

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA

RECHERCHE SCIENTIFIQUE

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

ECOLE NATIONALE VETERINAIRE - ALGER

المدرسة الوطنية للبيطرة - الجزائر

PROJET DE FIN D'ETUDE

EN VUE DE L'OBTENTION

DU DIPLOME DE DOCTEUR VETERINAIRE

THEME :

**LA PAILLE TRAITEE DANS
L'ALIMENTATION DES RUMINANTS**

Présenté par : KHAROUBI Rachid

DJIOUA Hand

Soutenu le : JUIN 2006

Le jury :

- **Président :** Melle AIN BAZIZ, maître de conférence à l'ENV
- **Promoteur :** Mme GAOUAS, chargée de cours à l'ENV
- **Examineurs :** Mme REMAS, chargée de cours à l'ENV
Mr BESSEKOUAD, maître de conférence à l'ENV

Années universitaire : 2005/2006

REMERCIEMENTS

Au terme de ce modeste travail, nous tenons à remercier Dieu le tout puissant, de nous avoir donné la force, le courage et la patience pour pouvoir accomplir ce travail.

Nous tenons à remercier :

Notre promotrice **Mme GAOUAS Y** chargée de cours à l'ENV, pour son aide et ses conseils lors de l'élaboration de ce travail, sa gentillesse, son apport a été essentiel pour la qualité des résultats et leur interprétation, qu'elle trouve ici l'expression de notre sincère gratitude et respect.

Melle AIN BAAZIZ H, maître de conférence à l'ENV de nous avoir fait l'honneur de présider notre jury.

Mme REMASS K, chargée de cours à l'ENV pour l'intérêt qu'elle a porté à ce mémoire en acceptant d'être membre de jury.

Mr BESSEKOUAD Y, maître de conférence à l'ENV pour bien voulu examiner ce travail.

Nos parents et nos amis (es).

Dédicaces

Au terme de ma formation, Je dédie ce modeste travail :

A ceux qui m'ont élevé et qui n'espéraient que me voir un jour ce que je suis, ceux à qui je dois tout : A

ma mère et à mon père,

A mes grands parents,

A mes frères : Djamel, Mourad, Farhat,

A mes sœurs : Samia et Karima,

A mes oncles et à mes tantes,

A mes cousins et à mes cousines,

A mon Binôme : Hand D,

A tous mes amis : Mourad D, Abbas, Fahim, Madani, Rahim, Bercus, Yacine, Moh I, Samir S, Zaki, Abderrezak, Nassim, Toutouh, Bouboule, Tero, Bouboul M, Bouboul, Farid L, Hakim, A toute la promotion 2005/2006.

A toutes les personnes que j'aime

KHAROUBI Rachid

A mes parents qui m'ont tout donné d'eux-mêmes.

A mes frères et sœurs.

A ma sœur Dahbia et son mari et toute sa famille.

A mes neveux et nièces.

A mes oncles et mes voisins.

A mes cousins et cousines.

A mon cher ami : Meziani Mhenni victime du printemps noir, que Dieu lui accordé la miséricorde.

A toutes les personnes que j'aime

A mon binôme Rachid, Nassim, Toutouh, Bouboul, Zineb, Tero, Abbas, Hakim, Rahim, Yacine, Rezak, Madani, Fahim, Bercus, Zaki, Farid Lahlou, Samir Soukri, Mourad D, L.Hocine, Dr Messaoui Samir, à mon petit frère Youcef, A toute la promotion 2005/2006.

Je dédie ce travail

DJIOUA Hand

LISTE DES ABREVIATIONS

AGV : aides gras volatils.
C° : degré celsius.
Ca : calcium.
CB : cellulose brute.
CBW : cellulose brute Weende.
Co: cobalt.
CO (NH₂)₂: Urée.
CD: coefficient de digestibilité.
CO₂: gaz carbonique.
Cu: cuivre.
CUD: coefficient d'utilisation digestive.
d MAT : digestibilité des matières azotées totales.
d MO : digestibilité de la matière organique.
FAO : food alimentation organisation
FP : farine de poisson.
G : gramme.
g/kg P^{0,75} : gramme par kilogramme du poids métabolique.
GMQ : gain moyen quotidien.
H₂O: eau.
J : jours.
K: potassium.
KCal : kilocalorie.
MAND : matières azotées non digestibles.
MAT : matières azotées totales.
MG : matières grasses.
Mo : molybdène.
MO : matières organiques.
MOD : matière organique digestible.
Mg : magnésium.
MM : matières minérales.
MS : matières sèches.
Na: sodium.
NaOH : soude.
NDF : natural detergent fiber.
NH₃: ammoniac.
NT : non traité.
ONAB : office national de l'aliment de bétail
P : phosphore.
PB : pulpe de betterave.
PDIE : protéines digestibles dans l'intestin permises par l'énergie.
PDIN : protéines digestibles dans l'intestin permises par l'azote.
PH : potentiel hydrogène.
PNH₃ : paille traitée à l'ammoniac.
PNT : paille non traitée.
PTU : paille traitée à l'urée.
ql : quintal
S: soufre.
T : traité.
UF : unité fourragère.
UFL : unité fourragère lait.
Zn: zinc.

Sommaire

INTRODUCTION	1
I. IMPORTANCE DES PAILLES DANS LE MONDE	2
II. LA COMPOSITION CHIMIQUE	4
II.1.Les constituants pariétaux.....	5
II.1.1.La Cellulose.....	5
II.1.2.Les hémicelluloses.....	5
II.1.3.La lignine.....	5
II.1.4.Les substances pectiques.....	5
III. LA VALEUR ALIMENTAIRE	6
III.1.La valeur énergétique.....	6
III.2.La valeur azotée.....	6
III.3.La digestibilité de la paille.....	7
III.3.1.Les facteurs de variation de la digestibilité.....	7
III.3.1.1.Les facteurs liés à la plante.....	7
III.3.1.1.1.La famille botanique.....	7
III.3.1.1.2.L'espèce.....	7
III.3.1.1.3.La variété.....	8
III.3.1.1.4.Les conditions de récolte.....	8
III.3.1.1.4.1.Le stade de maturité lors de la récolte.....	8
III.3.1.2.Les facteurs liés au milieu.....	9
III.3.1.2.1.Les conditions climatiques.....	9
III.3.1.2.2.La fertilisation.....	9
III.3.1.3.Les facteurs liés à l'animal.....	10
III.3.1.3.1.L'espèce.....	10
III.3.1.3.2.La race.....	10
III.3.1.3.3.L'âge.....	10
III.3.1.3.4.L'état physiologique.....	11
III.3.1.3.5.L'état pathologique.....	11
III.3.1.3.6.La température.....	11
III.4.L'ingestibilité de la paille.....	11
III.4.1.Les facteurs de variation de l'ingestibilité.....	12
III.4.1.1.L'espèce.....	12
III.4.1.2.L'âge et le poids vif.....	12
III.4.1.3.L'état physiologique.....	12
III.4.1.4.L'état de santé.....	12
III.4.1.5.Les facteurs liés à l'aliment.....	12
III.4.1.6.Le facteur eau.....	13
III.4.1.7.Le facteur climat.....	14
IV. VALORISATION DES PAILLES PAR DIFFERENTS PROCEDES	15
IV.1. La complémentation.....	16
IV.1.1. La complémentation énergétique.....	17
IV.1.2. La complémentation azotée.....	18
IV.2.Les traitements chimiques.....	19

PARTIE EXPERIMENTALE

I. Productions des grains en Algérie	46
I.1.Répartition des superficies de culture et productions des grains.....	46
I.1.1.Céréales d'hiver.....	46
I.1.2.Céréales d'été.....	46
II. Production des pailles en Algérie	48
III. Effets des traitements sur la digestibilité de la matière organique et de la matière azotée totale des pailles	49
III.1.Discussion.....	49
CONCLUSION GENERALE	51

**ETUDE
BIBLIOGRAPHIQUE**

INTRODUCTION

Les pailles de céréales sont disponibles en grande quantité dans le monde et en Algérie, leur ramassage ne pose pas de problèmes puisqu'il se fait à une période favorable (été) et le produit de départ est sec pour être pressé et conservé.

Les pailles sont utilisées en ALGERIE comme des aliments de base pour les ruminants, elles sont des sous produits abondants, mais de valeur alimentaire limitée surtout la valeur azotée. Il en est de même pour la valeur minérale et la valeur vitaminique.

Pourtant, très chargées en membranes qui contiennent de grandes quantités de lignine, elles présentent à l'état latent une source considérable d'énergie pour le bétail. Quand elles sont distribuées seules, leur digestion et leur ingestion sont limitées par le fait qu'elles n'apportent pas assez d'azote et certains minéraux pour assurer une croissance et une activité normale des microorganismes du rumen. Il est donc nécessaire de les compléter en ces éléments.

Pour améliorer leur valeur alimentaire, de nombreux travaux ont été effectués dans le monde et en Algérie qui consistent à des traitements chimiques (ammoniac, urée, soude) et à la complémentation énergétique et azotée des pailles.

I. IMPORTANCE DES PAILLES DANS LE MONDE :

Les pailles représentent des tonnages importants dans le monde : environs 2 à 3 milliards de tonne chaque année, mais restent très mal utilisées dans le secteur agricole, à raison de 36 à 15 % respectivement pour la litière et pour l'alimentation animale.

Tableau 1 : Utilisation des pailles dans le monde.

(F.A.O, cité par CHENOST, 1987)

Totale	Production totale (en milliers de tonne) 2 000 000 à 3 000 000
	Utilisation (en % de la production totale)
Brûlées	37
collectées	63
	Utilisation de la paille collectée (en % de la paille collectée)
Litière	36
Alimentation animale	15
Industrie	12

L'Asie est le continent qui produit plus de céréales dans le monde, ses productions représentent 44% de la production mondiale (BRUNI et ANTONGIOVANNI, 1998) (figure 1).

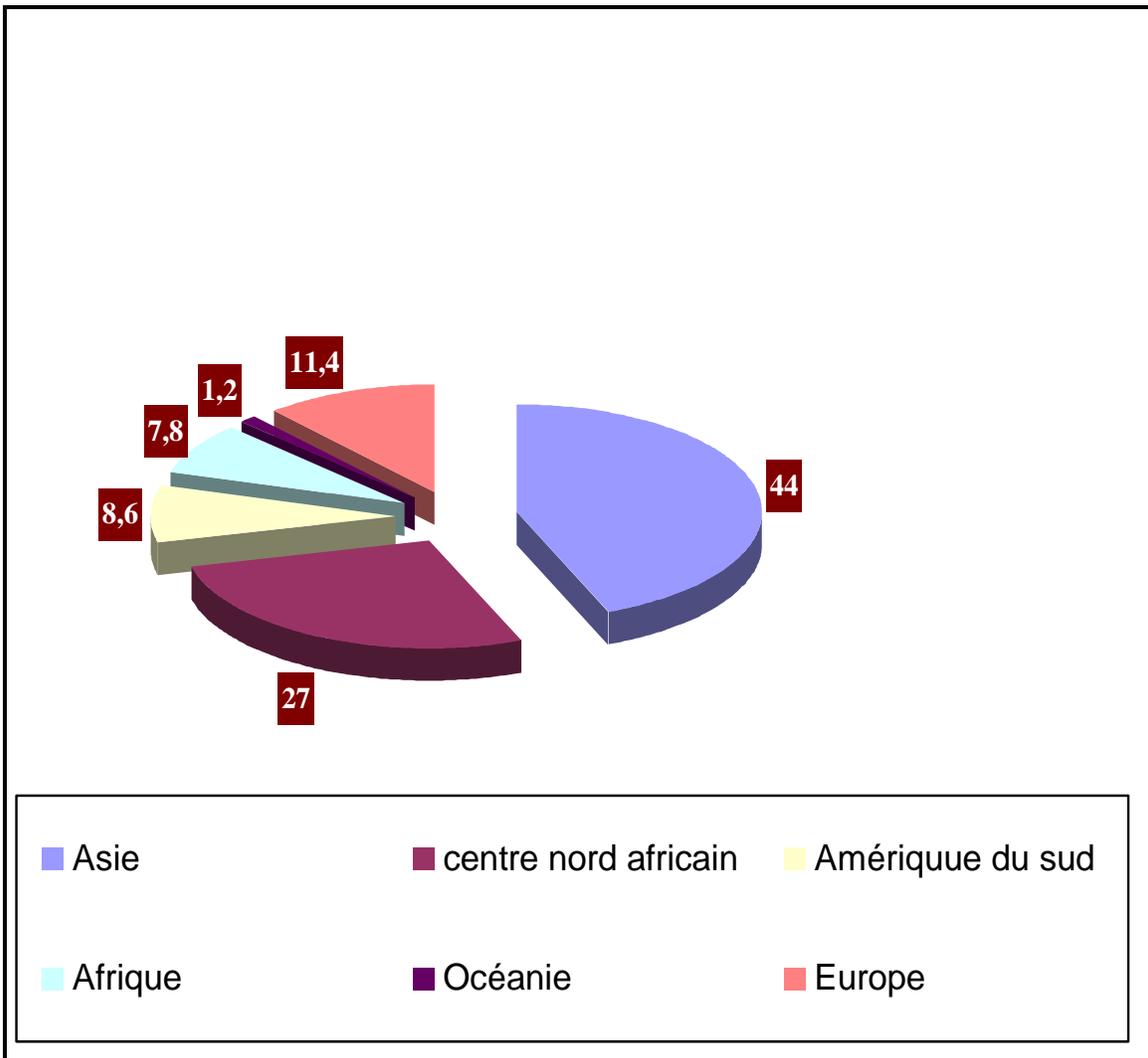


Figure1 : production mondiale des pailles de céréales (%).
(BRUNI et ANTONGIOVANNI, 1998)

II. LA COMPOSITION CHIMIQUE :

Les pailles de blé et d'orge représentent la majorité des disponibilités de ce sous produits dans notre pays, comme le montre le tableau 2.

Tableau 2: La composition chimique des principales pailles utilisées en alimentation animale (KHELILI, 1988).

Espèces	M.S (%)	M.A.T (%MS)	M.M (%MS)	Hémicellulose (%MS)	Cellulose (%MS)
Paille de blé	89,7	3,8	7,7	22,2	48,1
Paille d'orge	89,1	3,9	8,8	22,0	48,4
Paille d'avoine	90,1	2,4	17,0	22,2	50,7

Selon ABDELOUAHED (1990), les pailles sont essentiellement constituées par des parois végétales qui représentent 60 à 85% de la MS. Ces parois sont composées de cellulose vrai, d'hémicellulose et de lignine (respectivement 45-55%, 20-25% et 8-12% de la MS).

Par ailleurs, les pailles contiennent une petite quantité de glucides solubles (1 à 3%) et sont faibles en matières azotées (2 à 5% pour les pailles de céréales) (ABDELOUAHED, 1990).

Elles sont, en outre, pauvres en éléments minéraux à l'exception du potassium (Tableau 3).

Tableau 3 : Teneurs en minéraux des pailles (g/kg MS). (DEMARQUILLY et ANDRIEU, 1987).

Minéraux	Ca	P	Mg	K	Na	S	Cu	Mo	Co
Teneurs	2-3	0,8-1	1-1,5	10-22	0,5	1,2-2,5	3-7	0,1-0,6	0,05-3

II.1. Les constituants pariétaux :

Les principaux constituants sont la cellulose, les hémicelluloses, la lignine et les substances pectiques.

II.1.1. La cellulose :

La cellulose représente l'hydrate de carbone le plus important des glucides pariétaux (25 à 75% de la paroi des fourrages) (ABDELOUAHED, 1990).

La cellulose s'organise en faisceaux de chaînes parallèles et étroitement liées entre elles par de nombreux ponts hydrogènes qui sont à l'origine de la résistance de la cellulose aux enzymes et aux agents chimiques (THEANDER, 1985).

II.1.2. Les hémicelluloses :

Les hémicelluloses sont des polysaccharides constitués surtout de xylose, d'arabinose, de mannose qui peuvent représenter 90% des hémicelluloses des pailles (THEANDER, 1985).

II.1.3. La lignine :

La lignine est un polymère très complexe avec des chaînes ramifiées possédant des unités phenyl-propane interconnectées dans des proportions variables et ayant des séquences aléatoires (THEANDER, 1977 et MONTIES, 1980).

La lignine constitue une barrière physique qui empêche les microorganismes d'hydrolyser les polysaccharides qui l'accompagnent.

II.1.4. Les substances pectiques :

Selon LAOUN (1985), les substances pectiques constituent principalement la lame moyenne des parois et peuvent être en quantité non négligeable dans la paroi primaire. Les substances pectiques représentent entre 2 et 3% de la paroi de la paille (LAMRANI, 1990).

III. LA VALEUR ALIMENTAIRE DE LA PAILLE :

III.1. La valeur énergétique :

Les pailles ont une faible valeur énergétique, ceci est dû à la faible teneur en matières organiques solubles et à la présence de lignine qui est liée à la cellulose rend l'attaque de la microflore difficile. La valeur énergétique moyenne obtenue par différents auteurs en Algérie est de l'ordre de 0,33 UF/kg de MS (tableau 4).

Tableau 4 : Valeur alimentaire de la paille non traitée selon différents auteurs.

