

AMÉLIORATION DE LA DIGESTIBILITÉ DE LA PAILLE DE BLÉ DUR PAR UN TRAITEMENT À L'AMMONIAC

IL EXISTE EN FRANCE DES QUANTITÉS TRÈS IMPORTANTES D'ALIMENTS GROSSIERS MAL UTILISÉS OU GASPILLÉS : LES PAILLES. D'APRÈS DALLEINE (1979), sur 23 à 26 millions de tonnes de pailles de céréales disponibles en France chaque année, 70 % seraient récoltés, 12 % enfouis et le reste brûlé.

En élevage, la paille est valorisée pour une part importante dans la réalisation de litières et de fumiers, pour une autre part comme complément dans l'alimentation des ruminants ou des chevaux.

Les pailles sont caractérisées par une digestibilité, une concentration énergétique et une teneur azotée faibles ainsi que par une valeur d'encombrement élevée.

La valeur nutritive des pailles peut être améliorée par des traitements chimiques. Ces traitements, en désorganisant le complexe lignocellulosique, facilitent l'action d'enzymes hydrolitiques.

Les traitements chimiques des pailles avec la soude sont déjà anciens (KELLNER, HENNEBERG et LEHMANN, 1914 ; BECKMANN, 1921). Le traitement qui utilise l'ammoniac associe le caractère basique de

*par R. Cordesse,
J. Teyssier et
M. Philippy*

l'ammoniac et sa propriété de nutriment essentiel aux bactéries du rumen. NIKOLAEVA l'a appliqué dès 1938 pour l'alimentation animale, mais son utilisation ne s'est développée que récemment. Ainsi ZAFREN (1959), CHOMYSZYN et al. (1972), SUNDSTOL (1978), HORTON (1978), CORDESSE et TABATABAI (1981-1982) ont souligné l'effet positif du traitement sur la digestibilité et sur l'augmentation des teneurs de la paille en azote utilisable par le ruminant.

Les moyens mis en œuvre pour réaliser le traitement des pailles avec l'ammoniac sont simples et peuvent être réunis au niveau de l'exploitation agricole.

SUNDSTOL et al., en 1978, ont préconisé une technique dite méthode norvégienne qui consiste à injecter l'ammoniac liquide directement dans la meule de paille à traiter, meule rendue étanche au moyen de deux bâches plastiques réunies. Le procédé, peu exigeant en investissement, nécessite un temps de traitement de 4 à 8 semaines.

Un traitement plus rapide de la paille par l'ammoniac peut être obtenu avec des fours danois « FMA », ou anglais « SFS ». Ces appareils traitent la paille en 24 h mais nécessitent un apport d'énergie pour la vaporisation de l'ammoniac et l'élévation de la température de la paille aux environs de 100°C.

Ces techniques permettent la réalisation de produits de bonne qualité. La première est longue mais peu coûteuse, la deuxième est rapide mais nécessite un investissement important et exige un apport d'énergie non négligeable.

Dans notre cas, nous avons recherché la mise au point d'une technique simple, mécanisable et qui nécessite un investissement financier limité. L'ammoniac anhydre préalablement détendu est injecté dans une enceinte étanche et isotherme qui renferme la paille à traiter. On récupère ainsi l'énergie nécessaire à la vaporisation de l'ammoniac et on évite les pertes calorifiques dans l'atmosphère.

Plusieurs paramètres agissent sur le déroulement de la réaction. Le taux d'ammoniac utilisé, la durée de traitement et la température de la meule de paille en cours de traitement sont des paramètres assez bien

effectués sur une même balle de 450 kg (prélèvements déjà décrits) ou sur 3 balles de 12 kg n'ayant pas touché les parois du conteneur.

Sur tous les échantillons, nous avons mesuré les caractéristiques suivantes :

— l'azote total et l'azote soluble après minéralisation et dosage colorimétrique selon la technique de NESSLER. L'azote soluble étant la fraction extractible dans un tampon phosphate pH 6,9 (VÉRITÉ et DEMARQUILLY, 1978) ;

— la fraction solubilisée par une solution de cellulase fongique R10 Onozuka à 1 % qui est dite « solubilité totale » et la fraction extractible par le tampon seul, tampon acétate 0,05M à pH 4,6. Ceci nous permet d'estimer, par différence, la fraction extraite par l'enzyme seule dite « solubilité enzymatique ». Ces deux paramètres sont utilisés comme des indicateurs de la digestibilité « in vitro » ;

— l'ensemble des constituants pariétaux, selon la technique de VAN SOEST et WINE (1967) appelé NDF (Neutral Detergent Fiber).

