd.) Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey PP 64-107.

RUCKEBUSCH Y., KAY R.N.B., 1971. Etude cinétique de la motricité gastrique chez les ruminants *Ann. Rech Vét.* 2, 99-136.

RUCKEBUSCH Y., BUEND L., FIRORAMONTI J., 1981. *La mécanique digestive chez les mammifères*. Actualités Scientifiques et Agronomiques de l'INRA; Ed. Masson, Paris, 132p.

RUSSEL J.B., HESPELL R.B., 1981. Microbial rumen fermentation, *J. Dairy Sci.*, 64, 1133 - 1169.

SAS, 1988. *SAS/Stat. USER'S guide*, SAS Institute INC., Cary N.C., 1028p.

SELLERS A. F., LOWE J. E., DROST C. J., RENDANO V. T., GEURGI J. R., ROBERTS M.C., 1982. Retropulsion - propulsion in equine large colon. *Am. J. Vet. Res.*, 43, 390-396.

SLADE L. M., ROBINSON D. W., CASEY K.E., 1970. Nitrogen metabolism in nonruminant herbivores I. The influence of nonprotein nitrogen and protein quality on the nitrogen retention of adult mare. *Anim. Sci.* 30, 753-760.

SMITH R.H., 1979. Synthesis of microbial nitrogen compounds in the rumen and their subsequent digestion. *J. Anim. Sci.* 49 1604-1614.

SUFIT E., HOUP T K.A., SWEETING M., 1985. Physiological stimuli of thirst and drinking pattern in ponies. *Equin vet. J.* 17 (1), 12-16.

SUNDSTOL F., OWEN E., 1984. Straw and other fibrous by-products as feed. Elsevier. Amsterdam. Oxford. New York, Tokyo. 604p.

THIVEND P., FONTY G, JOUANY J.P., DURAND M., GOUET P., 1985. Le fermenteur rumen. *Reprod. Nutr Dévelop.*, 25 (4B), 729-753

THOMAS S., CAMPLING R.C., 1977. Comparison of some factors affecting digestibility in sheep and cows. *J. Br. Grassld Soc.*, 32, 33-41.

TISSERAND J.L., 1989. Microbial digestion in large intestine in relation to monogastric and polygastric herbivores. *Acta Veterinaria Scandinavia. Supplémentum* - 86. P. 83-92.

TISSERAND J.L., CANDAU M., HOVISTE A., MASSON C., 1977. Evolution de quelques paramètres physico-chimiques du contenu caecal d'un poney au cours du myéthémère. *Ann. Zootech.* 26 (3), 429-434.

TISSERAND J.L., FAURIE F., TOURE M., 1991. A comparative study of donkey and pony digestive physiology. In : *Donkeys, Mules and Horses in Topical agricultural development* (D. Fielding, RA Pearson, eds). University of Edinburgh, Edinburgh, UK, 67-72.

TOURE S.M., FERRARA B., LOPEZ G., MARTTIOLI R., BARBERA S., 1985. L'élevage au

Burkina Faso. Etude générale de l'élevage au Burkina Faso FAO. Unité Sous Régionale d'Appui au Développement - Ouagadougou, 108p.

TOUTAIN B., DE WISPELAERE G., RIVIERE R., LERUN J.P., PROVOST A., 1977. Pâturages de l'ORD du Sahel et de la zone de délestage au Nord-Est de Fada N'Gourma. Tome I : les pâturages naturels et leur mise en valeur. IEMVT, 134p + annexes.

TYC J., 1989. Systèmes techniques de production en zone cotonnière : situation actuelle et perspectives. In : Actes du séminaire sur l'élevage en zone cotonnière - Ouagadougou - Burkina Faso, 75-90.

UDEN P., VAN SOEST P. J., 1982. Comparative digestion of timothy (*phleum pratense*) fibre by ruminants, equines, rabbits. Br. J. Nutr., 47, 267-272.

