

## Etude de la valeur alimentaire des pailles de céréales traitées ou non à la soude

### I. - Influence du traitement à la soude

J.P. DULPHY, J. BRETON, A. BIENAIME et J.M. LOUYOT

avec la collaboration technique de J.M. BOISSAU, H. BOUSQUET, Jacqueline JAMOT,  
Marie JAILLER, Madeleine DUDILIEU et L. L'HOTELIER

*I.N.R.A., Laboratoire des Aliments,  
Centre de Recherches de Clermont-Ferrand,  
Theix-Saint-Genès-Champanelle, F 63110 Beaumont*

#### Résumé

Pour préciser l'influence du traitement à la soude sur la valeur alimentaire des pailles de céréales nous avons conduit sept petits essais sur moutons. Dans les cinq premiers, des pailles ont été comparées avant et après traitement avec une solution apportant 50 g de soude et 2,5 litres d'eau par kg de paille. Dans les deux autres le traitement a été effectué par une machine danoise qui malaxe la paille et y introduit une solution concentrée de soude. Dans le premier essai on a également ensilé une partie de la paille après traitement. Toutes les pailles ont été distribuées avec un aliment concentré.

Le traitement à la soude a augmenté la digestibilité des pailles distribuées à volonté respectivement de 10,5 et 15,7 points pour la matière organique et la cellulose brute. Les deux modes de traitements ont donné des résultats similaires. Simultanément le traitement à la soude a augmenté nettement les quantités de paille ingérées (+ 51 p. 100 avec le premier mode de traitement ; + 17 p. 100 avec la seconde méthode). Lorsque deux des pailles traitées ont été distribuées en quantités limitées au niveau des pailles non traitées leur digestibilité a augmenté encore de 9,3 points et de 6,6 points respectivement pour la matière organique et la cellulose brute.

Le traitement à la soude n'a pas modifié les durées journalières d'ingestion et de rumination, mais il a diminué très nettement leurs durées unitaires de mastication.

La mise en silo n'a pas modifié la valeur de la première paille traitée à la soude.

L'ensemble des résultats obtenus est discuté. Il est souligné en particulier que l'effet du traitement augmente lorsque la valeur alimentaire de la paille utilisée diminue et qu'il est mis en évidence surtout lorsqu'on limite la distribution de la paille après traitement.

#### Introduction

La valeur alimentaire des pailles est faible (XANDE, 1978 a) et de nombreuses études ont été conduites pour tenter de l'améliorer. L'amélioration peut se faire tout d'abord par une complémentation azotée et minérale correcte (XANDE, 1978 b ;

HODEN, 1972 ; HODEN & JOURNET, 1977 ; PIGDEN & HEANEY, 1969). Dans ce cas, on cherche à favoriser au maximum l'activité cellulolytique dans le rumen.

L'amélioration de la valeur des pailles peut se faire aussi, et dans le même temps, en rendant les constituants pariétaux, naturellement peu digestibles parce que très lignifiés, plus accessibles aux enzymes digestives. Cela est permis, de façon relativement simple par le traitement à la soude (BECKMANN, 1921 ; WILSON & PIGDEN, 1964 ; REXEN, STIGSEN & KRISTENSEN, 1975 ; KLOPFENSTEIN, 1978). C'est pourquoi nous en avons entrepris l'étude en 1976, alors que JACKSON (1977) publiait un travail de synthèse sur ce sujet.

L'action de la soude peut être facilitée par une température et une pression élevées (REXEN & THOMSEN, 1976) ou par un apport d'eau important (BOLDUAN & PIATOWSKI, 1972), d'où la possibilité de plusieurs techniques de traitement. Nous avons choisi d'en étudier deux.

La première est très simple : elle consiste à traiter la paille en y mélangeant une solution diluée de soude (à environ 2 p. 100) employée en quantité telle qu'elle soit absorbée complètement (voie « semi-humide »). Cette technique est réalisable manuellement, en arrosant la paille, ou mécaniquement dans une remorque mélangeuse. Elle permet d'obtenir une paille ayant une teneur en matière sèche de 30 à 35 p. 100 et un pH élevé, de l'ordre de 9. Cette paille humide se détériorant rapidement à l'air, nous avons étudié ses possibilités de conservation sous forme d'ensilage. Par ailleurs, en cas d'une utilisation à l'état frais, le pH élevé et la teneur élevée en soude résiduelle peuvent, peut-être, être préjudiciables à la santé des animaux. Aussi avons-nous étudié les effets de la limitation de son apport ainsi que sa neutralisation avant la distribution.

La seconde technique que nous avons étudiée est celle proposée par la firme danoise J.F. : elle consiste à malaxer énergiquement, dans une machine conçue à cet effet, de la paille et une solution concentrée de soude (de l'ordre de 150 g de solution à 32 p. 100 par kg de paille). C'est la voie « semi-sèche ».

Il existe deux autres techniques que nous n'avons pas étudiées :

— la voie « humide », technique artisanale consistant à tremper la paille dans une solution de soude (procédé Beckmann) ;

— la voie « sèche », technique industrielle consistant à traiter de la paille broyée avec une solution de soude très concentrée avant de l'agglomérer dans une presse à filière. L'efficacité du traitement de la paille serait favorisée par l'augmentation de la température et de la pression lors de l'agglomération.

## Matériel et méthodes

### I. *Traitement par voie semi-humide*

Nous avons, en 1976 et 1978, conduit cinq essais, deux avec des pailles d'orge (pailles A et B, essais I et II), trois avec des pailles de blé (pailles C, D et E, essais III, IV et V).

*Pailles d'orge*

A partir d'une paille d'orge A hachée au hache-paille, nous avons préparé plusieurs aliments selon les traitements suivants (essai I) :

— une partie a été traitée chaque jour avec 2,5 litres d'une solution à 1,6 p. 100 de soude, soit à une dose de 40 g de soude pure par kg de paille brute, le mélange étant fait manuellement à la fourche. La paille était alors conservée à l'air, dans un récipient en béton pendant 2 jours, avant d'être distribuée à des moutons soit :

- telle quelle (AS),
- après avoir été neutralisée avec une solution d'acide chlorhydrique (apportant 36,5 g d'acide par kg de paille pesée avant le traitement à la soude) juste avant la distribution aux moutons (ASN) ;

— une partie a été traitée en une fois selon la technique présentée ci-dessus puis ensilée deux jours plus tard avec du lactosérum déshydraté ajouté à raison de 150 g par kg de paille pesée avant le traitement à la soude, soit :

- telle quelle (ASE),
- après avoir été neutralisée avec de l'acide chlorhydrique (ASNE).

Les pailles AS et ASN ont été distribuées à deux lots de 9 moutons, 4 recevant par jour 165 g de maïs et 135 g de tourteau de soja, 5 recevant 150 g de lactosérum et 135 g de tourteau de soja selon le schéma de la figure 1. Les animaux ont reçu ensuite les pailles ASE et ASNE avec 135 g de tourteau de soja. Ils ont reçu enfin les pailles A et AS avec 165 g de maïs et 135 g de tourteau de soja. Toutes les pailles ont été distribuées à volonté (environ 10 p. 100 de refus), avec 20 g d'un mélange de minéraux chaque jour.