En outre, des mesures de digestibilité, selon la technique décrite par DEMARQUILLY et JARRIGE (1964) ont été réalisées sur 8 lots de paille traitée. Les mesures se sont déroulées sur deux périodes, une d'été avec 4 lots de paille « Tomclair » traités en été, une d'hiver avec 3 lots de paille « Agathé » traités en hiver et un lot de paille « Tomclair » traité en été. Ces lots ont été gardés dans le même local aéré sans protection particulière. Toutes les mesures ont été réalisées dans un délai ne dépassant pas deux mois après la fin du traitement. Ceci nous a conduit à utiliser deux lots de moutons Mérinos, soit 4 moutons de 5 ans (pesant en moyenne 60 kg) sur la période chaude d'août à début octobre 1981 et 4 moutons de 2 ans (pesant en moyenne 40 kg) sur la période hivernale de début 1982.

La matière sèche, la matière organique (M.O.), la mesure des énergies brutes (bombe calorimétrique) ont été réalisées sur des échantillons de paille distribuée ou refusée et sur les fécès prélevés au cours des mesures de digestibilité. La teneur en cellulose (WENDE) a été mesurée seulement sur les pailles distribuées.

III - RÉSULTATS

Les résultats sont regroupés dans le tableau I.

1) Évolution des paramètres physiques : pression, température

En été, la température ambiante élevée entraîne une pression forte dans le réservoir de détente et une première phase active de détente importante. Ainsi, 20 à 25 kg d'ammoniac diffusent en moins d'une heure. Ensuite, la pression dans ce réservoir étant en équilibre avec la pression atmosphérique, l'apport calorique ambiant permet une vitesse de diffusion de 1,8 à 2,2 kg d'ammoniac par heure.

En hiver, la faible pression initiale dans la citerne de stockage due à la faible température ambiante et l'apport calorique solaire également limité nous ont contraint à avoir recours à un chauffage d'appoint du réservoir de détente afin d'obtenir la même vitesse de diffusion du gaz qu'en période estivale.

Les trois paramètres, température maximale, vitesse d'injection du gaz et type de conditionnement sont dépendants les uns des autres. Si l'injection du gaz se réalise en 15 à 18 heures, l'augmentation de température à l'intérieur du stock de paille est de 35° pour les grosses balles, de 30° pour les petites balles. En outre, l'humidification permet une meilleure fixation d'ammoniac et une augmentation supplémentaire de 5° à 10° dans chacun des deux types de conditionnement.

Pour les gros ballots, les températures maximales atteintes en été sont voisines de 70° et sont encore de 35-40° au sixième jour. En hiver, les températures maximales sont de 35 à 50° seulement et de 18 à 25° au sixième jour.

Pour les petits ballots, les températures sont habituellement inférieures de 10° à celles enregistrées avec les gros ballots. Cette différence peut être attribuée à la plus faible densité de paille des petits ballots.

*Traitement à l'ammoniac
de la paille de blé dur*

TABLEAU I
COMPOSITION EN AZOTE ET EN PAROIS VÉGÉTALES
(Fraction extractible par une cellulase fongique, température maximale atteinte au cours du traitement)

	N TOTAL (en % de la M.S.)	N SOLUBLE (en % de la M.S.)	SOLUBILITE TOTALE (en % de la M.S.)	SOLUBILITE ENZYMATIQUE (en % de la M.S.)	NDF (1)	TEMPERATURE MAXIMALE (en °C)
LOT 1	14,5	7,9	41,7	34,7	83,1	68
LOT 2	16,0	7,7	49,5	38,0	77,9	68
LOT 3	15,7	10,5	40,4	33,6	80,4	68
LOT 4	15,7	9,2	38,4	30,7	81,2	68
LOT 5	13,0	8,5	37,3	29,5	82,2	32
LOT 6	14,8	8,5	33,2	27,5	85,3	51
LOT 7	12,3	7,0	28,3	21,3	82,5	50
LOT 8	17,2	9,4	35,3	27,7	81,3	40
LOT 9	14,0	8,0	34,8	27,8	78,5	28
LOT 10	12,7	6,8	28,5	22,7	83,9	39
LOT 11	16,8	9,3	37,7	28,8	77,3	38
LOT 12	13,6	6,8	29,4	25,0	84,6	33
LOT 13	13,0	6,8	32,0	26,7	82,9	46
LOT 14	16,9	8,3	41,5	33,8	80,3	41
LOT 15	14,8	9,6	29,3	22,2	82,7	30
LOT 16	16,0	9,2	33,9	27,8	82,9	35
LOT 17	15,6	7,9	34,0	27,0	80,2	39
LOT 18	18,7	9,1	50,4	43,3	78,1	48
LOT 19	15,3	8,2	52,0	41,4	76,6	65
LOT 21	17,3	10,3	52,6	38,7	72,5	71
LOT 22	17,7	8,5	45,6	37,8	75,0	55
Valeur moyenne et écart-type	15,3 ± 1,8	8,5 ± 1,1	38,4 ± 7,8	30,8 ± 6,3	80,5 ± 3,3	48,2 ± 14,6
Paille non traitée						
Tomclair	7,8	2,9	26,6	20,5	82,1	
Agathé	5,5	1,9	22,5	17,4	82,4	
30-34	6,2	3,7	28,3	20,6	82,5	

(1) Teneur en parois végétales

2) Répartition de l'azote au sein des balles

La teneur en azote total, facile à mesurer, a été retenue comme témoin de l'intensité des réactions chimiques. Nous avons étudié les variations de cette teneur en fonction de la localisation de l'échantillon prélevé dans les balles (tableau II).

