

**UNIVERSITÉ DE OUAGADOUGOU**  
**INSTITUT SUPÉRIEUR POLYTECHNIQUE**

# **MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDES**

Présenté en vue de l'Obtention  
du Diplôme d'Ingénieur du Développement Rural  
Option: Élevage

**EFFETS DES TRAÎTEMENTS CHIMIQUES  
SUR LA DIGESTIBILITÉ *IN VITRO* DE LA  
MATIÈRE SECHE ET DE LA MATIÈRE  
ORGANIQUE DES RESIDUS DE RECOLTE**

ALABAMA AGRICULTURAL AND MECHANICAL UNIVERSITY  
Normal, Alabama (U.S.A.)

**Décembre 1981**

**Diarra Boureima**

## REMERCIEMENTS

Avant de passer a l'exposé de cette étude, je voudrais qu'il me soit permis de remercier:

- Mon professeur principal, Dr. A. Félix qui a bien voulu m'aider dans la conception, l'organisation et la rédaction de ce travail.

- Les étudiants Ray Hill, Patrick Ikem et Wanda Winchester qui m'ont offert leur coopération dans la conduite des expériences.

- Les membres de mon comité de conseil, Dr. Rao, Dr. Chawan et Dr. Shuford qui m'ont apporté un soutien matériel, moral ou technique tout au long de cette étude.

## TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION. . . . .	.1
OBJECTIF . . . . .	.5
REVUE BIBLIOGRAPHIQUE . . . . .	.6
Paille de Soja . . . . .	.6
Paille de ble. . . . .	.9
Coques d'arachide. . . . .	10
TRAITEMENT CHIMIQUE DES RESIDUS DE RECOLTE. . . . .	12
A. Traitement a l'indroxyde de sodium. . . . .	13
B. Ammonification des residus de recolte. . . . .	16
C. Traitement a l'hydroxyde de calcium . . . . .	19
D. Niveaux des traitements . . . . .	22
E. Mode d'action des traitements chimiques alcalins. . . . .	24
F. Importance économique du traitement chimique . . . . .	26
MATERIEL ET METHODE. . . . .	29
Prélèvement du jus ruminal . . . . .	30
Digestion <i>in vitro</i> . . . . .	31
RESULTATS . . . . .	33
A. Effets de l'hydroxyde de sodium . . . . .	33
B. Effets de l'ammoniaque. . . . .	38
1. Paille de ble. . . . .	38
2. Paille de soja . . . . .	40
3. Coques d'arachide. . . . .	40
C. Effet de l'hydroxyde de calcium . . . . .	41
1. Paille de ble. . . . .	41
2. Paille de soja . . . . .	43
3. Coques d'arachide. . . . .	43
DISCUSSION. . . . .	45
CONCLUSION. . . . .	65
BIBLIOGRAPHIE CITEE . . . . .	67

## LISTE DES TABLEAUX

### TABLEAU

1. Production mondiale de cereales d'arachide et de soja. . . . .	.2
2. Production mondiale de residus de recolte potentiellement utilisable comme aliment pour betail . . . . .	.7
3. Composition chimique de la pailles de ble de residu de soja et des coques d'arachide. . . . .	11
4. Performance des veaux alimentes avec du rachis de maïs traite avec differents alcalis . . . . .	21
5. Comparaison entre la ration a base d'ensilage de maïs et la ration a base de paille de maïs traitee. . . . .	28
6. Digestibilité <i>in vitro</i> de la matiere seche des ensilages de paille de ble, de residu de soja et des coques d'arachide traites avec differents niveaux de NaOH, NH <sub>4</sub> OH et Ca(OH) <sub>2</sub> . . . . .	34

7.	Digestibilité <i>in vitro</i> de la matière organique des ensilages de paille de ble, du résidu de soja et des coques d'arachide.	.35
8.	Pourcentage d'amélioration de la digestibilité <i>in vitro</i> de la matière sèche des ensilages de paille de ble, du résidu de soja et des coques d'arachide traités avec différents niveaux de NaOH, NH <sub>4</sub> OH et Ca(OH) <sub>2</sub>	.46
9.	Pourcentage d'amélioration de la digestibilité <i>in vitro</i> de la matière organique des ensilages de paille de ble, de résidu de soja et des coques d'arachide traités avec différents niveaux de NaOH, NH <sub>4</sub> OH et Ca(OH) <sub>2</sub>	.47

#### LISTE DES FIGURES

##### FIGURE

1.	Production mondiale de céréales	3
2.	Effets de NaOH sur la digestibilité <i>in vitro</i> des résidus de récolte traités.	.36
3.	Effets de NH <sub>4</sub> OH sur la digestibilité <i>in vitro</i> des résidus de récolte traités	.39
4.	Effets de Ca(OH) <sub>2</sub> sur la digestibilité <i>in vitro</i> des résidus de récolte traités	.42
5.	Pourcentages d'amélioration de la digestibilité <i>in vitro</i> de la matière sèche des ensilages de paille de ble, de résidu de soja et des coques d'arachide traités avec NaOH.	.49
6.	Pourcentages d'amélioration de la digestibilité <i>in vitro</i> de la matière organique des ensilages de paille de ble, du résidu de soja et des coques d'arachide traités avec NaOH	.50
7.	Pourcentages d'amélioration de la digestibilité <i>in vitro</i> de la matière sèche des paille de ble du résidu de soja et des coques d'arachide traités avec NH <sub>4</sub> OH.	.52
8.	Pourcentages d'amélioration de la digestibilité <i>in vitro</i> de la matière organique des ensilages de paille de ble, de résidu de soja et des coques d'arachide traités avec NH OH.	.53
9.	Pourcentage d'amélioration de Ca digestibilité <i>in vitro</i> de la matière sèche des ensilage de paille de ble, de résidu de soja et des coques d'arachide traités avec Ca(OH) <sub>2</sub> .	.56
10.	Pourcentages d'amélioration de la digestibilité <i>in vitro</i> de la matière organique des ensilages de paille de ble, de résidu de soja et des coques d'arachide traités avec Ca(OH) <sub>2</sub> .	.57

11.	Pourcentages d'amélioration de la digestibilité <i>in vitro</i> de la matière sèche de la paille de ble traitée avec NaOH, NH <sub>4</sub> OH et Ca(OH) <sub>2</sub> . . . . .	.59
12.	Pourcentages d'amélioration de la digestibilité <i>in vitro</i> de la matière organique de la paille de ble traitée avec NaOH, NH <sub>4</sub> OH et Ca(OH) <sub>2</sub> . . . . .	.60
13.	Pourcentages d'amélioration de la digestibilité <i>in vitro</i> de la matière sèche de résidu de soja traitée avec NaOH, NH <sub>4</sub> OH et Ca(OH) <sub>2</sub> . . . . .	.61
14.	Pourcentages d'amélioration de la digestibilité <i>in vitro</i> de la matière organique du résidu de soja traitée avec NaOH, NH <sub>4</sub> OH et Ca(OH) <sub>2</sub> . . . . .	.62
15.	Pourcentages d'amélioration de la digestibilité <i>in vitro</i> de la matière sèche des coques d'arachide traitées avec NaOH, NH <sub>4</sub> OH et Ca(OH) <sub>2</sub> . . . . .	.63
16.	Pourcentages d'amélioration de la digestibilité <i>in vitro</i> de la matière organique des coques d'arachide traitées avec NaOH, NH <sub>4</sub> OH et Ca(OH) <sub>2</sub> . . . . .	.64

## INTRODUCTON

En 1650 la population mondiale était de 545 millions soit un peu plus de 14% de ce qu'elle est aujourd'hui. Cette population estimée à 1,6 milliards au début du 20<sup>ème</sup> siècle est supposée atteindre 7 milliards à la fin de ce siècle. A ce rythme, les scientifiques en agriculture se sont demandés jusqu' à quel point et pendant combien de temps la terre pourrait continuer à produire des vivres alimentaires en quantité suffisante pour satisfaire les besoins nutritifs de cette population en croissance rapide. Déjà sur le plan mondial l'accroissement en production alimentaire est loin de proportionner la croissance démographique (Osborn, 1957). Ce déséquilibre provoque une constante augmentation dans la demande des produits agricoles pour la consommation humaine. Cette situation a conséquemment engendré une croissante compétition entre l'homme et le bétail pour certains produits tels que les céréales qui constituent pour une grande part la source énergétique de la ration du bétail. De cette compétition découle une augmentation continuelle du coût d'alimentation du bétail. Devant cette situation critique, il s'avère nécessaire de trouver pour alimenter le bétail d'autres sources d'énergie qui n'offriront pas de compétition entre l'homme et le bétail.

Il y a un intérêt croissant dans l'utilisation des résidus de récolte comme aliments pour bétail. Chaque année, des millions de tonnes de résidus de récolte tels que les pailles sont produites dans le monde entier (Tableau 1. et Figure 1.). Après la récolte des grains une part importante de la paille est laissée sur le champ. Ces résidus

TABLEAU 1

<sup>1</sup>PRODUCTION MONDIALE DE CEREALES, D'ARACHIDE ET DE SOJA

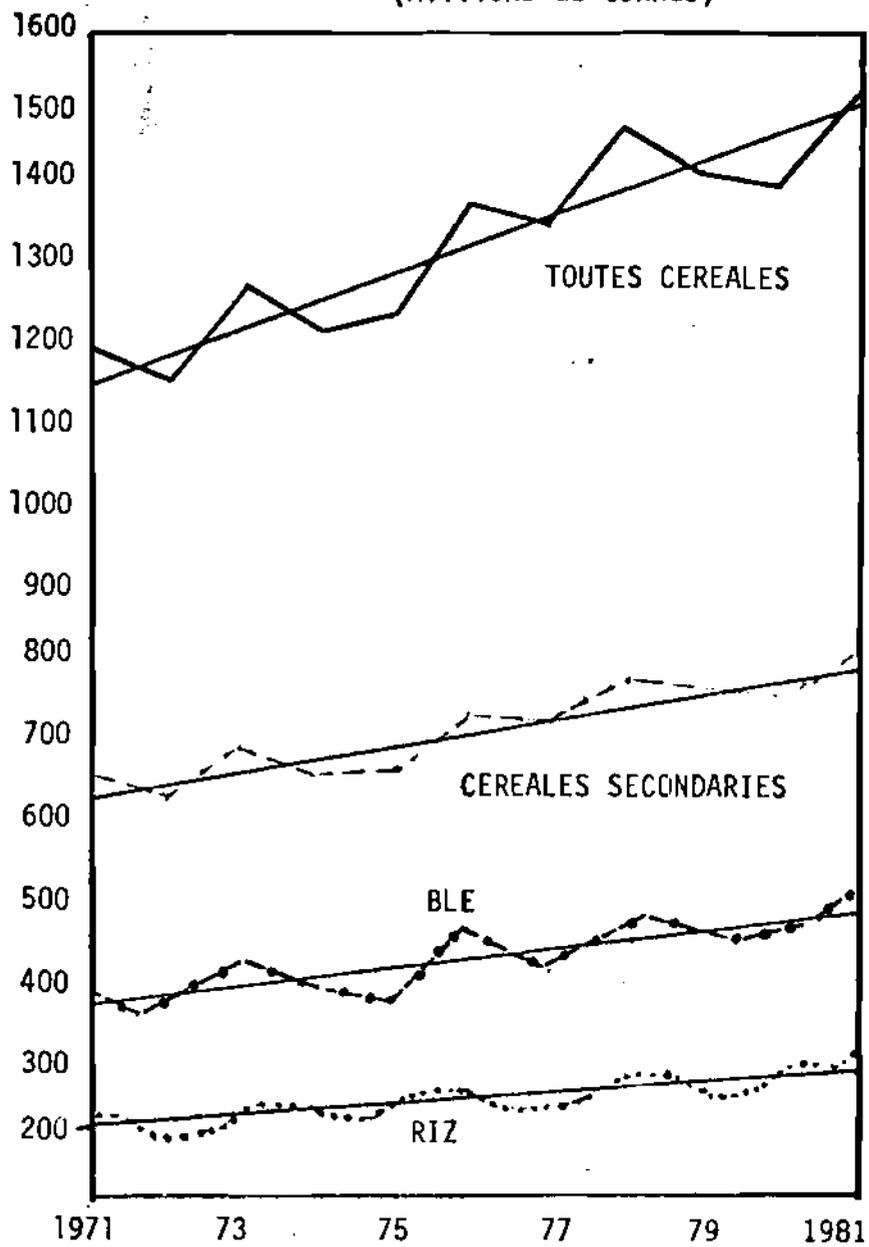
(millions de Tonnes.)

GRAINS	1977/1978	1978/1979	1979/1980	1980/1981	1981/1982
<u>Cereals</u>					
Riz	247	258	251	267	260-280
ble'	391	449	429	445	455-460
cereales secondaries	717	763	751	723	765-795
Toutes cereales	1355	1470	1431	1435	1480-1535
<u>Soja</u>	-	-	96.6	85.00	91.3
<u>Arachide</u>	-	-	18.5	13.2	19.0

<sup>1</sup>FA.O

Food Outlook, 25, August 1981

Figure 1: PRODUCTION MONDIALE DE CEREALES  
(1971-80)  
(Millions de tonnes)



Source: FAO

Food Outlook No.8, 25 August 1981

sont généralement brûlés, enfouis comme fertilisant, employés comme litière ou utilisés sous quelques autres formes dans différentes industries. Il est cependant démontré que ces résidus peuvent avoir une grande importance dans le régime alimentaire des ruminants. Cependant, ces résidus contiennent des quantités relativement élevées de glucides lignifiés qui sont faiblement digestibles. Plusieurs méthodes telles que le broyage, le trempage et l'ensilage ont été suggérées comme moyens d'améliorer la digestibilité et l'utilisation du potentiel d'énergie de ces résidus. Le traitement chimique se trouve parmi les procédés qui tendent à réduire partiellement les complexes ligno-cellulosiques en des composés glucidiques plus accessibles à l'action microbienne. Au cours des récentes années, des recherches intensives dans ce domaine ont été conduites aux Etats-Unis et dans plusieurs autres pays du monde dans le but de trouver les méthodes les plus efficaces pour l'améliorer de l'utilisation du potentiel d'énergie de ces résidus. La plupart des études ont concerné le traitement chimique alcalin des fourrages de basse qualité. La soude, l'hydroxide de calcium et l'ammoniac se trouvent parmi les produits chimiques les plus utilisés dans ces études. Cependant le niveau optimum de ces composés chimiques qui aboutit à une meilleure utilisation de la valeur alimentaire de ces résidus agricoles n'est pas encore bien établi.