A partir d'un lot homogène de paille d'orge B nous avons, en outre, au Domaine d'Orcival, préparé un ensilage de paille (essai II). La paille utilisée avait été hachée grossièrement (brins de 2-4 cm) par une ensileuse à couteaux et ensilée avec une solution de lactosérum liquide (2,17 kg/kg de paille) contenant 2,26 p. 100 de soude, soit 49 g de soude par kg de paille. Cette paille (BSE) a été distribuée 3 mois plus tard à un lot de 6 moutons qui a reçu ensuite la paille B de départ. L'aliment concentré était alors constitué uniquement de tourteau de soja (150 g/jour) et d'un complément minéral (20 g/jour).

*Pailles de blé*

A partir d'une première paille de blé C, hachée au hache-paille, nous avons préparé, comme précédemment, une paille traitée (CS) avec 2,5 litres d'une solution de soude à 2 p. 100 par kg (essai III). Les 2 pailles, traitées ou non, ont été distribuées à volonté successivement avec un mélange de 165 g de maïs grain, 135 g de tourteau de soja et 20 g de complément minéral par animal et par jour, à un même lot de 6 moutons.

La même préparation a été faite avec une paille de blé D et les pailles D et DS ont été distribuées à volonté avec un mélange de maïs et de tourteau de soja représentant 15 p. 100 de la matière sèche de la ration de base (essai IV). Dans ce cas, le concentré était distribué en quantité limitée ajustée d'après la quantité de paille ingérée la veille.

	Lot 1 (9 animaux) <i>Group 1 (9 animals)</i>		Lot 2 (9 animaux) <i>Group 2 (9 animals)</i>	
Période 1 <i>Period 1</i>	Paille AS - <i>Straw AS</i>		Paille ASN - <i>Straw ASN</i>	
	Maïs <i>Maize</i>	Lactosérum <i>Whey</i>	Maïs <i>Maize</i>	Lactosérum <i>Whey</i>
	+	+	+	+
	Tourteau de soja <i>Soyabean oil meal</i>	Tourteau de soja <i>Soyabean oil-meal</i>	Tourteau de soja <i>Soyabean oil-meal</i>	Tourteau de soja <i>Soyabean oil-meal</i>
Période 2 <i>Period 2</i>	Paille ASE - <i>Straw ASE</i>		Paille ASNE - <i>Straw ASNE</i>	
	+		+	
	Tourteau de soja <i>Soyabean oil-meal</i>		Tourteau de soja <i>Soyabean oil-meal</i>	
Période 3 <i>Period 3</i>	Paille A - <i>Straw A</i>		Paille AS - <i>Straw AS</i>	
	+		+	
	Maïs + Tourteau de soja <i>Maize + Soyabean oil-meal</i>		Maïs + Tourteau de soja <i>Maize + Soyabean oil-meal</i>	

FIG. 1

*Schéma des mesures pour les différentes pailles d'orge A.*

*Plan of measures for the different barley straws A.*

Enfin, en 1978, dans le cadre d'une thèse (BIENAIME, 1979), nous avons, à partir d'une paille de blé E, préparé une paille traitée (ES) avec 2,5 litres par kg d'une solution de soude à 2 p. 100 (essai V). Les deux pailles ont d'abord été distribuées à volonté, puis la paille ES l'a été en quantité limitée à un lot de 6 moutons. Dans ce cas, l'aliment concentré représentait 45 p. 100 de la ration (1/3 de maïs grain) et était ajusté d'après la quantité de paille ingérée la veille.

## II. *Traitement par voie semi-sèche*

Deux essais ont été effectués, respectivement en 1977 sur une paille de blé et en 1978 sur une paille d'orge.

### *Paille de blé*

A partir d'une paille de blé F (essai VI) il a été préparé à la Station I.T.C.F. de Boigneville une paille traitée avec une machine danoise (JF type SP 2000) conçue spécialement pour le traitement de la paille par la soude. Cette machine incorpore dans de la paille longue une lessive concentrée de soude (environ 150 g de lessive à 32 p. 100 de soude pour 1 kg de paille, soit 48 g de soude par kg de paille) puis malaxe énergiquement le mélange paille-soude. La paille traitée se présente sous forme de paillettes qui sont stockées en tas à l'air libre dans un local abrité. La

paille témoin après hachage au hache-paille et la paille traitée ont été distribuées successivement à un lot de 6 moutons avec 320 g d'aliment concentré par jour (165 g de maïs grain, 135 g de tourteau de soja, 20 g de complément minéral). Entre le traitement et la distribution aux animaux il s'est écoulé plus de 2 mois.

### *Paille d'orge*

A partir d'une paille d'orge G nous avons préparé avec la même machine JF une autre paille au Domaine d'Orcival (DULPHY & ANDRIEU, 1980). Les pailles, traitées et non traitées, ont été distribuées *ad libitum*, au Domaine de Marcenat, à deux lots de 6 moutons avec un apport d'aliment concentré (maïs 86 p. 100 + tourteau de soja 14 p. 100) représentant 33 p. 100 de la ration (essai VII). La paille traitée a, en outre, été distribuée en quantité limitée proche de celle de la paille non traitée.

### *Mesures*

Nous avons mesuré sur les animaux utilisés (béliers castrés adultes de race Texel) la digestibilité et l'ingestibilité des rations correspondant aux traitements décrits plus haut. Les animaux, maintenus en cage à métabolisme recevaient deux repas par jour (à 8 h et à 16 h) comprenant la moitié de l'aliment concentré, qu'ils ingéraient rapidement, puis la paille. Les pailles non traitées ont toujours été présentées après avoir été grossièrement hachées au hache-paille pour faciliter leur ingestion et distribuées à volonté (10-15 p. 100 de refus) ou en quantités limitées. Dans chaque essai les moutons ont été adaptés à leurs différents régimes expérimentaux pendant deux semaines au moins, plus si les animaux ne recevaient pas déjà de la paille. Après cette mise en régime la durée de la période de mesure de la digestibilité a été de 6 jours.

Selon les essais nous présenterons les résultats de digestibilité de deux façons. La première consistera à donner les digestibilités des rations complètes telles qu'elles ont été mesurées sur les animaux. Nous donnerons ensuite celles des pailles (avec du lactosérum inclus pour les pailles ensilées de l'essai I) obtenues par calcul en supposant que les digestibilités des compléments sont constantes et égales à celles données dans l'ouvrage sur l'Alimentation des Ruminants (I.N.R.A., 1978). Dans le cadre de nos essais nous avons donc admis que les digestibilités du maïs grain et du tourteau de soja étaient respectivement pour la matière organique, les matières azotées et la cellulose brute 90 et 91, 71 et 92, 72 et 80.