Les résultats d'analyses des échantillons prélevés sur les balles 6 et 18, 5 jours après le traitement, montrent un gradient de concentration en azote

TABLEAU II
TENEUR AZOTÉE DE LA PAILLE EN FONCTION
DE LA LOCALISATION DANS LA BALLE -
SON ÉVOLUTION AVEC LE TEMPS

Caractéristiques du lot	Echantillons	NTOT (g/kg MS)	NSOL (g/kg MS)	<u>NSOL</u> NTOT
Hiver 3% d' NH_3 6 j 92% MS Lot 6	Centre	13,0	7,5	0,58
	20 cm	15,2	8,8	0,58
	Surface	16,1	9,2	0,57
Hiver 5% d' NH_3 6 j 82% MS Lot 18	Centre	16,6	9,8	0,59
	20cm	18,3	7,6	0,54
	Surface	22,0	9,1	0,41
Eté 5% d' NH_3 6 j 92% MS Lot 2 2 mois	Centre	14,0	7,6	0,54
	20 cm	14,3	7,7	0,54
	Surface	14,8	7,4	0,50
Eté 5% d' NH_3 6 j 92% MS Lot 6 mois	Centre	14,4	6,9	0,48
	20 cm	13,3	6,9	0,52
	Surface	10,1	4,5	0,45
Paille brute "Tomclair"		7,8	2,9	0,37

total de la périphérie vers le centre. La zone périphérique est plus riche en azote total avec une différence d'environ 24 % pour le lot 6 et de 33 % pour le lot 18.

Après deux mois de stockage sous un hangar aéré, nous constatons une répartition homogène de la teneur en azote sur tout le profil de la section de la balle. Par contre, après 6 mois de stockage, le centre présente toujours la même concentration azotée de 14,4 g par kg de matière sèche, alors que la périphérie s'est appauvrie, passant à 10,1 g par kg de matière sèche.

Quels que soient le point de prélèvement, le mode de traitement et la durée de stockage, la proportion d'azote soluble par rapport à l'azote total est relativement constante, de 45 à 58 %.

3) Digestibilité, quantités ingérées et valeur nutritive

Les huit séries de mesures, rappelées dans le tableau III, sont comparées aux valeurs des pailles « Tomclair » et « Agathé » non traitées.

TABLEAU III
QUANTITÉS INGÉRÉES, DIGESTIBILITÉ ET VALEURS NUTRITIVES
DES PAILLES TRAITÉES
(sur moutons Mérinos d'Arles adultes maintenus en cage de digestibilité au cours de deux périodes, été et hiver)

N° lot	Saison (1)	Taux NH ₃	Durée	% M.S.	Température			M.A.T. (g)	Q _i (g/KgP ^{0,75})	C.D. de la M.S.	C.D. de la M.O.	U.F.L.	P.D.I.N. (g/kg M.S.)	P.D.I.F. (g/kg M.S.)
					maximale	initiale	augmentation							
3	1	3	6	92	68	22	46	98,1	43,6 ± 9,2	55,4 ± 6,5	59,0	0,63	47,7	64,7
1	1	5	6	92	68	22	46	90,6	36,4 ± 2,8	50,7 ± 5,5	53,4	0,58	45,1	60,5
2	1	5	6	92	68	22	46	100,0	41,0 ± 7,1	55,9 ± 1,4	58,7	0,62	48,3	64,5
4	1	3	13	92	68	20	48	98,1	41,0 ± 4,7	51,9 ± 5,2	56,6	0,59	47,7	63,0
3(2)	1	3	6	92	68	22	46	86,3	49,8 ± 6,6	53,3 ± 2,6	54,8	0,62	43,7	61,6
9	2	3	6	92	28	7	21	87,5	40,6 ± 8,0	48,6 ± 3,4	51,8	0,54	40,0	51,8
12	2	5	6	82	33	4	29	85,0	42,1 ± 4,9	44,4 ± 3,0	47,2	0,49	39,1	48
14	2	5	6	82	41	14	27	105,0	45,0 ± 5,2	54,1 ± 1,1	55,2	0,61	45,9	54,4
Tomclair								48,5	33 (3)		42 (3)	0,42	31	51
Agathé								34,0	33 (3)		42 (3)	0,42	22	44

(1) Code saison: 1 Eté 2 Hiver

(2) Mesures réalisées après 6 mois de stockage

(3) Tables INRA, 1978

La digestibilité de la matière organique est comprise entre 52 et 59 %, sauf pour le lot 12 pour lequel elle n'est que de 47 %. L'augmentation par rapport à la paille avant traitement est donc de 12 à 25 %.