La présente étude fait partie d'un programme de recherche à long terme conçu dans ce laboratoire pour déterminer les effets des traitements chimiques sur la valeur nutritive et l'utilisation des résidus de récolte par les ruminants.

## OBJECTIF

L'objectif de cette étude était de comparer les effets de traitements avec différentes concentrations de NaOH, Ca(OH)<sub>2</sub> et NH<sub>4</sub>OH sur la digestibilité *in vitro* de la matière sèche et de la matière organique des pailles ensilées de blé (*Triticum aestivum* L. em Thell) de soja (*Glycine max* L.) et des coques d'arachide (*Arachis hypogaea* L.).

Ces résidus ont été choisis en fonction de leur disponibilité.

## REVUE BIBLIOGRAPHIQUE

Des quantités considérables de résidus de récolte sont produites annuellement à travers le monde. Ces résidus ont été longtemps considérés comme étant une source d'énergie dans l'alimentation des ruminants. L'utilisation maximum de ces résidus dans l'alimentation des ruminants peut être une méthode effective d'en disposer à des productions économiques du bétail. Le tableau 2 et la figure 1 montrent la production de grains et la production totale mondiale de résidus de récolte.

Les résidus de récolte, comme matériels végétaux, ont dans la plupart des cas les mêmes propriétés physiques et mécaniques que les plantes fourragères. La plupart de ces résidus ont besoin d'être traités physiquement, chimiquement ou microbiologiquement pour améliorer leur appétance et leur digestibilité.

Les pailles de soja, de blé et les coques d'arachide se trouvent parmi les résidus de récolte qui offrent un potentiel d'utilisation dans la ration énergétique des ruminants.

*Paille de soja*

La culture du soja est l'entreprise agricole qui a la plus rapide expansion à travers le monde et aux Etats-Unis. De 1955 à 1974 la production mondiale de soja a augmenté de 767. 900 000 à 1.909 754 000 boisseaux soit une augmentation de 149 pourcent. Durant la même période, la production de cette culture aux Etats-Unis a augmenté de 230 pourcent (Talley et Stalling, 1976). De cette production résultait un total d'environ 62 billions de tonnes de paille. La paille de soja est l'un des résidus de récolte ayant la plus haute teneur en lignine.

TABLEAU 2  
 PRODUCTION MONDIALE DE RESIDU DE RECOLTE  
 POTENTIELLEMENT UTILISABLE COMME ALIMENT  
 POUR BETAIL

PAYS	Superficie Cultivee (1000 ha)	Production (1000 tonnes)	Productivite t/ha	Residus Produits (1000 tonnes)
URRS	122.000	180.000	1,48	265.140
Etats-Unis	70.240	256.997	3,66	378.557
Chine	76.414	102.000	1,30	150.246
Inde	62.581	56.128	0,90	82.676
Allemagne	95.224	21.596	4,13	31.811
France	9.712	38.625	3,98	56.897
Canada	18.485	41.855	2,26	61.652
Australie	15.118	13.503	0,89	19.889
Mexique	10.324	15.965	1,56	23.516
Iran	6.325	4.546	0,72	6.696
Argentine	11.085	22.150	2,00	32.626
Bresil	14.113	20.603	7,46	30.348
Italie	4.343	14.066	3,24	20.719
TOTAL MONDIAL	584.798	1.063 683	1,82	1.566 805

U.S.D.A. 1981. Foreign Agricultural Circular, F. G. 5-75.

Cependant très peu de recherches ont été conduites sur la valeur nutritive de cette paille. D'après Hamilton *et al.* (1928) les premières études sur les propriétés de la paille de soja ont été effectuées vers 1879 par des investigateurs allemands. A la suite d'autres études initiales, Kammlade et Mackey (1925) ont indiqué que les moutons recevant des rations de ces résidus avaient un gain de poids plus rapide que ceux alimentés avec de la paille d'avoine. L'évaluation conduite par Hamilton *et al.* (1928) sur la valeur alimentaire de la paille de soja chez les moutons a indiqué que la paille est hautement lignifiée et qu'elle a une teneur en énergie métabolisable aussi basse que 1,4 Kcal/g de matière sèche et une digestibilité de matière sèche de 40,4%. Ces données ont été corroborées par des études plus récentes conduites par Gupta *et al.* (1978a, 1978b), sur l'ingestion et la digestibilité des éléments nutritifs de la paille par des moutons. Ces mêmes investigateurs ont observé une amélioration de l'ingestion *ad libitum* et, de la digestibilité de la matière sèche et de l'utilisation de l'énergie métabolisable lorsque la paille était alimentée sous forme de boulettes comprimées ou en utilisant seulement les cosses de la paille. Aussi Gupta *et al.* (1973) ont trouvé qu'à maturité, la teneur moyenne en lignine du résidu de soja (feuilles, tiges et cosses) était de 16%. A mesure que le taux de lignine et d'autres constituants de la membrane cellulaire augmentait, une réduction dans la digestibilité de la matière sèche en résultait. Les moutons qui recevaient une ration à base de cette paille moulue en consommaient pour satisfaire seulement 70 p. 100 de leur besoins d'énergie de maintien, juste suffisante pour maintenir une balance azotée de zéro.

### *Paille de blé*

Le blé est la culture la plus répandue et la plus utilisée à l'échelle mondiale dans l'alimentation humaine. En 1980 la production mondiale de blé s'élevait à 445 millions de tonnes (FAO, 1981). Plus de 200 millions d'hectares de blé sont cultivés chaque année. Le Tableau 2 montre une comparaison de la production de blé avec d'autres céréales produites entre 1971 et, 1981. A chaque kilogramme de grains produit correspond une quantité équivalente de paille qui peut être utilisée dans la ration des ruminants. (Brian, 1971). Dans le passé, la paille de certaines variétés de blé était utilisée pour faire de la chaume, pour emballer les objets en argile à transporter ou pour faire de la litière. (Brian, 1971).

La paille de blé a une teneur plus élevée en cellulose et hémicellulose et moins de lignine que la paille de soja. Jackson (1977) a observé que la composition chimique de la paille de blé était: Cellulose, 39,0%; hémicellulose, 36,0%; lignine, 10,0% et silice 6,0%. Les études récentes de Solaiman *et al.* (1979) ont trouvé les suivants: Cellulose, 39,5%; hémicellulose, 24,1% et lignine, 7,7%. Cependant la digestibilité et la teneur en protéines brutes de la paille de blé sont en général assez faibles. Des variétés de blé cultivées dans des conditions similaires de climat et de fertilité du sol avaient seulement de faibles différences dans leur composition chimique (Thomas *et al.*, 1979). White *et al.* (1979) ont observé que la digestibilité *in vitro* de la paille des différents génotypes de blé printaniers variait de 33% pour la Butte et la Manitou à 44% pour la Newana et la Norana. La digestibilité des variétés hivernales variait de 39% pour le Roughrider à 45% pour la Sundance et la Mugaine (Thomas *et al.*, 1979).

2 1  
39 5  
24 1  
7 7  
-----  
71 3

*Coques d' Arachide*

L'arachide est une des principales ressources agricoles de plusieurs pays en voie de développement. Vingt-cinq à trente millions de boisseaux d'arachide sont produits annuellement aux Etats-Unis d'Amérique (Brian, 1971). En 1979 les Etats-Unis d'Amérique ont produit 1.712 500 tonnes d'arachide (USDA, 1981). Soixante-quinze pourcent de cette production étaient utilisés dans l'alimentation humaine. La plus grande proportion de cette culture est produite dans le sud des Etats-Unis. D'énormes quantités d'arachides sont annuellement produites en Afrique, Espagne, Chine, Japon et Java. Des millions de tonnes de ce produit agricole en provenance de ces pays sont annuellement expédiées en Europe. Après le décorticage, les coques d'arachides sont généralement brûlées comme combustible et leurs cendres sont retournées à la terre comme fertilisant. Les coques sont aussi écrasées en une farine qui est employée en larges quantités par les fabriques d'acier comme cire à acier. Les études sur la digestibilité de la coque d'arachide manquent. Le "National Research Council" (1969) a mentionné un niveau de fibres brutes de 65,4% pour les coques moulues. Sous cette forme, la cellulose et la lignine représentaient respectivement 48,5% et 28,7% du poids de la matière sèche.

(Tableau 3)

TABLEAU 3

Composition chimique des paille de ble, de soja et des coques d'arachide.

	Paille de ble	Paille de soja	Coques d'arachide
Cendres	8,1	6,4	4,7
Fibres brutes	41,5	44,1	65,4
Extraits Etérés	1,2	1,4	1,2
Extrachif non Azote	45,1	42,6	21,3
Protéines brutes	<u>3,6</u>	<u>5,5</u>	<u>7,4</u>
Cellulose	50,1	35,5	48,5
Hemicellulose	-	18,4	-
Lignine	13,7	17,9	28,7
Silice	6,0	-	-
TDN	48	38	8

Source: NRC 1969

TRAITEMENT CHIMIQUE DES RESIDUS  
DE RECOLTE

Les résidus de récolte sont composés essentiellement de cellulose et d'hemicellulose (Tableau 3) qui ne peuvent être utilisées qu'à travers la fermentation microbienne du rumen. Cette fermentation aboutit à la production d'acides gras volatils qui sont les principales sources d'énergie pour les ruminants. Ces animaux jouent un rôle unique dans la conversion de ces aliments de basse qualité en viande et en lait. Ceci est dû à la présence dans le rumen d'une large population microbienne pouvant dégrader les fourrages grossiers.

Des recherches récentes ont démontré que les ruminants peuvent être maintenus avec succès sous des rations constituées essentiellement de résidus de récolte tels que les pailles et les tiges de plantes céréalières (Kay *et al.*, 1970; Klopfenstein *et al.*, 1967). Cependant, cette pratique n'a pas été largement acceptée à cause de l'inefficacité d'utilisation de ces matières due à leur faible digestibilité et leur pauvre valeur nutritive.

Des traitements chimiques ont été prouvés efficaces dans l'amélioration de la digestibilité de ces résidus de récolte et d'autres sous-produits agricoles par les ruminants. Ce procédé a été d'intérêt pendant plusieurs années (Godden, 1920; Beckman, 1921). Des études plus récentes dans ce domaine ont essayé divers procédés chimiques ou physiques pour renforcer ce potentiel de la digestibilité (Beardsley, 1964; Braman, 1977; Jayacuriya *et Owen* 1975; Mc Manus *et Choung*, 1976). Parmi les produits chimiques concernés, quatre sont habituellement utilisés dans les expériences avec les animaux. Ceux-ci sont l'hydroxide de sodium (NaOH)

(Braman, 1977; Garrett *et al.*, 1979; Rounds et Klopfenstein, 1974), l'hydroxide d'ammonium ( $\text{NH}_4\text{OH}$ ) (Garrett *et al.*, 1976; Rexen *et al.*, 1975), l'hydroxide de calcium  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  (Rexen *et al.*, 1976) et l'hydroxide de potassium (KOH) (Klopfenstein et Wood, 1970). L'hydroxide de sodium paraît beaucoup plus efficace que les autres (Klopfenstein, 1978). Les résidus de récolte qui ont été généralement traités chimiquement comprennent les rachis et les tiges de maïs, les résidus du mil, les pailles de blé, d'orge, d'avoine, de riz et d'herbes (Anderson et Ralston, 1973; Garrett *et al.*, 1976; Rexen *et al.*, 1976; Rounds et Klopfenstein, 1974). Il a été observé que les résidus de différentes espèces de plantes répondent différemment aux traitements chimiques (Koers *et al.*, 1972; Pickard *et al.*, 1969).

#### A. Traitement à l'hydroxide de sodium (NaOH)

L'hydroxide de sodium est le produit chimique le plus expérimenté dans les traitements chimiques des résidus agricoles. Ceci est dû à son efficacité d'augmenter la digestibilité de la matière sèche de ces produits agricoles. De plus cet alcali joue un rôle de ciment rendant ainsi la ration plus facile à manipuler (transport et conservation) (Miller *et al.*, 1979). De nombreuses études ont montré que le traitement à l'hydroxide de sodium augmentait l'efficacité d'utilisation des fourrages grossiers (Godden, 1920; Beckman, 1921). Godden (1920) a cité des travaux allemands datés de 1900 selon lesquels la pulpe de paille utilisée pour la fabrication du papier était rendue digestible à 88,3% par suite du traitement à l'hydroxide de sodium. Lehman (1905) avait conçu un procédé de traitement de la paille avec de l'hydroxide de sodium. Dans ce procédé, la paille était bouillie dans une quantité

d'eau égale au double de son poids et avec 2 à 4 p. 100 d'hydroxide de sodium. La cuisson se faisait sous une pression de 4 à 5 atmosphères pendant 6 heures. La paille cuite était ensuite lavée à l'eau pour enlever l'alcali. La digestibilité de la paille était améliorée de 50%. Bien que coûteux, ce procédé de Lehman fut largement exploité durant les conditions d'urgence provoquées par la Première Guerre Mondiale. Plus tard, Beckman (1921) modifia le procédé de Lehman en remplaçant la cuisson sous pression par le trempage à l'eau froide. Ce nouveau procédé a été largement utilisé en Norvège jusqu'à des époques récentes (Rexen *et al.*, 1976).