Aliments P N T (paille de blé)	UF/kg M.S	Auteurs
1	0,27	MEZALI (1978)
2	0,40	DJENIDI (1983)
3	0,26	BOUTALBI (1983)
4	0,32	GACEM (1983)
5	0,28	LEONG-TCHAN KWONG (1985)
6	0,29	LAOUN (1985)
7	0,22	RACHI (1989)
8	0,33	BOUABOUNE (1989)
9	0,45	LAMRANI (1990)
10	0,45	BOUKEDJAR et KORIZ (1991)
11	0,49	BOULKEROUA et ZAZOUA (1992)
12	0,49	BELGUITAR et HANED (1993)
Moyenne	0,33	

III.2. La valeur azotée:

Les pailles de céréales possèdent une faible valeur azotée : les valeurs sont illustrées dans le tableau 5.

**Tableau 5: Valeur azotée des pailles.
(DULPHY, 1977)**

Aliment	PDIE (g/Kg de MS)	PDIN (g/Kg de MS)
Paille de blé	36-47	16-20
Paille d'orge	37-50	16-31
Paille d'avoine	35-51	12-28

III.3. La digestibilité de la paille :

La digestibilité est le degré d'utilisation des aliments ou des nutriments. Elle se traduit par le coefficient d'utilisation digestive (C.U.D).

Il a été démontré par XANDE (1978), DOYLE et al (1986), DEMARQUILLY et ANDRIEU (1987) qu'il y a une grande variabilité de la digestibilité des pailles due elle-même à la grande variabilité de leur composition.

La digestibilité varie suivant la proportion respectivement en tiges plus grains, en limbe et selon la proportion et la composition des constituants pariétaux et cellulaires de ces organes. C'est en connaissant mieux le rôle de la lignine et l'architecture moléculaire des parois qu'on pourra prédire la digestibilité de la paille (CHESSON et MURISON, 1989).

III.3.1. Les facteurs de variation de la digestibilité :

III.3.1.1. Les facteurs liés à la plante :

III.3.1.1.1. La famille botanique :

Les légumineuses sont plus digestibles que les graminées, car plus riche en azote digestible et en contenu cellulaire et déficitaires en paroi non digestible (BUXTON et FRITZ, 1985).

III.3.1.1.2. L'espèce :

Il existe des différences sensibles au sein d'une même famille botanique même si elles sont au même stade végétatif et ont le même âge, ceci est dû à des différences morphologiques et surtout au rapport feuilles sur tiges sachant que les feuilles sont plus riches en matière azotée que les tiges (INRA, 1988).

La digestibilité de la matière sèche des pailles de blé (41,9%) et d'orge (44,2%) n'est pas significativement différente, mais elle est inférieure à celle des pailles d'avoine (48,9%) d'après (XANDE, 1978).

Selon JARRIGE (1963), La plus grande digestibilité des pailles d'avoine s'explique par :

- une lignification plus faible.
- une digestibilité plus élevée des hémicelluloses en raison de leurs caractéristiques physico-chimiques.
- des structures anatomiques facilitant l'action des bactéries cellulolytiques.

III.3.1.1.3. La variété :

Pour une même espèce, on note des différences dans la digestibilité de la matière sèche entre variété, mais elles sont généralement faibles (ERIKSON et al., 1982).

III.3.1.1.4. Les conditions de récolte :

La qualité nutritive d'un fourrage dépend en grande partie du choix du stade de développement pour la récolte. Dans le cas de la paille, il n'y a pas de choix pour le moment de récolte puisqu'il est lié à la moisson, mais dépend essentiellement des conditions de récolte. (DEMARQUILLY, 1977).

III.3.1.1.4.1. Le stade de maturité lors de la récolte :

Le degré de maturité de la plante lors du battage peut avoir un effet plus ou moins important sur la digestibilité des pailles.

Les pailles proviennent de plantes arrivées à maturité dont tous les principes nutritifs intéressants ont migré dans les grains. De plus la plante étant âgée, les constituants membranaires ont pris une importance prépondérante. En effet, la teneur en matières azotées des feuilles et des tiges, diminue progressivement au cours de la maturité des grains, elle est respectivement de 67, 58 et 57 suivant que la récolte se situe une semaine avant, au moment ou une semaine après la maturité normale, ceci se traduit par une digestibilité décroissante respectivement de 44,5 ; 38,5 et 35% (ACOCK et al., 1978). De plus, il y a une influence de stade de maturité sur la proportion des

feuilles. En effet la perte de limbe est d'autant plus importante que la plante est plus sèche lors de la récolte (THEANDER et AMAN, 1984).

III.3.1.2. Les facteurs liés au milieu :

III.3.1.2.1. Les conditions climatiques :

Le climat a un impact sur la digestibilité de la paille en modifiant leur composition chimique.

Il a été démontré, par KENNETH (1970) que les différences de digestibilité entre les fourrages des pays tempérés et ceux des pays tropicaux sont dues principalement à des différences climatiques.

Une température haute provoque une évapotranspiration des fourrages qui se traduit par une lignification accélérée et une baisse de digestibilité des fourrages (DULPHY, 1979). De plus quand les étés sont plus secs et plus chauds, on note une baisse de la digestibilité des pailles. De même la température diminue fortement le rapport feuilles/tiges.

La pluie peut également diminuer la digestibilité des pailles, elle exerce, en effet, une action directe par lessivage des constituants solubles (sucres et certains minéraux ou constituants azotés) notamment quand elle survient sur un fourrage déjà mort, et une action indirecte en retardant la mort de la plante, ce qui accroît du même coup les pertes par respiration et les pertes mécaniques.

Enfin l'engrangement des pailles insuffisamment sèches, permet le développement de moisissures qui utilisent pour leur métabolisme les constituants cytoplasmiques.

PARCE et al (1979), KERNEN et al (1984) remarquent une diminution de la digestibilité de 5 et 10 points respectivement pour les pailles de blé et de l'avoine endommagées par la pluie.

III.3.1.2.2. La fertilisation :

D'après JARRIGE (1980), la fumure azotée a une influence sur la teneur en matière azotée des graminées mais dans une proportion moindre sur la digestibilité de la matière organique et parfois même sur la quantité ingérée. Cependant, DEMARQUILLY (1977) n'observe pas l'influence de la fertilisation phosphatée et potassique sur la digestibilité de la matière organique, ni sur la valeur énergétique des fourrages. Par contre cette fertilisation a un effet favorable sur la composition minérale.

III.3.1.3. Les facteurs liés à l'animal :

III.3.1.3.1. L'espèce :

L'utilisation digestive des aliments varie avec l'espèce animale considérée. Cette variabilité se tient aux particularités des processus digestifs propres à chaque espèce, à leurs besoins métaboliques qui diffèrent et aux caractéristiques du tube digestif, à sa structure et à sa flore. C'est ainsi que les herbivores et plus particulièrement les ruminants, seuls capables de digérer correctement la cellulose grâce à la flore microbienne du rumen, digèrent également mieux tous les constituants des végétaux.

Selon DULPHY et al (1995), la digestibilité de la matière organique des pailles est de 46,8% et 51,8% respectivement chez les ovins et les bovins. Cette différence s'explique par le fait que les ovins excrètent moins de produits d'origine endogène et microbienne que les bovins (VANSOEST, 1980). En outre MORAND FEHR et SAUVANT (1978), TISSERAND et al (1991) indiquent que les caprins digèrent un peu mieux la cellulose que les ovins, alors que la digestibilité de la matière organique n'est pas différente entre les deux espèces.

III.3.1.3.2. La race :

La race ne semble avoir que peu d'influence sur la digestibilité. Certains auteurs ont prétendu que les animaux de race améliorée utilisaient mieux les aliments que les animaux rustiques, mais la différence ne paraît pas significative, tout au moins en régions tempérées. Il semble, en effet, ressortir de quelques expériences réalisées à DAKAR que les coefficients de digestibilité mesurés à partir de fourrages grossiers, seraient plus élevés chez les taurins que chez les zébus (REVIERE, 1977).

III.3.1.3.3. L'âge :

L'influence de l'âge est très discutée et les études entreprises à ce sujet aboutissant à des résultats peu cohérents. Il est évident que le veau non sevré ne peut, par faute de flore microbienne et de digestion ruminale, digérer la cellulose. Après le sevrage, il peut en tirer partie, mais toutefois moins bien qu'un bovin adulte. En définitive, les ruminants ne semblent atteindre leur capacité digestive maximale qu'à l'âge adulte. Par ailleurs, les altérations de la dentition ou du tube digestif diminuent la capacité digestive des animaux âgés (PETIT et al., 1987).

III.3.1.3.4. L'état physiologique :

D'après FELL et al (1972), il y a une tendance à la diminution de la digestibilité d'une ration donnée en fin de gestation par rapport à la lactation, ceci s'explique par la présence du fœtus qui comprime les organes digestifs et réduit au même temps la capacité du rumen, contribuant ainsi à accélérer le transit digestif.

III.3.1.3.5. L'état pathologique :

Les troubles de l'appareil digestif diminuent considérablement l'utilisation digestive des aliments. C'est ainsi que les entérites (en accélérant le transit intestinal), les infestations parasitaires (qui agissent soit par l'intermédiaire des anti-enzymes secrétées par les parasites, soit par l'effet prédateur direct ou encore par les cicatrices laissées sur la muqueuse intestinale), ont une action très importante sur la digestibilité (FELL et al, 1972).

III.3.1.3.6. La température :

Une exposition au froid prolongée des moutons ou des bovins entraîne une diminution de la digestibilité de la matière sèche d'environ 0,002 unité par degré (YOUNG et CHRISTOPHERSON, 1974., KENNEDEY et MILLIGAN, 1978). Cette diminution est liée à une augmentation de la quantité ingérée et par conséquent une augmentation de la vitesse du transit digestif (YOUNG, 1981).

III.4. L'ingestibilité de la paille:

L'ingestibilité s'exprime en quantité de matière sèche d'un fourrage consommé par jour et par unité de poids, quand le fourrage est distribué à volonté à l'animal.

L'ingestion des pailles est de faible quantité, en moyenne 30g MS/Kg P^{0,75}, soit 600 à 650g pour les moutons de 60Kg et de 1,2 à 1,5Kg de MS/100 Kg de PV pour les bovins (HODEN, 1972).

Selon DEMARQUILLY et ANDRIEU (1987), les différences d'ingestibilité entre les espèces sont en moyenne faibles. L'ingestibilité moyenne chez le mouton est de l'ordre de 30 à 32g MS/Kg P^{0,75} quelque soit l'espèce végétale, mais elle peut varier d'une paille à une autre pour une espèce végétale donnée. En plus XANDE (1978) indique que la quantité de paille ingérée est significativement plus élevée pour l'avoine que pour le blé et l'orge respectivement de 33,1 contre 30,3 et 29,7g/ Kg P^{0,75}.

Selon le même auteur, l'adaptation des moutons à des régimes de pailles est lente et la quantité ingérée augmente progressivement pendant deux mois environ.

En outre, STOICA (1978), montre les différents comportements d'adaptation des ovins à des régimes de pailles. Les pailles d'avoine sont plus fines et plus nutritives que celles des autres céréales, les pailles de blé paraissent préférables pour les agneaux, et les pailles d'orge sont bien acceptées par les moutons.

III.4.1. Les facteurs de variation de l'ingestibilité des pailles :

III.4.1.1. L'espèce :

Des différences importantes du niveau d'ingestion sont observées entre les espèces. Les bovins en particulier consomment d'avantage que les moutons, alors que les caprins ont une capacité d'ingestion beaucoup plus élevée que les bovins et les ovins. (DEMARQUILLY et ANDRIEU, 1987).

III.4.1.2. L'âge et le poids vif :

La capacité d'ingestion, pour un même aliment augmente avec l'âge et le poids vif de l'animal. LELONG (1980) avait enregistré des variations de consommation des pailles distribuées à volonté pour les bovins d'élevage d'un an (300Kg) et 2 ans (450Kg).

III.4.1.3. L'état physiologique :

Le niveau de production a une influence nette chez les animaux à forte production qui ont de besoins énergétiques élevés, toutefois les vaches en lactation consomment d'avantage que les vaches en tarissement. Les quantités de pailles ingérées par les vaches allaitantes sont plus importantes au cours de lactation qu'en fin de gestation. Elle est de 6,5 à 7Kg en gestation et de 7,5 à 8Kg en deuxième mois de lactation. Les vaches en début de gestation consomment également d'avantage, mais l'appétit diminue généralement vers la fin suite au développement de fœtus qui comprime le rumen (PETIT et al., 1987).

III.4.1.4. L'état de santé :

L'appétit diminue généralement chez les animaux qui présentent des troubles organiques ou des infections.

III.4.1.5. Les facteurs liés à l'aliment :

L'appétit d'un ruminant est conditionné par la capacité de son rumen et par l'activité des microorganismes dont dépend la digestibilité et la vitesse de transit des aliments.

Selon RIVIERE (1977), les consommations relevées sur des pâturages en saison sèche, constitués de pailles sur pied de faible digestibilité, ne dépassent généralement pas 1,4 à 1,6Kg de matière sèche pour 100Kg de poids vif chez les bovins. La consommation volontaire varie donc dans le même sens que la digestibilité et, par conséquent, la valeur énergétique et azotée des fourrages.

L'ingestibilité est fondamentalement limitée par la vitesse de digestion de la paroi dans le rumen. Une liaison étroite a été observée entre la vitesse de digestion du fourrage mesurée par la technique des sachets en nylon et son ingestibilité (DEMARQUILLY et CHENOST, 1969., CHENOST et al., 1970).

L'activité de la flore microbienne dépend de la proportion et de la nature des constituants du contenu cellulaire et en particulier du taux de constituants azotés. La faible teneur en azote des pailles ne permet pas une prolifération suffisante des bactéries du rumen, d'où une diminution de cette flore qui entraîne une baisse de digestibilité et un encombrement du rumen par les substances non digérées. Ce sont donc les proportions en glucides membranaires et en azote qui conditionnent dans une grande mesure la vitesse de digestion et le taux d'ingestibilité et par voie de conséquence la quantité ingérée (LELONG, 1980).

Par ailleurs, l'ingestibilité peut être influencée par la structure physique des aliments. Le broyage suivi d'une agglomération augmente fortement les quantités de pailles ingérées d'environ 65% dans les essais de l'INRA sur moutons et de 20 à 30% dans les essais anglais sur bovins (LELONG, 1980). Ces effets s'expliquent par l'accroissement de la vitesse du transit. Ainsi, la forme de présentation des aliments influence le temps de séjour des aliments dans le tube digestif ; ce dernier se répercute sur la digestibilité, en particulier si la vitesse de passage dans le rumen est accrue. En effet les processus microbiens de la digestion des particules alimentaires peuvent ne pas s'achever complètement, ceci se traduit par une diminution de la digestibilité de la matière organique.

III.4.1.6. Le facteur eau :

La consommation de la matière sèche dépend partiellement de la disponibilité en eau. En général, les ruminants absorbent sous forme d'eau de boisson ou d'eau de composition des aliments, 2 à 4Kg d'eau par Kg de matière sèche ingérée ; si on réduit la moitié l'abreuvement normal d'un animal, la consommation volontaire de la matière sèche est réduite de 30 %.

En revanche, une diminution de l'abreuvement entraîne une réduction du volume des urines, une diminution de l'excrétion azotée et de l'urée urinaire, une augmentation de l'azote uréique du plasma et de la rétention azotée (REVIERE, 1977)

III.4.1.7. Le facteur climat :

Les variations de température modifient le niveau d'ingestion des animaux. En climat tempéré, une élévation de température au dessus de 21 °C entraîne une diminution de la consommation, alors qu'une baisse de température à l'effet inverse, l'animal doit produire une quantité plus importante de chaleur pour maintenir la température de son corps constante, ceci se traduit par une dépense énergétique supplémentaire, augmentant de ce fait les quantités ingérées (CHERMITI et al., 1991).

IV. VALORISATION DES PAILLES PAR DIFFERENTS PROCEDES :

Avant de parler de valorisation des pailles, nous présentons dans le tableau 6 les facteurs limitants de la valeur nutritive des pailles :

Tableau 6 : Les facteurs limitants de la valeur nutritive des pailles.

Facteurs	Implications	Références
Organisation de la cellulose	La cellulose est moins accessible aux agents de dégradation lorsqu'elle est sous forme cristalline. Elle présente un haut degré de polymérisation estimé entre 10.000 et 14.000 qui la rend plus résistante à l'attaque enzymatique, par suite d'un faible nombre d'extrémités de chaînes non réductrices disponibles à être attaquées.	BERNOUD (1980)
Acétyles.	La décétylation des arabinoxylyanes par traitement à la soude ou à l'NH ₃ augmente la dégradation.	BACON et al., (1981)
Acides phénoliques	Inhibent la croissance et le développement des microorganismes cellulolytiques.	AKIN (1982)
Teneur en silice	Souvent corrélée négativement à la digestibilité, la silice associée à la lignine, entravant la dégradation de la cellulose.	VAN SOEST (1980)
Taille des particules	Affecte la digestibilité en déterminant le temps de séjour dans le rumen.	SUNDOSTOL et al., (1978)
Teneur en lignine	C'est le facteur le plus abondamment cité par son incrustation dans les polyosides de la paroi, forme une barrière physique qui limite l'accessibilité des agents de dégradation. la lignine formerait des liaisons covalentes avec les hémicelluloses.	CHESSON et MURISON(1989)
Teneur en azote	La carence en matières azotées (2 et 5 % pour les pailles de céréales) avec la forte teneur en tissus lignifiés est une cause principale de leur faible digestibilité.	DULPHY (1979)
Autres facteurs	Les cutines, les subérines, cires et autres composés, peuvent inhiber l'activité des bactéries. Ces produits toxiques de la réaction de MAILLARD peuvent être formés (Echauffement du matériel végétal).	VAN SOEST (1980)

IV.1. La complémentation :

La valeur alimentaire potentielle d'une paille en l'état ne peut pas être exprimée si les microbes de la panse de l'animal qui la consomme ne reçoivent pas les éléments nutritifs dont ils ont besoin sous forme d'un apport minimum. Si on attend de l'animal des productions plus élevées, il faudra lui apporter les compléments lui fournissant les nutriments nécessaires à ces productions.