Les fortes températures des mois d'août et septembre ont limité les quantités ingérées par les moutons, effet signalé par VERMOREL (1982), AMES et BRINK (1977). Ceci explique deux valeurs différentes et contradictoires enregistrées pour le lot 3 : 43,6 g/kg P^{0.75} en été et 49,8 g en hiver alors que les coefficients de digestibilité sont légèrement inférieurs pendant la deuxième période de mesure. On peut retenir, et de nombreuses observations le confirment, que les quantités ingérées augmentent dans des proportions importantes après traitement, d'environ 30 %.

Les caractéristiques énergétiques (UFL) et azotées (PDIN et PDIE) ont été calculées selon les indications publiées dans l'ouvrage de l'INRA 1978 : Alimentation des ruminants.

En ce qui concerne les PDIN, leur valeur finale est égale à la valeur PDIN de la paille avant traitement augmentée des PDIMN permises par la fraction NH₃ extractible au moyen d'un tampon phosphate.

La concentration énergétique exprimée en UFL est relativement homogène et dépasse en général 0,60 UFL, ce qui représente une augmentation moyenne de 40 % de la valeur énergétique. Les valeurs azotées sont beaucoup plus hétérogènes. Mais cette hétérogénéité s'explique en partie par la valeur azotée initiale des deux pailles avant traitement. Ainsi, nous avons calculé une augmentation de la valeur azotée comparable pour chacune des pailles, soit 10 à 12 points pour les PDIE et 15 à 17 points pour les PDIN.

4) Étude descriptive, au moyen de l'analyse en composantes principales, des 21 lots traités

La description de chaque lot de paille traitée fait intervenir 6 variables (N total, N soluble, Solubilité totale, Solubilité enzymatique, Température maximale, Teneur en parois végétales exprimée par NDF).

La matrice des corrélations (tableau IV) permet de dégager deux remarques essentielles :

TABLEAU IV
RÉSULTATS DE L'ANALYSE EN COMPOSANTES PRINCIPALES
 (21 lots, 6 variables)
ET MATRICE DE CORRÉLATION ET AXES PRINCIPAUX
ASSOCIÉS
 (axes 1 et 2)

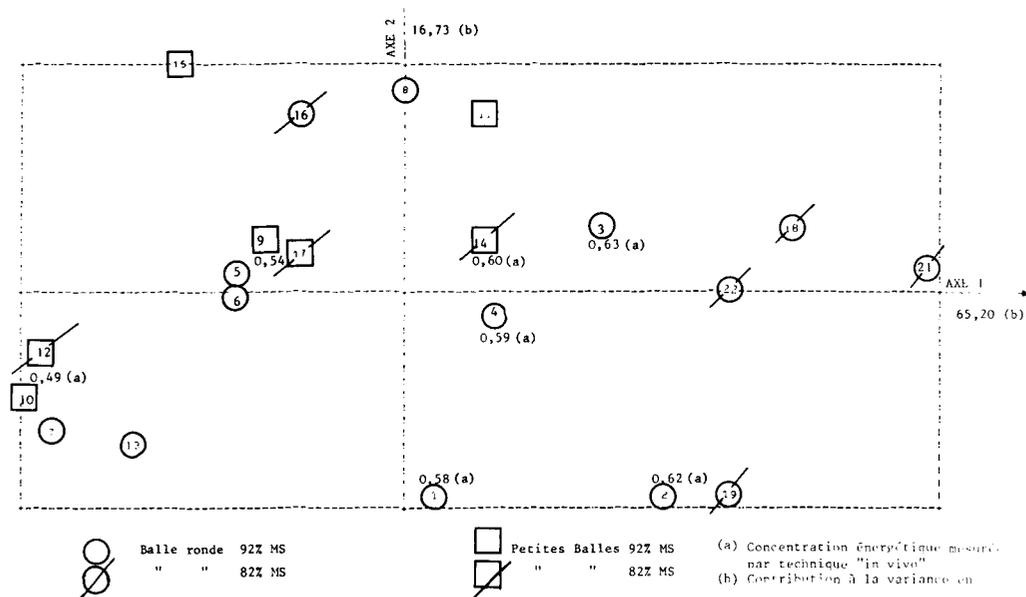
<u>MATRICE DE CORRÉLATION</u>						
	N.TOT.	N.SOL.	S.TOT.	S.ENZ.	NDF	T.MAX.
N.TOT.	1.00					
N.SOL.	0.65	1.00				
S.TOT.	0.67	0.39	1.00			
S.ENZ.	0.68	0.35	0.98	1.00		
NDF	-0.64	-0.42	-0.79	-0.71	1.00	
T.MAX.	0.27	0.24	0.66	0.63	-0.40	1.00

<u>AXES PRINCIPAUX 1 et 2</u>		
	AXE 1	AXE 2
Contribution à la variance en Z	65,20	16,73
N.TOT.	0.411	0.432
N.SOL.	0.301	0.656
S.TOT.	0.482	-0.280
S.ENZ.	0.467	-0.235
NDF	-0.424	-0.036
T.MAX.	0.331	-0.528

— la variable NDF est liée négativement aux autres variables avec trois coefficients significatifs au seuil de 1 % ($> 0,549$). Ce sont ceux qui mesurent le degré de liaison linéaire entre NDF et les variables solubilité totale, solubilité enzymatique ou azote total ;

— la variable N total est significativement liée aux autres variables au seuil de 1 %, à l'exception du coefficient de corrélation (0,27) entre cette variable et la variable température maximale.