En 1972, 70.000 tonnes de résidus traités ont été produites (Rexen *et al.*, 1976). Cependant, ces deux méthodes n'ont pas gagné de popularité parce que le lavage exigé à la fin du traitement était une source de pollution, causait des pertes de substances nutritives et était cher. Des études anglaises menées par Godden (1920) ont montré que le traitement de la paille d'avoine avec 1,5 p. 100 d'hydroxide de sodium augmentait la digestibilité de la matière sèche de 44,3% à 68,1% sans lavage. Avec le lavage, la digestibilité de la matière sèche augmentait à 71,0%, cependant avec une perte de 33% de matière sèche. Cette méthode a été utilisée pendant la Deuxième Guerre Mondiale en Angleterre par Watson (1941) et Fergusson (1942) et en Inde par Sen (1942).

Le procédé canadien développé par Wilson et Pidgen (1964) exigeait moins d'eau (30% du poids de la paille sèche). Le lavage et le drainage qui causaient les pertes de substances nutritives étaient alors éliminés. La digestibilité *in vitro* de la matière sèche de la paille de blé avait augmenté de 32% à 65% par suite d'un traitement à 4 p. 100 d'hydroxide de sodium. Dans un procédé similaire développé en Norvège, la paille était broyée et ensuite mélangée pendant une minute avec 6 p. 100 de son

poids d'hydroxide de sodium. Le melange obtenu était ensuite comprimé. La digestibilité *in vivo* de la matière organique de la paille de blé était augmenté de 47% à 67%. Trente cinq mille tonnes de résidus traités ont été ainsi produites en Norvège en 1974 (Rexen *et al.*, 1976). Cuthbert *et al.* (1978) ont décrit un procédé commercial britannique semblable à celui de Rexen *et al.* (1976). La paille broyée était aspergée avec une quantité minimum d'eau contenant 5 p. 100 d'hydroxide de sodium (Poids/Poids de la matière sèche) et pressée. Une ration comprenant 60% de cette paille traitée et 40% de supplément composé de grain et d'urée avait la même valeur nutritionnelle que les rations témoins complétées par du tourteau de colza. Sept usines de transformation avaient exploité cette méthode au Royaume Uni en 1928.

Dans la plupart des procédés de traitement chimique développés pour l'exploitation à l'échelle commerciale, le transport du résidu de récolte à un centre de traitement était alors nécessaire. Le résidu traité était ensuite ramené à la ferme de production animale pour être consommé. Pour éviter cette inconvenience, et supprimer le coût du transport, Koers *et al.* (1970) développèrent au Nebraska une méthode de traitement à la ferme. Le résidu de récolte ramassé sur le champ était placé dans une machine à mélanger. Une quantité suffisante d'eau était ajoutée pour atteindre une teneur en humidité de 30 à 65%. De l'hydroxide de sodium était ajouté jusqu'à 4 p. 100 du poids de la matière sèche de la paille. Ces éléments étaient mélangés et laissés pour équilibrer pendant 24 à 48 heures. Le résidu traité était directement livré à la consommation ou ensilé.

Des études récentes ont montré que les traitements à l'hydroxide de sodium amélioraient l'appetabilité, l'ingestion *ad libitum* et la diges-

tibilité de la matière sèche et de la matière organique des résidus de récolte (Klopfenstein *et al.*, 1979; Gihad, 1979; Garrett *et al.*, 1979; Willis *et al.*, 1980). Willis *et al.* (1980) ont observé que la digestibilité *in vitro* de la matière sèche et de la matière organique de la paille de riz augmentait avec l'élévation de la concentration de l'hydroxide de sodium. L'addition de pectinase ou d'hemicellulase à la paille de riz traitée à l'hydroxide de sodium entraînait une digestibilité *in vivo* et une retention de phosphore et d'azote meilleures à celles observées avec la paille de riz traitée à l'hydroxide de sodium seulement. Gihad (1979) a en outre observé que la retention de calcium chez les moutons diminuait quand le niveau d'hydroxide de sodium atteignait 4 p. 100 du poids de la paille sèche et que l'addition d'urée et de melasse à la paille traitée à 4 p. 100 améliorait la retention de ce minéral.

#### *B. Ammonification des résidus de récolte*

A cause de la faible teneur en protéines des pailles et de l'augmentation constante du coût d'alimentation avec les suppléments protéiques, des considérations croissantes sont accordées à l'utilisation des sources d'azote non-protéinique dans le traitement des résidus de récolte (Kay *et al.*, 1968).

L'ammonification des résidus de récolte a aussi commencé dès le début de ce siècle. En 1905 Lehman (1905) avait breveté un procédé de traitement des matériels lignocellulosiques avec l'ammoniac ( $\text{NH}_3$ ). Arnason et Mo (1977) ont cité plusieurs investigations scandinaves menées sur l'ammonification des résidus de récolte entre les années 1950 et 1960. La méthode consistait à appliquer de l'ammoniac à un tas de paille. La paille était ensuite couverte d'une épaisse feuille de plastique. L'ammoniac se vaporisait et s'infiltrait à travers la paille. Après un temps approprié, la

couverture de plastique était enlevée pour permettre l'échappement de l'excès d'ammoniac (Arnason et Mo, 1977).

Un des avantages des traitements à l'ammoniac est que cet alcali augmente la teneur en azote ou en protéines brutes et la digestibilité du résidu traité. Solaiman *et al.* (1979) ont observé que l'addition de l'eau pendant l'application de l'ammoniac à la paille de blé résultait en une plus grande rétention d'azote. Mowat et Buchanam-Smith (1978) ont observé que la supplémentation de la paille de maïs avec du tourteau de soja augmentait le gain de poids journalier des boeufs de 0,22 Kg. Par rapport au gain de poids journalier, la valeur alimentaire de la paille de maïs traitée à l'ammoniac était intermédiaire entre celle de la paille non traitée mais complétée avec du tourteau de soja et celle de la paille non traitée et complétée avec de l'urée. Horton et Steacy (1979) ont observé que la teneur en protéines brutes de la paille d'avoine était améliorée d'environ 160% par suite du traitement à 3,5 p.100 d'ammoniac. Dans la même investigation, la teneur en protéines brutes était améliorée de 50 à 276% pour la paille d'orge. Les digestibilités apparentes de la matière sèche et de la matière organique étaient augmentées de 6,3% pour la ration de blé (Horton et Steacy, 1979). La digestibilité des fibres brutes avait passé de 41,4% à 49,9% (Horton et Steacy, 1979). Le traitement ammoniacal augmente aussi l'appétabilité des résidus de récolte et les performances animales. Horton (1978, 1979) a indiqué que les pailles de blé, d'orge, et d'avoine devenaient plus appétibles par suite du traitement à 3,5 p. 100 d'ammoniac. L'ingestion des pailles de blé, d'orge et d'avoine était augmentée de 10, 17 et 27%

respectivement. Cependant, aucune différence dans l'ingestion volontaire ou dans le gain de poids n'était notée quand un supplément à base d'orge était ajoutée à la paille traitée. La stimulation de l'ingestion par suite du traitement à l'ammoniac a été attribuée à une amélioration de la teneur en azote (Horton, 1978, 1979). Patterson *et al.* (1980) ont aussi observé que l'ingestion de la paille de maïs traitée à l'ammoniaque était trois fois plus élevée que celle de la paille non traitée. De plus l'ammoniaque a le potentiel de réduire le coût du produit chimique dans le traitement. Klopfenstein (1978) a observé que l'efficacité et le rythme de gain de poids étaient tous deux améliorés à la suite du traitement ammoniacal des aliments consommés par les agneaux. Le coût de gain de poids par suite du traitement serait de \$0,13/Kg pour l'ammoniaque et \$0,37/Kg pour l'hydroxide de sodium (Klopfenstein, 1978). Un des problèmes associés aux traitements à l'ammoniaque est la perte excessive d'ammoniac pendant l'application. Sundstol *et al.* (1978) avaient enregistré une perte de deux-tiers de l'azote ammoniacal appliqué à des concentrations de 2 à 4% (Poids/Poids) à la paille. L'application de l'ammoniac à la paille sèche entraîne non seulement une perte considérable d'ammoniac, mais n'est pas aussi efficace dans l'augmentation de la digestibilité de la paille (Solaiman *et al.*, 1979). La digestibilité *in vitro* de la paille de blé traitée à l'ammoniac augmentait progressivement avec l'élévation de la teneur en humidité jusqu'à 50% d'humidité (Solaiman *et al.*, 1979).

L'hydroxide d'ammonium n'est pas aussi efficace que l'hydroxide de sodium dans l'amélioration de la digestibilité *in vitro* de la matière sèche de la plupart des résidus de récolte. Bales *et al.* (1979) ont observé que la différence de digestibilité *in vitro* de la matière sèche

du résidu de mil traitée séparément à 4 p. 100 d'hydroxide de sodium et 4 p. 100 d'hydroxide d'ammonium était de 9% en faveur de l'hydroxide de sodium. Garrett *et al.* (1979) ont observé qu'avec des rations comprenant 72% de paille de riz, la paille de riz traitée à 4 p. 100 d'hydroxide de sodium avait la même valeur alimentaire que celle traitée à 4,7 p. 100 d'hydroxide d'ammonium.

### *C. Traitement à l'hydroxide de calcium*

L'hydroxide de calcium est aussi utilisé dans les traitements chimiques des résidus de récolte. Ce composé chimique est particulièrement intéressant à cause de son apport de calcium dans la ration. Cependant l'emploi de l'hydroxide de calcium dans les traitements chimiques est limité probablement à cause de la faible amélioration qu'il apporte à la digestibilité des résidus traités. Cet alcali est souvent utilisé en association avec d'autres alcalis tels que l'hydroxide de sodium ou l'hydroxide d'ammonium. Waller et Klopfenstein (1975) avaient traité du rachis de maïs avec différentes combinaisons d'hydroxides de sodium et de calcium pour étudier leurs effets sur les performances des boeufs. Les boeufs qui recevaient la ration traitée à 4 p. 100 d'hydroxide de sodium gagnaient plus de poids que ceux qui étaient alimentés avec la ration traitée à 4 p. 100 d'hydroxide de calcium. Les rations traitées avec les deux alcalis combinés produisaient cependant des gains de poids meilleurs à ceux obtenus avec chacune des deux premières rations (Tableau 4). Les rations traitées à 3 p. 100 d'hydroxide de sodium plus 3 p. 100 d'hydroxide de calcium étaient plus efficaces que celle traitée à 4 p. 100 d'hydroxide de sodium. La ration traitée à 2 p. 100 d'hydroxide de sodium plus 2 p. 100 d'hydroxide de calcium avait un effet supérieur à

celui de la ration traitée a 4 p. 100 d'hydroxide de sodium. (Waller et Klopfenstein, 1975). Lesoing *et al.* (1981) avaient étudié la digestibilité *in vitro* de la matière sèche de la paille de blé traitée chimiquement. Ces investigateurs avaient observé que le traitement a 4 p. 100 d'hydroxide de sodium était supérieur aux traitements a 3 p. 100 d'hydroxide de sodium plus 2 p. 100 d'hydroxide de calcium ou a 3 p. 100 d'hydroxide de sodium plus 1 p. 100 d'hydroxide de calcium. Cependant le traitement a 4 p. 100 d'hydroxide de sodium plus 1 p. 100 d'hydroxide de calcium était plus efficace que celui a 4 p. 100 d'hydroxide de sodium. Waller (1976) avait indiqué que le traitement du rachis de maïs avec l'hydroxide de sodium et l'hydroxide de calcium améliorait la solubilisation de l'hemicellulose et la digestibilité de la cellulose et de l'hemicellulose. Cependant il n'a pas été clairement établi que les effets observés étaient dus à l'action des traitements combinés ou à un apport nutritif du calcium. L'hydroxide de calcium offre l'avantage d'être moins cher que l'hydroxide de sodium et de réduire les exigences de calcium dans la ration. De plus, le calcium contrebalance les effets d'un excès de sodium ingéré. Wheeler *et al.* (1981a, 1981b) ont observé que la rétention de calcium, de phosphore et de magnésium chez les boeufs diminuait au fur et à mesure que le taux de sodium augmentait dans la ration. Par contre l'augmentation du taux de calcium dans la ration améliorait la rétention de ces trois minéraux.

TABLEAU 4

PERFORMANCE DES VEAUX ALIMENTES AVEC DU RACHIS  
DE MAIS TRAITÉ AVEC DIFFÉRENTS ALCALIS

NaOH: Ca(OH) <sub>2</sub>	Gain de poids journalier (Kg)	Quantité journalière d'aliment (Kg)	Quantité d'aliment / kg de gain
4:0	1,7	10,10	8,6
3:1	1,34	10,32	7,7
2:2	1,14	9,87	8,7
1:3	1,27	9,97	7,8
0:4	0,97	9,04	9,4

Waller et Klopfenstein, 1975.

*je ne comprends pas*

#### D. Niveaux des traitements

Les niveaux des traitements chimiques qui aboutissent à la plus grande digestibilité de la matière sèche des divers résidus de récolte n'ont pas été clairement établis. Par conséquent il est important d'investiguer davantage le niveau du traitement qui aboutit à l'utilisation la plus efficace de ces ressources par les ruminants.