Par ailleurs, les manifestations du comportement alimentaire et mérycique des moutons ont été enregistrées lors des périodes de mesures pour les pailles des essais I, IV et V selon la méthode de RUCKEBUSCH (1963), c'est-à-dire par transcription graphique des mouvements de la mâchoire sur un papier enduit de noir de fumée et se déroulant lentement (2 mm/mn).

### *Analyses*

Les échantillons représentatifs des aliments offerts (par lot), refusés (par lot) et des fèces (par animal) ont été déshydratés chaque jour dans une étuve ventilée à 80 °C

TABLEAU 1  
*Composition chimique des pailles étudiées.*  
*Chemical composition of straws.*

Essai <i>Trial n°</i>	Paille <i>Straw</i>	Traitement <i>Treatment</i>	Teneur en MS <i>DM content</i>	Teneur en cendres % MS <i>Ash content % DM</i>	Teneur en matières azotées totales % MS <i>Crude protein content % DM</i>	Teneur en cellulose brute % MS <i>Crude fibre content % DM</i>
I	Orge A <i>Barley</i>	A	90,5	8,9	4,5	40,1
		AS	28,5	11,2	4,6	40,0
		ASN	28,5	12,1	4,6	38,6
		ASE	38,0	10,4	5,5	34,0
		ASNE	30,8	12,4	6,0	31,7
II	Orge B <i>Barley</i>	B	85,5	5,4	3,7	43,6
		BSE	32,8	10,4	4,2	39,0
III	Blé C <i>Wheat</i>	C	90,8	5,2	2,5	41,6
		CS	29,3	11,0	2,6	38,6
IV	Blé D <i>Wheat</i>	D	88,3	8,0	3,6	40,7
		DS	28,1	11,0	2,8	39,6
V	Blé E <i>Wheat</i>	E	89,1	10,3	3,5	40,8
		ES	27,6	12,9	3,1	40,8
VI	Blé F <i>Wheat</i>	F	89,4	5,0	3,8	39,0
		FS	76,6	10,8	3,4	41,0
VII	Orge G <i>Barley</i>	G	90,0	7,5	5,8	41,0
		GS	89,0	11,7	6,4	36,4

S : Paille traitée à la soude - *NaOH-treated straw.*

E : Paille ensilée - *Ensiled straw.*

N : Paille neutralisée avec HCl - *HCl neutralized straw.*

pendant 24 h. Pour chaque traitement et chaque période de mesure ils ont ensuite été regroupés pour ne conserver qu'un échantillon de chaque aliment offert, un des refus de paille et un des fèces. Ces échantillons finaux ont été analysés pour déterminer leur teneur en cendres par incinération, en matières azotées totales (N × 6,25) selon la méthode de Kjeldahl et en cellulose brute selon la méthode de WEENDE.

L'analyse des caractéristiques fermentaires des ensilages a été effectuée selon les méthodes décrites par ailleurs par DULPHY & DEMARQUILLY (1981). De même, la correction de la teneur en matière sèche de ces ensilages pour les pertes à l'étuve a été effectuée selon la méthode de DULPHY, DEMARQUILLY & HENRY (1975).

### Résultats

#### Composition chimique

La composition des différentes pailles utilisées est rapportée dans les tableaux 1 et 2. Il faut noter que la paille A était relativement riche en matières azotées totales à cause de la présence de plantes adventices.

TABLEAU 2

*Caractéristiques fermentaires des ensilages de paille traitée.*  
*Characteristics of ensiled treated straw.*

Paille - Straw	ASE	ASNE	BSE
pH - pH .....	5,85	5,05	7,08
N-NH <sub>3</sub> % N total - N-NH <sub>3</sub> % total N ..	4,8	2,6	8,7
N soluble % N total Soluble N % Total N	40,5	31,6	—
Acide lactique Lactic acid	21,0	25,1	11,5
Acide acétique Acetic acid	21,4	14,9	34,5
Acide butyrique Butyric acid	1,8	0,0	29,5
Alcools Alcohols	2,2	1,1	13,8

Pour l'ensemble des essais le traitement à la soude (pailles ensilées exclues) a augmenté les teneurs en cendres de 7,5 p. 100 à 11,4 p. 100 et fait diminuer celles en cellulose brute de 40,5 p. 100 à 39,4 p. 100. Les teneurs en matières azotées totales ont peu varié : de 3,95 à 3,82 p. 100.

Rapportées à la matière organique les teneurs en cellulose brute et matières azotées totales n'ont en fait pratiquement pas été modifiées : passage de 43,8 à 44,5 p. 100 pour la cellulose et de 4,27 à 4,31 pour les matières azotées.

La qualité de conservation des deux ensilages effectués à partir de la paille A en silos de 4 m<sup>3</sup> a été très bonne, malgré un pH élevé. La présence de soude n'a pas empêché le développement des bactéries lactiques. Par contre, la paille ensilée à Orcival dans un grand silo de 80 m<sup>3</sup> a été mal conservée, comme le montre la présence d'une quantité élevée d'acide butyrique.

### *Digestibilité*

Les résultats concernant les digestibilités des rations étudiées et celles déduites pour les pailles figurent dans les tableaux 3 et 4. La digestibilité de la matière organique des pailles non traitées utilisées a été très variable : de 30,0 à 51,0 (42,0 en moyenne). La teneur en matières azotées totales des rations ayant varié de 7,8 à 13 p. 100, on peut considérer que l'azote n'a pas limité la digestion des pailles. Enfin dans l'essai I la digestibilité de la paille d'orge n'a pas varié significativement selon le type de glucide accompagnant la paille (lactosérum à l'auge ou dans l'ensilage, maïs grain à l'auge). C'est pourquoi nous avons pu, dans cet essai, étudier l'influence des différents traitements indépendamment du type d'apport de glucides.

Lorsque les pailles ont été distribuées à volonté le traitement à la soude par la voie semi-humide a entraîné une augmentation significative de leur digestibilité : en moyenne respectivement de + 10,8 points (passage de 42,3 à 53,1) pour la matière organique et de + 15,8 points (passage de 50,4 à 66,2) pour la cellulose brute. Les augmentations de digestibilité ont cependant été très variables d'une paille à l'autre : de + 8,0 à + 16,0 points pour la matière organique et de + 6,9 à + 22,9 points pour la cellulose brute.

Le traitement par voie semi-sèche a accru la digestibilité de la matière organique des pailles de + 9,6 points et celle de la cellulose brute de + 15,5 points lorsque celles-ci étaient distribuées à volonté. Les deux types de traitement (voie semi-humide ou semi-sèche) ont donc eu un effet tout à fait comparable. Cet effet semble d'autant plus important que la paille non traitée a une digestibilité plus faible (fig. 2).

La digestibilité des matières azotées a, par contre, diminué car la teneur en matières azotées non digestibles des pailles est passée en moyenne de 40,4 g avant traitement à 48,6 g/kg de MS après traitement (écarts de - 1 à + 21 g/kg de MS). Cela a été net surtout après le traitement semi-sec, peut-être à cause de l'échauffement (non mesuré) de la paille pendant et surtout en tas après le traitement et aussi à cause de l'augmentation des quantités ingérées.