FIGURE 2
RÉSULTATS DE L'ANALYSE EN COMPOSANTES PRINCIPALES
 (21 lots, 6 variables) :
REPRÉSENTATION DES LOTS DE PAILLES TRAITÉS DANS LE PLAN PRINCIPAL
 (axes 1 et 2)



Les deux axes absorbent respectivement 65,20 et 16,73 % soit 81,93 % de la variabilité totale (tableau IV). Le premier axe oppose la teneur en NDF (- 0,424) aux 5 autres variables qui ont des contributions assez comparables. Le deuxième axe oppose essentiellement température maximale (- 0,528) à N total (0,432) et N soluble (0,656). Sa signification biologique ne nous apparaît pas d'une façon claire.

Les lots ayant subi l'attaque ammoniacale la plus forte sont situés dans la partie droite de la figure 2. Les lots ayant atteint les températures les plus élevées seront situés vers le bas du graphe.

connus (WAAGEPETERSEN et al., 1977 ; SUNDSTOL, 1978). Ce sont eux qui ont l'action la plus nette sur l'intensité des réactions chimiques.

Au niveau d'une exploitation agricole, d'autres paramètres sont susceptibles d'avoir une action sur la qualité du produit obtenu. C'est pourquoi nous avons travaillé sur trois variétés de paille de blé dur, trois types de conditionnement de la paille, deux taux de matière sèche avant le traitement, deux saisons (traitement l'été ou l'hiver).

I. MOYENS MIS EN ŒUVRE

Nous disposons d'un réservoir d'ammoniac liquide d'une capacité de 2,5 tonnes, prêté par la Société Orgplex. Ce stock d'ammoniac sert à approvisionner le réservoir de dosage et de détente et l'enceinte de traitement. Cette enceinte résistante, étanche et isotherme a été réalisée à partir d'un conteneur frigorifique routier de récupération dont la longueur est de 7,7 m et le coefficient thermique $k = 0,27$. La porte arrière s'ouvre en totalité pour faciliter l'introduction des balles de paille. Toutes les ouvertures, à l'exception de la porte arrière, ont été rendues étanches par application d'un film de résine polyester, résistant aux vapeurs d'ammoniac. La porte arrière a été remplacée par un panneau de bois recouvert également d'une résine polyester, l'étanchéité étant assurée par un joint de caoutchouc souple. La porte fixée sur un portique à coulisse est maintenue en place par un système de verrouillage.

La toxicité du gaz ammoniac exige des mesures rigoureuses de sécurité. Le conteneur a été équipé de façon à ce que le chargement et le déchargement des lots de paille se réalisent de l'extérieur grâce à des chariots guidés sur des rails à l'intérieur du conteneur. Ces chariots peuvent être chargés manuellement de petites balles mais également de grosses balles à l'aide d'une fourche frontale montée sur tracteur. On peut loger dans le conteneur 5 balles rondes de 450 kg ou environ 170 petites balles de 12 kg.

Le dosage de l'ammoniac nécessaire au traitement et la mesure de la vitesse de diffusion vers le conteneur sont réalisés à l'aide d'une balance à affichage automatique.

Le contrôle des températures est effectué en continu.

Les différences de pression sont mesurées à l'aide d'un manomètre à huile.

II. PROTOCOLE EXPÉRIMENTAL

Dans les régions méridionales, la récolte des pailles au mois de juillet conduit très fréquemment à l'obtention d'un produit très sec, atteignant dans notre cas 92 % de matière sèche (M.S.). Dans d'autres régions, les agriculteurs sont amenés à récolter des pailles beaucoup plus humides. Certains lots de paille ont donc été portés, avant traitement, à 82 % de matière sèche.

Le traitement des pailles a été réalisé en été avec une température moyenne de 23 °C et en hiver avec une température moyenne de 6 °C.

Les combinaisons réalisées dans le protocole sont présentées figure 1.