Les données recueillies par rapport au niveau des produits chimiques utilisés (particulièrement NaOH) dans le traitement des résidus de récolte suggèrent deux facteurs importants. Primo, le niveau de traitement pour obtenir la meilleure réponse de l'animal se situe entre 3 et 5 p. 100 du poids de la matière sèche du résidu. Secundo, il y a une différence dans la réponse au traitement chimique entre les résultats mesurés *in vitro* et ceux obtenus des études effectuées *in vivo* (Klopfenstein, 1978). À la suite de deux études conduites avec la paille de blé traitée à l'hydroxide de sodium, Singh et Jackson (1971) ont observé que la digestibilité de la matière organique cessait d'augmenter lorsque le niveau du traitement excédait 3,3 p. 100 d'hydroxide de sodium. Des études menées par Klopfenstein *et al.* (1972) ont montré qu'au-delà du traitement à 3 p. 100 d'hydroxide de sodium, la digestibilité *in vivo* de la matière sèche n'augmentait plus autant que la digestibilité *in vitro* de la matière sèche. Mowat et Ololade (1970) ont observé que la digestibilité de la matière sèche de la paille d'orge continuait à augmenter jusqu'à 4 p. 100 de traitement à l'hydroxide de sodium. Cependant les traitements à 6 et 8 p. 100 n'avaient aucun effet bénéfique sur la digestibilité *in vivo*. Maeng *et al.* (1971) ont suggéré que la faible digestibilité *in vivo* des

résidus traités à l'hydroxide de sodium était due à une augmentation de la pression osmotique du jus ruminal par l'alcali qui inhibe l'activité microbienne. Bergen (1970) a observé que la digestibilité de la cellulose était abaissée par suite d'infusion de chlorite de sodium ou d'acetate de sodium. L'augmentation de la consommation d'eau a été aussi observée chez les animaux alimentés avec les fourrages traités à l'hydroxide de sodium (Bergen, 1970; Gihad, 1979). Bergen (1979) a supposé que l'hydroxide de sodium et la grande consommation d'eau augmentaient le rythme de passage et abaissaient par conséquent la digestion de la cellulose. Wheeler *et al.* (1981a, 1981b) avaient indiqué que l'ingestion des concentrations élevées de sodium causait une diminution de la rétention de calcium de magnésium et de phosphore. Ceci indique donc que des problèmes existent quand de hauts niveaux d'hydroxide de sodium sont consommés comme part du résidu traité.

Il est généralement accepté que le niveau le plus efficace de l'ammoniac à appliquer au résidu de récolte varie entre 2 et 4 p. 100 du poids de la matière sèche du résidu. Sundstol *et al.* (1978) ont observé que le traitement à 1 p.100 de  $\text{NH}_3$  (ammoniac) augmentait la digestibilité de la matière organique de 45 à 53%. L'élévation du niveau d'ammoniac à 2,5 et à 4% augmentait la digestibilité à 61 et à 64% respectivement. Aucun bénéfice n'a été observé en augmentant le niveau à 5,5 p. 100 de  $\text{NH}_3$  (Waiss *et al.*, 1972). Oji *et al.* (1977) ont aussi indiqué que l'ingestion d'aliments traités avec des fortes concentrations d'ammoniac n'améliorait pas la rétention d'azote chez les animaux. AL-Rabbat et Heaney (1978) n'ont observé aucune différence dans la rétention d'azote chez les agneaux alimentés avec des rations contenant 65% de paille de blé traitée à l'ammoniac ou avec des rations comprenant une égale proportion de paille de blé

non traitée. Cependant ces animaux qui recevaient la paille traitée consommaient 70% plus d'azote. Miller *et al.* (1979) ont observé une plus forte perte d'azote (par les urines) chez les moutons alimentés avec le résidu de soja traité à l'ammoniaque.

#### *E. Mode d'action des traitements chimiques alcalins*

Le mode d'action des traitements chimiques alcalins sur les résidus de récolte n'est pas bien défini. Tarkow et Feist (1969) ont décrit les changements physiques et chimiques qui se produisent quand des matériaux lignocellulosiques sont traités à l'hydroxide de sodium. Selon ces investigateurs, il y a une augmentation physique de la capacité de rétention d'eau (point de saturation des fibres) et une extension de la surface interne de la lignocellulose, permettant ainsi un plus grand accès des attaques enzymatiques. Chimiquement, l'alcali saponifie les esters d'acides glucuroniques et les groupes acétates des polymères de xylan. Cette transformation rompt les liaisons esters de l'acide glucuronique qui sont les ponts de liaison entre les polymères de xylan et autres polymères (cellulose et lignine) et aboutit à l'extension de la surface exposée aux attaques enzymatiques. Ainsi donc l'alcali améliore la digestion des membranes cellulaires des plantes en augmentant la surface exposée à l'action des enzymes et en dissolvant certains constituants de la membrane cellulaire (Tarkow et Feist, 1969). Waller et Klopfenstein (1978) ont aussi suggéré que le traitement chimique solubilise l'hémicellulose sans changer la teneur en cellulose. L'augmentation dans l'étendue de la digestion de la cellulose et de l'hémicellulose serait due à la rupture des liaisons entre la lignine et la cellulose ou l'hémicellulose sans une élimination véritable de la lignine (Klopfenstein *et al.*, 1972;

Olofade *et al.*, 1970). Klopfenstein (1978) a observe que 18% de l'hemicellulose du rachis de maïs etaient dissoutes sous l'effet du traitement a 4 p. 100 d'hydroxide de sodium, tandis que la cellulose n'etait pas affectee. Dans ces etudes, la digestibilite *in vitro* etait de 34% pour l'hemicellulose et 16,1% pour la cellulose. Capper *et al.* (1977) ont observe que le traitement a 4 p. 100 d'hydroxide de sodium augmentait de digestibilite *in vitro* de la paille d'avoine de 41 a 66% et diminuait la teneur en hemicellulose de 33 a 23%. Cependant un meme traitement n'affectait que tres faiblement les teneurs en cellulose (44 a 42%) et en lignine (8,0 a 8,4%).

Le mecanisme par lequel l'ammoniaque augmente la digestibilite des residus de recolte est apparemment une action de gonflement semblable a celle produite avec l'hydroxide de sodium. Solaiman *et al.* (1979) ont observe que la digestibilite *in vitro* de l'hemicellulose de la paille de ble traitee a l'ammoniaque etait de 46,5%, ce qui etait presque equivalent a la quantite d'hemicellulose dissoute (42,7%). La digestibilite de la cellulose etait de 38,7% sans solubilisation. La lignine n'etait n. dissoute ni digeree par le traitement (Solaiman *et al.*, 1970).

Dans une etude recente, Roland et Akin (1980) ont utilise le microscope electronique pour etudier le rythme et l'etendue de la degradation des feuilles d'herbe des Bermudes (*Cynodon dactylon* [L] Pers.) traitees a l'hydroxide de potassium et exposees a l'action des microorganismes du rumen. Cette etude a revele que le traitement alcalin resultait en une rupture de tissus, en separant les gaines des faisceaux parenchymateux, les gaines des faisceaux internes et les tissus sclerenchymateux en cellules individuelles. Les microorganismes du rumen degradaient les tissus les

plus facilement digestibles (mesophylle) et puis les tissus les plus lentement dégradables (gainés des faisceaux parenchymateux et épiderme). Cette dégradation était plus lente dans les lames des feuilles non traitées. Le traitement alcalin des membranes cellulaires faiblement dégradables augmentait la disponibilité des membranes cellulaires à l'attaque des environnantes ou attachées à ces lames. Les membranes cellulaires lignifiées ainsi traitées étaient attaquées par les bactéries du rumen et les couches intercellulaires étaient facilement dégradées tandis que les tissus similaires non traités résistaient à l'attaque microbienne. De plus, le traitement à l'hydroxide de potassium résultait en une augmentation substantielle de l'association des protozoaires avec les lames des feuilles.

#### *F. Importance économique du traitement chimique*

La valeur économique des traitements chimiques a été souvent négligée dans la majorité des études. Cependant l'utilisation de cette méthode pour améliorer la digestibilité des résidus agricoles chez les ruminants ne serait recommandée que dans un contexte économique justifié.

Le traitement chimique des résidus de récolte par la méthode de l'ensilage à la ferme peut être économique quand les prix des grains sont relativement élevés. Dans cette méthode, les résidus ne sont pas transportés sur de longues distances; de ce fait les coûts de transport sont pratiquement supprimés. De plus l'équipement utilisé est relativement simple et facile à trouver sur la plupart des fermes d'exploitation animale. La valeur économique sur le champ n'est pas facile à déterminer. Selon Klopfenstein (1978) la valeur de ces résidus utilisés comme fertilisant ou comme aliment pour bétail ne dépasserait pas \$3 à 4 par tonne

de matiere seche. Les couts de manient seraient probablement de \$13 a 14 par tonne. Selon les prix de 1978, il reviendrait a approximativement \$8 pour traiter une tonne de residu avec 3 p. 100 d'hydroxide de sodium et \$1 pour traiter une tonne avec 1 p. 100 d'hydroxide de calcium (Klopfenstein, 1978). Nine ration composee de 75% de residu traite a 3 p. 100 d'hydroxide de sodium et 25% de residu traite a 1 p. 100 d'hydroxide de calcium couterait approximativement \$9 de produits chimiques par tonne de ration. Les pertes a l'ensilage n'ont pas ete bien determinees mais pourraient etre estimees a \$4 a 5 par tonne; ce qui donnerait un total de \$27 par tonne de matiere seche de residu traite (Klopfenstein, 1978).

Waller et Klopfenstein (1975) avaient compare les couts de gain de poids des veaux alimentes avec une ration a base d'ensilage de maïs (partie aerienne entiere) et une ration a base de paille de maïs (partie aerienne sans les epis) traitee chimiquement. La paille etait traitee a 3 p. 100 d'hydroxide de sodium et 1 p. 100 d'hydroxide de calcium et constituee en rations de 80% de paille traitee et 20% de tourteau de soja. L'ensilage de maïs etait constitue en rations de 90% d'ensilage et 10% de tourteau de soja. Le gain de poids journalier obtenu avec chaque ration etait de 0,75 kg. Les quantites journalieres de chaque ration etaient a peu pres egales. Par consequent les quantites de ration par unite de gain etaient approximativement egales. Sur la base de 11 cents par kilogramme de maïs et \$207 par tonne de tourteau de soja, le cout des aliments revenait a 9,4 cents par kilogramme de matiere seche pour la ration a base d'ensilage de maïs et 7,7 cents par kilogramme pour la ration a base de paille traitee. La difference des couts de gain de poids s'est alors repletee dans la difference entre les couts d'alimentation en considerant 90 cents par kilogramme pour la ration a base d'ensilage de maïs et 74 cents pour la ration

a base de paille traitée (Tableau 5). Ceci indique qu'il est économiquement faisable de traiter chimiquement les résidus de récolte par la méthode de l'ensilage à la ferme.

TABLEAU 5  
COMPARAISON ENTRE LA RATION A BASE  
D'ENSILAGE DE MAIS ET LA RATION A BASE DE  
PAILLE DE MAIS TRAITEE

	Ensilage de maïs	Paille de maïs traitée
Gain de poids journalier (Kg)	0,75	0,75
Quantité journalière d'aliment (Kg)	7,26	7,17
Quantité d'aliment/gain de poids (Kg)	9,62	9,60
Coût des aliments (¢/Kg)	9,35	7,70
Coût de gain de poids (¢/Kg)	90,00	74,00

Waller et Klopfenstein (1975).

## PROCEDURE EXPERIMENTALE ET MATERIEL UTILISE

Cette experience a ete conduite sur la ferme experimentale bovine et au laboratoire de nutrition animale de l'Universite Agricole et Mecanique d'Alabama, a Huntsville. Nous avons utilise 3 types de residus: Les pailles de soja et de ble et la coque d'arachide. La paille consistait en la partie aerienne de la plante laissee sur le champ apres la recolte mecanisee des grains. La coque d'arachide comprenait le sous-produit du decorticage de la cosse de l'arachide. Les pailles et la coque ont ete broyees a la grille de 25 mm d'un broyeur-melangeur fabrique par la compagnie Davis. A ce stade, le pourcentage de matiere seche du residu a ete determine. Puis des portions de chaque residu broye ont ete traitees separement avec chacun des produits chimiques cites ci-dessus a des concentrations de 0 p. 100, 2 p. 100, 3 p. 100, 4 p. 100 et 5 p. 100. Le pourcentage du produit chimique a ete calcule sur la base de la matiere seche du residu. De l'eau a ete ajoutee a ces melanges pour atteindre un niveau d'humidite de 65 p. 100. Chaque traitement a ete bien melange manuellement et des quantites d'approximativement 5 kg ont ete ensilees dans des sacs en plastic a double parois et scelles sous le vide. Ces preparations ont ete laissees a fermenter pendant 30 jours a la temperature de 20°C. Le silage ainsi produit a ete subsequemment seche a 50°C jusqu' a l'obtention de poids constant et ensuite broye a la grille de 1 mm d'un moulin Willey. Une quantite equivalente de residu traite seulement a l'eau a ete soumis au meme procede que la paille traitee pour servir de temoin.

La methode en deux-etapes preconisee par Tilley et Terry (1963) a ete utilisee pour determiner la digestibilite *in vitro* de la matiere seche

et de la matière organique des résidus traités. Le jus ruminal a été recueilli chez un jeune taureau Hereford porteur d'une fistule ruminale permanente. Cet animal a été alimenté durant la période de l'expérience avec de la paille de soja et une ration concentrée pour satisfaire les besoins en protéines, vitamines et minéraux.

La méthode comprend une période de 48 heures de fermentation microbienne suivie d'une période de 46 heures de digestion sous l'action de la pepsine. Des échantillons d'environ 3 g d'ensilage sec ont été analysés séparément pour déterminer la teneur en matière sèche initiale et en matière organique initiale. Des échantillons de 1 g d'ensilage sec ont été soumis à la fermentation et à la digestion pour déterminer la teneur en matière sèche résiduelle et en matière organique résiduelle. La quantité de matière sèche ou de matière organique disparue est considérée comme ayant été "digérée."