L'objet de ce chapitre c'est de décrire ce que doivent être les quantités et la nature des apports complémentaires pour que l'animal puisse valoriser le fourrage distribué dans les deux grandes situations nutritionnelles rencontrées :

- Régimes d'entretien : ou même seulement de subsistance où les rations sont essentiellement constituées de pailles non traitées.
- Régimes de production : où on examinera le cas des pailles non traitées et celui des pailles traitées.

Les microorganismes du rumen ont besoin d'ammoniac et de protéines, ces dernières assurent une meilleure activité cellulolytique, ceci indique que les microorganismes ont besoin d'acides aminés en association avec des acides gras. Ceci montre que les pailles ont besoin d'une complémentation en quantité et en qualité pour optimiser les fermentations cellulolytiques dans le rumen, ceci a été confirmé par RAMIHONE et CHENOST (1988).

En qualité : l'importance de l'apport d'une petite quantité de protéines sur l'activité cellulolytique et la digestibilité est prouvée. Ces protéines sont peu dégradables fournissent aussi en plus des acides aminés qui contribuent à l'amélioration des performances zootechniques. PRESTON et LENG (1984) montrent que l'addition de 50g de farine de poisson à une ration de paille traitée multiplie par trois les performances de croissance des jeunes bovins. Ces auteurs suggèrent que les pailles doivent être colonisées avant d'être fermentées et que la fourniture d'une petite quantité de cellulose facilement digestible (pulpe de betterave, bon fourrage...etc.) juste avant la distribution augmente le nombre des microorganismes cellulolytiques dans le rumen.

Il convient aussi de ne pas oublier les minéraux plus particulièrement le soufre nécessaire aux microorganismes du rumen et qui ne sont pas apportés en quantité suffisante par la paille.

En quantité : les animaux même à besoins modérés, ne peuvent pas se contenter de paille. Même traitée, ils doivent recevoir une complémentation destinée aux microorganismes, cette complémentation va être fournie sous forme d'aliment digestible. Cette complémentation doit être limitée (DULPHY et al., 1983), l'idéal c'est de mélanger entièrement à la paille, cette complémentation sous forme de fourrage verts ou ensilés très digestibles ou de pulpe de betterave est préférable à une complémentation sous forme de céréale (DULPHY et al., 1982).

IV.1.1. La complémentation énergétique :

La fraction énergétique de la complémentation devra être apportée de manière à ce que la diminution de l'activité cellulolytique soit la plus faible possible. L'ensemble des nombreux travaux de recherche sur ce sujet permet de dire que les compléments énergétiques devraient être :

- Les plus riches possible en parois facilement dégradables comme les pulpes de betteraves, et d'agrumes, les drèches de brasserie, ils peuvent alors représenter jusqu'à la moitié de la matière sèche totale de la ration et le moins riche possible en amidon. Si ce n'était pas le cas, ils ne devraient pas représenter plus du tiers de la matière sèche totale de la ration. Lorsqu'on ne pourra pas faire autrement, les amidons de maïs et de riz permettent une meilleure cellulolyse que ceux d'orge. Un niveau élevé d'azote dans la ration permet également de limiter l'effet dépressif sur la digestibilité du fourrage pauvre, c'est ce qu'illustre le tableau 7.
- Le plus étalé possible dans le temps, ce qui implique des apports fractionnés ou; mieux, continus grâce à leur mélange avec la ration de base. (ANDREWS et al., 1972).

Tableau 7 : Influence de la complémentation azotée et énergétique sur la digestibilité de la MS (ANDREWS et al., 1972).

Niveau azoté (MAT % MS ration)	Niveau énergétique de la ration	Digestibilité de la MS de la paille (%)
faible (6,4)	Fort	41,0
fort (10,4)	Fort	53,3

Ces recommandations ne sont pas seulement valables pour les pailles non traitées mais également, pour les pailles traitées. Ainsi le risque d'une complémentation trop importante et non appropriée est d'une part une substitution du fourrage traité par le complément, et d'autre part une diminution de la digestibilité propre du fourrage traité (tableau 8). (HORTON, 1978).

Tableau 8 : Exemples de l'effet du niveau et de la nature de la complémentation sur la digestibilité d'une paille de blé (HORTON, 1978).

	Digestibilité de la MS (%)	
	de la paille dans la ration	de la ration totale
Paille seule	45.5	
NT + 30% de concentré		58.9

IV.1.2. La complémentation azotée :

Les travaux de recherche ont montré que, particulièrement dans le cas des fourrages pauvres, il est également utile d'apporter, en plus de l'azote dégradable, les matières azotées supplémentaires sous la forme la moins dégradable possible: tourteaux, protéines d'origine animale, protéines végétales comme les légumineuses arbustives qui améliorent encore leur valeur alimentaire (tableau9).

Tableau 9 : Effet de la farine de poisson (FP) et de la pulpe de betterave (PB) sur l'ingestion et la digestibilité d'une paille complétementée avec de l'urée (SILVA et al, 1989).

Paille	Complément	Paille ingérée	Digestibilité de la paille (%)
		MS (g/j)	
Non traitée + urée	-	414	49
Non traitée + urée	FP (50g/kg de paille)	480	56
Non traitée + urée	PB (150g/kg de paille)	505	57

En effet ces protéines, assurent la fourniture des acides aminés nécessaires à l'animal hôte pour réaliser sa production (lait, croissance, travail, reproduction). La seule synthèse des protéines microbiennes ne peut couvrir la totalité des besoins azotés de la plupart des animaux en production. Il est par conséquent souhaitable d'apporter une petite quantité de protéines d'origine alimentaire échappant à la dégradation dans le rumen.

Elles sont en outre utiles pour les microorganismes du rumen qui peuvent utiliser de manière bénéfique (synergique) des acides aminés et des polypeptides courts. Cette constatation,

relativement récente (RAMIHONE, 1987, RAMIHONE et CHENOST, 1988, SILVA et al., 1989) est encore trop peu prise en considération.

Enfin, point important mis en évidence par EGAN (1965), et plus récemment PRESTON et LENG (1980) avec des fourrages tropicaux de qualité médiocre, un mauvais état nutritionnel des animaux qui est consécutif à une absorption insuffisante d'acides aminés au niveau intestinal. La fourniture de protéines stimulerait l'appétit de l'animal hôte et, par conséquent, l'ingestion des fourrages pauvres comme les pailles.

IV.2. Les traitements chimiques :

IV.2.1. Le traitement à l'ammoniac :

Le traitement à l'ammoniac est un procédé technologique dont le but est de rendre les constituants pariétaux des fourrages pauvres plus accessibles aux enzymes digestives des micro-organismes du rumen afin d'améliorer la digestibilité.

Le traitement des pailles à l'ammoniac est une technique qui vient du nord de l'Europe permettant de valoriser la paille, cette technique est connue depuis longtemps mais il ne s'est développé que depuis une vingtaine d'années (DULPHY et al., 1984). Dès 1933, KROMBERGER l'utilise en Allemagne.

Il est intéressant pour les sous-produits ligno-cellulosiques, car il associe les propriétés basiques à l'ammoniac (rupture des liaisons hémicellulose- lignine) à un apport d'azote non protéique susceptible d'être utilisé ensuite par les bactéries de rumen (BACON et al., 1981).

IV.2.1.1. Techniques de traitement :

IV.2.1.1.1. Traitement en meule, sous bâche plastique (méthode norvégienne) :

Le traitement en tas est le plus simple, cette technique est couramment employée du fait de sa simplicité, elle est décrite par SUNDSTOL et al., (1978).

Il consiste à injecter de l'ammoniac dans une meule de paille, les bottes de pailles sont placées sur un film plastique au sol, chaque couche de bottes étant placée perpendiculairement à la précédente afin d'augmenter la stabilité de la meule, un second film plastique recouvre cette meule et dépasse très largement ses dimensions. Les rebords des deux bâches sont enroulés entre autre d'une latte de bois, le tout est recouvert de sac de terre de façon à ce que l'ensemble soit plus hermétique possible.

L'ammoniac, amené par camions en cuves est injecté par un tuyau perforé au dessous du deuxième et troisième rang de bottes et relié à la cuve d'ammoniac (figure 2).

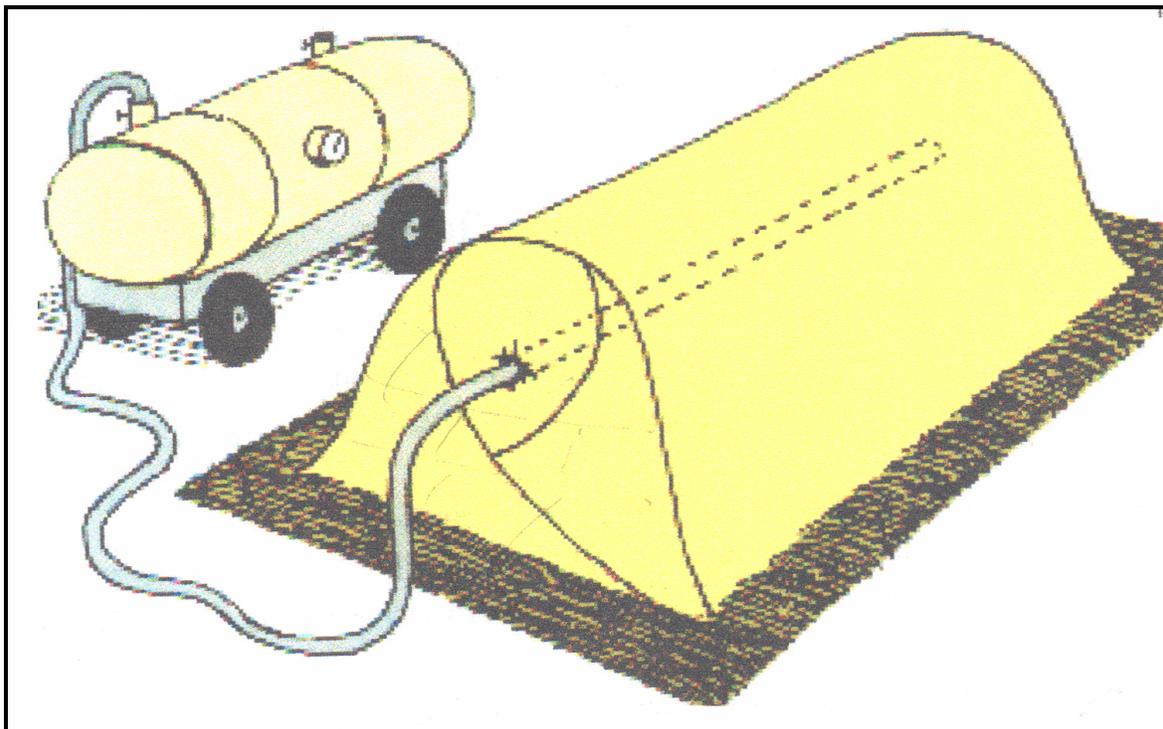


Figure 2 : Le traitement de la paille sous bâche.

L'injection doit se faire le plus lentement possible, l'idéal étant une injection de gaz en 24 à 48 heures. Des précautions sont à prendre : l'ammoniac est un gaz dangereux à manipuler, de l'air contenant de 15 à 28% de l' NH_3 explose en présence d'une flamme, c'est pourquoi le traitement doit se faire en plein champ.

Selon SUNDSTOL et al., (1978), l'efficacité du traitement augmente avec :

- la quantité d'ammoniac injectée : jusqu'à un maximum de 50g/Kg de paille mais une dose de 30g (soit 30Kg pour une meule de 1 tonne) peut s'avérer suffisante si les deux autres facteurs sont optimisés.
- l'humidité de la paille : avec un maximum de 25 à 30 % pour éviter les risques de moisissures et limiter la condensation.

- la température extérieure : ce qui nécessite de traiter sous bâche noire, en été, pour capter le maximum d'énergie solaire. La réaction chimique est elle-même exothermique, c'est-à-dire qu'elle produit la chaleur.

Intérêts et limites de cette méthode :

Elle nécessite le moins investissement mais elle demande plus de main d'œuvre pour la confection et la fermeture du tas.

IV.2.1.1.2. Traitement en conteneur isolé (technique tunnel chauffant) :

Il s'agit d'une enceinte de construction industrielle ou artisanale, équipée ou non d'un chauffage électrique (figure 3). Plusieurs systèmes chauffants sont actuellement proposés : FMA est importé de Danemark, SFS de grande Bretagne, TGC et CIL sont deux marques françaises récentes sur le marché, la durée de traitement par tout ces systèmes est de 23 heures qui comporte 3 phases :

- La première phase : dure 15 heures et comprend le chauffage, durant cette phase les vapeurs d'ammoniac portées à 85-95°C sont brassées à l'intérieur de la masse de la paille.
- La deuxième phase : dure 4 heures et durant cette phase le chauffage et la ventilation sont arrêtés pour permettre la fixation de l'ammoniac sur la paille.
- La troisième phase : dure 4 heures, cette phase est consacrée à la ventilation par de l'air frais pour chasser l'ammoniac non fixé.

La marque CIL propose un cycle économique (chauffage à 70°C seulement) mais qui s'étend sur 48 heures.

En absence de chauffage (enceinte artisanale en général), il faut injecter de l'ammoniac sous forme gazeuse pour bénéficier de la chaleur de la réaction, la durée du traitement est plus longue que celle par chauffage (4 à 5 jours par cycle).

Dans les deux cas, la quantité t'ammoniac peut être limitée à 30-35g /Kg de paille, En fonction des besoins journaliers en paille et en fonction de la durée du traitement on choisi le volume de conteneur.

Les quantités traitées au cours de chaque cycle sont peu importantes puisque le but n'est pas stocker la paille à long terme mais d'intervenir en fonction des besoins, d'où la nécessité du traitement quotidien, pour cette raison, il faut choisir un four de capacité et d'une forme adaptée aux types de balles utilisées sur l'exploitation (figure3). Avec cette méthode, le système de balles rondes semble plus approprié (CHENOST et DULPHY, 1987).



Figure 3 : Tunnel chauffant.

Intérêts et limites de la technique :

Ce procédé permet le traitement des pailles en toute saison quelque soit les conditions climatiques, mais, en revanche, le traitement doit être quotidien et aussi un investissement considérable.

IV.2.1.1.3. Traitement à l'intérieur d'une gaine plastique (procédé ARMAKO) :

Ce type de traitement consiste à traiter individuellement les balles rondes à l'aide d'une fourche frontale munie de cinq dents creuses pour l'injection de l'ammoniac (figure 4), cette technique s'effectue en mettant les balles à l'intérieur d'une gaine continue pouvant en accueillir environ quarante balles, un seul homme peut traiter les quarante balles de 300Kg à l'heure. En la comparant à la technique « meule » les contraintes de bâchage et les risques d'éclatement de la bâche par excès de pression sont éliminés (CHENOST et DULPHY, 1987).

L'ammoniac est stocké dans une cuve que porte le tracteur, et L'injection de l'ammoniac se fait en vingt points par l'intermédiaire des doigts de la fourche. Le commandement du volume et du temps se fait par un temporisateur placé dans la cabine. Ce système nécessite 30Kg d'ammoniac par tonne de paille (CHENOST et DULPHY, 1987).

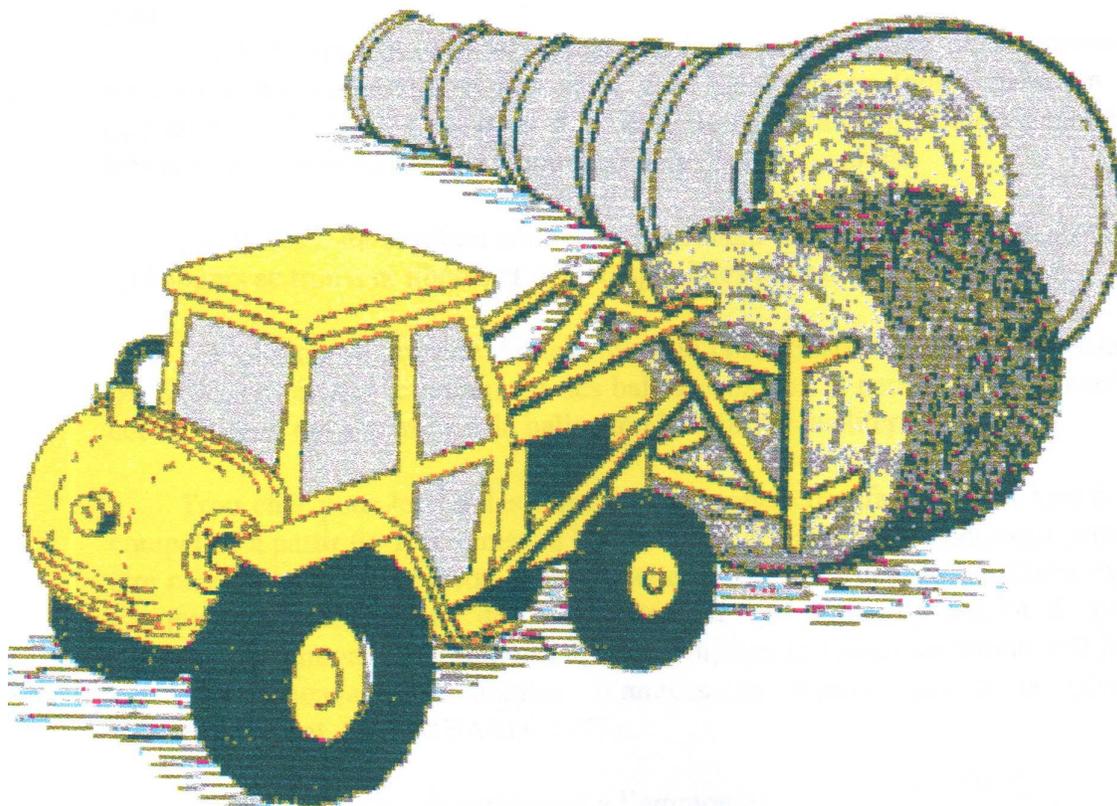


Figure 4 : Procédé ARMAKO.