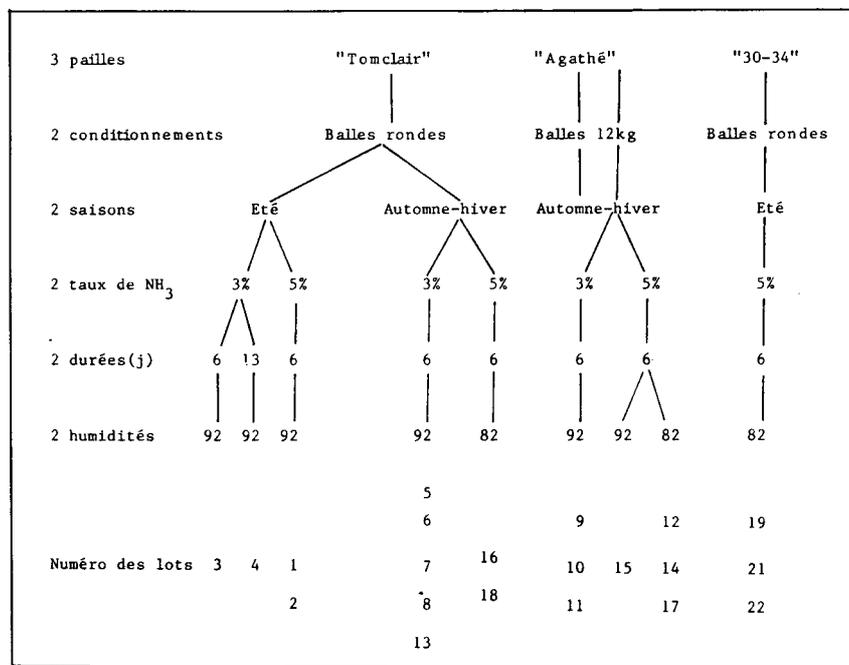
Nous avons retenu deux taux d'ammoniac pour réaliser les traitements. Le taux de 3 % est, d'après nos études préalables et les résultats publiés (WAAGEPETERSEN et VESTERGAARD THOMSEN, 1977), un taux suffisant pour obtenir une réaction complète dans un délai de 6 jours à condition que la température de la réaction soit assez élevée. Par contre, sur des périodes plus froides, le choix d'un taux d'ammoniac de 5 % peut se révéler bénéfique (cf. études préalables). Une durée minimale de 6 jours de traitement a été retenue car elle semble nécessaire à une augmentation importante de la valeur nutritive des pailles et à une bonne stabilité du produit traité.

Deux taux d'humidification ont été utilisés avec une teneur en M.S. de 82 % ou de 92 %.

Les objectifs de l'étude étaient les suivants :

— décrire la variabilité des 21 lots de paille traitée à l'aide d'un ensemble de caractères mesurés sur chaque lot : dans ce but nous avons utilisé l'analyse en composantes principales ;

FIGURE 1
SCHÉMA EXPÉRIMENTAL



— contrôler l'homogénéité du traitement et de la stabilité du produit traité ;

— mesurer la digestibilité et la valeur nutritive de la paille ammoniée.

Mise en œuvre du protocole

L'étude a porté sur trois variétés de paille de blé dur, « 30-34 », « Tomclair » et « Agathé », produite sur le domaine de Fréjorgues. Les 65

pailles « 30-34 » et « Tomclair » ont été conditionnées en balles rondes de densité élevée (100 kg/m^3) pesant en moyenne 350 à 450 kg. La paille « Agathé » a été conditionnée en balles de moyenne densité (50 kg/m^3) d'un poids de 12 kg environ.

Après le chargement du conteneur, sa fermeture étanche et la mise en place des appareils de contrôle, la quantité d'ammoniac nécessaire au traitement est introduite dans le réservoir intermédiaire et mesurée par pesée.

La pression dans le réservoir est élevée et dépend de la température extérieure. L'ouverture de la vanne de sortie du gaz entre le réservoir et le conteneur doit se faire avec précaution pour maintenir une pression de 1,5 mBar limitant ainsi la déformation des parois de la caisse. La pression s'abaisse dans le réservoir intermédiaire et atteint la pression atmosphérique après un délai de 30 à 60 mn environ. La vanne de sortie est alors ouverte en totalité.

Lorsque la durée du traitement est suffisante, la porte du conteneur est ouverte. On ne procède au déchargement de la paille et au chargement de la série suivante qu'après un délai de 18 à 20 heures pour permettre au gaz en excès de s'échapper. La paille est alors transférée sous un hangar aéré. Les échantillons nécessaires aux dosages sont prélevés après un délai de 5 jours.

Pour contrôler l'homogénéité du traitement à l'intérieur des balles rondes, de densité élevée, nous avons analysé les variations des teneurs en azote total et en azote soluble dans un tampon phosphate sur trois points de prélèvement : surface, 20 cm de profondeur et centre. Ce contrôle a été réalisé sur une balle de chacun des lots 6 et 18 (traitement d'hiver, respectivement 3 % et 5 % d'ammoniac, 92 % et 82 % de M.S.).

Pour étudier l'effet du vieillissement de la paille traitée, nous avons gardé deux balles du lot 2 (traitement d'été, 5 % d'ammoniac). L'analyse a porté sur des échantillons prélevés 2 mois et 6 mois après le traitement.