Les réactifs utilisés comprenaient:

a) La Salive Artificielle de Mc Dougall.

1. Solution tampon (quantités par litre)

9,80 g  $\text{NaHCO}_3$   
 3,71 g  $\text{NaHPO}_4$   
 0,57 g KCL  
 0,47 g NaCL  
 0,12 g  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$   
 2,00 g Urea.

2. 1 ml  $\text{CaCl}_2$  à 4% (5,3 g  $\text{CaCl}_2$ , 2  $\text{H}_2\text{O}$ /100 ml  $\text{H}_2\text{O}$ )

b) HCL à 20% (Volume/Volume)

c) Pepsine à 5% (Poids/Volume)

Prélèvement du jus ruminal.

Chaque prélèvement de jus ruminal était fait avec une pompe à

suction. L'animal donneur était préalablement mis à jeun pendant 12 heures et recevait seulement des suppléments protéiniques, minéraux et vitaminiques 1 heure avant le prélèvement. Les échantillons de jus ruminal étaient prélevés dans 5 différentes positions du rumen avec un tube en plastique rattaché à un flacon Erlenmeyer. Le jus ruminal ainsi recueilli était transféré dans un flacon en plastique de 1 litre rempli à jusqu'à bord, puis fermé hermétiquement. Ce flacon était maintenu dans une "termos-jarre" et immédiatement transporté au laboratoire.

#### Digestion *in vitro*.

Le jus ruminal était alors filtré à travers 4 couches de bande de gaze et mélangé à la Salive Artificielle préincubée à raison de 30% jus ruminal et 70% Salive Artificielle. Le flacon contenant ce mélange était saturé de gaz carbonique ( $\text{CO}_2$ ); le pH était vérifié et ajusté entre 6,9 et 7,0 et la température était maintenue à 39°C. Cent millilitres de ce mélange étaient transférés dans un tube à centrifuge contenant 1 g d'ensilage sec et préincubé à 39°C. Le tube était soufflé pendant 15 secondes avec du  $\text{CO}_2$  pour chasser l'air restant et ensuite tous les tubes étaient rapidement fermés avec des bouchons à valve de Bunsen. Le contenu des tubes était agité de façon permanente par une motion lente du bain-marie. Après 48 heures de fermentation microbienne, le pH du produit fermenté était vérifié. Un total de 12 ml de HCL à 20% était ajouté à chaque tube pour arrêter l'action microbienne; ceci était suivi par une addition de 4 ml de pepsine à 5%. Les tubes étaient ensuite refermés immédiatement et remplacés dans le bain-marie toujours maintenu à 39°C. Après 46 heures de digestion sous l'action de la pepsine, 1 ml d'une solution saturée de chlorure de mercure était ajouté à chaque tube pour arrêter la réaction.

Les tubes étaient ensuite centrifugés pendant 15 minutes à 2,000 tours par minute. Le contenu de chaque tube était filtré dans un filtre en plastique et le résidu recueilli était transféré dans des creusets préalablement pesés et placés et à sécher pendant 24 heures dans une étuve maintenue à 105°C. Le résidu était alors refroidi dans un dessiccateur et pesé. Chaque expérience comprenait trois standards (farine de maïs) et trois blancs (jus ruminal seulement). Les résidus étaient par la suite incinérés dans un Muffle Furnace à 500°C pendant trois heures puis refroidis dans un dessiccateur et pesés. Les formules suivantes ont été utilisées pour déterminer la digestibilité *in vitro* de la matière sèche et de la matière organique (DIVMS of DIVMO):

$$\text{DIVMS \%} = G - (H - I) \times 100$$

où G représente la matière sèche initiale, H la matière sèche résiduelle de l'échantillon et I la matière sèche résiduelle du blanc (moyenne de 3 blancs).

$$\text{DIVMS \%} = \frac{J - (K - L)}{J} \times 100$$

où J représente la matière organique initiale, K la matière organique résiduelle de l'échantillon et L la matière organique résiduelle du blanc (moyenne de 3 blancs). Toutes les expériences ont été conduites en triplicata.

## RESULTATS

Les resultats de la digestibilite *in vitro* de la matiere sèche et de la matiere organique des pailles de ble et de soja et des coques d'arachide traitees avec différentes concentrations des hydroxides de sodium, d'ammonium et de calcium sont presentés dans les tableaux 6 et 7.

### *A. Effets de l'hydroxide de sodium*

#### 1. Paille de ble

Le traitement a l'hydroxide de sodium a amélioré sensiblement la digestibilité de la matiere sèche et de la matiere organique de la paille de blé. Dans les deux cas la digestibilité a augmenté linéairement en fonction de l'augmentation de la concentration de l'alcali (Fig. 2). La plus haute digestibilité de la matiere sèche a été obtenue avec le traitement a 5 p. 100 d'hydroxide de sodium. Cependant la différence observée entre la digestibilité obtenue avec cette concentration et celle obtenue avec 4 p. 100 a été relativement faible (Fig. 2). Contrairement a la matiere sèche, la digestibilité de la matiere organique correspondant au traitement a 5 p. 100 a été nettement supérieure a celle produite avec le traitement a 4 p. 100. Ces traitements a 4 et 5 p. 100 d'hydroxide de sodium ont produit une amélioration de 25,6 et 31,4% respectivement par rapport a la digestibilité de la matiere sèche du témoin (paille seche non traitée). Pour ce qui concerne la digestibilité de la matiere organique, le pourcentage d'amélioration apporté par le traitement s'est révélé nettement supérieur a 5 p. 100 qu' a 4 p. 100 d'hydroxide de sodium. Les traitements a 2 et a 3 p. 100 n'ont produit que de très faibles améliorations. (Tableaux 8 et 9).

TABLEAU 6

D I V M S des ensilages des pailles de ble, de soja et des coques d'arachide traitees avec differents niveaux de NaOH, NH<sub>4</sub>OH et Ca(OH)<sub>2</sub>.

Nv	Paille de ble			Paille de soja			Coques d'arachide		
	NaOH	NH <sub>4</sub> OH	Ca(OH) <sub>2</sub>	NaOH	NH <sub>4</sub> OH	Ca(OH) <sub>2</sub>	NaOH	NH <sub>4</sub> OH	Ca(OH) <sub>2</sub>
*RNF	34,3772	34,3772	34,3772	30,677	30,677	30,677	25,7960	25,7960	25,7960
**RF	35,2498	35,2498	35,2498	33,9434	33,9434	33,9434	27,2767	27,2768	27,2768
2%	37,242489	36,8049	36,8216	34,562	34,0038	33,8942	28,8721	31,1818	30,6835
3%	39,7665	39,3546	37,9238	37,2374	36,2120	35,8705	32,2826	31,3768	32,1482
4%	43,1822	42,827	45,3791	40,2678	39,9169	39,6028	35,2001	33,666	34,9540
5%	45,1760	44,8131	44,6913	41,9448	40,8419	40,4254	34,848	35,9913	34,3896

DVMS Digestibilite *in vitro* de la matiere organique

\*RNF = Residu non traite et non ensile

\*\* RF = Residu traite à l'eau seulement

Nv = Niveau de traitement

TABLEAU 7

D I V M O des ensilages des pailles de ble, de soja et des coques d'arachide traitees avec differents niveaux de NaOH, NH<sub>4</sub>OH et Ca(OH)<sub>2</sub>.

Nv	Paille de ble			Paille de soja			Coques d'arachide		
	NaOH	NH <sub>4</sub> OH	Ca(OH) <sub>2</sub>	NaOH	NH <sub>4</sub> OH	Ca(OH) <sub>2</sub>	NaOH	NH <sub>4</sub> OH	Ca(OH) <sub>2</sub>
*RNF	32,6495	32,6495	32,6495	28,8959	28,8959	28,8959	24,3317	24,3317	24,3317
**RF	33,629	33,629	33,629	32,3554	32,3554	32,3554	25,0273	25,0273	25,0273
2%	33,879	34,0719	35,1628	31,8306	32,1025	30,7904	24,5870	28,8734	27,5538
3%	34,4376	37,2773	34,0142	34,4520	34,2920	32,2700	27,2713	29,3217	27,8872
4%	37,5146	41,0016	42,2050	37,6059	38,0955	35,3568	28,2038	31,5002	29,6749
5%	43,7085	42,9166	40,6902	39,3658	39,6703	35,8146	31,6403	33,8651	28,6284

DVMO Digestibilite *in vitro* de la matiere organique

\*RNF = Residu non traite et non ensile

\*\*RF = Residu traite a l'eau seulement

Nv = Niveau de traitement

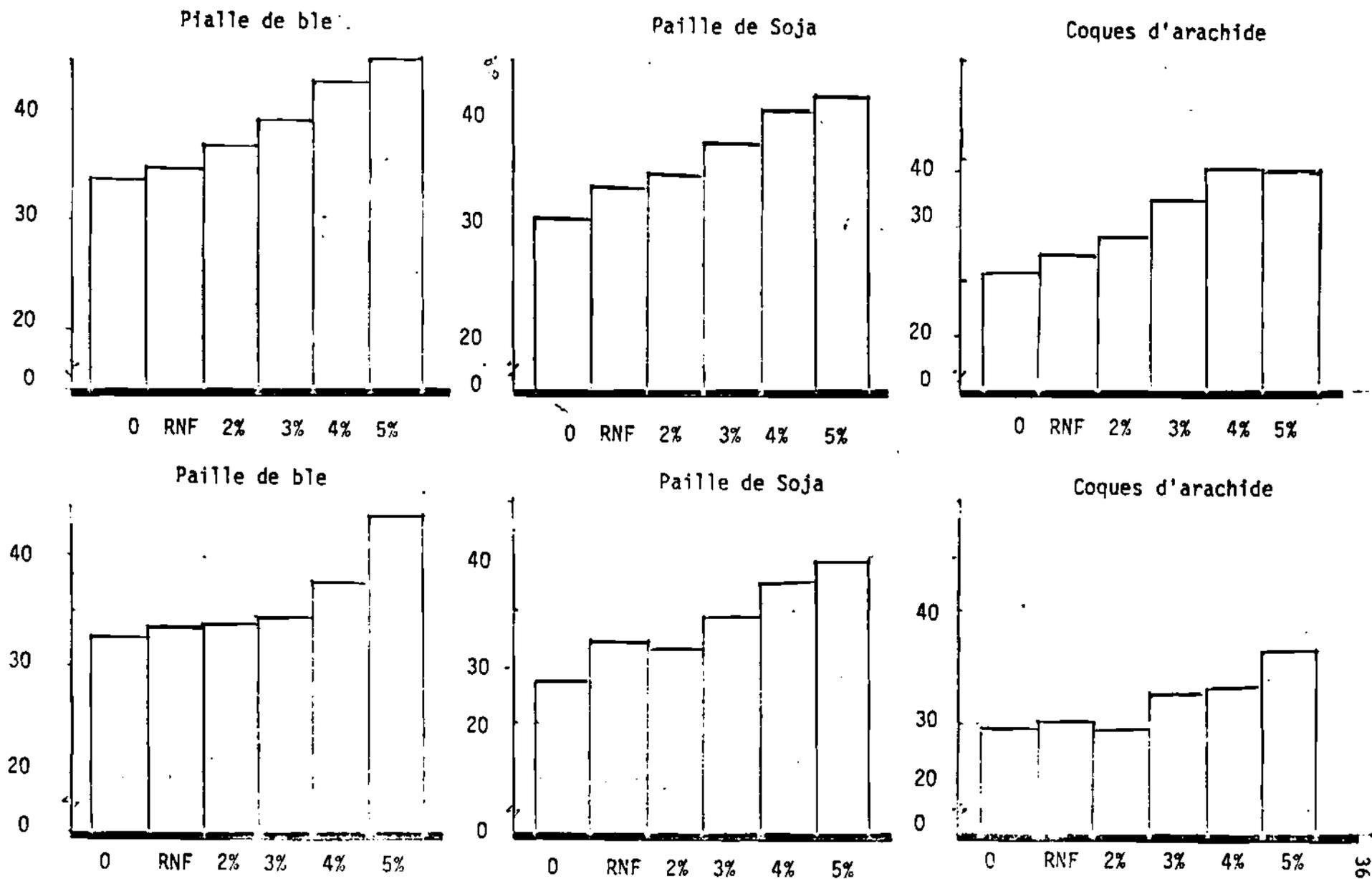


Figure 2 Effect de NaOH sur la digestibilité *in vitro* des résidus de récoltes traités

## 2. Paille de soja.

Pour ce qui concerne la paille de soja, les effets des traitements à l'hydroxide de sodium sur la digestibilité de la matière sèche et de la matière organique étaient semblables à ceux produits sur la paille de blé. La digestibilité de la matière sèche a augmenté avec l'élévation de la concentration de l'hydroxide de sodium. Les traitements avec les concentrations de 4 à 5 p. 100 de l'alcali étaient très rapprochés dans leurs effets (40,3 et 41,9% respectivement). Dans l'ensemble, le niveau de la digestibilité de la matière sèche de la paille de soja a été inférieur à celui de la paille de blé, par contre le pourcentage d'amélioration de la digestibilité de la matière sèche était plus élevé avec la paille de soja qu'avec la paille de blé (tableau 8). La digestibilité de la matière organique de la paille de soja (Tableau 6) a aussi augmenté avec l'accroissement de la concentration de l'hydroxide de sodium. L'amélioration de la digestibilité de la matière organique était meilleure à 5 p. 100 qu'à 4 p. 100. Le pourcentage d'amélioration a été aussi plus élevé à 4 p. 100 qu'à 3 p. 100. Cependant, l'amélioration obtenue avec le témoin ensilé. Au niveau du traitement à 5 p. 100, la digestibilité de la matière organique de la paille de soja a été inférieure à celle de la paille de blé; mais avec les concentrations d'hydroxide de sodium inférieures à 5 p. 100, les digestibilités de la matière organique des deux pailles étaient très comparables (Tableau 6; Figure 2 et 12). Par contre les pourcentages d'amélioration de la digestibilité de la matière organique étaient à tous les niveaux plus élevés avec la paille de soja qu'avec la paille de blé.

