

***Valeur azotée chez Ovis ariès des pailles  
de Triticum durum traitées ou non à  
l'ammoniac:***  
**facteurs déterminants**

**Par Rabeha CHABACA-DRAMCHINI**

-Mr LARWENCE A, Professeur ENSIA-SIARC Montpellier Directeur de thèse

-Mr AZZOUT B, Professeur INA El Harrach Co-Directeur de thèse

Soutenue le 13 décembre 2004

Devant le jury composé de : **-Mr BELLAL MM**, Professeur INA El Harrach **Président** **-Mr ASSAMI K**,  
Maitre de conférences INA El Harrach **Examineur** **-Mr YAKHLEF H**, Maitre de conférences INA El  
Harrach **Examineur** **-Mr TRIKI S**, Maitre de conférences INA El Harrach **Membre invité**



# Table des matières

RESUME ..	5
Abstract ..	7
صمآخلملا ..	9
Avant propos ..	10
Introduction ..	14
<b>1. FACTEURS ALIMENTAIRES EXOGENES CONDITIONNANT LA DEGRADATION DE LA PAILLE DANS LE RUMEN ..</b>	<b>18</b>
1.1. La population microbienne responsable ..	18
1.1.1. Les bactéries ..	18
1.1.2. Les champignons ..	19
1.1.3. Les protozoaires ..	19
1.2. Dégradation des composants de la paroi ..	20
1.3. Dégradation des composants azotés ..	21
<b>2. Facteurs générés par le traitement des pailles à l'ammoniac ..</b>	<b>24</b>
2.1 Accélération du transit digestif ..	24
2.2. Fixation énergétique sur la paille de l'azote du traitement ..	24
2. 3. Substances toxiques ..	25
<b>PARTIE I : MATERIEL ET METHODES ..</b>	<b>27</b>
<b>CHAPITRE 1 : VERIFICATION SUR PAILLES ALGERIENNES DES TRAVAUX INTERNATIONAUX SUR LA DIGESTIBILITE DES PAILLES ..</b>	<b>27</b>
1. Mesure de la digestibilité des pailles ammoniaquées ou non ..	27
2. MESURE DU BILAN AZOTE ..	33
3. ANALYSES CHIMIQUES ET CALCULS ..	34
<b>CHAPITRE 2. ELEMENTS DETERMINANTS LA VALEUR AZOTEE DES PAILLES TRAITEES ..</b>	<b>35</b>
1. Mesure de la libération de l'azote apporte par le traitement a l'ammoniac ..	35
2. Rôle des acides phénoliques ..	39
3. EFFET DES ACIDES PHENOLIQUES SUR L'ACTIVITE MICROBIENNE DU RUMEN ..	43
<b>CHAPITRE 3 :VALEUR AZOTEE DES PAILLES TRAITEES A L'AMMONIAC ..</b>	<b>45</b>
1. CALCUL DES MATIERES AZOTEEES DIGESTIBLES (MAD) ..	45
2. CALCUL DES PROTEINES DIGESTIBLES DANS L'INTESTIN ..	46
<b>CHAPITRE 4:ANALYSE STATISTIQUE DES RESULTATS ..</b>	<b>46</b>
1. ETUDE DE LA DISPERSION DES ECHANTILLONS ..	47
2. ANALYSE DE VARIANCE MONO-FACTORIEL ..	47
3. ANALYSE DE VARIANCE PLURI-FACTORIEL ..	47
4. LIAISONS ENTRE VARIABLES ..	48
<b>PARTIE II : RESULTATS ET DISCUSSION ..</b>	<b>49</b>
<b>CHAPITRE 1 :APPLICATION DE RESULTATS DES TRAVAUX INTERNATIONAUX SUR LA DIGESTIBILITE DES PAILLES ALGERIENNES ..</b>	<b>49</b>
1. PAILLES NON TRAITEES ..	49

2. PAILLES TRAITÉES À L'AMMONIAC . .	55
CHAPITRE 2.ACIDES PHENOLIQUES DES PAILLES DE CEREALES : EFFET SUR L'UTILISATION DE L'AZOTE . .	69
1. COMPOSITION CHIMIQUE ET TENEUR EN ACIDES PHENOLIQUES DE 35 PAILLES DE CEREALES RECOLTEES EN ALGERIE . .	69
2. EFFET DES CONDITIONS DE TRAITEMENT SUR LA TENEUR EN VA, EN ACIDES P-COUMARIQUE ET FERULIQUE DES PAILLES . .	74
3. COMPORTEMENT EN RUMEN DE VA, DE L'ApC ET DE L'AF . .	76
4. EFFET DES EXTRAITS PHENOLIQUES DE PAILLE SUR LA SYNTHÈSE MICROBIENNE <i>in vitro</i> . .	77
3. EFFET DES COMPOSES PHENOLIQUES SUR UTILISATION DE L'AZOTE . .	82
CHAPITRE 3. VALEUR AZOTEE DES PAILLES . .	86
1. CONCEPT DE MATIERES AZOTEES APPAREMMENT DIGEREES DANS LE TUBE DIGESTIF . .	87
CONCLUSION GENERALE . .	101
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES . .	103
ANNEXES . .	118
Annexe 1 : Composition chimique des pierres à lécher (ONAB). . .	118
Annexe 2 : Composition chimique du régime des animaux donneurs de jus . .	118
Annexe 3 : Composition de la solution mère de salive artificielle Mc Dougall (en g/l. Cette solution est ajustée à 5l, par de l'eau distillée, et saturée en CO <sub>2</sub> jusqu'à un pH de 7. . .	118
Annexe 4 : Solution d'oligo-éléments, d'après Kumaresan(1978), en mg/l . .	119
Annexe 5 : Obtention de la farine de pomme de terre . .	119
Annexe 6: Détail de calcul des PDI . .	119
Annexe 7 : Valeur alimentaire des régimes de pailles non traitées . .	120
Annexe 8 : Bilan azoté des régimes de PNT . .	120
Annexe 9 : Cinétique de dégradation de l'azote en rumen ( en % deMS). . .	121
Annexe 10 : Cinétique de dégradation in sacco des MAT (en %) des pailles traitées sur le terrain . .	122
Annexe 11 : Cinétique de dégradation <i>in vitro</i> de l'azote des pailles . .	123
Annexe 12 : Valeur alimentaire des pailles traitées à l'ammoniac . .	124
Annexe 13 :Bilan azoté des pailles traitées à l'ammoniac . .	124
Annexe 14 : Composition en matières minérales, azotées et en parois des pailles étudiées (% de la MS) . .	125
Annexe 15 : Composition chimique des pailles (en % MS). . .	126
Annexe 16 : Synthèse protéique <i>in vitro</i> en présence d'extrait phénolique (en g d'azote/ 100ml de milieu). . .	127
Annexe 17: Poids (en g) des formations générées par le traitement à l'ammoniac . .	128
Annexe 18 : Valeur en matières azotées digestibles des pailles traitées ou non (g/Kg MS) . .	129

---

## RESUME

Dans le but de déterminer les facteurs de causalité de la faible valeur azotée des pailles de céréale traitées à l'ammoniac, nous avons, durant la période 1985-1995, étudié la composition chimique (CC), la digestibilité des matières azotées (dMA) de la ration totale (RT), de la paille seule (PS) et le bilan azoté (bN) de 39 régimes de pailles traitées à 3% d'ammoniac (PT) au four (PTF) ou en meule (PTM) ou non traitées (PNT) complémentées avec différents concentrés. Dans une autre série d'expériences, nous avons étudié en laboratoire et sur le terrain, la fixation (FN) et la répartition de l'azote apporté par le traitement sur les composants de la paroi par solubilisation dans les solvant de Van Soest et *in situ* par la méthode des sachets en nylon. Parallèlement était étudiée la teneur des pailles algériennes en composés phénoliques (par une extraction au KOH et dosage par HPLC : acide coumarique (ApC), acide férulique (AF) et vanilline (VA), leur libération dans le rumen, leurs variations dans la paille après traitement à l'ammoniac, leurs effets sur la synthèse protéique *in vitro*, sur la cinétique de dégradation de l'azote (dgN) dans le rumen et sur la dégradabilité théorique (dtN). Enfin, la valeur azotée de ces pailles est calculée et exprimée en Matières azotées digestibles (MAD) et en protéines digestible dans l'intestin (PDI). Une fixation énergétique de l'azote sur les composés pariétaux et un effet nocif des composés phénoliques constituaient les hypothèses de travail.

Il ressort des résultats que la CC des pailles algériennes est comparable à celle des pailles des pays du Nord sauf pour la lignine dont la teneur est plus faible (7% contre 10%) traitée à l'ammoniac à la dose de 3%, la teneur en matières azotées totales (MAT) passe de 3.4% à 7.0% en moyenne mais reste inférieure à celle classiquement dosée sur les pailles traitées des pays du Nord (10%). La digestibilité de l'azote (dMA) de la PNT est logiquement négative ; celle de la PT est en moyenne de 35%, plus faible pour les PTF (29%) que pour la PTM (40%). L'azote apporté par le traitement n'est pas fixé de façon irréversible sur les composés pariétaux ; il est très rapidement solubilisé tant par le solution de Van Soest (à plus de 80%) que par dégradabilité *in situ* dans les sachets en nylon (68%) . La FN n'explique donc pas la faible digestibilité de l'azote. Mais, la part fixée sur la paroi est d'autant plus élevée que la teneur en MAT de la paille est faible.

Les substances phénoliques (SP) sont présentes en quantités appréciables dans les pailles de céréales : 7 à 9 g. Kg<sup>-1</sup> pour le total AF+ApC +VA dans les proportions respectives de 49, 47 et 4%. Comparé à la PNT, après traitement à l'ammoniac, AF et VA diminue respectivement de 16 et de 31% contre une légère augmentation de l'ApC (+5%). Ces diminutions sont accentuées par l'augmentation de la température de traitement. Apporté *in vitro*, l'extrait de PT diminue la synthèse protéique contrairement à celle des PNT. De même, une relation négative significative est montrée entre SP et dgN d'une part et entre dtN d'autre part ceci plus particulièrement dans la plage horaire 2-8 heures de la cinétique qui correspond au pic de libération des SP dans le rumen. L'effet nocif des SP se manifeste directement par leur propre toxicité et par celle de leurs produits d'oxydation ; ainsi, la dtN est fortement corrélée ( $R^2 = 0.83$ ) avec la différence entre les quantités "hémicelluloses" ou "lignine" de PNT et de PT constatée après traitement ; tout comme entre ces quantités et la surface des pics sortis après ApC sur Le chromatogramme. De même, les Sp complexent environ 50% de l'azote libéré dans le rumen. Les SP contribuent donc négativement à la faible valeur azotée des pailles. Exprimée en matières azotées digestibles, elle est de 30g contre 44g données par les tables étrangères. Exprimée en PDI, PDIN et PDIE sont respectivement de 21

et de 45g ; elle serait de 35 et de 50g si la teneur en MAT était de 10%. Une meilleure valorisation des PT passe donc par une augmentation de la MAT.

**Mots-clés :** pailles traitées à l'ammoniac ; dégradabilité de l'azote ; fixation de l'azote ; Acide coumarique ; acide férulique ; vanilline ; valeur azotée.

## Abstract

In order to find out the causality factors of low nitrogenous value of cereal straw treated with ammonia, during the period 1985-1995, we studied the chemical composition (CC), the digestibility of total ratio (RT) and the straw alone (PS) of nitrogenous matters (dMA) and the nitrogenous assessment (BN) of 39 samples of straw cereal treated with 3% of ammonia (PT), in oven (PTF) or stack (PTM) or untreated straw (PNT), additioned with different concentrates. In another series of experiences, we have studied in laboratory and in the field, the nitrogen fixation (FN) and the distribution of nitrogen brought by the treatment on the components of the cell wall by solubilisation in Van Soest solvent and *in situ* by the method of nylon bags. At the same time, was studied the content of Algerian cereals straw with regard to phenolics compounds (by KOH extraction and HPLC) proportioning: coumaric acid (ApC), ferulic acid (AF) and vanillin (VA), their release in the rumen and their variations in straw after a treatment with ammonia ; their effect on the *in vitro* proteic synthesis, on the kinetics and degradation of nitrogen (dgN) in the rumen and on the theoretical degradability(dtN). Finally, the nitrogenous value of cereal straw are calculated and expressed in terms of nitrogenous digestible matters (MAD) and in protein digestible in the intestine (POI). An energy fixation of nitrogen (FN) on the component of the cell wall and a harmful effects of phenolic compounds constitute the working hypothesis.

Results of the CC show that Algerian straws and those of northern countries are comparable, except for the lignin which has a lower content (7% against 10%). Treated with 3% of ammonia, the total nitrogen contents (MAT) changes from 3.4 % to 7% in average but is still less than the nitrogen contents of straw usually dosed in northern countries (10%). The digestibility of nitrogen (dMA) of PNT is logically negative; the one of the PT has an average of 35%, lower for the PTF (29%) comparing with PTM (40%). The nitrogen brought by the treatment is not irreversibly fixed on the components of the cell-wall. It is quickly solubilised by Van Soest solution (more than 80%) as well as by *in situ* degradation in polythen bags (68%). The FN does not explain, therefore, the poor digestibility of nitrogen. But the quantity fixed on the cell-wall is higher when the content of MAT straw is lower.

Phenolic substances (SP) are presents in high quantities in cereal straw: .7-9 g. kg<sup>-1</sup> For the total AF + ApC +VA, in respective proportion of 49, 47 and 4%. Compared to the PNT, after treatment with ammonia, the AF and VA decrease respectively of 16 and 31% against a slight increase of ApC (5%). These reductions accentuated by the increase of temperature during the treatment. Added *in vitro*, PT samples (extracts) decrease the proteic synthesis as opposed to the PNT one. Likewise, a significant negative relationship is shown between SP and dgN on one hand, and with dtN on the another hand. This is particularly observed during 2 to 8 hours of the kinetic, which corresponds to the highest release of SP in the rumen. The harmful effect of SP expressed via its own toxicity and their oxydation products. Thus the dtN is strongly correlated ( $R^2 = 0.83$ ) with the difference between «hemicellulose quantities» or « lignin » of the PNT and the PT observed after treatment. Likewise between these quantities and the area of the out coming pics after ApC on chromatogramme. The SP contributes, therefore, negatively the low nitrogenous value of straw. Expressed in digested nitrogenous matters it is 30.9 against 44.9 given for foreign tables. Expressed in POI, PDIN and POIE, are respectively 21 and 45g. It would be 35 and 50.9 if the MAT content was 10%. A better valorisation of the PT can be obtained via an increase of the the MAT.

**Keywords:** Ammonia treated straw; Nitrogen degradability; Nitrogen fixation; Coumaric acid; Ferulic acid; Vanillin; Nitrogenous value.



## صّ خلملا

يهدف تحديد العوامل المسببة لضعف القيمة الأزوتية للقش الناتج عن الحبوب المعالجة بالنشادر. درسنا خلال الفترة 1985 إلى 1995 التكوين الكيميائي (ت.ك) وكذا قابلية الهضم للمواد الأزوتية (ق.م.أ) للحصة الكاملة (ح.ك) للقش فقط (ق.ف) والتقييم الأزوتي (ت.أ) ل 39 نظام للقش المعالج ب 3% من النشادر (ق.م) داخل فرن (ق.م.ف) أو عن طريق الطاحونة (ق.م.ط) أو غير معالج (ق.غ.م) مكثف بمختلف المركّزات، وفي مجموعة أخرى من التجارب درسنا في المخبر وفي الميدان كيفية تثبيت وتوزيع الأزوت الناتج عن طريق معالجة مكونات الحجازر بواسطة عملية الانحلال داخل مذيب "VAN SOEST" وعن طريق أكياس من النايلون. وبالتوازي درس القش الجزائري المتكون من المكونات الحمضية الفينولية (عن طريق استخراج بواسطة KOH ومعايرة بواسطة HPLC :

حمض كوماريك (ح.ك) وحمض فيروليك (ح.ف) وحمض الوينولية (ون) وتحريره داخل القش وتغييره داخل القش بعد المعالجة بالنشادر و آثارها على التركيبية الغذائية وعلى العلاقة الحركية لتدني الأزوت داخل المجتر وعلى القابلية لتدني النظرية.

وأخيرا فإن القيمة الأزوتية تخضع لعملية حسابية ومعتبر عنها بواسطة مواد لزوتية قابلة للهضم (م.أ.ق) وبروتينات قابلة للهضم داخل الأمعاء (ب.ق.أ) ويعتبر التثبيت الطاقوي للأزوت على المكونات العظامية عامل مؤثر سلبي وضار للمكونات الفينولية

وهي تمثل فرصيات العمل.

وبعد النتائج المتحصل عليها يعتبر القش الجزائري قابلا للمقارنة بقش الدول الشمالية ماعدا الجذور التي تعتبر ضعيفة (70% ضد 10%) المعالجة بالنشادر بجرعة 3%، كما أن محتواه من المواد الأزوتية الإجمالي يتجاوز 3.4% إلى 7.0% كمعدل ويبقى تحت المعدل بالنسبة للمزود بجرعة تقليدية على القش المعالج في دول الشمال (10%).

إن قابلية الهضم للأزوت للقش غير المعالج يعتبر منطقيا سلبي، بالنظر إلى القش المعالج، وبمعدل 35% ضعيف جدا بالنسبة للقش المعالج في الفرن (29%) و 40% بالنسبة للقش المعالج بالطاحونة. إن الأزوت الناتج عن طريق المعالجة غير ثابت بصفة غير قابلة للعكس على المكونات العظامية، كما أنه سريع التحلل سواء عن طريق محلول (VAN SOEST أكثر من 80%) أو عن طريق قابلية لتدني بواسطة الأيكس النيلونية (68%).

إن المواد الفينولية (م.ف) موجودة بكمية عالية في قش الحبوب من 7 إلى 9 غ/كغ | بالنسبة للمجموع VA+APC+AH بالنسبة

للنسب المقدرة ب 49.47 و 40% بالمقارنة مع القش غير المعالج (ق.غ.م) بعد المعالجة بالنشادر، فإن AH,VA حمض الفيروليك والقابلة) ينخفض من 16 و 31% ضد ارتفاع طفيف لحمض الكوماريك (+15%).

هذه التخفيضات الشديدة ناتجة عن ارتفاع في درجة المعالجة، كما أن المستخلص من القش المعالج (ق.م) يعمل على تخفيض القيمة الغذائية عكس القش غير المعالج (ق.غ.م)، وكما أن هناك علاقة سلبية واضحة بين القش الوحيد وتد في الأزوت من جهة وعدم القابلية لتدني النظري من جهة أخرى، وبالخصوص في بحر الساعة 2 إلى 8 من العملية الحركية والتي تتناسب عملية تحرير القش المعالج بالمجتر. إن التأثير السلبي للقش فقط يظهر جليا بتسممها وموادها المؤكسدة وكذا التدني للأزوت المتلازم جدا، ( $0.83 = R_c$ ) ومع الاختلاف ما بين الكميات للحدود الخشبية للقش غير المعالج و القش المعالج يلاحظ بعد المعالجة نفس التوافق ما بين هذه الكميات ومساحة المعاول (pics)، إن القش الوحيد ساهم سلبيا في القيمة الأزوتية للقش. والنتيجة المعبر عنها بواسطة المواد اللازوتية القابلة للهضم هي 30 غ ضد 44 غ المقدمة من التقديرات الأجنبية.

كلمات مفاتيح : القش المعالج بالنشادر، قابلية التدني للأزوت، تثبيت الأزوت، حمض الكوماريك، حمض البيروليك، حمض الوينولية، القيمة الأزوتية.

## Avant propos

Si l'histoire du traitement des pailles aux alcalis est bien ancienne (Henneberg et Lehman 1891, pour la soude ; Nikolaeva 1938, pour l'ammoniac), ce n'est que vers les années 70 que la méthode fut remise au goût du jour particulièrement après la sécheresse de 1973 en Europe. En 1978, la méthode est vulgarisée dans le monde avec ses déclinaisons fermière, mécanisée et industrielle.

En 1982, elle était introduite en Algérie dans le cadre de la problématique en vogue à l'époque: " produire en même temps et sur le même hectare, l'alimentation destinée à l'homme (grains) et celle destinée aux ruminants (pailles)" ; inspirée elle-même du concept d'autosuffisance alimentaire développé en avril 1980 à la conférence de Lagos. Le programme de recherche : "utilisation des sous produits de récolte et de l'industrie agroalimentaire dans l'alimentation des ruminants" a été lancé.

En dehors du professeur Larwence animateur de ce programme, l'équipe se composait de trois chercheurs : Madame Chabaca Rabeha ; Messieurs Triki Saddek et Yakhlef Hacene.

Le déroulement du programme au cours de ces quinze années de travail peut être ainsi résumé:

1984-1992, études dans le contexte algérien des modalités de traitement à l'ammoniac (traitement au four ou en meule) ou à l'urée ; recherches des paramètres (température, dose, durée), sur la digestibilité, l'ingestibilité, sur la complémentation (nature et niveau de concentré dans la ration) et sur les facteurs de la faible digestibilité de l'azote de la paille traitée à l'ammoniac.

1990 - 1996, l'effet d'une alimentation de longue durée à base de pailles traitées à l'ammoniac a été étudié sur les performances de reproduction de la brebis Ouled Djellal.

1992 à 1993, sont entamées les premières recherches sur les besoins nutritionnels en énergie et en azote des ovins de race Ouled Djellal.

1995 - 1997, un projet mixte Franco - Algérien réunissant L'INA, L'INES de Tiaret, L'ENESA de Dijon et l'Ambassade de France en Algérie a vu le jour. Il visait l'application à grande échelle des résultats de laboratoire obtenus sur l'utilisation des pailles traitées à l'ammoniac. Mais, les conditions de sécurité sur le terrain n'ont pas permis sa mise en œuvre. Le volet "laboratoire" a été réalisé en 1997 par l'accueil et la formation dans les laboratoires de l'ENESAD et celui de l'INRA d'Epoisses (Dijon) de stagiaires à des techniques de mesure indirecte de la valeur nutritionnelle des fourrages (sachet en nylon ; gaz test...) et à celle de dosage des substances phénoliques dans les fourrages.

A partir de 1998, le programme était poursuivi dans le cadre national avec un volet terrain mené en 2000 dans la région de Sétif.

Ce résumé succinct d'une quinzaine d'années de travail de l'équipe a été valorisé par la soutenance de 15 mémoires d'ingénieur (\*), de 11 thèses de magister, de 3 thèses de doctorats d'état et de 8 publications dans des revues nationales et internationales, dont deux soumises respectivement à Animal Feed Science and technology et à Animal Research.

### **THESES DE MAGISTER SOUTENUES**

TRIKI SADDEK : Etude comparative de l'efficacité de deux méthodes de traitement de la paille de blé à l'ammoniac : essai d'introduction dans l'alimentation des génisses en croissance ; INA, El harrach (1988), 114p.

HADJ KADDOUR AMEL : Valeur azotée des pailles de blé traitées à l'ammoniac : fixation de l'azote sur les composés pariétaux ; effet du stockage et de la nature du complément ; INA, El harrach (1989), 57p.

YAHIAOUI AHMED : Enquête dans la région de Tiaret sur le système traditionnel d'élevage ovin : rôle de la paille traitée à l'ammoniac dans l'amélioration des performances ; INA, El harrach (1990), 60p.

BENCHABANE FARIDA : Etude comparée de la digestibilité et du recyclage de l'urée chez *Ovis aries* et *Capra hircus* recevant des rations à base de paille de blé complémentées ou non avec du tourteau de soja ; INA, El harrach (1992), 71p.

CHABACA RABEHA : Valeur azotée des pailles traitées à l'ammoniac ou à l'urée et impact de la fixation de l'azote et des teneurs en substances phénoliques; INA, El harrach(1993), 103p.

BENATMANE FATIHA : Contribution à l'évaluation des besoins nutritionnels de l'ovin Ouled Djellal de la naissance à 1 an d'âge ; INA, El harrach (2000), 72p.

NOURA AOUDA : Etude de la valeur alimentaire de 11 pailles de blé récoltées et traitées en Algérie : Essai de prévision par la méthode du gaz-test (2001) 59p.

EL HANI FAIZA : Effet de la saison de traitement à l'urée et de la durée de stockage sur la valeur alimentaire de la paille chez le mouton ; INA, El harrach (2001) 110p.

NAIT ATHMANE SAMIR : Essai d'introduction en zone céréalière de systèmes d'alimentation des ovins basés sur l'utilisation de paille traitée à l'urée ; INA, El harrach (2001), 60p.

BENNOUR MALIKA : Contribution à l'étude des besoins de gestation et de la lactation de la brebis Ouled Djellal ; INA, El harrach (2002) 70p.

(\*) Nous remercions les étudiants qui ont participé à ce travail : Mesdemoiselles : Cherif ; Rachi ; Lamrani ; Tebibel et Tennah ; Chikhi F ; Chentour ; Neched et Retieb.

Messieurs : Djenidi ; Gacem ; Laoun ; Leong Tchang ; Rezzoug ; Baballah et Saffah ; Chikhi S et Dekkar.

### **THESES D'ETAT SOUTENUES**

TRIKI SADDEK ; Recherche sur les besoins en énergie et en azote des ovins Algériens de race Ouled Djellal : validation zootechnique (2003), 100p.

YAKHLEF HACENE ; Approche systémique pour l'analyse du rôle de la paille traitée à l'urée ou à l'ammoniac dans l'amélioration des systèmes alimentaires des ovins (2003), 153p.

CHABACA RABEHA ; Valeur azotée chez *Ovis aries* des pailles de *Triticum durum* traitées à l'ammoniac : facteurs déterminants

### **ARTICLES PUBLIES ET SOUMIS**

YAKHLEF H, TRIKI S: Effet d'une alimentation prolongée de paille traitée à l'ammoniac ou urée sur les paramètres de reproduction des brebis de race Ouled Djellal. Ann. Agro.INA. El harrach. 18 (1,2) (1997) 52-61.

TRIKI S, YAKHLEF H, LARWENCE A, REZZOUG A: Sur une méthode subhumide de traitement des pailles à l'urée. Ann. Agro.INA.El harrach. 19 (1,2) (1998)124-134.

LARWENCE A, TRIKI S, CHABACA R, REZZOUG A : Proposition d'une méthode subhumide de traitement des pailles à l'urée. Ann. Zootech.49 (2000) 479-485.

CHABACA R, LARWENCE A, PAYNOT M, TISSERAND JL : Effet de diverses conditions de traitement d'une paille de blé sur les teneurs en acides p-coumarique et férulique et sur la dégradabilité de l'azote mesurée < in situ>, Ann. Zootech.49 (2000) 29-38.

CHABACA R, TRIKI S, LARWENCE A, PAYNOT M, TISSERAND JL: Effect of ammonia treatment conditions of wheat straw on organic matter degradation measured in situ and by the gas test method, Anim. Res. 51 (2002) 217-225.

YAKHLEF H : Effet de la durée de stockage sur la valeur alimentaire de la paille traitée à l'urée. Sciences & technologie.18 (2002) 111-115.

CHABACA R, LARWENCE A, PAYNOT M, HAMADACHE A, TISSERAND JL : Choix de variétés de céréales capitalisant un rendement en grains et en pailles de bonne qualité nutritionnelles (soumis Anim. Feed. Sci. Technol).

TRIKI S, LARWENCE A, BENATMANE F: Contribution to assessment of energy requirement in ruminant lambs of the Ouled Djellal breed (soumis Anim. Res).

Pour notre part, le travail de la présente thèse, a été réalisé dans plusieurs laboratoires :

Expériences	Laboratoires de réalisation
<p><b>Traitement des pailles :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>◆ traitement au four</li> <li>◆ traitement en meule</li> </ul>	<p>Ferme expérimentale de l'INA d'El-Harrach</p> <p>INA et ferme pilote Haider de Tiaret</p>
<p><b>Mesures nutritionnelles et alimentaires :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>◆ ingestibilité</li> <li>◆ digestibilité</li> <li>◆ bilan azoté</li> </ul>	<p>Département des productions animales de l'INA d'El-Harrach</p>
<p><b>Mesures biologiques</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>◆ dégradabilité <i>in sacco</i> de l'azote</li> <li>◆ mesure <i>in vitro</i> de la libération d'ammoniac</li> <li>◆ libération <i>in sacco</i> des acides phénoliques</li> <li>◆ activité cellulolytique et synthèse protéique <i>in vitro</i></li> </ul>	<p>Département des productions animales de l'INA d'El-Harrach et animalerie de l'école nationale d'enseignement supérieur agronomique d'époisses (Dijon)</p> <p>Animalerie de l'école nationale d'enseignement supérieur agronomique d'époisses (Dijon)</p> <p>Département des productions animales de l'INA d'El-Harrach</p>
<p><b>Procédures analytiques et dosage</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>◆ fixation de l'azote sur la paroi</li> <li>◆ analyses chimiques classiques</li> <li>◆ dosage des composés phénoliques</li> </ul>	<p>Département des productions animales de l'INA d'El-Harrach et laboratoire de zootechnie de l'école nationale d'enseignement supérieur agronomique de Dijon (ENESAD)</p> <p>Laboratoire de physiopathologie végétale de l'INRA d'époisses (Dijon)</p>
<p><b>Finalisation, études statistiques</b></p>	<p>ENSIA-SIARC Montpellier</p>

## Introduction

L'azote, après la cellulose et les hémicelluloses est le composé organique le plus représenté dans la nature. Sous forme de protéines, dans ses différentes utilisations dans l'organisme, il est indispensable à la vie. Sa consommation en quantités suffisantes ( $1\text{g}\cdot\text{J}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$  de poids corporel) est nécessaire à un bon développement mental et physique de l'être humain et apparaît souvent comme un signe de richesse et de développement économique. En Algérie, la demande en protéines animales est en croissance régulière impulsée par une démographie galopante. L'élevage de petit ruminant est le vecteur traditionnel et culturel d'apport de protéines animales à la population.

A terme, cette activité risque d'être menacée par manque de terres (SAU disponibles de  $0.2\text{ha}\cdot\text{hab}^{-1}$ ) susceptibles de porter des cultures fourragères (qui n'est pas une spéculation traditionnelle dans le pays). La steppe, en association avec la transhumance dans les zones céréalières porteuses de jachères et de chaumes a toujours fourni l'essentiel de l'alimentation du troupeau ovin algérien (Boutonnet, 1989). En effet, cet élevage est pratiqué à 75 % dans les isohyètes allant de 200 à 400mm (zones arides à semi-arides). Ce système alimentaire ne produit qu'environ 4 milliards d'unités fourragères lait (UFL), soit 50% des besoins en énergie du troupeau dans ces zones. Sur l'ensemble de l'élevage algérien, le déficit en UFL qui était de 4 milliards par an, soit 66 % des besoins (Houmani, 1999) a diminué en 1998-2002, passant à 2.4 milliards d'unités fourragères (MAP, 2002).

Cette situation nutritionnelle est un frein important à la croissance du troupeau qui n'a progressé que de 1.70 % par an entre 1985 et 1995 (Houmani, 1999). Le taux observé en 2001 est de 2,77 % (MAP, 2002). L'effectif du troupeau en 2000 était de 18 millions de têtes contre respectivement 12 millions en 1887; 9 en 1910; 6 en 1954; 4 en 1963; 8 en 1970; 13 en 1980 et 16 entre 1980 et 1995 (MAP, 2001).

Le déficit fourrager se fait sentir particulièrement entre la fin des chaumes (octobre) et le début des jachères (mars). Durant cette période, les animaux sont traditionnellement nourris avec des pailles complétées ou non avec un concentré. Ils perdent du poids et la campagne de reproduction peut être compromise (les saillies débutant en novembre). C'est dans cette partie de l'année, qu'un apport supplémentaire d'UF s'avère donc nécessaire.

D'octobre à mars, le seul fourrage disponible est la paille (22 millions de quintaux chaque année). La paille est classée en catégorie 1 de la nomenclature de l'INFIC (international network of feed information centers). Sa valeur alimentaire est donc faible, (Andrews et al, 1972; Jouany 1975 ; Xandé, 1978).

Dans les années 70, l'amélioration chez le ruminant de la valeur alimentaire des pailles par le traitement à l'ammoniac avait été proposée (Chomyzsin et Zirolecka, 1972 ; Sundstol et al, 1978 ; Waiss et al, 1979). Le ruminant en effet, grâce aux micro-organismes qu'il héberge dans son rumen est capable d'utiliser pour sa nutrition cette forme d'azote, peu onéreuse (Hobson, 1988). Parallèlement, la nature alcaline du traitement désorganise la trame ligno-cellulosique améliorant du même coup la digestibilité de la matière organique. Cette double action du traitement à l'ammoniac transformant la paille, (sous-produit pauvre, peu digestible et faiblement ingéré) en un aliment de valeur nutritionnelle moyenne capable de couvrir les besoins d'entretien de l'animal avait suscité beaucoup d'intérêt.

De 1970 à 2002, plus de 2800 travaux (*CAB abstracts*) ont été réalisés sur l'utilisation par le ruminant des pailles. Mais, peu de travaux, ont mesuré en même temps sur des pailles non traitées et sur leurs homologues traités, l'ensemble des paramètres de la valeur alimentaire. Les travaux les plus complets et les plus représentatifs sont visibles dans le tableau 1.

Cette orientation semblait indiquer que la valeur azotée des pailles traitées à l'ammoniac avait peu intéressé les auteurs. Deux raisons principales à cela :

**Tableau 1 : Composition et valeur alimentaire des pailles traitées à l'ammoniac**

Auteurs	Nature concentré	dans ration	MO (paille)	MAT (paille)	QI.g.kg <sup>-1</sup> P 0.75 (ps)	dMOrt %	dMOPs %	
Dulphy et al (1984)	Orge+EH - - -Orge+EH+P	-----	74.0 - 74.6	7.9	58.4	37.9	39.6 43.9 36.7 43.5	-----
Dulphy, Komar et Zwaenepoel (1984)	Mais Soja PB TS-	-	73.9 - 75.2	5 - 10.0	3.3	19.6 37.0 29.0 -	49.7 49.4 61.2 62.1	
Chenost et al (1985)	P+TS	53 (%)		9.4	30.1	-	51.6	
Alibes et al (1987)	-	26.3 (%)	95.5	10.2	43.0	-	55.3	
Ayona et al (1989)	- FP PB FP +PB	- 50 (%) 150 (g) 300 (g)	95 95 95	10.6 13.8	50.6 47.3	34.9 45.0	62.0 63.0 66.0	59.0 62.0
Kraiem et Abdouli (1991)	Orge +cmv;Orge +cmv	22.0 (%) 21.3 (%)	--	--	--	--	47.2 50.8	
Kraiem et al (1991)	Orge Orge	32.0 (%) 32.0 (%)	--	--	22.3 27.6	--	55.6 53.4	
Abdouli (1992)	Orge+cmv Orge+TS	29.7 (%)	93.7 94.3	9.2 8.9	24.8 21.7	31.7 53.2 46.5	51.4 64.9 59.5 58.7	63.4 53.9
Joy et al (1992)	-	-	-	-	43.0	64.7	55.3	
Bensalem et al (1993)	-	-	-	9.8	47.2	66.5	56.5	
Chermi et al (1994)	Orge+ PB +TS	23.0 (%)	96.2	11.6	49.9	66.1	58.4	
Moyenne PT	-	-	87.8	9.7	39.1	64.3	54.6	
Moyenne PNT			91.7	3.2	36.5	57.7	45.8	

EH =ensilage d'herbe; P=pulpe ; FP =farine de poisson ;PB =pulpe de betterave ; TS =tourteau de soja ;QI = quantité ingérée ; ps=paille seule ; rt= ration totale ; cmv : complément vitaminique et minéral ; PNT = paille non traitée ; PT= paille traitée

Les pays du Nord où l'essentiel de ces études avait été réalisé, exploitent des animaux à très hautes performances de production dont l'alimentation nécessite des

sources azotées de bonne qualité. La paille traitée ne remplissant pas cette condition, sa valeur énergétique était beaucoup plus recherchée.

Malgré cet enrichissement en azote des pailles par le traitement à l'ammoniac, quelques auteurs avaient observé dès la fin des années 1970 (Oji et al, 1977) que l'azote des pailles traitées à l'ammoniac était mal utilisé par l'animal.

En effet, les valeurs moyennes de digestibilité de l'azote obtenues étaient très en deçà de ce qu'on pourrait théoriquement espérer. Il existe en effet, une forte corrélation pour la plupart des fourrages entre la valeur de la dégradabilité *in sacco* et celle de la digestibilité *in vivo* de leur azote (revues de Madsen et Hvelplund, 1985 et de Yan et Agnew, 2004). Pour la paille traitée à l'ammoniac, les valeurs de dégradabilité de l'azote *in sacco*, relevées dans la littérature (Michalet-Doreau et Guèdes, 1987 ; Hassan et Chenost, 1992 et Michalet-Doreau et Nozière, 1999) étaient comprises entre 70 et 80 %. Sur cette base, la valeur de digestibilité de cet azote devrait être théoriquement de cet ordre de grandeur.

Or, les principaux résultats de digestibilité *in vivo* de l'azote relevés dans la littérature (tableau 2) ne corroborent pas ce calcul puisqu'ils se situent entre 12.8 % et 58.6 %, soit en moyenne  $41.5 \pm 9.1\%$ .

**Tableau 2:** Teneur en azote et digestibilité des pailles traitées à l'ammoniac

Auteurs	MAT (%MS)	dMAps	Carences
Horton, 1978	5.3	40.6	non
	6.8	43.3	
Garret et al, 1979	9.5	58.6	non
	8.5	32.5	
Komar, 1982	8.5	29.7	non
	8.5	29.7	
Herrera Saldana et al, 1983	11.9	49.2	S
Butruille, 1983	7.44	41.6	non
	7.14	38.5	
Raymond, 1983	8.1	42.3	non
	9.1	36.0	
	-	30.0	
	8.3	47.5	
	-	43.3	
Herrera saldana et al, 1983	8.1	49.2	non
Dudot, 1983	6.34	44.9	non
Pukan et Singh, 1983	9.8	35.5	non
Meschy, 1984	7.0	12.8	non
Dulphy, et al 1984	8.5	32.5	non
	10.0	29.7	
Benahmed et Dulphy, 1985	8.8	42.2	non
Chenost et al, 1985	7.0	48.7	non
	9.4	41.5	
Wanapat et al, 1985	10.0	43.6	non
	10.6	55.5	
Chenost et Ramihone, 1987	10.7	50.5	non
	9.2	43.5	
Ramihone, 1987	11.1	45.7	non
Chermiti et Nefzaoui, 1991	9.8	36.1	Zinc
	8.8	47.8	
	11.2	41.0	
Bugaskri et al, 1992	7.44	30.5	non
Bensalem et Nefzaoui, 1993	11.4	54.7	non
Chermiti, 1994	9.7	49.6	non
Moyenne $\pm \sigma$	$8.7 \pm 1.7$ (n=31)	$41.5 \pm 9.1$ (n = 33)	-

MAT= matière azotée totale ; dMAps = digestibilité de l'azote de la paille se ile .La dMAps est obtenue par la méthode

Deux catégories de facteurs peuvent être discutées pour tenter d'expliquer le phénomène :



- Les conditions nutritionnelles dans le rumen ne permettraient pas d'optimiser la dégradation de la paille ;
- Le traitement à l'ammoniac générerait des modifications propres qui entravent l'utilisation de l'azote.

# 1. FACTEURS ALIMENTAIRES EXOGENES CONDITIONNANT LA DEGRADATION DE LA PAILLE DANS LE RUMEN

Rappelons quelques traits essentiels de la dégradation de la paille dans le rumen.

## 1.1. La population microbienne responsable

La dégradation des pailles dans le rumen, milieu anaérobie, est un processus fermentaire. Elle est le fait de micro-organismes :

### 1.1.1. Les bactéries

---

Elles peuvent être classées en trois groupes : les bactéries libres, dont la niche est le liquide du rumen ; les bactéries attachées aux particules alimentaires et les bactéries attachées à la paroi ruminale.

Les bactéries libres,  $10^{10}$  cellules.ml<sup>-1</sup> utilisent les éléments libres du liquide du rumen. Riches en espèces dégradant les protéines, leur teneur en protéines est plus élevée que celle des bactéries attachées aux particules alimentaires : 80.3 contre 70.1% (Mc Allan et Smith, 1984) ; elles incorporent dans leurs protéines, 81% de l'azote ammoniacal du milieu (Komisarczuk, 1985). C'est sur ces bactéries, plus faciles d'accès que la plupart des mesures sont effectuées dans le rumen.

Les bactéries attachées aux particules alimentaires, compte tenu de cette particularité, ont une grande importance nutritionnelle pour l'animal. D'une concentration de  $10^7$  cellules.ml<sup>-1</sup>, elles intéressent plus particulièrement les bactéries cellulolytiques, hémicellulolytiques : *Rumunococcus albus* ; *R. flavefaciens* ; *Bacteroides succinogenes* et amylolytique (*Streptococcus bovis* ; *Clostridium polysaccharolyticum* (Chen et Costerton, 1979). L'attachement par le glycocalyx aux particules alimentaires est rapide, le maximum est atteint 15 mn après le repas. Le glycocalyx sécrète des cellulases qui adhèrent aux particules, empêchant leur diffusion potentialisant du même coup la digestibilité de la paille (Craig et al 1987). Ces bactéries sont responsables de la majeure partie de la dégradation de la paille dans le rumen et dans le gros intestin. Très dépendant de l' $\text{NH}_3$ , elles incorporent dans leurs protéines, 54% de l'azote d'origine ammoniacale (Komisarczuk, 1985).

Les bactéries attachées à la paroi ruminale, de type anaérobie facultatif pour 25 à 50% de la population, sont les principales productrices d'uréases et participent significativement à l'activité protéolytique (10% du total) et génèrent presque la totalité de l'activité uréolytique

## 1. FACTEURS ALIMENTAIRES EXOGENES CONDITIONNANT LA DEGRADATION DE LA PAILLE DANS LE RUMEN

---

du milieu. Elles jouent un rôle essentiel dans le maintien de l'anaérobiose dans le rumen en éliminant l'oxygène sanguin qui diffuse à travers la paroi du rumen (Chen et Costerton, 1979). Leur présence est indépendante de la nature du régime ou de la forme physique de l'aliment; le glycocalyx produit des protéases, des uréases et des cellulases (Mc Lean et al, 1984). Le système d'adhésion des bactéries nécessite la présence d'ions  $\text{Ca}^{++}$  et  $\text{Mg}^{++}$ . Leurs substrats naturels sont les cellules épithéliales souvent fortement kératinisées. Immobiles, elles se détachent avec les cellules épithéliales desquamées (Stewart et Bryant, 1987).

### 1.1.2. Les champignons

---

De découverte récente (Orpin, 1975), leur concentration est plus faible que celle des bactéries ( $10^4$  cellules. $\text{ml}^{-1}$ ). Le plus étudié est le genre *Neocallimastix*. Les champignons colonisent très rapidement les fragments de fourrages, plus particulièrement *in vitro*, au bout de 4 jours, 50% de la cellulose et 16% de la lignine sont dégradés par *Neocallimastix* (Orpin et Joblin, 1988). Les champignons participent très activement à la dégradation de la paroi en produisant toutes les enzymes nécessaires à la dégradation de la paroi. Séparément, leur action dégradative serait plus forte que celle des bactéries; leur travail préparatoire sur les fragments de paroi faciliterait l'action des bactéries cellulolytiques. Il y aurait donc un synergisme très étroit entre champignons et bactéries dans le rumen pour dégrader les composants de la paroi (Orpin et Joblin, 1988).

### 1.1.3. Les protozoaires

---

De concentration plus faible que celle des bactéries ( $10^5$  cellules. $\text{ml}^{-1}$ ), cette concentration est très variable selon la nature du régime :  $1.2 \times 10^5$  cellules. $\text{ml}^{-1}$  avec un régime foin seul contre  $20.5 \times 10^7$  cellules. $\text{ml}^{-1}$  pour un régime plus un concentré (Bonhomme et Durand, 1974). Par leur consommation de bactéries, (Polyplastron ingère 1500 à 137.000 bactéries par heure), les protozoaires sont des pourvoyeurs du rumen en  $\text{NH}_3$ . La controverse existe quant à l'existence d'une cellulase propre. Leur élimination dans le rumen (défaunation) augmente la quantité de protéines arrivant dans l'intestin mais diminue la cellulolyse (Eugène et al, 2004). Directement ou indirectement, ils sont responsables de 30% de la digestion de la cellulose dans le rumen (Durand, 1987). *Les holotriches* seraient plus engagés dans cette dégradation que les *entodiniomorphes*. La défaunation est plus efficace avec les rations pauvres en azote. Par contre, les protozoaires sont très actifs directement dans la digestibilité de l'amidon (*Eremoplastron bovis*, *Diploplastron affine*). Ainsi, chaque *Entodinium caudatum* renferme 18 ng d'amidon qui sont entièrement fermentés en 42 h.

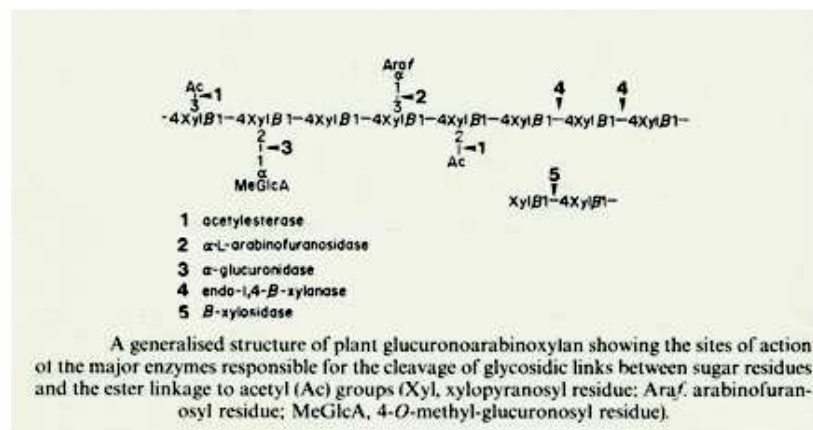
Entre les micro-organismes, s'établissent des relations de symbiose de commensalisme, de neutralisme, de syntrophisme, d'amensalisme, de compétition et de prédation qui assurent le maintien de l'équilibre de l'écosystème ruminal. Par exemple, les méthanogènes (*Methanobacterium ruminantium* ; *M. mobilis*) détoxiquent le milieu en  $\text{H}_2$ , nocif pour les bactéries cellulolytiques ; de même, *Bacteroides succinogenes* fournit à *Selenomonas ruminantium* le succinate et des particules de cellulose et en échange, il reçoit le dioxyde de carbone qui lui est nécessaire pour dégrader la cellulose. Les espèces fermentant la leucine, l'isoleucine et la valine, produisent des acides gras ramifiés activateurs de la cellulolyse.

## 1.2. Dégradation des composants de la paroi

La paroi des monocotylédones est particulièrement riche en quatre composants (Chesson et al, 1985): la cellulose (46%), les arabinoxylanes (21%), les xyloglucanes (11%) et la lignine (6 à 10%). La matière organique de la paille étant composée de 85% de paroi et de 4% de protéines, sa dégradation dans le rumen résulte des interactions entre ces deux composants et l'activité des microorganismes (Chesson et al, 1995). Cette dégradation est le fait de complexes enzymatiques composés d'enzymes de proximité qui exigent la fixation des bactéries sur les particules de fibres (Chesson et Forsberg, 1988). Pour la lignine, les activités cellulolytiques et lignolytiques ne coexistent pas, dans les bactéries. En plus, sa dégradation serait un processus oxydatif. De ce fait, la lignine serait donc théoriquement, indigestible dans le rumen et dans le gros intestin.