Pour la mesure des autres caractéristiques, les échantillons ont été constitués par le mélange de trois prélèvements de 1 kg de paille environ. Selon le mode de conditionnement de la paille, les prélèvements sont

IV - DISCUSSION

Nous recherchons les modalités du traitement qui donnent à la paille la meilleure valeur nutritive. Compte tenu des résultats de l'analyse en composantes principales, les meilleurs lots sont ceux :

— qui obtiennent les valeurs azotées et les solubilités enzymatiques les plus élevées. Ces deux variables présentent un coefficient de corrélation positif et significatif au seuil de 1 %, résultat déjà montré par REXEN (1977), WAAGEPETERSEN et VESTERGAARD THOMSEN (1977), SUNDSTOL et al. (1979). La signification physiologique de ces deux variables est évidente ;

— qui ont subi la plus forte dégradation des parois végétales ;

— qui ont été humidifiés avant traitement. Ce résultat confirme ceux obtenus avec des taux d'humidification plus élevés par WAAGEPETERSEN et VESTERGAARD THOMSEN (1977) : 30 % ou SOLAIMAN et al., (1979) : 54 %. La teneur élevée en eau étant incompatible avec une bonne conservation des pailles non traitées, il est nécessaire d'humidifier juste avant l'attaque alcaline ; le développement des champignons est alors bloqué par l'élévation du pH (BREKKE et al., 1977) ;

— qui ont réalisé les plus fortes augmentations de température, c'est le cas du conditionnement en balles rondes de haute densité. Des résultats, obtenus en laboratoire, avaient dégagé le rôle favorable de la température de réaction ; ils nous orientent aussi vers le choix de ce conditionnement.

L'analyse biochimique nous a permis de mettre en évidence un gradient de la teneur en azote des balles de paille traitée. A notre connaissance, ni le procédé danois, ni le procédé norvégien n'ont fait l'objet d'une étude sur l'homogénéité du traitement. Les observations du comportement alimentaire de brebis nourries en libre service avec des grosses balles de paille ammoniée confirment ces résultats. En effet, les zones périphériques, à teneur élevée en azote total et soluble sont consommées en priorité lorsque les balles sont distribuées en libre service. Par contre, la balle abandonnée 6 mois dans un local aéré a été attaquée par les brebis au niveau des zones centrales plus riches en azote.

Nous pouvons déduire de ces observations que les zones à concentrations élevées en azote ne rebutent pas les animaux : bien au contraire, ils doivent y trouver un aliment de meilleure appétibilité, si ce n'est de meilleure valeur nutritive. Les relations établies par SUNDSTOL et al., (1979) entre la solubilité enzymatique et l'azote total ou par REXEN (1977) entre la solubilité enzymatique et la digestibilité « in vitro », mesurée selon TILLEY et TERRY vont dans ce sens.

La faible pression utilisée pour l'injection de l'ammoniac a peut-être favorisé la mauvaise répartition de l'azote au sein des balles. Aussi nous procédons à de nouveaux essais avec une enceinte plus résistante à la pression.

Les concentrations énergétiques déterminées au cours des études de digestibilité (tableau III) ont été reportées sur la figure 2 et confirment les résultats de l'analyse en composantes principales. En effet, pour les 8 lots étudiés, il y a concordance entre leur projection sur le premier axe et la valeur calculée pour leur concentration énergétique. Si cette concordance était vérifiée, on attribuerait au lot 21 la concentration énergétique la plus élevée.

Les traitements d'hiver semblent ne pas valoriser régulièrement le potentiel nutritif de la paille (tableau III). Ainsi le lot 14 de paille humidifiée traitée avec un taux de 5 % d'ammoniac conduit à des résultats très performants (+ 0,18 UFL, + 24 g de PDIN) alors que le lot 12 traité dans les mêmes conditions donne des résultats plus modestes. Les causes de la moins bonne qualité de ce lot n'ont pu être cernées.

CONCLUSION

Cette première étude confirme qu'il est possible de produire, à l'aide d'une technique simple, de la paille traitée à l'ammoniac au niveau de l'exploitation agricole.

La régularité de la qualité du produit traité n'est pas encore maîtrisée ; l'application de la technique présentée pourrait être envisagée, mais la fragilité du conteneur de récupération utilisé nous conduit à beaucoup de

réserve. Actuellement, la technique sous bâche, qui ne nécessite aucun investissement, est à conseiller. Par contre, cette étude a permis de préciser les axes de recherches à poursuivre.

La prise en compte de divers facteurs du milieu nous a permis de dégager plusieurs paramètres qui semblent favorables à une bonne orientation des réactions chimiques. Aux caractéristiques techniques déjà retenues pour le conteneur (étanchéité, isothermie et grande capacité), nous devons ajouter :

- une plus grande résistance à la pression,
- une adaptation de sa forme à celle du stock de paille à traiter, cylindrique pour les balles rondes, parallélépipédique pour les petites balles, ce qui permettrait de réduire la surface d'échange thermique avec l'extérieur et diminuerait les pertes calorifiques.