UDEN P., ROUNSAVILLE T.R., WIGGANS G.R., VAN SOEST P. J., 1982. The measurement of liquid and solid digesta retention in ruminants, equines and rabbits given timothy (*phleum pratense*) hay. Br J. Nutr., 48, 329 - 339.

VAN DER NOOT G.W., GILBREATH E.B., 1970. Comparative digestibility of components of forages by gelding and steers. J. Anim. Sci 66, 327-244.

VAN SOEST P.J., 1963. Use of detergents in the analysis of fibrous feeds. II. A rapid method for the determination of fiber and lignin. J. Ass. Off. Agric. Chem., 46, 829-835.

VAN SOEST P.J. , 1982. Nutritional ecology of the ruminant. Cornell University Press. Ithaca, NY.

VAN SOEST P.J., WINE R.H., 1967. Use of detergents in the analysis of fibrous feeds. IV. Determination of plant cell wall constituents. J. Asso. Off. Agric. Chem., 50, 50-55.

VAN SOEST P.I., JERACI J., FOOSE T., WRICK K. EHLE F., 1983. In: fibre in human and animal nutrition, pp. 75-80 (G. WALLACE and L. BELL, Editors). Wellington, New-Zealand :

Royal Society of New Zealand.

VEREMOREL M., 1978. Energie In : Alimentation des ruminants. Ed. INRA publ. Route de St. Cyr 78000 versailles.

VERITE R., DULPHY J.P., 1981. Effet de la nature de l'aliment concentré sur l'ingestion et les performances des vaches laitières. Bull. Techn. CRVZ Theix, INRA, 45, 15-21.

VERITE R., DURAND M., JOUANY J.P., 1986. Influence des facteurs alimentaires sur la protéosynthèse microbienne dans le rumen Reprod. Nutr. Develop., 23, 181-201.

VIGROUX P., 1976. Recherche sur la motricité caecale chez le cheval. Thèse Doct. 3è cycle, Toulouse, 89p.

VIGROUX P., CANDAU M., RUCKEBUSCH Y., 1975. Motricité caecale et transit caeco-colique chez le cheval. C.R. Soc. Biol., 169, 1617- 1622.

WAINMAN F. W., 1977. Digestibility and balance in ruminants. Proc Nutr Soc., 3b, 195-202

WESTON R. H., KENNEDY P.M., 1984. Various aspects of reticulorumen digestive function in relation to diet and digesta particle size. Techniques in particle size analysis of feed and digesta in ruminants. Can. Soc. Anim. Sci., occ, publ. N° 1, 1-17.

WESTON R.H., HOGAN J.P., 1968. The digestion of pasture plants by sheep. 1. Ruminal production of volatile fatty acids by sheep offered diets based on ryegrass and forage oats. Austr. J. Agric. Res. 19, 419-432.

WOLTER R., 1982. Particularités de la digestion chez le cheval. Rev. Méd. Vét. 158 (2), 223-237.

WOLTER R., 1984. La digestion chez le cheval. In : le cheval Reproduction, sélection, alimentation, exploitation. Ed. JARRRIGE R., MARTIN-ROSSET W., INRA, Paris P. 189-208.

WOLTER R., CHAABOUNI A., 1979. Etude de la digestion chez le cheval par analyse du contenu digestif après abattage. Rev. Méd. Vét., 130, 1345-1357.

WOLTER R., GOUY D., 1976. Etude expérimentale de la digestion chez les équidés par analyse du contenu intestinal après abattage. Rev. Méd. Vét. 127, 1723-1736.

WOLTER R., VELANDIA J., 1970. Digestion des fourrages chez l'âne. Rév. Méd. Vét. 142, 489 - 495.

WOLTER R. DURIX M., LETOURNEAU J. C., 1974. Influence du mode de présentation du fourrage sur la vitesse du transit digestif chez le poney. Ann. Zootech., 23 (3), 293-300.

WOLTER R., DURIX A., LETOURNEAU, 1975. Digestibilité chez le poney présentée sous trois formes différentes. Ann. Zootech 24(2), 237-242.