Le complexe hémicellulolytique est composé d'acétyl estérase; d' $\alpha$ -arabinofuranosidase; d' $\alpha$ -glucuronidase; d'endo-1-4- $\beta$ -xylanase et de  $\beta$ -xylosidase spécifiques de sites sur la molécule d'hémicellulose comme le montre la figure 1 (Chesson et Forsberg, 1988).

**Figure 1:** Sites d'action des enzymes responsables de la dégradation de la paroi



Le complexe cellulolytique comporte trois enzymes principales: les endo  $\beta$ -1-4 glucanases; les exo- $\beta$ -1-4 glucanases et les  $\beta$ -1-4 glucosidases ou cellobiases.

**Figure 1:** Sites d'action des enzymes responsables de la dégradation de la paroi

Les pectinases sont divisées en deux groupes: les pectines méthylestérase qui méthoxytent les pectines avec libération de méthanol et d'acides pectiques, les pectinases qui dépolymérisent les molécules d'acides pectiques en acide galacturonique (Grenet et Besle, 1991).

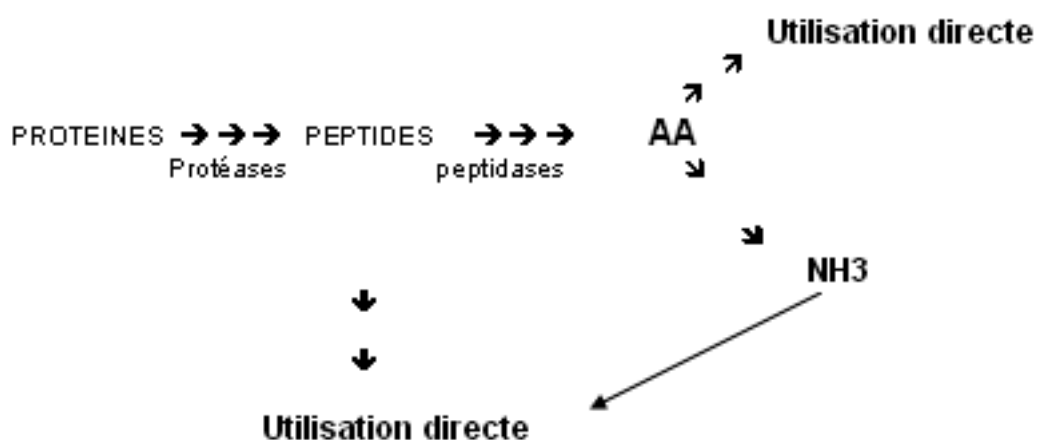
Les bactéries cellulolytiques sont en général porteuses de toutes ces enzymes qui agissent en synergie pour dégrader entièrement les composants de la paroi jusqu'au stade oses et acides organiques simples qui sont par la suite fermentés en acides gras volatils: acide acétique (C<sub>2</sub>); acide propionique (C<sub>3</sub>) et acide butyrique (C<sub>4</sub>) en CO<sub>2</sub> et en H<sub>2</sub>. Le C<sub>2</sub> est le composant presque exclusif (75%) dans le pool d'AGV lorsqu'une ration riche en paille est digérée dans le rumen et dans le gros intestin.

Mesurée *in vivo*, la digestibilité de la paille est de l'ordre de 50% pour la paille non traitée et de 64% pour la paille traitée à l'ammoniac (moyenne de 16 valeurs prises de la littérature).

### 1.3. Dégradation des composants azotés

Les premiers travaux réalisés dans les années 50 indiquaient que la dégradabilité des protéines dépendait de leur degré de solubilité dans une solution tampon. Pour les protéines de la paille (dont les teneurs sont déjà faibles) elles pourraient en outre être protégées par des matrices de polysaccharides ou de lignine ou par des liaisons artificielles résistantes créées à la suite du traitement à l'ammoniac.

Les agents de dégradation des protéines dans le rumen sont les protozoaires (qui utilisent préférentiellement les acides aminés libres du milieu) ; les champignons mais surtout les bactéries qui sont les principaux agents de l'activité protéolytique dans le rumen. Certaines espèces sont plus particulièrement protéolytiques : *Bacteroides rumenicola* ; *Bacteroides amylophilus* ; *Butyrivibrio fibrisolvens* ; *Butyrivibrio rumenicola*. Wallace et Cotta, (1988) indiquent que 30 à 50% des bactéries du rumen ont une activité protéolytique et que 75% de cette activité protéolytique sont de proximité bactéries-substrat à enzymes endocellulaires. En revanche, les protéases de *Butyrivibrio fibrisolvens* sont extracellulaires et diffusent dans le milieu. Ce sont les enzymes de ces bactéries qui donnent leur activité protéolytique à la phase liquide du milieu. Comme suit, le schéma général de la dégradation des protéines dans le rumen :



La plus forte affinité pour l'assimilation enzymatique de l'ammoniac est reconnue pour le couple: glutamine synthétase-glutamate synthétase (GS-GOGAT). Ce système ne fonctionne qu'en présence de faibles concentrations d' $\text{NH}_3$ . Ainsi, *in vitro*, la diminution artificielle de la concentration en  $\text{NH}_3$  du milieu multiplie par un facteur de 10, l'activité de la GS (km de  $1.8 \text{ mMol.l}^{-1}$ ). Dans des conditions de concentrations plus élevées en  $\text{NH}_3$ , d'autres systèmes enzymatiques fonctionnent (Wallace et Cotta, 1988) : le système NADP-glutamate déshydrogénase (NADP-GDH) dont le km est de  $1.8$  à  $3.1 \text{ mMol.l}^{-1}$ ; le système NAD-GDH (km de  $20$ - $33 \text{ mMol.l}^{-1}$ ); le système alanine déshydrogénase (km de  $70 \text{ mMol.l}^{-1}$ ). D'autres possibilités ont été inventoriées: l'asparagine synthétase, remplaçant GS dans GS-GOGAT; aspartate déshydrogénase et carbomyl phosphokinase.

Aussi bien pour les bactéries libres, celles fixées aux particules alimentaires et celles adhérentes à la paroi du rumen, NADP-GDH est le système le plus performant pour l'assimilation de l'ammoniac. La concentration en ammoniac en dessous de laquelle la croissance des micro-organismes diminuerait.

Les formes d'azote utilisées sont différentes selon l'espèce bactérienne. Ainsi, *Ruminococcus flavefaciens* ; *Ruminococcus flavus* ; *Butyrivibrio fibrisolvens*, ont un besoin strict en  $\text{NH}_3$ , tout comme *Megasphaera elsdenii* ; *Succinivibrio dextrosolvens* ; *Streptococcus bovis* pour les AA (Bhatia et Pradhan, 1980).

Depuis Satter et Slyter (1974), on considère que la concentration en  $\text{NH}_3$  pour assurer une croissance optimale des micro-organismes est de  $50\text{-}80 \text{ mg.l}^{-1}$ . Leng (1990), considère qu'une concentration de  $200 \text{ mg.l}^{-1}$  serait nécessaire dans le cas de fourrages pauvres comme la paille. D'autres expériences antérieures (Perdock et al, 1988) préconisaient  $100 \text{ mg.l}^{-1}$ . En réalité, les besoins en  $\text{NH}_3$  pour les activités de croissance, dégradation et croissance – dégradation sont différents. Ainsi, ils sont d'autant plus importants que la teneur en azote du fourrage est faible. Par exemple, pour une teneur en protéines supérieure à 6%, le couple croissance-dégradation nécessite une concentration en  $\text{NH}_3$  de  $62 \text{ mg.l}^{-1}$  contre  $212 \text{ mg}$  pour une teneur inférieure à 6%. Cette intéressante étude de Hoover (1986) montre également que les besoins sont plus faibles pour la croissance des bactéries que pour leurs activités de dégradation ( $33$  contre  $80 \text{ mg.l}^{-1}$  de milieu).

Le niveau de besoin en  $\text{NH}_3$  dépend également du pH du rumen et le ratio  $\text{NH}_3/\text{NH}_4^+$ . Un pH élevé, cas des pailles traitées à l'ammoniac, favorise le passage de l' $\text{NH}_3$  à travers la paroi du rumen.

Dans le rumen, plusieurs sources azotées sont disponibles pour les micro-organismes : l'azote alimentaire ; l'azote endogène : mucoprotéines, kératine (bactéries attachées à la paroi ruminale) représentant 4 à 12g par jour chez l'ovin ; l'urée, 3.5g par jour qui augmente avec l'ingestion de fourrages pauvres en azote (Marini, 2003). Les formes d'utilisation se déclinent en  $\text{NH}_3$ , en acides aminés et en peptides. *B. amylophilus* peut se développer sans apport d'acides aminés ni de peptides, l'  $\text{NH}_3$  constituant sa source essentielle d'azote. L'  $\text{NH}_3$  par ailleurs, améliore le processus d'attachement des bactéries aux particules alimentaires (Pan et al, 2003). A l'inverse, *B. ruminicola*, peut se développer en présence des seules protéines. Néanmoins, les acides aminés sont nécessaires pour optimiser la croissance bactérienne dans le rumen (Tasoglu et al 2003). Argyle et Baldwin (1989), estiment la quantité optimale à  $10 \text{ mg.l}^{-1}$

Dans les systèmes d'évaluation de la valeur azotée des aliments chez le ruminant, l'efficacité de captation de l'  $\text{NH}_3$  est estimée entre 90% et 100% ; la quantité de protéines synthétisées par Kg de MOD variant entre 130 et 165g (NRC, 1985).

Les acides gras ramifiés (acide isovalérique, isobutyrique et 2-méthylbutyrique), activateurs forts de la cellulolyse sont issus de la fermentation des AA : valine, leucine et isoleucine.

# 1. FACTEURS ALIMENTAIRES EXOGENES CONDITIONNANT LA DEGRADATION DE LA PAILLE DANS LE RUMEN

La teneur en protéines de la paille (PP) non traitée est faible ( $3.3\text{kg.MS}^{-1}$ ), sa dégradabilité dans le rumen est de 46% (Chabaca, 1993). Sur la base des propositions de Viviani (1979), on peut écrire :

$$33\text{g PP} \rightarrow 0.22 \text{ C}_2 + 0.07 \text{ C}_3 + 0.03 \text{ C}_4 + 0.04 \text{ AGR} + 0.22 \text{ CH}_4 + 0.23 \text{ CO}_2 + 0.38 \text{ NH}_3$$

Outre l'azote, de l'énergie et des minéraux sont les facteurs déterminants de l'activité microbienne dans le rumen (Chenost et Dulphy, 1987). Le tableau 3 résume les conditions d'apport de nutriments assurant cette activité.

Facteurs	Effets	quantité	références
Energie	Lag time énergie paroi 3-4 h apport d'énergie rapide : céréales ; mélasse ; pulpes d'agrumes, de betterave (active synthèse glycolytique) fourrages verts $\nearrow$ la croissance bactérienne (CM) $\searrow$ lag time. si % concentré > 30% $\rightarrow$ $\searrow$ du pH et activité cellulolytique et digestibilité des parois. Fourrages verts, sources de bactéries adhérentes.	Pour maximiser digestibilité paille : concentré céréales : 10-15 % ; mélasse 8% ; pulpes : 30% ; fourrages verts 50%	INRA (1978) Silva et Orskov, (1985) ; Erle et al, (1982) ; Dulphy et al (1987) ; Leng, (1990) ; Barrios-Urdaneta, (2003).
Protéines	Activatrices de la CM (cf paragraphe 1.3)	Minimum 8 de la MS	(cf paragraphe 1.3)
pH	Contrôle le nombre et la composition en espèces microbienne ; pH optimum synthèse protéique : 5.7-6.2 ; dégradation de la paroi : 6.7-7	Contrôle par nature et quantité de concentré 6.4-7.0	INRA (1978) Russel (1984) ; Stewart et Bryant (1987).
Soufre	8 g/Kg MS de microbes ratio S/N de 20 dans les bactéries ; S nécessaire pour synthèse : Met, Cys ; active la CM, la cellulolyse mais peut $\searrow$ la disponibilité du cuivre	2.0 / Kg de MS	INRA (1978) ; Harrison et Mc Allan, (1979) ; Durand (1987) ; Stevani et al (1988) ; INRA (1988) Arthinton et al, (2003).
Phosphore	2-6% des microbes ; 4-8g/j arrive dans le rumen par la salive chez l'ovine ; constituant des nucléotides et de nombreuses enzymes ; rôle dans l'utilisation de l'énergie ; activateur de la CM et de la cellulolyse	2.5g/KgMS	INRA (1978) ; Durand (1987) Komisaruk et al (1988).
Magnésium	0.29 de la MS des microbes ; composant d'enzymes ; associé aux ribosomes. Carence $\searrow$ attachement des microbes, CM et cellulolyse	1.0/KgMS	INRA (1978) ; Durand (1987) ; INRA (1988) ; Leng (1990).
Micro-éléments	Le cuivre ; le manganèse ; le fer ; le zinc et le cobalt : composants de systèmes enzymatiques, et vitamines ; trop de fer peut entraver l'utilisation du Cu, Mn et zinc	Mn: 50mg; zinc: 50mg; fer: 30mg; Cu: 10mg	INRA (1978) ; Durand et Kawashima (1979) ; INRA (1988) Mullis et al (2003).
Taux de dilution	TD élevé, améliore la CM, en $\searrow$ l'énergie de maintenance (me) ATP utilisées passe de 0.65 à 0.24 pour des TD de 0.06 à 0.02 h <sup>-1</sup> . TD de 0.06h <sup>-1</sup> habituellement admis ; pourrait être de 0.04 pour des rations de paille	-	INRA (1978) ; Harrison et Mc Allan, (1979) ; NRC, (1985) ; INRA (1988) ; NRC, (2001).
Absence toxicité	Substances phénoliques $\searrow$ l'attachement des bactéries $\searrow$ la cellulolyse	0	Durand (1987) ; Ramana et al, (2003).

**Tableau 3 : Principaux facteurs contrôlant la digestibilité des pailles dans le rumen**

Sur la base de la composition des rations du tableau 2 (paille + compléments), et de la teneur moyenne en minéraux (/Kg de MS) des pailles rapportées par Theander et Aman (1984) : P : 1.0g ; S : 2.9g ; Mg : 1.2g ; Mn : 60 mg ; Zn : 80 mg et Cu : 5 mg, l'apport des nutriments a été analysé quant à la quantité nécessaire pour satisfaire les besoins des micro-organismes du rumen. Les résultats qui apparaissent dans la quatrième colonne du tableau 2 montrent, qu'à l'exception des rations de Herrera Saldana et al (1983) et celles de Chermiti et Nefzaoui (1991) qui présentent respectivement des carences en soufre et en zinc, tous ces régimes étaient aptes à satisfaire les besoins de croissance des microbes du rumen.

Les facteurs alimentaires des rations, n'expliquent donc pas la faible digestibilité de l'azote des pailles traitées à l'ammoniac.

## 2. Facteurs générés par le traitement des pailles à l'ammoniac

### 2.1 Accélération du transit digestif

Tisserand (1989) pense à une accélération de la vitesse de transit dans les parties antérieures du tube digestif entraînant une accumulation et un séjour prolongé de la paille dans le gros intestin où se déroulerait une bonne partie de la digestion ; les protéines synthétisées par les micro-organismes ne pouvant être absorbées, sont rejetées dans les fèces. Cette explication reste cependant peu probable car l'azote microbien (11 %) ne contribue que très peu à l'augmentation de l'azote fécale (Ramihone, 1987 ; Michalet-Doreau et Aufrère, 1990 ; Hassen et Chenost, 1992). Par ailleurs, la vitesse de transit dépend du niveau alimentaire et de la composition du régime.

### 2.2. Fixation énergétique sur la paille de l'azote du traitement

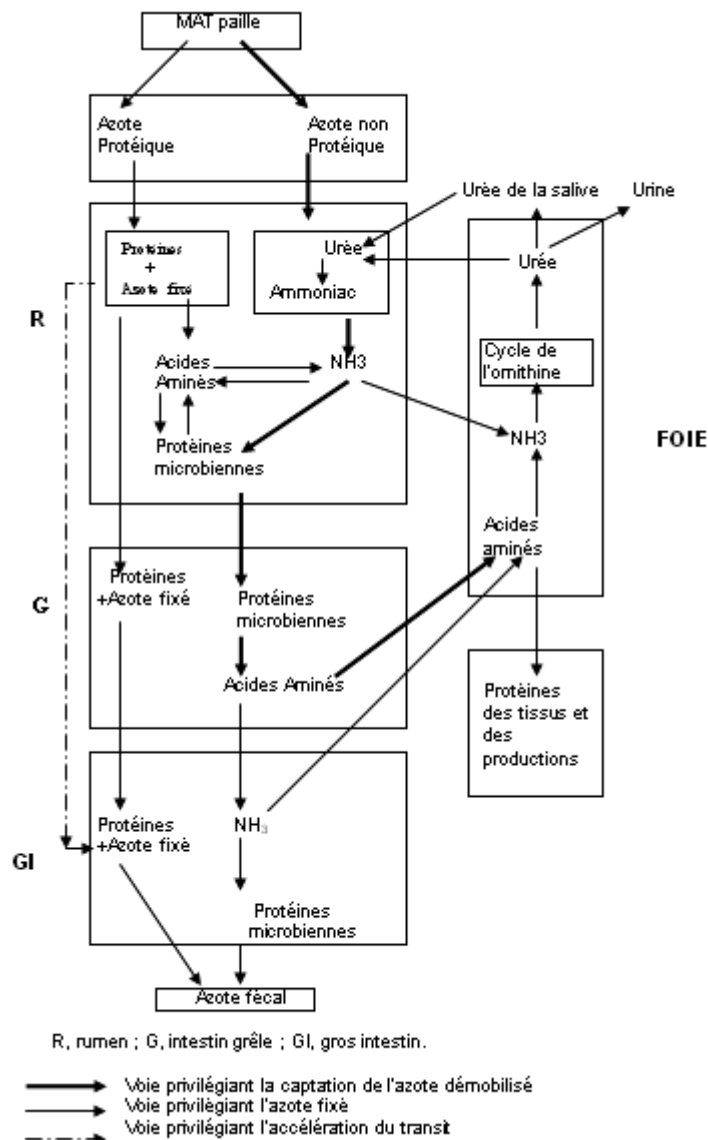
L'azote apporté par le traitement serait fortement fixé sur les parois de la paille, de ce fait, les résidus des pailles chargées en azote moins bien dégradés dans le rumen seraient fermentés dans le gros intestin avec production d'azote microbien qui serait ensuite excrété dans les fèces (Hvelplund, 1989).

Cette hypothèse est peu vraisemblable car, d'une part, Michalet-Doreau et Guèdes (1989) ; Hassan et Chenost (1992), par la technique des sachets en Nylon indiquent que 75 à 80 % de l'azote apporté par le traitement disparaissent dans le rumen et d'autre part, Michalet-Doreau et Aufrère (1990) rapportent que la contribution de l'azote des fractions NDF ou ADF à l'augmentation de l'azote fécal est faible (16 à 20%), tout comme celle de l'azote microbien (11 %). Néanmoins, Laurent et al, (1989) à l'aide de la technique des sachets mobiles ont constaté une dégradation plus importante dans le gros intestin de l'azote d'une paille traitée à l'urée.

Traitée à l'ammoniac, la teneur en azote des pailles est multipliée par un facteur de 2.5 à 3.0 (tableau 2), représenté par de l'azote non protéique. L'utilisation par le ruminant, de l'azote total de la paille traitée peut être résumée par le diagramme de la figure 2.



## 2. Facteurs générés par le traitement des pailles à l'ammoniac



**Figure 2:** Hypothèses de comportement de l'azote des pailles traitées à l'ammoniac chez l'ovine.

Il semblerait donc que la faible valeur azotée des pailles traitées à l'ammoniac ne résulterait pas de la fixation énergétique de l'azote du traitement sur la paroi ; elle ne proviendrait pas non plus d'une reformation des particules dans le gros intestin, ni de conditions alimentaires dans le rumen défavorables à la digestion de la paille.

L'azote du traitement qui vient enrichir les fèces, est donc bien " détaché " de la paille mais se trouverait sous une forme indigestible.

## 2. 3. Substances toxiques

L'absence de substances toxiques dans un régime est une constante de toute conduite alimentaire efficace (Durand, 1987). Parmi les composés des aliments connus depuis

longtemps pour déprécier la digestibilité de l'azote chez l'animal par augmentation de l'azote fécal, les plus cités sont : les facteurs anti-trypsiques (Warsy et Stein, 1973); les alcaloïdes (Mayonne et Clari, 1961); les tannins et composés phénoliques contenus dans la caroube (Corcoran, 1966) dans la pomme (Leroy et Zetler, 1955) dans la féverole (Martin Tanguy et al, 1977) dans le tourteau d'olive (Theriez et Boule, 1970) dans les marcs de raisins (Larwence, 1983).

De ces composés, les seuls présents dans la paille sont les composés phénoliques dont les principaux sont les acides p-coumarique et férulique.

Des études ont montrés (revue de Price et Butler, 1980 ; Oh et Hoff, 1980; Mc Manus et al, 1981) que les phénols simples et les tannins pouvaient précipiter les protéines en formant des complexes peu digestibles. Or, selon Chesson et al (1982), Hartley (1985), Galletti et al (1989) et Kondo et al (1992), les pailles peuvent contenir en moyenne, 6.6% d'acides phénoliques.

Ces acides sont les composés les mieux représentés dans les fourrages grossiers de graminées et la lignine en serait la source principale (Jung et fahey, 1983).

Dans leur revue publiée en 1983, Jung et Fahey rapportent un effet toxique direct sur les bactéries du rumen exposées à des quantités élevées d'acide coumarique ou férulique ( $2.5\text{mM} \cdot 100\text{ml}^{-1}$ ), se traduisant par une lyse de leur paroi cellulaire. Les acides phénoliques agissent aussi en inhibant l'activité enzymatique de la trypsine, de la lipase et de celle de l'amylase pancréatique. Ces acides pourraient alors être impliqués dans l'augmentation de l'azote fécal des animaux consommant des pailles traitées à l'ammoniac.

En Algérie, où 25 % des unités fourragères disponibles le sont sous forme de paille de céréales et où les sources azotées pour l'alimentation animale sont entièrement importées et donc chères, mieux connaître la valeur azotée de nos pailles notamment traitées à l'ammoniac, constitue un objectif zootechnique pertinent.

Après une application sur pailles algériennes des travaux internationaux sur la valeur alimentaire de ces co-produits (en insistant plus particulièrement sur la digestibilité de l'azote), nous étudierons dans différentes conditions de traitement à l'ammoniac (laboratoire et terrain), les facteurs : fixation et dégradabilité *in situ* de l'azote suivra, l'étude de la teneur des pailles algériennes en substances phénoliques et l'effet de ces composés sur la valeur azotée des pailles traitées à l'ammoniac ; enfin, dans une dernière partie, l'étude de leur valeur azotée propre sera abordée. Le matériel et les méthodes d'études étant préalablement précisés.

---

# PARTIE I : MATERIEL ET METHODES

## CHAPITRE 1 : VERIFICATION SUR PAILLES ALGERIENNES DES TRAVAUX INTERNATIONAUX SUR LA DIGESTIBILITE DES PAILLES

Nous étudions dans ce chapitre, la composition chimique des pailles algériennes ainsi que leur utilisation digestive par l'ovin. L'étude du bilan azoté sera associée à chaque mesure de la digestibilité.

### 1. Mesure de la digestibilité des pailles ammoniaquées ou non

---

L'échantillon est constitué de 39 régimes: 21 de pailles traitées; 18 de pailles non traitées, d'un concentré et de compléments minéraux.

#### 1.1. Les pailles

Il s'agit de pailles de blé dur qui ont été récoltées de façon continue entre 1983 et 1995. De 1983 à 1989, les pailles récoltées étaient un mélange des variétés: Oued Zénati et INRAT 69; de 1990 à 1995, celui des variétés Waha, Vitron et INRAT 69. Elles constituent les principales variétés cultivées en Algérie. Ces mélanges de pailles sont à peu près ceux qui sont rencontrés sur le terrain.

La majorité des pailles était récoltée dans la région d'Alger sur la station expérimentale de l'ITGC (Institut Technique des Grandes Cultures) de Oued-Smar, sauf les pailles T 88 (variété Rahouia); R 89 (variété Guemgoum) et C193 (variété Bidi 17) qui étaient récoltées respectivement à Chlef, Tiaret et Batna. Quelques données sur les caractéristiques phytotechniques de ces pailles sont portées dans le tableau 4.

Tableau 4: Caractéristiques phytotechniques des pailles utilisées

## Valeur azotée chez Ovis ariès des pailles de Triticum durum traitées ou non à l'ammoniac:

Variétés	Caractéristiques	Stipodés	Zénatia 69	Guemgoum	Rahouia	Waha	Vitron	Bidi 17
Caractéristiques	Épiphyllées blanc compact haute et pleine.	Épiphyllées blanc compact haute et pleine.	Épiphyllées blanc compact haute et creuse.	Épiphyllées blanc compact haute et creuse.	Épiphyllées blanc compact haute et creuse.	Épiphyllées blanc compact haute et creuse.	Épiphyllées blanc compact haute et creuse.	Épiphyllées blanc compact haute et creuse.
Précocité et tallage	Tardif tallage	Demi-précoce moyen à fort	Tardif tallage	Tardif tallage	Tardif tallage	Tardif tallage	Tardif tallage	Tardif tallage
Productivité grain	Moyenne	Bonne	Faible	Moyenne	Moyenne	Moyenne	Moyenne	Moyenne
Zone d'adaptation	Plaines Intérieures	Plaines Intérieures et plaines intérieures	Hauts Plateaux	Hauts Plateaux	Hauts Plateaux	Hauts Plateaux et Plaines Intérieures	Hauts Plateaux et Plaines Intérieures	Plaines Intérieures
Sensibilité	Sensible à la verse	Peu sensible à la verse	Tolérante au froid et aux gelées	Tolérante au froid et aux gelées	Tolérante au froid et aux gelées	Tolérante au froid et aux gelées	Tolérante à la verse	Moyennement sensible à la verse

Toutes les pailles sont issues de semis de blé qui ont eu lieu entre fin novembre et début décembre et la récolte durant la deuxième quinzaine du mois de Juin. Les cultures sont menées traditionnellement en sec. Un désherbage et une fertilisation phosphatée et azotée ont été pratiqués. Le phosphate était apporté sous forme de P2 O5 à raison de 92 unités par hectare et l'azote sous forme d'ammonitrate à la dose de 3 quintaux à l'hectare, répartis en deux apports égaux (un en décembre et l'autre en février). Pour les pailles provenant de Chlef, Tiaret et Batna, la fumure de fond est la même mais nous ne disposons pas des quantités utilisées.

Après la récolte des graines, les pailles récoltées à une hauteur de coupe de 25 cm, séjournent habituellement une à deux semaines au sol avant d'être conditionnées en bottes de 17Kg de poids moyen. La photographie 1 présente une scène de récolte de paille en Algérie.



**Photo 1:** Scène de récolte de paille en Algérie.

Les pailles en bottes, transportées à l'INA étaient stockées dans un hangar aéré (photographie 2) en attendant une utilisation en l'état ou de subir un traitement à l'ammoniac.



**Photo 2:** Hangar de stockage des pailles

Celles soumises au traitement à l'ammoniac sont prélevées du stock de façon aléatoire afin de constituer un échantillon représentatif.

Trois catégories de pailles sont utilisées dans nos essais: des pailles non traitées (PNT), des pailles traitées au four (PTF) et des pailles traitées en meule (PTM).

### **1.1.1. Traitement en meule (PTM)**

La méthode est inspirée de celle de Sundstol et al (1979) bien connue. Mais, elle a été adaptée aux conditions algériennes (Triki, 1988) notamment en ce qui concerne le conditionnement de l'ammoniac et le tuyau injecteur. Les bottes de pailles à traiter étaient d'abord disposées en meules, sur bâche en plastique, la surface de la bâche doit dépasser la meule d'environ 0.7m sur ses quatre côtés. Un tuyau injecteur en PVC, de 80mm de diamètre (de même longueur que la meule), muni d'orifices de 5mm de diamètre (tous les 20cm sur toute la longueur) est placé au milieu de la meule.

L'ensemble était recouvert d'une deuxième bâche en plastique. Les bords respectifs des deux bâches étaient enroulés sur les quatre côtés et retenus par de la terre.

L'injection de l'ammoniac se fait en reliant une bouteille d'ammoniac (44kg titrant 99.5 % de pureté) à une extrémité du tuyau en PVC grâce à une incision dans le plastique. L'ammoniac était alors injecté lentement (24 h / bouteille).

Après un temps de traitement qui a varié entre 45 et 105 jours dans nos essais, la meule est défaire et aérée puis la paille stockée sous un hangar.

### **1.1.2. Traitement au four (PTF)**

Les bottes de pailles (20 à 25, d'un poids total de 400kg) étaient empilées manuellement à l'intérieur du tunnel.

Après fermeture, la quantité d'ammoniac nécessaire au traitement y était injectée. L'horloge était réglée pour 23 h de temps et la machine était mise en fonctionnement. Le cycle de traitement comportait trois phases :

Phase 1: d'une durée de 15 h, le tunnel est chauffé grâce à une résistance électrique qui permettait d'obtenir une température intérieure de 93° C;

Phase 2: d'une durée de 4 h, le chauffage et la ventilation s'arrêtaient pour permettre la fixation de l'ammoniac sur la paille;

Phase 3: d'une durée de 4 h, le gaz excédentaire était évacué grâce à la reprise de la ventilation.

La paille était alors sortie de la machine, aérée et stockée comme précédemment.

Les conditions de traitement : dose d'ammoniac, durée et périodes de traitement sont résumées dans le tableau 5.

Tableau 5 : Identification et conditions de traitement des pailles

Années de récolte	identification	méthodes de traitement	dose d' NH3 (% de paille)	durée de traitement(j)	périodes
1983	L 84A	Four FMA	3.5	1	-
1983	L184A	Four FMA	3.5	1	-
1983	L2 84A	Four FMA	3.5	1	-
1984	Le1 85A	Four FMA	3.5	1	-
1984	Le2 85A	Four FMA	3.5	1	-
1988	T1 88A	Four FMA	3.5	1	-
1988	HK1 89A	Four FMA	3.5	1	-
1988	HK2 89A	Four FMA	3.5	1	-
1988	HK3 89A	Four FMA	3.5	1	-
1988	HK 89A	Four FMA	3.5	1	-
1985	T 88A	MEULE	3.5	45	Fév-Mar 86
1985	T2 88A	MEULE	3.5	60	Fév-Avr 86
1987	R 89A	MEULE	3.5	45	Oct-Nov 87
1987	R1 89A	MEULE	3.5	75	Oct-Nov 87
1987	R2 89A	MEULE	3.5	105	Oct-Déc 87
1989	La 90A	MEULE	3.5	60	Juil-Sept 89
1992	C1 93A	MEULE	3.5	60	Août-Sep90
1992	C2 93A	MEULE	3.5	60	Jan-Fév 91
1993	De 94A	MEULE	3.5	60	Juil-Août 93
1994	N1 95A	MEULE	3.5	60	Juil-Août 94
1995	N2 95A	MEULE	3.5	60	Jan-Fév 95

La dose d'ammoniac (3.5 %) est celle habituellement utilisée par les auteurs (revue de Sundstol et al, 1978) la durée de traitement a été de 24 h pour les PTF et 60 jours pour les PTM sauf le groupe de pailles T 89A ; T2 88A; R 88A; R1 89A et R2 89A où il s'était agit de deux essais visant à étudier la durée de traitement sur la valeur alimentaire (la durée avait été de 45 et 60 et de 45 ,75 et 105 jours).

## 1.2 Les compléments

À l'exception du tourteau de soja (TS), les concentrés de complémentation étaient issus de matières premières ou de sous-produits disponibles dans le pays.

La farine animale était fabriquée à partir de résidus d'abattoir de volailles (sang, plumes, viscères).

Les matières premières constitutives des concentrés, leur composition chimique moyenne et leur digestibilité sont présentées dans le tableau 6.

Les pierres à lécher étaient de fabrication ONAB (Office Nationale des Aliments du Bétail), leur composition chimique est donnée en annexe 1.

**Tableau 6** : Composition chimique des matières premières (% MS), des concentrés (%MS) et de leur valeur de digestibilité (%)

	MS (%)	MM	MAT	CB	dMO	dMA
orge (og)	90.2 ± 1.8	2.9 ± 0.4	12.3 ± 0.7	6.7 ± 0.6	88	75
pulpes d'agrumes(PA)	88.5 ± 3.2	6.5 ± 0.7	8.6 ± 2.1	10.3 ± 1.4	85	70
fève (FV)	89.0 ± 1.1	6.2 ± 0.4	21.9 ± 1.6	11.4 ± 1.0	85	83
féverole (FL)	89.3 ± 1.7	5.5 ± 0.8	23.6 ± 2.5	10.0 ± 2.1	85	83
pois fourrager (PF)	88.7 ± 1.6	6.3 ± 0.6	21.9 ± 1.4	12.4 ± 0.9	88	86
farine animale (FA)	93.3 ± 3.2	10.3 ± 4.1	55.9 ± 5.7	-	83	85
tourteau de soja(TS)	89.6 ± 0.9	7.1 ± 0.6	51.1 ± 0.9	4.6 ± 0.3	91	92
25 og + 75 FV	89.0 ± 1.4	6.4 ± 0.5	17.4 ± 0.3	9.7 ± 0.6	81	81
30 og + 70 FL	89.4 ± 1.2	6.2 ± 0.3	18.1 ± 0.4	9.3 ± 0.4	81	81
20 og + 80 PF	89.1 ± 1.6	6.4 ± 0.4	17.1 ± 0.3	10.4 ± 0.4	83	84
75 PA + 25 FA	89.1 ± 1.8	7.0 ± 0.5	18.4 ± 0.4	8.1 ± 0.5	84	79
79 og + 21 TS	89.8 ± 1.3	5.3 ± 0.3	18.4 ± 0.3	5.8 ± 0.4	82	73
85 og + 15 FA	90.3 ± 2.8	5.2 ± 0.6	17.3 ± 0.5	5.6 ± 0.4	78	74

MS= matière sèche; MM= matière organique; MAT= matière azotée totale ,CB= cellulose brute ; dMO et dMA= digestibilité des matières organiques et des matières azotées totales. dMO et dMA calculées à partir des tables INRA (1978), par pondération de chaque composant, en supposant que les digestibilités de ces composants étaient constantes et additives quelle que soit la ration.

### 1.3. Mesures nutritionnelles

Avant chaque mesure, les pailles sont hachées en une seule fois en brins de 8 cm environ. Les périodes de mesures s'évalaient entre novembre et mai où la température en moyenne était comprise entre 15 et 22° C.

#### 1.3.1. Digestibilité des matières azotées totales et de la matière organique des régimes

Ces mesures ont été effectuées (entre 1984 et 1995) sur 18 régimes de PNT de teneur moyenne en MAT de 6.4% et sur 21 régimes PT de teneur en MAT de 9.4% (tableaux 7 et 8).

Deux fois par jour, les régimes et l'eau de boisson sont distribués *ad libitum* (15% de refus). Le niveau alimentaire déjà observé sur ce type de régimes (Chabaca, 1993) était compris entre 0.98 et 1.15.

Avant toute mesure, les sujets répartis dans des boxes individuels, étaient accoutumés aux régimes pendant trois semaines.

Pour chaque régime, la digestibilité de l'azote et celle de la matière organique ont été mesurées selon la méthode de la récolte totale des fèces (Charlet-Levy, 1962 et Cottyn et al, 1987) pendant 10 jours, sur 4 ovins mâles non castrés de race Ouled Djellal âgés de 18 à 36 mois et pesant en moyenne 42kg en moyenne pour les régimes PT et 51kg pour les régimes PNT.

Sur ces régimes ont été mesurées également, l'ingestibilité (Charlet-Levy, 1962 et Ramalho Ribeiro, 1987) durant trois semaines.

Valeur azotée chez Ovis ariès des pailles de *Triticum durum* traitées ou non à l'ammoniac:

Tableau 7: Identification et composition des régimes à base de pailles non traitées

Pailles		Concentrés	
Années de récolte	identification	nature	dose (en g)
1983	L 84	Og + FV	100
1983	L1 84	Og + FL	100
1983	L2 84	Og + PF	100
1984	Le1 85	Og + TS	100
1984	Le2 85	Og + TS	200
1987	T 88	TS	100
1988	B 89	TS	100
1988	R 89	TS	100
1989	HK 89	Og + FL	100
1989	B 90	PA + FA	100
1989	BS 90	PA + FA	100
1990	La 90	TS	100
1990	TR 91	PA + FA	200
1992	TT 92	-	0
1992	C1 93	TS	100
1994	De 94	Og + FA	200
1994	N1 95	Og + FA	200
1995	N295	Og + FA	200

RTI = ration totale ingérée; TS = tourteau de soja ; Og = orge ; FV = fève ; FL = féverole ; PA = pulpe d'agrumes ; FA = farine animale ; PF = pois fourrager

Tableau 8 : Composition des régimes à base de pailles traitées à l'ammoniac



Années de récolte	identification	nature du concentré	dose de concentré (en g)
1983	L 84A	0g + FL	100
1983	L1 84A	0g + FV	100
1983	L2 84 A	0g + PF	100
1984	Le1 85A	0g + TS	100
1984	Le2 85A	0g+ TS	100
1987	T1 88A	TS	100
1988	HK1 89A	0g + FL	100
1988	HK2 89A	0g + FV	100
1988	HK3 89A	0g + PF	100
1988	HK 89A	0g + TS	100
1987	T 88A	TS	100
1987	T2 88A	TS	100
1988	R 89A	TS	100
1988	R1 89A	TS	100
1988	R2 89A	TS	100
1990	La 90A	PA +FA	100
1992	C1 93A	PA	100
1993	C2 93A	PA + FA	100
1994	De 94A	0g + FA	100
1994	N1 95A	0g + FA	100
1995	N2 95A	0g + FA	100

RTI = ration totale ingérée; TS = tourteau de soja ; Og = orge ; FV = fève ; FL = féverole ; PA = pulpe d'agrumes ; FA = farine animale

Chaque jour, les quantités de paille et de concentrés distribués et refusés sont prélevées et pesées à 0.5 g près, selon le protocole du tableau 9 et la MS était mesurée.

Tableau 9: Protocole de prélèvement des refus

Quantité de refus constatée	Prélèvement pour les pesées
5 à 50g 51 à 150g 151 à 300g 301g et au delà	0 la totalité la moitié le quart

De même, chaque jour, la récolte totale des fèces est effectuée et après homogénéisation, un échantillon de 100g est prélevé pour déterminer la MS puis l'échantillon est stocké en vue d'analyses chimiques.

### 1.3.2. Mesure de l'azote endogène fécal et urinaire

Pour calculer la digestibilité réelle de l'azote des pailles, l'azote endogène fécal et urinaire a été mesuré sur 16 sujets (âgés de 22 mois et pesant en moyenne 44kg en début d'expérience) laissés à jeun pendant deux jours en cage à métabolisme. A l'issue de ce temps, les animaux ont reçu une alimentation protéoprive constituée de paille lavée 3 fois dans un grand volume d'eau puis séchée au soleil. La quantité distribuée est de 700g. Les fèces et les urines émises sont prélevés du 4<sup>ème</sup> au 7<sup>ème</sup> jour.

## 2. MESURE DU BILAN AZOTE

En complément des prélèvements effectués pour mesurer la digestibilité des régimes, une récolte d'urine était faite avec précision sur chaque animal trois fois par jour (9 h, 12 h et 16 h) afin d'établir le bilan azoté des animaux. Elle se faisait dans des récipients en matière plastique (muni d'une moustiquaire), contenant 50 ml de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> à 30%. A chaque mesure, un échantillon de 20% des urines totales émises est constitué et cumulé par animal, puis congelé en vue d'analyses.

### 3. ANALYSES CHIMIQUES ET CALCULS

---

#### 3.1 Analyses chimiques

La matière sèche des pailles distribuées était déterminée en triple sur un échantillon total représentatif de 1kg prélevé juste avant le repas du matin.

Les échantillons (ingérés et fèces) étaient broyés à la grille de 0.8mm dans un broyeur à marteaux. La matière sèche (MS), les matières minérales (MM) et les matières azotées totales (MAT) étaient déterminées selon les méthodes de l'AOAC (1975). La paroi totale (NDF), la lignocellulose (ADF) et la lignine brute (ADL) étaient dosées en triple sur 1g d'échantillon selon la méthode séquentielle classique de Van Soest (1963).

#### 3.2 Calcul de la quantité de matière sèche ingérée

L'ingestibilité était obtenue par l'expression classique

$$MSI = MSD - MSR$$

où :

MSI = matière sèche ingérée

MSD = matière sèche distribuée

MSR = matière sèche refusée

Les résultats sont exprimés en g MS.kg<sup>-1</sup> . PV<sup>0.75</sup>

#### 3.3 Calcul de la digestibilité

La digestibilité d'une ration composée est basée sur le principe de l'additivité des quantités de nutriment apportées par chaque composant de la ration. Par exemple pour les matières azotées totales, cette digestibilité peut s'écrire:

$$dMAT_{rt} = \sum_{i=1}^n P_i \times dMAT_i \quad (1)$$

où :

P<sub>i</sub> = proportion de MAT du composant i dans la ration ; dans ce cas,  $\sum_{i=1}^n P_i = 1$ .

dMAT<sub>i</sub> est la digestibilité des MAT du composant i.

Pour une ration composée de pailles et de concentré, l'équation devient :

$$dMAT_{rt} = P_p \times dMAT_p + P_c \times dMAT_c \quad (2)$$

où:

Pp = proportion de paille dans la ration.

Pc = proportion de concentré dans la ration.

Le calcul de la digestibilité de l'azote de la paille seule (PS), à partir de celle de la ration suppose que la digestibilité de l'azote du concentré soit invariable quelles que soient les quantités de pailles ingérées et qu'il n'y ait pas d'interactions digestives importantes entre l'azote des pailles et celui des concentrés. En fait, il est admis que jusqu'à 30% de concentré dans les régimes (ce qui était le cas pour nos rations), ces interactions sont négligeables (Dulphy et al, 1983), la digestibilité de la pailles (Pp) peut donc être calculée soit:

- Par régression, dans ce cas les données sont ajustées à un modèle de régression multiple. Cette méthode nécessite, pour son application, au moins 3 niveaux de concentrés dans la ration ;
- Par un système d'équations à deux inconnues, lorsque la ration comporte plusieurs concentrés (Gasner et Vachel, 1952);
- Par la méthode de différence (Giger et Sauvart, 1983).

Cette dernière méthode est la plus adaptée à nos mesures, elle a été utilisée pour le calcul de la digestibilité de l'azote de la PS. Le modèle de calcul devenait alors:

$$dMAT_{ps} = \frac{1}{P_p} (dMAT_{rt} - \sum_{i=2}^n P_i \times dMAT_i) \quad (3)$$

avec Pi = proportion du concentré dans la ration.

### 3.4 Calcul de la digestibilité réelle

$$dr = \frac{NI - (Nf + Nfm)}{NI} \times 100$$

Avec NI = azote ingéré ; Nf = azote fécal ; Nfm = azote fécal métabolique

### 3.5 Calcul du bilan azoté

Le bilan azoté ou azote retenu (NR) est obtenu par la différence entre l'azote ingéré (NI) et l'azote total excrété (NE) par les urines et les fèces :

$$NR \text{ (en g)} = NI \text{ (g)} - NE \text{ (g) (fèces + urines)}$$

## CHAPITRE 2. ELEMENTS DETERMINANTS LA VALEUR AZOTEE DES PAILLES TRAITEES

Source d'azote de nature non protéique, sa valorisation dans le rumen dépend de sa libération dans le milieu et des conditions nutritionnelles et d'absence de substances toxiques offertes aux micro-organismes du rumen pour leur synthèse protéique.

### 1. Mesure de la libération de l'azote apporté par le traitement à l'ammoniac

Différentes méthodes d'estimation de la dégradation de l'azote sont proposées par les auteurs; elles sont soit chimiques: solubilité de l'azote dans la salive artificielle (revue de Goering et Van Soest, 1970; Wohlt et al, 1973; Vérité et Demarquilly, 1981), soit enzymatiques *in vitro* (revue de Aufrere et Cartailier, 1989), soit microbiologiques en sachet de Nylon dans le rumen (revue de Madsen et Hvelplund, 1985; Michalet-Doreau et Aufrere, 1990).

Dans notre cas, la libération de l'azote apporté par le traitement était appréciée d'une part par une mesure chimique et d'autre part par une mesure microbiologique en sachets de Nylon placés dans le rumen.

Les pailles ayant servi à ces mesures sont : 16 échantillons de pailles traitées au laboratoire et 7 pailles issues du terrain

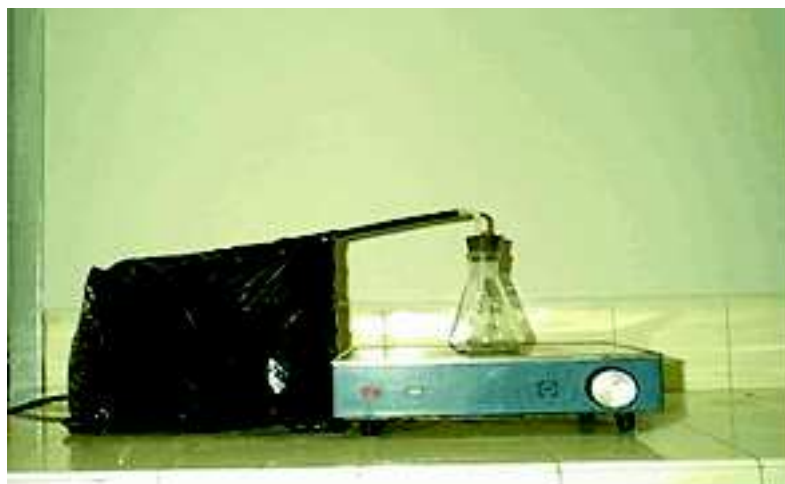
### 1.1. Sur pailles traitées en laboratoire

16 lots de 2kg chacun de la paille N2 95 (numérotés de 1 à 16) et un témoin PNT étaient réunis selon différentes combinaisons de doses d'ammoniac : 3 et 5% ; de température: 15 et 35°C et de durées de traitement: 15; 30; 45 et 75 jours (tableau 10).

Pailles	T (°C)	Doses (en %)	Durée (jours)
PT1	15	3	15
PT2			30
PT3			45
PT4			75
PT5		5	15
PT6			30
PT7			45
PT8			75
PT9	35	3	15
PT10			30
PT11			45
PT12			75
PT13		5	15
PT14			30
PT15			45
PT16			75
PNT (témoin)	-	-	-

**Tableau 10:** Identification et conditions de traitement des pailles à l'ammoniac

La paille a été grossièrement hachée (brins de 8cm environ) avant d'être introduite dans un sac en plastique noir résistant. L'ammoniac était produit par évaporation par chauffage modéré de 13.5 et 21.5 ml d'hydroxyde d'ammonium (quantité suffisante pour apporter 3 et 5g d'ammoniac par 100g de paille). L'injection dans les sacs était réalisée lentement durant 20 mn environ (photographie 3). L'opération terminée, les sacs sont fermés hermétiquement par soudure.