Lorsque les pailles traitées ont été distribuées en quantités limitées (essai V et VII) proches des quantités ingérées de paille non traitée, leur digestibilité s'est accrue : + 22,2 contre + 12,9 pour la matière organique et + 26,1 contre + 19,5 pour la cellulose brute. A l'inverse pour la digestibilité des matières azotées l'écart a diminué : les différences de teneurs en matières azotées non digestibles sont en effet passées de 17,5 à 4,5 g/kg de MS.



TABLEAU 3

*Digestibilités et quantités ingérées des pailles étudiées (Ration totale).  
Digestibility and intake of straws (Total ration).*

Essai <i>Trial</i>	Paille <i>Straw</i>	Traitement <i>Treatment</i>	Digestibilité % - Digestibility %			Quantités de MS ingérées (g/kg P <sub>0,75</sub> ) <i>DM intake</i> (g/kg W <sup>0,75</sup> )	Pourcentage de concentré <i>Proportion</i> of concentrate %
			Matière organique <i>Organic matter</i>	Matières azotées totales <i>Crude protein</i>	Cellulose brute <i>Crude fibre</i>		
I .....	A	A	61,5	59,5	63,9	49,1	24,4
		AS	66,7	55,3	70,5	59,3	21,6
		ASN	67,2	52,2	71,5	62,0	21,0
		ASE	65,6	51,1	68,7	63,9	21,8
		ASNE	64,3	49,5	65,9	68,9	21,0
II .....	B	B	55,5	75,3	43,5	23,3	25,8
		BSE	60,9	56,3	64,8	42,2	22,0
III .....	C	C	54,5	60,5	52,4	45,5	28,6
		CS	59,8	47,0	65,9	62,2	19,9
IV .....	D	D	52,9	63,0	57,1	38,9	16,7
		DS	62,5	66,3	70,2	61,1	16,5
V .....	E	E	58,2	65,0	39,5	49,1	46,2
		ES	67,7	60,8	61,3	67,7	47,7
		ES limité <i>Restricted</i>	72,9	66,8	68,2	47,1	46,9
VI .....	F	F	51,7	56,3	52,3	66,2	20,0
		FS	58,6	41,3	66,9	74,2	18,0
VII .....	G	G	57,8	56,7	46,7	53,7	33,5
		GS	66,1	49,7	61,2	66,6	36,3
		ES limité <i>Restricted</i>	69,7	54,8	67,2	48,1	34,0

TABLEAU 4  
*Digestibilité et quantités ingérées des pailles évaluées (valeurs déduites pour les pailles seules).*  
*Digestibility and intake of straws (calculated values for straws only).*

Essai <i>Trial</i>	Paille <i>Straw</i>	Traitement <i>Treatment</i>	Digestibilité % - Digestibility %			Quantités de MS ingérées g/kg P <sub>0,75</sub> DM intake (g/kg W <sup>0,75</sup> )
			Matière organique <i>Organic matter</i>	Matières azotées totales <i>Crude protein</i>	Cellulose brute <i>Crude fibre</i>	
I .....	A	A	51,0	3,1	63,6	37,1 <sup>a</sup>
		AS	59,4	6,8	70,5	46,5 <sup>b</sup>
		ASN	60,3	—	71,5	49,0 <sup>b</sup>
		ASE	58,0	20,4 *	68,6	50,0 <sup>b</sup>
		ASNE	56,6	23,1 *	65,8	54,4 <sup>b</sup>
II .....	B	B	43,3	2,2	41,7	17,3 <sup>a</sup>
		BSE	51,3	— 2,1 *	64,6	32,9 <sup>b</sup>
III .....	C	C	40,8	— 58,0	51,8	32,5 <sup>a</sup>
		CS	51,9	— 59,5	65,9	49,8 <sup>b</sup>
IV .....	D	D	46,3	4,5	56,9	32,4 <sup>a</sup>
		DS	57,1	— 29,3	70,2	51,0 <sup>b</sup>
V .....	E	E	30,0	— 36,5	38,1	26,4 <sup>a</sup>
		ES	46,0	— 101,2	60,9	35,4 <sup>b</sup>
		ES limité <i>Restricted</i>	57,4	— 54,7	68,2	25,0
VI .....	F	F	42,4	1,6	52,0	52,9 <sup>a</sup>
		FS	51,5	— 47,6	66,8	60,8 <sup>b</sup>
VII .....	G	G	40,8	24,3	44,8	35,7 <sup>a</sup>
		GS	51,0	1,3	61,0	42,4 <sup>b</sup>
		GS limité <i>Restricted</i>	57,8	— 16,7	66,9	31,7

\* Digestibilité paille + lactosérum - Digestibility of straw with whey.

Pour les quantités de paille ingérées les valeurs suivies d'une même lettre ne sont pas significativement différentes dans un même essai - For straw intake values followed by the same letter are not significantly different ( $p < 0.05$ ) in the same trial.

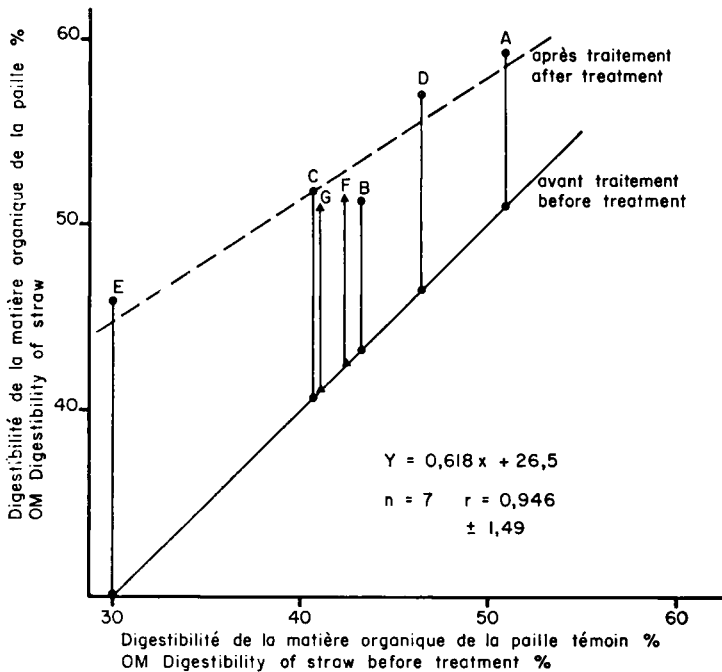


FIG. 2

*Relation entre la digestibilité de la paille traitée et celle de la paille non traitée.  
Relationship between digestibility of treated and untreated straw.*

La neutralisation de la paille traitée (essai I) n'a pas eu d'effet notable sur les digestibilités de la matière organique et des matières azotées de la paille traitée.

La conservation par ensilage (essai I) semble avoir diminué légèrement la digestibilité de la matière organique (— 2,6 points) de la paille traitée.