Intérêts et limites de la technique :

C'est une technique rapide et très mécanisée, elle permet un gain de 10 à 20Kg d'ammoniac par rapport au traitement en tas, et elle ne demande pas une main d'œuvre importante, en revanche, c'est une technique coûteuse.

IV.2.1.2. Les conditions du traitement à l'ammoniac:

Il s'agit essentiellement de la quantité d'ammoniac, la température, la durée du traitement et de l'humidité du substrat en cours de traitement ainsi que de la nature du fourrage traité et des interactions de ces différents paramètres qu'il est difficile de dissocier.

Ces paramètres ont fait l'objet de nombreuses études et mises au point par SUNDSTOL et COXWORTH (1984) et de CORDESSE (1987).

IV.2.1.2.1. La quantité d'ammoniac :

C'est le paramètre le plus important. L'ensemble des travaux réalisés sur ce sujet conduisait SUNDSTOL et al., (1978) à conclure que l'augmentation des doses d' NH_3 au delà de 4,0 jusqu'à 5,5 et 7,0kg pour 100 kg (MS) de paille n'entraînait plus qu'une amélioration marginale (figure 5).

En analysant l'effet de la quantité d' NH_3 sur l'augmentation de la digestibilité d'une paille d'orge traitée pendant 4 semaines à différents niveaux d'alcali et à différentes températures par plusieurs auteurs concluait ainsi que des doses supérieures à 4 % (de la MS de paille traitée) ne se justifient pas, du moins dans la mesure où les autres paramètres sont respectés. L'optimum économique se situe très certainement entre 2,5 et 3,5kg d' NH_3 pour 100kg de MS de paille traitée (c'est à dire entre 2,1 et 3,0kg pour 100kg de paille à 85 % de MS). SUNDSTOL et al., (1978).

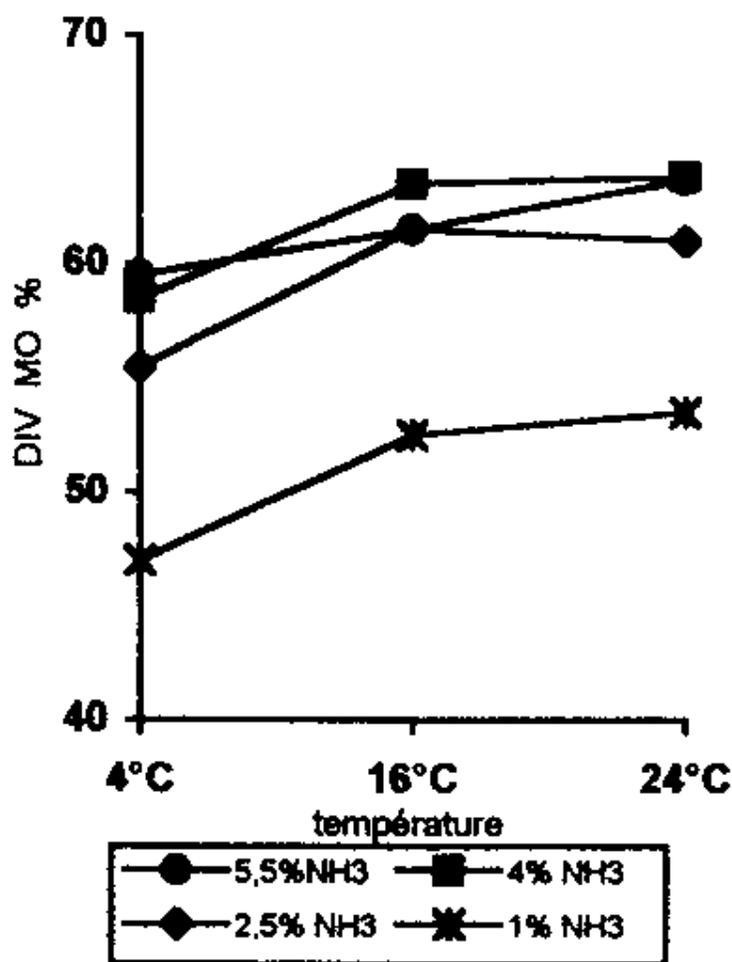


Figure 5 : Influence de la température et de la dose d' NH_3 sur la digestibilité in-vitro de la MO (SUNDSTOL et al., 1978).

IV.2.1.2.2. La température et la durée du traitement :

Il est difficile de dissocier ces deux paramètres car les réactions chimiques de l'ammoniac sur la paille sont, comme la majorité des réactions chimiques, d'autant plus rapides que la température à laquelle elles s'effectuent est élevée. La figure 6, empruntée à SUNDSTOL et al., (1978) illustre bien ce phénomène.

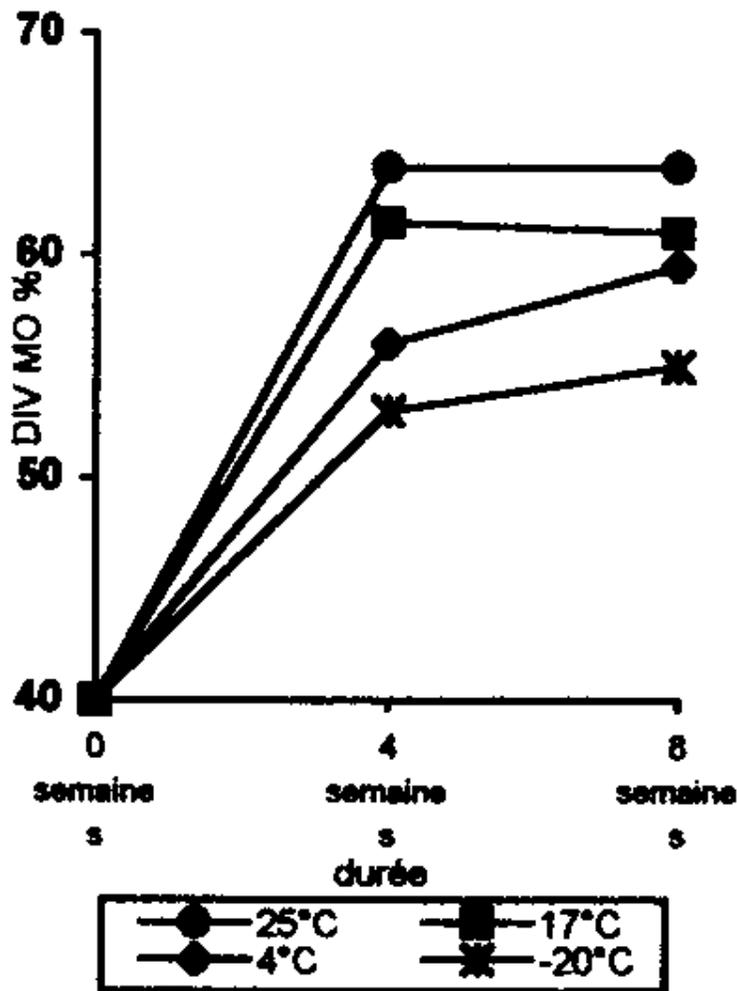


Figure 6 : Influence de la température et de la durée du traitement sur la digestibilité in-vitro de la MO.

L'élévation très rapide de température lors du traitement, due à la réaction exothermique, n'est pas suffisante à elle seule pour assurer de bonnes conditions de réaction dans le cas des traitements en tas (non calorifuges). En effet, la température de la masse du fourrage va s'équilibrer au bout de quelques jours à la température ambiante. Par conséquent c'est la température ambiante

qui aura l'effet le plus important et déterminera l'efficacité du traitement. Il faut savoir en outre que l'ammoniac est une base faible qui réagit plus lentement.

L'essentiel est de respecter une durée de traitement d'autant plus longue que la température ambiante est basse, et vice et versa, mais avec des limites. A partir de 17°C, il n'est plus très important d'augmenter le temps de traitement au delà de 4 semaines (figure 6). Le traitement n'est même que de quelques heures à 90-100°C. En revanche dans les régions tempérées ou tropicales où il peut geler la nuit pendant les saisons où s'effectuent les traitements, il est important de respecter des durées suffisantes, l'efficacité du traitement continuant à s'améliorer jusqu'à 8 semaines. Pour les températures intermédiaires entre 5 et 15°C, on pourra ainsi adopter des durées intermédiaires entre 4 et 8 semaines.

En définitive et sur le plan pratique, les recommandations préconisées par SUNDSTOL et al., (1978), peuvent constituer de bonnes indications (tableau 10) :

Tableau 10 : La variation de la durée du traitement en fonction de la température ambiante.

température ambiante	durées à respecter
<5°C	plus de 8 semaines
5-15°C	4 à 8 semaines
15-30°C	1 à 4 semaines
>30°C	moins de 1 semaine

L'ammoniac apporte de l'azote qui va être retenu par la paille pour partie (en gros les 2/3) par adsorption (cette partie est labile et partira progressivement si la paille traitée est laissée longtemps à l'air) et pour une autre partie (le 1/3) par réaction chimique avec les parois de la paille (seule cette partie est solidement fixée. Cette réaction sera d'autant plus complète que température et durée (ainsi également que humidité) du traitement seront élevées (SUNDSTOL et al., 1978).

IV.2.1.2.3. L'humidité à laquelle est effectué le traitement :

Le pourcentage d'humidité à l'intérieur de la masse de fourrage traité est un facteur d'efficacité du traitement ammoniacal. Des travaux sur ce sujet ont été effectués (WAISS et al., 1972, BORHAMI et SUNDSTOL, 1982, CORDESSE, 1982, ALIBES et al., 1983), plus l'humidité est augmentée, plus le traitement est efficace. La figure 7 montre que la courbe est quasi linéaire même à des températures basses et pour des durées de traitement élevées.

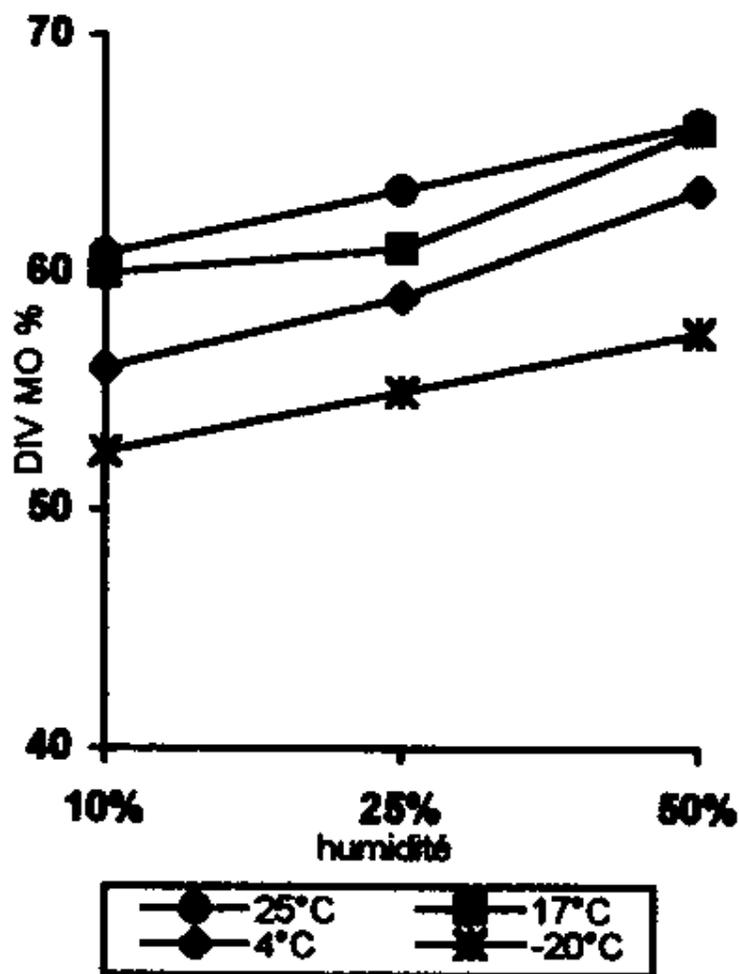


Figure 7 : Influence de la température et de l'humidité sur la digestibilité in-vitro de la MO.

On peut retenir globalement que l'humidité optimale pour un bon traitement se situe dans la fourchette 15-25%. Même si des humidités supérieures améliorent encore l'efficacité du traitement, d'autres inconvénients liés par exemple à l'aptitude au stockage (risques de moisissures), aux difficultés de manutention de produits trop humides, apparaissent et risquent de réduire l'effet bénéfique de l'humidité.

IV.2.1.2.4. La nature du fourrage à traiter :

C'est un point très important. En effet, l'ensemble des résultats bibliographiques montre que les pailles réagissent d'autant mieux au traitement qu'elles sont au départ moins digestibles: aussi le traitement peut il ne pas être aussi efficace dans le cas de pailles de bonne qualité.

La capacité d'un fourrage à réagir à un traitement alcalin dépend de sa famille botanique, de l'espèce à laquelle il appartient, de sa variété et de son stade de développement, cette capacité est essentiellement liée à la nature des liaisons entre les acides phénoliques et la lignine (éthers ou esters, respectivement plus ou moins sensibles aux alcalis). C'est d'ailleurs pour ces raisons que d'une manière générale, les légumineuses sont beaucoup moins sensibles à l'attaque alcaline et que les traitements de tiges de légumineuses répondent beaucoup moins bien aux traitements que celles de graminées. Il existe également de grandes différences entre les espèces à l'intérieur des graminées. Cette grande variabilité dans l'aptitude des pailles à répondre aux alcalis conduit ainsi à penser qu'il n'y aurait pas une dose, universelle pour toutes les pailles, mais des doses, plus ou moins importantes suivant leur nature botanique. C'est sans doute en partie pour cette raison que les essais sur la réponse des pailles aux doses d'alcalis ont été aussi nombreux et leurs résultats aussi peu homogènes (DIAS-DA-SILVA et al., 1988).

IV.2.2. Le traitement à l'urée :

IV.2.2.1. Le principe :

Le traitement à l'urée (source génératrice d'ammoniac) est une technique simple et très facilement maîtrisable par le paysan. Elle consiste à incorporer par arrosage une solution d'urée au fourrage grossier sec et à recouvrir l'ensemble avec les matériaux étanches localement disponibles. En présence d'eau et d'enzyme, appelée uréase, et s'il fait suffisamment chaud, l'urée est hydrolysée en ammoniac gazeux et en gaz carbonique selon la réaction enzymatique simplifiée suivante :

			Chaleur			
CO (NH ₂) ₂	+	H ₂ O	→	2 NH ₃	+	CO ₂
			Uréase			
Urée		eau		ammoniac		gaz carbonique

C'est l'ammoniac ainsi généré qui effectuera le traitement (alcalin) proprement dit en diffusant progressivement dans la masse de la paille. Il agira de la même manière que l'ammoniac anhydre sur le matériel végétal par :

- Solubilisation des glucides pariétaux (notamment les hémicelluloses).
- Gonflement du matériel végétal en milieu aqueux, facilitant l'accès des microorganismes cellulolytiques du rumen.
- Diminution de la résistance physique des parois, facilitant le travail de mastication par l'animal et la digestion par les microbes.
- Comme dans le cas du traitement à l'ammoniac anhydre le fourrage sera en outre enrichi en azote.

Il en résultera pour le fourrage une augmentation de sa digestibilité (de 8 à 12 points), de sa valeur azotée (qui sera plus que doublée) et de son ingestibilité (de 25 à 50%), donc de sa valeur alimentaire (CHENOST, 1993).

IV.2.2.2. Les types de traitements et de stockage :

La stratégie et le type de traitement vont dépendre des trois points suivants :

- Du conditionnement de la paille:
 - En vrac: haché ou en brins longs.
 - En gerbes: mécaniques ou manuelles
 - En balles pressées.
- De la quantité de fourrage à traiter, elle même dépendant du nombre d'animaux et du temps pendant lequel ceux-ci recevront le fourrage traité.
- Des possibilités matérielles et financières de l'éleveur et de sa disponibilité (calendrier des travaux agricoles).

En outre le fourrage traité peut se conserver pendant plusieurs mois si la masse de fourrage traité est bien refermée après chaque ouverture. Il serait par conséquent possible de traiter en une

seule fois tout le fourrage nécessaire pour tous les animaux pendant toute la saison sèche. Cela n'est pas toujours faisable (CHENOST, 1993).

IV.2.2.2.1. Le trou ou la fosse :

C'est un dispositif simple mais un peu coûteux, mais qui peut conduire à de grosses erreurs s'il n'est pas raisonné et maîtrisé.

Il ne peut s'envisager que dans des sols lourds et fermes dont la coupe est franche, tout au moins, ne présentant aucun risque d'entrée d'eau soit par ruissellement (éviter les creux) soit par infiltration souterraine .Il est à proscrire dans le cas de sols légers ou sableux dont les parois se désagrègent facilement et s'éboulent et dans les cas où le fourrage, une fois traité, sera utilisé jusqu'en début de saison des pluies (infiltration, moisissures).