**Photo 3** : Dispositif d'injection de l'ammoniac dans le sac de paille

Les sacs à 15° C sont conservés dans un local durant l'hiver où la température avait varié entre 12 et 17° C; les sacs à 35° C sont mis à l'étuve réglée à cette température.

A l'échéance de chaque temps de traitement, la paille était extraite des sacs et la MS était mesurée sur un échantillon représentatif de 250g; le reste était aéré pendant 48 h à la température ambiante du laboratoire puis broyé à la grille de 0.8mm et conservé pour mesures et analyses chimiques.

## 1.2. Pailles issues du terrain

Les pailles ayant servi à ces mesures : sept pailles figurant dans le tableau 8: elles sont données dans le tableau 11.

**Tableau 11: Identification des pailles ayant servi aux mesures**

Identification	Méthode de traitement	Dose de NH <sub>3</sub> (en %)	Durée (en j)	Période de traitement
T1 88A	four	3.5	1	-
T 88A	meule	3.5	45	printemps
T2 88A	meule	3.5	60	printemps
R 89A	meule	3.5	45	printemps
R1 89A	meule	3.5	75	printemps
R2 89A	meule	3.5	105	printemps
La 90A	meule	3.5	60	été

## 1.3. Mesure de la fixation de l'azote sur les fractions de la paroi

### 1.3.1. Mesure chimique

Les fractions de la paroi sont isolées selon Van-Soest (1963) (figure 4); puis, l'azote des fractions NDF, ADF et ADL était déterminé par dosage Kjeldahl sur 0.5g de résidus. L'azote fixé sur les hémicelluloses et sur la cellulose était obtenu par différence.

L'azote des composants de la paroi est analysé selon la procédure de la figure 4.

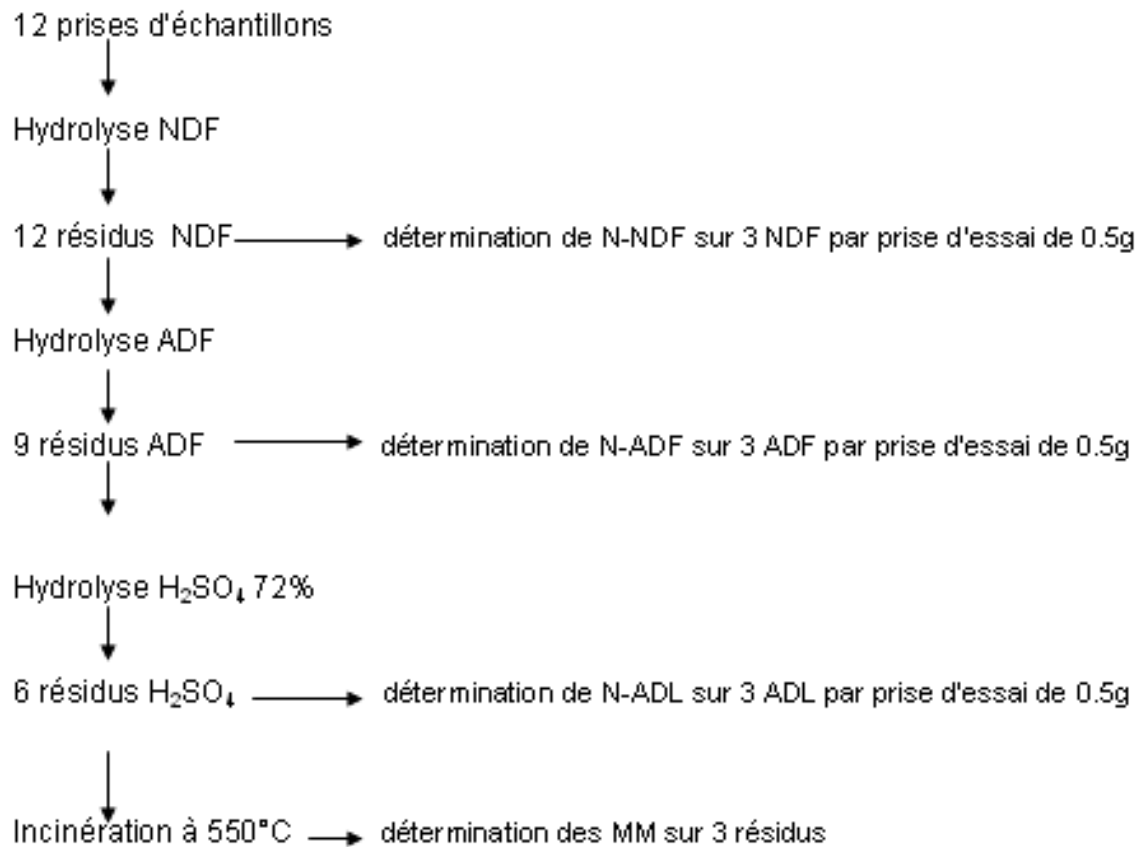


Figure 4: Détermination de l'azote de la paroi (Van Soest et Wine, 1967)

### 1.3.2. Mesure biologique *in-situ* de la dégradabilité de l'azote

La méthode *in sacco* est la plus utilisée depuis que Orskov et Mc Donalds (1979) l'ont modélisée pour l'azote et l'ont adaptée à des cinétiques de longues durées dans le rumen (Mehrez et Orskov, 1977; Michalet-Doreau et al, 1987). Nous l'avons adoptée.

Elle consiste à mesurer la quantité d'azote résiduelle dans un sachet en Nylon, après incubation pendant un temps variable dans le rumen d'un animal adulte muni d'une canule.

Les sachets, 7.5 X15cm de dimension, sont confectionnés dans un tissu Blutex T50 (maille de 46 $\mu$ ). Ils contiennent 3g (26mg d'échantillon par cm<sup>2</sup>) de paille broyée à la grille de 0.8mm, (Michalet-Doreau et al, 1987).

La dégradabilité a été mesurée sur trois vaches Frisonnes, munies d'une canule ruminale. Les animaux ont reçu deux fois par jour (8 h et 16 h) dans les proportions de 70-30, un foin de luzerne-dactyle et un concentré (dosant 15.4 % de MAT) pour bovins composé de: 43 % d'orge; 40 % de pulpes de betterave déshydratées; 10 % de tourteau de soja 44; 5.5 % de mélasse de betterave; 0.5 % de sel et 1 % de CMV (composition chimique en annexe 2).

Les animaux étaient adaptés et maintenus au même régime pendant toute la période de pose des sachets. L'eau et les minéraux sous forme de pierre à lécher étaient laissés en permanence à la disposition des animaux.

Les incubations sont réalisées selon une cinétique en six points (2; 4; 8; 16; 24 et 48 h) à raison de six répétitions par point. Les sachets, après chaque prélèvement du rumen sont rincés à l'eau, puis congelés. Après décongélation, tous les sachets sont de nouveau lavés

à la machine (3 cycles de 3 mn), essorés pendant 8 h à 30°C ensuite lyophilisés pendant 24 h puis pesés. Pour éviter des biais sur le calcul de la dégradabilité qui pourraient être importants pour des échantillons de paille faiblement dosés en azote, une correction de contamination bactérienne est effectuée; elle est égale à :

**6.4 - 0.365 MAT + 0.170 NDF (Michalet-Doreau et Aufrère, 1990).**

Les données de la cinétique de la dégradation de l'azote (dg), sont ajustées au modèle monomoléculaire d'Orskov et Mc Donald (1979)

$$dg = a + b (1 - e^{-ct})$$

Pour calculer les paramètres **a** (fraction d'azote immédiatement dégradable), **b** (fraction potentiellement dégradable) et **c** (vitesse de dégradation de la fraction **b**).

La dégradabilité théorique de l'azote (dtN) est alors calculée par intégration du modèle:

$$dtN = a + b \times c / c + k$$

où **k** (taux de renouvellement dans le rumen) étant égal à  $0.06h^{-1}$  dans le modèle standard de l'INRA (Vérité et al 1987).

### 1.3.3. Mesure *in vitro* de deux paramètres de la fermentescibilité : la production d'ammoniac et le pH

Cette étude avait pour but de mesurer le degré de transformation en ammoniac de l'azote dégradé. Deux pailles traitées étaient utilisées: T88A et T2 88A et une paille non traitée, T88 ; un quatrième récipient témoin sans paille est constitué.

Le dispositif utilisé est celui du rumen artificiel: des récipients en verre d'une contenance de 2000 ml sont placés en batterie.

Dans chaque rumen artificiel ainsi constitué, nous plaçons : 150 ml de jus de rumen filtré sur cinq couches de gaz (cf 3.3. 2); 300 ml de salive Mc Dougall (annexe 3) ; 5 ml de solution d'oligo-éléments (annexe 4) et un mélange de 6g de paille plus 2 g de pulpe d'agrumes (sauf dans le récipient témoin). Après saturation du milieu en gaz carbonique pour créer les conditions d'anaérobiose, les récipients sont incubés dans un bain-Marie réglé à 39°C. Ils sont agités manuellement toutes les 30 minutes.

Aux temps 0.5 ; 1 ; 2 ; 4 ; 8 et 24 h sont prélevés 10 ml de jus (auxquels sont ajoutés 2 gouttes de chlorure mercurique pour arrêter la fermentation) en vue du dosage de l'azote ammoniacal et de la mesure du pH. Après chaque prélèvement, le milieu est de nouveau saturé en CO<sub>2</sub>. L'azote ammoniacal est dosé selon la méthode de Conway (1962) : 1ml d'acide sulfurique N/50 correspond à 280 microgrammes d'azote. Les cellules sont traitées en triple.

**Calcul : N-NH<sub>3</sub> du milieu = N-NH<sub>3</sub> Paille - N-NH<sub>3</sub> témoin**

## 2. Rôle des acides phénoliques

### 2.1. Teneur en acides phénoliques des pailles de céréales récoltées en Algérie

## Valeur azotée chez Ovis ariès des pailles de Triticum durum traitées ou non à l'ammoniac:

Pour évaluer l'importance de ces composés dans les pailles de céréales locales, 35 échantillons de pailles: 15 de blé dur (BD), 11 de blé tendre (BT) et 9 d'orge (OG), issus de la collection de l'ITGC ont été étudiés; leurs caractéristiques sont données dans le tableau 12.

Les variables étudiées sont leur composition chimique (MS; MM; MAT; NDF; ADF; et ADL) et leurs teneurs en composés phénoliques (vanilline, VA; acide p-coumarique, ApC et acide férulique, AF).

Identification	Variétés	RG (qx.ha <sup>-1</sup> )	RP (qx.ha <sup>-1</sup> )	HT (cm)	Précocité (j)
OG1	Rahma	36.46	40.06	73.25	T
OG2	Motan	40.93	52.18	85.00	T
OG3	Heve 11965 (2r)	39.98	48.12	80.25	T
OG4	C1071119(Deirala)	16.22	21.71	89.25	T
OG5	Saïda 183	29.30	34.28	78.00	T
OG6	ACSAD 176	36.89	46.65	82.50	T
OG7	Jaïdor	35.85	44.04	81.25	T
OG8	Rebelle	26.43	36.37	91.75	T
OG9	Express	21.23	27.06	85.00	T
Moyenne	-	31.48 ± 7.76	38.83 ± 9.42	82.92 ± 5.29	
CV (%)	-	24.65	24.25	6.4	
BT1	PEEP"S"YCKK	44.31	62.20	93.58	
BT2	GEN/3/GOWAZM UZS	24.15	34.95	96.50	DT
BT3	WOWP4394/CGN"S "	41.22	54.92	88.82	DT
BT4	AS811894A	49.37	75.55	102.03	T
BT5	TR380 16A	44.77	60.68	90.50	T
BT6	Lodi	49.38	64.37	86.91	T
BT7	TRT"S"JUN"S"	24.67	33.47	90.46	T
BT8	Soïsons	33.49	39.36	78.37	T
BT9	Anza	50.31	66.46	88.08	DT
BT10	Mahondemias	31.58	49.62	104.75	T
BT11	HD 1220	54.28	77.66	95.38	DT
Moyenne	-	40.68 ± 10.10	56.29 ± 14.65	92.31 ± 3.9	
CV (%)	-	24.82	26.02	4.35	
BD1	Chen"S"	36.43	47.32	86.60	T
BD2	Chen "S"ADK"S"	46.92	55.47	78.11	T
BD3	Accu	48.21	59.23	81.91	T
BD4	O.S(417F6X418F6 )	32.04	55.54	115.57	T
BD5	A(Chen"S"XPDC S)	48.39	63.55	87.56	T
BD6	904"S"LOGH"S"	33.50	39.34	78.30	T
BD7	PG/GD0380/615/ CR	34.51	43.17	83.41	T
BD8	C19225/TROB "S "	29.28	40.92	93.17	T
BD9	Karasu	39.22	50.25	85.42	T
BD10	Creso	38.53	46.13	79.82	T
BD11	Gando/RU/S/abi	42.74	63.79	99.50	T
BD12	S15/Glier"S"	44.44	66.93	100.41	T
BD13	Waha	38.87	46.71	80.13	T
BD14	Bidi 17	30.16	48.15	106.43	T
BD15	Oued-Zenati	25.40	40.74	106.93	T
Moyenne	-	37.90 ± 6.95	51.15 ± 8.76	90.86 ± 2.31	
CV (%)	-	18.34	17.12	2.54	

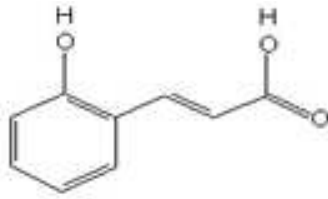
**Tableau 12:** Identification, rendement en grains et en pailles des variétés et espèces étudiées

RG = rendement en grain ; RP = rendement en paille ; HT = hauteur de la tige ; DT: Demi-tardive (entre 164 et 168 jours) ; T: Tardive (entre 172 et 186 jours).

### Extraction et dosage des substances phénoliques

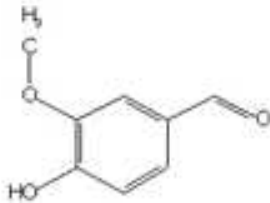
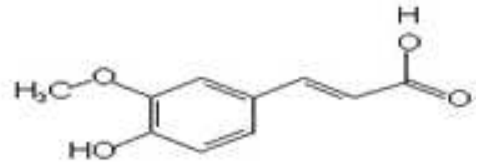
De poids moléculaire (PM) respectifs de 164 ; 194 et 152 g. mole<sup>-1</sup> et de structure :





**Acide coumarique** ou acide  
Trans (hydroxyphényl)-3-propénoïque  
Formule:  $\text{HO-C}_6\text{H}_4\text{-CH=CH-COOH}$

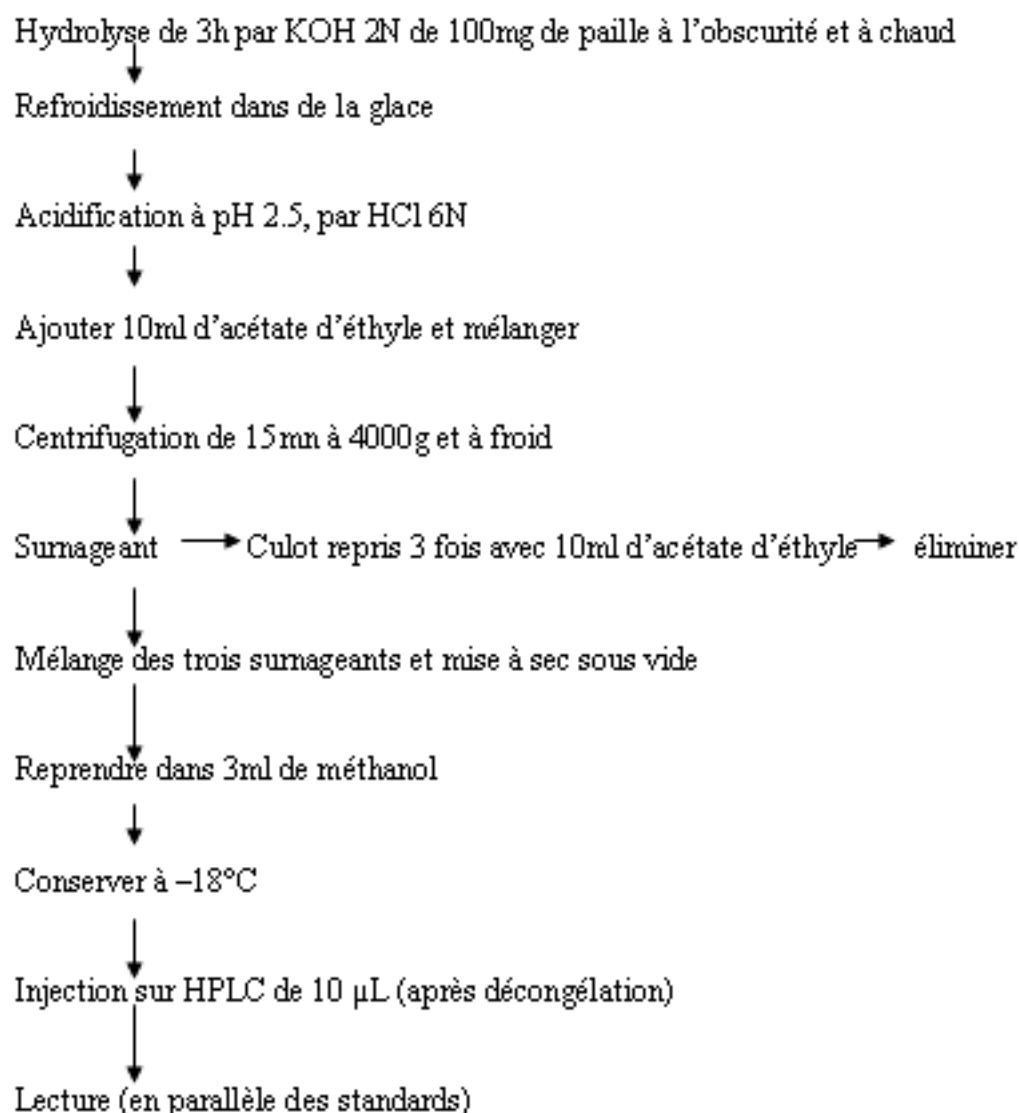
**Acide férulique** ou acide  
Hydroxy-4-méthoxy-3-cinnamique  
Formule :  $4(\text{OH})\text{-}3\text{-(OCH}_3\text{)C}_6\text{H}_3\text{=COOH}$



**Vanilline** ou hydroxy-4-méthoxy-3-benzaldéhyde  
Formule :  $(\text{CH}_3\text{O})(\text{OH})\text{C}_6\text{H}_3\text{CHO}$

Les acides phénoliques : p-coumarique (ApC) et férulique (AF) et la vanilline (VA) ont été extraits à l'obscurité par hydrolyse basique à chaud (70°C) pendant 3 heures, à partir d'un échantillon de 100 mg de paille brute en présence de 6 ml de KOH 2N selon la technique inspirée de Iiyama et al (1990). Ce procédé permet d'extraire la quasi-totalité de ces composés.

La réaction a été arrêtée par refroidissement des tubes qui sont alors acidifiés avec du HCl 6N jusqu'à un pH de 2.5; puis, 10 ml d'acétate d'éthyle y ont été introduits. Après agitation, les tubes ont été centrifugés pendant 15 mn à 4000g en milieu réfrigéré; le surnageant est récupéré et l'opération est répétée trois fois. Les trois surnageants réunis sont asséchés, réduits sous vide et repris dans 2 ml de méthanol puis conservés à -18°C (figure 5).



**Figure 5:** Extraction et dosage des acides ApC, AF et de la VA

La séparation des deux acides et celle de la vanilline a été réalisée sur un volume de 10 µl à l'aide d'un analyseur HPLC de marque Waters, muni d'une colonne Beckman ultra sphère C18. L'éluant était composé de 7% d'acide formique dans du méthanol; le débit a été de 0.8 ml. mn<sup>-1</sup> et la détection s'est faite à 310 nm.

L'identification des pics a été réalisée par comparaison à des standards d'acides p-coumarique, férulique et de vanilline et leur calcul par intégration automatique.

Les résultats sont exprimés en g.kg<sup>-1</sup> de paille pour les 35 pailles.

## **2.2. Effet de différentes conditions de traitement à l'ammoniac sur la teneur en acides phénoliques des pailles**

Les échantillons utilisés sont ceux présentés dans le tableau 10 et la méthode de dosage des acides phénoliques, celle précédemment décrite (Iiyama et al ,1990).

---

### 3. EFFET DES ACIDES PHENOLIQUES SUR L'ACTIVITE MICROBIENNE DU RUMEN

---

Ce travail suppose un préalable : s'assurer que les acides phénoliques sont libérés dans le rumen.

#### 3.1. Mesure de la libération des acides phénoliques dans le rumen

Le temps de libération des acides phénoliques dans le rumen au cours de la digestion des fourrages est très peu étudié. *In vitro*, Jung (1985) observait une rapide diminution de l'acide coumarique dans le milieu d'incubation. Plus récemment, les travaux de Komprda et al (1997), avaient montré sur luzerne, une libération de 95 et 98 % du total respectivement des acides coumariques et féruliques après 5 heures d'incubation en rumen.

Nous avons mesuré par dosage sur les résidus *in sacco* de la paille N2 95A et son homologue non traitée N2 95 le taux de libération des acides férulique, coumarique et de la vanilline aux points de cinétique 2 - 4 et 8 h.

#### 3.2 Mesure indirecte des effets des acides phénoliques sur l'activité microbienne

L'effet de ces acides est apprécié par l'établissement de modèles liant la dégradabilité de l'azote mesuré *in situ* à la teneur en acides phénoliques; Les échantillons support sont ceux du tableau 10.

#### 3.3. Mesure directe des effets des acides phénoliques sur l'activité microbienne

Dans cette expérience, nous avons étudié *in vitro*, l'effet d'extraits de pailles sur la synthèse microbienne dans le rumen.

##### 3.3.1. Obtention de l'extrait phénolique de paille

Il était obtenu selon la méthode proposée par Larwence (1991) pour extraire les substances phénoliques des marcs de raisin. Cette procédure suppose extraire tous les composés phénoliques en dehors de la fraction très énergiquement liée à la paroi.

5g de chaque échantillon de paille sont mis en présence de 50 ml de méthanol acidifié (0.5% de HCl fumant) dans un bêcher de 250 ml à l'abri de la lumière. Les bêchers étaient placés sous agitation magnétique pendant 30 mn. Après centrifugation à 500 x g, le surnageant est récupéré dans un ballon à col rodé de 250 ml ; le culot est repris avec 50 ml de solution acétone-eau (70V-30V) pendant 30mn. Les deux surnageants sont mélangés et mis à sec (à 37°C) sous vide à l'aide d'un rotavapor connecté à une pompe à vide. L'extrait obtenu est repris avec 5ml de méthanol absolu et conservé au congélateur à -18 °C. Au moment de son utilisation, l'extrait de chaque paille du tableau 13 était décongelé lentement au réfrigérateur puis, mis à sec à nouveau et dilué 10 fois avec de l'eau distillée.

Trois doses d'extrait sont testées: 0 (d1) ; 1 (d2) et 3 ml (d3) (tableau 13). Sur la base de la quantité d'ApC, d'AF et de VA libérée dans le rumen après 8h d'incubation d'un échantillon de paille, nous avons estimé en moyenne la  $\Sigma$  ApC + AF+VA de ces acides (mg. 100 ml<sup>-1</sup> de milieu) dans chaque dose d'extrait.

**Tableau 13:** Mesure de la synthèse protéique : apport de  $\Sigma$  ApC + AF+VA (mg.100 ml<sup>-1</sup> de milieu)

		d2	d3
B 89	PNT	1.24	3.72
B 90			
La90			
<b>Extrait PNT</b>			
T 88A	PT	1.01	3.04
R 89A			
R1 89A			
R2 89A			
C2 93A			
La 90A			
<b>Extrait PT</b>			

*Tableau 13: Mesure de la synthèse protéique :*

### 3.3.2. Les animaux donneurs de jus

Il s'agit de trois ovins de race Ouled Djellal, munis d'une canule ruminale. Les animaux ont reçu deux fois par jour (8 h et 16 h) du foin de vesce-avoine et 100g de tourteau de soja 50. Les prélèvements de jus sont réalisés le matin à jeun, à l'aide d'une pompe à vide.

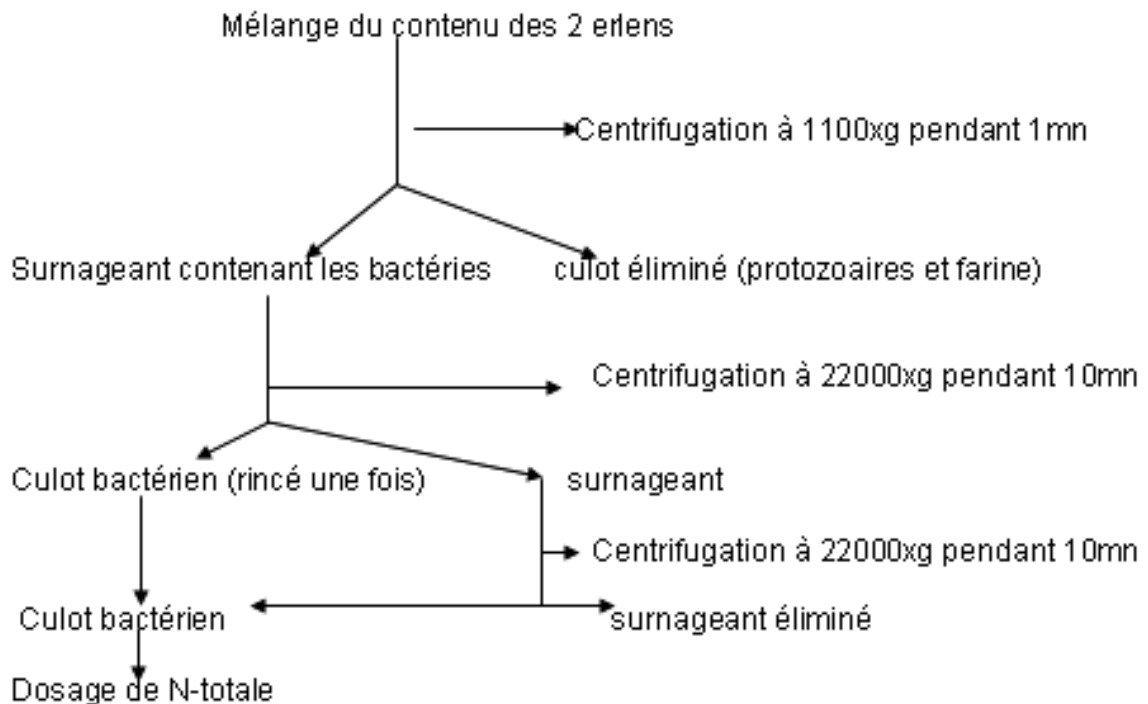
L'eau et les minéraux sous forme de pierre à lécher sont laissés en permanence à la disposition des animaux.

### 3.3.3 Mesure de la synthèse microbienne

Des erlens de 200 ml, munis de bouchons reçoivent :

- 25ml de salive artificielle Mc Dougall (annexe 3),
- 25ml de jus de rumen filtré sur six couches de gaze,
- 0.5ml d'urée à 4 % (pour que PDIN soit égale à PDIE dans le milieu),
- 0.25ml d'oligo-éléments (annexe 4),
- 1g de farine de pomme de terre (annexe 5),
- la dose d'extrait de paille correspondante.

Les erlens ainsi préparés étaient incubés en double pour chaque dose d'extrait dans un bain-marie réglée à 39°C avec agitation. A l'issue d'un temps de 4h, le contenu des erlens était traité comme indiqué par la figure 6 (Teller et Godeau, 1988).



*Figure 6 : Procédure d'obtention du culot bactérien*

## CHAPITRE 3 : VALEUR AZOTÉE DES PAILLES TRAITÉES À L'AMMONIAC

Depuis une quarantaine d'années, l'avancée des connaissances sur la physiologie de la nutrition chez le ruminant a amené les chercheurs à s'interroger sur la validité du concept de MAD (matières azotées digestibles) et de DCP (digestible crude protein) des anglo-saxons selon lequel la valeur azotée d'un aliment se mesure à la quantité de MAT qui disparaît apparemment dans le tube digestif. Actuellement, il est admis que tout aliment présente deux valeurs azotées : une qui est la quantité de ses acides aminés arrivant dans l'intestin ; une autre qui résulte de ses capacités à générer dans le rumen des protéines microbiennes qui seront à leur tour digérées dans l'intestin. Ce nouveau concept adopté par différents pays a été révisé par NRC (1985)

En France, ce concept s'est concrétisé par le système PDI proposé par l'INRA France ; il sera révisé par Vérité et al en 1987.

Bien que simple et relativement satisfaisant pour la plupart des rations traditionnelles, le concept de MAD et de DCP reste limité dans pas certaines situations, en particulier avec des rations riches en azote non protéique (cas des pailles traitées). Néanmoins pour calculer la valeur azotée des pailles algériennes, nous utiliserons le concept de MAD que nous compléterons par celui des protéines réellement digérées dans l'intestin.

### 1. CALCUL DES MATIÈRES AZOTÉES DIGESTIBLES (MAD)

$$\text{MAD (g MS.kg}^{-1}\text{)} = \text{MAT (g MS.kg}^{-1}\text{)} \cdot \text{DMA (\%)}$$

Les pailles supports sont celles présentées dans les tableaux 7 et 8.

## 2. CALCUL DES PROTEINES DIGESTIBLES DANS L'INTESTIN

Les teneurs en protéines digestibles dans l'intestin des aliments ( $\text{g.kg}^{-1}$  MS) sont obtenues à partir de 4 paramètres :

- la teneur en MAT classiquement dosée
- la dégradabilité théorique des MAT (dtN) obtenue comme précédemment décrite sur ovins Ouled Djellal,
- la digestibilité réelle (dr) ;
- la teneur en MOF (matières organiques fermentescibles) en  $\text{g MS.kg}^{-1}$  calculée selon INRA ,1988.

Les trois paramètres de la valeur PDI sont calculés par les expressions (détails en annexe 6)

$$\text{PDIME} = 0.093 \times \text{MOF}$$

$$\text{PDIMN} = \text{MAT} \times 0.64 \times (\text{Dt} - 0.1)$$

$$\text{PDIA} = 1.11 \times \text{MAT} \times (1 - \text{Dt}) \times \text{dr}$$

Les pailles ayant servi au calcul des valeurs PDI sont au nombre de 12 : 4 PNT et 8 PT (tableau 14)

Identification	Méthode de traitement	Dose de $\text{NH}_3$ (en % paille)	Durée (en j)	Période de traitement
B 89	PNT			
B 90				
TT 92				
La90				
T1 88A	four	3.5	1	90°C
T 88A	meule	3.5	45	printemps
T2 88A	meule	3.5	60	printemps
R 89A	meule	3.5	45	printemps
R1 89A	meule	3.5	75	printemps
R2 89A	meule	3.5	105	printemps
C1 93A	meule	3.5	60	été
La 90A	meule	3.5	60	été

Tableau 14: Pailles supports du calcul des valeurs PDI

## CHAPITRE 4:ANALYSE STATISTIQUE DES RESULTATS

## 1. ETUDE DE LA DISPERSION DES ECHANTILLONS

Les variables de la composition chimique (MS; MM; MAT; ND; ADF;ADL ; vanilline; acide p-coumarique et acide férullique); celles de la valeur alimentaire (dMO; MSI) ; celles de la valeur azotée (dMA; NE ; NI ;NR ; PDI ) ; de la dégradabilité de l'azote (dtN et ses composants **a** ; **b** ; et **c**), ont fait l'objet d' analyses statistiques élémentaires (moyenne, minimum, maximum, médiane, 1<sup>er</sup> quartile, 3<sup>em</sup> quartile et écart type).

## 2. ANALYSE DE VARIANCE MONO-FACTORIEL

Les facteurs : nature du traitement (four ou meule) ; espèces de céréales (orge, blé tendre et blé dur) et nature de l'extrait, ont subi une analyse de variance à un facteur, selon le modèle :

$$Y_{ij} = \mu + \alpha_i + e_{ij}$$

où :

$Y_{ij}$  est la variable expliquée;

$\mu$  la moyenne générale ;

$\alpha_i$  l'effet du facteur étudié ;

$e_{ij}$  l'erreur résiduelle du modèle.

Les détails sont donnés dans le tableau 15

Facteurs	Variables concernées					
	Composition chimique	Valeur alimentaire	Teneur en composés phénoliques	Valeur azotée	Bilan et dégradabilité de l'azote	Activité microbienne
Nature traitement	MS;MM; MAT.NDF; ADF;ADL	dMO;MSI	VA;ApC; AF	dMA; MAD; PDI	NE;NI;ND; NR;dtN. a;b; c	-
Espèces céréales	MS;MM; MAT;NDF; ADF;ADL	-	VA;ApC; AF	-	-	-
Nature de l'extrait de paille	-	-	-	-	-	Activité de Synthèse protéique

Tableau 15: Facteurs et variables concernées par l'analyse de variance à un facteur

## 3. ANALYSE DE VARIANCE PLURI-FACTORIEL

Concerne l'étude des conditions de traitement. Les variables sont: MS; MM; MAT; NDF; ADF; ADL; vanilline; acide p-coumarique et acide férullique; la dtN et ses composants **a**, **b**, **a + b** et **c** ainsi que la dégradabilité de l'azote à chaque point de cinétique et les facteurs: la température, la durée et la dose d'ammoniac.

Le modèle devient :

$$Y_{ijKl} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \gamma_l + \alpha_i\beta_j + \alpha_i\gamma_l + \beta_j\gamma_l + e_{ijKl}$$

où:

$Y_{ijKl}$  représente la variable expliquée;  
 $\mu$ , la moyenne générale;  
 $\alpha_i$  l'effet de la température;  
 $\beta_j$  l'effet de la dose;  
 $\gamma_l$  l'effet de la durée;  
 $\alpha_i\beta_j$  l'interaction température x durée;  
 $\alpha_i\gamma_l$  l'interaction température x dose;  
 $\beta_j\gamma_l$  l'interaction durée x dose;  
 $e_{ijKl}$  l'erreur résiduelle du modèle.

#### 4. LIAISONS ENTRE VARIABLES

---

A chaque fois qu'il nous paraissait nécessaire, des régressions linéaires simples ou multiples répondant au modèle :

$$Y_i = a_0 + a_1X_{1i} + a_2X_{2i} + a_3X_{3i} + e_i$$

où:

$Y_i$  : est la variable expliquée (dg ; dtN)

$X_{1i}$  ;  $X_{2i}$  et  $X_{3i}$  les variables explicatives ont été calculées.

Ainsi, la dégradabilité de l'azote à chaque point de cinétique et la dtN ont été reliées à la teneur en ApC, VA, et AF.

De même, l'azote fécal métabolique et l'azote urinaire endogène ont été calculés par régression entre l'azote urinaire ou l'azote fécal et l'azote ingéré ou digéré.

L'ensemble des calculs est réalisé avec le logiciel S-plus 4-5 Edition (1998).



# PARTIE II : RESULTATS ET DISCUSSION

## CHAPITRE 1 :APPLICATION DE RESULTATS DES TRAVAUX INTERNATIONAUX SUR LA DIGESTIBILITE DES PAILLES ALGERIENNES

Il s'agit ici de situer les pailles algériennes : caractérisées par les variétés utilisées ; façonnées par le milieu de culture et les conditions de récolte, tant du point de vue de leur composition chimique que de leur utilisation par l'ovin local dont la rusticité et la frugalité sont bien connues (Chellig, 1992).

### 1. PAILLES NON TRAITEES

---

#### 1.1. Composition chimique des pailles non traitées

La paille récoltée dans les conditions classiques est composée en proportions variables des différentes parties anatomiques de la plante: rachis; entre-nœud; feuilles et tiges. Les feuilles sont les plus riches en azote et représentent 20 à 30% de la paille selon les conditions de traitement (Theander et Aman,1984). Tiges et feuilles sont les parties anatomiques les plus importantes de la paille récoltée, elle détermine donc sa composition chimique. Les résultats obtenus pour les 18 pailles non traitées sont présentés dans le tableau 16.

**Tableau 16: Composition chimique des pailles non traitées**

**Valeur azotée chez Ovis ariès des pailles de Triticum durum traitées ou non à l'ammoniac:**

pailles	MS (%)	en % de MS				
		MM	MAT	NDF	ADF	ADL
L 84	91.50	8.10	3.80	82.00	49.40	8.10
L1 84	90.10	8.40	3.10	84.70	52.40	7.30
L2 84	89.90	7.90	2.70	81.40	53.10	8.30
Le1 85	89.70	8.20	3.70	81.00	52.60	8.40
Le2 85	93.00	8.60	3.10	83.90	51.60	10.10
T88	93.50	7.20	2.80	83.90	50.30	5.60
B89	89.10	8.20	3.10	80.20	48.50	5.70
R89	88.00	6.20	3.80	82.30	48.70	5.60
HK89	91.50	8.50	3.60	81.00	49.40	8.10
B90	88.60	8.00	3.10	79.30	48.30	5.30
BS90	87.60	7.90	3.40	79.70	50.60	5.60
La 90	87.90	6.90	3.20	83.10	52.60	5.20
TR91	88.50	7.90	7.70	66.30	40.10	6.20
TT92	93.80	6.90	3.40	79.00	50.00	8.20
C1 93	89.10	8.30	2.60	80.20	48.50	5.70
De 94	88.00	5.90	3.40	80.00	47.20	6.40
N1 95	91.50	8.40	3.50	79.30	50.10	6.90
N2 95	91.60	7.60	2.40	81.90	53.30	8.10
MIN	87.60	5.90	2.20	66.30	40.10	5.20
1Q	88.52	7.30	3.10	79.77	48.55	5.62
mean	90.16	7.72	3.46	80.61	49.81	6.93
3Q	91.50	8.20	3.57	82.22	52.30	8.10
MAX	93.9	8.60	7.70	84.70	53.30	10.10
CV(%)	2.07	12.10	28.29	3.81	6.20	18.52

En moyenne, la composition chimique de nos pailles : 90.1; 7.7; 3.5; 80.5; 49.8 et 6.9 % respectivement pour la MS, la MM, les MAT, NDF, ADF et l'ADL est comparable à celle couramment rapportée par la littérature sauf pour l'ADL pour lequel la teneur moyenne enregistrée pour nos pailles est plus faible: 6.9 % contre 9.9 % pour les résultats internationaux (Jackson 1977; Dulphy 1979; Nicholson 1984). Nous insisterons d'avantage sur ces deux derniers composants qui présentent par ailleurs, les coefficients de variation les plus élevés: 28 et de 18 % respectivement (tableau 16).

### 1.1.1. Les matières azotées totales des pailles

L'azote est localisé dans les feuilles de graminées à raison de 75% dans les chloroplastes ; 15% dans le cytoplasme ; 5% dans le noyau et les mitochondries et 5% dans la membrane (Demarquilly, 1986). La paille étant constituée de 75 à 80% de membrane, l'essentiel de l'azote s'y trouve donc localisé.

On distingue, trois classes principales de protéines pariétales : les protéines riches en glycérine, les protéines riches en proline et les glycoprotéines riches en hydroxyproline. Cette dernière classe est dominante dans la paille et l'extensine en est la protéine représentative (INRP 2002). La structure de l'extensine est proche de celle du collagène (Demarquilly, 1986). Elle est insoluble et liée en grande partie aux composants de la paroi.

Les chaînes peptidiques peuvent être rattachées les unes aux autres en réseaux par des liaisons éther entre deux molécules de tyrosine (INRP 2002).



Un tel constat a été rapporté par Doyle et Chanpomsang (1990), ainsi que Chermiti (1994). Dans notre travail, la paille TR91 (dosant 7,7 % de MAT) était précisément riche en mauvaises herbes.

### 1.1.2. La lignine

L'EIQ est de 42%, deux fois plus élevé que celui observé pour les MAT. Le minimum est de 5.2 % (LA 90) et le maximum de 10.10%(Le 2 85). L'étendue de la teneur en lignine de l'échantillon est illustrée par la figure 8.

La moyenne de 6.93% enregistrée pour les pailles algériennes, est nettement plus faibles (-30%) que celle de 9.9% notée pour des résultats tirés de 24 références internationales (Chenost, 1987) obtenues avec la même méthode de dosage.

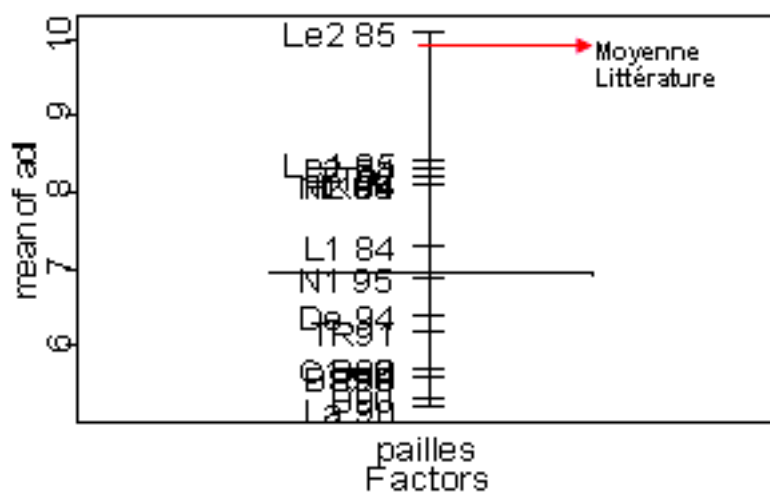


Figure 8: Dispersion des teneurs en ADL des pailles

Il est intéressant de noter que nos résultats sur pailles algériennes sont strictement comparables à ceux Tunisiens rapportés par Chermiti, (1994) et à ceux d'autres **pailles récoltées sur la rive Sud de la méditerranée ( $6,93 \pm 1,09$  %;  $n = 27$ )**.

Les pailles récoltées dans le Maghreb ont donc une teneur en lignine plus faible que celles récoltées notamment en climats tempérés.

Outre le facteur variété qui est évident et qui joue même dans une même région (Pearce, 1983), la formation de la lignine est sous le contrôle de phénomènes enzymatiques eux même liés à des facteurs climatiques comme la température, l'eau et la luminosité (Berekoulou, 1986) :

#### Facteurs température et eau

La conséquence directe d'un stress hydrique léger, est la réduction de la photosynthèse par la fermeture des stomates et / ou par la réduction des réactions biochimiques (Du et al, 1998) sous l'effet de l'enzyme pyruvate orthophosphate dikinase (PPDK).

Le potentiel de l'eau ( $\phi w$ ) qui entraîne la fermeture des stomates intervient entre  $-0.3$  et  $-0.9$  mega-pascal (Mpa), alors que la diminution des réactions biochimiques débute à un potentiel inférieur à  $-0.9$  Mpa selon les mêmes auteurs.

Dans les deux cas, les produits de la photosynthèse, ne sont plus transportés vers l'épi et restent donc dans la tige.

Ce stress osmotique, par action indirecte a des répercussions plutôt favorables sur le contenu cytoplasmique des graminées: il entraîne une élévation dans les teneurs en azote, en glucides solubles et en différents minéraux (Ford et Wilson, 1981).

Cette accumulation des glucides solubles dans la tige se fera au dépend de la lignine (Revue de Wilson, 1991) qui apparaîtra plus faible lors du dosage.

Les calculs montrent que nos 18 céréales, présentent en moyenne pour 100g de MS, 21g de matière sèche solubilisée par la solution NDF, contre 18g pour les 24 pailles européennes.

Des études menées dans le Maghreb (rapport STD paille 1992), montrent que pour des cultures de céréales menées en sec, la teneur en NDF et en lignine des pailles diminue en moyenne respectivement de 7,7 % et de 6.8 % comparée aux pailles des mêmes céréales menées en irrigué. De même, dans le même rapport, l'équipe de Tunisie, rapporte qu'en année de faibles pluies la teneur en NDF d'une paille de blé diminue de 10 % comparée à la même paille en année de fortes pluies (87,0 contre 78,3 %).

Le déficit hydrique modéré étant une habitude plutôt qu'une exception au Maghreb, contribue à expliquer la faible teneur en lignine de nos pailles.

#### Facteur luminosité

L'effet direct d'une forte luminosité sur les plantes se traduit par une diminution de l'activité de plusieurs enzymes et surtout des peroxydases qui ont un rôle lignifiant (Hagege et al, 1988; Polle et al 1994).

Dans la plupart des cas, ces enzymes sont photo-oxydées. L'inactivation qui en résulte entraîne la coupure de liaisons après absorption de photons suivie d'un transfert d'énergie. La conséquence de cette inactivation des enzymes est la transformation des acides aminés en glucides.

La teneur plus faible en lignine de nos pailles, comparativement aux pailles récoltées sous les climats tempérés, s'expliquerait donc plus par des raisons climatiques que variétales.

## 1.2. Valeur azotée des régimes des pailles non traitées

Les détails de la valeur alimentaire des régimes pailles non traitées sont donnés en annexe 7. La paille seule couvre donc à hauteur de 89% les besoins d'entretien alimentaire des animaux contre 107% pour la ration totale. Ce dernier résultat est obtenu avec un taux moyen de MAT dans la ration ingérée de 6.44% (3.1 à 10.7%). Pour ce taux, la digestibilité des MAT de la ration totale est de 43.1% ; les données relatives aux quartiles indiquent que 75% des valeurs de la  $dM_{RT}$  sont comprises entre - 6,0 et 51.0.

La digestibilité des matières azotées de la RT intègre une part importante de celle propre des matières azotées du concentré (70 à 92%) par sa nature et par la dose utilisée. Elle est logiquement négative lorsque le concentré est absent de la ration: cas de la paille TT 92 (-6 %) et pour les valeurs calculées pour la paille seule (en moyenne-18%) : tableau 16.

Tableau 17: Utilisation de l'azote des régimes pailles non traitées par le mouton

Valeur azotée chez Ovis ariès des pailles de Triticum durum traitées ou non à l'ammoniac:

pailles	dMArt (%)	dMAps (%)	MAT dans RTI (%)	azote Retenu (g)	concentré dans la RTI (%)
L 84	48.4	-19.7	4.9	2.8	8.9
L1 84	42.0	-15.1	6.3	2.7	14.0
L2 84	33.7	-18.0	5.6	2.0	12.0
Le85	51.4	-35.7	5.7	2.6	10.0
Le1 85	61.0	-30.4	10.5	4.0	25.0
T 88	50.8	-35.0	6.5	-	9.7
B 89	44.3	-40.2	5.0	-2.8	9.6
R 89	46.3	-31.1	7.9	-	9.7
HK 89	33.8	-18.1	4.7	0.9	11.1
B 90	38.4	-16.0	8.6	2.5	9.8
BS 90	37.1	-18.0	7.1	0.2	9.7
La90	47.6	-18.4	4.7	-2.8	9.8
TR 91	51.1	37.1	6.8	0.7	19.3
TT 92	-6.0	-6.0	3.1	-2.8	0.0
C1 93	44.3	-46.7	3.9	0.2	8.8
D 94	52.5	-6.5	9.1	3.2	24.0
N1 95	52.9	31.0	6.5	2.6	26.0
N2 95	52.5	-17.0	5.7	2.6	23.0
MIN	-6.0	-46.7	3.1	-2.8	0
1Q	39.3	-30.9	5.0	0.2	-
MEAN	43.1	-18.4	6.4	1.1	-
3Q	51.0	-15.3	6.9	2.6	26
MAXI	61.0	37.1	10.7	4.0	-
STD	28.74	20.47	2.05	3.12	
CV%	66.73	111.00	31.83	283.63	-

RTI = ration totale ingérée ; dMAps = digestibilité des matières azotées de la paille seule ; dMArt = digestibilité des matières azotées de la ration totale.