Enfin, le niveau d'apport de concentré a aussi une influence. Nous y reviendrons dans une publication ultérieure.

### Ingestibilité

Dans l'essai I l'ingestibilité de la paille d'orge n'a pas varié significativement selon le type de glucide apporté en complément. Nous avons donc pu, comme pour la digestibilité, étudier l'influence des différents traitements, indépendamment du type d'apport de glucides.

L'ingestibilité des pailles non traitées a été très variable, de 17,3 à 52,9 g de MS/kg P<sup>0.75</sup> (en moyenne 33,5 g). Les deux pailles extrêmes étaient normales, mais la première a été ingérée par des moutons insuffisamment adaptés à leur régime,

malgré 3 semaines de préexpérience. La seconde a été ingérée par des moutons recevant des pailles traitées ou non depuis 6 mois.

Le traitement à la soude par voie semi-humide a entraîné une augmentation importante et significative de la quantité de paille ingérée. En moyenne elle est passée de 29,1 à 43,8 g de MS/kg P<sup>0,75</sup> soit une augmentation de 51 p. 100 (de 34 à 90 p. 100 suivant les essais).

Le traitement par voie semi-sèche a augmenté aussi les quantités de paille ingérées de façon significative de + 17 p. 100. Si on regroupe les 7 comparaisons on constate que l'augmentation relative de quantités de paille ingérées après traitement semble diminuer lorsque celles de la paille non traitées augmentent (fig. 3).

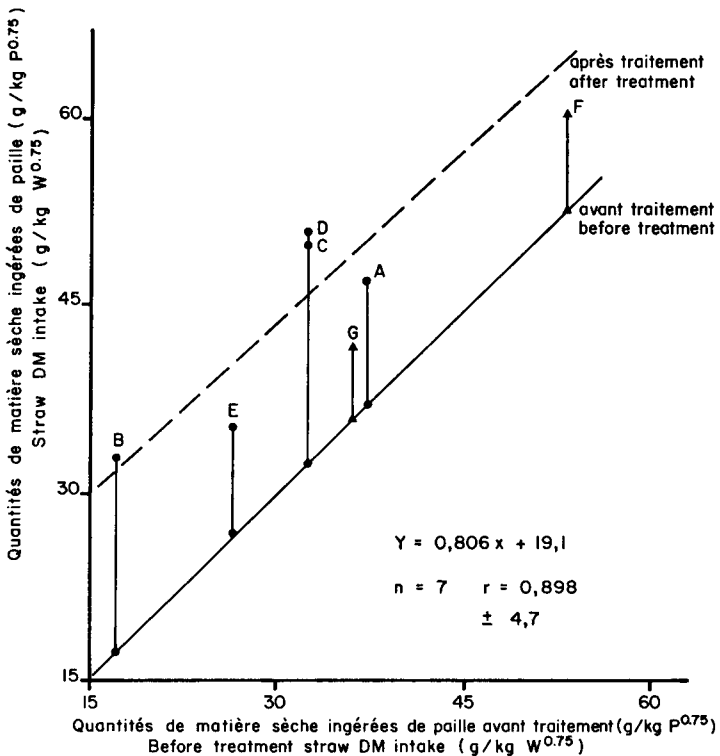


FIG. 3

*Relation entre les quantités de paille ingérées après traitement et celles ingérées avant.*  
*Relationship between intake of treated and untreated straw.*

La neutralisation des pailles traitées (essai I) n'a augmenté que légèrement et de façon non significative la quantité ingérée. Enfin, la conservation par ensilage n'a pas modifié significativement la quantité ingérée.

*Quantités de matière organique digestible ingérées (MODI)*

Le traitement à la soude a permis une augmentation importante des quantités de MOD ingérées sous forme de paille : + 64 p. 100 en moyenne, soit 8,4 g de MOD/kg P<sup>0.75</sup> (passage de 13,2 à 21,6 g ; fig. 4).

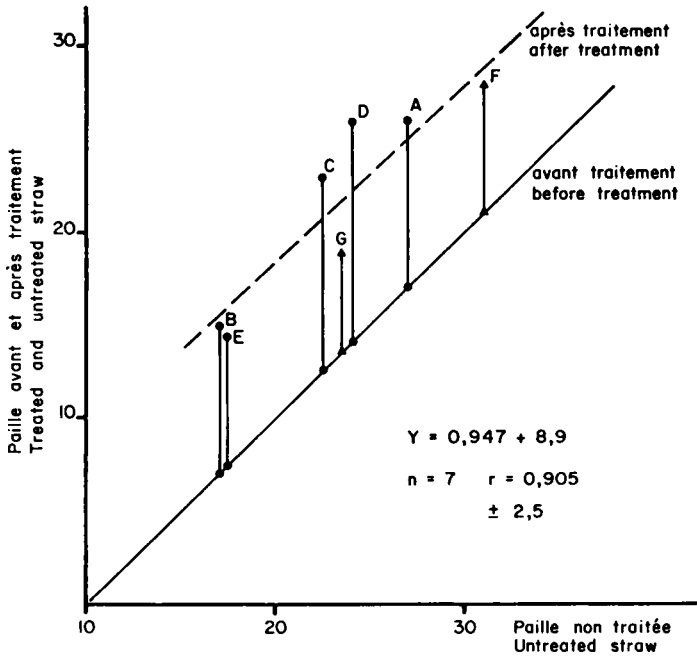


FIG. 4

*Relation entre la quantité de matière organique digestible ingérée de la paille traitée et celle de la paille non traitée.*  
*Relation between D.O.M. intake of treated and untreated straw.*

La présence d'une quantité de concentré importante dans l'essai V a limité l'effet du traitement (+ 6,6 g seulement contre 9,1 g dans les autres essais). Par contre, les résultats que nous possédons ne permettent pas de différencier l'effet du traitement selon la valeur alimentaire de la paille non traitée.

*Comportement alimentaire et mérycique des moutons (tabl. 5)*

Le traitement à la soude n'a pas modifié significativement les durées journalières d'ingestion et de rumination des pailles (respectivement 202 et 218 mn pour les durées d'ingestion des pailles non traitées et traitées, 493 et 474 mn pour les durées de rumination). Par contre, les durées unitaires d'ingestion et de rumination ont été significativement diminuées pour les pailles traitées distribuées à volonté par suite de l'augmentation des quantités de paille ingérées (passage de 6,30 à 4,97 mn/g/kg P<sup>0.75</sup> pour les durées unitaires d'ingestion et de 10,90 à 7,62 mn/g/kg P<sup>0.75</sup> pour les durées unitaires de mastication).

TABLEAU 5  
Comportement alimentaire et mérycique des animaux recevant les pailles A, D et E.  
Feeding and ruminating activities of animals given A, D and E straws.