Ils ne doivent être ni trop profonds (problèmes de reprise du fourrage traité) ni trop grands (problèmes de couverture, risque d'exposition aux éventuelles pluies). Des dimensions de 2 m x 1 m sur 1 m de profondeur conviennent parfaitement.

Ce sont donc des dispositifs à n'utiliser que pour des petites quantités (200 à 300 kg) de fourrage à traiter (KAYOULI, 1994).

IV.2.2.2.2. Tranchée semi-enterrée :

C'est toujours un trou (pas de murs construits) mais creusé dans un talus ou une déclivité de terrain. Les deux avantages par rapport au trou sont l'accès plus direct et les risques de contamination par l'eau moins importants, là aussi il faut des sols fermes argileux. (CHENOST, 1993).

IV.2.2.2.3. Silo couloir :

Par rapport au trou ou à la tranchée le couloir implique une élévation de parois (de murs). Le coût de ces silos dépendra de leur taille mais, surtout, de la nature des matériaux utilisés pour construire les murs. Ceux-ci peuvent être construit en briques cuites ou parpaings. (CHENOST, 1995).

IV.2.2.2.4. Silo banco :

Une technique qui a été développée depuis 1988 par KAYOULI. C'est un matériel utilisé pour la construction des caves et des greniers, il est constitué d'un mélange de terre argileuse, de

paille hachée et d'eau, durcissant par séchage et pouvant alors résister plusieurs années. Les meilleurs résultats sont obtenus avec ce type de silo, en raison de sa bonne étanchéité et sa durabilité.

Le silo peut s'appuyer sur l'un des murs déjà existant, ce qui permet de réduire les coûts de construction. Par exemple, un silo de 10 m³ contient environ 1200Kg de fourrage, ce qui permet l'engraissement de deux bovins pendant trois mois.

IV.2.2.2.5. Silo en Secko ou en canisse :

Les silos délimités par des seckos ou canisses sont renforcés par des piquets en bois. Ils ont pour inconvénient leur faible étanchéité et leur résistance limitée.

Le choix du silo se fait en fonction des moyens de l'agro éleveur, des conditions locales et du volume de la paille à traiter (CHENOST, 1995).

IV.2.2.3. Les facteurs de réussite du traitement à l'urée :

Le traitement à l'urée est basé sur la transformation de l'urée en ammoniac. Pour qu'un tel traitement soit réussi, il faut d'abord que la majorité de l'urée apportée soit hydrolysée en NH₃ et ensuite que ce dernier diffuse correctement pour se fixer sur le fourrage et le modifier chimiquement. Il convient donc de réunir les conditions favorables à une bonne uréolyse et à un bon traitement ammoniacal sachant que ces deux processus prendront place simultanément dans la masse du fourrage.

L'objet de ce chapitre est d'étudier plus en détail les conditions de réussite de l'uréolyse en voyant comment cette dernière peut éventuellement affecter le traitement ammoniacal proprement dit.

Les conditions pratiques de la réussite du traitement sont la présence d'uréase, la dose d'urée (qui va déterminer la dose d'ammoniac à laquelle sera traité le fourrage), l'humidité, la température et la durée du traitement, l'herméticité du milieu de traitement et, enfin, la qualité initiale du fourrage à traiter. Elles sont interdépendantes et il est difficile de dissocier les unes des autres (WILLYAMS et al., 1984).

IV.2.2.3.1. La présence d'uréase :

L'hydrolyse de l'urée est une réaction enzymatique qui ne peut s'effectuer qu'en présence d'uréase, enzyme coupant la molécule d'urée.

Les conditions du traitement doivent ainsi favoriser le développement des bactéries uréolytiques au sein du fourrage traité: humidité, température, durée, au détriment des microorganismes susceptibles de provoquer des moisissures et des putréfactions. (WILLYAMS et al., 1984).

IV.2.2.3.2. La dose d'urée :

Les premiers traitements de paille à l'urée ont fait l'objet de nombreuses controverses en ce qui concerne les doses d'urée à appliquer car on minimisait le degré d'uréolyse et, par là, la quantité d'ammoniac produite - elle seule responsable de l'efficacité du traitement alcalin - Il est maintenant bien établi que les doses optimales se situent entre 4 et 6 kg d'urée par 100 kg de paille brute, ce qui correspond à un traitement ammoniacal se situant entre les valeurs de 2,4 et 3,4 kg d' NH_3 par 100 kg de paille brute. Elles correspondent à celles recommandées pour le traitement à l'ammoniac anhydre (SAHNOUNE, 1990).

Des doses d'urée plus élevées n'entraînent pas d'amélioration supplémentaire significative de la valeur alimentaire de la paille (SCHIERE et IBRAHIM, 1989). Ces derniers auteurs ont même été jusqu'à vulgariser au Sri Lanka des doses de 4% d'urée. La controverse en la matière est très certainement à rechercher dans l'ensemble des raisons suivantes :

- Le traitement à l'urée s'effectue à une humidité plus élevée que celui effectué à l'ammoniac anhydre. A dose d' NH_3 égale, il est donc plus efficace, et la tendance est de réduire la dose d'urée.
- Le traitement alcalin, s'il est plus efficace, est plus lent que celui à l'ammoniac car il s'effectue en présence des composés intermédiaires (carbammates) de la production de l'ammoniac. Or ces derniers freinent la fixation de l' NH_3 et l'hydrolyse des parois végétales (SAHNOUNE, 1990).

- Comme l'a montré SAHNOUNE (1990), l'hydrolyse de l'urée peut s'arrêter ou ralentir lorsque la quantité d'ammoniac libre (non encore fixée) à l'intérieur de la masse traitée est importante.
- Enfin, la réponse du traitement dépend de la qualité initiale du fourrage à traiter.

Des tentatives ont été faites pour diminuer la dose d'urée à 2-3% en y associant de la chaux, qui favoriserait l'hydrolyse de l'urée mais, surtout, le traitement alcalin. Les travaux sur cet aspect sont encore au stade des essais et les références sur la réponse des animaux sont encore trop rares pour pouvoir vulgariser la technique (ZAMAN et OWEN, 1990, WANG et FENG, 1993, KAYOULI, 1994 a et b). Un essai récent de BUI VAN CHINH et al. (1994) au Vietnam avec une paille de riz traitée à raison de 2,5kg d'urée, 0,5kg de chaux et 0,5kg de sel donne toutefois des résultats intéressants sur des bovins en croissance.

En conclusion et en pratique, la majorité des travaux et des observations de terrain conduit à recommander la dose de 5kg d'urée pour 100 kg de fourrage en l'état (ramassé sec).

IV.2.2.3.3. La quantité d'eau à rajouter :

L'hydrolyse de l'urée ne peut s'effectuer qu'en présence d'eau. La quantité d'eau à ajouter dans le fourrage est donc un facteur déterminant de la réussite du traitement.

L'hydrolyse de l'urée s'effectue d'autant mieux qu'il y a plus d'eau. Comme cette réaction a lieu en milieu complexe constitué de fourrages dans lesquels la solution d'urée est incorporée, il existe des limites pratiques à cette humidité. Or les travaux sur la compréhension de l'uréolyse en milieu hétérogène (eau plus fourrages) sont très peu nombreux (WILLIAMS et al., 1984 a et b, SAHNOUNE et al., 1991 et 1992, YAMEOGO et al., 1993).

C'est pourquoi, tant dans les pays tempérés que dans les pays tropicaux, les travaux ayant cherché à définir la quantité d'eau idéale à ajouter sont parfois contradictoires (WILLIAMS et al., 1984).

Le tableau 11 donne un exemple concret des quantités d'eau minima et maxima à ajouter suivant la teneur en matière sèche de la paille. Une faible variation de cette dernière peut entraîner des différences importantes dans les quantités d'eau à rajouter. Il conviendra d'être très vigilant en zone tropicale sahéenne où non seulement les pailles ou les fourrages naturels sont très secs (MS%

souvent supérieur à 92) mais où le degré hygrométrique de l'air est très bas favorisant une évaporation rapide et intense. Il faudra être vigilant, dans l'autre sens, dans le cas des pailles tempérées plus humides (teneur en MS% de 85, voire même moins).

Tableau 11 : Quantité d'eau à rajouter à 100 kg de paille pour obtenir une humidité finale de 30 et 50% suivant la teneur MS de la paille (WILLIAMS et al., 1984).

Eau à ajouter (litres/100 kg de paille)	MS de paille initiale (%)	Humidité finale (%)
30	90	30
50	90	39
85	90	50

En conclusion et pratiquement, la quantité d'eau recommandable à ajouter est de 30 litres d'eau par 100kg de foin en l'état (pendant la saison sèche). Cette quantité a d'ailleurs largement fait ses preuves dans de très nombreuses situations.

IV.2.2.3.4. La température ambiante et la durée de traitement :

La température ambiante joue un rôle déterminant sur la durée du traitement à travers son influence sur :

- Le développement des bactéries uréolytiques.
- La vitesse et l'intensité de la réaction d'uréolyse (la vitesse est doublée à chaque augmentation de la température de 10°C, elle est inversement ralentie de moitié à chaque diminution de 10°C).

Le traitement alcalin est correctement réalisé au bout d'une semaine à des températures supérieures ou égales à 30°C et au bout de une à quatre semaines à des températures comprises entre 15 et 30°C., ces durées sont donc les mêmes pour le traitement à l'urée dans la mesure où, toutefois, la réaction d'uréolyse s'est elle-même déroulée normalement.

La température idéale de l'uréolyse est de 30 à 40°C (30°C est d'ailleurs la température de référence pour le dosage de l'urée par action de l'uréase en laboratoire) (STIEFEL et al., 1991).

A des températures ambiantes plus basses l'activité des bactéries uréolytiques est ralentie et l'uréolyse est plus lente. Ainsi, dans le cas des pays tempérés ou des hauts plateaux tropicaux, malgré des journées chaudes, les nuits peuvent être très fraîches (il peut même geler) pendant la période des traitements, il convient de respecter des délais plus longs. Des traitements de 3 semaines se révèlent suffisants puisqu'on ne constate que de très faibles teneurs en urée résiduelle et une augmentation correcte de la digestibilité. Cinq semaines y ont été recommandées comme sécurité (STIEFEL et al., 1991).

IV.2.2.3.5. La qualité initiale du fourrage à traiter :

Le traitement à l'urée répond d'autant mieux que le fourrage est pauvre (CHENOST et DULPHY, 1987, TUAH et al., 1986., KIANGI et al., 1981).

Bien que, dans l'état actuel des connaissances, il soit difficile de distinguer une bonne paille d'une mauvaise paille et, surtout, l'aptitude d'une paille à répondre au traitement, (SCHIERE et IBRAHIM, 1989).

D'une manière générale les pailles d'orge sont meilleures que les pailles de blé, dur ou tendre.

Il est généralement recommandé de ne traiter que des fourrages morts (desséchés et pas verts) (IBRAHIM et al., 1984).

IV.2.2.3.6. L'herméticité du milieu de traitement :

Le dernier facteur de réussite du traitement est l'herméticité de l'enceinte de traitement, tant du point de vue des pertes de la solution d'urée introduite ou de l'ammoniac généré que du point de vue du maintien de l'anaérobiose (garantie contre le développement de moisissures au sein de la masse de fourrage traité qui est humide). En effet l'ammoniac, plus léger que l'air, diffuse dans la masse de fourrage et a tendance à s'échapper quand la paille n'est pas suffisamment tassée et l'enceinte pas suffisamment étanche. La pression d' NH_3 généré progressivement à partir de l'urée au sein de la masse de fourrage est toutefois beaucoup moins importante que dans le cas du traitement par injection d' NH_3 anhydre gazeux (CHENOST et al., 1987).

IV.2.3. Le traitement chimique de la paille à la soude :

En 1921, BECKMANN propose une technique de traitement qui est réalisé par un simple bain d'eau froide. Bien que la qualité du matériel traité ne soit pas meilleure, le procédé Beckmann donne un produit avec une digestibilité d'environ 70%.

Cependant, les besoins importants en main d'œuvre, les quantités d'eau nécessaires élevées, la nécessité d'une consommation immédiate, la perte de 25% de la matière sèche initiale ...etc ont empêché son application industrielle.

Une méthode de traitement plus simple et plus économique a été introduite par WILSON et PIGJEN (1964). La solution de soude est pulvérisée sur la paille, et le produit légèrement humide, est donné aux animaux sans être lavé. Le potentiel de digestibilité de la paille traitée ainsi est d'environ 70%.

IV.2.3.1. Techniques de traitement à la soude :

IV.2.3.1.1. La voie humide :

C'est la plus ancienne des procédés : elle a été mise au point à l'origine en Allemagne durant la première guerre mondiale (MELCION, 1978). Il consiste à tremper la paille dans un bain de soude à 2%, puis à la laver abondamment à l'eau et à la sécher à l'air libre. Cette voie humide a pris le nom de « procédé BECKMANN ».

IV.2.3.1.2. La voie semi humide :

La soude est introduite dans 1 à 3 litres d'eau par kilogramme de paille, puis la paille est mélangée à cette solution de soude diluée à raison de 2,5 litres de liquide par Kg de paille (solution de 1,6 à 5% de soude). La paille ainsi obtenue peut être distribuée aux animaux 24 à 48 heures après le mélange ou peut être ensilée. (JACKSON, 1977).

IV.2.3.1.3. La voie semi sèche :

Récemment, des fermes danoises ont mis au point une machine actionnée par un tracteur qui hache la paille et la malaxe fortement avec une solution plus concentrée que précédemment (environ 400 ml d'une solution à 12% de soude).

Le temps d'action de la soude après le malaxage est estimé à environ 8 jours. La paille traitée ainsi peut être stockée à l'air libre. (DULPHY et al., 1982).

IV.2.3.1.4. La voie sèche :

Ce sont principalement les danois qui ont mis au point et étudié une technique de traitement semi industrielle utilisant une solution de 16% de soude par kg de paille. Cette technique consiste à hacher la paille, à y introduire la solution de soude, à malaxer le mélange paille-eau-soude, puis à faire passer le tout dans une presse à filière. Dans ce cas, l'action de la soude est très rapide (20 secondes à une minute) et a lieu en majeure partie dans la presse à filière grâce à la pression très élevée et à la température à l'intérieur. L'action est d'autant plus efficace que le mélange eau-soude est bien malaxé avant pressage (MELCION, 1978).

IV.2.4. Effets des différents traitements sur les pailles :

IV.2.4.1. Cas des pailles traitées à l'ammoniac et à l'urée :

IV.2.4.1.1. Effet sur la Composition chimique :

Les traitements à l'ammoniac et à l'urée se traduisent essentiellement par un accroissement très net des teneurs en matières azotées totales, leur valeur passe en moyenne de 2,75% de la MS à 10% de la MS pour le traitement à l'ammoniac et à 9% de la MS pour le traitement à l'urée. Cet azote apporté par le traitement se trouve essentiellement sous une forme soluble (53 à 60% de l'azote total) et n'est que partiellement sous une forme ammoniacale (21 à 34% de l'azote total). (CHENOST et DULPHY, 1987).

Ces augmentations de la teneur en MAT ont été observées par tous les chercheurs ayant travaillé sur le traitement des pailles (tableau 12). Néanmoins, ces augmentations sont très variables et dépendent certes de la dose de réactif, du degré d'humidité de la paille, de la durée de conservation de la paille traitée et de la température ambiante (DEMARQUILLY et al., 1989).

Aussi, le traitement permet l'augmentation des teneurs en matière organique digestible (MOD) favorisant ainsi la formation d'AGV qui sont les produits de dégradation des glucides dans le rumen (BIEN-AIME, 1979). Le PH des pailles traitées correspondent à des conditions favorables à une efficacité satisfaisante de la flore microbienne particulièrement importante dans le cas d'une ration riche en fibre et en azote non protéique. (CORDESSE et TABA TABAI, 1981, KISTNER et al., 1979) montrent que l'activité cellulolytique de la flore microbienne du rumen est maximale pour les PH compris entre 6 et 7 et diminue beaucoup avec des PH inférieurs à 5,5 (rations riches en céréales).

Tableau 12: Composition chimique d'une paille traitée à l'urée (LAMRANI, 1990).

Types de traitement	NDF %	Cellulose %	Hémicellulose %	Lignine %	MAT %	MO %
PNT	83,1	45,2	30,5	5,2	3,2	80,7
PTU	75,1	41,3	29,2	4,1	11,4	81,1

IV.2.4.1.2. Effet sur la valeur alimentaire :

IV.2.4.1.2.1. L'effet sur les quantités ingérées :

Le traitement de la paille à l'urée ou à l'ammoniac permet l'augmentation des quantités ingérées. Il faut noter la variabilité de cette amélioration qui est due probablement à la nature de la paille.

Cette amélioration s'explique par une libération de la place dans le rumen par suite de l'augmentation de la vitesse de digestion dans le rumen.

IV.2.4.1.2.2. Effet sur la digestibilité de la matière organique :

Le traitement à l' NH_3 ou à l'urée permet une augmentation de la digestibilité de la matière organique, ces augmentations sont variables, cette variation est due aux différentes techniques employées, les doses d'incorporation d' NH_3 ou de l'urée, la durée du traitement, la température extérieure et la méthodologie de mesure de la digestibilité. Le traitement à l'ammoniac permet l'hydrolyse de certaines liaisons chimiques responsables de la rigidité de la membrane. Pour BACON et al., (1981), l'efficacité du traitement doit être recherchée dans l'hydrolyse des liaisons covalentes et hydrogènes existantes entre la lignine et les hémicelluloses, tandis que TRAKOW et FEIST (1968), TRAKOW et FEIST (1969) penchent pour l'hydrolyse des liaisons calcium unissant les chaînes parallèles des xyloses.