La rétention azotée est logiquement faible  $1.1 \text{ g.j}^{-1} \cdot \text{Animal}^{-1}$  en moyenne (détail du bilan azoté en annexe 8). Elle a varié entre  $-2.8$  et  $+4 \text{ g}$ .

La rétention azotée est liée à la teneur en MAT de la ration ingérée par l'expression :

$$\text{MAT}(\% \text{ de la RTI}) = 0.5494 \text{ azote retenu (g)} + 5.8341 \pm 1.719 \quad (4)$$

$$R^2 = 0.35 ; p < 0.01$$

Pour une rétention azotée nulle, l'homéostasie azotée des moutons est obtenue pour une teneur en MAT de la RTI de 5.8%.

Sur cette base, la quantité de concentré à 18 % de MAT nécessaire pour équilibrer le bilan est de l'ordre de 160g pour une consommation de MS de paille de  $873 \text{ g.j}^{-1} \cdot \text{Animal}^{-1}$  (ingestion moyenne dans nos expériences)

La répartition des régimes autour de la droite d'ajustement est illustrée par la figure 9. Il se forme trois groupes de régimes: le groupe **A** qui est le plus représentatif de la teneur de 5.8 % de MAT; un trio **B** qui avec une teneur moyenne en MAT de 4% présente un bilan négatif, et le trio **C** notamment les régimes Le185 et D 94 qui présentent en moyenne une

teneur en MAT de 10% pour une rétention azotée proche de 4g. Deux pailles: BS 90 et TR 91(D) présentent un bilan azoté proche de zéro malgré une ingestion d'azote dans le régime d'environ 7%.

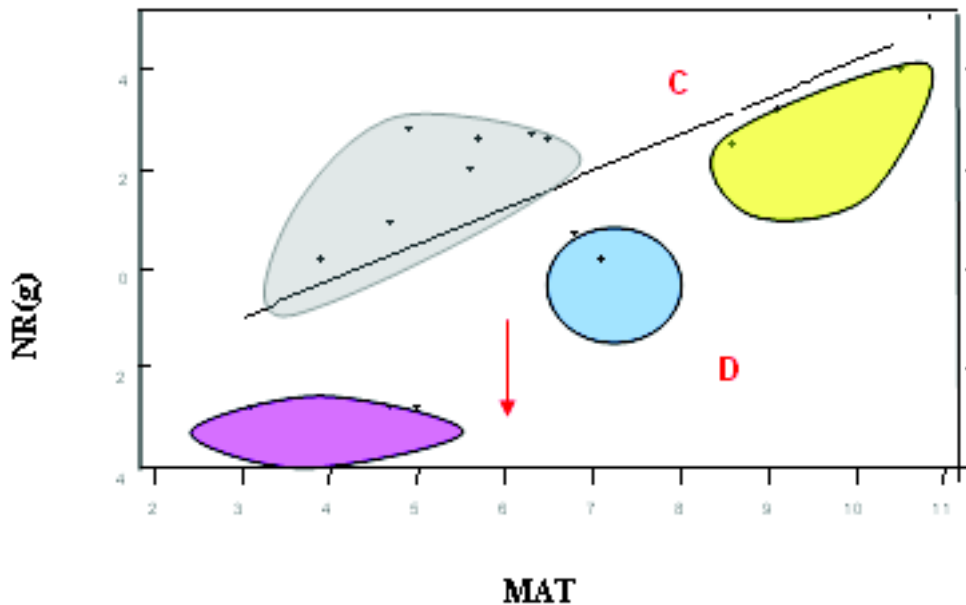


Figure 9: Relation entre teneur en azote de la ration ingérée et rétention azotée

## 2. PAILLES TRAITÉES À L'AMMONIAC

L'échantillon comporte 21 pailles: 10 traitées au four (PTF) et 11 traitées en meule (PTM).

### 2.1. Composition chimique

Les résultats de la composition chimique apparaissent dans le tableau 18. Les composants intéressants à observer sont les MAT et le NDF.

Tableau 18: Composition chimique des pailles traitées à l'ammoniac

Valeur azotée chez Ovis ariès des pailles de Triticum durum traitées ou non à l'ammoniac:

Pailles	Traitement	MS (%)	MM (% MS)	MAT (% MS)	MAT du traitement (%)	NDF (% MS)
L 84A	PTF	90.30	8.10	7.40	23.4	80.10
L1 84A	PTF	91.20	7.20	6.10	19.5	82.30
L2 84A	PTF	89.80	6.30	5.00	14.9	84.50
Le1 85A	PTF	90.30	6.80	4.70	6.5	79.00
Le2 85A	PTF	90.30	7.20	5.60	16.2	81.40
T1 88A	PTF	94.80	7.10	5.50	17.5	79.60
HK 89A	PTF	88.30	8.00	5.60	13.0	80.10
HK1 89A	PTF	89.80	6.20	5.80	14.3	80.40
HK2 89A	PTF	90.40	6.70	6.10	16.2	79.70
HK3 89A	PTF	91.00	6.30	5.90	14.9	78.90
T 88A	PTM	90.20	7.10	6.70	25.3	80.30
T2 88A	PTM	90.10	7.40	7.50	30.5	77.50
R 89A	PTM	92.90	5.10	5.40	10.4	77.30
R1 89A	PTM	91.60	6.00	6.70	18.8	81.90
R2 89A	PTM	92.70	8.00	8.10	27.9	79.70
La 90A	PTM	88.30	6.80	8.60	35.0	77.90
C1 93A	PTM	89.10	5.50	7.80	33.7	76.30
C2 93A	PTM	88.50	6.20	6.90	22.7	78.30
De 94A	PTM	87.90	5.40	10.10	43.5	79.10
N1 95A	PTM	90.50	8.90	7.00	22.7	77.30
N2 95A	PTM	89.10	6.60	6.50	26.6	75.70
MIN		87.9	5.10	4.70	6.5	75.70
1Q		89.1	6.20	5.60	14.90	77.90
MEAN	PTF+PTM	90.33	6.80	6.61	21.60	79.40
MEDIAN	-	90.3	6.80	6.50	19.50	79.60
3Q	-	91.0	7.20	7.40	26.60	80.30
MAX	-	94.8	9.00	10.1	43.50	84.50
STD	-	1.67	0.956	1.306	9.02	2.09
PTF	PTF moyenne	90.3 ± 2.4	7.0 ± 0.67	6.1 ± 0.61	15.6± 4.37	81.9 ± 2.3
PTM	PTM moyenne	89.4 ± 2.1	6.7 ± 1.1	7.5 ± 1.4	27.0± 8.81	78.5 ± 1.6
RSE	-	1.69	0.960	1.03	7.07	1.77
R <sup>2</sup>	-	0.02	0.03	0.40	0.42	0.31
p	-	NS	NS	**	**	**

NS = non significatif ; \*\*P<0,001; PTF = pailles traitées four ; PTM = pailles traitées meule ;

CV= coefficient de variation ; RSE= écart type résiduel du modèle; R<sup>2</sup> =coefficient de détermination.

### 2.1.1. Les matières azotées totales

Tout à fait logiquement, le traitement à l'ammoniac a amélioré (+106%) la teneur en MAT des pailles. La valeur de l'écart inter-quartile est de 27%; cette zone renferme 50 % des pailles de l'échantillon dont la teneur en MAT varie entre 5.6 et 7.4. 25% de l'échantillon



a des teneurs en MAT comprises entre 7.4 et 10.1 % et le dernier quart des valeurs, une teneur inférieure à 5.6 % (tableau 18).

La quantité de l'azote apportée par l'ammoniac du traitement fixée par la paille varie dans de très fortes proportions; 42 % de ces variations sont expliquées par le facteur "paille". Le minima de fixation est de 6.5% et le maxima de 43.5%. La moyenne toute paille confondue est de 21.6%. 78.4 % de l'azote injecté est donc perdu. Il en résulte que la teneur moyenne de l'échantillon en MAT est de 6.8%. Elle est plus faible que celle observée dans des études effectuées dans les pays du nord qui est de  $9.1\% \pm 2.8$  (compilation des données de 27 pailles traitées de façon comparable tirée de la littérature).

Dulphy et al (1984) considèrent qu'une paille bien traitée doit avoir une teneur en azote de l'ordre de 10%. Sur cette base, nos pailles seraient trop faiblement dosées en azote. Cette différence pourrait s'expliquer par :

- Une mise en œuvre plus performante du traitement dans les pays du Nord assurant notamment, une meilleure étanchéité des meules. Mais, n'explique pas les résultats obtenus en four ;
- Un taux d'humidité initiale de nos pailles plus faible que celui des pailles récoltées dans les pays du nord pourrait expliquer ce résultat. L'eau en effet, favorise la fixation de l'azote par une meilleure ionisation de l'ammoniac du traitement (Said et al, 1982). Sundstol et Coxworth (1984) préconisent un taux d'humidité de 20%.

Considérée sous l'angle de la technique de traitement, l'azote du traitement est significativement ( $p < 0.01$ ) mieux fixé en traitement meule (27%) qu'en traitement four (15.6%). En moyenne, les teneurs en MAT sont respectivement de 7.5 et de **6.1% ( $p < 0.01$ )**. **Le temps de traitement plus long en meule associé à une humidité plus élevée en sont les facteurs explicatifs.**

### 2.1.2 Les teneurs en paroi

Au contraire des MAT, le traitement à l'ammoniac a fait très peu varier la teneur en paroi. L'écart inter-quartile est de 5.6%. Dans cette plage, 50% des valeurs de NDF sont comprises entre 77.9 et 80.3%; le maxima de l'échantillon étant de 84.5%. La moyenne générale qui se situe à 79% est en accord avec les résultats de la littérature (INRA, 1988). La teneur en NDF des pailles traitées au four est néanmoins, un peu plus élevées (+5%;  $p < 0.01$ ) que celle des pailles traitées en meule.

Comparée en moyenne à la teneur en NDF des PNT (teneur en NDF de 81%; tableau 16) le traitement à l'ammoniac a diminué très légèrement cette teneur notamment dans les pailles "meule". Ces résultats sont classiques (Soleiman et al, 1979; Laurent et al, 1982; Van Soest et al, 1984 et Deschard et Hartley, 1985). L'action de l'ammoniac induit des modifications chimiques au sein de la paroi, notamment la désorganisation des liaisons hydrogène entre les chaînes parallèles de cellulose et celles intramoléculaires des hémicelluloses (Tarkow et Feist, 1970). De même, les liaisons esters entre les hémicelluloses et la lignine sont hydrolysées (Dias Da Silva et Guédes; 1990; Shen et al, 1998); aussi, les chaînes latérales d'acétyles sur les hémicelluloses sont saponifiées et forment de l'acétate d'ammonium (Morisson, 1974). Il apparaît donc que seules les

hémicelluloses subissent de façon significative, une solubilisation partielle. Quant à la lignine et à la cellulose, leur diminution après traitement n'est pas toujours vérifiée par les auteurs.

## 2.2. Fixation de l'azote sur les pailles : effet des conditions de traitement en laboratoire

### 2.2.1. Rendement de fixation sur les pailles de l'azote injecté

L'azote de l'ammoniac injecté est fixé sur la paille à hauteur de 43.1%. La teneur en MAT se trouve naturellement augmentée ( $p < 0.001$ ) ; elle s'établit à  $8.46 \pm 1.8\%$  pour les 16 échantillons (tableau 19).

Pailles	% MS			N- NDF (en g)	N (en % de N- NDF)			
	MAT injectée	MAT Fixées	MAT fixées/MAT injectées		Hémi cellulose	ADF	Cellulose	ADL
PT1	15.43	6.2	40.18	0.79	41.55	57.28	30.28	28.10
PT2	15.43	6.4	41.47	0.87	47.18	51.65	23.55	29.19
PT3	15.43	6.5	42.12	0.96	49.44	49.42	22.99	27.51
PT4	15.43	6.4	41.47	0.97	59.60	39.34	15.15	25.34
PT5	25.68	6.1	23.75	0.77	50.63	48.01	14.23	35.01
PT6	25.68	7.4	28.81	0.98	36.00	62.96	30.95	32.98
PT7	25.68	8.5	33.09	0.94	55.90	43.08	16.50	27.52
PT8	25.68	6.9	26.86	1.00	28.69	70.27	34.62	36.61
PT9	15.43	8.9	57.67	0.84	64.70	32.88	8.22	24.66
Moyenne 15° C	-	6.8±0.81	34.72±7.5	0.91±0.089	46.12±10.12	52.75±10.28	23.53±7.81	30.27±4.13
PT10	15.43	9.2	59.62	0.91	66.26	32.52	9.70	23.84
PT11	15.43	9.5	61.56	0.76	63.57	33.70	11.65	23.30
PT12	15.43	9.6	62.21	0.96	65.94	31.87	10.26	22.61
PT13	25.68	11.5	44.78	1.14	62.60	35.38	8.67	26.91
PT14	25.68	11.2	43.61	1.05	58.54	39.55	11.24	29.27
PT15	25.68	10.9	42.44	1.11	60.69	38.33	9.80	28.52
PT16	25.68	10.2	39.7	1.15	61.19	37.92	14.65	23.27
Moyenne 35° C	-	10.1±0.97	51.44±9.6	0.99±0.14	62.93±2.70	35.29±2.98	10.52±2.02	25.29±2.58
Moyenne Générale	-	8.6±1.9	43.1±12.0	0.95±0.12	54.5±11.3	44.0±11.6	17.0±6.7	27.8±4.2
PNT	-	--	--	0.22	60.00	41.66	11.66	28.33
T	-	**	**	**	**	**	**	**
D	-	**	**	--	NS	NS	NS	*
d	-	NS	NS	--	NS	NS	NS	NS
TxD	-	**	**	--	NS	NS	NS	*
Txd	-	*	*	--	NS	NS	NS	NS
Dxd	-	*	*	--	NS	NS	NS	NS
RSE	-	0.63	2.79	--	-	-	-	-
R <sup>2</sup>	-	0.99	0.96	--	0.589	0.60	0.59	0.377

Tableau 19: Rendement de fixation et distribution (en %) dans les composants de NDF de l'azote fixé apporté par le traitement

\*P < 0.05 ; \*\* P < 0.01 à 0.001 ; NS = non significatif. RSD écart-type résiduel du modèle; R<sup>2</sup> coefficient de détermination. La PNT, n'est pas prise en compte dans l'analyse de variance. La MS est dosée immédiatement à la sortie des sachets. T: température; D : dose et d : durée.

La température de 35°C et la dose de 5% améliorent significativement les MAT fixées (P<0,01): respectivement:10,1 contre 6.8% pour le traitement à 15°C et 9.1% contre 7.8% pour la dose de 3% (les deux températures étant confondues). La durée de traitement seule, n'agit pas sur les MAT fixées, alors que les interactions T x D ; T x d et D x d augmentent

significativement la fixation de l'azote injecté ( $P < 0.05$  à  $0.001$ ) donc la teneur finale des pailles en MAT.

### 2.2.2 Distribution sur les composants de la paroi de l'azote du traitement fixé

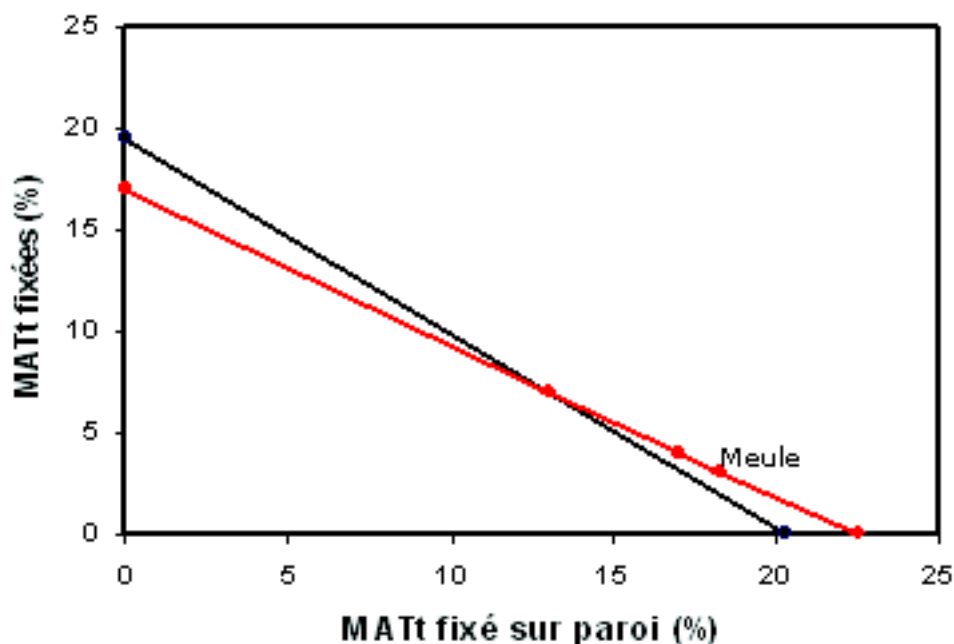
Pour tout paramètre de traitement confondu, la solution NDF démobilise en moyenne  $89.0 \pm 2.1\%$  de l'azote apporté par le traitement avec des valeurs minimales de  $85.0\%$  pour la PT4 et maximale de  $92\%$  pour la PT11. La quantité d'azote apportée par le traitement qui reste fixée sur le NDF s'élève donc à  $11\%$ . Exprimée en grammes, elle augmente significativement avec la température passant de  $0.91$  à  $0.99\text{g}$  ( $p < 0.001$ ) de MAT respectivement pour la température de  $15$  et de  $35^\circ\text{C}$ .

Mais, exprimée en pourcentage de l'azote fixé apporté par le traitement, elle diminue, passant de  $13.4 \pm 0.9\%$  à  $9.8 \pm 0.8\%$  respectivement pour la température de  $15$  et de  $35^\circ\text{C}$ . Cette diminution, traduit une plus forte labilité de l'azote fixé avec l'augmentation de la température. Ce comportement de l'azote fixé peut être illustré par les équations 5 et 6 :

$$\text{MAT (g)} = -0.71 (\% \text{ MAT } \uparrow \text{ fixé sur NDF}) + 16.67 \quad \square \quad 1.15 ; R^2 = 0.67 ; p < 0.001 \quad (5)$$

$$(\% \text{ MAT } \uparrow \text{ fixé sur NDF}) = -0.094 \text{ MAT (g)} + 19.565 \quad \square \quad 1.325 ; R^2 = 0.67 ; p < 0.001 \quad (6)$$

La teneur en MAT théorique permise par l'azote injecté à partir de laquelle le surplus n'est plus fixé serait de l'ordre de  $17\%$ . Le point de rencontre des droites (5) et (6) marque le point d'équilibre entre teneur en MAT et pourcentage d'azote du traitement fixé (figure 10).



**Figure 10:** Relation entre teneur en MAT de la paille et MAT fixées sur la paroi

A ce point, pour une teneur en azote apportée par le traitement de  $7\%$ , la quantité de MAT fixée sur NDF est de  $13\%$ . Ces pailles correspondent à celles traitées dans les pays du Nord qui dosent environ  $10\%$  de MAT.

La température de traitement n'a pas le même impact sur les trois composants dosés de la paroi: Ainsi, elle fait augmenter la quantité de MAT fixée sur les hémicelluloses qui

passent de 46 à 63% ( $p < 0.001$ ) respectivement pour la température de 15 et de 35°C mais fait diminuer celle fixée sur la cellulose et sur la lignine. La nature des liaisons (ainsi que leur forme) unissant l'azote du traitement aux divers constituants des pailles n'est pas établie; certains auteurs suggèrent que la fixation d'ions  $\text{NH}_4^+$  sur la paroi donne lieu à la formation d'amides (Waagepetersen et al, 1977), d'autres, suggèrent plutôt une forme prédominante de sels d'ammonium de types carboxylates et notamment sous forme de phénates dans la lignine (Cordesse, 1981).

La fixation préférentielle de l'azote sur les hémicelluloses et sur la lignine, comparée à la cellulose, pourrait s'expliquer par la nature chimique de chacun des constituants.

La lignine possède des groupements phénoliques capables de fixer l'azote (Jung, 1989) alors que la cellulose a un groupement aldéhyde bloqué et présente une structure linéaire avec un encombrement stérique nul. Quant aux hémicelluloses, elles possèdent une structure ramifiée avec un encombrement stérique élevé si la liaison est de type  $\beta$  1-4, et un groupement fonctionnel  $\text{OH}^-$  si la liaison est de type  $\beta$  1-6. Dans les deux cas, la fixation de l'azote est facilitée. De même, les groupements  $\text{COOH}$  des acides uroniques sont susceptibles de se combiner avec les ions  $\text{NH}_4^+$  (Wagepetersen et al, 1977).

### 2.3. Fixation et distribution de l'azote sur les pailles traitées 'terrain'

Les résultats sont visibles dans le tableau 20. Le rendement de fixation de l'azote injecté est de 24.20%. Il est nettement plus faible que celui enregistré pour le traitement au laboratoire (43.1%); tout comme la quantité des MAT injectées fixées (3.9 contre 8.6%). Il est certain que les conditions de traitement sur le terrain sont moins bien maîtrisées que celles pratiquées en laboratoire. Les pertes de MAT sont donc respectivement de 76 et de 57%.

Pailles	En % de MS		MAT fixées/ MAT injectées	NDF (gMAT)	N (en % de NDF)			
	MAT injectées	MAT fixées			Hémi cellulose	ADF	Cellulose	ADL
T1 88A	16.47	2.7	16.39	0.94	54.68	45.29	13.60	31.72
T 88A	16.47	3.9	23.68	0.89	61.16	38.84	9.52	29.32
T2 88A	16.47	4.7	28.53	1.02	59.59	40.00	10.79	29.62
R 89A	16.47	2.8	17.00	0.39	59.64	40.56	9.33	31.03
R1 89A	16.47	3.5	21.25	0.50	65.28	34.74	3.28	31.44
R2 89A	16.47	4.9	29.75	0.75	69.96	30.07	3.78	26.26
La 90A	16.47	5.4	32.79	1.55	61.95	38.06	4.79	33.26
Moyenne	-	3.98 $\pm 1.05$	24.20 $\pm$ 6.39	0.85 $\pm$ 0.37	61.75 $\pm$ 4.81	38.22 $\pm$ 4.78	7.87 $\pm$ 3.95	30.3 $\pm$ 2.24

Tableau 20: Fixation de l'azote dans les fractions de la paroi (%azote totale)

De même, la quantité de MAT du traitement fixée sur la paroi totale des pailles traitées sur le terrain est plus faible que celle enregistrée pour le traitement en laboratoire: 0.85g contre 0.95. Cependant, exprimée en pourcentage des MAT injectées, la quantité fixée est de 21.3% contre 11.1% soit deux fois plus élevée qu'en traitement au laboratoire. Ce résultat est conforme aux équations (5) et (6) qui expriment que la quantité de MAT du traitement fixée sur la paroi est d'autant plus élevée que la teneur en MAT de la paille est faible. D'ailleurs, ce résultat pouvait être approché par l'équation (6) qui pour une quantité de MAT fixées de  $3.98 \text{ g} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$  de MS (tableau 19), donne un pourcentage de MAT fixée sur NDF de 19.2%.

### 2.4. Dégradabilité *in situ* de l'azote des pailles traitées au laboratoire

Le détail de la dégradation de l'azote à chaque point de cinétique des 16 échantillons de paille est donné en annexe 9. La dégradabilité théorique de l'azote (dtN) est donnée dans le tableau 21.

Elle varie entre 61 % (PT5 et PT7) et 72% (PT16). Elle est reliée à la teneur en azote des pailles par l'expression :

$$\text{dtN (\%)} = 1.8386 \text{ MAT(\% MS)} + 51.1724 - 2.5600 ; R^2 = 0.673 ; p < 0.001 (7)$$

67% des variations de la dtN sont expliquées par la teneur en azote des pailles, donc principalement par la température de traitement. Ainsi, elle passe de 63 % en moyenne pour les PT à 15° C à 71 % pour les PT à 35° C.

Pailles	dtN	c	a	b	a + b
PT1	65,7±1,0	0,17±0,02	12,3±4,0	73,6±4,1	85,9±1,2
PT2	62,6±1,4	0,16±0,03	7,4±3,8	75,0±3,5	82,5±1,3
PT3	63,7±1,4	0,15±0,01	9,5±5,8	75,8±4,9	85,3±1,0
PT4	61,8±0,9	0,13±0,02	16,9±4,0	65,7±3,8	82,5±0,5
PT5	61,0±0,5	0,15±0,03	14,7±5,9	65,1±5,2	79,8±1,6
PT6	63,3±1,3	0,16±0,02	18,0±1,5	63,8±3,2	81,8±2,8
PT7	61,0±1,0	0,18±0,00	4,4±2,9	78,7±2,6	81,0±0,9
PT8	63,0±1,1	0,21±0,02	8,4±1,8	68,8±1,7	76,9±0,1
Moyenne 15°C	63,01	0,16	11,45	70,80	81,86
PT9	68,9±1,6	0,18±0,02	14,1±9,7	72,1±9,5	86,3±0,6
PT10	70,5±1,5	0,25±0,03	7,2±3,7	78,4±3,4	85,8±1,7
PT11	71,4±0,9	0,20±0,02	12,1±3,9	77,6±2,8	89,74±1,8
PT12	71,9±1,9	0,22±0,03	9,3±7,9	78,0±8,8	87,9±0,64
PT13	69,5±1,3	0,16±0,01	20,8±3,9	65,8±2,9	86,5±0,1
PT14	70,4±1,0	0,18±0,03	24,2±7,3	60,4±5,6	84,8±1,6
PT15	70,5±1,4	0,21±0,04	10,8±4,8	77,0±4,5	87,8±0,5
PT16	72,5±0,9	0,26±0,06	6,3±0,6	81,3±4,2	87,6±1,0
Moyenne 35°C	70,70	0,20	13,10	73,82	87,05
PNT	15,5±2,6	0,02±0,00	-4,7±2,1	98,5±10,8	93,8±8,7
T	**	**	**	*	**
D	NS	NS	**	NS	*
d	NS	NS	**	NS	NS
T x D	NS	NS	**	NS	NS
T x d	NS	NS	**	NS	NS
D x d	NS	NS	**	NS	NS
RSD	1,37	0,012	0,59	1,96	1,50
R <sup>2</sup>	0,98	0,98	0,99	0,98	0,96

T : température ; D : dose ; d : durée ; RSD : écart-type résiduel du modèle ; R<sup>2</sup> : coefficient de détermination ; NS : non significatif ; \* p<0.05 ; \*\* p<0.01 à 0.001. La PNT, n'est pas prise en compte dans l'analyse de variance. La MS est dosée, immédiatement à la sortie des sacs ts..

**Tableau 21:** Effet des conditions de traitement sur la dégradabilité théorique de l'azote des pailles traitées au laboratoire

Cette augmentation de la dtN sous l'action de la température a résulté surtout de la vitesse **c** de dégradation de la fraction potentielle **a + b**, (+20 %; p < 0,001) et à moindre degré des composantes **a** (+13 %; p < 0,001), et de **b** (+ 4 %; p < 0,05).

La fraction potentiellement dégradable a + b augmente (+ 6%) à la fois sous l'action de la température et de la dose d'ammoniac tandis que la fraction a (très variable) a été sensible à la fois aux trois paramètres de traitement (Température; dose et durée) et à leurs interactions.

En moyenne, toute paille confondue, la dégradabilité théorique s'établit à 67%.

## 2.5 Dégradabilité *in situ* des pailles issues du traitement en conditions du terrain

Les détails par point de cinétique sont donnés en annexe 10. Sur la base 100 du temps de cinétique 48h, on constate que 73 et 85 % de la dégradation totale sont atteints respectivement à 2 et à 8 h de temps d'incubation. La dtN et ses composantes sont données dans le tableau 22.

Tableau 22: dégradabilité de l'azote modélisée par l'équation d'Orskov et Mc Donald (1979)

Identification	MAT (%MS)		b	c	a+b	dtN
T1 88A	5.5	61.22	16.54	0.127	77.79	81.40
T 88A	6.7	43.14	20.58	0.070	63.72	63.70
T2 88A	7.5	43.10	29.47	0.047	72.57	66.50
R 89A	5.4	61.44	13.43	0.061	74.87	77.00
R1 89A	6.7	51.93	48.07	0.007	100.0	66.80
R2 89A	8.1	41.21	20.89	0.054	62.10	66.70
C1 93A	8.3	38.09	37.92	0.027	76.01	61.00
La 90A	8.6	48.04	27.70	0.016	75.74	63.40
Minimum	5.4	38.09	13.43	0.007	62.10	61.00
1 <sup>er</sup> quartile	6.4	42.63	19.54	0.024	70.35	63.62
Moyenne PTA	7.10	48.52	26.82	0.051	75.35	68.30
Médiane	7.10	45.59	24.29	0.050	75.30	66.60
3 <sup>e</sup> quartile	8.15	54.25	31.58	0.063	76.45	69.35
Maximum	8.6	61.44	48.07	0.127	100.0	81.40
STD	1.23	8.94	11.56	0.038	11.54	7.10

La dégradabilité théorique de l'azote est de 68% avec un minimum de 61 et un maximum de 81%. Cette dtN est peu dispersée: 75 % des valeurs sont situées entre 61 et 69 % et le coefficient de variation des huit pailles n'est que de 10.3 %.

La fraction soluble a et la vitesse c de dégradation de a+b des pailles traitées sur le terrain étaient plus élevées que celles enregistrées pour le traitement de laboratoire ; à contrario, la fraction b était plus faible. Néanmoins à l'arrivée, la dtN était comparable, respectivement 67 et 68% pour le traitement laboratoire et terrain.

Nous pouvons donc retenir, que la fixation sur les pailles de l'azote apporté par le traitement n'est pas irréversible. Qu'elle soit évaluée par la solution neutre de Van Soest, ou par la méthode *in sacco*, sur pailles traitées au laboratoire ou en conditions de terrain, la solubilisation de l'azote apporté par le traitement était effective à hauteur respective de 89 et 79% et de 85 et 73% sur la base de l'ammoniac injecté.

## 2.6. Dégradation *in vitro* de l'azote des pailles traitées

Les résultats apparaissent sur la figure 11 (détails en annexe 11).

La teneur en azote de T88, T88A et T2 88A était respectivement de 2.8; 6.7 et 7.5% (tableaux 16 et 18). La concentration en  $\text{NH}_3$  est d'autant plus élevée que la teneur en MAT de la paille est élevée. Néanmoins, avec une moyenne de 4.0 et 4.5  $\text{mg} \cdot 100^{-1}$  ml de milieu (respectivement pour T88A et pour T2 88A), elle semble faible, car on estime, la concentration optimale entre 5 mg et 8 mg (Durand, 1987 ; Leng, 1990). Mais surtout, ce niveau reste stable durant toute l'incubation sauf entre 8 et 24h d'incubation où elle diminue. Cette diminution s'explique probablement par une captation plus forte de l'ammoniac à des fins de synthèse par les micro-organismes, pour deux raisons principales : A ce temps d'incubation, l'énergie rapidement fermentescible dans le milieu (dégradation de la pulpe d'agrumes) était probablement plus disponible d'une part et d'autre part, à ce temps d'incubation, l'inhibition de l'activité microbienne provoquée par les substances phénoliques est levée puisque, c'est dans la plage de temps 1h-8h que ces composés contenus dans les pailles sont les plus toxiques (Chabaca et al 2002).

La constance de la concentration en ammoniac entre t1 et t8 pourrait également signifier que l'azote, se trouve sous une forme inutilisable par les micro-organismes du rumen.

La figure 11 montre également que le pH du milieu évolue parallèlement à la concentration d' $\text{NH}_3$  dans le milieu; il s'est situé entre 6.01 et 6.8. Ces niveaux de pH sont propices à l'activité des bactéries cellulolytiques.

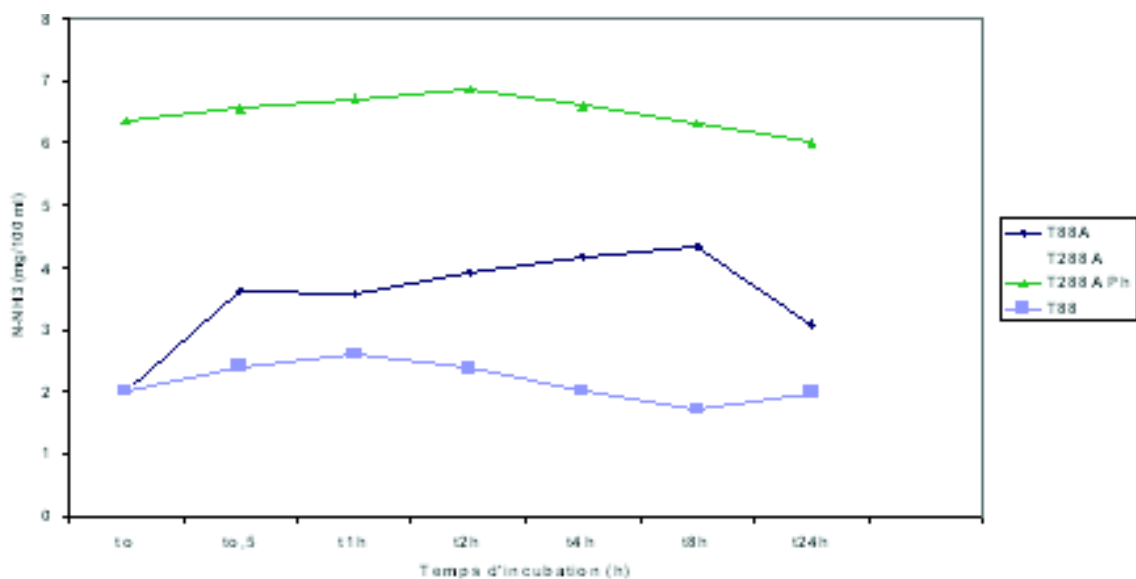


Figure 11 : Cinétique de production d'ammoniac

## 2.7. Digestibilité des régimes constitués des pailles traitées à l'ammoniac

Pour l'ensemble des 21 pailles, la quantité de MAT de la ration totale ingérée a varié entre 5.7 et 12.6 %. Le détail de la valeur alimentaire des pailles traitées est donnée en annexe 12. En "paille seule", la paille traitée à l'ammoniac couvre donc à hauteur de 108% les besoins alimentaires énergétiques des animaux. La dMA est assez étendue (tableau 23). Le minimum s'établit à 34.9 (régime Le85A) et le maximum à 72.3 % (régime T2 88A) pour la ration totale et à 12.6 (régime Le 85A) et à 53.3 % (régime T2 89A) pour la paille seule. L'écart inter-quartile est de 27 et de 64.2 % respectivement. Le concentré de complémentération intégrant une bonne partie de la valeur de la dMA observée, celle de la ration totale s'établit en moyenne à 49 % contre 35% pour les pailles seules.

Valeur azotée chez Ovis ariès des pailles de Triticum durum traitées ou non à l'ammoniac:

Tableau 23: Utilisation de l'azote des régimes "pailles traitées"

Pailles	Traitement	dMA rt (%)	dMA ps (%)	MAT dans RTI %	NR (g)	concentré dans la RTI (%)
L 84A	PTF	52.40	45.60	9.45	3.4	9.4
L1 84A	PTF	47.00	36.70	10.1	2.6	10.9
L2 84A	PTF	43.10	32.60	9.7	1.8	10.9
Le 85A	PTF	34.90	12.60	5.7	-0.5	10.0
Le1 85A	PTF	38.30	17.60	6.3	-2.0	10.0
T1 88A	PTF	62.30	29.90	10.7	3.9	9.7
HK 89A	PTF	40.30	28.60	9.1	1.3	10.5
HK1 89A	PTF	39.00	26.40	9.1	0.6	11.3
HK2 89A	PTF	54.90	40.10	9.5	0.2	10.7
HK3 89A	PTF	36.10	18.50	9.4	1.3	10.7
T 88A	PTM	68.60	49.90	11.4	4.3	9.4
T2 88A	PTM	72.30	53.30	12.6	3.4	9.8
R 89A	PTM	51.80	40.60	11.4	3.6	8.2
R1 89A	PTM	55.10	41.80	10.5	2.8	9.1
R2 89A	PTM	60.30	46.10	10.8	1.0	8.1
La 90A	PTM	43.70	33.10	10.8	2.3	8.4
C1 93A	PTM	35.60	23.30	6.7	-1.3	12.0
C2 93A	PTM	43.70	31.10	5.9	-0.6	8.5
De 94A	PTM	52.90	42.20	11.9	5.0	9.1
N1 95A	PTM	46.10	38.90	8.8	0.12	11.4
N2 95A	PTM	50.90	41.80	8.5	2.73	12.6
MIN		34.90	12.60	5.7	-2.00	8.1
1Q		40.30	28.60	8.8	0.14	9.1
MEAN	PTF+PTM	49.01	34.80	9.44	1.55	10.03
3Q		54.90	41.80	10.8	3.20	10.9
MAX		72.30	53.30	12.60	5.00	12.6
STD		10.67	10.92	1.94	2.05	1.25
PTF	PTF moyenne	44.± 13.5	28.8 ± 13.1	8.90±1.60	1.26±1.72	10.41±0.60
PTM	PTM moyenne	52.8± 0.3	40.2 ± 9.3	9.93 ±2.17	2.12 ±2.05	9.69 ±1.59
RSE		10.12	9.50	1.92	1.93	1.22
R <sup>2</sup>		0.14	0.28	0.07	0.19	0.08
p		NS	*	NS	NS	NS

NS = non significatif; \*P<0,01; PTF = pailles traitées four; PTM = pailles traitées meule ; dMA rt ;

dMA ps = digestibilité matières azotées totales et des pailles seules; NR = azote retenu

Il est intéressant d'observer que la dMA, bien que significativement liée à la teneur en azote par l'expression :

$$\text{dMA (\%)} = 3.9587 \text{ MAT (\%MS)} + 8.5922. \text{ p} < 0.03; \text{ R}^2 = 0.226 (8)$$

n'est expliquée qu'à hauteur de 23 % par la teneur en azote des pailles. Par sa direction, ce résultat est logique (Dulphy et al, 1982) mais la part expliquée est faible.



Lorsque l'azote ingéré est apprécié non plus par la teneur en azote de la paille traitée mais par la quantité d'azote réellement ingéré :

$$dMA = 4.090 \text{ MAT-RTI (\%)} - 3.8422; p < 0.001; R^2 = 0.5323 \text{ (9)}$$

la part expliquée augmente pour passer à 53% mais demeure encore faible par rapport aux valeurs couramment relevées dans la littérature pour les fourrages (0.71 ;  $p < 0.001$  pour Kandylis et al, 1997 et 0.84 ;  $p < 0.001$  pour Yan et Agnew, 2004).

Par contre, l'azote des régimes retenu (détails en annexe 13) par les moutons est fortement lié au pourcentage d'azote dans la ration ingérée :

$$\text{MAT-RTI (\%)} = 0.8468 \text{ azote retenu (g)} + 7.9957; p < 0.0001; R^2 = 0.7063 \text{ (10)}$$

Cette expression est intéressante en ce sens qu'elle permet de calculer le pourcentage de MAT dans la ration ingérée nécessaire pour équilibrer le bilan : il s'établit à 8 (figure 12) soit pour une ingestion de 783g de paille.  $J^{-1}$ .  $Animal^{-1}$  (ingestion moyenne dans nos expériences), une quantité de concentré à 18% de MAT de 150g (valeur comparable à celle trouvée pour la PNT).

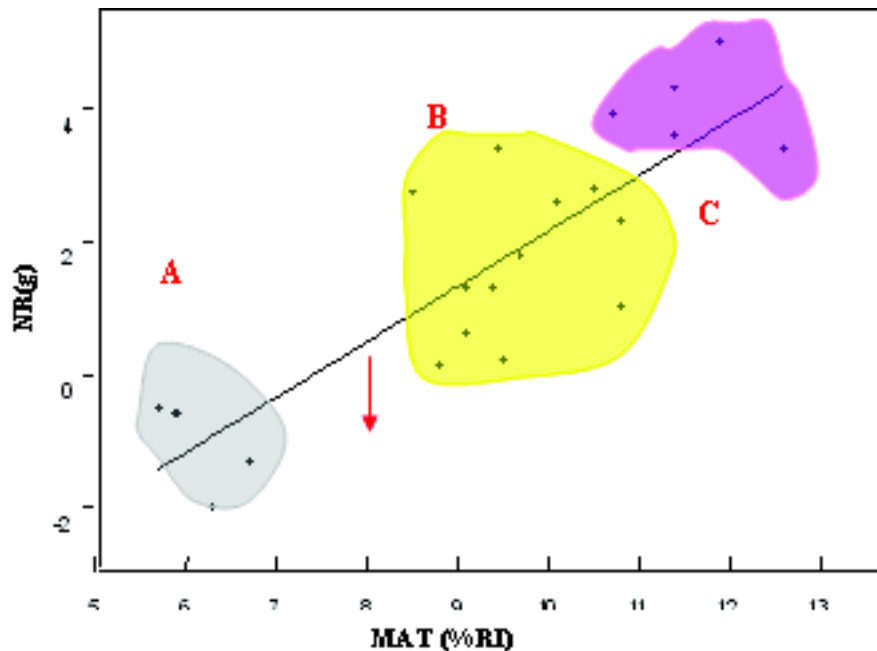


Figure 12 : Relation entre l'azote retenu et le pourcentage d'azote dans la ration ingérée

Ici encore, trois catégories de régimes se dessinent : un groupe A constitué de Le 85A ; Le185A ; C193A et C293A. Pour ces régimes dont la teneur en concentré est inférieure à la constante b de l'équation (10), le bilan azoté est négatif, ces animaux ont perdu du poids; un groupe B, le plus important, constitué de 11 régimes dont la rétention azotée est inférieure à 3g d'azote et un groupe C, constitué de 6 régimes: L84A; T188A; T89A; T289A; R89A et De94A pour qui le pourcentage moyen de concentré dans la ration était de 11.2% et la rétention azotée supérieure à 3g par jour. La nature du concentré n'est pas en jeu, seule la quantité d'azote ingérée est déterminante.

Vue sous l'angle de la technique de traitement, les MAT des PTF sont moins bien digérées que celles des PTM que ça soit pour les régimes ou pour les pailles seules,

respectivement 44.8 contre 52.8% et 28.8 contre 40.2% (tableau 23). Il en est de même pour la rétention azotée : 1.3g contre 2.1g d'azote par jour.

Le niveau de température, la durée de traitement et l'humidité de la paille au cours du traitement sont les critères de différence de ces deux techniques de traitement.

Dans notre travail, les différences de dMA les plus fortes sont observées avec les régimes composés des pailles T2 88A et R2 89A (dMA respective de 72.3 et de 60.3 %) traitées en meule comparées à leurs homologues T188A (62.3% de dMA) et R89A (51.8% de dMA) qui ont subi le traitement four à 90°C donc sur une paille plus sèche. Soleiman et al (1979) et Chermiti (1994) rapportent précisément que l'humidité de la paille au moment du traitement a un effet positif sur sa digestibilité, notamment sur celle de l'azote. Elle permet effectivement une meilleure fixation de l'azote grâce à une plus forte ionisation de l'alcali. L'effet optimal est atteint entre 15 et 20% d'humidité (Sunsdtol et Coxworth, 1984).

Il est intéressant de comparer les régimes PNT et PT quant à l'utilisation de l'azote. Il ressort que le bilan azoté nul est obtenu pour une teneur en MAT de la RTI de 5.8% pour les régimes PNT (équation 4) contre 8% pour les régimes PT, soit une différence de +27% alors que le rapport respectif NI/NR des régimes PNT et PT sont très comparables 11.65 et 11.92 (annexes 8 et 13). Ces résultats mettent en évidence, qu'à quantité d'azote ingéré égale, une meilleure utilisation de l'azote des PNT est obtenue.

## DISCUSSION

La composition chimique ayant été discutée au préalable, nous nous attarderons plus particulièrement sur la fixation de l'azote du traitement sur la paille et sur la digestibilité de l'azote des pailles traitées.

### · Fixation de l'azote sur la paroi

Peu d'études ont été faites sur les formes de fixation de l'azote du traitement sur la paille. On ne connaît donc pas la nature des liaisons unissant l'azote du traitement aux structures organiques et minérales de la paille.

Des travaux anciens de Feist et al (1970), suggèrent que l'ammoniac du traitement saponifie les esters des acides uroniques et acétiques et neutralise les groupements des acides uroniques libres.

Waagepetersen et Vestergaard Thomsen (1977), déclinent l'azote de la paille traitée à l'ammoniac en trois fractions: 24% sous forme d'ammonium, très labile ; 44% seraient des amides et 32% des liaisons plus solides qui ne sont pas coupées par de la soude 2N.

A défaut d'études biochimiques plus précises, la fixation est appréciée selon la même logique que celle qui préside à l'analyse des aliments: connaître la fraction rapidement disponible, celle potentiellement disponible et la fraction indisponible pour l'animal.

Selon NRC (2001), les MAT dans les fourrages sont partitionnées en 5 fractions caractérisées par leur vitesse de dégradation (Kd).

La fraction A qui est instantanément solubilisée dans le rumen ; théoriquement, Kd tend vers l'infini. Cette fraction ne précipite pas dans une solution de TCA. A est donc considérée comme de l'azote non protéique.

Il existe trois fractions B: B1, B2 et B3. Le Kd de B1 varie entre 120 et 400%.h<sup>-1</sup>. Elle précipite dans une solution de TCA. Le Kd de B2 est de 3 à 16 %.h<sup>-1</sup>. B3 est partiellement

dégradable dans le rumen mais  $K_d$  est si petit (entre 0.06 et 0.55%.  $h^{-1}$ ) qu'elle n'a pas le temps de se dégrader et se retrouve dans les fèces. B3 est insoluble dans un détergent neutre mais soluble dans un détergent acide; C est insoluble dans un détergent acide, elle contient des matières azotées associées à la lignine, aux substances phénoliques ainsi qu'aux protéines dénaturées par la chaleur.

Mathématiquement, les matières azotées dégradées dans le rumen pourraient s'exprimer de la façon suivante (NRC, 2001):

$$RDMAT = A + B1 (K_d B1 / (K_d B1 + K_p)) + B2 (K_d B2 / (K_d B2 + K_p)) + B3 (K_d B3 / (K_d B3 + K_p))$$

$$RUMAT = B1 (K_p / (K_d B1 + K_p)) + B2 (K_p / (K_d B2 + K_p)) + B3 (K_p / (K_d B3 + K_p)) + C$$

$$RDMAT = \text{MAT dégradées dans le rumen (\% MAT)}$$

$$RUMAT = \text{MAT non dégradées dans le rumen (\% MAT)}$$

$$K_d = \text{vitesse de dégradation pour une fraction donnée (\% \cdot h^{-1})}$$

$$K_p = \text{taux de passage de l'aliment dans le rumen (\% \cdot h^{-1})}$$

Ce modèle appliqué à nos pailles traitées en ce qui concerne les fractions, répondrait à une distribution de l'azote selon laquelle: A ; B1 et B2 sont extraites par la solution NDF ; B3 par la solution ADF et serait associée aux hémicelluloses et à la cellulose et C resterait localisée dans ADL. Sur la base d'une teneur moyenne en MAT de 6.93%, de nos 22 échantillons de pailles traitées, la partition de l'azote est résumée dans le tableau 24.