### 3. Coques d'arachides

Les effets des différentes concentrations d'hydroxide de sodium sur la digestibilité de la matière sèche et de la matière organique des coques d'arachide étaient semblables à ceux observés avec les pailles de ble et de soja. Cependant les différences entre les traitements n'ont pas été aussi grandes, et en fait l'effet du traitement sur la digestibilité de la matière sèche était légèrement plus efficace à 4 p. 100 qu'à 5 p. 100. Il est important de noter que par rapport à la digestibilité de la matière organique et de la matière sèche des pailles de ble et de soja, celle des coques d'arachide était moins affectée par le traitement à l'hydroxide de sodium. Par contre, les pourcentages d'amélioration de la digestibilité de la matière sèche et de la matière organique étaient comparables à ceux obtenus avec les pailles de ble et de soja (Tableaux 6,7; figures 11 et 12).

#### *B. Effects de l'ammoniaque*

##### 1. Paille de ble

Comme avec l'hydroxide de sodium, le traitement à l'ammoniaque a produit un effet positif sur la digestibilité de la matière sèche et de la matière organique de la paille de ble (tableaux 6 et 7; figures 3, 5, 6, 13 et 14). Les traitements à 4 et 5 p. 100 d'ammoniaque se sont révélés les plus efficaces dans l'amélioration de la digestibilité de la matière sèche et de la matière organique de la paille de blé (figure 3). Par rapport à la digestibilité de la paille de blé non ensilée, le pourcentage d'amélioration de la digestibilité correspondant au traitement à 5 p. 100 a été de 30,4% pour la matière sèche et 31,4% pour la matière organique. Les données du tableau 8 indiquent que l'ammoniaque a été aussi efficace que

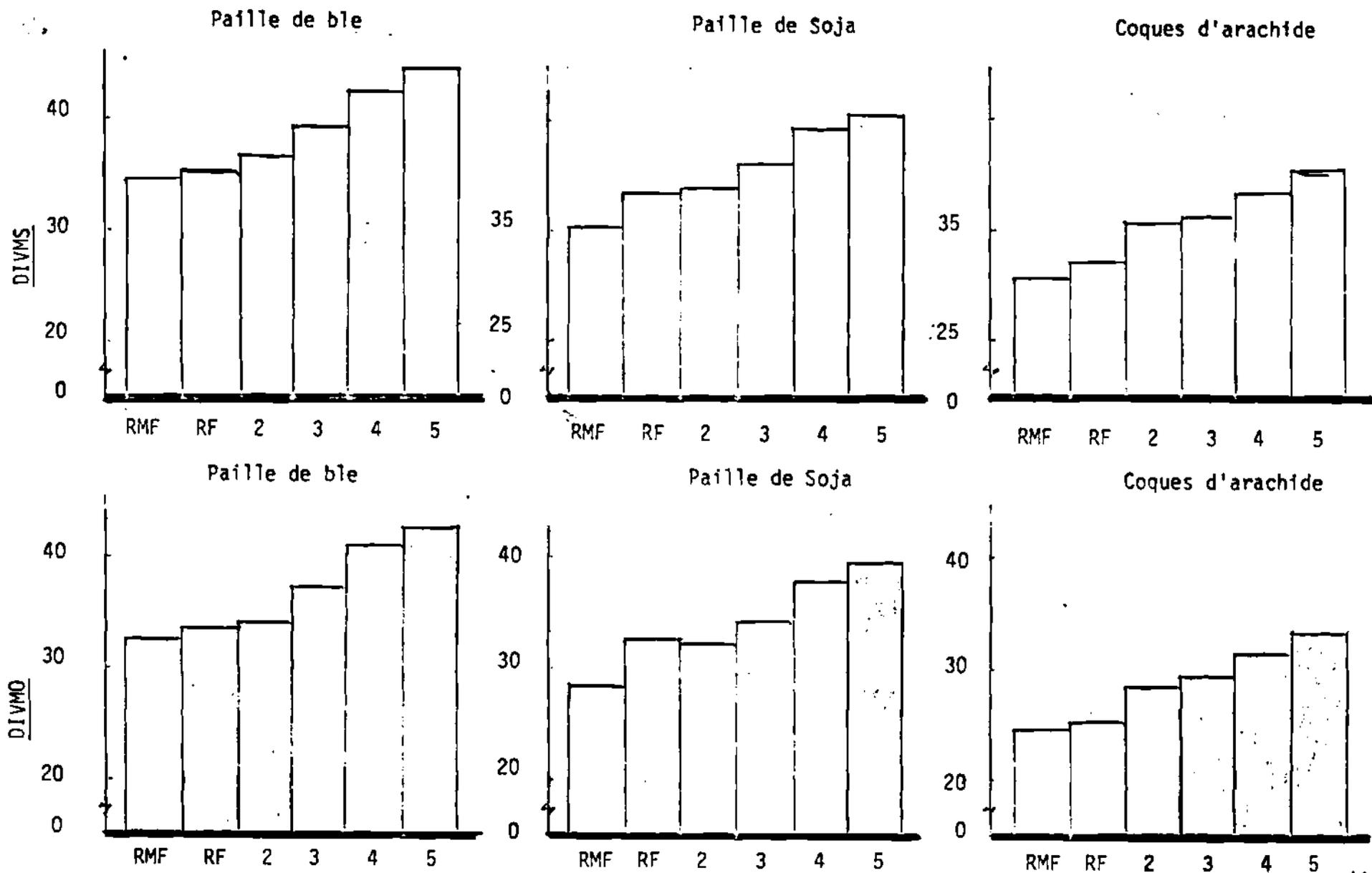


Figure 3 Effets de  $NH_4OH$  sur la digestibilité *in vitro* des résidus de récoltes traités

l'hydroxide de sodium dans l'amélioration de la digestibilité de la matière sèche de la paille de blé. Cependant aux niveaux des traitements a 3 et 4 p. 100 l'ammoniaque a été plus efficace que l'hydroxide de sodium dans l'amélioration de la digestibilité de la matière organique de la paille de blé. Les pourcentages d'amélioration de la digestibilité de la matière organique correspondant aux niveaux des traitements a 2 et 5 p. 100 des deux alcalis sont assez rapprochés (Tableaux 6 et 9).

## 2. Paille de soja

Le traitement à l'ammoniaque a aussi amélioré de façon linéaire la digestibilité de la matière sèche et de la matière organique de la paille de soja. Il est important de noter qu'au même niveau de traitement à l'ammoniaque la différence entre la digestibilité de la matière sèche et celle de la matière organique est relativement plus faible (tableaux 6 et 7). La digestibilité de la matière sèche et de la matière organique a été plus élevée avec la paille de blé qu'avec la paille de soja. Cependant les données des tableaux 6 et 9 indiquent que l'efficacité du traitement à l'ammoniaque sur la digestibilité de la matière sèche et de la matière organique a été plus grande avec la paille de soja qu'avec celle du blé. Par ailleurs, l'ammoniaque se compare bien à l'hydroxide de sodium dans l'amélioration de la digestibilité de la paille de soja (figure 7 et 8). Les quelques différences observées dans les pourcentages d'amélioration de la digestibilité par les deux alcalis sont négligeables.

## 3. Coques d'arachide

Les effets du traitement à l'ammoniaque sur la digestibilité de la matière sèche et de la matière organique des coques d'arachide ont aussi suivi un modèle linéaire. Les plus hautes digestibilités obtenues à 5 p.

100 d'ammoniaque (36% pour la matière sèche et 34% pour la matière organique) sont nettement inférieures à celles observées avec les pailles de blé et de soja. Par contre, les pourcentages d'amélioration de la digestibilité sont comparables ou supérieurs à ceux obtenus avec les pailles de blé et de soja (Tableaux 8 et 9; figures 13 et 14). L'hydroxide de sodium semble avoir un meilleur effet que l'ammoniaque sur la digestibilité de la matière sèche des coques d'arachides aux niveaux des traitements à 3 et 4 p. 100 seulement. Par contre, le tableau 5 indique que l'ammoniaque a été plus efficace que l'hydroxide de sodium dans l'amélioration de la digestibilité de la matière organique des coques d'arachide (Fig. 10).

### *C. Effets de l'hydroxide de calcium*

#### 1. Paille de blé

Comme avec l'hydroxide de sodium et l'ammoniaque, la réponse de la paille de blé au traitement à l'hydroxide de calcium s'est traduit par une augmentation de la digestibilité de la matière sèche et de la matière organique. Les traitements à 4 et 5 p. 100 ont sensiblement amélioré la digestibilité de la paille de blé: Ces effets sont comparables à ceux produits par l'hydroxide de sodium et l'ammoniaque. Le traitement à 4 p. 100 d'hydroxide de calcium a apporté une amélioration de la digestibilité de 32% pour la matière sèche et 29% pour la matière organique. Au niveau du traitement à 5 p. 100 l'amélioration de la digestibilité a été de 30% pour la matière sèche et 24% pour la matière organique. Les figures 4 et 5 montrent que l'hydroxide de calcium a été plus efficace sur la digestibilité de la matière sèche que sur celle de la matière organique de la paille de blé (Fig. 4). Sur la paille de blé; l'hydroxide de calcium

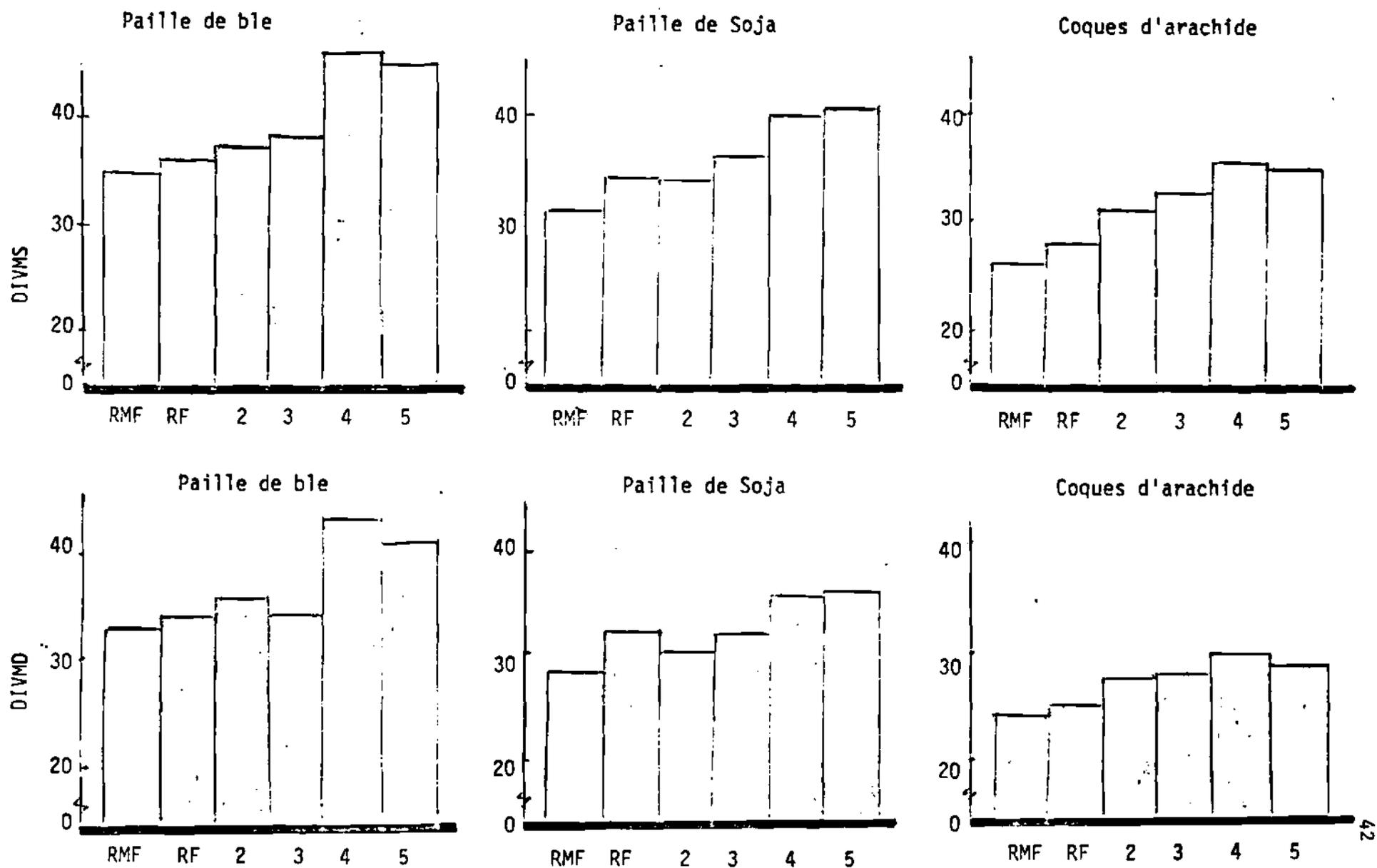


Figure 4 Effets de  $\text{Ca(OH)}_2$  sur la digestibilitel *in vitro* des residus de recoltes traites

a 4 p. 100 est comparable a celui de l'hydroxide de sodium a 5 p. 100 sur la digestibilite de la matiere seche de la paille de ble.