WOLTER R, VALETTE J.P., MOREL-GARAY G., 1982. Digestibilité de la paille traitée à l'urée chez le poney. Ann. Zootech. 31,4, 459-470.

WOLTER R., GOUY D, DURIX A., LETOURNEAU J.C., CARCELEN M., LANDREAU J., 1978. Digestibilité et activité biochimique intracaecale chez le poney recevant un même aliment complet présenté sous granulé, expansée ou sémi-expansée. Ann. Zootech., 27 (1), 47-60.

WYBURN R. S., 1980. The mixing and propulsion of the stomach contents of ruminant. In: Digestive physiology and metabolism in ruminants (RUCKEBUSCH Y., THIVEND P., eds) MPT Ltd press, Lancaster, 13-51.

A N N E X E S

ANNEXE 1a**Tableau 22** : Relations entre la digestibilité in vivo et la dégradabilité in situ chez le mouton et l'âne

Fourrages	Constituants pariétaux	Digestibilité (%) (In vivo)		Dégradabilité in sacco (%)				
		Ane	Mouton	Ru	CA24	CA48	PepCA	CM
FLD	MS	60,9	59,5	59,4	54,5	56,3	59,9	50,8
	NDF	48,9	48,5	26,9	20,9	26,7	30,9	11,4
	ADF	46,9	45,4	27,8	22,6	27,6	30,2	12,0
FP	MS	48,2	53,2	54,1	48,4	51,3	54,0	46,6
	NDF	48,6	56,2	40,9	31,0	35,4	41,6	30,4
	ADF	45,3	53,5	39,3	28,6	32,4	34,8	26,0
PB	MS	42,4	48,4	40,4	29,2	34,5	37,1	34,9
	NDF	47,1	54,9	30,8	15,6	25,4	25,0	20,6
	ADF	46,1	55,1	31,0	15,8	26,1	23,4	22,5

ANNEXE 1b**Tableau 23** : Matrice de corrélation entre dégradabilité in sacco et digestibilité in vivo (Ane-Mouton)

	d.MS _{vm}	d.NDF _{vm}	d.ADF _{vm}	Ru ₂₄	CA24	CA48	PepCA
d.MS _{va}	0,991			0,903	0,876	0,870	0,885
d.NDF _{va}		- 0,498		0,094	0,654	0,468	0,663
d.ADF _{va}			0,779	- 0,969	- 0,468	- 0,729	- 0,401
d.MS _{vm}				0,947	0,933	0,928	0,939
d.NDF _{vm}				0,595	0,330	0,533	0,318
d.ADF _{vm}				0,886	- 0,189	0,139	- 0,262

ANNEXE 2 : Composition des refus et des fécès chez l'âne et le mouton**Annexe 2a : Composition chimique des refus chez l'âne et le mouton (%MS)**

Régime	Espèce	MS(%)	MM	MAT	CB	NDF	ADF	ADL
Foin luzerne	Mouton	95,39	9,62	17,66	32,63	55,58	35,18	7,43
	Ane	93,56	9,19	16,95	34,80	57,10	37,77	6,99
Foin prairie naturelle	Mouton	94,34	12,92	7,98	31,74	61,3	57,99	6,19
	Ane	96,06	28,60	12,32	22,5	43,9	25,55	6,7
Paille de blé	Mouton	92,76	6,02	3,49	44,26	80,52	50,13	8,09
	Ane	93,04	6,39	3,26	43,07	81,43	48,79	7,64

Annexe 2b : Composition chimique des fécès chez l'âne et le mouton (%MS)

Régime	Espèce	MS(%)	MM	MAT	CB	NDF	ADF	ADL
Foin luzerne	Mouton	95,31	10,98	11,03	44,08	63,90	35,18	14,72
	Ane	93,82	10,27	16,04	43,61	69,00	37,77	14,01
Foin prairie naturelle	Mouton	94,67	15,51	9,58	30,84	59,90	57,99	9,67
	Ane	95,17	12,34	7,11	37,21	70,83	43,8	9,73
Paille de blé	Mouton	93,10	11,31	7,28	33,83	67,95	40,17	10,35
	Ane	92,87	11,30	6,06	35,43	68,44	40,80	10,48

ANNEXE 3 : Evolution des effectifs des animaux et leur répartition géographique**Tableau 24** : Evolution du cheptel sur 10 ans (1984 - 1994).