**Tableau 24: Différentes fractions azotées de la paille traitée à l'ammoniac**

Fractions	g	%	N° fractions
AB1 soluble dans une solution tampon	3.15	45.4	1
B2 soluble dans la solution NDF	2.93	42.3	2
AB1B2 soluble dans la solution NDF	6.08	87.7	3
B3 soluble dans la solution ADF	0.60	8.65	4
C insoluble dans ADF	0.25	3.65	5
Moyenne 7 échantillons pailles traitée terrain	6.93	3+4+5= 100%	-

87% de l'azote des pailles traitées sur le terrain est solubilisé par la solution neutre de Van Soest.

Cette valeur est comparable à celle donnée par Chermiti (1994) pour qui, la solubilisation de l'azote total des pailles par NDF était de 80%.

On pourrait reprocher à la procédure de Van Soest son caractère drastique comparé aux phénomènes biologiques qui se déroulent dans le rumen. Elle pourrait en effet libérer des fractions azotées très fortement liées à la paroi mais inaccessibles en conditions du rumen aux micro-organismes. Par ailleurs, la signification nutritionnelle de l'azote extrait des pailles par la solution neutre de Van Soest n'est pas établie.

Pour le vérifier, nous nous sommes rapprochés le plus possible du milieu du rumen en mesurant sur les mêmes pailles, la dégradabilité *in sacco* de l'azote et en le modélisant. Cette procédure est intéressante car elle partitionne l'azote en deux fractions : une fraction (a) rapidement solubilisée dans le rumen que l'on pourrait assimiler à AB1. Elle s'établit à 48.5 % (AB1= 45.2% dans la solution NDF) et une fraction (b) moins rapidement

solubilisée mais potentiellement solubilisable et dont la valeur est de 26.8%; cette fraction correspondrait à B2 soluble dans NDF. Or, B2 est de 42.3% lorsque le fractionnement est réalisé à chaud avec la solution NDF; la différence, soit 16.5% représenterait la partie "sursolubilisée" par NDF et qui n'aurait pas d'intérêt nutritionnel pour l'animal. Dans ces conditions, la partie indisponible représenterait 4.9% et correspondrait à la fraction C.

Il semble donc bien que la solution NDF libérerait des fractions azotées très fortement liées à la paroi mais inaccessibles en conditions du rumen aux microorganismes. Cette partie représenterait un peu moins de 20% de l'azote total extrait par la solution NDF.

La dégradation *in situ* est plus fiable pour déterminer l'azote biologiquement utilisable mais la partition avec la méthode NDF donne une répartition plus précise de l'azote du traitement sur les différents composants de la paille.

#### Digestibilité de l'azote des pailles traitées

La quantité d'azote qui disparaît apparemment dans le tube digestif autrement dit, la digestibilité de l'azote est en moyenne de 35% pour nos 21 pailles.

Ce résultat manifestement faible, confirme ceux de plusieurs auteurs regroupés dans le tableau 2 dont la moyenne est de 41 %.

Pour que l'azote soit utilisé à des fins de synthèse par les micro-organismes du rumen, il doit être préalablement libéré dans le milieu. Il ne doit donc pas être fixé trop fortement ou de façon irréversible sur la paille.

Nous avons vu que cette fraction, rapidement libérée dans le rumen était au minimum de 45.4 et de 48.5% lorsqu'elle est extraite par la solution NDF ou *in sacco* en rumen.

Il apparaît donc qu'une fraction de l'ordre de 47% de l'azote total de la paille traitée peut être très rapidement libérée dans le rumen. Le potentiel de libération étant de  $[47] + [42.3] - [42.3 \times 0.165] = 82\%$ . La valeur de 35% obtenue pour nos 21 pailles est donc extrêmement faible, ceci d'autant plus que 67 % de la dtN sont expliquées par la teneur en azote des échantillons; la digestibilité devait aller dans le même sens puisqu'elle suppose préalablement la libération de l'azote.

Cependant (équation 8), la teneur en azote n'explique que 22% de la digestibilité (bien que significatif) ce qui est faible eu égard aux résultats de la littérature (Sniffen, 1974 ; Kandyliis et Nikokyris, 1997). De même, on devrait s'attendre à une forte corrélation entre dtN et dMA ( $R^2 = 0.82$  ;  $p < 0.01$  pour Yan et Agnew, 2004), mais cette relation n'est pas vérifiée ( $R^2 = 0.012$ ) dans notre cas. Dans nos conditions expérimentales, on pourrait imputer cette faible utilisation de l'azote à une carence en énergie dans le rumen qui limiterait l'activité microbienne et la synthèse bactérienne (Herera Saldana et al, 1982 ; INRA ,1988); mais le calcul de la valeur PDI des rations ne valide pas cette hypothèse (PDIE - PDIN = 7g seulement). Une telle situation aurait d'ailleurs, abouti à une augmentation de l'azote urinaire (Chenost et Dulphy, 1987; Van Soest et Mason, 1991); l'ammoniac absorbé au niveau du réticulo-rumen arrive au foie sous forme de glutamine et est transformé en urée. Or les calculs montrent que pour une progression de 23% de l'azote ingéré (comparé au régime PNT), l'azote urinaire n'augmente que de 12% alors que l'azote fécal augmente de 49%.

Une carence en azote ammoniacal dans le liquide du rumen pourrait également être évoquée. En effet, on sait depuis longtemps qu'une teneur minimale en ammoniac est requise dans le rumen pour assurer la croissance normale des micro-organismes. Cette valeur minimale admise par les auteurs se situerait entre 5 et 8 mg par 100ml de milieu (Satter et Slyter 1974 ; Leng, 1990). Néanmoins, Perdok et al 1988 ont obtenu, la digestibilité

maximale d'une paille de riz avec une concentration en ammoniac de 10mg/100ml. D'autres auteurs: Dulphy et al (1984) sur foin, Cordesse (1981) et Triki (1988) sur pailles traitées à l'ammoniac ont obtenu aussi bien *in vivo* qu'*in vitro*, des concentrations en ammoniac comprises entre 4 et 5 mg par 100ml de milieu. Nos résultats : 4.0 et 4.5 respectivement pour la paille T88A et T288A vont dans le même sens. Ce niveau de concentration en ammoniac enregistré, pourrait être insuffisant pour assurer une activité de dégradation et de synthèse optimale dans le rumen ; ceci d'autant plus que les besoins des micro-organismes en ammoniac augmentent parallèlement avec l'élévation du pH du milieu entre 6.3-7.0 (Smith 1989), niveau de pH que nous avons relevé *in vitro*.

Seule une partie de l'azote démobilisé est transformée en ammoniac, l'autre partie se trouve sous une forme qui empêche son utilisation par les bactéries et sa diffusion à travers la paroi du rumen (azote urinaire faible) : la seule voie disponible et possible, est donc le rejet dans les fèces. Cette mauvaise utilisation de l'azote des pailles traitées explique, qu'il faut apporter la même quantité de concentré (150g) que pour les régimes pailles non traitées pour équilibrer le bilan azoté, la quantité respective d'azote ingéré étant alors de 13.0 et de 10.3g par jour dans nos expériences. Chenost et Dulphy (1987) avaient également observés que le bilan azoté d'animaux consommant des pailles traitées à la soude complétement avec de l'urée était meilleur que celui des animaux recevant un régime à base de paille traitée à l'ammoniac (15% de l'ingéré azoté contre 5%).

Cette indisponibilité dans le rumen, d'une partie de l'ammoniac, explique qu'aucun cas de toxicité à l'ammoniac n'a été relevé dans la littérature chez les animaux consommant des pailles traitées à l'ammoniac, contrairement aux pailles traitées à l'urée (Triki, 2003). Ces accidents apparaissent avec des sources azotées rapidement fermentées dans le rumen. Journet (1975) indique que ces intoxications apparaissent à des concentrations d'ammoniac dans le rumen supérieures à 170 mg l<sup>-1</sup>, la concentration sanguine est alors de 0.4 à 0.6 mg d'NH<sub>3</sub> par litre de sang.

## CHAPITRE 2. ACIDES PHENOLIQUES DES PAILLES DE CEREALES : EFFET SUR L'UTILISATION DE L'AZOTE

Notre étude sur la fixation irréversible de l'azote sur la paille traitée a montré que celle-ci n'était pas la cause de sa faible digestibilité. Dans ce chapitre sera étudié, l'impact des substances phénoliques sur l'utilisation de l'azote des pailles.

### 1. COMPOSITION CHIMIQUE ET TENEUR EN ACIDES PHENOLIQUES DE 35 PAILLES DE CEREALES RECOLTEES EN ALGERIE

#### 1.1. Composition chimique classique

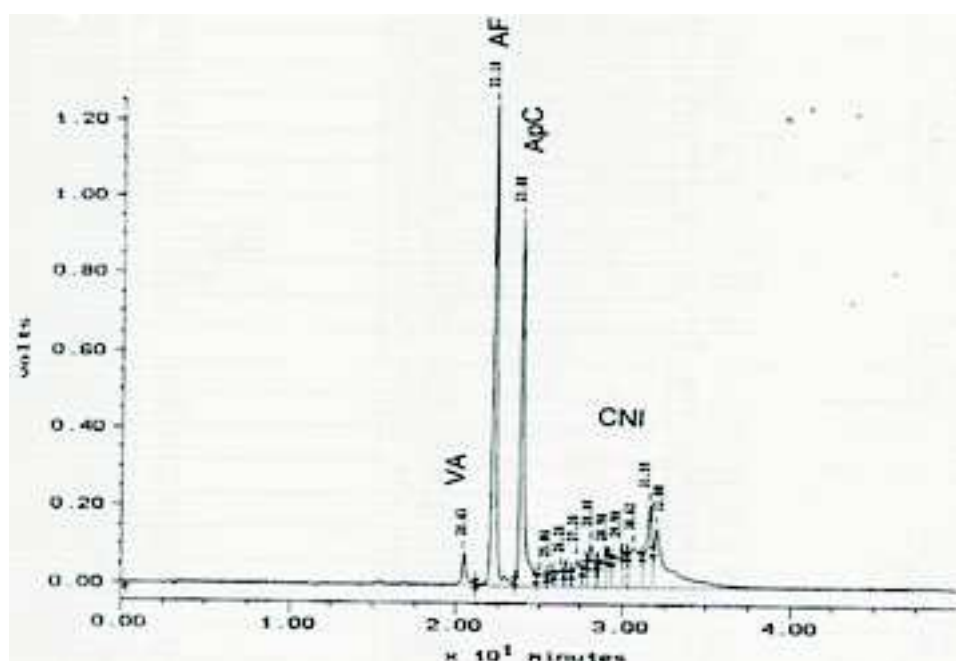
En moyenne, les valeurs de la composition chimique sont celles classiquement retrouvées dans la littérature pour les pailles de céréales (annexe 14). Elle n'appelle pas de commentaires particuliers.

#### 1.2. Teneur en acides phénoliques

Le chromatogramme des acides p- coumarique (ApC); férulique (AF) et celui de la vanilline (VA) est donné à titre d'exemple et d'illustration par la figure 13.

La sortie des pics des acides sur le chromatogramme s'effectue dans l'ordre: VA ; AF et ApC après 20.77; 21.99 et 23.72 minutes suivant l'injection de l'extrait. Cette durée d'apparition des pics détermine leur identification (comparé à des standards de chacun de ces acides). La hauteur de pic (donc leur surface) nous renseigne sur la concentration en ces acides (en rapport avec celle des standards). Un ensemble de pics est détecté après l'apparition de l'acide coumarique, ils constituent des corps non identifiés (CNI) comportant des dimères et/ou des produits de leur oxydation. L'allure du chromatogramme est identique pour toutes les pailles analysées, traitées

L'allure du chromatogramme est identique pour toutes les pailles analysées, traitées ou non traitées. Seule la surface des pics des 4 entités: VA; AF; ApC et CNI varie en fonction de la paille.



**Figure 13:** allure des pics de la vanilline et des acides p-coumarique et férulique

Les données chiffrées en ApC, en AF et en VA sont présentées dans le tableau 25 et les variations spécifiques illustrées par la figure 14 (a, b et c).

### 1.2.1 Les pailles d'orge

Les teneurs en VA, AF et en ApC sont de 0.34; 3.59 et 3.78 g.kg<sup>-1</sup> MS. l'ApC et l'AF sont représentées à des niveaux comparables, soit 47 et 49% du total VA+ApC+FA alors que la VA n'occupe que 4% de ce total des trois composés (tableau 25). Il en résulte un rapport ApC / AF de 0.96.

De ces trois composés phénoliques, les variations les plus fortes concernent l'ApC (CV = 18.4 %) avec 2.7g.kg<sup>-1</sup> MS comme valeur minimale (OG1) et 4.6g.kg<sup>-1</sup> MS comme valeur maximale (OG2).

	Vanilline	Acidep-coumarique	Acide férulique	Total VA+ApC+FA	ApC/AF
OG1	0.29	2.70	3.62	6.61	0.75
OG2	0.43	4.58	4.16	9.18	1.10
OG3	0.38	2.76	3.82	6.97	0.72
OG4	0.35	4.20	3.70	8.25	1.13
OG5	0.35	4.34	3.86	8.56	1.12
OG6	0.26	4.15	2.89	7.30	1.44
OG7	0.38	2.91	4.01	7.30	0.73
OG8	0.23	3.09	3.61	6.93	0.86
OG9	0.34	3.54	4.35	8.24	0.81
Moyenne	0.34 ±0.05	3.59±0.66	3.78±0.39	7.70±0.82	0.96±0.22
RSE	0.022	0.114	0.126	0.025	0.021
R <sup>2</sup>	0.93	0.98	0.95	0.96	0.97
P	**	**	**	**	**
BT1	0.34	2.89	4.28	7.51	0.68
BT2	0.38	2.99	4.36	7.73	0.69
BT3	0.44	2.68	4.84	7.96	0.55
BT4	0.38	2.99	4.28	7.66	0.70
BT5	0.39	2.74	4.45	7.58	0.62
BT6	0.42	2.93	4.58	7.93	0.68
BT7	0.33	2.83	3.96	7.13	0.72
BT8	0.35	3.54	4.78	8.68	0.74
BT9	0.39	3.21	3.91	7.51	0.82
BT10	0.38	3.77	5.00	9.15	0.76
BT11	0.31	3.40	4.37	8.09	0.77
Moyenne	0.37±0.03	3.08±0.33	4.43±0.32	7.90±0.54	0.70±0.07
RSE	0.029	0.110	0.226	0.021	0.028
R <sup>2</sup>	0.75	0.94	0.80	0.82	0.85
P	*	**	**	**	**
BD1	0.37	3.41	4.72	8.51	0.72
BD2	0.35	3.07	4.53	7.96	0.68
BD3	0.35	3.03	4.15	7.54	0.73
BD4	0.41	3.78	5.65	9.85	0.67
BD5	0.39	2.92	4.28	7.60	0.68
BD6	0.37	2.92	4.96	8.26	0.59
BD7	0.34	2.22	4.88	7.44	0.46
BD8	0.29	3.07	4.71	8.07	0.65
BD9	0.34	2.82	4.90	8.06	0.58
BD10	0.41	2.37	5.24	8.05	0.46
BD11	0.41	3.15	5.29	8.85	0.60
BD12	0.37	3.16	5.28	8.82	0.60
BD13	0.42	3.25	5.18	8.84	0.63
BD14	0.47	4.22	5.70	10.38	0.74
BD15	0.35	4.13	5.11	9.60	0.51
Moyenne	0.37±0.04	3.17±0.53	4.97±0.43	8.52±0.84	0.64±0.09
RSE	0.021	0.022	0.231	0.024	0.025
R <sup>2</sup>	0.88	0.98	0.87	0.90	0.95
P	**	**	**	**	**

RSE : écart type résiduel de modèle ; R<sup>2</sup> : coefficient de détermination ; \*\* p < 0.01 à 0.001 ; OG : orge ; BT : blé tendre ; BD : blé dur.

**Tableau 25: Teneur en acides AF ; ApC et vanilline des pailles (g.Kg<sup>-1</sup> de MS).**

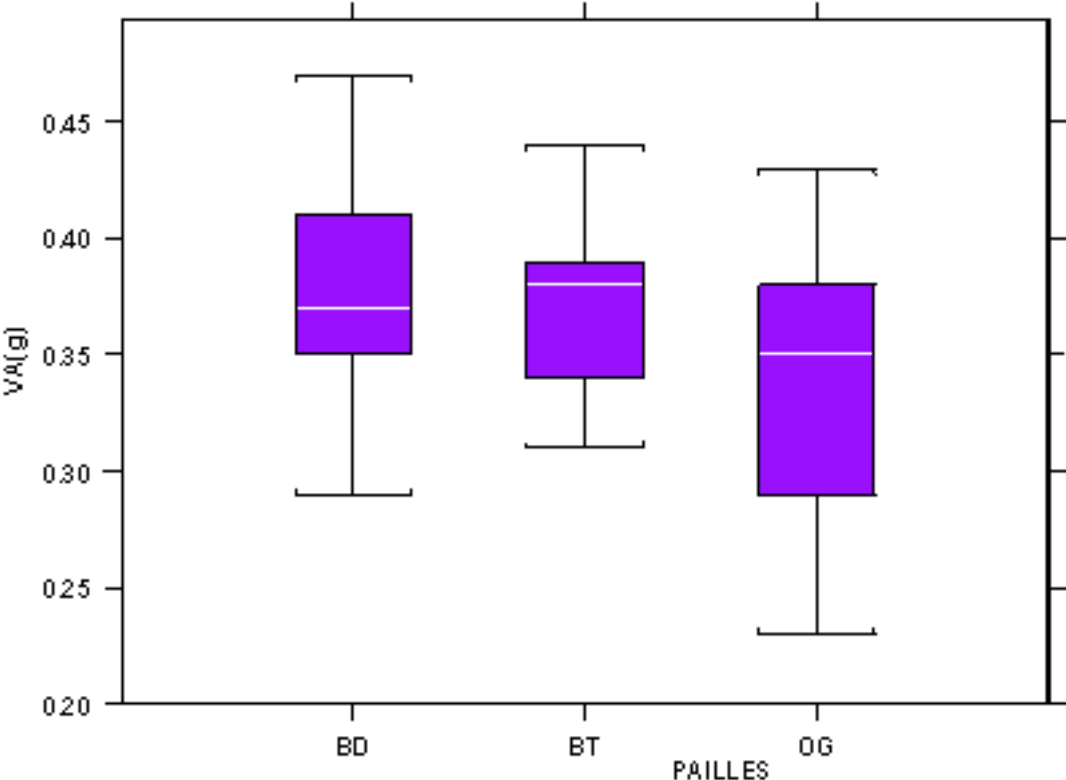
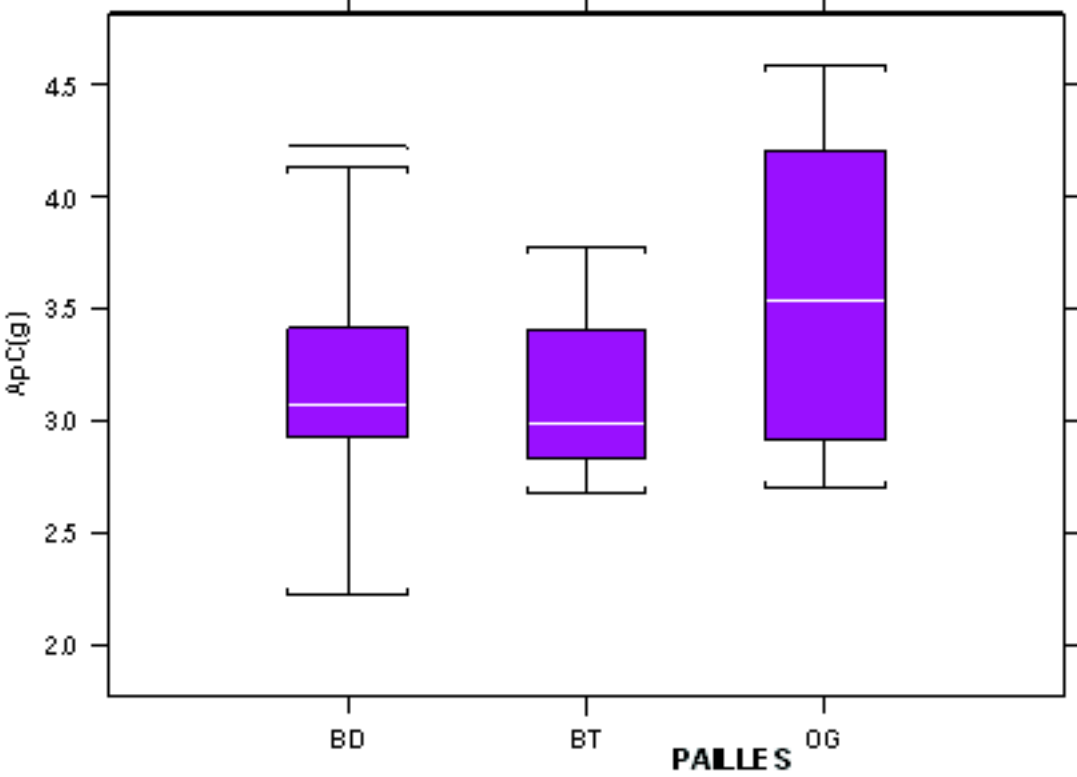
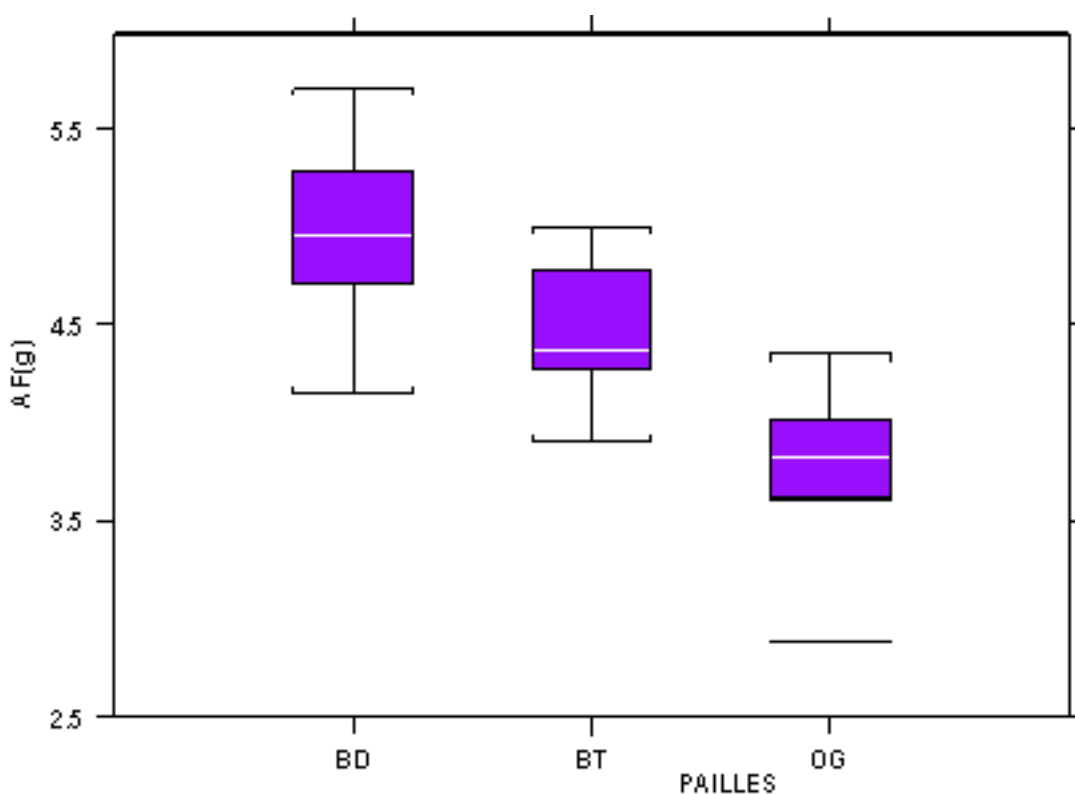


Figure 14: Dispersion spécifique de ApC, AF et VA







### 1.2. 2. Les pailles de blé tendre

Pour les variétés de blé tendre la VA, l'ApC et l'AF s'élèvent en moyenne à 0.37; 3.08 et 4.43g.kg<sup>-1</sup>MS; soit respectivement: 5; 39; et 56% du total des trois composés; l'AF beaucoup plus élevée que l'ApC entraîne un rapport ApC / AF plus faible que pour l'orge (0.7); De même que pour les OG, c'est l'ApC qui présente les variations les plus importantes (CV= 11 %); avec des valeurs extrêmes de 2.68g.kg<sup>-1</sup> MS (BT3) et de 3.77g.kg<sup>-1</sup> MS (BT10) .

### 1.2.3. Les pailles de blé dur

Les teneurs moyennes en VA ; ApC et en AF sont respectivement de 0.37; 3.17 et 4.97g.kg<sup>-1</sup> MS.

L'AF seul, représente 58 % du total des 3 composés (qui s'élève à 8.52g.kg<sup>-1</sup>MS) en moyenne contre 4.5% pour la VA et 37% pour l'ApC. Pour le blé dur, le rapport ApC / AF n'est que de 0.64 contre 0.7 pour les BT et 0.96 pour les OG.

Tout comme pour les OG et pour les BT, c'est l'ApC qui présente le plus de variations entre pailles (CV = 17 %).

Entre variétés de chaque espèce, l'analyse de la variance décèle des différences significatives (P<0.001) pour les trois composés, plus le total VA+ApC+AF et le rapport ApC / AF.

Il ressort de cette étude que les pailles de céréales sont riches en acides phénoliques; leurs teneurs varient entre 8 et  $9\text{g.kg}^{-1}$  de MS pour les trois acides principaux étudiés. Les pailles de blé dur en sont mieux pourvues que les pailles d'orge ou de blé tendre.

#### 1.2.4. Entre les trois espèces

Les trois espèces présentent des teneurs similaires en VA, tout comme les BT et les BD pour l' ApC mais la teneur des orges est significativement plus importante. Pour l'AF les teneurs sont différentes entre espèces et c'est le BD qui en est le plus pourvu. Du total de ces trois acides phénoliques, les orges et le blé tendre ont des teneurs comparables ; le blé dur des teneurs significativement plus élevées approchant les  $9\text{g.kg}^{-1}$  MS (tableau 26).

	VA	ApC	AF	VA+ApC+AF	ApC / AF
<b>OG</b>	0.34 <sup>a</sup>	3.59 <sup>a</sup>	3.78 <sup>a</sup>	7.70 <sup>a</sup>	0.96 <sup>a</sup>
<b>BT</b>	0.37 <sup>a</sup>	3.08 <sup>b</sup>	4.43 <sup>b</sup>	7.90 <sup>a</sup>	0.70 <sup>b</sup>
<b>BD</b>	0.37 <sup>a</sup>	3.17 <sup>b</sup>	4.97 <sup>c</sup>	8.82 <sup>b</sup>	0.64 <sup>c</sup>
<b>STD</b>	0.01	0.02	0.52	0.78	0.15
<b>RSE</b>	0.028	0.142	0.119	0.096	0.031
<b>R<sup>2</sup></b>	0.278	0.651	0.95	0.92	0.91
<b>P</b>	NS	**	**	**	**

\*\*p < 0.01 à 0.001; NS, non significatif. Dans une même colonne, les valeurs qui diffèrent par deux lettres sont significatives au seuil de 0.05 %.

**Tableau 26:** Comparaison entre les trois espèces des teneurs ( $\text{g.kg}^{-1}$  MS) en acides férulique, p-coumarique et en vanilline et du rapport ApC/AF

## 2. EFFET DES CONDITIONS DE TRAITEMENT SUR LA TENEUR EN VA, EN ACIDES P-COUMARIQUE ET FERULIQUE DES PAILLES

Les teneurs en VA, ApC et en AF ainsi que la somme VA+ApC+AF pour les 16 pailles traitées (PT) et pour un témoin PNT sont présentées dans le tableau 26. La composition chimique de ces pailles est donnée en annexe 15.

En moyenne, toute paille traitée confondue et par rapport à la PNT, la somme VA + ApC + AF est égale à 6.97 et à 6.24  $\text{g.kg}^{-1}$  de MS respectivement pour la PNT et pour les PT, soit après traitement une diminution significative de 11 % ( $p < 0,05$ ). Cette diminution a été de 31 % ( $p < 0,001$ ) pour la VA et de 16 % ( $p < 0,01$ ) pour AF. En revanche, une augmentation de 5 % ( $p < 0,05$ ) a été observée pour ApC.

Au sein des PT, la somme VA + ApC + AF a un minimum de  $5.2\text{g.kg}^{-1}$  de MS pour la PT14 et un maximum de  $7.3\text{g.kg}^{-1}$  pour PT1, soit une différence de 28%. Pour VA, ApC et

AF des écarts extrêmes respectifs entre pailles, de – 47.5% (PT 8 et PT 10), de – 22.3% (PT 1 et PT 14) et de – 32.5 % (PT 1 et PT 16) ont été observés.

Les variations de teneurs en VA, ApC et en AF sont expliquées pour l'essentiel par la température de traitement (VA,  $p < 0,001$ ; ApC,  $p < 0,05$ ; VA + ApC + AF,  $p < 0,05$ ). Quand on passe de 15 °C à 35°C, VA ; AF et ApC diminue respectivement de 32; 8 et de 10%. La teneur en AF diminue à la fois sous l'effet individuel des trois paramètres de traitement et par leurs interactions (tableau 27).

La totalité des variations de la teneur en VA et en AF est expliquée par les pailles ( $R^2 = 0.99$ ), un peu moins ( $R^2 = 0.88$ ) pour ApC. On peut remarquer, lorsque la paille est traitée à 15° C, la teneur en ApC augmente de 9% par rapport à la PNT.

Pailles	en g.kg <sup>-1</sup> MS			
	VA	ApC	AF	VA+ApC+AF
PT 1	0.355	3.069	3.841	7.26
PT 2	0.309	2.629	3.406	6.34
PT 3	0.389	3.009	3.476	6.87
PT 4	0.339	2.989	3.592	6.92
PT 5	0.376	2.949	3.792	7.11
PT 6	0.382	3.009	3.265	6.65
PT 7	0.354	2.699	2.749	5.79
PT 8	0.396	2.789	2.822	6.00
Moyenne T°15	0.362	2.892	3.367	6.62
PT 9	0.241	2.984	3.298	6.52
PT 10	0.208	2.954	3.016	6.68
PT 11	0.260	2.609	3.608	6.47
PT 12	0.241	2.664	3.424	6.32
PT 13	0.270	2.444	2.900	5.61
PT 14	0.246	2.384	2.599	5.23
PT 15	0.242	2.709	2.793	5.74
PT 16	0.247	2.509	2.593	5.35
Moyenne T°35	0.244	2.657	3.028	5.86
Moyenne générale	0.303	2.775	3.281	6.24
PNT	0.437	2.644	3.889	6.97
Effet T°	**	*	**	*
Effet D	NS	NS	**	NS
Effet d	NS	NS	*	NS
T° x D	NS	NS	*	NS
T° x d	NS	NS	*	NS
D x d	NS	NS	*	NS
R S D	0.02	0.18	0.07	0.39
R <sup>2</sup>	0.99	0.88	0.99	0.91

**Tableau 27:** Teneur en substances phénoliques des pailles traitées

NS non significatif; \*  $p < 0.05$  ; \*\*  $p < 0.01$  à  $0.001$ ; RSD écart-type résiduel du modèle. R<sup>2</sup>: coefficient de détermination.

Il en ressort que c'est surtout la température de traitement et à moindre degré, la dose d'ammoniac qui font varier les teneurs en VA, en ApC et en AF des pailles. Ces paramètres de traitement les fait diminuer pour VA et pour AF tandis qu'ils les augmentent pour ApC.

La figure 15 illustre la diminution de VA+ApC+AF sous l'action de la température lorsqu'elle passe de 15 à 35°C.

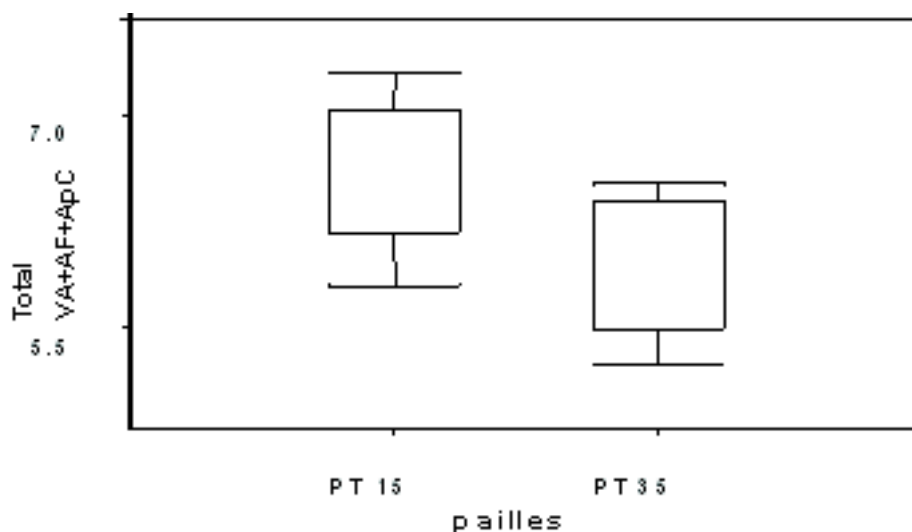


Figure 15: Action de la température sur les teneurs en VA+ApC+AF des pailles

### 3. COMPORTEMENT EN RUMEN DE VA, DE L'ApC ET DE L'AF

Les résultats sont illustrés par la figure 16 et les détails chiffrés consignés dans le tableau 28.

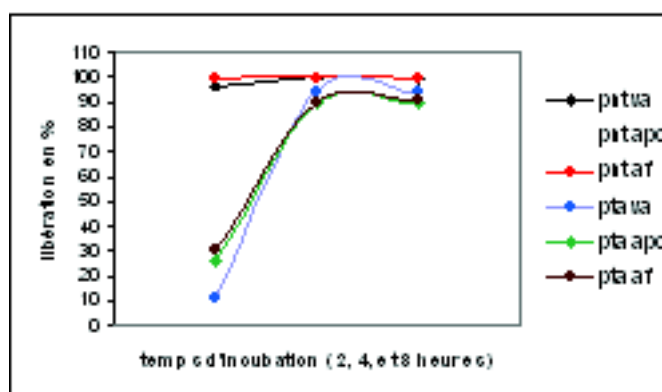


Figure 16 : Cinétique de libération de la VA de l'ApC et de l'AF en rumen

Tableau 28: Cinétique de libération de la VA, de l'ApC et de l'AF (en % de la teneur initiale)

Pailles	PNT (N2 95)			PT (N2 95 A )		
	VA	ApC	AF	VA	ApC	AF
2	95.7	92.3	99.4	11.5	25.5	29.8
4	99.9	98.3	99.8	94.1	89.5	89.9
8	99.9	99.9	99.0	93.9	89.3	90.7

Pour la PNT, en moyenne, la quasi-totalité de VA, de l'ApC et de l'AF est libérée "in situ" après 2 h d'incubation; cette libération est totale après 4h de séjour des sachets dans le rumen.

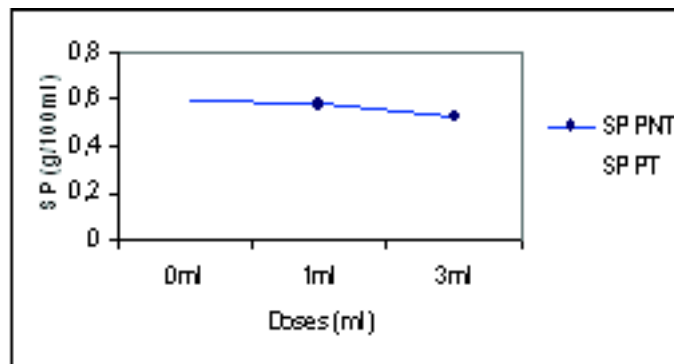
Après traitement à l'ammoniac, une très nette diminution du temps de libération de ces composés est observée. Ainsi, à 2 h d'incubation, seulement 11; 25 et 30% de VA, ApC et AF respectivement quittent les sachets contre 96; 92 et 99% pour la PNT. Ce n'est qu'au bout de 4 h d'incubation que 94 ; 89 et 90 % de VA d'ApC et d'AF ont respectivement disparu.

Ces valeurs sont en accord avec celles données par Komprda et al (1997) qui trouvaient respectivement 95 et 98 % d'ApC et d'AF libérés au bout de 5 h d'incubation. Ces quantités, libérées des sachets demeurent inchangées après 8 h d'incubation. Néanmoins, pour Yocef et Benguedalia (2000), la disparition de AF et ApC n'est que de 73 et 57% dans le rumen au bout de 24h.

Cette libération rapide suggérerait une simple solubilisation dans le milieu, étant donné que la dégradation de la paroi ne débute qu'au delà de 4-6 h d'incubation en rumen (Demarquilly et Chenost, 1969).

#### 4. EFFET DES EXTRAITS PHENOLIQUES DE PAILLE SUR LA SYNTHÈSE MICROBIENNE *in vitro*

Cet essai a été réalisé sur 6 pailles issues du traitement en conditions du terrain, plus trois pailles non traitées servant de témoin. La figure 17 (détails en annexe 16) montre que lorsque la dose de substances phénoliques passe de 1 ml par 100 ml de milieu, à 3 ml aucun effet dépressif n'est enregistré pour l'extrait PNT.



**Figure 17:** Effet des extraits phénoliques sur la synthèse protéique

En revanche, pour la paille traitée, les mêmes doses induisent un net effet dépressif sur la synthèse protéique; plus de 80 % des variations de la synthèse protéique sont alors expliquées par l'extrait (annexe 16).

Cet effet inhibiteur est obtenu avec toutes les pailles, mais il est particulièrement prononcé avec les extraits des pailles La 90A, R2 89A et C2 93A avec qui on enregistre des diminutions respectives de 64, 77 et 96%. Néanmoins, ces trois pailles observées dans l'échantillon général du tableau 5 ne révèlent pas des caractéristiques particulières.

#### DISCUSSION

1. TENEUR EN VA EN ApC ET EN AF DES PAILLES DE CEREALES: RAPPORT AVEC LES HEMICELLULOSES ET LA LIGNINE

La teneur en composés phénoliques des pailles, notamment en ApC et en AF est étudiée par Chesson (1981); Jung et Fahey (1983); Hartley (1985); Mason et al (1990); Kondo et al (1992) et Chabaca (1993): Lorsque les acides dosés sont exprimés par rapport à la MS, des 14 pailles répertoriées dans la littérature, les valeurs trouvées varient entre 2.85 et 4.70g.Kg<sup>-1</sup> MS de paille pour l'AF et entre 1.20 et 4.30 g pour l'ApC, soit des moyennes respectives de 3.95±0.60 g et de 2.66 ± 0.86 g.Kg<sup>-1</sup> MS. Toute espèce confondue, les teneurs moyennes de nos pailles en AF (4.10g.kg<sup>-1</sup> MS), sont comparables à celles relevées dans la littérature. En revanche, l'ApC y est nettement mieux représenté (3.28±0,22g contre 2.66g) contrairement aux résultats de Yocef et Benguedalia (2000) sur pailles de blé qui trouvent des teneurs en AF plus élevées. Les teneurs en VA étant comparables entre espèces, seuls l'ApC et l'AF, différencient les OG, les BD et les BT. Les OG ont des teneurs globalement similaires en ces deux acides; le rapport ApC / AF est alors proche de l'unité (0.96) tandis que, pour les BT et pour les BD, ce rapport est de 0.70 et de 0.64 respectivement soit, une teneur en ApC plus faible (d'environ 30 %) que pour les OG.

Un rapport ApC / AF dépassant l'unité, traduit une lignification plus importante. En fait, les acides phénoliques et la lignine proviennent de la même voie de biosynthèse dans les plantes vasculaires (Jung et Fahey, 1983).

Il existe dans la paille, des relations d'une part entre teneur en lignine, en ApC et en AF et d'autre part, entre les hémicelluloses et l'AF. L'ApC est relié à la lignine par des liaisons esters à raison de 93% alors que pour l'AF, la liaison avec la lignine est de type éther à raison de 55%, (Hartley, 1972; Scalbert et al 1985 et Lam et al, 1990 b). En outre, selon Gordon et al (1985); He et Terashima (1989) et He et Terashima (1991), l'AF est déposé en début de la lignification dans la lamelle moyenne et dans la paroi primaire et se lie notamment avec les hémicelluloses (Azuma et al, 1985); alors que, l'ApC est associé avec la lignine en fin de lignification en même temps que la paroi secondaire se forme. L'ApC augmente donc parallèlement avec la lignification tandis que, l'AF demeure relativement stable; il en découle que le rapport ApC / FA augmente avec l'âge de la plante et serait à sa valeur maximale dans la paille. Ces observations sont confirmées pour nos 35 pailles où une corrélation positive et significative entre la lignine et l'ApC (R=0.33; P<0.05) et le rapport ApC / AF (R=0.53; P<0.01) est notée; tout comme entre les hémicelluloses et l'AF (R = 0.33; P<0,05). Ce dernier résultat est en accord avec celui de Marvin et al (1995) qui rapportent une valeur R de 0.58. En revanche, L'AF est en corrélation négative (R = - 0.34; P<0.05) avec la teneur en lignine et à fortiori, avec le rapport ApC/AF (R = - 0.45; P<0.01).

En ce qui concerne la vanilline, son dosage dans les fourrages est rarement pratiqué et les valeurs relevées dans la littérature sont souvent très dispersées et surtout nettement plus élevées que nos résultats. Ainsi, pour Jung et Fahey (1983) la teneur serait de 0.66%, pour Galletti et al (1989) elle était de 2.14% dans la paille de blé; et pour Yocef et Benguedalia (2000) elle était de 1.5%. Ces différences très amples de teneur en VA, pourraient s'expliquer par ses interactions avec l'acide férulique lors du dosage. Pour Lapiere (1986) tout comme pour Concialini et al (1989) et Gross-Falconnier (1991), la VA proviendrait de la réduction de l'AF. La réaction serait analogue à la  $\beta$ -oxydation des acides gras.

#### 1. TENEUR EN ApC, EN VA ET EN AF DES PAILLES : EFFET DES FACTEURS DE TRAITEMENT A L'AMMONIAC

Lowry et al (1993) et Komprda et al (1997) localisent en 3 fractions distinctes des acides ApC et AF dans les pailles :

- les acides libres et les acides liés aux glycosides (environ 4 %) ;
- les acides estérifiés (17 et 27 %) ;
- les acides liés a la paroi (72 et 67 %).

Les variations observées après traitement à l'ammoniac résultent donc principalement de celles intervenues dans la fraction pariétale. Ainsi, nous observons, une diminution des teneurs en VA et en AF et une légère augmentation pour l'ApC. Des diminutions après traitement à l'ammoniac de 13 à 50 % pour AF et de 7 à 41 % pour l'ApC sont rapportées dans la littérature (Graham et al, 1985; Mason et al, 1990 et Yocef et Benguedalia, 2000).

Nous faisons l'hypothèse que la diminution de la teneur en AF résulterait de son oxydation. Cette oxydation générerait des corps intermédiaires notamment des dimères qui à leur tour ont vocation à être oxydés. Dans ces conditions, les surfaces des pics de ces corps apparaissant sur le chromatogramme seraient d'autant plus élevées que l'oxydation de l'AF est poussée. Par exemple, au sein des pailles traitées à 15° C, les surfaces de pics obtenues pour la dose de 3% sont en moyenne de  $48 \times 10^6$  microvolts/ seconde contre  $34 \times 10^6$  microvolts/ seconde pour la dose de 5% (annexe 17). Ce résultat est observé pour la teneur en AF de ces mêmes échantillons qui passe en moyenne de  $3.36 \text{g.kgMS}^{-1}$  pour la dose de 3% à  $3.03 \text{g}$  pour la dose de 5% ( $p < 0.05$ ). Une diminution de l'ApC et de l'AF dans les pailles en relation avec la dose d'ammoniac a été rapportée par Mason et al (1990) qui trouvent -22%.

Par ailleurs, la durée de traitement considérée seule est un facteur de "drasticité" au même titre que la dose d'ammoniac surtout lorsqu'elles sont associées. Dans ce cas, la surface des pics passe de  $46$  à  $22 \times 10^6$  microvolts/seconde. Nous comprenons mieux que lorsque la température augmente, ces phénomènes d'oxydations sur l'AF et sur ses dimères soient amplifiés (annexe 17) entraînant, la diminution de AF.

La légère augmentation de teneur observée pour l'ApC, pourrait s'expliquer par la force de la liaison ester qui le relie à la lignine. Cette liaison à forte énergie ne serait pas totalement coupée par l'ammoniac du traitement et se poursuivrait par l'hydrolyse au KOH lors du dosage.

Ces corps et dimères seraient principalement générés par l'AF après traitement et s'associeraient avec l'azote apporté par ce même traitement pour former des complexes "détachables" (HC) de la paille mais emprisonnant de façon irréversible l'azote. En revanche, le complexe formé par l'ApC, la lignine et l'azote du traitement (LG) resterait fixé énergiquement sur la paroi d'où l'augmentation de la teneur en lignine constatée après traitement. Ces résultats confirment les liens étroits entre AF et hémicelluloses et entre lignine et ApC.

**Azote traitement ~ AF ~ Hémicelluloses → Formations (HC)**

**Azote traitement ~ ApC ~ Lignine → Formations (LG)**

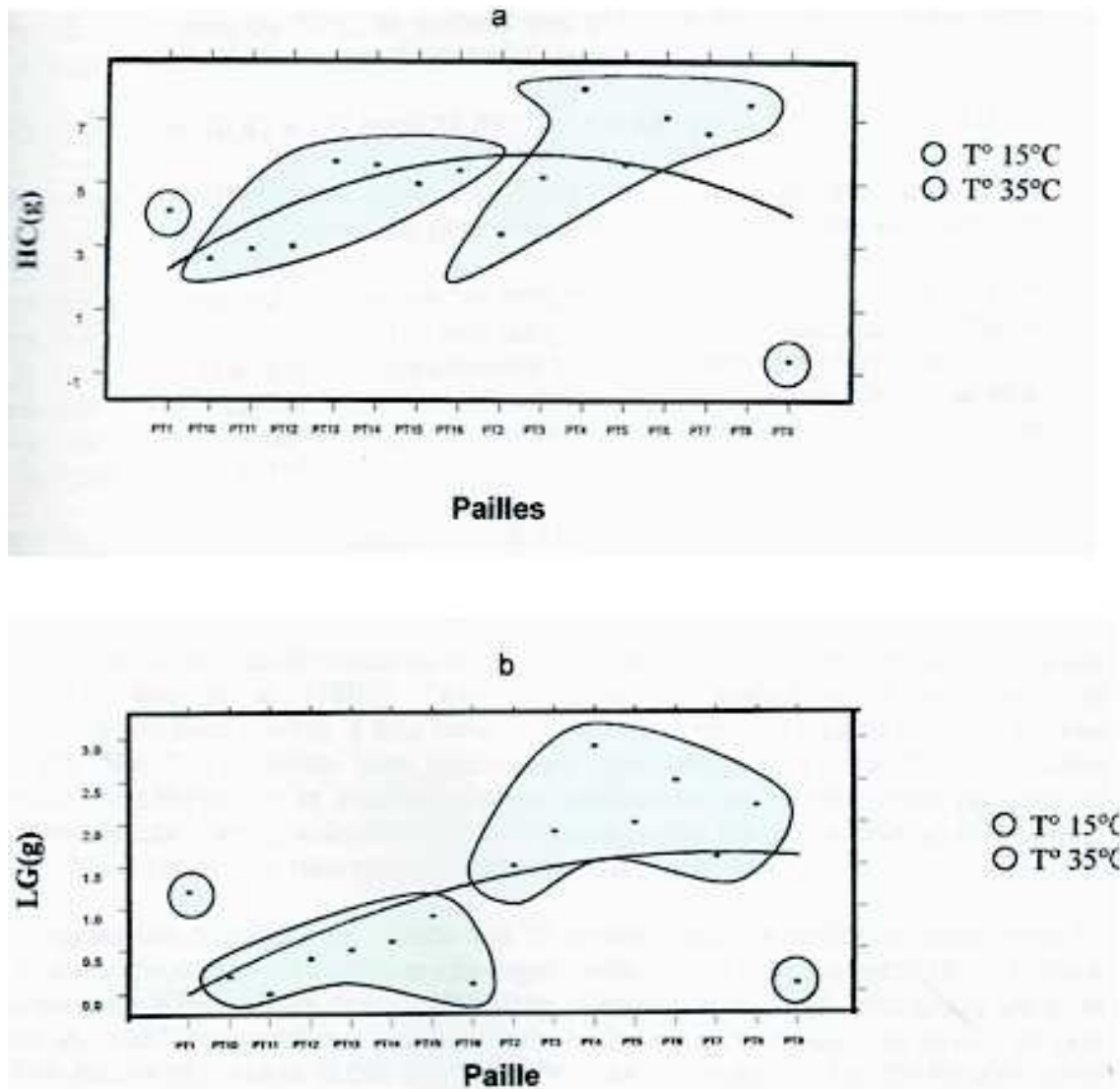
On peut penser logiquement que compte tenu de la plus forte labilité de l'AF comparé à l'ApC (Yocef et Benguedalia, 2000), et de sa plus forte présence dans les pailles, ses produits d'oxydation soient plus importants et complexeraient des quantités plus élevées d'azote que l'ApC.