## 2. Paille de soja

La digestibilite de la matiere seche et de la matiere organique de la paille de soja a ete amelioree par suite du traitement a l'hydroxide de calcium. Les traitements a 4 et 5 p. 100 se sont reveles les plus efficaces (Fig. 4) comme avec l'hydroxide de sodium et l'ammoniaque, le niveau de la digestibilite de la matiere seche a ete superieur a celui de la matiere organique. Les effets de l'hydroxide de calcium sur la digestibilite de la matiere organique ont ete inferieur a ceux produits par l'hydroxide de sodium ou a l'ammoniaque. Les figures 7 et 8 montrent que l'hydroxide de calcium n'a pas été aussi efficace que l'hydroxide de sodium ou l'ammoniaque dans l'amelioration de la digestibilite de la paille de soja. Cette différence dans l'efficacité par rapport aux deux autres alcalis est encore plus marquée au niveau de l'action sur la digestibilité de la matiere organique (Fig. 8).

## 3. Coques l'arachide

Les traitements a l'hydroxide de calcium ont produit un effet positif sur la digestibilite de la matiere seche et de la matiere organique des coques d'arachide. Dans les deux cas, l'étendue de la digestion a été augmentée avec l'élévation de la concentration de l'hydroxide de calcium. Cependant, la plus haute digestibilité de la matière sèche observée a 4 p. 100 a été légèrement superieure a celle obtenue a 5 p. 100. Par contre, la digestibilite de la matiere organique a ete considerablement plus faible a 5 p. 100 qu' a 4 p. 100. L'amelioration de la digestibilite de la matiere seche a ete de 35,5% au niveau 4 p. 100 et

33% au niveau 5 p. 100. La digestibilité de la matière organique a été améliorée de 21% au niveau 4 p. 100 et 17,7% au niveau 5 p. 100.

Cependant il est à noter que les effets produits par l'hydroxide de sodium ne sont pas tellement différents aux niveaux des différentes concentrations, ceci est surtout remarquable avec la digestibilité de la matière organique (Tableau 7:Figure 16). De plus l'efficacité de l'hydroxide de calcium sur la digestibilité de la matière organique été plus faible avec les coques d'arachide qu'avec les pailles de blé et de soja (Fig.4). Néanmoins, la digestibilité de matière sèche des coques d'arachide a été plus élevée avec l'hydroxide de calcium qu'avec l'ammoniaque au niveau des traitements à 3 et p. 100. L'hydroxide de calcium a été aussi plus efficace que l'hydroxide de sodium dans l'amélioration de la digestibilité de la matière organique au niveau des traitements à 2,3, et 4 p. 100.

## DISCUSSION

Les résultats de cette étude ont démontré que les traitements avec les hydroxides de sodium, d'ammonium et de calcium ont amélioré la digestibilité de la matière sèche et de la matière organique de la paille de blé, du résidu de soja et des coques d'arachide (Tableaux 6 et 7). Ces résultats sont en harmonie avec ceux observés par Bales *et al.* (1979), Gihad (1979), Klopfenstein (1978), Miller *et al.* (1979), Solaiman *et al.* (1978). Les digestibilités de la matière sèche ou organique ont augmenté linéairement avec l'élévation de la concentration des alcalis. Ceci est en accord avec les observations de Garrett *et al.* (1979), Lesoing *et al.* (1981) et Klopfenstein (1978). Les plus grandes digestibilités ont été observées aux niveaux des traitements avec les plus fortes concentrations des trois alcalis. A tous les niveaux de traitement et quelque soit l'alcali utilisé, la digestibilité de la matière sèche et de la matière organique a été la plus élevée avec la paille de blé suivie par le résidu de soja. Les coques d'arachide ont été par contre les moins digestibles. Pickard *et al.* (1969) avaient indiqué que les résidus de différentes espèces de plantes répondaient différemment aux traitements chimiques. Ces différences observées au niveau de la digestibilité seraient attribuées aux types de fibres et au degré de lignification des plantes respectives (Jayacuriya et Owen, 1975). En effet, la teneur en lignine est la plus faible dans la paille de blé et la plus élevée dans les coques d'arachide. La lignine est connue pour ses effets dépressants sur la digestibilité des résidus agricoles chez les ruminants (Smith *et al.*, 1971). La silice dont la teneur n'est pas indiquée ici (Tableau 3) pour les trois résidus

TABLEAU 8

\*Pourcentage d'amélioration de D I V M S des ensilages des pailles de ble, de soja et des coques d'arachide traitées avec différents niveaux de NaOH, NH<sub>4</sub>OH et Ca(OH)<sub>2</sub>.

Nv	Paille de ble			Paille de soja			Coques d'arachide		
	NaOH	NH <sub>4</sub> OH	Ca(OH) <sub>2</sub>	NaOH	NH <sub>4</sub> OH	Ca(OH) <sub>2</sub>	NaOH	NH <sub>4</sub> OH	Ca(OH) <sub>2</sub>
RF	2,538	2,538	2,538	10,647	10,647	10,647	5,74	5,74	5,74
2%	8,353	7,062	7,110	12,664	10,845	10,487	11,924	20,878	18,947
3%	15,671	14,479	10,317	21,385	18,043	16,929	25,147	21,634	24,625
4%	25,613	24,580	32,000	31,264	30,120	29,096	36,455	30,511	35,502
5%	31,413	30,357	30,003	36,730	33,135	31,777	35,091	39,523	33,317

DIVMS = Digestibilité *in vitro* de la matière sèche

\*Les pourcentages d'amélioration sont calculés par rapport à la DIVMS du témoin non ensilé (RNF)

TABLEAU 9

\*Pourcentage d'amélioration de D I V M O des ensilages des pailles de ble, de soja et des coques d'arachide traitées avec différents niveaux de NaOH, NH<sub>4</sub>OH et Ca(OH)<sub>2</sub>.

Nv	Paille de ble			Paille de soja			Coques d'arachide		
	NaOH	NH <sub>4</sub> OH	Ca(OH) <sub>2</sub>	NaOH	NH <sub>4</sub> OH	Ca(OH) <sub>2</sub>	NaOH	NH <sub>4</sub> OH	Ca(OH) <sub>2</sub>
RF	3,000	3,000	3,000	11,972	11,972	11,972	2,859	2,859	2,859
2%	3,766	4,357	7,698	10,156	11,097	6,556	1,049	18,666	13,242
3%	5,476	14,174	4,180	19,222	18,674	11,677	12,081	20,5082	14,613
4%	14,900	25,581	29,267	30,143	31,837	22,359	15,914	29,461	21,950
5%	33,872	31,446	24,627	36,233	37,287	23,943	30,037	39,181	17,659

DIVMO = Digestibilité *in vitro* de la matière organique

\*Les pourcentages d'amélioration sont calculés par rapport à la DIVMO du terroir non ensilé (RMF)

produit les mêmes effets négatifs sur la digestibilité des résidus agricoles (Van Soest et Jones, 1969). Il semble aussi que la digestibilité a été proportionnelle à la teneur en extractif non azoté. La paille de blé a la plus forte teneur en cette fraction suivie par le résidu de soja. Les coques d'arachide par contre en contiennent le moins.

Les traitements à l'hydroxide de sodium ont été efficaces dans l'amélioration de la digestibilité de la matière sèche et de la matière organique des pailles de blé, de soja et des coques d'arachides. Les plus grandes digestibilités ont été obtenues avec les concentrations de 4 et de 5 p. 100. Ces résultats concordent avec les observations faites par Ololade *et al.* (1970) et Lesoing *et al.* (1981). Ces investigateurs avaient indiqué que la digestibilité de matière sèche et de la matière organique de la paille d'orge augmentait avec l'élévation de la concentration de l'hydroxide de sodium. Cependant les différences dans la digestibilité entre les niveaux des traitements à 4 p. 100 et 5 p. 100 ont été négligeables. Ces observations sont en accord avec des études antérieures menées dans ce laboratoire sur la digestibilité du résidu de soja (Hill, 1981). Ces études avaient aussi indiqué que la faible différence entre les digestibilités observées aux niveaux des traitements à 4 et 5 p. 100 d'hydroxide de sodium ne justifiait pas économiquement un traitement à 5 p. 100 de cet alcali. En fait, avec la coque d'arachide, la digestibilité de la matière sèche a été plus grande à 4 p. 100 qu'à 5 p. 100. Gihad (1979) avait observé que la digestibilité *in vivo* de la matière sèche des pailles d'herbes (*Hyparrhenia spp.*) n'augmentait plus au-delà du traitement à 4 p. 100 d'hydroxide de sodium. Au niveau du traitement à 5 p. 100, la digestibilité de la matière organique des coques

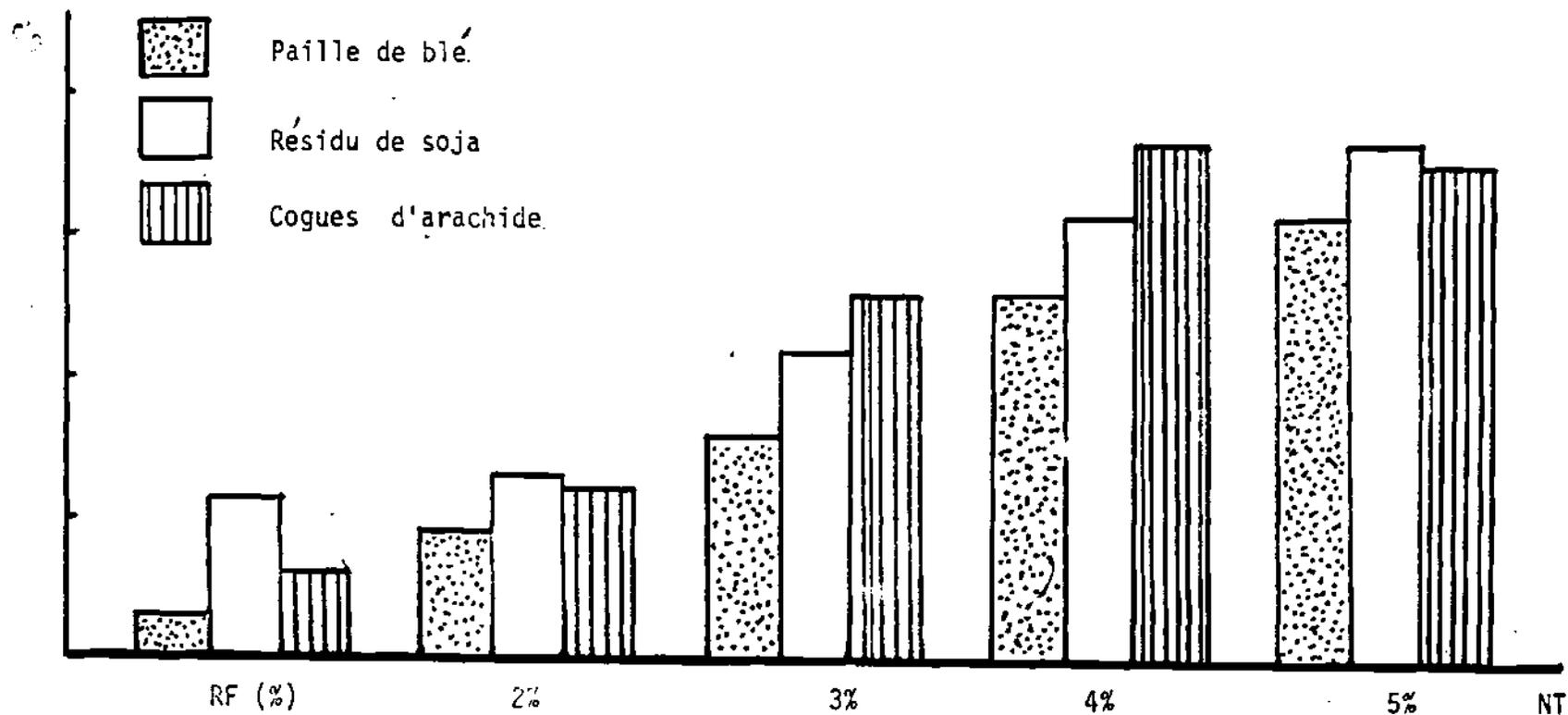


Figure 5 : Pourcentages d'amélioration de la D I V M S des ensilages de paille de blé, de résidu de soja et des coques d'arachides traitées avec NaOH