	Essai I - Trial I			Essai IV - Trial IV			Essai V - Trial V		
	A	AS + ASN		ASF	ASNE	D	DS	E	ES
		2							
Quantités de MS ingérées (g/kg P <sup>0.75</sup> )									
DM intake (g/kg W <sup>0.75</sup> )									
— Paille - Straw	37,1 <sup>a</sup>	46,1 <sup>b</sup>	48,7 <sup>b</sup>	55,0 <sup>b</sup>	32,4 <sup>a</sup>	51,0 <sup>b</sup>	26,5 <sup>a</sup>	37,6 <sup>b</sup>	
— Total - Total	49,1 <sup>a</sup>	59,1 <sup>b</sup>	63,5 <sup>b</sup>	70,7 <sup>b</sup>	38,9 <sup>a</sup>	61,1 <sup>b</sup>	49,4 <sup>a</sup>	67,7 <sup>b</sup>	
Durée journalière d'ingestion (mn/jour)									
Daily time spent eating (mn/day)									
— Paille - Straw	238 <sup>a</sup>	231 <sup>a</sup>	267 <sup>a</sup>	220 <sup>a</sup>	211 <sup>a</sup>	238 <sup>a</sup>	158 <sup>a</sup>	186 <sup>a</sup>	
— Total - Total	263 <sup>a</sup>	256 <sup>a</sup>	292 <sup>a</sup>	245 <sup>a</sup>	234 <sup>a</sup>	263 <sup>a</sup>	196 <sup>a</sup>	235 <sup>a</sup>	
Durée unitaire d'ingestion (mn/g/kg P <sup>0.75</sup> )									
Unitary eating time (mn/g/kg W <sup>0.75</sup> )									
— Paille - Straw	6,42 <sup>a</sup>	5,01 <sup>b</sup>	5,48 <sup>b</sup>	4,00 <sup>c</sup>	6,51 <sup>a</sup>	4,67 <sup>b</sup>	5,96 <sup>a</sup>	5,22 <sup>b</sup>	
— Total - Total	5,36 <sup>a</sup>	4,33 <sup>b</sup>	4,60 <sup>b</sup>	3,47 <sup>c</sup>	6,02 <sup>a</sup>	4,30 <sup>b</sup>	3,97 <sup>a</sup>	3,47 <sup>b</sup>	
Durée journalière de rumination (mn/jour)									
Daily time spent ruminating (mn/day)									
— Paille - Straw	513 <sup>a</sup>	476 <sup>a</sup>	552 <sup>b</sup>	578 <sup>b</sup>	500 <sup>a</sup>	533 <sup>a</sup>	465 <sup>a</sup>	413 <sup>b</sup>	
— Total - Total	10,45 <sup>a</sup>	8,05 <sup>b</sup>	8,69 <sup>b</sup>	8,18 <sup>b</sup>	12,85 <sup>a</sup>	8,72 <sup>b</sup>	9,41 <sup>a</sup>	6,10 <sup>b</sup>	
Durée unitaire de rumination (mn/g/kg P <sup>0.75</sup> )									
Unitary ruminating time (mn/g/kg W <sup>0.75</sup> )									
— Paille - Straw	776 <sup>a</sup>	732 <sup>a</sup>	844 <sup>b</sup>	823 <sup>b</sup>	734 <sup>a</sup>	796 <sup>a</sup>	661 <sup>a</sup>	647 <sup>a</sup>	
— Total - Total	15,81 <sup>a</sup>	12,38 <sup>b</sup>	13,29 <sup>b</sup>	11,65 <sup>c</sup>	18,87 <sup>a</sup>	13,02 <sup>b</sup>	13,38 <sup>a</sup>	9,56 <sup>b</sup>	

Pour un même critère les valeurs suivies d'une même lettre ne sont pas significativement différentes dans un même essai - For the same criterion values followed by the same letter are not significantly different in the same trial.

La neutralisation n'a pas modifié le comportement des animaux avec la paille traitée non ensilée ; c'est pourquoi d'ailleurs nous n'avons donné que les résultats moyens. Par contre, avec la paille ensilée, la durée unitaire d'ingestion a diminué de façon significative.

La mise en silo n'a pas modifié significativement les durées d'ingestion mais elle a augmenté la durée de rumination, vraisemblablement par suite d'une légère augmentation des quantités ingérées.

### Discussion

Les études sur le traitement des pailles à la soude sont très nombreuses et nous ne discuterons, à partir de notre travail, que quelques conséquences de ce traitement.

Nos essais confirment bien que le traitement des pailles à la soude (40 à 50 g de soude pure par kg de paille), par voie semi-humide ou par voie semi-sèche est relativement efficace pour améliorer la digestibilité de la matière organique des pailles chez le mouton : + 10 à + 11 points. Les résultats cités dans la bibliographie sont en moyenne de + 12 à + 14 points d'après DEMARQUILLY & PETIT (1976) pour des traitements par voie semi-humide et par voie sèche. JACKSON (1977) dans sa revue bibliographique cite des valeurs plus élevées. Cela doit être dû pour partie à l'emploi d'une dose un peu plus élevée de soude que dans nos essais et au fait que les traitements par trempage (procédé BECKMANN) ou par un procédé industriel faisant intervenir des pressions et des températures importantes sont légèrement plus efficaces que ceux étudiés ici. Cela est dû aussi au fait que les mesures de digestibilité ont souvent été faites avec des aliments distribués en quantités limitées, au Danemark notamment (KRISTENSEN *et al.*, 1978).

Nos essais montrent aussi que la variabilité des résultats en ce qui concerne l'effet du traitement à la soude sur la digestibilité des pailles dépend non seulement des conditions du traitement et de la quantité de soude utilisée, ce qui a déjà été bien étudié par ailleurs, mais aussi de facteurs tels que la digestibilité de la paille utilisée, la proportion de concentré dans la ration et la limitation ou non des quantités de paille traitée distribuées.

L'influence de la digestibilité de la paille utilisée est très probable comme le montre la figure 2, dont il ressort que l'effet de la soude diminue lorsque la digestibilité de la paille non traitée augmente, c'est-à-dire vraisemblablement lorsque la lignification ou l'intensité des liaisons lignine-hemicelluloses diminuent. Par ailleurs, l'écart de digestibilité entre paille non traitée et paille traitée diminue lorsque la proportion de concentré dans la ration augmente. Les essais présentés ne le démontrent pas clairement, mais nous reviendrons en détail sur ce phénomène dans une autre publication (DULPHY *et al.*, 1982).

En outre, la digestibilité de la paille traitée est très variable selon la quantité qui est distribuée aux moutons. Ainsi, le fait de limiter cette quantité pour la ramener au niveau de celle de la paille non traitée accroît de façon considérable l'écart de digestibilité dû au traitement. Deux de nos essais le montrent très clairement. Il est vraisemblable que le traitement à la soude augmente bien la vitesse de digestion de

la paille, mais de façon insuffisante. L'augmentation de la vitesse de transit due à l'augmentation de la quantité ingérée quand la paille traitée est offerte à volonté ne permettrait pas alors la digestion dans le rumen de tous les constituants pariétaux potentiellement digestibles, contrairement à ce qui est obtenu *in vitro* (REXEN, STIGSEN & KRISTENSEN, 1975) ou *in vivo* quand la paille est distribuée en quantité limitée (OLOLADE & MOWAT, 1975).