En appelant  $\bar{a}$  la teneur en hémicelluloses ou en lignine de la PNT et a celle de la PT, on peut calculer un écart  $e_m$  qui représenterait le poids de (HC) et de (LG) formé (détails en annexe 17):

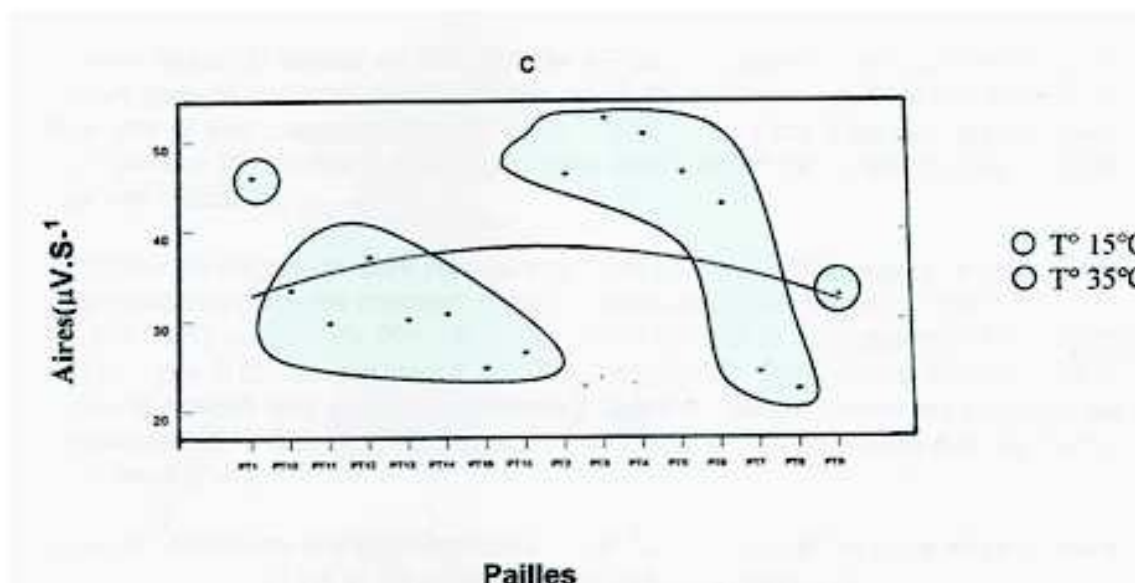
$$e_m = 1/n \sum \bar{a} - a_i$$

A 15 °C de température de traitement, les quantités de HC et LG formées sont plus élevées. Lorsque les conditions d'oxydation de ces corps se développent, soit par l'augmentation de la température de traitement, soit par celle de la dose d'ammoniac, les quantités de ces corps diminuent. Ce constat est bien montré par la PT9 (paille de passage entre les deux températures) dont les corps formés déclinent. Cette diminution se poursuit avec les pailles suivantes traitées à 35°C (figure 18, a ; b et c).





**Figure 18.** Evolution des formations HC (a) LG (b) et SP (c) en fonction de la Température



Il est particulièrement intéressant d'observer que les quantités de HC et LG formées déterminent pour près de 50%, la surface des pics. En effet, ces quantités sont reliées à la surface de ces pics par la relation :

$$SP = - 3.11 HC (g) + 10.67 LG (g) + 38.59; R^2 = 0.49; p < 0.01 (11)$$

La surface des pics (SP) sortie après l'ApC est d'autant plus grande que HC est faible, ce qui traduirait une oxydation plus poussée de ces formations. LG varie par contre dans le même sens que SP.

Leur quantité maximale est atteinte avec la température de 15°C puis diminue avec la température de 35°C. A cette dernière température, elles disparaissent presque pour LG. Une température faible de traitement favoriserait donc leur formation et par là même, contrôle en partie, l'utilisation digestive de la paille. Ainsi, Chabaca et al (2002) ont montré que la dMO des pailles traitées à 35°C, était significativement plus élevée que celle traitée à 15°C.

### 3. EFFET DES COMPOSES PHENOLIQUES SUR UTILISATION DE L'AZOTE

#### 3.1. Dégradabilité de l'azote

La dégradation de l'azote mesurée *in situ* est sujette à de nombreux biais révisés par Mihalet-Doreau et al, (1987). Outre la taille des particules et le niveau de contamination bactérienne, il faut noter que la disparition de l'azote *in situ* mesurée par gravimétrie ne reflète pas exactement une dégradation microbienne. Cette mesure renseigne sur la fraction d'azote solubilisée en rumen, mais non sur la fraction d'azote, certes solubilisée mais non dégradée (Mihalet-Doreau et Nozière, 1999). Nous utiliserons néanmoins le terme de dégradabilité.

La dégradation théorique de l'azote des 16 pailles traitées s'établit en moyenne à 67 %. Pour un protocole d'incubation identique, cette valeur est plus faible que la valeur moyenne de 80% relevée dans la littérature (Graham et al, 1985; Mihalet-Doreau et Guèdes, 1987

et Hvelplund, 1989) : mais logique car la teneur en azote de nos pailles étaient plus faible (6.8% contre 9.1% pour ces auteurs). La dtN en effet varie en sens inverse de la teneur en azote de la paille.

Dans notre étude, la teneur en VA, ApC et AF des 16 pailles a été mise en relation d'une part avec la variable dgN à chaque point de cinétique, et d'autre part avec la variable dtN et ses composantes, a; b; a+b et c. Les résultats qui apparaissent dans le tableau 29 montrent globalement un effet négatif de la VA, de l'ApC et de l'AF sur ces variables.

Ces corrélations négatives sont plus prononcées pour la dgN que pour la dtN. Elles sont significatives dans les premiers temps d'incubation (2h- 8h) pour l'ApC ( $R = -0.61$ ;  $p < 0.01$ ) pour la VA ( $R = -0.71$ ;  $p < 0.01$ ) et pour le total des trois composés ( $R = -0.57$ ;  $p < 0.05$ ) et non pour l'AF ( $R = 0.41$ ;  $p > 0.05$ ). Cette hiérarchie va dans le sens que la toxicité des acides phénoliques diminue avec la teneur en oxygène de leur molécule (OH ; CO; COOH). En outre, la VA n'est pas dégradée par les micro-organismes du rumen.

**Tableau 29:** Relations entre la dégradabilité de l'azote des pailles et leurs teneurs en VA et en acides p-coumarique et férulique

**Tableau 29:** Relations entre la dégradabilité de l'azote des pailles et leurs teneurs en VA et en acides p-coumarique et férulique

dg	ApC	AF	VA	ApC + AF+ VA
2h	- 0.71 **	- 0.52*	- 0.70**	- 0.65**
4h	- 0.57*	- 0.34	- 0.89**	- 0.56*
8h	- 0.54 *	- 0.37	- 0.54*	- 0.50*
16h	- 0.15	0.17	- 0.45	- 0.02
24h	- 0.05	0.39	- 0.11	0.24
48h	0.06	0.34	- 0.16	0.20
a	- 0.28	- 0.38	- 0.25	- 0.37
b	0.05	0.24	- 0.09	0.15
c	- 0.27	- 0.39	- 0.22	- 0.37
a+b	- 0.33	0.013	- 0.68**	- 0.21
dtN	- 0.55*	- 0.44	- 0.70**	- 0.57*

\*  $p < 0.05$ ; \*\*  $p < 0.01$  à  $0.001$

Ces résultats sont logiques car c'est durant les 8 premières heures d'incubation que la totalité de ces composés est libérée dans le rumen. Durant cette plage de temps d'incubation, 33 % environ de la dtN ( $R^2$  variant entre 0.30 et 0.37) sont expliqués par la présence de l'ApC et 50% par la présence de la VA.

L'absence de corrélation entre dgN et acides phénoliques après 8 heures d'incubation, pourrait traduire la transformation de ces acides, en des formes moins toxiques. Ainsi, selon Lowry et al (1993), ils seraient vite transformés par hydrogénation en :

- 3-(4-hydroxyphényl) propionic acid ou acide phlorétique pour l'ApC; ou par déméthylation en :
- 3-(4-hydroxy-3-methoxyphenyl) propionic acid ou 3-methoxyphloreétique acide pour l'AF.

Ces produits d'hydrogénation de l'ApC et de l'AF sont moins toxiques pour les micro-organismes: toutes les espèces testées sont capables de se développer en présence de 20mM d'acide phlorétique ou 10mM de 3-methoxyphloretique acide par 100 ml de milieu. Mais, à de fortes concentrations dans le milieu ils inhibent quand même le développement et l'activité des bactéries cellulolytiques: par exemple, l'acide phlorétique réduit l'activité de *Bacteroides succinogenes*, qui passe de 100% à 5mM.100 ml<sup>-1</sup> de milieu à 31% avec 10mM .100 ml<sup>-1</sup> de milieu (Chesson et al, 1982).

Cette hydrogénation se fait principalement (*in vitro*) par les bactéries *Ruminococcus* et *Streptococcus bovis* (pour l'ApC et pour l'AF) qui ne constituent pas cependant la population bactérienne majeure du rumen contrairement à *Bacteroides succinogenes*, *Ruminococcus albus* et *flavefaciens*, bactéries adhérentes à la paroi du rumen et qui sont par cette spécificité en contact direct avec l'ApC et l'AF de la paroi de la paille.

*In vivo*, les ovins qui consomment 1Kg. jour<sup>-1</sup> d'aliment sec ingèrent suffisamment d'acides phénoliques pour être toxiques (plus de 10mM.100ml<sup>-1</sup>), s'il n'y avait aucun mécanisme bactérien de transformation en des formes moins toxiques.

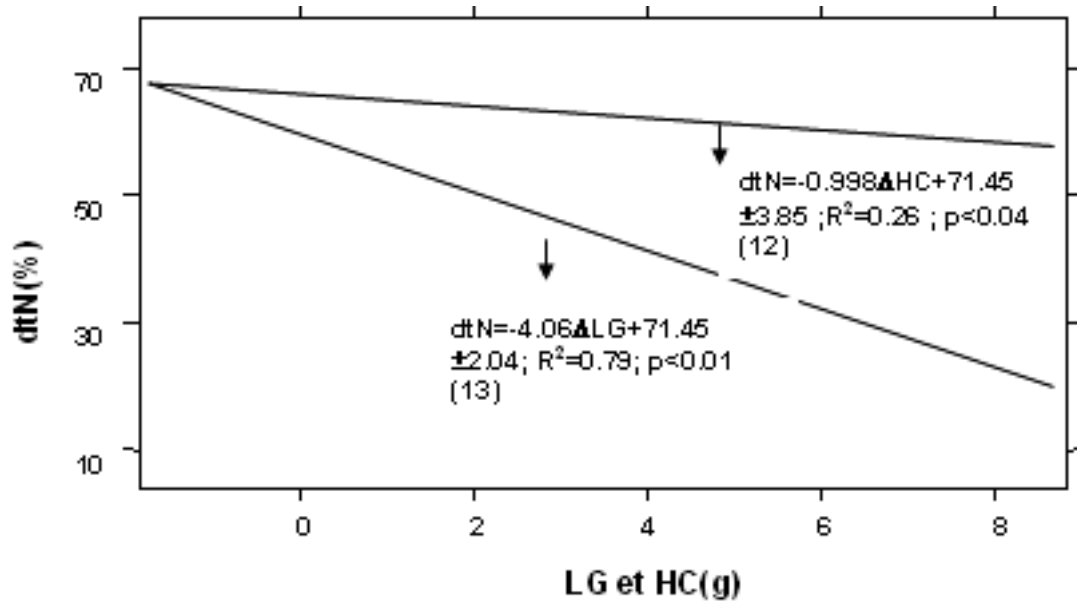
La diminution de la dtN sous l'action des composés phénoliques dosés traduirait les modifications biochimiques subies par la paille sous l'action du traitement qui interfèrent avec les composés de la paroi. Comme le montre l'équation 12 :

$$dtN = -0.998\Delta HC + 71.45 \pm 3.85; R^2 = 0.26; p < 0.04 \quad (12)$$

Les formations liées à l'acide férulique et aux hémicelluloses affectent peu la dtN car bien que emprisonnant de l'azote, elles sont libérées de la paroi (traduisant en fait, une bonne partie de la dégradabilité de l'azote mesurée), tandis que celles liant la lignine et l'ApC équation (13):

$$dtN = -4.06\Delta LG + 71.45 \pm 2.04; R^2 = 0.79; p < 0.01 \quad (13)$$

impriment une forte diminution de la dtN car elles restent fixées sur la paroi insolubilisant l'azote, elles augmentent passivement la teneur en lignine des pailles traitées. Il est par ailleurs intéressant de constater, que même en absence de ces formations, la dtN ne dépasserait pas 71 % (équations 12 et 13 et figure 19).



#### Formations de HC et de LG (g)

**Figure 19** : Relation entre la dtN et les formations induites par le traitement à l'ammoniac

En combinant ces deux variables, 83% des variations de la dtN se trouvent expliquées :

$$dtN (\%) = 0.5513 HC (g) - 4.9034 LG (g) + 69.8679 \pm 1.921; R^2 = 0.83; p < 0.001 \quad (14)$$

Ce modèle semble pouvoir être utilisé pour prédire la dtN sans passer par la procédure des sachets en Nylon. Ainsi, la dtN calculée pour les pailles du tableau 22 s'établit à 69.87% contre 68.3% mesurée réellement, soit une différence de seulement 1.57 %.

La figure 20 illustre les relations entre dtN, LG et HC. Les pailles ayant un dtN proche ou supérieure à 70% présentent les caractéristiques d'avoir à la fois une valeur HC et LG faible. Elles appartiennent toutes à la catégorie des pailles traitées à 35° C (par exemple, PT 16). A l'inverse, les pailles traitées à 15° C présentent des valeurs HC et LG les plus élevées pour des dtN faibles (exemple, PT4).

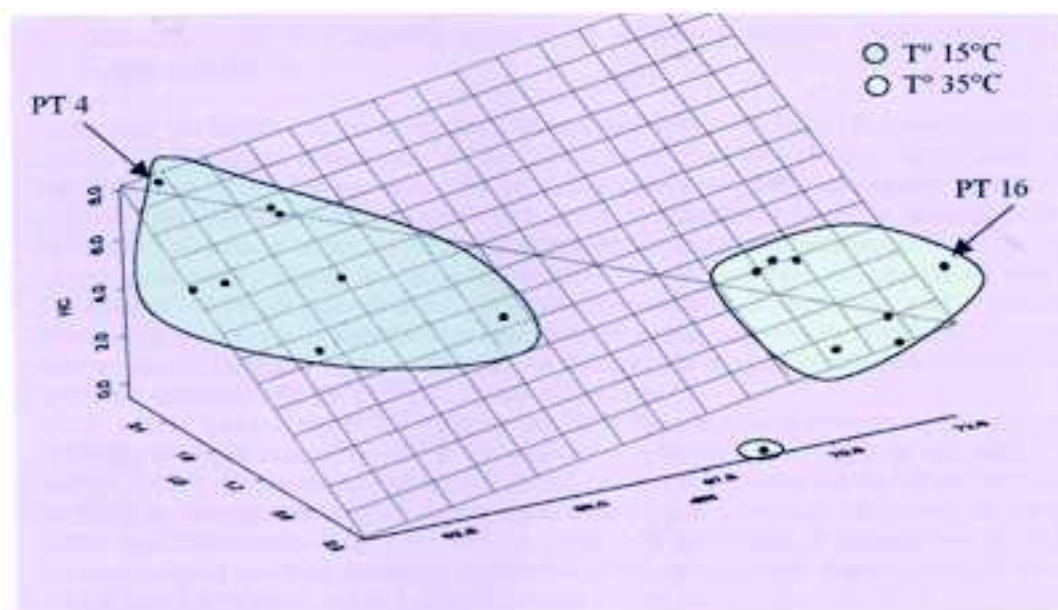


Figure 20: Relations entre dtN (%) et les formations HC (g) et LG (g)

### 3.2 IMPACT DES ACIDES PHENOLIQUES SUR LA SYNTHÈSE PROTEIQUE

Quelle que soit la dose d'extrait, un effet nocif des extraits des pailles traitées à l'ammoniac est montré. Le temps de mesure de la synthèse protéique (4 h) correspond exactement à la plage de libération de l'AF et de l'ApC dans le milieu (tableau 28) ce qui ne donne pas aux micro-organismes, le temps de détoxifier le milieu. Cette action semble donc directe sur la multiplication des micro-organismes libres du milieu. Elle pourrait passer soit par l'ApC (Komprda et al, 1993 donnent une corrélation négative entre l'ApC et la dégradation des protéines:  $R^2 = -0.67$ ;  $p < 0.01$ , mais aucun effet de l'AF), soit par des complexes formés à partir de ces acides (Cherney et al, 1992) ou encore par leurs produits d'oxydation qui pourrait être des quinones produites dans le milieu alcalin lors du traitement à l'ammoniac. On peut alors comprendre que l'extrait PNT, peu pourvu en ces produits, ne soit pas toxique, comparativement à l'extrait PT. Une incubation sur une période plus longue aurait pu ne pas montrer d'effets toxiques de ces acides comme l'indique Borneman et al, (1986) et Jung, (1989), le processus de détoxification par les microbes rentrant en jeu. Cette action est bien visible dans les résultats du tableau 28 où à partir de 8 h d'incubation, il n'y a plus de corrélation entre dégradation de l'azote et présence de substances phénoliques.

Ramené dans les conditions normales d'alimentation des animaux, 6 g de ces substances peuvent être consommées par jour soit environ  $50 \text{ mg} \cdot 100 \text{ ml}^{-1}$  de milieu de rumen alors que nous avons détecté des toxicités pour seulement  $3 \text{ mg} \cdot 100 \text{ ml}^{-1}$  de milieu. Néanmoins, le processus bactérien de détoxification limite les effets de ces substances.

## CHAPITRE 3. VALEUR AZOTEE DES PAILLES

## 1. CONCEPT DE MATIERES AZOTEES APPAREMMENT DIGEREES DANS LE TUBE DIGESTIF

La teneur en MAD des pailles non traitées est difficile à évaluer exactement. En effet, lorsque la paille est distribuée en plat unique, la digestibilité apparente ( $d_a$ ) de l'azote est négative. Pour l'ensemble des 16 échantillons de PNT analysés, la  $dMA$  était de  $-25\%$  (en excluant TR91 et N195 dont la digestibilité était exceptionnellement positive). La valeur absolue du CUD correspondrait théoriquement au complément nécessaire pour couvrir les besoins d'entretien de l'animal. Connaissant ces besoins d'entretien, il serait possible de remonter à la valeur azotée de la paille non traitée.

Une autre approche consiste à considérer la paille comme le composant d'une ration composite et déduire la digestibilité par différence ou par régression (équation 3). On retombe dans le cas de la digestibilité négative.

Ainsi, sur la base d'un  $P^{0.75}$  moyen de 20.4 Kg de nos animaux ayant consommé la PNT durant les mesures et d'un besoin d'entretien de 2.52 g de MAD.  $Kg.P^{0.75}$  (INRA, 1988) le déficit en MAD serait de 13 g et l'apport en MAD de la paille seule de 37g. A l'évidence, cette valeur très élevée est erronée. En effet, la méthode de calcul par différence que nous avons utilisée a tendance à surestimer la digestibilité du composant surtout lorsqu'il est faiblement représenté dans l'aliment et que des interactions positives entre pailles et concentrés se produisent dans le rumen (Frederiksen, 1973) ce qui est notre cas.

Une troisième approche consisterait à appliquer à la MAT totale de nos pailles, le taux de digestibilité réelle ( $d_r$ ) que nous avons mesuré, soit:  $32g \times 0.533 = 17g$  de matières azotées digérées réellement. Dans ces conditions, nous ne sommes plus exactement dans le concept des MAD puisque l'azote endogène est pris en compte dans le calcul. Néanmoins, la  $d_r$  étant par construction toujours supérieure de l'ordre de 15% à la  $d_a$ , on peut établir la  $d_a$  de l'azote de la PNT à environ 45%.

Sur cette base, la valeur MAD serait de  $15g.kg^{-1}MS$

La distribution de la valeur MAD des pailles étudiées est illustrée par la figure 21 (les détails en annexe 18).

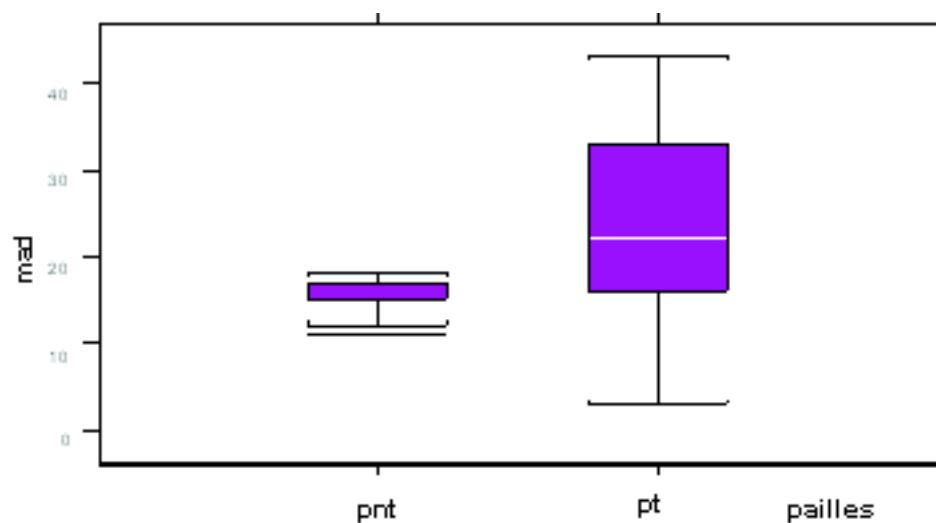


Figure 21: Distribution des valeurs MAD ( $g.Kg^{-1}MS$ ) des pailles

La valeur azotée des fourrages grossiers dépend en tout premier lieu de leur teneur en azote. Pour la PNT, cette teneur varie peu entre pays, tout comme la digestibilité. Dans ces conditions, l'étendue des valeurs est faible.

Traitée à l'ammoniac, dans les conditions algériennes (c'est à dire, paille à forte teneur en MS), la paille fixe des quantités d'azote plus faibles: 24 % de l'azote injecté contre 43 % pour les pailles traitées dans les pays du Nord. Il en résulte des teneurs en matières azotées respectives de l'ordre de 7 et de 10% et des digestibilités de 35 et de 42%. Dans ces conditions, la valeur MAD moyenne de nos pailles s'établit à 30g. Kg<sup>-1</sup> MS contre 44g pour les tables INRA France par exemple. (La figure 21 montre une forte dispersion de ces valeurs découlant de celle de la teneur en azote de ces pailles). Néanmoins, des essais de rationnement réalisés en condition de terrain (Triki, 2003) semblent montrer une meilleure valeur azotée des pailles que celle donnée par le système MAD.

#### 1. CONCEPT DE PROTEINES DIGESTIBLES DANS L'INTESTIN

Le système MAD sous-estimerait la valeur azotée des pailles. Ce constat n'est pas étonnant car les matières azotées digestibles ne mesurent que l'azote qui disparaît apparemment dans le tube digestif et non pas la quantité de protéines qui est digérée dans l'intestin (NRC, 1985).

Plus que pour les autres fourrages, le système MAD n'est pas pertinent pour déterminer la valeur azotée des pailles car il ne prend pas en compte, la synthèse protéique dans le rumen laquelle pour la paille, par sa teneur en MOD est la principale pourvoyeuse de protéines microbiennes dans l'intestin.

La quantité de protéines propre à la paille qui arrive dans l'intestin dépend de leur dégradabilité dans le rumen ; de leur teneur en acides aminés (AA) et de la digestibilité de ces AA. Les fractions de protéines A et B1 qui correspondent à celles obtenues dans une solution tampon sont théoriquement totalement et rapidement dégradées. Elles représentent dans la PNT, 30 à 35% de l'azote total (Hvelplund, 1987). La dégradabilité des protéines liées à la paroi est difficile à déterminer à cause de la contamination bactérienne. Varvikko et Lindberg (1985) à l'aide d'azote marqué, avaient montré que cette contamination pouvait atteindre 72% de l'azote des résidus de paille ayant séjourné 24 h dans le rumen dans des sachets en nylon. Tenant compte de cette contamination, Kristensen et al (1982), estimaient la dégradabilité de l'azote des PNT à 61% pour un taux horaire de passage dans le duodénum de 5%. Nos résultats pour 5 PNT (corrigés pour la contamination bactérienne) sont donnés dans le tableau 30.

	<b>a</b>	<b>b</b>	<b>c</b>	<b>a+b</b>	<b>dtN</b>
TR1	36.5	39.0	0.0336	75.5	54.3
B89	31.8	32.2	0.0423	64.0	53.6
B90	31.9	26.9	0.1419	58.8	58.6
La90	22.3	32.2	0.0380	54.5	42.3
TT92	7.6	45.3	0.1037	52.9	44.8
Moyenne	26.0 ± 11.5	35.1 ± 7.1	0.072 ± 0.04	61.2 ± 9.1	50.72 ± 7.3



**Tableau 30: Dégradabilité de l'azote des pailles non traitées**

Soit une dtN de 51% pour un taux de passage horaire dans le duodénum de 4%. Théoriquement, 49% de l'azote non dégradé de ces pailles arrivent dans l'intestin.

Nous n'avons pas dosé les AA de nos pailles ; l'opération ne présente pas d'intérêt pour le ruminant exploité dans nos conditions. Néanmoins, leur teneur est logiquement faible et relativement constante.

Hvelpund (1987) sur 16 échantillons de pailles d'orge analysés, rapporte une teneur minimale en AA de 44% et une teneur maximale de 57%. La moyenne était de 51% dont 18% d'AAE (acides aminés essentiels), sans le tryptophane et 33% d'AANE (acides aminés non essentiels). NRC, (2001) rapporte des valeurs comparables pour la paille de blé : 22.68% d'AAE dont Arg : 1.08 ; His : 1.64 ; Ile : 1.78 ; Leu : 3.25 ; Lys : 3.25 ; Met : 1.19 ; Cys : 1.07 ; Phe : 2.08 ; Thr : 3.25 ; Trp : 1.42 ; Val : 2.67.

Ces 49% de protéines (correspondraient aux fractions B2 et C) arrivant dans l'intestin, sont probablement très fortement liées aux composants de la paroi et ne donnent lieu qu'à très peu de libération d'AA dans l'intestin. Ainsi, Hvelpund, (1982) par la technique des sachets mobiles, a montré que la quantité de protéines propres des pailles entrant dans le duodénum et qui disparaît dans l'intestin a été seulement de 32 et de 36% respectivement pour la PNT et pour la PT.

L'essentiel des paramètres permettant le calcul de la valeur azotée des aliments dans ces nouveaux systèmes est regroupé dans le tableau 31 pour les principaux pays (Van Der Honing et Alderman 1988).

**Tableau 31: Paramètres de l'utilisation de l'azote par le ruminant dans les principaux systèmes d'évaluation de la valeur azotée des fourrages**

Paramètres	USA	France	Suisse	Allemagne	Systèmes Nordiques	Royaume unis
PM/ MATdgr	0.9	0.9	1.0	0.95	-	0.8 -1.0
PM/MOD	0.14	0.135	0.135	0.161	0.165	0.130
PMV/PM	0.80	0.80	0.80	0.73	0.70	0.80
PMVD/PMV	0.85	0.80	0.80	0.90	0.85	0.80
PMVD/PM	0.64	0.56	0.56	0.66	0.60	0.68
PADI/PANdgr	0.80	0.50-0.90	0.80	0.66	0.70	0.85

\*Systèmes utilisés en Finlande ; Norvège ; Danemark ; Islande et Suède.

PM : protéines microbiennes ; MATdgr : MAT dégradées dans le rumen ; MOD : matière organique digestible dans l'ensemble du tube digestif ; PMV : protéines microbiennes vraies. PMVD : protéines microbiennes vraies digestibles dans l'intestin ; PADI : protéines alimentaires digérées dans l'intestin ; PANdgr : protéines alimentaires non digérées dans le rumen.

Globalement, les paramètres de calcul utilisés par les différents pays sont comparables. Les constantes varient peu à l'exception de l'Allemagne et des pays nordiques pour PM/MOD et pour PADI/ PANdgr.

En France, depuis 1987, PM/MOD n'est plus exprimée en MOD, mais en MOF. Pour des fourrages comme la paille, cette modification a peu d'incidence car la paille est pauvre en matières azotées tout comme en matières grasses et ne génère pas de produits de fermentation comme l'ensilage. Néanmoins, pour le calcul de la valeur azotée de nos pailles dans ce système, nous utiliserons les MOF.

Les valeurs PDI des pailles calculées à partir du modèle standard de l'INRA France (1988) sont données dans le tableau 32.

	PDIA	PDIMN	PDIME	PDIE	PDIN	PDIE-PDIN
PNT						
B 89	8.94	11.55	30.03	38.97	20.49	18.48
B 90	8.81	12.81	32.97	41.78	21.62	20.16
La 90	14.75	15.34	32.05	46.80	30.09	16.71
TT 92	14.08	14.34	40.10	54.18	29.42	24.76
MEAN	11.64	13.51	33.78	45.42	25.40	20.02
PT						
T <sub>1</sub> 88A	11.64	33.66	35.60	48.24	45.30	2.94
T 88A		28.60	35.46	47.10	40.24	6.86
T <sub>2</sub> 88A		30.45	35.72	47.30	42.09	5.21
R 89A		27.29	39.94	51.58	38.93	12.65
R <sub>1</sub> 89A		24.23	33.78	45.42	35.87	9.55
R <sub>2</sub> 89A		30.41	33.79	45.43	42.05	3.38
C <sub>1</sub> 93A		35.01	38.96	50.60	46.65	3.95
La 90A		30.99	39.27	50.91	42.63	8.28
MEAN		29.95	36.56	48.32	41.58	6.61

**Tableau 32:** Valeurs PDI des pailles calculées à l'aide du modèle standard de l'INRA ( $\text{g.kg}^{-1}$  MS)

Ainsi calculée, la valeur PDIA des pailles traitées ou non s'élève à  $12\text{g.kg}^{-1}$  MS. Elle est très comparable à celle préconisée par L'INRA France ( $11\text{g.kg}^{-1}$  MS). Il en est de même pour les valeurs PDIN et PDIE pour la paille non traitée : respectivement 25 et  $45\text{g.kg}^{-1}$  MS contre 22 et 44g. Ces résultats sont logiques compte tenu de la teneur azotée très similaire des pailles algériennes et des pailles des pays du Nord.

Après traitement à l'ammoniac, tout à fait naturellement, la valeur PDIA n'est pas modifiée. Par contre, la valeur PDIN et PDIE progresse très fortement s'établissant à 41 et à  $48\text{g.kg}^{-1}$  MS en moyenne. Ces valeurs sont plus faibles respectivement de 7 et de 14 % comparativement aux valeurs préconisées par L'INRA France (44 et  $55\text{g.kg}^{-1}$  MS). La plus faible valeur PDIN de nos pailles s'explique logiquement par une teneur en MAT également plus faible de nos pailles.

La forte amplitude des valeurs observées pour les MAD, est également constatée pour la teneur en PDIMN (24 à  $35\text{g.kg}^{-1}$  MS). Ce dernier paramètre qui représente 30g en moyenne est identique à la teneur en MAD des pailles traitées en meule ( $30\text{g.kg}^{-1}$  MS); la dégradabilité de l'azote dans le rumen explique en effet une bonne part de la digestibilité de ce composant dans l'ensemble du tube digestif. En revanche, la valeur PDIME, indexée sur celle de la MOF est plus homogène (34 à  $40\text{g.kg}^{-1}$  MS) ; il en est de même de la valeur PDIE qui par ailleurs est en excès de seulement 7 g par rapport à PDIN. Le traitement à l'ammoniac a donc fait passer la différence PDIE-PDIN de 20 à 7g (tableau 32).

## DISCUSSION

Lorsque la valeur azotée de la paille est exprimée dans le système PDI, la teneur en azote est un facteur important car elle détermine la valeur PDIMN et le niveau de fermentescibilité de la matière organique dans le rumen lequel pour la paille détermine sa capacité à fournir des protéines microbiennes si l'azote et d'autres principes nutritionnels ne sont pas facteurs limitants. Dans ces conditions, nous discuterons dans cette partie, de la validité pour la paille des constantes des variables utilisées dans le modèle général de calcul de la valeur PDI des pailles.

#### La PADI/PANdgr

La lecture des modèles utilisés dans les différents pays (tableau 31), montre que les valeurs de digestibilité réelle des protéines des fourrages retenues dans leur système respectif sont comprises entre 67 et 84%. Depuis, des auteurs ont proposés des équations de calcul sur la base des taux de disparition *in sacco* (x):

$$\text{Hvelplund, (1985) : } Y = 0.99x - 12$$

$$\text{Yang, (1991) : } Y = 0.845x + 3$$

$$\text{Hvelplund et al, (1994) : } Y = 0.922x + 9$$

Appliquer à nos échantillons pour lesquels nous avons mesuré une dégradabilité de l'azote de 68% (tableau 21), les valeurs respectives de digestibilité réelle (dr) donnée par ces modèles sont de 56 ; 61 et 72%.

Pour L'INRA France, la moyenne est de 80%. Néanmoins, en fonction des sources de protéines, cette institution considère qu'elle peut varier entre 50 et 90%.

Devant cette forte amplitude possible de la dr des protéines des fourrages dans l'intestin, nous avons calculé directement sur animaux la valeur de la dr pour la paille. Pour cela, l'azote endogène a été récolté après distribution d'une ration protéoprive. Il ressort que les quantités totales d'azote endogène excrétées par nos ovins est de  $4.48\text{g} \cdot \text{kg}^{-1} \text{MSI}$  (avec  $3.3\text{g}$  pour la part fécale). Cette valeur est proche de celle donnée par la littérature :  $4.85\text{g}$ (INRA 1978). La digestibilité réelle des protéines de nos pailles qui en découle apparaît dans le tableau 33.

<b>pailles</b>	<b>TR 91</b>	<b>B89</b>	<b>B90</b>	<b>TT92</b>	<b>T188A</b>	<b>T88A</b>	<b>T288A</b>	<b>R89A</b>	<b>R189A</b>	<b>R289A</b>	<b>C193A</b>	<b>La90A</b>
<b>dr</b>	35.1	32.9	75.7	68.2	73.7	78.5	85.6	64.3	71.8	64.5	57.8	57.5
<b>Moy</b>	53.3				69.3							

**Tableau 33: Digestibilité réelle de l'azote des pailles (en %)**

Elle est de 53 et de 69 % respectivement pour les PNT et pour les PT au lieu de 80 % trouvé avec le modèle standard INRA France et la plupart des systèmes étrangers. Cette dr représente la part propre des protéines de la paille qui disparaît réellement dans le tube digestif (dont une partie a donné lieu à production de protéines microbiennes) et non la digestibilité réelle dans l'intestin des protéines alimentaires qui ont échappé à la dégradation microbienne dans le rumen y compris dans la conceptualisation des systèmes. Comme nous l'avons précédemment précisé, dans la paille, cette partie des protéines totales est faible et associée énergiquement aux composants de la paroi, leur digestibilité est donc faible. Nous adopterons néanmoins cette valeur de dr de 53% qui se situe dans la zone faible des dr données par l'INRA .

Dans ce travail, la progression de la  $dr$  observée pour la paille traitée est logique sur le plan arithmétique puisque l'azote fécal métabolique est considéré comme étant constant pour les deux catégories de pailles quelle que soit la teneur en azote de la paille et la quantité de matières azotées ingérées par l'animal. Elle pourrait également traduire, une mise à disponibilité plus élevée après traitement des protéines des pailles liées à la paroi. Cependant, elle n'a pas de signification nutritionnelle forte pour le calcul de la valeur PDIA, elle traduit en partie l'azote non dégradé en sachets, fixé (dont une part provient de l'azote du traitement) sur la paroi et qui disparaît dans l'intestin grêle comme l'ont montré à l'aide de sachets mobiles Laurent et al (1992). Cette quantité représente de l'azote non protéique sans valeur nutritionnelle dans l'intestin. La valeur PDIA de la paille traitée doit donc être ramenée à celle de la paille non traitée calculée à partir de la digestibilité réelle de ses protéines.

· PM/MOD

L'efficacité de la synthèse protéique peut s'exprimer soit par rapport à la matière organique fermentée dans le rumen (MOF) soit par rapport à la matière organique digérée dans l'ensemble du tube digestif (MOD). Les valeurs indiquées par les auteurs sont assez variables : Burroughs, 1975a ; Chalupa (1980a) ; ARC (1980), rapportent des valeurs respectives de 25.0g ; 15.0g et 20.0g de protéines microbiennes par 100g de MOF. Sur 142 travaux sur ovins répertoriés dans la littérature par Jarrige (1989) dont la consommation de MOF a varié entre 450 et 650  $g.j^{-1}$ , les valeurs de synthèse protéique ont varié entre 22 et 77g d'azote par Kg de MOF soit, 137.5 à 481.2g par Kg de MOF soit en moyenne 193.3g.

Pour permettre un rendement élevé de la synthèse protéique dans le rumen, certaines conditions doivent être remplies (Hvelplund 1991) :

- Milieu riche en éléments nutritifs facteurs limitants pour la croissance bactérienne ;
- Simultanéité de dégradation des glucides et des matières azotées ;
- Ingestion régulière de l'aliment ou cours de la journée ;
- pH favorable ;
- renouvellement rapide du contenu du rumen pour diminuer l'énergie de maintenance des bactéries et permettre l'ingestion de nouvelles parts.

On reconnaît aux fourrages verts feuillus, peu lignifiés, riches en protéines de remplir ces qualités. En revanche, ces conditions ne sont pas remplies avec des fourrages âgés lignifiés et pauvres en azote comme la paille.

Il n'existe pas à notre connaissance dans la littérature, des mesures de synthèse bactérienne dans le rumen avec des rations à base de pailles traitées à l'ammoniac. Néanmoins, Walter et al (1975) ont comparé chez le mouton la synthèse protéique générée par l'ingestion d'un foin de luzerne, d'un foin de blé et d'un mélange de foin de blé et de paille de blé dosant respectivement, 23.4 (dMO de 83.2 %) ; 10.0 et 6.9% (dMO de 62%) de MAT. La synthèse protéique microbienne a été respectivement de 194.0 ; 151.0 ; et 129.0  $g/Kg^{-1}$  de MOF dans le rumen. Cette dernière valeur est trouvée avec une ration proche d'une ration à base de pailles traitées à l'ammoniac.

Nous faisons le choix d'une valeur de 130g de protéines microbiennes par Kg de MOF au lieu des 145g utilisés dans le modèle standard de L'INRA France.

· PM/ MATdgr

La captation par les micro-organismes, de l'azote démobilisé dans le rumen à des fins de synthèse varie selon les systèmes de 80 à 100 % (tableau 31). Une faible captation malgré une démobilisation élevée de l'azote du fourrage suppose un passage de l'ammoniac à travers la paroi du rumen et un rejet dans les urines, ce phénomène étant favorisé par un pH au-dessus de 6.5. Ces aspects appliqués à nos rations de pailles traitées, ont abouti à deux constatations :

- l'azote bien que fortement démobilisé, n'est que peu utilisé par les bactéries puisque la digestibilité est faible;
- l'azote démobilisé non utilisé n'est pas rejeté dans les urines puisque, pour une augmentation de 23 % de l'azote ingéré, la part urinaire a augmenté de 12 % contre 49 % pour l'azote fécal.

Quelle est la part de l'azote démobilisée réellement utilisée par les bactéries ?

Pour la connaître, un traitement de la paille à l'ammoniac marqué puis mesure de l'azote marqué incorporé dans les protéines microbiennes aurait été souhaitable. Mais, une telle procédure, particulièrement onéreuse n'a pu être mise en place.

Il est néanmoins possible de modéliser le flux d'azote non ammoniacal arrivant dans le duodénum (Nd) par l'expression :

**N duodénum = N microbien + N alimentaire non dégradé dans le rumen + N endogène.**

Ou encore

$$\mathbf{Nd (g) = a \times MOF(Kg) + b \times NANdg (g) + c \times MOND (Kg) (20)}$$

avec :

Nd = flux d'azote duodécal non ammoniacal

MOF = matière organique fermentescible dans le rumen

NANdg = azote alimentaire non dégradé dans le rumen

MOND = matière organique non digestible

N endogène étant proportionnel à la quantité de matière organique non digestible ingérée (Brun-Bellut 1986).

Pour un tel modèle, Jarrige (1989), aboutit aux constantes suivantes :

$$a = 23.2; b = 1.11; c = 5.3$$

En introduisant dans le modèle, les caractéristiques de nos rations soit: MOFI et MONDI respective de 0.437 et 0.445 kg (annexe 6) l'équation devient :

$$\mathbf{Nd = 11.13 + 1.11 \text{ NANdg} (21)}$$

Dans le cas de nos pailles, si l'efficacité de la synthèse était de 145g de protéines microbiennes (base INRA France mais serait peu modifiée dans les autres systèmes) Nd devrait être de 157g de protéines (145 + 11.64 g de protéines paille non dégradées dans le rumen), soit 25.18 g d'azote.

Dans ces conditions :

$$\mathbf{25.18 = 11.13 + 1.11 \text{ NANdg} (22)}$$

NANdg = 12.66, en ramenant cette valeur à l'azote des pailles supports (tableau 21) soit, 11.36g on constate que l'azote alimentaire non dégradé est supérieur à l'azote alimentaire ingéré.

Il apparaît donc que le modèle (22) ne fonctionne pas pour des rations de pailles traitées supposées générer un niveau de synthèse de protéines microbiennes de 145 g. Kg<sup>-1</sup> de MOF.

En faisant tourner le modèle avec des valeurs plus faibles, ce qui paraît répondre aux caractéristiques alimentaires moins favorables des pailles, les résultats apparaissent dans le tableau 34)

Tableau 34: Pourcentage théorique de l'azote dégradé et utilisé (NAdgU) pour la synthèse microbienne

Nd (g)	NANdg (% Nt)	NAdgU (% Nt)	Synthèse g.Kg <sup>-1</sup> MOF	observations
25.18	-	-	145	Base INRA France
22.62	91	9	129	Base Walter (1975)
19.98	68	32	113	Niveau de
17.98	54	46	100	synthèse Supposé
15.98	38	62	88	plausible Avec des rations de pailles traitées

Nd : flux d'azote duodéal non ammoniacal ; NANdg : azote alimentaire non dégradé ; NAdgU : azote alimentaire dégradé théoriquement utilisé pour la synthèse bactérienne ; Nt : azote total des pailles supports

On constate que le pourcentage moyen d'azote utilisé par les micro-organismes pour des efficacités de synthèse comprises entre 129 g (mesurées pour des mélanges de paille et de foin de blé) et 88 g (niveau faible supposé pour la paille) est faible. Il est en moyenne de l'ordre de 47% (en négligeant la dégradabilité de 9% qui paraît peu pertinente). La captation de l'azote démobilisé serait donc de l'ordre de la moitié de la quantité démobilisée soit 24 g (données du tableau 21). Ce résultat, corrobore l'hypothèse d'une mauvaise utilisation de l'azote démobilisé dans le rumen qui ne serait pas de 90% dans le cas des pailles traitées à l'ammoniac.

Cette faible utilisation correspond à l'indisponibilité de l'azote du traitement consécutivement aux complexes qu'il forme avec les substances phénoliques comme nous l'avons précédemment discuté. Nous faisons le choix d'un taux de captation de 50%.

Tous les systèmes utilisent le modèle exponentiel d'Orskov et de Mc Donalds qui détermine les composants de la dégradabilité de l'azote dans le rumen. La dégradabilité théorique est obtenue en prenant en compte le taux de renouvellement des particules dans le rumen. Ce dernier paramètre est très variable ; il varie selon les aliments. Ainsi, pour Owens et Bergen (1983) il s'étale de 2 à 8.h<sup>-1</sup>. Les fourrages verts feuillus, peu lignifiés, riches en protéines ont le taux de renouvellement le plus rapide. Il n'existe pas dans la littérature, des valeurs propres à la paille. Néanmoins, les valeurs les plus faibles ont été observées avec des fourrages très riches en paille. NRC (2001) propose un modèle de calcul du taux de renouvellement basé sur la teneur en NDF, le taux de concentré dans la ration et les quantités de MS ingérées.

$$Kp = 3.62 + 0.479 X1 - 0.007 X2 - 0.017 X3 \quad (23)$$

Kp = taux de passage (%/h)

**X1: MSI en % PV**

X2: % de concentré dans la MSI

X3: % NDF du fourrage

Sur la base d'un poids vif moyen de nos animaux de 39kg (annexe 12), d'une quantité de MSI de 783g (Annexe 12) et d'une teneur en NDF des pailles de 79.40 % (tableau 17), le Kp particulier des pailles traitées est de  $4.35\%.h^{-1}$ .

Nous proposons en résumé dans le tableau 35, quelques constantes actualisées pour le calcul de la valeur azotée des pailles dans le système des PDI.

Variables	Constantes spécifiques pailles	Constantes modèle INRA France
TR (%/h)	4*	6
PM/ MATdg	0.50*	0.9
PM/MOF	0.13*	0.145
PMV/PM	0.80	0.80
PMVD/PMV	0.80	0.80
PMVD/PM	0.64	0.64
PADI/PANdg	0.53: PNT; 0.69: PT*	0.50-0.90

\* proposé pour la paille

TR (%/h) Taux de renouvellement ; PM/ MATdg : protéines microbiennes/ matières azotées totales dégradées ; PM/MOF : protéines microbiennes/ matière organique fermentescible dans le rumen ; PMV/PM : protéines microbiennes vraies/protéines microbiennes ; PMVD/PMV protéines microbiennes vraies digestibles/ protéines microbiennes vraies ; PADI/PANdg : protéines alimentaires digestibles dans l'intestin/protéines alimentaires non dégradées.