Les réactions de traitement se traduisent par une réduction importante de la rigidité des structures de la paille ce qui aboutit à un gonflement des parois permettant ainsi leur pénétration par l'eau, les électrolytes et par les enzymes cellulolytiques.

IV.2.4.1.2.3. Effet sur la digestibilité de MAT des pailles :

On note une amélioration de la d MAT de la paille traitée par rapport à la paille non traitée, cette amélioration reste plus faible : l'azote qui normalement permet l'augmentation de la synthèse des protéines microbiennes sera retenu par le fourrage et ainsi son utilisation par les microbes du rumen est mal connu.

LAWRENCE et al., (1991) proposent quelques réponses pour expliquer ce phénomène :

- Fixation irréversible de l'azote apporté par le traitement sur les composés pariétaux, cependant MICHALET-DOREAU et GUEDES (1989) ont montré que 70% de l'azote apporté par le traitement sont dégradés dans le rumen, ce phénomène a été observé par CHABACA (1993), donc cette hypothèse ne peut être retenue.
- Une accélération du transit dans les parties antérieures du tube digestif entraînant une accumulation et un séjour prolongé de l'aliment dans le gros intestin ou se déroulerait une bonne partie de la digestion, les protéines synthétisées par les microorganismes ne pouvant être absorbées, sont rejetées dans les fèces, cependant, HASSAN et al., (1992) rapportent que seulement 7 à 23% des MAND (matières azotées non digestibles) proviennent de l'azote bactérien, refermentation des fourrages dans le gros intestin reste donc peu importante.
- Diminution de l'activité cellulolytique du jus de rumen, ce phénomène a été très bien démontré par un certain nombre d'auteurs (DULPHY, KOMAR et ZWAENEPOEL (1984), RAMIHONE et CHENOST (1988) et DRYDEN et KEMPTEN (1983), cependant, les résultats sont contradictoires avec ceux rapportés par SILVA, GREENHALGH et ORSKOV (1989).
- Libération par la paille traitée aux alcalis de substances phénoliques, agents de compléxation des protéines enzymatiques et alimentaires.
- L'action dépressive des acides phénoliques notamment les acides coumariniques et feluriques sur la dégradation de la cellulose ont été rapportées par AKIN (1982), CHABACA (1993), ce dernier auteur, indique que la synthèse protéique diminue significativement, notamment pour la paille traitée à l' NH_3 , mais la croissance bactérienne serait diminuée consécutivement à la présence des substances phénoliques dans le rumen,

ces corps agirait soit directement sur les microorganismes soit en formant avec l'azote libre de la paille des complexes inaccessibles aux microbes, dans les deux cas, il y aura augmentation de l'azote fécal, donc une faible digestibilité des matières azotées.

Cependant HARTLEY cité par DEMARQUILLY, CHENOST et RAMIHONE (1989), considèrent que ces composés n'affectent pas la cellulolyse de la paille traitée à l' NH_3 , cela a été récemment confirmé en fermenteur continu .

IV.2.4.2. Cas des pailles traitées à la soude :

IV.2.4.2.1. Effet sur la composition chimique :

La méthode d'analyse WEENDE ne met en évidence aucune modification de la composition chimique de la matière organique (tableau 13).

Tableau 13: Effet du traitement à la soude sur la composition chimique (méthode WEENDE) et l'énergie brute de la paille d'orge (THOMSEN et al., 1973).

%NAOH	Protéines brutes (%)	Matières grasses (%)	Cellulose brute (%)	Cendres (%)	Matière organique %	Kcal/Kg de MS
0 (PNT)	4,28	1,41	44,18	5,32	94,68	443,7
2,0	3,39	1,78	42,43	6,38	93,62	434,1
3,0	3,96	1,63	40,78	7,75	92,25	426,3
4,0	3,88	1,39	40,94	9,37	90,63	423,9
5,9	3,33	1,19	41,44	12,19	87,81	414,9

La méthode d'analyse de VAN SOEST utilisée par THOMSEN et al., (1973) montre qu'après traitement à la soude, on retrouve les mêmes quantités de lignine et de cellulose, tandis qu'une partie de l'hémicellulose a été solubilisée (tableau 14).

Tableau 14 : Effet de traitement à la soude sur les constituants pariétaux.

%Soude	Cellulose %	Lignine %	Hémicellulose %
0 (PNT)	43,63	8,03	33,05
2,0	43,23	8,11	28,68
3,0	41,27	8,28	25,24
4,0	41,82	8,44	22,79
5,9	41,33	8,08	16,78
0,6	43,37	7,88	28,53
1,1	44,21	7,91	27,43
1,4	42,88	7,47	27,26
3,5	42,83	7,85	20,37
5,5	43,39	8,18	16,10
6,0	42,48	7,51	13,97

Selon SHARMA (1974), étudiant la paille de blé, le degré de solubilisation des membranes cellulaires augmente linéairement avec la concentration jusqu'à 15% de NaOH. Par contre, la teneur en cendres du produit augmente avec la dose de soude ce qui est normal puisque la soude engendre des sels minéraux.

En conséquence, la teneur en matière organique et en énergie brute diminue lorsque la teneur en soude augmente.

Lorsque un fourrage traité n'est pas lavé, comme dans le procédé par pulvérisation, la soude non réactionnelle élève le PH. Le PH de la paille de passe de 8 à 10 avec un traitement à 3% (JACKSON, 1977). La teneur en Na augmente aussi dans la proportion de 0,6% (sur la base de la MS) pour chaque 1% de NaOH incorporé.

En conséquence, lorsque un fourrage traité par pulvérisation est lavé à l'eau, la matière solubilisée est perdue ainsi qu'une partie de la soude incorporée. Même à faible dose de traitement, une quantité de soude incorporée peut être éliminée par lavage, et cette quantité augmente avec la dose de soude.

REXEN et THOMSEN (1976) trouvent que la quantité de soude réagit suivant la quantité pulvérisée et varie selon le type de paille.

En conséquence, tous les produits solubles sont éliminés à savoir :

- La soude en excès.
- Une partie des sels minéraux.
- Les hémicelluloses solubilisées.

JACKSON (1978) a évalué, sur des rafles de maïs traitées à la soude, les pertes de différents éléments par lavage.

Dans le procédé par voie humide (BECKMANN), l'excès de soude est éliminé, mais une part importante de l'énergie est perdue par dissolution des hémicelluloses.

Dans le procédé par aspersion, les éléments nutritifs ne sont pas perdus, mais l'excès de soude peut avoir un effet dépressif.

Malgré une composition chimique différente, le produit traité a la même valeur énergétique quelque soit la méthode utilisée : 0,60 à 0,65 UF/kg MS.

JACKSON (1978) montre que si on ajoute de l'acide au fourrage traité, il faudra une quantité égale à la quantité de soude incorporée pour porter le PH à sa valeur initiale, cependant pour des teneurs de l'ordre de 4-5%, l'intérêt d'une neutralisation par de l'acide n'est pas encore démontré : les sels de sodium pouvant avoir le même effet dépressif que la soude dans le rumen.

IV.2.4.2.2. Effet sur la digestibilité:

Entre 1920 et 1940, plusieurs travaux ont été effectués en vue de déterminer l'effet de procédé BECKMANN sur la digestibilité des pailles (JACKSON, 1977). Ces travaux montrent que la digestibilité de la matière organique augmente de 15 à 20%. GREENHALGH (1976) trouve que la paille d'orge traitée par cette méthode avec 9% de soude améliore la digestibilité de la MO de la paille de 45 à 71%. La matière sèche ingérée augmente également de 27 à 37g/kg P^{0,75}. Dans la même expérience un traitement avec 18% de soude (solution 3%) n'entraîne pas d'amélioration significative de la digestibilité mais porte l'ingestion de MS à 44g/kg P^{0,75}.

Ainsi, l'amélioration de la valeur alimentaire est appréciable et tout a fait constante. Cependant, l'intérêt de ce procédé n'est pas développé à cause des grandes pertes par élimination des produits solubles. Rappelons que dans ce cas le traitement de la paille est suivi d'un lavage, ce qui rend cette méthode peu fiable.

IV.2.4.2.3. Utilisation de la paille traitée à la soude :

IV.2.4.2.3.1. Amélioration des performances des différentes catégories d'animaux :

En 1979, JACKSON montre l'effet bénéfique du traitement de la paille à la soude sur les performances de productions des animaux, il permet une amélioration de la production laitière et le gain de poids vif ce que montre le tableau 15.

Tableau 15: Effet du traitement de la paille à la soude sur les performances de différentes catégories d'animaux (JACKSON, 1977).

types d'animaux et rations	performances	Quantité ingérée (g/j)	Gain de poids vif (g/j)	Production de lait à 4% MG (Kg)	Teneur en MG (%)
Agneaux :					
Paille non traitée		560	80	-	-
Paille traitée à la soude		860	140	-	-
Bouvillons :					
Paille non traitée		8600	780	-	-
Paille traitée à la soude		9670	1030	-	-
Concentrés uniquement		7880	1160	-	-
Vaches laitières :					
Paille non traitée		10800	-	17,6	3,54
Paille traitée à la soude		13400	-	19,0	3,74

IV.2.4.2.3.2. Utilisation des pailles dans les rations de productions :

La façon dont les pailles traitées sont distribuées aux animaux joue un rôle important dans la digestibilité. L'énergie digestible, les protéines ainsi que les minéraux contenus dans les pailles sont insuffisants pour couvrir les besoins de production. Aussi, le traitement à la soude complété avec des minéraux et d'azote peut augmenter la productivité de façon plus économique que les aliments concentrés à base de céréales.

En effet, si les pailles sont distribuées avec des concentrés, leur digestibilité baisse lorsqu'on augmente l'apport de concentré. Cette baisse est bien supérieure à celle notée avec les pailles non traitées. Lorsque les apports de concentrés sont élevés, les différences de digestibilité entre les pailles traitées et non traitées deviennent plus faibles. DULPHY (1977).

IV.2.4.2.3.3. Comportement des animaux qui consomment de la paille traitée à la soude :

Les animaux consommant de la paille traitée à la soude reçoivent non seulement un aliment de qualité supérieure par rapport à la même paille non traitée, mais aussi un aliment dont le PH et la teneur de Na sont élevés.

Cependant, l'organisme possède des mécanismes régulateurs pour les aliments riches en Na et à PH élevé, mais le fait que l'ingestion diminue à des doses élevées de traitement indique un certain degré de stress physiologique. A des doses plus faibles, l'opportunité de stress est plus ou moins évitée. Ce problème a été étudié par de nombreux chercheurs, et notamment sur le devenir du sodium consommé.

Selon REXEN et THOMSEN (1976), la vitesse et l'importance de l'ingestion de la paille sont augmentées par le traitement à la soude.

L'accroissement de la concentration totale d'AGV dans le jus de rumen a été rapporté par de nombreux chercheurs (OLOLADE et MOWAT, 1975).

**ETUDE
EXPERIMENTALE**

I. PRODUCTIONS DES GRAINS EN ALGERIE :

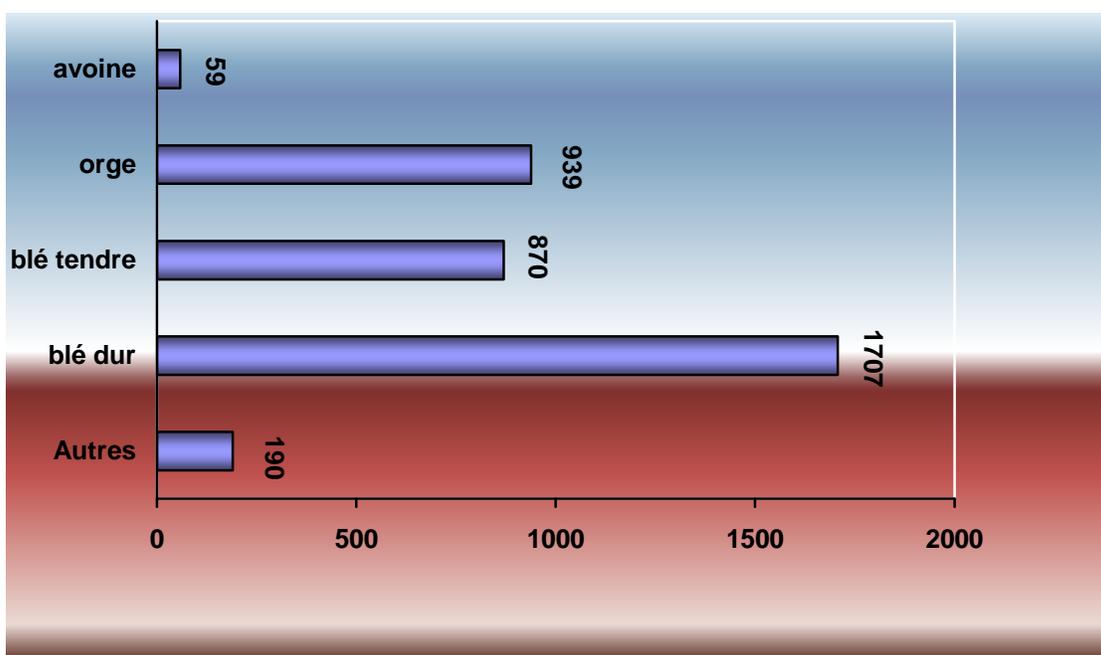
I.1. Répartition des superficies de culture et productions des grains :

I.1.1. Céréales d'hiver:

Par espèce, la superficie récoltée en blé dur représente 48 %, en orge 26 %, en blé tendre 24 % et l'avoine 1,6 % de la superficie totale récoltée.

Sur le plan de la répartition par wilaya, 31 % de la superficie récoltée est localisée au niveau des 5 wilayas agro-pastorales suivantes : Tiaret, Tébessa, Oum El Bouaghi, Sétif, Souk Ahras.

En ce qui concerne la production, les mêmes wilayas ont produit un peu plus de 8,5 millions de quintaux soit 25 % de la production globale de céréales d'hiver (figure 8).



**Figure 8 : Répartition des productions des céréales d'hiver (milliers d'hectares).
(Statistiques agricoles 1997/1998)**

I.1.2. Céréales d'été :

Les céréales d'été cultivées au cours de la campagne 1997/1998 seront exclusivement du maïs et du sorgho, sur une superficie de 200ha, l'espèce maïs occupe 90% produisant ainsi 3100 quintaux soit près de 87% de la production globale de céréales d'été (figure 9).

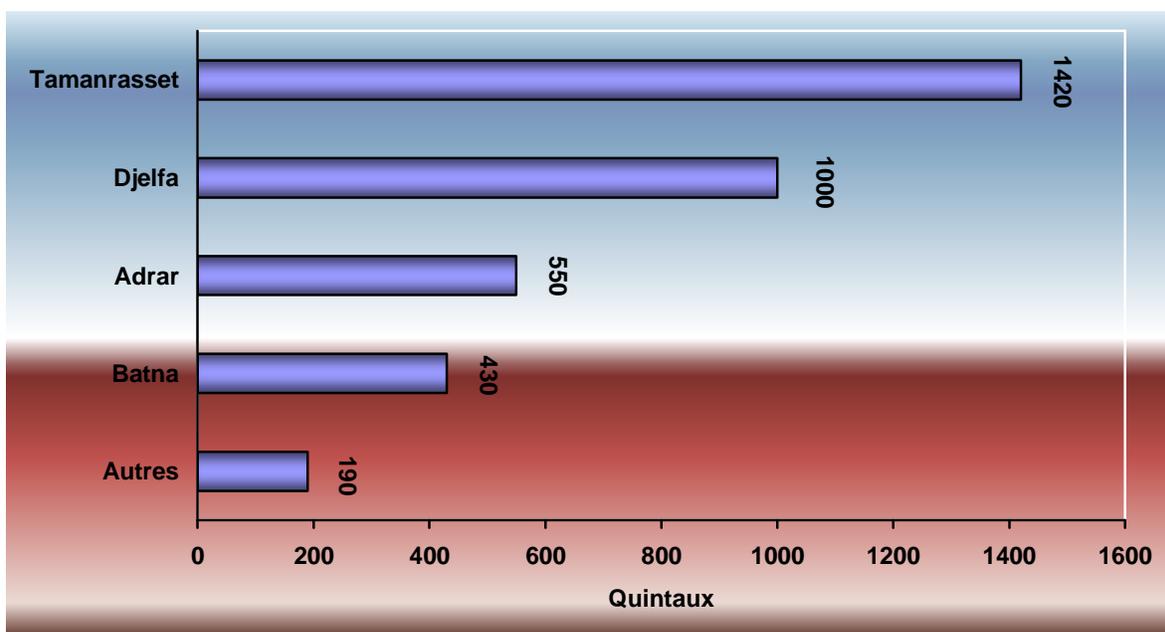


Figure 9 : Répartition des productions des céréales d'été par wilaya.
(Statistiques agricoles 1997/1998)

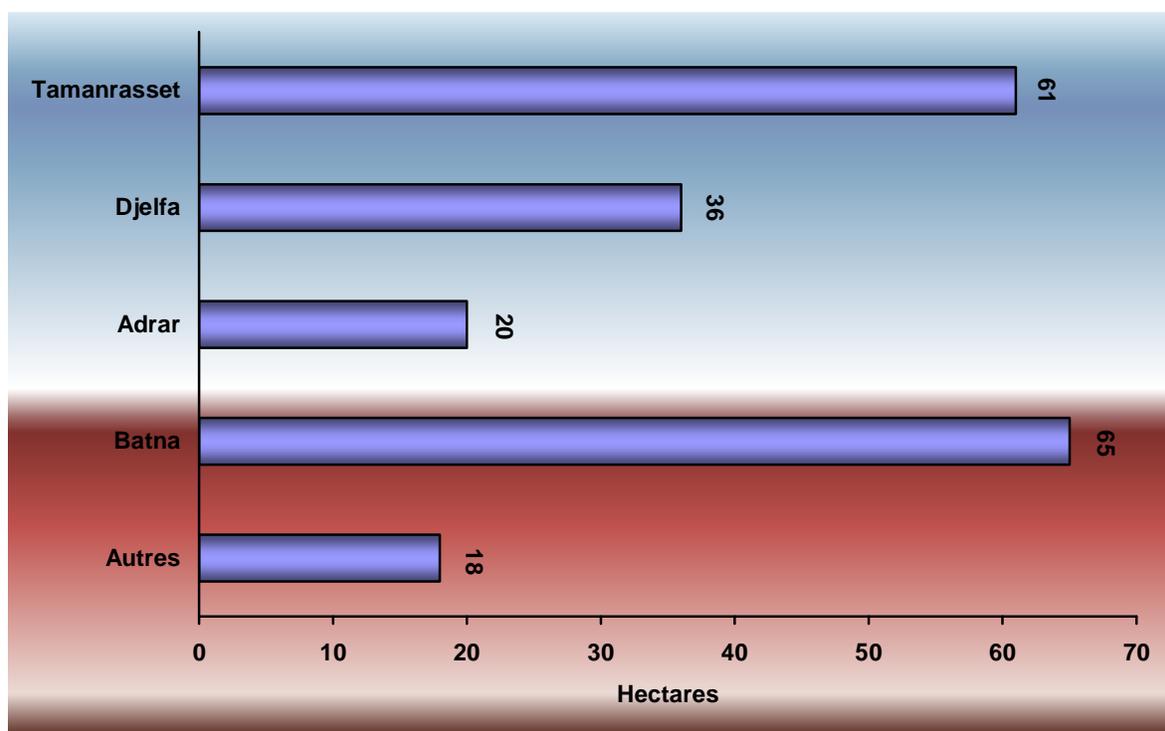


Figure 10 : Répartition des superficies des céréales d'été par wilaya.
(Statistiques agricoles 1997/1998)

Au cours de la campagne 97/98 seule 7 wilayas ont cultivé cette spéculatation, à leur tête les wilayas de Batna et de Tamanrasset qui détiennent respectivement 33% et 31% de la superficie totale (figure 10).