Le traitement à la soude augmente aussi notablement la quantité de paille pouvant être ingérée par les moutons. Mais il apparaît, là aussi, que cette augmentation est très variable. Les facteurs en cause sont les mêmes que ceux notés pour expliquer les augmentations variables de la digestibilité, en particulier ingestibilité de la paille de départ et proportion de concentré dans la ration.

Ainsi, lorsque l'ingestibilité de la paille non traitée augmente, l'écart dû au traitement diminue légèrement en valeur absolue, mais nettement en valeur relative. L'augmentation de la proportion de concentré diminue par ailleurs les écarts de quantités ingérées dus au traitement. Nous le montrerons plus clairement ultérieurement (DULPHY *et al.*, 1982).

Enfin la neutralisation des pailles traitées, ensilées ou non, n'a qu'une légère action positive, non significative, sur l'ingestibilité de ces pailles. Cela correspond bien aux résultats de BOLDUAN & PIATOWSKI (1972), HOLZER, LEVY & FOLMAN (1978) et de LEVY, HOLZER & FOLMAN (1980). De plus, l'ensilage des pailles traitées par voie semi-humide est relativement facile, comme l'ont déjà constaté PIATOWSKI *et al.* (1972) et WILKINSON & GONZALES SANTILLANA (1975). Cependant, il est nécessaire, pour réussir, de bien mélanger la paille et la solution de soude, de tasser correctement et de réaliser une bonne anaérobiose, ce qui n'a pu être fait lorsque nous avons utilisé un grand silo. L'ensilage ne modifie en outre pratiquement pas l'ingestibilité de la paille traitée, ce qui est, d'ailleurs, comparable à ce qui se passe pour les fourrages verts peu ingestibles (DULPHY & MICHALET-DOREAU, 1979).

Il reste pour nous à préciser plusieurs points. Tout d'abord les pailles traitées peuvent-elles être distribuées à volonté pendant de longues périodes aux animaux sans entraîner à terme de problèmes sanitaires ? Nous n'avons pas eu de problèmes avec les moutons dans nos essais, ni avec des génisses (DULPHY & GOMEZ CABRERA, 1977) du moins sur des périodes de 3 mois. Il devrait en être de même pour des périodes plus longues, et cela malgré les grosses quantités de sodium à éliminer et les perturbations possibles du métabolisme minéral des animaux qui doivent en découler.

Ensuite quelles sont les conséquences des variations de digestibilité que nous avons discutées sur la valeur énergétique nette des pailles ? En effet, l'intérêt du traitement des pailles à la soude ne peut pas se juger uniquement à travers l'augmentation de la quantité de matière organique digestible ingérée par le mouton. Il nous reste à savoir si le traitement à la soude, suivant le niveau d'alimentation et la proportion de concentré dans la ration atténue ou amplifie les pertes de méthane et de chaleur ainsi que les pertes énergétiques dans l'urine. Nous sommes en train de le vérifier en utilisant des moutons placés en chambre respiratoire (VERMOREL *et al.*, 1982).

Enfin, l'effet du traitement à la soude est-il le même chez les bovins que chez les ovins ? On sait en effet que les bovins digèrent mieux les fourrages pauvres que les



moutons (BLAXTER, WAINMAN & DAVIDSON, 1966 ; PLAYNE, 1978 ; SIEBERT & KENNEDY, 1972) et qu'ils présentent, en général, pour des fourrages d'ingestibilité différente, des écarts relatifs de quantités ingérées plus faibles que ceux des ovins (JARRIGE, 1979). Cela doit expliquer en partie pourquoi les performances qui ont été enregistrées sur bovins recevant des pailles traitées ou non à la soude sont peu différentes (DULPHY & PETIT, 1979).

En fin de compte, entre les mesures effectuées *in vitro* par REXEN, STIGSEN & KRISTENSEN (1976) et les performances des animaux, il existerait toute une série de mécanismes tendant à minimiser l'effet du traitement à la soude, au niveau digestif et métabolique. L'analyse de ces mécanismes est souhaitable pour améliorer l'effet du traitement à la soude. Les essais que nous avons présentés ne constituent donc qu'une étape que nous essayerons de compléter ultérieurement.

*Accepté pour publication en mai 1982.*

### Summary

*Study of the feeding value of sodium hydroxide treated or untreated cereal straws.*

#### *I - Influence of the sodium-hydroxide treatment*

With the aim of determining more accurately the effect of sodium-hydroxide treatment on the feeding value of cereal-straws, we carried out seven trials in sheep. In the first five trials, the straws were compared before and after treatment with 50 g of sodium hydroxide and 2.5 l of water per kg straw. In the last two trials, the treatment was made by a Danish machine which blended the straw with a concentrate solution of sodium hydroxide. In the first trial, before and after treatment, the straw was given with maize of whey (Figure 1). At the same time, a silage of treated straw was prepared (straw ASE and ASNE) and the effects of neutralizing treated straw were studied.

The chemical composition of all the straws studied is given in Table 1, and the characteristics of the treated straw silages in Table 2. All the straws were given with a feed concentrate.

The sodium-hydroxide treatment increased the straw digestibility, when given *ad libitum*, 10.5 points for organic matter and 15.7 for crude fibre (see Tables 3 and 4). The two methods gave similar results. At the same time, sodium hydroxide increased intake (+ 51 p. 100 with the first method ; + 17 p. 100 with the second one). When two of the straws were restricted in the same proportion as the untreated straws, their digestibility increased again by 9.3 and 6.6 points for organic matter and crude fibre, respectively (Table 4).

The effect of sodium hydroxide was more pronounced for straws with the lowest digestibility (Figure 2) or the lowest intake (Figure 3). The absolute increase in digestible organic matter, due to the treatment, was almost the same for all straws (Figure 4).

Treatment did not modify the daily eating and ruminating times (Table 5), but clearly reduced the unitary chewing time (expressed in min/g/kg  $W^{0.75}$ ). In the first trial, silage and neutralization did not modify the feeding value of treated straw.

It should be emphasized that the effect of the treatment increased when the feeding value of the used straw decreased. Furthermore, treatment had a larger effect treated straw feeding was restricted.