**Tableau 35:** Constantes proposées pour le calcul de la valeur azotée des pailles à l'aide du modèle INRA

En rapport avec les modifications de constantes du modèle standard INRA pour la paille, les valeurs PDI de nos pailles sont données dans le tableau 36.

	PDIA	PDIMH	PDIME	PDIE	PDIH	PDIE-PDIH
PNT						
B 89	7.6	6.0	25.1	32.7	13.6	19
B 90	8.1	6.0	33.0	41.1	14.1	27
La 90	9.9	6.1	32.1	42.0	16.0	26
TT 92	9.9	6.5	33.6	43.5	16.4	27
<b>Moyenne</b>	<b>8.9</b>	<b>6.2</b>	<b>30.9</b>	<b>39.8</b>	<b>15.1</b>	<b>25</b>
PT						
T <sub>1</sub> 88A	8.9	9.1	36.6	45.5	18.0	27
T 88A		11.3	35.5	44.4	19.2	25
T <sub>2</sub> 88A		12.6	35.7	44.6	21.5	23
R 89A		9.2	32.9	41.8	18.1	25
R <sub>1</sub> 89A		11.3	33.8	42.7	20.2	22
R <sub>2</sub> 89A		13.4	33.8	42.7	22.3	20
C <sub>1</sub> 93A		13.6	39.0	47.9	22.5	25
La 90A		14.8	39.3	48.2	23.7	24
<b>Moyenne</b>		<b>11.9</b>	<b>35.8</b>	<b>44.7</b>	<b>20.8</b>	<b>24</b>

**Tableau 36:** Valeur azotée des pailles algériennes traitées ou non traitées

Quant au tableau 37, il compare les valeurs PDI des pailles:

- obtenues de façon standard avec le modèle INRA ;
- avec le modèle INRA à partir des coefficients correctifs proposés ;
- données par les tables officielles de l'INRA ;
- obtenues avec le système nordique (AAT-PBV), l'Europe du Nord étant la région du monde de référence, où la paille est la plus utilisée dans l'alimentation des animaux à forte production.

		PDIA	PDIMN	PDIME	PDIE	PDIN	AAT**
<b>Table officielle INRA (1)</b>	PNT	11	11	33	44	22	-
	PT	11	33	44	55	44	-
<b>Modèle INRA standard avec nos pailles (2)</b>	PNT	12	13	34	46	25	-
	PT	12	30	37	49	42	-
<b>Modèle INRA avec nos pailles et coefficients modifiés (3)</b>	PNT	9	6	31	40	15	-
	PT	9	12	36	45	21	-
<b>Modèle Nordique AAT-PBV* (4)</b>	PNT	1.3	9	46	-	-	57
	PT	0.8	13	59	-	-	73

\* adapté aux composants du système PDI \*\* quantité d'AA vrais absorbés au niveau de l'intestin

**Tableau 37:** Comparaison de la valeur PDI diversement obtenue des pailles

Pour la PNT, la valeur PDIA de (2) est inférieure de 18% à celle proposée par les tables INRA. Cette différence s'explique par l'application d'une dr de 53% au lieu de 90% ; il en est de même de la valeur PDIMN (-54%) résultant d'une captation à des fin de synthèse microbienne dans le rumen, plus faible de l'azote dégradé (50% au lieu de 90%). En revanche pour la valeur PDIME, les valeurs sont comparables (31 contre 33g par Kg de MS).

Traitée à l'ammoniac, la valeur PDIMN est multipliée par deux, passant de 13g par Kg de MS à 30g (2) la même évolution est observée pour les valeurs proposées par les tables INRA (1).

Après les modifications de certaines constantes du modèle INRA, les valeurs obtenues (3) sont nettement inférieures à celles exposées en (1) et en (2) consécutivement à une teneur en azote plus faible de nos pailles à l'application d'un taux de captation plus faible et à l'application d'une dr de 53%. La valeur PDIME est également plus faible par suite de l'utilisation d'un PM/MOF de 0.13 au lieu de 0.145.

Quelles que soient les déclinaisons des valeurs PDI (1) ; (2) et (3) présentées pour la paille traitée ou pas, le système AAT accepte des valeurs azotées très élevées pour la paille en validant fortement sa valeur énergétique comparativement au système PDI (PM/MOF de 0.165 contre 0.145 et 0.130). Ainsi, le potentiel azoté de la PNT et de la PT est respectivement de 57 et de 73g d'AAT contre 44 et 55 pour (1) ; 46 et 49g pour (2) et 40 et 45g/Kg MS pour (3).



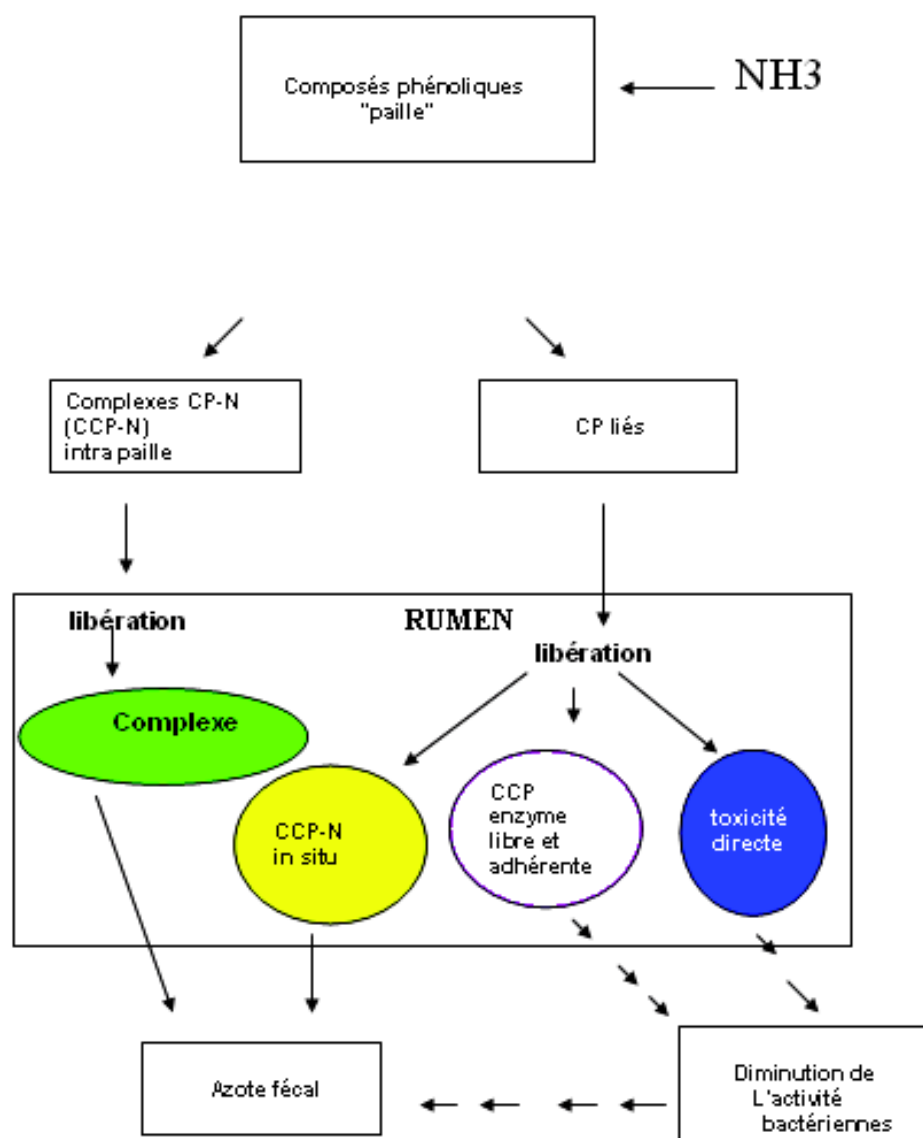
La valeur azotée réelle des pailles, notamment traitées à l'ammoniac est manifestement plus faible que celle préconisée par les tables officielles ceci pour plusieurs raisons :

1. En toute logique, quel que soit le système considéré, un modèle standard de calcul est toujours inadapté pour les fourrages extrêmes comme la paille ;
2. La teneur en azote de nos pailles est plus faible que celle des pailles étrangères (7% contre 10%) ;
3. La non-prise en compte des caractéristiques propres de la paille traitée à l'ammoniac. Ces caractéristiques peuvent être déclinées en plusieurs points :
  - Lorsque la paille est traitée à l'ammoniac, l'apport supplémentaire d'azote dans le rumen et l'action chimique sur la trame ligno-cellulosique améliore la digestibilité de la matière organique mais le taux d'ammoniac dans le milieu semblerait insuffisant pour assurer une activité microbienne optimale dans le rumen ;
  - Dans les dix jours qui suivent le début du traitement, l'augmentation de la température de la masse à 50-60 C°, les condensations d'eau qui s'en suivent et l'existence d'un pH élevé de l'ordre de 8-9, créent des conditions propices à des réactions chimiques entre les composants de la paille et l'ammoniac. Outre les sels d'ammonium et des amides (Waagepetersen et Vestergaard Thomsen 1977), des réactions entre composés phénoliques et amides et entre composés phénoliques et des ions NH<sub>4</sub><sup>+</sup> ont lieu.

Leur effet sur l'augmentation de l'azote fécal peut être schématisé comme présentés par la figure 22.

Il ressort :

- Une dimension de toxicité propre des acides phénoliques qui en diminuant l'activité des micro-organismes diminue du même coup la dégradation de l'azote. Dans ce compartiment, l'ApC serait plus actif ;
- Une dimension de «complexation» de l'azote dans le rumen (alimentaire et enzymatique) qui a deux conséquences : en premier lieu, en rendant une partie de l'azote indisponible aux micro-organismes, elle contribue à diminuer le taux d'ammoniac dans le milieu et par là même l'activité microbienne et en second lieu, les complexes emprisonnant l'azote étant indigestibles, sont rejetés dans les fèces.

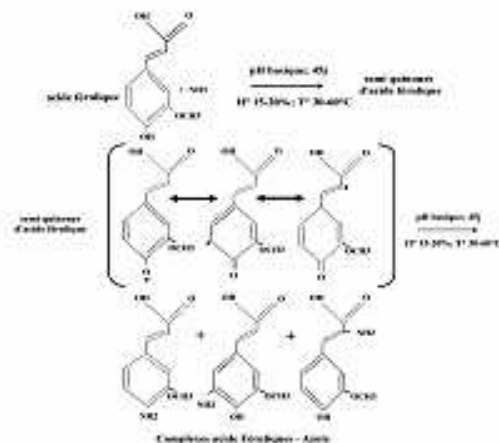


**Figure 22:** Hypothèses d'actions des acides phénoliques sur l'augmentation de l'azote fécal

En prenant comme modèle l'acide férulique, les réactions pourraient répondre aux combinaisons suivantes : l'acide férulique en milieu de pH fortement basique, s'oxyderait donnant des semi quinones chimiquement très instables et très réactives (ce sont des agents oxydants très puissants qui réagissent de façon non-enzymatique). La molécule d'acide férulique par phénomènes de résonance, présenterait alors 3 sites de liaisons (•) : au niveau des carbones 4; 5 et 7. Cette réaction serait suivie d'une substitution nucléophile avec des composés azotés notamment ceux formés à la suite du traitement à l'ammoniac, des protéines ou des groupements thiols (Hurrel et al, 1982). Les schémas probables de ces formations de complexes sont donnés en figure 23.

**Figure 23:** Hypothèse de formations des complexes azote-composés phénoliques à la suite d'un traitement de la paille à l'ammoniac

**Figure 23:** Hypothèse de formations des complexes azote-composés phénoliques à la suite d'un traitement de la paille à l'ammoniac



**Figure 23:** Hypothèse de formations des complexes azote-composés phénoliques à la suite d'un traitement de la paille à l'ammoniac

Le même modèle pourrait s'appliquer pour l'acide coumarique. Néanmoins, l'acide férulique, plus labile mais moins toxique directement serait plus sujet à "complexation"; jouant probablement un rôle plus important dans la faible digestibilité de l'azote.

L'indisponibilité de l'azote est bien démontrée dans la rémanence de l'ammoniac observée *in vitro*; tout comme le gaspillage d'azote noté puisque, il faut plus de concentré dans les régimes PT que dans les régimes PNT pour une même rétention azotée : équations (4) et (10)

La formation de ces complexes à liaisons covalentes C-N à forte énergie, serait irréversible. Près de la moitié de l'azote du traitement démobilisé dans le rumen, participerait à la formation de ces complexes, l'autre moitié étant captée par les micro-organismes pour leur synthèse (soit environ 24g.Kg<sup>-1</sup>MS). Cette situation explique la faible valeur PDIMN de la paille traitée alors mêmes, que le traitement avait pour principal objectif d'améliorer ce paramètre. Théoriquement, compte tenu d'une teneur en azote de nos pailles de 7%, d'une dtN de 70%, que 50% de l'azote démobilisé est emprisonné dans des complexes et qu'enfin, la digestibilité de la matière organique n'est pas sensiblement modifiée lorsque la teneur en azote de la paille traitée passe de 7 à 10% ( tableau 17 et annexe 12), on peut penser que la capacité de combinaison des acides phénoliques avec l'azote de la paille traitée est d'environ 25% de MAT et que tout apport supplémentaire profitera directement aux micro-organismes du rumen. Ainsi, porter la teneur en azote de la paille à 10% améliorerait l'apport en azote fermentescible de 20g par Kg de MS.

Le traitement à l'ammoniac, n'améliorerait donc pas totalement dans les conditions algériennes, le statut azoté de la paille tant par la teneur en azote que de la nature des régimes dans lesquels elle est servie. La quantité de matières azotées fermentescibles à

apporter pour combler le déficit en azote est la même que pour la PNT (environ 16 g d'urée). Dans ces conditions, les gains de PDI ne sont que de 5g et ne semblent pas justifiés un traitement.

La teneur faible en MAT des pailles algériennes amplifie ces phénomènes. La mise en œuvre de l'équation (8) montre que pour atteindre un niveau de digestibilité de l'azote de la paille seule de 50%, une teneur en azote de la paille, de 10%, est nécessaire.

Il est donc souhaitable que la teneur en azote des pailles traitées à l'ammoniac en Algérie soit portée à 10-11% de la MS si l'on veut que le bénéfice du traitement soit correctement validé. Néanmoins, dans les systèmes alimentaires où les régimes sont riches en azote, c'est la capacité énergétique de la paille qui lui confère son statut azoté, par exemple, 73g d'AAT dans le système nordique

---

# CONCLUSION GENERALE

La paille en Algérie constitue un fourrage à part entière qui recèle un potentiel en énergie fourragère de 1 milliard d'UF. Cette quantité peut être augmentée de 20% si la paille est traitée à l'ammoniac. Il y a trentaines d'années, cette technique avait suscité beaucoup d'intérêts dans le monde. Car, outre l'amélioration de la valeur énergétique, la teneur en azotée était substantiellement augmentée.

Malheureusement, bien que cette teneur en matière azotée passe de 3 à 10% de la MS, la digestibilité de cet azote n'était que de 40% environ alors que l'on pouvait en espérer plus de 60%. Sur pailles algériennes, nous avons voulu vérifier ces résultats et comprendre le déterminisme de cette faible valeur azotée en étudiant deux facteurs de causalité : la labilité de l'azote apporté par le traitement et fixé sur la paille et le rôle des acides phénoliques sur l'utilisation de l'azote.

Comme pour les pailles étrangères, la digestibilité de l'azote des pailles algériennes traitées à l'ammoniac est faible : 35% de la matière sèche. La mesure de la fixation de l'azote par la méthode de Van-Soest ou en rumen a montré que l'azote fixé est démobilité à hauteur de 70%. Ce facteur n'est donc pas impliqué dans la faible digestibilité de l'azote; cependant, la part fixée sur les composés pariétaux est d'autant plus élevée que la teneur en azote de la paille est faible. Des pailles dosant 7% de MAT fixent de façon irréversible sur les composés pariétaux, 21 % de l'azote apporté par le traitement alors que ce pourcentage n'est que de 11% pour une paille dosant 10% de MAT. De même, la digestibilité passe de 35 à 53% lorsque les mêmes variations de teneur en azote sont observées. Il y a donc un intérêt zootechnique à augmenter la teneur en MAT de nos pailles.

Concernant le rôle des acides phénoliques dans cette faible digestibilité, nous avons noté que sur les 52 pailles traitées ou non traitées analysées, leur teneur en ces acides (principalement acides coumarique et férulique et la vanilline) pouvait atteindre  $9\text{g.Kg}^{-1}$  de MS. Cette teneur diminue sous l'action du traitement à l'ammoniac surtout si ce dernier est effectué à la température de  $35^{\circ}\text{C}$ . Cette diminution pourrait générer des produits d'oxydation qui seraient d'autant plus importante dans le milieu que les conditions de traitements sont rendues drastiques par l'augmentation de la dose d'ammoniac et de la température.

L'action de ces acides sur l'utilisation de l'azote par les micro-organismes peut être montrée à plusieurs niveaux.

- Par la toxicité directe mise en évidence par une diminution significative de la synthèse protéique en présence d'un extrait de paille traitée, l'acide coumarique serait plus toxique que l'acide férulique ;
- Par une plus faible dégradabilité de l'azote en présence de ces substances ;
- Par des complexes qu'ils forment avec l'azote du traitement le rendant indisponible. La formation de ces complexes est favorisée par une faible température de traitement. Environ 50% de l'azote démobilité serait sous cette forme et donc rejetés dans les fèces.

Ces caractéristiques de la paille traitée font que les valeurs azotées publiées dans les tables sont surestimées pour plusieurs raisons :

- Le taux de renouvellement dans le rumen, des particules des rations à base de pailles traitées serait de l'ordre de 4 % au lieu des  $6\% \cdot h^{-1}$  utilisé dans les modèles standards de calcul de la valeur azotée des pailles ;
- La captation de l'azote démobilisé serait de l'ordre de 40 à 50% au lieu des 90% communément admis ;
- Les quantités de protéines microbiennes synthétisées par 100 g de MOF seraient plus proches de 12-13g dans les meilleures conditions que de 14.5g ;
- La digestibilité de l'azote natif de la paille serait de 53 % au lieu de 90% communément accepté.

Dans ces conditions, la valeur PDIE et PDIN des pailles étudiées pour une teneur en MAT de 7% sont respectivement de 45 et de  $21g \cdot Kg^{-1}$  MS. Elle serait de l'ordre de 50 et de  $35g \cdot Kg \cdot MS^{-1}$  si la teneur en MAT était de 10%.

Sur le plan zootechnique, notre travail suggère de porter la teneur en azote de la paille à 10-11% de la MS pour mieux valider le bénéfice du traitement à l'ammoniac et de privilégier le traitement en été qui minimalise les formations HC et LG. Cette action pourrait être complétée par l'analyse économique de rations mettant en œuvre des pailles traitées à l'ammoniac afin de choisir dans le contexte algérien les plus appropriées.

---

# REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ANDREWS RP, ESCUDER-VOLONTE J, CURRAN MK, HOLMS W**, The influence of supplements of energy and protein on the intake and performance of cattle fed on cereal straws. *Animal.Prod.*15, (1972) 167-176.
- AKIN D E**, Attack on lignified grass cell walls by facultative anaerobic bacterium *Applied and Environmental Microbiology*. 40 (1980) 809-820.
- AKIN D E**, Forage cell wall degradation and p-coumaric, ferulic and sinapic acids *Agron.J.*74 (1982) 424-442.
- AKIN DE,WILLEMSE MTM,BARTON FE** , Histochemical reactions, autofluorescence ,and rumen microbial degradation of tissues in untreated and delignified bermudagrass stems *Crop.Sci.*25, (1985) 901-905.
- ANDRIEU J, DEMARQUILLY C**, Composition et valeur alimentaire des foin et des pailles.In “ les fourrages secs : récolte, traitement, utilisation ”Ed ; INRA publications, route de St Cyr, 78000 Versailles (1978).
- AOAC**, Official methods of analysis (12<sup>th</sup> Ed). Association Of Official Analytical Chemists, Washington, DC, USA (1975).
- ATASOGLU C, guliye ay , WALLACE RJ**, Use deletion approach to assess the amino acid requirements for optimum fermentation by mixed micro-organisms from the sheep rumen. *Anim. Sci*, 76 (2003) 318-329.
- ARC**, The nutrient requirement of ruminant livestock. *Suppl.1. Agric. Res. Council*, (1984) 45p.
- ARGYLE TL, BALDWIN RL**, Effects of amino acids and peptides on rumen microbial growth yields. *J. Dairy. Sc*, 72 (1989) 2017-2027.
- ARTHINGTON JD, PATE FM, SPEARS JW**, Effect of copper source and level on performance and copper status of cattle consuming molasse-based supplements. *J. Anim. Sci*, 76 (2003) 1357-1362.
- AUFRERE J, CARTAILER D**, Mise au point d'une méthode de laboratoire de précision de la dégradabilité des protéines alimentaires des aliments concentrés dans le rumen. *Ann .Zootech*, 37(1989) 255-270.
- AZUMA J, NOMURA T, KOSHIJIMA T**, Lignin-carbohydrate complexes containing phenolic acid isolated from the culms of bamboo.*Agric.Biol.Chem.*49, (1985) 2661-2669
- BENAHMED H, DULPHY JP**, Note sur la valeur azotée de fourrages pauvres traités par l'urée ou par l'ammoniac, *Ann. Zootech*. 34 (1985) 335-346.
- BEREKOULOU M**, Influence de quelques facteurs climatiques sur le développement, la composition et la valeur nutritive de 2 graminés en vert. Thèse de doctorat. ENSAM (1986).

- BESLE JM, CORNU A, JOUANY JP**, Roles of structural phenylpropanoids in forage cell wall digestion, *J. Sci. Food. Agric*, 64 (1994) 171-190.
- BESLE J M, JOUANY JP**, la biomasse pariétale des fourrages et sa valorisation par les herbivores. *INRA. Prod. Anim*; 3 (1) (1990) 39-50.
- BHATIA SD, BRADWAN K**, Ruminal ammonia and its assimilation to microbial protein as influenced by nitrogen and carbohydrate inputs. A review, *Indian.J.Dairy.Sci.* 33(1980) 149-160.
- BHULLAR SS, JENNER CF**, Responses to brief periods of elevated temperature in ears and grains of wheat. *A .J. Plant physiol.* 10(1983), 549-560.
- BLAXTER KL, WILSON RS**, The voluntary intake of roughages by steer. *Anim. Prod.* 4 (1962) 351.
- BORHAMI BEA, SUNDSTOL F**, Studies on ammonia treated straw: 1-the effect of the type and level of ammonia, moisture content and time on the digestibility in vitro and enzyme soluble organic matter of oat straw. *Anim. Feed. Sci. Technol.*1(1983), 45-51.
- BORNEMAN WS, AKIN DE , VANESELTINE W P**, Effet of phenolic monomers on ruminal bacteria, *Appl. Environ. Microbiol.* 52 (1986) 1331-1339.
- BOUTONNET JP**, La spéculation ovine en Algérie : un produit clef de la céréaliculture. *INRA. ENSA Montpellier. Série Notes et documents N° 90*, 58p (1989).
- BURRITT EA, BUTNER AS, STREET JC, ANDERSON MJ**, Corrélations of phenolic acids and xylose content of cell wall with in- vitro dry matter digestibility of three maturing grasses. *J.Dairy.Sci.*67, (1984) 1209-1213.
- BUXTON DR, RUSSELL JR**, Lignin constituents and cell wall digestibility of grass and légume stems. *Crop.Sci.*28, (1988) 553-558.
- BRUN-BELLUT S**, Détermination des besoins azotés de la chèvre en lactation ; Thèse de doctorat d'état ; *INPL-ENSAIA*, (1986) 180p.
- CHABACA R**, Valeur azotée des pailles traitées à l'ammoniac ou à l'urée impact de la fixation de l'azote et des teneurs en substances phénoliques, Thèse de magister. *INA. El-Harrach*, (1993) 60 p.
- CHABACA R, LARWENCE A, PAYNOT M, TISSERAND JL**, Effet de diverses conditions de traitement à l'ammoniac d'une paille de blé sur les teneurs en acides p-coumarique et férulique sur la dégradabilité de l'azote mesurée in situ, *Ann. Zootech.* 49 (2000) 29-38.
- CHABACA R, TRIKI S, LARWENCE A, PAYNOT M, TISSERAND JL**: Effect of ammonia treatment conditions of wheat straw on organic matter degradation measured in situ and by the gas test method, *Anim. Res.* 51 (2002) 217-225.
- CHALUPA W**, Digestive Physiology and Metabolism in Ruminant. In : *RUCKEBUSH Y, THIVEND P* MTP Press Ltd , Lancaster ,(1980 a)325-348.
- CHARLET-LEVY G**, Methode for determination of digestibility coefficients of feed for ruminant. *Commission on animal nutrition; report N° 1*(1969); 33 p
- CHAVES CM, MOORE JE, MOYE HA, OCUMPAUGH WR**, Séparation, identification and quantification of lignin saponification products extrated from digitgrass and their relation to forage quality. *J.Anim.Sci.*54, (1982) 206-219.
- CHELLIG R**, Races ovines Algériennes. 2<sup>eme</sup> édition. Eds OPU. Alger. (1992) 80p.



- CHENOST M, DULPHY JP**, Amélioration de la valeur alimentaire (composition, digestibilité, ingestibilité) des mauvais foin et des pailles par différents traitements, in DEMARQUILLY C( Ed ), Les fourrages secs : Récolte, traitement et utilisation INRA Paris 1987 pp. 199-230.
- CHERMITI A**, Utilisation des pailles de céréales traitées à l'ammoniac et à l'urée par différentes espèces de ruminant dans les pays d'Afrique du Nord .Thèse de Doctorat en sciences agronomiques.Louvain-la-Neuve, 214p(1994).
- CHERNEY DJR , CHERNEY JH, PATTERSON JA, AXTELL JD**, In vitro ruminal fiber digestion as influenced by phénolic-carbohydrates complexe released from sorghum cell-wall. Anim.Sci.Technol(1992) 39,79-93.
- CHESNUT AB, FAHEY GC, BERGER LL, SPEARS JW.**, Effects of sulphur fertilisation on composition and digestion of phenolic compounds in tall fescue and orchardgrass J. Anim. Sci. 63(1986) 1926-1934.
- CHESSON A**, Effects of sodium hydroxide on cereal straws in relation to the enhanced degradation of structural polysaccharides by rumen microorganisms. J. Sci. Food. Agric. 32(1981) 745-758.
- CHESSON A**, Holistic approach to plant cell wall structure and degradation.In :Fibre in Human and Animal Nutrition, eds Wallace G and Bell L, Royal Society of New Zealand, Wellington, New Zealand, (1982) 85-93.
- CHESSON A**, Mechanistic models of forages cell wall degradation In :Forage cell wall structure and digestibility, eds JUNG HG,BUXTON DR,HATFIELD RD and RALPH. S .American Society of Agronomy, Madison, WT, USA, (1993) 347-376.
- CHESSON A, GORDON AH, LOMAX JA**, Methylation analysis of mesophyll epidermis and fibre cell-wall isolated from the leaves of perennial and Italian Ryegrass. Carbohydr. Res. 141 (1985) 137-147.
- CHESSON A, forsberg cw, GRENET E**, Improving the digestion of plant cell walls and fibrous feed in recent developments in the nutrition of herbivores. Ed. INRA.(1995) 62p.
- CHESSON A, STEWART CS, WALLACE RJ**, Influence of plant phenolic acids on growth and cellulolytic activity of rumen bacteria. Appl.Environ.Microbiol.44, (1982) 597-603.
- CHESSON A, ORSKOV ER**, Microbial degradation in the digestive tract. In :Straws and other fibrous by-products as feed SUNDSTOL F and OWEN E (eds) Elsevier Scientific Publishers, Amsterdam, (1984) 305-339.
- CIHEAM**, Utilisation des pailles dans l'alimentation des ruminants dans la zone méditerranéenne. Rapport final C.R n°TS2A-0250-M(CD), (1993).
- CHOMYSZIN MA, ZIOLECKA A**, Utilisation of ammoniated feeds in ruminant nutrition.In: Tracer studies on non protein nitrogen for ruminants, IAEA-FAO, Vienna (1972)153-161.
- COLUCCI PE, FALK D, MACLEOD GK, GRIEVE DG**, In situ organic matter degradability of untreated and urea treated varieties of spring barley and oat straws and of untreated varieties of winter wheat straws. Anim.Feed.Sci.Technol.37, (1992) 73-84.

- CONCIALINI V, LIPPOLIS MT, GALLETI GC, PICCAGLIA R**, Electrochemical Approches to the oxidative degradation of lignins and lignocellulosic materials. In :Physiochemical characterisation of plant residues for industrial and feed use. Ed .Chesson et Orskov (1989).
- CONWAY EJ**, Microdiffusion analysis and volumetric error.5<sup>e</sup> éd. Crosby Lockwood, London (1962)
- CORDESSE R**, Amélioration de la valeur nutritive des pailles par les traitements chimiques. Thèse de docteur ingénieur. ENSAA Montpellier (1981) 94p.
- COTTYN B.G ; de BOEVER J L; VANACKER JM**, In vivo digestibility measurement of straw. I evaluation of straw in ruminant feeding. CHENOST M and REINIGER P ed (1987), p 36-46 Elsevier London.
- COXWORTH E, KERNAN J, KNIPFEL O, THORLACIUS L, CROWLE L**, Crop residues and forages in western Canada, potential for feed use either with or without chemical or physical process. Agric. Environm. 6(1981) 245-256.
- DEINUM B**, Influence of some climatological factors on the chemical composition and feeding value of herbage. In: Proceeding of the Xth Intern.Congress, (1966) 415-418.
- DEINUM B, VANES AJH, VAN SOEST PJ**, Climate, nitrogen and grass.II. The influence of light intensity, temperature and nitrogen on in vivo digestibilité of grass and the prediction of these effects from some chemical procedures. Neth. J. Agric. Sci.16 (1968), 217-223.
- DECHARD , HARTLEY RD**, In: Studies on ammonia treatment of wheat straw: effet of level ammonia, moisture content, treatment time and temperature on straw composition and degradation in the rumen of sheep. Anim. Feed .Sci. Technol. 29 (1985) 251-264.
- DEMARQUILLY C**, Les matières azotées des plantes fourragères. Le sélectionneur Français 27 (1986) 25-38.
- DEMARQUILLY C, CHENOST M, Etude de la digestion des fourrages dans le rumen par la méthode des sachets de nylon, liaison avec la valeur alimentaire. Ann. Zootech. 18 (1969) 419-436.
- DIAS DA SILVA A,GUEDES CVM**, Variability in the nutritive value of straw cultivars of wheat, rye and triticale and response to treatment temperature. Anim.Feed.Sci.Technol.28, (1990) 79-89.
- DOYLE PT, CHANPONGSANG S**, The feeding value of cereal straws for sheep. II. Rice straw. Anim. Feed. Sci. Technol. 29 (1990) 15-28.
- DRYDEN G Mc L, KEMPTON T L**, Digestion of organic matter and nitrogen in ammoniated barley . Feed. Sci. Technol. 10 (1983) 65-75.
- DU YC, KAWAMITSU Y, NOSE A, HIYANE S, MURAYAMA S, WASANO K, UCHIDA Y**, Effect of water stress on carbone exchange rate and activities of photosynthetic enzymes in leaves of sugarcane (*Saccharum sp*). Aust. J. Plant. Physiol. 23(1998) 719-726.
- DULPHY, JP**, Valeur alimentaire des pailles traitées ou non. BTI, ( 1979) 341-348 PI, BOV. OVI, 339; 3/9- 336.

- DULPHY JP, BONY J**, Influence de la nature de l'aliment complémentaire sur les performances des génisses recevant la paille. Bull. Tech. CRZV Theix. INRA. France, 52 (1983) 37-41.
- DULPHY JP, KOMAR P, ZWAENPOEL P**, Effets comparés des traitements à l'ammoniac et à la soude sur la valeur alimentaire des fourrages pauvres. Ann. Zootech. 33(1984) 321-342.
- DULPHY JP, BRETON J, bienaime a, louyot jm**, Etude de la valeur alimentaire des pailles de céréales traitées ou non à la soude. 1. Influence du traitement à la soude. Ann. Zootech. 31 (1987) 195-214.
- DURAND M, KAWASHIMA R**, Influence of minerals in rumen microbial digestion. in Digestive physiology and metabolism in ruminants. Ed. Ruckebusch and Thivend. MTP press limited (1979) 375-408.
- DURAND M**, Conditions for optimising cellulolytic in the rumen. In evaluation of straw in ruminant feeding. CHENOST M and REINIGER P ed. ELSEVIER Applied Science (1987) 182p.
- EL BASYOUNI SZ, CHEN D, IBRAHIM RK, NEISH AC, TOWERS GHN**, The biosynthesis of hydroxybenzoic acids in higher plants. Phytochemistry. 3 (1964) 485-492.
- ERFLE JD, BOILA RJ, TEATHER RM, MAHADEVEN S, sauer fd**, Effect of pH on fermentation characteristics and protein degradation by rumen micro-organisms in vitro. J. Dairy. Sci. 65 (1982) 1457-1464.
- EUGENE M, ARCHIMEDE H, MICHALET-DOREAU B, FONTY G**, Effect of defaunation and microbial activities in the rumen of rams consuming a mixed diet (fresh *Digitaria dicumens* grass and concentrate). Anim. Res 53 (2004) 187-200.
- EUGENE M, ARCHIMEDE H, WEISBECKER JL, periacarpin f, SAMINADIN F, SAUVANT D**, Effect of defaunation on digestion and growth in sheep receiving a mixed diet (fresh *Digitaria dicumens* grass and concentrate). Anim. Res 53 (2004) 111-125.
- FALCONNIER B, LAPIERRE C, LESAGE-MEESSEN L, YONNET G, BRUNERIE P, COLONNA-CECCALDI B, CORRIEU G ASTHER M**, Vanillin as a product of ferulic acid biotransformation by the white-rot fungus *Pycnoporus cinnabarinus* I-937: Identification of metabolic pathways. Journal of biotechnology. 37(1994) 123-132.
- FAVERDIN P, M'HAMED D, RICO-GOMEZ M, VERITE R**, La nutrition azotée, influence de l'ingestion chez la vache laitière. INRA. Prod Anim. 16 (2003) 27-37.
- FEIST WC, baker aj, TARKOW H**, Alkali requirements for improving the digestibility of hardwoods by rumen micro-organisms. J. Anim. Sci 30 (1970) 832-835.
- FLACHOWSKY G, TIROKE K, SHEIN G**, Botanical fraction of straw of 51 cereal varieties and in sacco degradability of various fractions. Anim. Feed. Sci. Technol. 34. (1991) 279-289
- FORD CW, WILSON JR**, Changes in levels of solutes during osmotic adjustment to water stress in leaves of four tropical pasture species. Aust. J. Plant. Physiol. 8 (1981) 77-91.
- FREDERIKSEN JH**, Method studies relating to digestibility trials with ruminants. Acta Agric. Scand. 23 (1973), 17-33.

- GRENET E, BESLE JM**, Microbes and fibre degradation in rumen microbial metabolism and ruminant digestion Ed JOUANY JP, INRA ed. Paris (1991) 107-129.
- GABRIELSEN BC, VOGEL KP, ANDERSON BE, WARD JK**, Alkali labile cell wall phenolic and forage quality in switchgrass selected for differing digestibility, *Crop.Sci.* 30 (1990) 1313-1320.
- GAILLARD BDW, RICHARDS GN**, Presence of soluble lignin-carbohydrate complexes in the bovine rumen. *Carbohydrate Res.* 42(1975) 135.
- GALLETTI GC, PICCAGLIA V, CONCIALINI M T, LIPPOLI S**, Determination of phenolic compounds from Lignocellulosic byproducts by HPLC with electrochemical detector. in: CHESSON A., and ORSKOV E.R. (Eds), *Physico-chemical characterisation of plant residues for industrial and feed use.* CEE, (1988) 131-139.
- GARRET WN, WALKER HC, KHOLER CO, HART M**, Response of ruminants to a diet containing sodium hydroxide or ammonia treated rice straw. *J. Anim. Sci.* 48 (1979) 92-103.
- GASNER AY, VACHEL JP**, Recherche sur la méthode de mesure de digestibilité d'un aliment, conditions d'emploi de cette méthode. *Ann. Zootech.* 1 (1952).
- GIGER S, SAUVANT D**, Etude des facteurs de variation de l'excrétion azotée fécale chez la chèvre. IV Symp. Int. Met. et Nutr. Azotes. Ed. INRA. Publ. II (1983).
- GOERING HK, VAN SOEST PJ**, Forage fiber analyses. *Agricultural Handbook*, 379, Agricultural Research Service, USA (1970)
- GORDON AH, LOMAX JA, DALGARNO K, CHESSON A**, Preparation and composition of mesophylle, epidermis and fibre cell walls from leaves of perenni ryegrass (*Lolium perenne*) and italian ryegrass (*Lolium multiflorum*). *J.Sci. Food. Agric.* 36, (1985) 509-519.
- GORDON AH, CHESSON A**, The effect of prolonged storage on the digestibility and nitrogen content of ammonia treated barley straw, *Anim. feed Sci. Te8* (1983) 147-153.
- GRAHAM H, AMAN P, MAGUIRE MH**, Influence of anhydrous ammonia treatment on the composition and degradation of components of barley Straw, *Ir. J. Agric. Res.* 24 (1985) 33-37.
- GROSS –FALCONNIER B**, Production de molécules aromatisantes par des basidiomycètes : études d'une biosynthèse et d'une bioconversion réalisées par *Pycnoporus cinnabarinus*. Thèse, Université Paris-Sud, Centre d'Orsay ; 1658 (1991).
- GUILLERMIN P, CORDESSE R, DULPHY JP**, Préviation de la digestibilité des pailles et des foins de graminées traités ou non à l'ammoniac à partir de mesures de laboratoire. *Ann.Zootech.* 37, (1988) 43-56.
- HADJKADDOUR A**, Valeur azotée des pailles de blé traitées à l'ammoniac : fixation de l'azote sur les composées pariétaux, effet du stockage et de la nature du complément. Thèse de Magister. INA. El harrach. 57p.
- HAGEGE D, KEVERS C, BOUCHARD DJ, GASPAR T**, Activités péroxidasiques, production d'éthylène, lignification et limitation de croissance chez *Suaeda maritima* cultivé en l'absence de NaCl. *Plant. Physiol. Biochem.* 26 (5), (1988) 609-614.

- HARRISSON DG, Mc ALLAN AB**, Factors affecting microbial growth yields in the reticulo-rumen in Digestion physiology and metabolism in ruminants Ed. RUCKEBUSCH and THIVEND. MTP press limited (1979) 205-227.
- HARTLEY RD**, p-Coumaric and ferulic acid components of cell walls of ryegrass and their relationships with lignin and digestibility. *J.Sci. Food Agric.*23, (1972)1347-1354.
- HARTLEY RD**, Chimie des produits végétaux lignocellulosiques et procédés non microbiens pour augmenter leur valeur nutritive chez les ruminants. In : Meilleure utilisation des matériaux lignocellulosiques dans l'alimentation animale. OCDE.Paris,10-30 (1985).
- HARTLEY RD, JONES EC**, Effect of aqueous ammonia and other alkali on the in vitro digestibility of barley straw. *J.Sci. Food.Agric.*29, (1978) 92-98.
- HARTLEY RD, WHATLEY FR, HARRIS PS**, 4,4-Dihydroxy-truxillic acid as a component of cell walls of *Lolium multiflorum*. *Phytochemistry* .27(1988) 349-351.
- HASSEN L, CHENOST M**, Tentative explanation of the abnormally high faecal nitrogen excretion with poor quality roughages treated with ammonia, *Anim. Feed. Sci. Technol.* 38 (1992) 25-34.
- HE L, TERASHIMA N**, Formation and structure of lignin monocotyledons. I. Selective labeling. of the structural unit of lignin in rice plant (*Oryza sativa*) with <sup>3</sup>H and visualization of their distribution in the tissue by microautoradiography. *Mokuzai Gakkaishi* .35, (1989) 116-122.
- HE L, TERASHIMA N**, Formation and structure of lignin in monocotyledons. IV deposition process and structural diversity of the lignin in the cell wall of sugarcane and rice plant studied by ultraviolet microscopic spectroscopy. *Holzforschung.*45, (1991) 191-198.
- HENNEBERG (1859), cité par :VAN SOEST JP, Mc QUEEN RW**, in: The chemistry and estimation of fibre. *Proc. Nutr. Soc.* 32 (1973) 132.
- HERERA SALDANA R, CHURCH DC , KELLEMS RD** , The effect of ammonia treatment on intake and nutritive value of wheat straw. *J. Anim. Sci.* 54 (1982) 603-608.
- HOBSON ON**, The rumen microbial ecosystem. Academic press, ( 1988). 641p New York.
- HOUMANI M .**, Valorisation des pailles Algériennes par traitement technologique dans l'alimentation du cheptel. Thèse de doctorat d'état. Université de Blida, (1999)155p.
- HUANG BK, CHANG CS**, Plant reponse to change in light intensity and air temperature transaction of ASAE. (1974) 826-829.
- HVELPLUND T**, digestibility of rumen microbial protein and undegraded protein estimated in the small intestine of sheep and by in sacco procedure. *Acta Agric Scand (suppl.)* 25 (1985) 132-144.
- HVELPLUND T; WEISBJERG MR, ANDERSEN LS**, Estimation of digestibility of rumen undegraded dietary protein in the small intestine of ruminants by the mobile bag technique. *Acta Agric Scand; sECT; A*, 42 (1991) 34-39.
- HVELPLUND T**, Protein evaluation of treated straw In: Evaluation of the straws in ruminant feeding, CHENOST M and REINIGER P. (eds). Elsevier Applied Science (1987), University Press, Cambridge, GT. BRITAIN 182p.

- HVELPUND T** , Volatile fatty acids and protein production in the rumen. In : rumen microbial metabolism and ruminant digestion ; JP. Jouany. Edi. INRA. Ed. Paris (1991) 165-178.
- INRA** , Alimentation des ruminants. Ed; INRA (1978), 597p . Versailles .
- INRA** ., Alimentation des bovins, ovins et caprins. Ed. INRA, route de St Cyr, (1988) 472 p. Versailles.
- IYAMA K, LAM T BS, STONE BA**, Phenolic acids bridges between polysaccharides and lignin in wheat internodes , *Phytochemistry*. 29 (1990) 733-737.
- INRP** <http://www.inrp.fr/ Acces/biotic/morpho/paroi/.htm> (2002) consultation 23/06/04
- JACKSON MG**, Review article :The alkali treatment of straws. *Anim.Feed. Sci. Technol.*2, (1977) 105-130.
- JARRIGE R**, Ingestion et digestion des aliments. In: alimentation des ovins, bovins et caprins (ed) INRA. Route de saint Cyr. 78000.Versaille (1989) 29-56.
- JOUANY JP**, Etude des traitements permettant d'améliorer la valeur alimentaire des fourrages pauvres. *Bull. Tech. CRZV. Theix. INRA*. 21 (1975) 5-15.
- JOURNET M**, Urease activity and its regulation in the rumen contents of animal given NPN compounds . *Xth int Congr. Nutr. kyoto. Japan* (1975) 20p.
- JUNG HG** , Inhibition of structural carbohydrate fermentation by forage phenolics. *J. Sci.Food. Agric*, 36, (1985) 74- 80.
- JUNG HG**, Forage lignins and their effects on fiber digestibility, *Agron. J.* 81 (1989) 33-38.
- JUNG HG,FAHEY GC**, Interactions among phenolic monomers and in vitro fermentation. *J.Dairy.Sci.*66, (1983) 1255-1262.
- JUNG HG, VALDEZ F, HATFIELD RD, BLANCHETTE RA**, Cell wall composition and degradability of forage stems following chemical and biological de lignification *J. Sci. Food.Agric.*58, (1992) 347-355.
- JUNG HG, BUXTON DR**, Forage quality variation among maize inbreds : Relationships of cell wall composition and in-vitro degradability for stem internode. *J.Sci.Food Agric.*66, (1994) 313-322.
- KANDYLIS K, nikokyris pn**, Relationship between nitrogen solubility and in situ protein degradability in ruminant feedstuffs. *J. Sci. Food . Agric.* 75,(1997) 205-211.
- KERNAN JA, COXWORTH EC**, The nutritive value of crop residue components from wheat cultivars grown at different fertilizer levels .*Anim. Feed. Sci. Technol.* 11(1984) 301-311.
- KOMISARCZUK S, GAUDET G, HANNEQUART G, FONTY G, DURAND M** , Effet d'une subcarence en phosphore sur divers paramètres de l'activité cellulolytique de bacteroides succinogènes . *Journées herbivores. Paris* (1988).
- KOMPRDA T, ZELENKA J, TVRZNIK P, NEDBALKOVA M**, Variability sources of crude protein and organic matter degradability values measured in situ for testing the dependence of nutritive value of lucerne on the stage of maturity, *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr* 70 (1993) 190-195.

- KOMPRDA T, FRANTISEK J, STOHANDLOVA M, EDLTYN J**, In Situ disappearance and content of p-coumaric and ferulic acid in lucerne from various vegetative stages, *Anim. Feed Sci. Technol.* 67 (1997) 141-150.
- KONDO T, OHSHITA T, KYUMA T**, Comparison of characteristics of soluble lignins from untreated and ammonia-treated wheat straw, *Anim. Feed. Sci. Technol.* 39 (1992) 253-563.
- KONDO T, OHSHITA T, KYUMA T**, Comparison of phenolic acids in lignin fractions from forage grasses before and after digestion by sheep, *Anim. Feed Sci. Technol.* 47 (1994) 277-285.
- KRISTENSEN ES, MOLLER PD, HVELPLUND T**, Estimation of the effective protein degradability in the rumen of cows using the nylon bag technique combined with the outflow rate. *Acta Agric Scand* . 32(1982) 123-127.
- KUMARESAN A**, Interaction entre le zinc et les micro-organismes du rumen chez le mouton recevant de l'urée comme source unique d'azote. Thèse des Universités .Toulouse (1976) 87p.
- KUNG L, TREACHER RJ, NAUMAN GA, SMAGALA AM**, The effect of treating forages with fibrolytic enzymes an in vitro nutritive value and lactation performance of dairy cows. *J. Dairy Sci.* 83 (2000) 115-122.
- LAM TBT, IYAMA K, STONE BA**, Lignin in wheat internodes. Part 2 :Alkaline nitrobenzene oxidation by wheat straw lignin and its fractions. *J.Sci. Food. Agric* 51, (1990 b) 493-506.
- LAPIERRE C** ,Heterogéinité des lignine de peuplier : mise en évidence systématique. Thèse de Doctorat d'état .Université de PARIS sud.(1986).
- LAURENT F, blanchard g, VIGNON B** , Influence des traitements à l'ammoniac sur la composition chimique de la paille de blé et son utilisation par les ruminants. *Bull . ENSAA*, 24 (1982).
- LAURENT F, HASNA J, VIGNON B**, Mesure par la méthode des sachets mobiles du taux de disparition de la matière sèche et de l'azote des contenus intestinaux chez des chèvres recevant des pailles traitées chimiquement, *Ann. Zootech.* 41 (1992) 25-26.
- LARWENCE A**, Recherche sur les facteurs limitants de la faible valeur nutritive des marcs de raisins pour le ruminant : procédés d'amélioration. Thèse de doctorat d'état és sciences. Université de Dijon (1983) 248p.
- LARWENCE A**, Valeur alimentaire des marcs de raisins: VI: Extraction, fractionnement et quantification des tanins condensés. *Ann .Zootech.* 40 (1991) 143-151.
- LAWLOR MJ, O'SHEA J**, The effect of ammonia on the intake and nutritive value of straw. *Anm.Feed.Sci.Technol.* 4, (1979) 169-175.
- LENG**, Factors affecting the utilization of poor quality forages by ruminants particularly unrer tropical conditions. *Nutrition Research Reviews.* 3 (1990) 277-303.
- LEROY et ZETLER** (1955) cités par LARWENCE (1983) in Recherche sur les facteurs limitants de la faible valeur nutritive des marcs de raisins pour le ruminant : procédés d'amélioration. Thèse de doctorat d'état és sciences. Université de Dijon (1983) 248p.