Année	Bovins	Ovins	Caprins	Porcs	Equins	Camélins	Volailles
1984	2 375 000	2 086 000	3 141 000	206 000	200 000	70 000	20 000 000
1994	4 260 000	5 680 000	7 242 100	552 300	23 300	23 032	18 776 400

Source: MARA. (1995)

Tableau 25 : Effectif des animaux par région (année 1994)

Région	Bovins		Ovins		Caprins		Porcs		Asins		Equins		Camélins		Volailles	
	Eff.	%	Eff.	%	Eff.	%	Eff.	%	Eff.	%	Eff.	%	Eff.	%	Eff.	%
Centre	1.280.600	30,05	1.986.900	34,97	2.287.200	30,97	235.860	42,75	175.300	39,45	6.140	26,52	0		7.024.900	36,75
Nord-Ouest	314.000	7,38	1.086.200	19,13	1.364.500	18,48	63.360	11,50	89.400	20,11	5.930	25,85	0		2.654.700	13,89
Sahel	532.000	12,49	647.500	11,57	1.552.300	21,02	1.020	0,19	48.500	10,92	1.790	7,77	13.240	100,00	1.002.700	5,24
Est	1.045.800	24,53	1.068.800	18,81	1.320.300	17,88	69.140	12,50	70.600	15,87	4.030	17,37	0		3.241.000	16,95
Ouest	1.088.600	25,55	881.000	15,52	860.200	11,65	182.520	33,06	60.700	13,65	5.220	22,49	0		5.193.600	27,17
TOTAL	4.261.000	100,00	5.670.400	100,00	7.384.500	100,00	551.900	100,00	444.500	100,00	23.110	100,00	13240	100,00	19.116.900	100,00

Source: MARA. (1995)

ANNEXE 4 : Influence de la forme de présentation de l'aliment sur le transit chez l'âne

Tableau 26 : Influence du Mode de Présentation de la paille sur le temps moyen de rétention chez l'âne

N° Animal	TMR phase solide (h)						TMR liquide (h)	
	TD-Total		Caeco-colique		Ante-caecale		Caeco-colique	
	Haché	Broyé	Haché	Broyé	Haché	Broyé	Haché	Broyé
A1	36,0	46,6	26,8	42,6	9,2	4,0	23,9	36,6
A2	46,4	51,9	30,9	48,6	15,5	3,3	34,1	41,2
A3	34,0	55,3	30,6	42,4	3,4	12,9	27,3	35,9
Moyenne	38,8	51,3	29,4	44,5	9,4	6,7	28,6	39,2
	± 5,4	± 4,4	± 1,9	± 3,6	± 1,8	± 1,3	± 4,2	± 3,2

ANNEXE 5: Composition des blocs à lécher

Matière minérale totales, au minimum	: 75 p.100
Phosphore, au minimum	: 12 p.100
Solubilité citrique du phosphore	: 100 p.100
Calcium, au minimum	: 8 p.100
Sodium	: 16 p.100
Magnésium	: 2 000 mg/kg
Fer	: 1 100 mg/kg
Manganèse	: 360 mg/kg
Cuivre	: 400 mg/kg
Zinc	: 50 mg/kg
Chlorures (en NaCl), au maximum	: 43 p.100
Insoluble chlorhydrique, au maximum	: 1,5 p.100

Bloc à lécher "12 p" (marque déposée) de la Compagnie des Salins
du Midi et des Salins de l'Est - 54110 VARANGEVILLE