II. PRODUCTIONS DES PAILLES EN ALGERIE :

La production de paille est liée étroitement à la production de céréales (Tableau 16), car elle est généralement estimée par la formule (FAO, cité par CHENOST, 1987) :

Production de pailles = 1,5 x production de grains.

Tableau 16 : Productions des pailles en ALGERIE : (quintaux)

Statistiques agricoles (Séries 2003 et 2004).

Production en Quintaux			
	2002	2003	2004
Céréales d'hiver	29271150	63965610	60469500
Blé dur	14264505	27034395	30025500
Blé tendre	8262540	17438385	10935000
Avoine	6241680	1163190	1335000
Orge	502410	1832964	18174000

Néanmoins, cette formule ne tient pas compte de la variété de céréale (paille courte ou paille longue), des conditions climatiques et des conditions de culture.

En Algérie, les pailles tiennent une place importante dans les systèmes alimentaires. Cependant, une partie de la paille devrait à terme servir de litière aux animaux afin d'enrichir les terres de culture en fumier surtout au nord du pays.

Au sud par contre, la paille en particulier, après un traitement chimique, devrait jouer un rôle clé, notamment au niveau des stocks réservés aux ovins.

III. Effet des différents traitements (urée, ammoniac, soude) sur la digestibilité de la matière organique et de la matière azotée totale des pailles :

Les traitements chimiques permettent une amélioration de la digestibilité de la matière organique et de la matière azotée totale, les valeurs sont illustrées dans le tableau 17.

Tableau 17 : Effet des différents traitements sur la digestibilité des MO et MAT.

	d MAT (%)	d MO (%)	Référence
PNT	46,85 ± 18,99	51,90 ± 7,98	DULPHY (1977)
PTU	53,95 ± 13,75	59,72 ± 5,23	CHENOST (1995)
PNH3	57,09 ± 8,46	61,45 ± 6,83	SUNDSTOL et al (1978)
PT NaOH 2%	60,0 ± 3,7	74,9 ± 1,5	JACKSON (1977)

III.1. Discussion :

La paille traitée à l'urée est un fourrage riche en azote non protéique rapidement libéré dans le rumen, le traitement permet une amélioration de la digestibilité de la matière azotée et la matière organique (CHABACA, 1993, CHENOST, 1995).

En revanche, certains auteurs ont rapportés la toxicité de la paille traitée qui se manifeste chez les animaux par des symptômes d'énervement (GOMEZ GABRERA et al., 1989, BEMBRILLO MORENO et al., 1989), cependant, CHERMITI (1994) n'observe aucune toxicité sur les brebis utilisatrices de la paille traitée à l' NH_3 comme aliment de base pendant 4 ans.

La technique de traitement à l'urée est simple et très facilement maîtrisable.

L'urée est un produit abondant en Algérie distribué par l'ONAB avec un prix de 299 DA/ql (ONAB, 1992), néanmoins très peu de données relatives au coût du traitement sont disponibles.

Le traitement à l'ammoniac permet une augmentation de la teneur en MAT favorisant ainsi la formation d'AGV qui sont les produits de dégradation des glucides dans le rumen (BIEN-AIME, 1979) mais leur complémentation minérale est nécessaire pour bien valoriser ce traitement,

cependant l'utilisation de ce type de traitement est coûteux (citernes spéciales, moyens de transport, bâche plastique), aussi ce traitement demande un certain niveau de technicité que les paysans ne possèdent pas et le gaz est toxique ce qui rend la manipulation délicate.

Le traitement par la soude semble donner des résultats satisfaisants, en ce sens qu'il améliore la valeur alimentaire des pailles sans toutefois nécessiter un appareillage compliqué et un prix de revient élevé (RIQUET, 1977), la digestibilité de la matière organique et matière azotée totale est plus élevée dans le cas de traitement à la soude par rapport à celle d' NH_3 et d'urée.

On remarque que les travaux de recherche s'intéressent essentiellement sur la valorisation des pailles par des traitements chimiques et leurs effets sur la valeur alimentaire, ainsi que l'étude de l'aspect économique. Néanmoins les études de l'aspect sanitaire restent limitées.

Tous les procédés de traitement permettent une amélioration de la digestibilité de la MO et de la MAT de la paille qui est plus élevée dans le cas de traitement à la soude, donc si on prend la digestibilité comme un seul paramètre de comparaison, le traitement à la soude est le procédé de choix. Sur le plan économique, le traitement à l'urée, en Algérie, reste le traitement de choix vu que l'urée est un produit abondant, son prix est moins onéreux.

En revanche, l'association de plusieurs paramètres rentrent dans le choix de la technique du traitement à savoir l'aspect économique (disponibilité du produit de traitement, le coût, les moyens de l'éleveur...etc.) et l'aspect sanitaire. Pour cela nous préconisons d'autres essais qui s'intéresseront plus particulièrement à la santé de l'animal.

CONCLUSION GENERALE

En Algérie, l'élevage occupe une place importante dans l'économie rurale. Le cheptel est abondant, mais les pertes en poids sont énormes (les animaux perdent jusqu'à à 30% de leur poids) par suite d'insuffisance de la production fourragère. Ces pertes sont tellement importantes que les capacités de production des animaux diminuent.

Pour combler le déficit alimentaire, il faut améliorer la valeur nutritive des pailles, et ceci par les traitements chimiques. Ces traitements sont des moyens d'augmenter leur possibilité d'emploi dans les rations, particulièrement en été où la sécheresse crée une pénurie de fourrages.

Les traitements chimiques sont d'importance majeure en régions steppiques puisque les réserves fourragères ne sont pas disponibles en abondance, donc le stock de paille traitée reste le moyen d'alimenter le cheptel en période de disette.

Néanmoins, une partie des pailles produites dans les régions de grandes cultures semble disponible pour une utilisation sous forme traitée. En effet, les investigations menées au niveau de cinq wilayas de la steppe montrent l'existence de potentialités énormes en sous-produits céréaliers. De même, elle nous renseignent sur l'importance des déficits en énergie des fourrages consommés par les bovins et les ovins, si toute la paille était distribuée, ce qui n'est d'ailleurs pas le cas. Selon des travaux de LAMRANI (1990), le déficit annuel par tête de bétail varie de 359 UF pour les bovins et 41 UF pour les ovins dans la wilaya de Tiaret, à 1188 UF pour les bovins et 132 UF pour les ovins à Djelfa.

REFERENCES
BIBLIOGRAPHIQUES

RESUME

Les pailles de céréales sont des sous produits abondants en Algérie, leur valeur alimentaire reste limitée. Pour valoriser ces pailles, de nombreux travaux sont réalisés et qui consistent en complémentation et traitements chimiques.

Ces techniques de valorisation permettent une amélioration de la valeur alimentaire par le fait des augmentations de la digestibilité de la MO et MAT, cette amélioration est plus élevée dans le cas de traitement à la soude.

La paille traitée est l'aliment de choix dans les régions steppiques où il y a une pénurie fourragère, donc un stock de paille traitée permet d'alimenter le cheptel en période de disette et permet une amélioration de l'état sanitaire.

Les mots clés : paille, valeur alimentaire, complémentation, traitements chimiques, digestibilité.

SUMMARY

The cereal straws are abundant sub-products in Algeria, their nutritive value still limited.

In order to ameliorate the nutritive value, many projects are realized witch consist on complementation and chemical treatments.

These techniques allows an improvement of the nutritive value throw the increases of Organic matter and Total nitrogenized matters digestibility, this improvement is more important in welds treatment case.

The treated straw is the food choice of steppes on the food shortage. Thus a stock of straw allows the improvement of Medical State livestock.

ملخص

التبن محصول جد وافر في الجزائر, يستعمل كعلف للحيوانات خاصة المجترات, لكن قيمته الغذائية تبقى جد ضئيلة فلا توفر حاجيات الصيانة و الإنتاج. لتعيين قيمته الغذائية, عدة طرق استعملت و هي الإضافة بالا زوت البروتيني و كذلك المعالجة الكيميائية بالصود, البولة, النشادر.

هذه التقنيات تمكن من تحسين قيمته الغذائية, هذا التحسن معتبر في حالة المعالجة بالصود.

التبن المعالج يبقى الحل الوحيد لتغذية المواشي في منطقة الهضاب العليا أين الناتج النباتي يبقى جد محدود.

ABDELOUAHED K., 1990 : Effets du moment de traitement de la paille à l'urée et du mode de présentation de la ration sur son utilisation par les moutons à l'engraissement. Mémoire ingénieur, Institut National Agronomique, 67 pages.

ACOCK CW., WARD JK., RUSH IG., KLOPFENSTEINT TJ., 1978: Effect of location, Variety and maturity on characteristics of wheat straw. J. Anim. Sci, 47, supplement (1), 327.

AKIN DE., 1982: Forage cell wall degradation and P. Coumaric, Ferulic and Sinapic Acids. Agron. J., Communication. P17.

ALIBES X., MUNOZ F., FACI R., 1983 : Treated straw for animal feeding. Some results from the mediterranean area. OECD Workshop, G.R.I. Hurley, U.K. 15-17. February.

ANDREWS RP., ESCUDERVOLENTE J., GUERRAN MK., HOLMES W., 1972 : The influence of supplements of energy and protein on the intake and performance of cattle feed on cereal straw. Ani. Prod: (15) 167-176.

BACON JSP., CHESSON A., GORDON AH., 1981 : Deacetylation and enhancement of digestibility. Agric. Environ, 6: 115-125.

BECKMANN E., 1921 : Conversion of grain straw and lupins in to feeds of high nutrient value. Festchr. Kaiser Wilhelm Ges. Forderung. Wiss. Zehnjahrigen. Jubiläum. 18-26. (Chem. Abstr. 16-765).

BELGUITAR M., HANED N., 1993 : Bilan zootechnique des trois années d'essais sur des agnelles et des brebis menées en bergerie intégrale et consommant de la paille traitée (à l'ammoniac ou à l'urée) ou non. Mémoire ingénieur, Institut national agronomique, 66 pages.

BIEN-AIME A., 1979 : Cité par MICHALE DOREAU B., SAUVANT D., 1989. In : Influence de la nature du concentré céréales au pulpe de betterave sur la digestion chez les ruminants. INRA. Pro. Anim, 21 : 235-244.

BORHAMI BEA., SUNDSTOL F., 1982: Studies on ammonia-treated straw. I. The effects of type and level of ammonia, moisture, content and treatment time on the digestibility *in vitro* and enzyme soluble organic matter of oat straw Anim. Feed Sci. Technol, 7 : 45-51.

BOUABOUNE S., 1989 : La valeur alimentaire et bilan azote de la paille de blé et foin de luzerne chez des ruminants boucs et moutons. Mémoire ingénieur, Institut national agronomique, 62 pages.

BOUKEDJAR C., KORIZ M., 1991 : Performance de croissance et de reproduction des antenaises de race « Ouled-Djellal » consommant des pailles traitées à l'urée ou à l'ammoniac. Mémoire ingénieur, Institut National Agronomique, 78 pages.

BOULKEROUA H., ZAZOUA MR., 1992 : Performances zootechniques comparées de brebis de race « Ouled-Djellal » en bergerie et recevant des rations à base de pailles traitées à l'ammoniac ou à l'urée ou non, premier cycle de reproduction avec synchronisation des chaleurs. Mémoire ingénieur, Institut national agronomique, 53 pages.

BOUTALBI F., ADJROUDI O., 1983 : Contribution à l'étude de la valeur alimentaire des fourrages Algériens, relation entre digestibilité « in-vivo » digestibilité « in-vitro » et composition chimique. Thèse magister, Institut national agronomique, 105 pages.

BRUNI R., ANTONGIOVANNI M., 1998 : Fibrous feeds in the mediterranean area : Characterization and utilization. Option méditerranéenne. Série B.n°6: 9-16.

BUI VAN CHINH, LE VIET LY, NGUYEN HUU TAO, N.H. AND PHAM VAN THIN., 1994: Ammoniated rice straw or untreated straw supplemented with a molasses-urea block for growing cattle in Vietnam. In Proceedings of a National Seminar-Workshop, on "Sustainable livestock production on local feed resources", held in Hanoi/Ho Chi Minh City, Vietnam, 22-27 November 1993. Publishing House, University of Agriculture and Forestry, Ho Chi Minh City, Vietnam, pp 67-70.

BUXTON DR., FRITZ JO., 1985: Cité par JUNG HJG.,1989. In : Forage lignins and their effects on fiber digestibility. Agron.J, 81,33-38.

CHABACA R., 1993 : Valeur azotée des pailles traitées à l'ammoniac ou à l'urée et impact de fixation de l'azote et des teneurs en substances. Thèse magistère, Institut National Agronomique, 60 pages.

CHENOST M., GRENET N., DEMARQUILLY C., JARRIGE R., 1970 : The use of nylon bag technique for study of forage digestion in the rumen and forpreing feed value. Proc. II th Internat. Grasstard Congr: 697-701.

CHENOST M., DULPHY JP., 1987 : Amélioration de la valeur alimentaire (composition, digestibilité, ingestibilité) des mauvais foin et des pailles par les différents types de traitement. In C. Demarquilly, éd. Les fourrages secs: récolte, traitement, utilisation. I.N.R.A., Paris, 199-230.

CHENOST M., 1993 : Rapport de la quatrième mission effectuée à Madagascar du 24/1 au 24/2 1993. Projet FAO/TCP/MAG/005 "Le traitement des fourrages à l'urée".

CHENOST, M., 1995. Rapport de la troisième mission effectuée en Mauritanie du 30/1 au 17/2 1995. Projet FAO/TCP/MAU/2353 "Le traitement des fourrages grossiers à l'urée".

CHERMITI A., NEFZAOUI A., TELLER E., VANBELLE M., 1991 : Variation de l'ingestion volontaire des lignocelluloses chez les ruminants (cas des pailles de céréales). Options méditerranéennes. Série séminaire n°16 : 61-65.

CHESSON A., MURISON SP., 1989 : Biochemical evaluation of straw as a feedstuff for ruminants. In : Evaluation of straw in ruminant feeding, 124-133.

CORDESSE R., TABA TABAI MM., 1981 : Alimentation d'agneaux à partir d'une paille traitée à l'ammoniac. I. Valeur nutritive, croissance et composition corporelle. Ann. Zoot, 30 (1) :137-150.

CORDESSE R., 1982 : Amélioration de la valeur nutritive des pailles par les traitements chimiques. Thèse ENSA, Zootechnie, Montpellier.

CORDESSE R., 1987 : Technologie du traitement des pailles à l'ammoniac. In C. Demarquilly, ed. Les fourrages secs: récolte, traitement, utilisation. I.N.R.A., Paris, 231-242.

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

DEMARQUILLY C., 1977 : Cité par GOUMIRI R (1987). In : Contribution à la détermination de la qualité fourragère de quelques légumineuses spontanées en Algérie. Thèse ingénieur. Institut national agronomique, 105 pages.

DEMARQUILLY C., INDRIEU J., 1987 : Composition et valeur alimentaire des foins et des pailles In : fourrages secs, récolte, traitement, utilisation. Ed. INRA. Paris. p163-198.