- LOWRY JB, SUMPTER E A, Mc SWEENEY CS, SCHLINK AC, BOWDEN B**, Phenolic acids in the fibre of some tropical grasses; effect on feed quality and their metabolism by sheep, *Aust. J. Agric. Res.* 44 (1993) 1123-1133.
- MADSEN J ; HVELPLUND T** , Protein degradation in the ruminant. A comparaison between *in vivo*, nylon bag, *in vitro* and buffer measurements. *Acta. Agric. Scand.* 25 (1985) 103-124.
- MAP**, Ministère de l'agriculture et de la pêche; statistiques des productions animales. Serie B (2001).
- MAP**, Ministère de l'agriculture et de la pêche; statistiques agricoles. Serie B ( superficie et productions). (2002).
- MARINI JC, VAN AMBURGH ME**, Nitrogen metabolism and recycling in Holstein heifers. *J. Anim. Sci.* 81 (2003) 545-552.
- MARTIN S A, AKIN D E**, Effect of phenolic monomers on the growth and #-glucosidase activity of *Bacteroides ruminicola* and on the carboxymethylcellulase, #-glucosidase and xylanase activity of *bacteroides succinogènes*, *Appl. Environ. Microbiol.* 54 (1988) 3019-3022.
- MARTIN TANGUY J, GUILLAUME J, KOSSA A**, Condensed tannins in horses bean seeds; chemical structure and apparent effect on poultry. *J. Sci. Feed. Agric.* 28 (1977) 757.
- MARVIN HJP, KRECHTING CF, VAN LOO EN, SNIJDERS CHA, DOLSTRA O**, Relationship between stalk-cell wall digestibility and fibre composition in maize. *J. Sci. Food. Agric.* 69, (1995) 215-222
- MARVIN HJP, KRECHTING CF, VAN LOO EN, SNIJDERS CHA, LOMMEN A, DOLSTRA O**, Relationship between phenolic acids formed during rumen degradation of maize samples and *in vitro* digestibility. *J. Sci. Food. Agric.* 71, (1996) 111-118.
- MARVIN HJP, CORNELIS FK, EIBERTUS NL, CHARLES HAS, LOMMEN A, DOLSTRA O**, Relationship between phenolic acids formed during rumen degradation of maize samples and *in vitro* digestibility, *J. Sci. Food . Agric.* 71 (1996) 111-118.
- MASON VC, COOK JE, COOPER EM. HOADLEY CJ, COCKBURN JE**, Oven and stack ammoniation of grass hays. 2-Voluntary intake, digestibility and faecal nitrogen excretion in sheep in relation to hay composition, *Anim. Feed Sci. Technol.* 24 (1984) 313.326.
- MASON VC, DHANOA MS, HARTLEY RD**, Relationship between chemical composition digestibility *in vitro* and cell wall degradability of wheat straw treated with different amounts of ammonia and water at elevated temperature, *Anim. Feed Sci. Technol.* 27 (1990) 293- 306.
- Mc BURNEY MI, VAN SOEST JP**, Laboratory methods for estimation of digestibility and chemical and physical properties of fibrous forages. In :OCDE Workshop. Paris. (1984).
- Mc DOUGALL**, Study on ruminant saliva. *Biochem. J.* 43 (1948) 99p.
- Mc GAVIN MJ, FORSBERG CW**, Purification and characterisation of an endoglucanase from *bacteroides succinogenes*. *Proc. Amer. Soc. microbiol.* 15 (1987) 7-10.



- MEHREZ, AZ, ORSKOV, ER**, A study of the artificial fibre bag technique for determining the digestibility of feeds in the rumen. *J. Agric. Sci. Camb.* 88; (1977) 645.
- MESCHY F**, contribution à l'étude de la valorisation des pailles de céréales. Thèse de Docteur-ingénieur. Université de Dijon, (1983) 98 p.
- MICHALET-DOREAU B, VERITE R, CHAPOUTOTR**, Méthodologie de mesure de la dégradabilité in sacco de l'azote des aliments dans le rumen, *Bull. Tech. C.R.Z.V. Theix I.N.R.A.* 69 (1987) 5-7.
- MICHALET-DOREAU B, GUEDES CVM**, Influence du traitement des fourrages à l'ammoniac sur leur dégradabilité dans le rumen, *Ann. Zootech.* 38 (1989), 259-268.
- MICHALET-DOREAU B, AUFRERE J**, Nouvelles méthodes d'estimation de la valeur alimentaire des fourrages.1. Dégradabilité in sacco, *Fourrages* 122 (1990) 189-201.
- MICHALET-DOREAU B, NOZIERE P**, Intérêt et limite de l'utilisation de la technique des sachets en Nylon pour l'étude de la digestion ruminale. *INRA. Prod. Anim.* 12(3), (1999) 195-206.
- MORRISSON JM**, A semi-micro methode for the determination of lignine and its use in predicting the digestibility of fourrage crops. *J. Sci. Food. Agric.* 23 (1974) 455-467.
- MORRISSON JM**, Activity of two lignin biosyntheses enzymes during development of a maize internode. *J. Sci. Food. Agric.* 65 (1994) 133-139.
- MULLIS LA, SPEARS JW, mc CRAW RL**, effects of breed (angus vs Simanental) and copper and zinc source on mineral status of steers fed high dietary iron. *J. Anim. Sci.* 81 (2003) 318-322.
- NICHOLSON JWC**, Digestibility, nutritive value and feed intake. In: F. SUNDSTOL and E. OWENS ( Editors), *Straw and others fibrous by products as feeds*. Elsevier, Amsterdam (1984) 340-372.
- NIKOLAEVA LI**, Ammonium hydroxyde treatment of straw. *Chem.Abstr.* 35 (1938) 817
- NRC**, National Research Council. United states canadian tables of feed composition. National academy press. Washington, DC, (1986) 178-210.
- NRC**, National Research Council. United states Canadian tables of feed composition. National academy press, Washington, DC, (2001).
- NSAHLAI IV, SIAW DEKA, UHUNNA NN**, inter-relationships between chemical constituents Rumen Dry Mater and Nitrogen degradability in fresh leaves of multipurpose trees. *J. Sc. Food Agric.*, (1995) 69; 235-246.
- OH HI, HOFF JE**, Fractionation of grape tannins by affinity chromatography and partial characterization of the fractions. *J. Food. Sci.* 44 (1980) 87-97.
- OJI UI, MOWAT DN, WINCH JE**, Alkali treatment of corn stover to increase nutritive value. *J. Anim. Sci.* 44 (1977) 798-802.
- ORSKOV ER, Mc DONALD D I**, The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighted according to rate of passage, *J. Agric. Sci. Camb.* 92 (1979) 499-503.
- ORSKOV ER, REID GW, KAY M**, Prediction of intake of cattle from degradation characteristics of roughages, *Anim. Prod.* 46 (1988) 29-34.

- OWENS FN; BERGEN W**, nitrogen metabolism of ruminant animals, historical perspective, current understanding and future implication. *J. Anim. Sci.* 57 (1983) 498-517.
- PAN J, SUZUKI T, KOIKES S, VEDA K, KOBAYASHI Y, TANAKA K, OKUBO M**, *Animal. Feed Science and TECHNOLOGY.* 104 (2003) 13-27.
- PALMER FG**, The feeding value of straw to ruminants. *ADAS Q.Rev.*21 (1976) 220-234.
- PEARCE GR, LEE JA, SIMPSON RG. DOYLE PT**, Source of variation in the nutritive value of wheat and rice straw in: JD Reed., BS Capper and JH Neat (editors), *Proceedings of a workshop on plant breeding and the nutritive value of the crop residues*, ILCA, Addis Ababa, Ethiopia (1987) 195-221.
- PERDOK et al** (1988) , Cités par LENG, Factors affecting the utilization of poor quality forages by ruminants particularly under tropical conditions. *Nutrition Research Reviews.* 3 (1990) 277-303.
- POLLE A, OTTER T, SEIFERT F**, Apoplastic peroxidases and lignification in needles of norway spruce (*Picea abies* L) .*Plant .Physiol.* 106 (1994) 53-60.
- QUIN JI, VAN DER WATH JG, MYBURGH S**, Studies on the alimentary canal of Merino sheep in South Africa 4.Description of the experimental technique. *Onderstepoort.J Vet .Sci . Anim.Ind.*, 11(1938) 341-600.
- RAMANA DBV, sultan sing, solanki kr**, Effect on anti-nutritional constituents on in sacco degradability of DM and CP in some multipurpose tree species. *Indian Journal of Animal Science.* 73 (2003) 823-833.
- RAMIHONE B**, Facteurs limitants la fermentation dans le rumen des pailles de céréales (à petits grains) traitées à l'ammoniac anhydres. Thèse de Doctorat, Université des sciences et techniques du Languedoc, Montpellier, (1987) 85p.
- Rapport Annuel du CIHEAM.** Projet STD pailles, n° TS 2A- 0250-M (CD) (1992) 32.
- RIBEIRO JM**, Rapport final du CIHEAM. Projet STD pailles, n° TS 2A- 0250-M (CD) (1993) .
- RUSSEL JB**, Factors influencing competition and composition of the rumen bacterial flora. In *Herbivores nutrition in the subtropics and tropics.* Ed. FMC. South Africa (1984) 313-345.
- SAID AN, SUNDSTOL F, TUBEI K, musinba nkr, ndegwa afc**, Use of the by products for ruminant feeding in Kenya. In: *By product utilization for animal production.* Kiflewahid, Potts and Drysdale (Editors). Ottawa, Canada (1982).
- SAMPATH KT, WOOD CD, PRASAD CS**, Effect of urea and by-products on the in vitro fermentation of untreated and urea treated finger millet (*Eleusine coracana*) straw , *J. Sci. Food Agric.* 67 (1995) 323-328.
- SATTER LD, SLYTER LL**, Effect of ammonia concentration on rumen microbial protein production in vitro. *British journal of nutrition .* 32 (1974) 194-208.
- SCALBERT A, MONTIES B, LALLEMAND IV, GUITTET E, ROLONDO C**, Ether linkage between phenolic acids and lignin fraction from wheat straw *Phytochemistry.*24, (1985) 1359-1362.

- SHEN H SH, SUNDSTOOL, F NI, DB**, Studies on untreated and urea-treated rice straw gram three cultivations seasons 2. evolution of straw quality through in vitro gas production and in sacco degradation measurements. *Anim. Feed Sci. Technol.* 74 (1998) 193-212.
- SILVA AT, ORSKOV ER**, Effect of unmolassed sugar beet pulp on the rate of straw degradation in the rumen of sheep given barley straw. *Proc .Nutr. Soc.* 44 (1985) 50A.
- SMITH RH**, Minerals and rumen fonction. In : nuclear techniques in tropical animal diseases and nutritional disorders. International Atomic Agency. Vienna. Austria. (1984) 79-96.
- SMITH RH**, rotein metabolism in the rumen. In *Advanced Nutrition for developing Countrys* .SING ed. India. (1989) 158-177.
- SNIFFEN CJ**, Nitrogen utilization as related to solubility of NPN an protein in feeds. *Proc. Cornell. Nutr. Conf. Feed. Manuf. Cornell Univ, Ithaco, Ny*, (1974) 12p.
- SNIFFEN CJ, HOOVER WH, JUNKINS LL, CROOKER BA** , The soluble protein content and its value in ruminant feeding. *Feestuffs.* 52 (20) (1980) 25-27.
- SOLEIMAN SG, HORN GW, OWENS FN**, Ammonia hydroxyde treatment of wheat sraw. *J. Anim .Sci.*49 (3) (1979) 802-808.
- STEVANI J, BEAUMARTIN Ph, DUMAY Ch, HANNEQUART G, DURAND M**, Etude en fermenteur semi-continu de l'influence de sulfate sur la degradation des constituants pariétaux d'une paille non traitée ou traitée à la soude. *Journées herbivores.* Paris (1988).
- STEWART CJ**, Factors affecting the cellulolytic activity of rumen contents. *Appl. Env Microbial.* 33 (1977) 497-502.
- SUNDSTOL F, COXWORTH EM, MOWAT DN**, Improving the nutritive value of straw and other low quality roughages by treatment with ammonia, *World. Anim. Rev. FAO*, 26 (1978) 13-21.
- SUNDSTOL F, COXWORTH EM**, Ammonia treatment. In *straw and other Fibrous by-products as feed*, SUNDTOL F and OWEN E (Editors) Elsevier Scientific publishers, Amsterdam, the Netherlands, (1984) 196-247.
- SUNDSTOL F, OWEN E**, Straw and other fibrous by-products as feed, development. In :*Animal and veterinary science*, Elsevier Scientific publishers, Amsterdam, the Netherlands, (1984) 604p.
- SUSMEL P, GUESSOUS F**, Variability of composition and nutritive value of straw. *Contrat de recherche N°TS2A-0250-MCCD.CIHEAM*, (1993)108p. S-PLUS STATISTICS ,4-5<sup>e</sup> ed, Tokyo 1998.
- TARKOW H , FEIST WC, A** mecanism for improving digestibility of lignocellulosic materials with dilute alkali and liquid ammonia: cellulose and their applications. in: Gould RF (Editor). *Advances in chemistry series* (1969) 95p.
- TELLER E, GODEAU JM**, Some observations about the efficiency of bacterial protein synthesis in the rumen of cattle. *J. Anim. Sci.* 67 (1988) 2802-2809.

- THEANDER O, UDEN P, AMAN P**, Acetyl and phenolic acid substituents intimacy of different maturity and after digestion with rumen microorganisms or a commercial cellulase. *Agri and Environ*,6, (1981) 127-133.
- THEANDER O, AMAN P**, Anatomical and chemical characteristics in straw and other fibrous by-products as feed. Eds SUNDSTOL F; OWEN E (1984) 45-78 Elsevier Amsterdam
- THERIEZ M, BOULE G**, Valeur alimentaire du tourteau d'olive. *Ann. Zootech.* 19 (1970) 143.
- TILLEY JMA, TERRY RA**, A two stage technique for the "in vitro" digestion of forage crops. *J. Br. Grass. Ed. Soc;* (1963) 18: 104.
- TISSERAND JL**, Les fourrages pauvres; cours ENESAA. Dijon (1989) 25p.
- TRIKI S**, Etude comparative de l'efficacité de deux méthodes de traitement de la paille de blé à l'ammoniac: essai d'introduction dans l'alimentation des génisses en croissance. Thèse de Magister. INA. El harrach (1988) 114p.
- TRIKI S**, Recherche sur les besoins en énergie et en azote des ovins Algériens de race Ouled Djellal : validation zootechnique. Thèse de doctorat d'état INA. El harrach (2003) 100p.
- TUAH AK, LUFADJEU E, ORSKOV ER, BLACKETT GA**, Rumen degradation of straw.1. Untreated and ammonia-treated barley straw oat and wheat straw varieties and triticale straw. *Anim. Prod.*43, (1986) 261-269.
- VAN DER HONING Y, alerman g**, Feed evaluation and nutritional requirements. 2. Ruminant. *Livest. Prod. Sci.* 19(1988) 217-278.
- VAN SOEST PJ**, Use of detergents in the analysis of fibrous feeds II a rapid method for the determination of fiber and lignin, *J. AOAC.* 46 (1963) 829-835.
- VAN SOEST JP, MASCARENHA S, FERREIRA A, HARTLEY RD**, Chemical properties of fibre in relation to nutritive quality of ammonia treated forages. *Anim. Feed. Sci Technol*, 10 (1984) 155-164.
- VAN SOEST JP**, Nutritional ecology of the ruminant. comstock publishing associates (division Cornell University press).Ithaca, NY, USA (1987).
- VAN SOEST PJ, MASON VC**, The influence of the Maillard reaction upon the nutritive value of fibrous feeds, *Anim. Feed Sci. Technol.* 32 (1991) 45-53..
- VAN SOEST JP, WINE RH**, Use of detergent in the analysis of fibrous feed. IV. Determination of plant cell constituents *J. Assoc. of Agric. Chem.*50, (1967) 50-55
- VAREL VM, JUNG HJ**, Influence of forage phenolic on ruminal fibrolytic bacteria and in vitro fiber degradation, *Appl. Environ. Microbiol.* 52 (1986) 275- 280
- VARVIKKO T, LINDBERG JE**, Estimation of microbial nitrogen in nylon bag residues by feed 15N dilution. *Br. J. Nutr.* 54 (1985) 473-481.
- VERITE R, DEMARQUILLY C**, La vache laitière. Ed. INRA. 78000. Versailles (1981) 154-155.
- VERITE R, MICHALET-DOREAU B, CHAPOUTOT P, PEYRAUD JL, PONCET C**, Révision du système des protéines digestibles dans l'intestin (PDI), *Bull. Tech. CRZV.* 70 (1987) 19-34.

- 
- WAAGEPETERSEN J, VESTERGAARD THOMSEN K**, Effect on digestibility and nitrogen content of barley straw of different ammonia treatments. *Anim Feed . Sci. Technol.* 2 (1977) 131-142.
- WAISS AC , GUGGOLZ J, KOHLER GO, WALKER HG, GARRET WN**, Improving digestibility of straws for ruminant feed by aqueous ammonia. *J. Anim. Sci.* 35(1979) 109-112.
- WALLACE RJ, COTTA MA**, Metabolism of nitrogen-containing compounds in : The rumen microbial ecosystem. Ed .HOBSON PN. Elsevier Applied Science (1988) 217-249.
- WALTER DJ, EGAN AR, NADER CJ, ULYATT MJ, STORER GB**, Rumen microbial protein synthesis proportion and non-microbial nitrogen flowing to the intestine of sheep. *Aust. J . Agric. Res.* 26 (1975).
- WANG Y, spratling bm, ZOBELL DR, WIEDMEIER RD, Mc ALLISTER TA**, Effect of alkali pretreatment of wheat straw on the efficacy of exogenous fibrolytic enzymes. *J. Anim. Sci.* 82 (2004) 198-208.
- WILSON JR**, Temperature effects on anatomy and digestibility of leaf and stem of tropical and temperate forage species. *Neth. J. Agric. Science.* 39 (1991) 31-48.
- WILSON JR, HATFIELD RD**, Structural and chemical changes of cell wall types during stem development: Consequences for fibre degradation by rumen microflora *Aust. J. Agric. Res.* 48 (1997) 165-180.
- WILSON JR, MERTEMS DR**, Cell wall accessibility and cell structure limitation to microbial digestion of forage. *Crop. Sci.* 35 (1995) 251-259.
- WOHLT JE, SNIFFEN CJ, HOOVER WH, J.** *Dairy. Sci.* 56 (1973) 1052-1057.
- XANDE A**, Valeur alimentaire des pailles de céréales chez Le mouton .II. Influence de l'espèce ,de la variété et du séjour au sol avant le ramassage sur la valeur alimentaire des pailles de céréales.*Ann.Zootech.*27 (1978) 601-616.
- YANG WZ**, Etude cinétique de la colonisation microbienne des aliments dans le rumen du mouton. Conséquences sur la compartimentation de la biomasse et sur sa dynamique de sortie du rumen dans le cas de différents types de rations, Thèse de doctorat, Univ. De Clermont-Ferrand, 391p
- YAN T, AGNEW RE** , Prediction of nutritive values in grass silages : II. Degradability of nitrogen and dry matter using digestibility, chemical composition and fermentation. *J. Anim. Sci.* 82 (2004) 1380-1391.
- YOCEF E, BENGUEDALIA D**, Changes in the alkaline-labile phenolic compounds of wheat straw cell walls as affected by SO<sub>2</sub> treatment and passage through the gastro-intestine of sheep.*Anim.Feed Sci.Technol.*83 (2000)115-126.

## ANNEXES

### Annexe 1 : Composition chimique des pierres à lécher (ONAB).

Macroéléments en (%)		Oligo-éléments (en mg / kg)	
calcium	12,9	Zinc	480
phosphore	8,1	Soufre	580
chlorure de sodium	29,5	Sélénium	1
magnésium	2,6	Fer	300
-	-	Iode	5
-	-	Cuivre	40
-	-	Cobalt	2

### Annexe 2 : Composition chimique du régime des animaux donneurs de jus

Aliments	MS (%)	en % de MS					
		MO	MAT	CB	NDF	ADF	ADL
Foin de luzerne-dactyle	92.8	91.2	14.2	35.8	59.7	40.4	7.5
concentré	89.9	94.0	15.4	12.2	ND	ND	ND

ND= non déterminé

**Annexe 3 : Composition de la solution mère de salive artificielle Mc Dougall (en g/l. Cette solution est ajustée à 5l, par de l'eau distillée, et saturée en CO<sub>2</sub> jusqu'à un pH de 7.**

KCl 2.85	NaCl 2.35
Mg Cl <sub>2</sub> 0.30	Ca Cl <sub>2</sub> 0.29
Na H CO <sub>3</sub> 49.00	Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> -12H <sub>2</sub> O 23.1

#### **Annexe 4 : Solution d'oligo-éléments, d'après Kumaresan(1978), en mg/l**

Mn 6.15	I 0.014
Fe 5.75	Mo 0.007
Zn 3.0	Se 0.006
Cu 0.55	-

#### **Annexe 5 : Obtention de la farine de pomme de terre**

1kg de pomme de terre est coupé en lamelle et laissée à tremper pendant 24h au réfrigérateur dans de l'eau que l'on renouvelle trois fois.

Les pommes de terre sont ensuite égouttées, séchées à l'étuve pendant 24h ; elles sont alors broyées à l'aide d'un broyeur à marteaux à la grille de 0.8mm.

#### **Annexe 6: Détail de calcul des PDI**

Valeur azotée chez Ovis ariès des pailles de *Triticum durum* traitées ou non à l'ammoniac:

Pailles	mod(g/ kgMS)	MOF(g/ kgMS)	NNDS x 6.25g/ kgMS)	MOND(g/ kgMS)	60x MOND(g/ kgMS)	PANDI(g/ kgMS)	MAND(g/ kgMS)	dr (en %)
B 89	356.2	322.9	13.2	573.3	34.4	2.8	46.6	80.5
B 90	455.2	421.8	13.4	460.7	27.6	2.9	42.7	80.6
La 90	453.0	411.9	21.0	456.7	27.4	4.5	43.8	80.5
TT 92	471.5	431.2	20.3	454.8	27.3	4.4	44.1	80.5
T1 88A	497.5	458.6	18.9	425.5	25.5	4.1	42.9	80.5
T 88A	504.8	457.0	27.7	416.4	27.4	6.0	45.4	80.6
T2 88A	507.5	460.0	27.6	410.3	24.6	6.0	43.9	80.5
R 89A	468.4	430.0	18.4	468.4	28.1	4.0	44.5	80.5
R1 89A	480.8	439.0	21.8	463.8	27.8	4.7	45.2	80.6
R2 89A	486.5	439.1	27.4	452.7	27.2	5.9	45.8	80.6
C1 93A	545.4	489.3	36.1	377.5	22.6	7.8	44.6	80.6
La 90A	539.9	489.6	30.3	383.0	23.0	6.4	43.7	80.6

## Annexe 7 : Valeur alimentaire des régimes de pailles non traitées

pailles	dmort (%)	dmops (%)	MSIrt(g/j)	MSIps (g/ j)	p 0.75	NArt	NApr
L 84	56.50	50.80	1151	1061.9	22.31	1.16	0.97
L1 84	56.40	50.10	837.7	745.6	19.09	0.98	0.83
L2 84	55.20	49.90	945.3	856.2	18.86	1.11	0.82
Le 1 85	52.60	48.30	904.9	815.1	19.09	0.99	0.83
Le 2 85	58.00	47.10	858.4	768.7	18.17	1.21	0.79
T 88	51.90	48.40	1173.7	1084.2	22.08	1.11	0.96
B 89	50.10	44.20	1095.5	1005.9	20.24	1.08	0.88
R 89	52.10	47.10	1234.3	1144.7	22.77	1.15	0.99
HK 88	54.50	50.00	867.9	778.6	19.32	0.97	0.84
B 90	52.70	49.80	1173.3	1084.3	22.31	1.11	0.97
BS 90	51.90	48.80	1133.3	1044.2	21.62	1.09	0.94
La 90	53.90	50.90	1162.5	1072.9	22.54	1.12	0.98
TR 91	53.20	49.20	1205.1	1026.9	21.62	1.19	0.94
TT 92	50.90	50.90	901.9	901.9	19.78	0.94	0.94
C1 93	44.20	39.30	1221.0	1131.4	20.24	1.06	0.88
De 94	54.90	50.80	903.4	722.8	18.63	1.09	0.81
N1 95	55.30	50.70	868.2	687.6	17.02	1.13	0.74
N2 95	53.20	49.30	865.1	684.9	18.40	1.02	0.82
Moyenne	53.19	48.32	876.6	771.17	20.23	1.08	0.88

## Annexe 8 : Bilan azoté des régimes de PNT



Pailles	NI(g)	N fèces(g)	N urines(g)	NR (g)	NRg / NIg
L 84	8.3	3.5	2.1	2.8	33.1
L1 84	8.5	4.7	1.1	2.7	31.7
L2 84	8.5	5.2	1.2	2.0	23.8
Le 85	8.3	4.0	1.6	2.6	31.7
Le2 85	14.5	5.6	4.9	4.0	27.2
B 89	8.8	9.2	2.5	-2.8	-32.4
HK 89	6.5	4.0	1.6	0.9	13.8
B 90	16.2	6.6	6.5	2.5	15.2
BS 90	12.9	6.5	5.5	0.2	1.7
La 90	8.8	9.2	2.4	-2.8	-32.1
TR 91	13.1	8.4	4.0	0.7	5.3
TT 92	4.4	4.7	2.5	-2.8	-17.1
C1 93	13.0	6.5	5.5	0.2	1.7
De 94	15.5	6.6	5.6	3.2	0.2
N1 95	9.4	4.7	2.1	2.6	0.3
N2 95	8.2	3.9	1.7	2.6	0.3
Minimum	4.4	3.5	1.1	-2.8	-32.4
1 quartile	8.3	4.5	1.7	0.2	0.3
Mean	10.3	5.8	3.2	1.2	11.6
Median	8.8	5.4	2.4	2.3	3.5
3 quartile	13.0	6.6	5.1	2.6	24.7
Maximum	16.2	09/2/11	6.5	4.0	33.1
STD	3.41	1.85	1.83	2.23	20.91

## Annexe 9 : Cinétique de dégradation de l'azote en rumen ( en % deMS).

Valeur azotée chez Ovis ariès des pailles de *Triticum durum* traitées ou non à l'ammoniac:

Pailles	2 h	4 h	8 h	16 h	24 h	48 h
PT 1	21.76 ± 0.9	48.2 ± 4.3	65.4 ± 3.1	78.64 ± 1.1	84.3±0.05	86.2 ±2.0
PT 2	28.09 ± 1.5	56.8 ± 3.7	63.4 ± 1.8	75.8 ± 0.3	80.4 ± 2.4	83.6 ±1.2
PT 3	27.93 ± 2.0	50.1 ± 4.0	62.4 ± 2.0	73.92 ± 2.9	84.3 ± 0.8	86.16 ±0.7
PT 4	30.44 ± 0.3	46.12± 5.0	60.3 ± 2.2	71.74 ± 2.2	79.2 ± 0.4	83.4 ±0.7
PT 5	38.8 ± 3.4	39.4 ± 2.2	46.6± 4.7	70.96 ± 1.3	77.34±1.8	81.8 ±0.5
PT 6	33.9 ± 0.0	52.2 ± 4.0	64.33± 3.3	72.40 ± 2.9	80.1± 1.6	82.1 ±0.9
PT 7	26.5 ± 2.2	55.5 ± 2.0	68.4 ± 0.8	74.79 ± 2.1	79.5 ± 1.0	80.4 ±1.7
PT 8	26.9 ± 0.0	49.5 ± 2.3	58.3 ± 2.5	70.75 ± 2.0	76.4 ± 0.9	78.91±1.1
PT 9	32.1 ± 4.4	52.7 ± 4.3	65.1 ± 0.6	81.33 ± 0.5	86.2 ± 2.6	86.01±2.1
PT 10	35.3 ± 1.0	63.22± 0.4	67.2±4.3	81.84 ± 1.6	85.0 ± 2.2	89.45±0.8
PT 11	33.8 ± 0.9	62.0 ± 2.4	68.4 ± 0.1	82.88 ± 1.5	89.7 ±1.2	91.6 ±1.1
PT 12	47.0 ± 2.4	60.7 ± 4.8	73.8 ± 3.0	86.32 ± 0.9	87.6 ± 1.7	90.0 ±1.3
PT 13	41.3 ± 3.4	58.1 ± 3.1	67.3 ± 3.4	81.45 ± 1.7	84.0 ± 0.9	88.7 ±0.5
PT 14	35.1 ± 2.5	53.7 ± 4.7	72.6 ± 1.0	78.50 ± 1.3	83.5 ± 0.8	86.0 ±2.2
PT 15	44.7 ± 1.8	58.0 ± 3.9	71.2 ± 3.5	83.01 ± 1.0	86.6 ± 1.0	89.9 ±0.2
PT16	31.2 ± 1.5	53.3 ± 1.4	65.2 ± 2.5	77.5 ± 2.2	83.1 ± 0.7	84.5 ± 1.4
PNT	-	-	-	32.3	33..0	45.1
Effet T°	*	**	**	**	**	**
Effet D	NS	NS	NS	*	**	**
Effet d	NS	NS	NS	NS	*	NS
T° x D	NS	NS	NS	*	*	*
T° x d	NS	NS	NS	NS	NS	NS
D x d	NS	NS	NS	NS	*	*
R S D	6.37	4.13	5.16	2.42	1.55	1.89
R <sup>2</sup>	0.42	0.70	0.56	0.83	0.88	0.82

NS ; \* p < 0.05 ; \*\*p < 0.01 à 0.001. RSD écart-type résiduel du modèle ; R<sup>2</sup> : taux de variation expliqué par le modèle ; La PNT, n'est pas prise en compte dans l'analyse de variance . T:température ; D : Dose et d : Durée.

## Annexe 10 : Cinétique de dégradation in sacco des MAT (en %) des pailles traitées sur le terrain

Pailles	2 heures	4 heures	8 heures	16 heures	24 heures	48 heures
<b>TR 91</b>	37.6	43.5	45.6	48.6	62.7	66.9
B 89	33.6	36.2	43.1	46.2	53.3	59.6
B 90	37.5	45.2	50.1	54.1	58.9	58.9
La 90	24.0	27.2	32.4	35.2	42.8	49.4
TT 92	18.7	18.9	34.1	47.0	47.0	52.9
Moyenne PNT	30.3±8.5	34.2±11.1	41.1±7.5	46.2±6.8	52.9±8.2	57.5±6.7
T1 88A	65.5	66.4	73.4	75.3	75.9	78.6
T 88A	44.5	49.1	53.3	56.3	58.9	63.6
T2 88A	41.4	48.5	57.8	58.3	61.5	70.0
R 89A	61.9	63.9	69.0	69.3	71.2	74.4
R1 89A	52.6	53.5	55.2	56.0	59.9	66.4
R2 89A	48.7	56.4	58.5	59.1	61.6	65.0
C1 93A	39.8	43.6	44.1	50.0	58.1	65.4
La 90A	47.5	50.3	52.5	55.0	55.1	62.9
Moyenne PTA	50.2±9.2	54.0±7.8	58.0±9.3	60.0±8.2	62.8±7	68.3±5.6

## Annexe 11 : Cinétique de dégradation *in vitro* de l'azote des pailles

Valeur azotée chez Ovis ariès des pailles de Triticum durum traitées ou non à l'ammoniac:

	T88A	T288A	T288A pH	T88
to	2,02	2,02	6,35	2,02
to,5	3,61	4,2	6,55	2,41
t1h	3,58	4,18	6,71	2,61
t2h	3,91	4,56	6,88	2,37
t4h	4,18	4,74	6,59	2,01
t8h	4,32	4,68	6,32	1,72
t24h	3,09	3,62	6,01	1,98
Moyenne	3.93	4.51	6.49	2.20

## Annexe 12 : Valeur alimentaire des pailles traitées à l'ammoniac

Pailles	DMOrt (%)	DMOps (%)	MSIrt (g/j)	MSIps (g/j)	p 0.75	NArt	NAps	MATI (p+c) (g)
L 84A	59.30	56.20	892.0	801.8	15.9	1.40	1.19	75.43
L1 84A	58.40	55.20	845.0	756.0	15.0	1.31	1.12	61.61
L2 84A	57.20	53.80	878.5	789.4	15.6	1.30	1.10	54.67
Le 1 85A	52.30	48.50	957.5	867.7	17.6	1.24	0.97	57.18
Le2 85A	56.60	52.90	886.2	796.4	18.0	1.12	0.94	60.99
T1 88A	57.90	53.90	852.8	763.2	16.0	1.24	1.03	87.77
HK 89A	59.30	55.80	848.9	759.5	15.1	1.26	1.12	60.93
HK1 89A	58.40	54.60	807.7	718.7	15.1	1.20	1.06	59.78
HK2 89A	57.70	54.10	806.0	717.0	15.0	1.18	1.05	61.13
HK3 89A	57.20	53.40	811.4	722.3	15.6	1.15	1.01	59.71
T 89A	58.20	54.80	941.9	852.1	16.2	1.36	1.16	102.89
T2 89A	57.40	53.40	817.7	728.1	15.2	1.11	1.03	100.40
R 89A	54.40	50.00	998.5	908.9	15.2	1.47	1.23	94.88
R1 89A	54.70	50.90	949.9	860.3	15.2	1.39	1.18	103.44
R2 89A	55.00	51.80	1025.8	936.2	15.1	1.49	1.28	121.63
La 90A	61.40	58.30	900.8	811.7	15.2	1.45	1.26	86.2
C1 93A	59.60	55.10	733.3	644.8	16.0	1.11	0.91	57.94
C2 93A	61.40	58.00	937.5	848.4	15.9	1.46	1.26	74.93
De 94A	55.10	52.20	949.5	859.2	16.0	1.34	1.15	102.17
N1 95A	54.70	50.20	788.5	690.2	14.5	1.16	0.95	63.71
N2 95A	56.10	54.60	702.3	612.0	14.2	1.12	0.95	55.18
Moyenne	57.25	53.70	872.94	783.04	15.6	1.28	1.09	76.31

## Annexe 13 : Bilan azoté des pailles traitées à l'ammoniac

pailles	Traitement	NI(g)	N excrété(g)		NR(g)	NR <sub>g</sub> / NI <sub>g</sub> (%)
			N fèces	N urines		
L 85A	PTF	13.5	6.4	3.7	3.4	25.14
L1 85A	PTF	13.7	7.1	3.9	2.6	19.0
L2 85A	PTF	13.7	7.7	4.2	1.8	13.02
Le 85A	PTF	8.8	5.8	3.6	-0.5	-6.2
Le1 85A	PTF	8.9	5.5	5.4	-2.0	-22.2
T1 88A	PTF	14.6	5.2	5.4	3.9	27.0
HK 89A	PTF	12.4	7.4	3.7	1.3	10.5
HK1 89A	PTF	11.8	7.2	4.0	0.6	5.0
HK2 89A	PTF	12.2	7.8	4.2	0.2	1.6
HK3 89A	PTF	12.2	5.5	5.4	1.3	10.7
T 89A	PTM	17.2	5.4	7.5	4.3	24.8
T2 89A	PTM	16.5	4.6	8.6	3.4	20.5
R 89A	PTM	18.3	7.2	7.2	3.6	19.8
R1 89A	PTM	15.9	5.7	8.3	2.8	17.5
R2 89A	PTM	17.8	7.0	9.7	1.0	5.8
La 90A	PTM	15.6	8.8	4.5	2.3	14.3
C1 93A	PTM	7.9	6.1	3.1	-1.3	-15.62
C2 93A	PTM	8.9	5.7	3.8	-0.6	-7.5
De 94A	PTM	18.1	7.4	5.8	5.0	0.27
N1 95A	PTM	11.1	7.6	3.4	0.12	0.01
N2 95A	PTM	9.6	4.7	2.3	2.73	28.0
MIN	-	7.40	3.50	1.10	-2.00	-22.20
1Q	-	10.0	5.50	3.70	0.14	-0.27
MEAN	PTF+PTM	13.0	6.30	4.90	1.55	11.92
MEDIAN	-	12.90	6.20	4.20	1.50	10.70
3Q	-	15.90	7.30	5.70	3.20	19.80
MAX	-	18.30	8.80	9.70	5.00	28.00
STD	-	3.47	1.29	2.15	2.05	14.11
MEAN	PTF	<b>12.18</b>	<b>6.56</b>	<b>4.35</b>	<b>1.26</b>	<b>8.35</b>
MEAN	PTM	<b>14.26</b>	<b>6.38</b>	<b>5.83</b>	<b>2.12</b>	<b>9.80</b>
RSE	-	3.22	1.17	1.92	1.93	14.46
R <sup>2</sup>	-	0.22	0.24	0.28	0.19	0.19
p	-	0.09	0.06	*	0.13	0.82

\*P<0,01; PTF et PTM = paille traitée au four ou en meule; RTI = ration totale ingérée NS = non significatif

## Annexe 14 : Composition en matières minérales, azotées et en parois des pailles étudiées (% de la MS)

Valeur azotée chez Ovis ariès des pailles de Triticum durum traitées ou non à l'ammoniac:

Pailles	MS(%)	MM	MAT	NDF	ADF	ADL
OG 1	92.55	8.01	3.42	78.38	49.28	6.92
OG 2	92.54	7.62	3.44	80.32	52.38	8.17
OG 3	92.92	7.23	2.73	81.66	51.88	6.76
OG 4	91.99	7.80	3.40	81.18	54.64	9.11
OG 5	91.93	6.84	3.21	81.91	52.01	7.43
OG 6	91.70	8.77	2.95	81.13	52.07	8.38
OG 7	92.77	8.75	2.78	77.16	49.03	7.42
OG 8	90.98	7.25	3.40	76.47	43.78	5.60
OG 9	91.42	7.08	3.62	80.01	51.74	7.94
Moyenne	92.08±0.61	7.62±0.56	3.21±0.30	79.80±1.80	50.75±2.30	7.52±0.97
STD	0.61	0.77	0.32	2.02	3.18	1.10
RSE	0.67	0.32	0.13	0.78	1.44	0.64
R <sup>2</sup>	0.36	0.90	0.90	0.91	0.89	0.81
P	NS	**	**	**	**	**
BT1	91.24	7.90	2.52	75.00	46.05	7.21
BT2	93.19	7.58	2.51	76.33	48.48	7.94
BT3	93.44	8.26	2.68	78.68	48.57	7.66
BT4	91.49	7.70	2.88	80.05	49.17	7.62
BT5	93.35	8.37	2.64	77.32	47.74	7.11
BT6	92.78	9.11	3.05	77.07	47.29	6.89
BT7	94.49	8.69	2.38	78.07	47.36	6.88
BT8	93.66	7.17	3.66	77.39	43.75	5.97
BT9	93.99	8.26	3.69	76.20	45.37	6.95
BT10	92.79	6.40	2.79	79.09	46.48	6.32
BT11	91.88	7.96	3.13	76.49	46.07	6.66
Moyenne	92.87±0.93	7.94±0.70	2.88±0.40	77.42±1.38	46.93±1.51	7.01±0.55
STD	0.97	0.88	0.42	1.43	1.66	0.61
RSE	1.15	0.40	0.009	0.24	0.82	0.32
R <sup>2</sup>	0.26	0.88	0.97	0.98	0.87	0.85
P	NS	**	**	**	**	**
BD1	92.02	8.30	3.76	77.98	45.84	6.02
BD2	91.63	7.38	3.22	80.67	48.18	6.07
BD3	91.48	9.24	3.32	78.40	47.20	7.04
BD4	92.33	7.69	4.69	75.42	43.54	6.15
BD5	91.56	8.61	3.59	80.15	47.33	6.83
BD6	92.60	8.41	4.51	77.54	42.82	5.11
BD7	91.02	7.67	4.24	78.61	47.79	6.62
BD8	91.81	7.98	3.88	74.03	43.90	5.83
BD9	92.23	8.72	3.96	77.19	44.53	6.58
BD10	92.57	8.87	4.24	76.72	44.40	6.20
BD11	92.64	7.79	2.86	80.25	47.93	6.17
BD12	92.55	8.79	2.92	81.08	48.31	6.44
BD13	92.57	8.95	3.15	79.67	49.10	8.03
BD14	92.90	6.71	2.71	80.08	48.45	6.74
BD15	91.43	6.03	3.58	78.09	46.58	6.40
Moyenne	91.11±0.57	7.91±0.86	3.64±0.59	78.39±1.99	46.39±1.98	6.41±0.62
STD	0.72	0.86	0.61	2.0	2.19	0.81
RSE	0.78	0.56	0.13	0.46	1.2	0.56
R <sup>2</sup>	0.40	0.77	0.97	0.97	0.84	0.74
P	NS	**	**	**	**	**

NS :non significatif ; \*\* P < 0.01 à P < 0.001

## Annexe 15 : Composition chimique des pailles (en % MS).

	MS en %	MM	MAT	NDF	ADF	ADL
PT1	87.4	6,6	9.1	79.1	50.4	7.3
PT2	87.8	6,6	8.6	79.6	50.2	7.6
PT3	88.2	7,0	8.7	80.8	53.2	8.0
PT4	86.2	6,3	8.6	79.1	54.3	9.0
PT5	87.8	6,3	8.3	79.6	52.4	8.1
PT6	88.0	6,2	9.6	80.2	54.5	8.6
PT7	87.3	6,0	10.7	78.1	51.9	7.7
PT8	88.7	6,3	9.1	78.5	53.2	8.3
PT9	88.9	5,6	11.1	78.9	45.5	6.2
PT10	89.1	6,8	11.4	75.1	44.9	6.3
PT11	89.5	5,5	11.7	75.3	45.7	6.1
PT12	88.7	7,2	11.8	75.2	45.4	6.5
PT13	89.0	5,7	13.7	73.5	46.4	6.6
PT14	88.9	5,9	13.4	74.7	47.5	6.7
PT15	87.4	6,8	13.1	74.6	46.8	7.0
PT16	88.2	5,8	12.4	74.1	46.7	6.2
PNT	91.7	5,3	2.2	78.2	45.4	6.1
Effet T°	NS	NS	**	**	**	*
Effet D	NS	NS	*	NS	NS	NS
Effet d	NS	NS	NS	NS	NS	NS
T° . D	NS	NS	NS	NS	NS	NS
T° . d	NS	NS	NS	NS	NS	NS
D. d	NS	NS	NS	NS	NS	NS
RSE	-	-	0.88	0.89	1.11	0.42
R <sup>2</sup>	-	-	0.96	0.97	0.98	0.96

\*  $p < 0.05$  ; \*\*  $p < 0.01$  à  $0.001$  ; NS non significatif . RSE écart-type résiduel du modèle ; R<sup>2</sup> taux de variation expliquée par le modèle. La PNT , n'est pas prise en compte dans l'analyse de variance . La MS est dosée immédiatement à la sortie des sachets. T° : température ; D : Dose et d : Durée.

## Annexe 16 : Synthèse protéique *in vitro* en présence d'extrait phénolique (en g d'azote/ 100ml de milieu).

## Valeur azotée chez Ovis ariès des pailles de Triticum durum traitées ou non à l'ammoniac:

---

Pailles	0 ml d'extrait	1 ml d'extrait	3ml d'extrait
B 89	0.596	0.600	0.599
B 90	0.596	0.634	0.550
La90	0.599	0.488	0.433
Moyenne PNT	0.597 <sup>a</sup>	0.574 <sup>a</sup>	0.527 <sup>a</sup>
T 88A	0.596	0.280	0.270
R 89A	0.595	0.240	0.280
R1 89A	0.593	0.240	0.260
R2 89A	0.593	0.133	0.135
C2 93A	0.599	0.124	0.116
La 90A	0.592	0.211	0.220
Moyenne PT	0.595 <sup>a</sup>	0.204 <sup>b</sup>	0.213 <sup>b</sup>
RSE	0.165	0.067	0.075
R <sup>2</sup>	0.009	0.89	0.83
P	NS	**	**

Dans la même colonne (entre pailles) ou sur une même ligne (entre doses), les valeurs affectées de la même lettre ne sont pas significativement différentes à  $p < 0.05$ .

## Annexe 17: Poids (en g) des formations générées par le traitement à l'ammoniac



Pailles	HC (g)	LG(g)	SP MV /sc
PT1	4.1	1.2	46.0
PT2	3.4	1.5	46.3
PT3	5.2	1.9	52.5
PT4	8.0	2.9	50.8
PT5	5.6	2.0	46.5
PT6	7.1	2.5	42.9
PT7	6.6	1.6	24.2
PT8	7.5	2.2	22.3
Moyenne 15°C	5.96	1.97	41.4
PT9	-0.6	0.1	32.7
PT10	2.6	0.2	33.3
PT11	2.9	0	29.7
PT12	3.0	0.4	37.0
PT13	5.7	0.5	30.1
PT14	5.6	0.6	30.7
PT15	5.0	0.9	24.7
PT16	5.4	0.1	26.4
Moyenne 35°C	3.70	0.351	30.6
Moyenne 15°C+35°C	4.83	1.16	36.0

## **Annexe 18 : Valeur en matières azotées digestibles des pailles traitées ou non (g/Kg MS)**

Valeur azotée chez Ovis ariès des pailles de Triticum durum traitées ou non à l'ammoniac:

Pailles non traitées	Valeurs MAD	Pailles traitées	Valeurs MAD	Pailles traitées (PTF)
L 85	18	L 85A	34	
L1 85	15	L1 85A	22	
L2 85	13	L2 85A	16	
Le85	17	Le 85A	6	
Le1 85	15	Le1 85A	10	
T 88	13	T1 88A	10	
B 89	15	HK 89A	16	
R 89	18	HK1 89A	16	
HK 89	17	HK2 89A	3	
B 90	15	HK3 89A	11	
BS 90	16	Pailles traitées meule (PTM)		
La90	15	T 88A	33	
TR 91	37	T2 88A	40	
TT 92	16	R 89A	22	
C1 93	12	R1 89A	28	
D 94	16	R2 89A	37	
N1 95	17	La 90A	28	
N2 95	11	C1 93A	18	
-	-	C2 93A	21	
-	-	De 94A	43	
-	-	N1 95A	27	
-	-	N2 95A	27	
Moyenne PNT	15	Moyenne générale PT	23	
-	-	PTF	14	
-	-	PTM	30	