Mais nous devons aussi retenir :

- l'humidification de la paille juste avant le traitement,
- une teneur en ammoniac de 3 % si la température ambiante est suffisante (été) ou une teneur de 5 % dans le cas contraire (hiver),
- un apport calorique d'appoint en hiver en fonction de la vitesse de diffusion souhaitée pour le gaz.

R. CORDESSE, J. TEYSSIER, M. PHILIPPY,
avec la collaboration technique
de D. FABRE et J.M. COMBETTES,
Laboratoire de Zootechnie de l'ENSA de Montpellier,
Station de Physiologie animale,
I.N.R.A., Montpellier-Fréjorgues (Hérault).

Ce travail, réalisé au domaine expérimental de Fréjorgues, a été financé en partie par l'Établissement Public Régional du Languedoc-Roussillon.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- AMES D.R. et BRINK D.R. (1977) : « Effect of temperature on lamb performance and protein efficiency ratio », *J. Anim. Sci.*, 44, 136-140.
- BECKMANN E. (1921) : « Conversion of grain straw and lupin into feeds of high nutrient value », *Chem. Abstr.*, 16, 765.
- BREKKE O.L., SINNHULER R.O., PEPLINSKI A.J., WALES J.H., PUTNAM G.B., LEE D.J., CIEGLER A. (1977) : « Aflatoxin in corn : Ammonia inactivation and bioassay with rainbow Trout Appl. », *Environ. Microbiol.*, 34, 34-37.
- CHOMYSZYN M., ZIOLECKA A. (1972) : « Utilization of ammoniated feeds in ruminant nutrition », *Tracer studies on non protein nitrogen for ruminants. IAEA-Vienna, F.A.O.*, 153-161.
- CORDESSE R. (1982) : Amélioration de la valeur nutritive des pailles par les traitements chimiques. Revue bibliographique. Traitement de la paille de blé dur avec l'ammoniac. Thèse Dr. Ingénieur. E.N.S.A., Montpellier, 94 p.
- CORDESSE R., TABATABAI M.M. (1981) : « Alimentation d'agneaux à partir d'une paille traitée à l'ammoniac. I. Valeur nutritive, croissance et composition corporelle », *Ann. Zootech.*, 30, 137-150.
- CORDESSE R., TABATABAI M.M. (1981) : « Alimentation d'agneaux à partir d'une paille traitée à l'ammoniac. II. Cinétique biochimique de la dégradation dans le rumen de la paille traitée », *Ann. Zootech.* 1981 30, 299-312.
- DALLEINE E. (1979) : « Quantités de résidus ou sous produits utilisables pour l'alimentation en production animale », *Bull. Tech. Inf.* n° 341-342, 299-310.
- NIKOLAEVA L.I. (1938) : « Ammonium hydroxide treatment of straw. Problems Animal Husbandry (USSR), 7, n° 3 (175-178) », *Chemical abstract.*, 35, 817.
- HORTON G.M. (1978) : « The intake and digestibility of ammoniated cereal straws by cattle », *Can. J. anim. Sci.*, 58, 471-478.
- REXEN B. (1977) : « Enzyme solubility - a method for evaluating the nutritive value of alkali treated straw », *Anim. Feed. Sci. Technol.*, 2, 205-218.
- SOLAIMAN S.G., HORN G.W., OWENS F.N. (1979) : « Ammonium hydroxide treatment on wheat straw », *J. Anim. Sci.*, 49, 802-808.
- SUNDSTOL F., COXWORTH E., MOWAT D.N. (1978) : « Amélioration de la valeur nutritive de la paille par le traitement à l'ammoniac », *Rev. mond. Zootech.*, 26, 13-21.

- SUNDSTOL F., SAID A.N., ARNASON J. (1979) : « Factors influencing the effect of chemical treatment on the nutritive value of straw », *Acta. Agric. Scand.*, 29, 179-190.
- VAN SOEST P.J., WINE R.H. (1967) : « Use of detergents in the analysis of fibrous feeds. IV. Determination of plant cell-wall constituents », *J. Assoc. Off. Agric. Chem.*, 50, 50-55.
- VÉRITÉ R., DEMARQUILLY C. (1978) : « Qualité des matières azotées des aliments pour ruminants », *La vache laitière* I.N.R.A., Versailles, 143-157.
- VERMOREL M. (1982) : *Climat, thermogenèse et production de l'animal*. Séminaire « Actions du climat sur l'animal au pâturage », I.N.R.A., 18 pp.
- WAAGEPETERSEN J., VESTERGAARD THOMSEN K. (1977) : « Effect of digestibility and nitrogen content of barley straw of different ammonia treatments », *Anim. Feed. Sci. Technol.*, 2, 131-142.
- ZAFREN S. Ja. (1959) : « Increasing the nutritive value of straw and at the same time adding digestible nitrogen », *Dokl. Vses Akad. sel'skhoz. Nauk.* 8, 9-14, *Nutr. Abstr. Rev.*, 31, 252, 1961.