DEMARQUILLY C., CHENOST M., RAMIHONE B., 1989 : Intérêt zootechnique du traitement des pailles à l'ammoniac. In Xandé A. Alexandre G., Ed., "Pâturages et alimentation des ruminants en zone tropicale humide." I.N.R.A., Paris, 441-455.

DIAS-DA-SILVA AA., MASCARENHAS FERREIRA A., GUEDES C.V.M., 1988 : Effects of moisture level, treatment time and soya bean addition on the nutritive value of urea-treated maize stover. *Animal Feed Science and Technology*. 19,67-77.

DJENIDI R., 1983 : Effet cumulatif du traitement à la soude et à l'ammoniac sur la digestibilité de la paille de céréale. Mémoire ingénieur, Institut national agronomique, 33 pages.

DOYLE PT., DEVENDRA C., PEARCE G.R., 1986 : « Rice straw as feed for ruminants ». IDP Canbessa. 23-49.

DRYDEN GML., KEMPTON TJ., 1983 : Digestion of organic matter and nitrogen in ammoniated barley straw. *Ani. Feed Sci. Technol.*10:65-75.

DULPHY JP., 1977: la soude peut accroître la valeur alimentaire des pailles. L'élevage, n° hors série, 81-88.

DULPHY JP., 1979 : Valeur alimentaire des pailles traitées ou non. *Bult. Tech. Inf* : 319-335.

DULPHY JP., KOUASSI A., BIENAIME A., 1982 : Etude de la valeur alimentaire des pailles de céréales traitées ou non à la soude. II- Influence de la nature du complément énergétique. *Ann. Zoot.*, 31(3) : 215-222.

DULPHY JP., LOUYOUT JM., BRETON J., BIENAIME A., 1983: Etude sur la valeur alimentaire des pailles de cereals traitées ou non à la soude. III. Influence du niveau d'apport d'aliment concentré. *Ann. Zootech.* 32 (1) : 53-80.

DULPHY JP., KOMAR., ZWAENEPOEL P., 1984 : Effets comparés des traitements à l'ammoniac et à la soude sur la valeur alimentaire des fourrages pauvres. *Ann. Zootech.* 33.321-342.

DULPHY JP., BALCH CC., DOREAU M., 1995: Adaptation des espèces domestiques à la digestion des aliments lignocellulosiques. In: « nutrition des ruminants domestiques: ingestion et digestion ». Ed. INRA. Paris: 759-803.

EGAN AR., 1965: Nutritional status and intake regulation in sheep. IV. The influence of protein supplements upon acetate and propionate tolerance of sheep fed on low quality chaffed oaten hay. *Austr. J. Agric. Res.*, 16, 473-48.

ERIKSON DO., MEYER DW., FOSTER AE., 1982 : The effects of genotypes on the feed value of barley straws. *JAnim. Sci*, 55: 1015-1026.

FELL BT., CAMPBELL RM., MACKIE WS., WEEKES TEC., 1972: Changes associated with pregnancy and lactation in some extra-reproductive organs of the ewe. J. Agric. Sci. (Camb.), 79: 397-407.

GACEM K., 1983 : Digestibilité de la paille de blé après traitement à l'ammoniac : effet d'un niveau d'humidification. Mémoire ingénieur, Institut national agronomique, 88 pages.

GOMEZ GABRERA A., GUZMAN GUZMAN GUERRERO JL., GARRIDO VARO A., GUERRERO GINEL JP., 1989: Dans Nuevas Fuentes de alimentos para la producción animal. III. Ed. DGIEA. Junta de Andalucía. Sevilla, 319-335.

GREENHALGH JPD., PIRIE R., REID GW., 1976 : Cité par JACKSON (1979). In : Le traitement des pailles pour l'alimentation des animaux. Etude F.A.O : Production et santé animale. Rome, 68 pages.

HASSEN L., CHENOST M., 1992 : Tentative explanation of the high abnormal faecal nitrogen excretion with poor quality roughages treated with ammonia. Animal Feed Sci. Technol., 38, 25-34.

HODEN A., 1972 : Aspects digestifs et métaboliques de l'utilisation de l'azote non protéique par les ruminants recevant des fourrages pauvres. DEA d'endocrinologie et nutrition, 27 pages.

HORTON GMJ., 1978 : The intake and digestibility of ammoniated cereal straw by cattle. J. Anim. Sci. 58: 471.

IBRAHIM MNM., FERNANDO DNS., FERNANDO SNFM., 1984 : Evaluation of different methods of urea-ammonia treatment for use at village level, in DOYLE, P.T. (Ed.): The utilization of fibrous agricultural residues as animal feeds. Proceedings of the third annual workshop of the AAFARR Network held at the University of Peradeniya, Sri Lanka, 17-22 April, 1983. School of Agriculture and forestry, University of Melbourne, Parkville, Victoria, pp, 131-139.

INRA., 1988 : L'Alimentation des Ruminants. Ed. INRA Publications. Route de Saint-Cyr, 78000-Versailles. 471pages.

JACKSON MG., 1977 : Review article: the alkali treatments of straw. Anim. Feed Sci. and Technol., 2,105-130.

JACKSON MG., 1978 : Treating straw for animal feeding. FAO Animal Production and Health Paper. N° 10. FAO Rome

JARRIGE R., 1963 : Cité par XANDE E A (1978), In : Valeur alimentaire des pailles de céréales chez le mouton. II-Influence de l'espèce, de la variété et du séjour sur le sol avant ramassage sur la valeur alimentaire des pailles de céréales. Ann.Zoot.,27 (4) : 601-606.

JARRIGE R., 1980 : Alimentation des ruminants: Ed. INRA. Paris : 621 pages.

KAYOULI C., 1988 : Rapport de Mission. Projet TCP/NER/6758 - Traitement à l'urée des fourrages grossiers en milieu agricole. Niger - Juin 1988.

KAYOULI C., 1994a : Rapport de mission. Projet FAO - PNUD/NER/89/016 Niger: Traitement à l'urée des fourrages grossiers.- Mai 1994.

KAYOULI C., 1994b : Rapport de mission, Projet TCP/CMB/2254 (E): Plan d'urgence pour la sauvegarde du bétail au Cambodge. Avril 1994.

KENNEDY PM., MILLIGAN LP., 1978 : Effet of cold exposure on digestion, microbial synthesis and nitrogen transformations in sheep. Br.J.Nutr.,39: 105-117.

KENNETH N., 1970 : Comparaison de la digestibilité des fourrages tempérés et des fourrages tropicaux. Revue fourrages n° 34 : 21.

KERNEN JA., COXWORTH E C., CROWLE WL., SPURR DT., 1984 : The nutritional value of crop residus components from several cultivars grown at different fertilizer levels. Anim. Feed. Sci. Technol., 11: 301-311.

KHELILI H., 1988 : La valorisation des pailles traitées dans l'alimentation des ruminants. Mémoire ingénieur, Institut National Agronomique, 84 pages.

KIANGI EMI., KATEGILE JA., SUNDSTOL F., 1981. Different sources of ammonia for improving the nutritive value of low quality forages. Anim. Feed Sci. Technol. 6: 377-386.

KISTNER A., THERION J., KORNELIUS JH., HUGO A., 1979 : Effect of PH on specific growth rates of rumen bacteria. Ann.Rech.Vet, 10,266-270.

- **KRONBERGER M., 1933** : Cité par Sundstol F. et Coxworth E.M, 1984. Ammonia treatment: in Sundstol F. and Owen E., ed., "Straw and Other By-Products as Feed", Elsevier, Amsterdam. 196-247.

LAMRANI F., 1990 : Valeur alimentaire comparée chez le mouton d'une paille de blé traitée à l'ammoniac ou à l'urée. Mémoire ingénieur, Institut National Agronomique, 52 pages.

LAOUN K., 1985 : Effets de la nature de concentré sur la valeur alimentaire de la paille de blé traitée à l'ammoniac à la dose de 3% et bilan azoté. Mémoire ingénieur, Institut National Agronomique, 77 pages.

LAWRENCE A.,YAKHLEF H., TRIKI S., CHABACA R., 1991 : 2ème rapport annuel du projet STD pailles, contrat de recherche n° TS 2A-0250-M(CD).

LELONG C., 1980 : La paille dans l'alimentation animale. In : Perspectives agricoles n°39 (special paille) : 86-90.

LEONG TCHAN KWONG M., 1985 : Valeur alimentaire pour le mouton de la paille de blé traité à l'ammoniac : influence de différentes doses de concentré. Mémoire ingénieur, Institut national agronomique, 74 pages.

MELCION DJ., 1978 : Mise en oeuvre des traitements physico-chimiques des pailles. Les industries de l'alimentation animale. 311 : 31-44.

MEZALI A., 1978 : Valeur alimentaire de quelques fours utilisés en Algérie. Mémoire ingénieur, Institut national agronomique, 67 pages.

MICHALET-DOREAU B., GUEDES CVM., 1989 : Influence du traitement des fourrages à l'ammoniac sur leur dégradation dans le rumen. *Ann. Zootech.*, 38,259-268.

MONTIES JP., 1980 : Les polymères végétaux. Ed. Gauthier-Villars. P136.

MORAND FEHR P., SAUVANT D., 1978 : Caprin. In: "alimentation des ruminants". Ed. INRA. Paris : 449-467.

OLOLADE BG., MOWAT DN., 1975 : Cité par JACKSON, 1977. In : Influence of whole plant barley reconstituted with sodium hydroxyde on digestibility, rumen fluid and plasma metabolism of sheep. *J.Anim.Sci.*

ONAB (1992).

PEARCE CR., BEARD J., HILLIARD EP., 1979 : Variability in the chemical composition of cereal straws and in vitro digestibility with and without hydroxide treatment. *Aust. J. Exp. Agric. Anim. Husb.*, 19: 350-353.

PETIT M., GAREL JP., GRENET N., 1987 : Utilisation des foin et pailles par le troupeau de vaches allaitantes In : « Les fourrages secs : Récolte, Traitement, Utilisation ». Ed. INRA. Paris : 631-388.

PRESTON TR., LENG RA., 1980 : Utilization of tropical feeds by ruminants. In Ruckebush Y. and Thivend P., eds, "Digestive Physiology and metabolism in Ruminants". M.T.P. Press Ltd., Lancaster, 640-641.

PRESTON TR., LENG RA., 1984 : Supplémentation of diets based on fibrous residues and by-products. In "Straw and other fibrous by-products as feed". In Sundstol F. and Owen E., Eds. Elsevier, Amsterdam. 373-413.

RACHI SF., 1989 : Etude comparative de l'efficacité de trois temps de traitement de la paille de blé à l'ammoniac sous bâche. Mémoire ingénieur, Institut national agronomique, 42 pages.

RAMIHONE B., 1987 : Facteurs limitant la fermentation dans le rumen des pailles de céréales (à petits grains) traitées à l'ammoniac anhydre. Thèse de doctorat. USTL de Montpellier. 85 pp.

RAMIHONE B., CHENOST M., 1988 : Effet de la nature du complément protéique sur la digestion dans le rumen d'une paille de blé traitée ou non à l'ammoniac. *Reprod. Nutr. Develop.*, 28, (1), 91-92.

REVIERE R., 1977 : La digestibilité. In : Manuel d'alimentation des ruminants domestiques en milieu tropical : 75-116.

REXEN F., WESTERGAAD THOMSEN K., 1976 : The effect on digestibility of a new technique for alkali treatment of straw. *Anim. Feed Sci. Techn.*, 1, 73-83.

RIQUET AM., 1977 : contribution à l'étude de la fraction glucidique des pailles traitées ou non à la soude : répercussion du traitement sur la digestibilité par les ruminants. Thèse de D.E.A. Biochimie industrielle et alimentaire, INRA, 35 pages.

SAHNOUNE S., 1990 : Le traitement des pailles à l'ammoniac produit par l'hydrolyse de l'urée. Thèse de Doctorat. Université Blaise Pascal, UER Sciences Clermont II, 117 pp.

SAHNOUNE S., BESLE., JM., CHENOST M., JOUANY JP., COMBES D., 1991 : Treatment of straw with urea. I - Ureolysis in low water medium. *Animal Feed Sci. Technol.*, 34,75-93.

SAHNOUNE S., GIRARD L., BESLE JM., CHENOST M., 1992 : A kinetic study of ammoniation of straw either via hydrolysis or by anhydrous ammonia. *Ann. Zootech.*, 41,42.

SHARMA A., 1974: cité par JACKSON (177). In: Review article, the alkali treatment of straw. *Anim. Feed. Sci. Technol.*, 2: 105-130.

SCHIERE JB., IBRAHIM MNM., 1989 : Ed. "Feeding of urea ammonia treated rice straw". A compilation of miscellaneous reports produced by the Straw'. Utilization Project (Sri-Lanka). Pudoc, Wageningen, 125 pp.

SILVA, A.T., GREENHALGH, J.F.D. and ORSKOV, E.R., 1989 : Influence of ammonia treatment and supplementation on the intake, digestibility and weight gain of sheep and cattle on barley straw diet. *Anim. Prod.* 48, 99-108.

STATISTIQUES AGRICOLES (1997, 1998, 2002, 2003, 2004).

STIEFEL J., BABU YK., BUTCHIAIAH V., AND REDDY, NG., 1991 : Indo-Swiss Project, Andhra Pradesh (ISPA), Visakhapatnam 530 040, India.

STOICA I., 1978 : Les aliments destinés au bétail. INRA. El Harrach, 41 pages.

SUNDSTOL, F., COXWORTH, E.M., MOWAT, D.M., 1978. Improving the nutritive value of straws and other low quality roughages by treatment with ammonia. *World Anim. Review.*, 26,13-21.

SUNDSTOL F., COXWORTH EM., 1984 : Ammonia treatment. In Sundstol F. and Owen E., Ed., "Straw and other by-products as feed", Elsevier, Amsterdam, 196-247.

THOMSEN et al., 1973 : 25th Animal meeting of Europ. Assoc. Animal Prod. Copenhagen.

TRAKOW H., FEIST WE., 1968 : The superwollen state of wool. *Tapp.*80.

TRAKOW H., FEIST WE., 1969 : A mechanism for improving the digestibility of lignocellulosic materials with dilute alkali and liquid ammonia. In: GOULD, R.F.; cellulases and their application. *Ad. Chem. Series.* 95: 195-217.

TUAH AK., LUFADJEU E., ORSKOV ER., BLACKETT GA., 1986 : Ruminal degradation of straw. I. Untreated and ammonia-treated barley straw varieties. *Animal Prod.* 43: 261-269.

TISSERRAND JL., HADJI PANAYIOTOU M., GIHAD EA., 1991 : Cités par DULPHY J P., BALCH C C., DOREAU M. (1995). In : « Nutrition des ruminants domestiques : ingestion et digestion ». Ed. INRA. Paris : 601-647.

THEANDER O., 1977 : The chemistry of dietary fibers *nut.rev* N° = 3 p23-29.

THEANDER O., AMAN O., 1984 : Anatomical and chemical characteristics. In: straw and others by-products as feed. Elsevier Amsterdam, p45-78.

THEANDER O., 1985 : Alternatives possibles d'utilisation des végétaux dans l'avenir In : Meilleure utilisation des matériaux ligno-cellulosiques dans l'alimentation animale. Doctorat O.C.D.E. p137-145.

VAN SOEST PJ., 1980: The limitation of ruminants. Proc. Cornell. Nutr. Conf.: 78-90.

WAISS AC., GUGGOLZ J., KOHLER GO., WALKER H.G., GARRETT WN., 1972 : Improving digestibility of straws for ruminant feed by aqueous ammonia. J. Anim. Sci. 35,109-112.

WANG S., FENG Y., 1993: Effect of the treatment with urea and calcium hydroxide on the nutritive value of straws. In Proceeding of the Internal Conference on Increasing Livestock Production through Utilization of Local Resources, pp, 202-209. Beijing, China. October 18-22-1993.

WILLIAMS PEV., INNES GM., BREWER A., 1984a : Ammonia treatment of straw via hydrolysis of urea. I. Effect of dry matter and urea concentration on the rate of hydrolysis of urea. Anim. Feed Sci. Technol. II, 103-113.

WILLIAMS PEV., INNES GM., BREWER A., 1984b : Ammonia treatment of straw via the hydrolysis of urea. II - Additions of soya bean (urease), sodium hydroxide and molasses. Effects on the digestibility of urea-treated straw. Anim. Feed Sci. Technol., 11, 115-124.

WILSON., PIGDEN., 1964: Effet of sodium hydroxide treatment on the utilization on wheat straw and poplar wood by rumen microorganismes. Can. J. Ani. Sci., 44: 122-123.

XANDE A., 1978 : Valeur alimentaire des pailles de céréales chez le mouton. II-influence de l'espèce, de la variété et du séjour sur le sol avant ramassage sur la valeur alimentaire des pailles de céréales. Ann. Zoot., 27 (4) : 601.616.

YAMEOGO-BOUGOUMA V., CORDESSE R., ARNAUD A., INESTA M., 1993 : Identification de l'origine des uréases impliquées dans le traitement des pailles de blé à l'urée et caractéristiques de la flore microbienne présente. Ann. Zootech., 42, 39-47.

YOUNG BA., CHRISTOPHERSON RJ., 1974 : Effet of prolonged cold exposure on digestion and metabolism in ruminants. In: Livestock environment. Proc. Intern. Livestock. Environment Symp. ASAE. ST. JOSEPH MI: 75-80.

YOUNG BA., 1981 : Gold stress as it affects animal production. J.Anim. Sci., 52: 154-163.

ZAMAN MS., AND OWEN E., 1990 : Effect of calcium hydroxide or urea treatment of barley straw on intake and digestibility in sheep. Small-Ruminant-Research. 1990, 3: 3, 237-248.