### Références bibliographiques

- BECKMANN E., 1921. Conversion of grain straw and lupins into feeds of high nutrient value. *Festschr. Kariser Wilhelm Ges. Forderung Wiss. zehnjährigen Jubiläum*, 18-26.
- BIENAIME A., 1979. *Facteurs de variation de la digestibilité des pailles de céréales*. Thèse de 3<sup>e</sup> cycle. Université de Montpellier, 118 p.
- BLAXTER K.L., WAINMAN F.W., DAVIDSON J.L., 1966. The voluntary intake of food by sheep and cattle in relation to their energy requirements for maintenance. *Anim. Prod.*, **8**, 1, 75-83.
- BOLDUAN G., PIATOWSKI B., 1972. Untersuchungen Zum Aufschluz von Getreidestroh. 1. Mitteilung : Behandlung mit Natronlauge und die Auschiessende Neutralisierung. *Arch. Tierernähr.*, **22**, 485-492.
- DEMARQUILLY C., PETIT M., 1976. Utilisation des pailles et autres sous-produits de grandes cultures dans les systèmes de production animale intensifs. Comparaison avec les systèmes classiques. *Consultation technique de la F.A.O. sur les nouvelles sources d'alimentation du bétail*. Rome, novembre.
- DULPHY J.P., ANDRIEU J.P., 1980. Valeur alimentaire de pailles traitées à la soude pour des génisses de 2 ans. *Bull. tech. C.R.Z.V. de Theix, I.N.R.A.*, **39**, 11-14.
- DULPHY J.P., BRETON J., LOUYOT J.M., BIENAIME A., 1982. Etude de la valeur alimentaire des pailles de céréales traitées ou non à la soude. III. - Influence du niveau d'apport d'aliment concentré (à paraître).
- DULPHY J.P., DEMARQUILLY C., 1981. Problèmes particuliers aux ensilages. *Journées du XI<sup>e</sup> Grenier de Theix*, 21-23 mars 1979, 81-104.
- DULPHY J.P., DEMARQUILLY C., HENRY M., 1975. Perte de composés volatils lors de la détermination à l'étuve de la teneur en matière sèche des ensilages. *Ann. Zootech.*, **24**, 743-756.
- DULPHY J.P., GOMEZ CABRERA A., 1977. Utilisation des pailles traitées à la soude par les bovins. *Bull. tech. C.R.Z.V. Theix, I.N.R.A.*, **30**, 23-24.
- DULPHY J.P., MICHALET-DOREAU B., 1979. Prévion de l'ingestibilité des ensilages d'herbe. *Journées du XI<sup>e</sup> Grenier de Theix*, 21-23 mars, 169-189.
- DULPHY J.P., PETIT M., 1979. Utilisation des pailles de céréales par les ruminants. *Bull. tech. Inf.*, n° 341-342, 337-349.
- HODEN A., 1972. *Aspects digestifs et métaboliques de l'utilisation de l'azote non protéique par les ruminants recevant des fourrages pauvres*. Rapport bibliographique, D.E.A. de Nutrition.
- HODEN A., JOURNET M., 1977. Efficacité d'utilisation de différents compléments azotés non protéiques offertes en libre-service en complément de ration à base de paille. *Bull. tech. C.R.Z.V. de Theix, I.N.R.A.*, **27**, 23-29.
- HOLZER Z., LEVY D., FOLMAN Y., 1978. Chemical processing of wheat straw and cotton by-products for fattening cattle. 2. Performance of animals receiving material after drying and pelleting. *Anim. Prod.*, **27**, 147-159.
- I.N.R.A., 1978. *Alimentation des Ruminants*. Ed. I.N.R.A. Publication (Route de Saint-Cyr, 78000 Versailles), 597 p.
- JACKSON M.G., 1977. Review article : the alkali treatment of straws. *Anim. Feed Sci. Technol.*, **2**, 105-130.
- JARRIGE R., 1979. Le système des unités d'encombrement pour les bovins. *Bull. tech. C.R.Z.V. Theix, I.N.R.A.*, **38**, 57-79.
- KLOPFENSTEIN T., 1978. Chemical treatment of crop residues. *J. anim. Sci.*, **46**, 841-848.
- KRISTENSEN V.F., ANDERSEN P.E., STIGSEN P., THOMSEN K.V., ANDERSEN H.R., SØRENSEN M., ALI C.S., MASON V.C., REXEN F., ISRAELSEN M. and WOLSTRUP J., 1978. Sodium hydroxyde-treated straw as feed for cattle and sheep. In : *Beretning fra statens Husdyrbrugs forsøg*, n° 464, 218 p

- LEVY D., HOLZER Z., FOLMAN Y., 1980. Chemical processing of wheat straw and cotton by-products for fattening cattle. 3. Performance of animals receiving material in complete feeds. *Anim. Prod.*, **31**, 27-33.
- LOLADE B.G., MOWAT D.N., 1975. Influence of whole-plant barley reconstituted with sodium hydroxide on digestibility, rumen fluid and plasma metabolism of sheep. *J. anim. Sci.*, **40**, 351-357.
- PIATKOWSKI B., BOLDUAN G., FUDEL A., BAHRO K.J., PRÜFER S., BERNDT G., THOMAS S., SIEBENHAAR K., 1972. Ergebnisse zum neuen Feuchtanfschluss Verfahren von Getreidestroh mit Natronlauge. *Tierzücht*, **26**, 281-287.
- PIGDEN W.J., HEANEY D.R., 1969. Lignocellulose in ruminant nutrition. In : *Cellulases and their applications*. Advances in Chemistry, Series n° 95, 245-260.
- PLAYNE M.J., 1978. Differences between cattle and sheep in their digestion and relative intake of a mature tropical grass hay. *Anim. Feed Sci. Technol.*, **3**, 41-49.
- REXEN F., STIGSEN P., KRISTENSEN V., 1976. The effect of a new alkali technique on the nutritive value of straws. In : *Feed Energy Sources for Livestock* (ed. H. SWAN and D. LEWIS), 65-82, Butterworth, London.
- REXEN F., THOMSEN K.V., 1976. The effect on digestibility of a new technique for alkali treatment of straw. *Anim. Feed Sci. Technol.*, **1**, 73-83.
- RUCKEBUSCH Y., 1963. *Recherches sur la régulation centrale du comportement alimentaire chez les ruminants*. Thèse Doc. Sci., Université de Lyon.
- SIEBERT B.D., KENNEDY P.M., 1972. The utilization of spear grass (*Heteropogon contortus*). I. - Factors limiting intake and utilization by cattle and sheep. *Aust. J. agric. Res.*, **23**, 35-44.
- VERMOREL M., DULPHY J.P., GRENET E. et BIENAIME A., 1982. Etude de la valeur énergétique d'une paille traitée ou non à la soude : Influence du niveau et de la nature du concentré (en préparation).
- WILKINSON J.M., GONZALES SANTILLANA R., 1975. Ensiling of crop and animal by-products. *Grassl. Res. Inst. ann. Rep.*, 45-56.
- WILSON R.K., PIGDEN W.J., 1964. The effect of a sodium hydroxide treatment on the utilization of wheat straw and poplar wood by rumen micro-organisms. *Canad. J. anim. Sci.*, **44**, 122-123.
- XANDE A., 1978 a. Valeur alimentaire des pailles de céréales chez le mouton : Influence de la complémentation azotée et énergétique sur l'ingestion et l'utilisation digestive d'une paille d'orge. *Ann. Zootech.*, **27**, 583-599.
- XANDE A., 1978 b. Valeur alimentaire des pailles de céréales chez le mouton : Influence de l'espèce, de la variété et du séjour sur le sol avant ramassage sur la valeur alimentaire des pailles de céréales. *Ann. Zootech.*, **27**, 601-616.