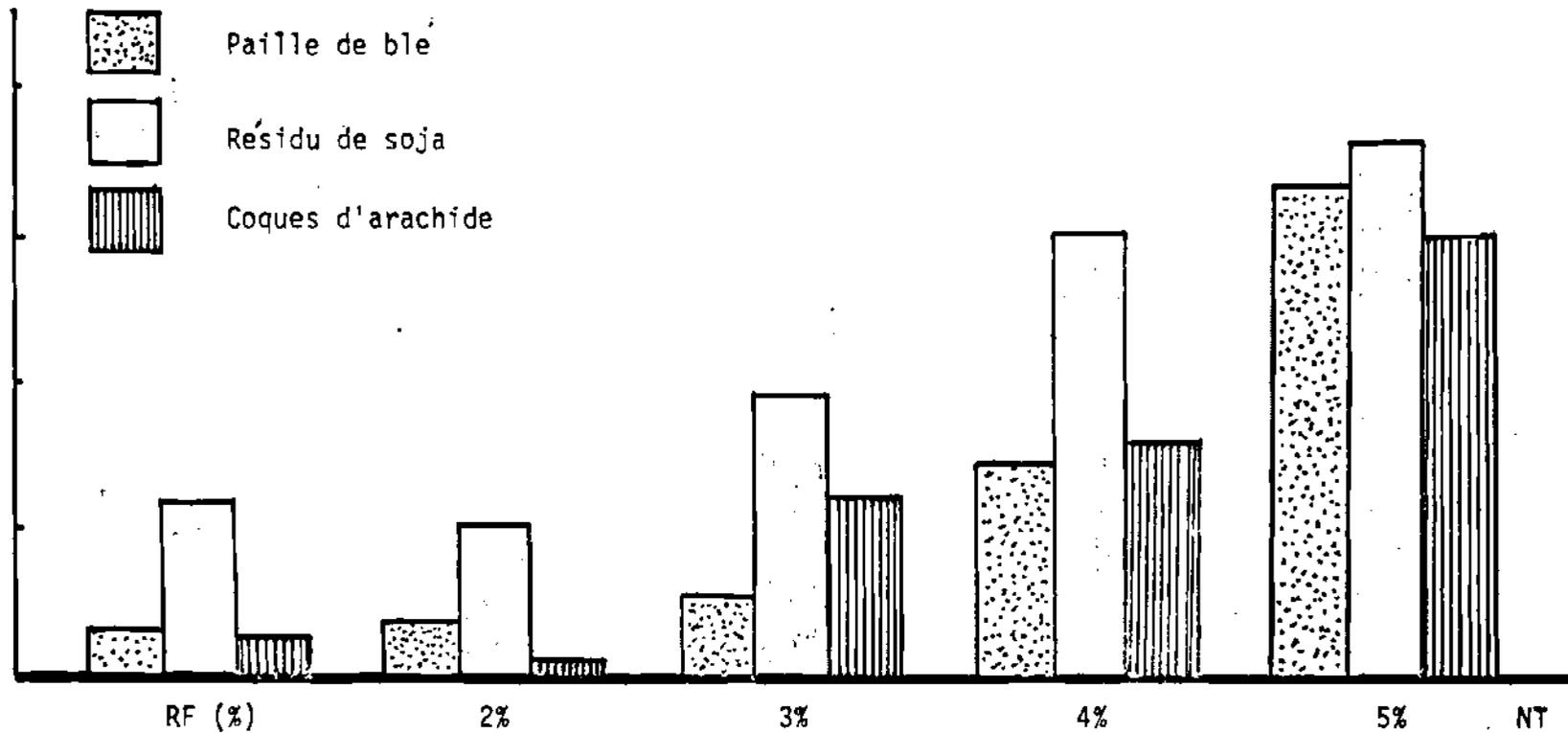


Figure 6: Pourcentage d'amélioration de la D L V M O des ensilages de paille de ble, de résidu de soja et des coques d'arachides traités avec NaOH

d'arachide a été remarquablement plus grande que celle observée à 4 p. 100. Il est à noter que les digestibilités de la matière sèche sont supérieures à celles de des matières organiques. Pour la paille de blé, le pourcentage d'amélioration de la digestibilité de la matière organique est plus élevé que celui de la matière sèche au niveau du traitement à 5 p. 100. Par contre, sur la paille de soja et les coques d'arachide, l'hydroxide de sodium a été plus efficace dans l'amélioration de la digestibilité de la matière sèche que dans celle de la matière organique. Les pourcentages d'amélioration de la digestibilité montrent que la paille de soja a été la plus affectée par le traitement à 5 p. 100 d'hydroxide de sodium. L'efficacité de ce même traitement a été aussi plus grande avec les coques d'arachide qu'avec la paille de blé au niveau des concentrations de 3 et 4 p. 100. Des investigateurs avaient indiqué que le traitement à l'hydroxide de sodium augmentait considérablement la digestibilité des fourrages grossiers (Bales *et al.*, 1979; Waller, 1976; Waldo, 1977). A l'exception des coques d'arachide, l'hydroxide de sodium a été plus efficace que les hydroxides d'ammonium et de calcium dans l'amélioration de la digestibilité de la matière sèche. Bales *et al.* (1979) avaient aussi observé que l'hydroxide de sodium était supérieur à l'hydroxide d'ammonium dans l'amélioration de la digestibilité de la matière sèche du résidu de mil. Klopfenstein (1978) à son tour avait trouvé que l'amélioration apportée par l'hydroxide de sodium sur la digestibilité de la matière sèche du rachis de maïs était plus grande que celle apportée par l'hydroxide de calcium. (Klopfenstein, 1978)

Les effets de l'hydroxide d'ammonium sur la digestibilité de la matière organique et de la matière sèche des différents résidus sont comparables.

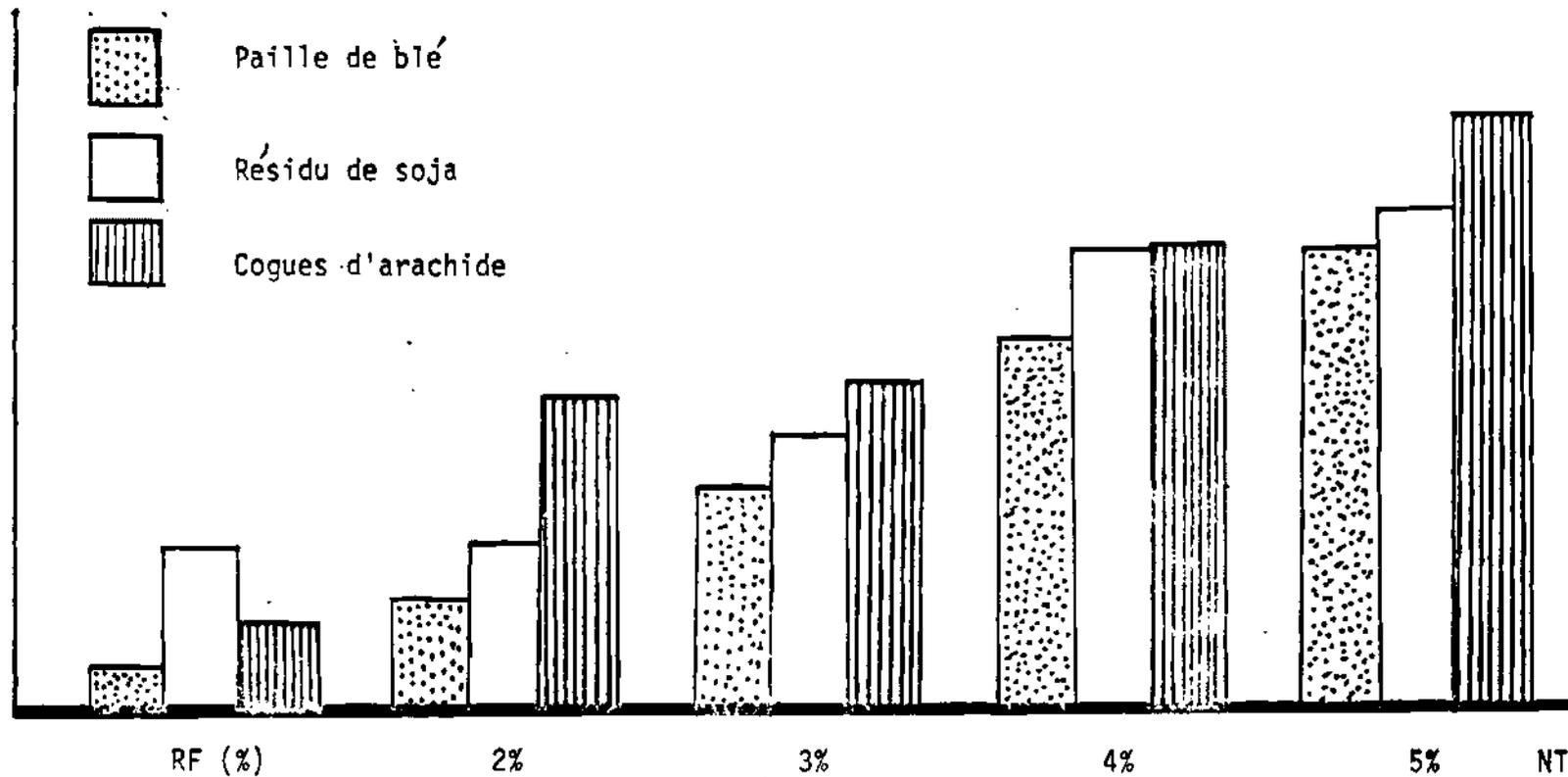


Figure 7: Pourcentage d'amélioration de la D I V M S des ensilages de paille de blé, de résidu de soja et des coques d'arachides traitées avec  $NH_4OH$

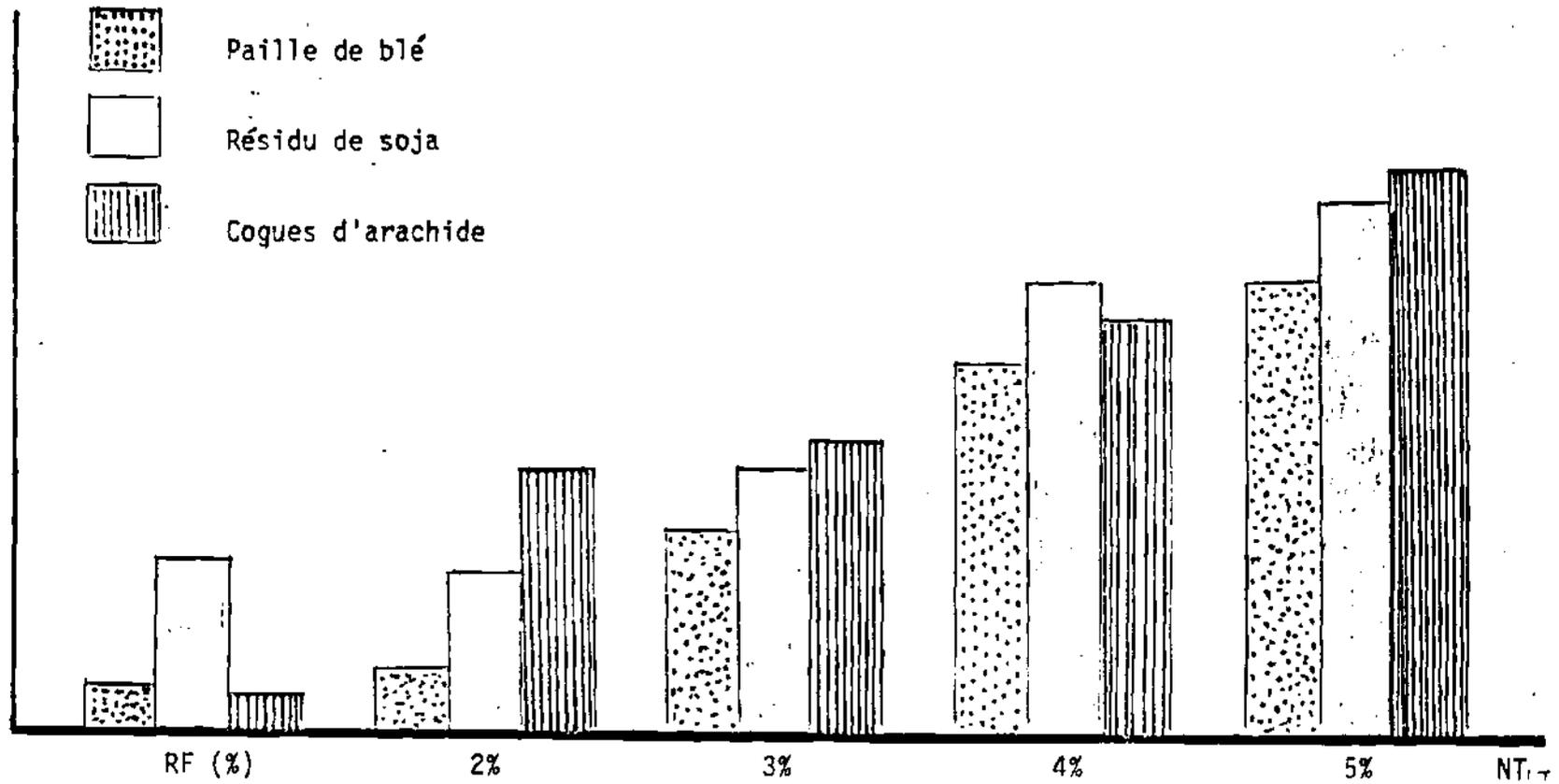


Figure 8: Pourcentages d'amélioration de la D I V M S des ensilages de paille de blé, de résidu de soja et des cogues d'arachide traités avec  $NH_4OH$ .

Ce traitement a été autant efficace dans l'amélioration de la digestibilité de la matière sèche que dans celle de la matière organique. Dans l'ensemble, l'augmentation a été progressive avec l'élévation de la concentration de cet alcali. Des observations similaires avaient été faites par Miller *et al.* (1979); Willis *et al.*, Pidgen (1979) et Bales *et al.* (1979). Dans ces études, cependant les digestibilités des pailles de blé, d'orge, d'avoine et des résidus du mil n'augmentaient que très faiblement au-delà du traitement à 3 p. 100 d'hydroxide d'ammonium.

Dans la présente étude les effets produits par cet alcali sur la digestibilité de la matière sèche des pailles de blé et de soja ont été légèrement plus faibles que ceux observés avec l'hydroxide de sodium. Néanmoins l'hydroxide d'ammonium a été plus efficace que l'hydroxide de sodium sur la digestibilité de la matière sèche des coques d'arachide et aussi sur la digestibilité de la matière organique des trois résidus. Ceci serait probablement dû au fait que l'hydroxide d'ammonium améliore la teneur en azote de ces résidus (Horton et Steacy, 1979). Néanmoins dans une étude préalable menée dans ce laboratoire sur la croissance des jeunes moutons, nous n'avons pas observé une supériorité de l'hydroxide d'ammonium sur l'hydroxide de sodium, au contraire son effet tendait à être plus faible (Patrick, 1981). Les pourcentages d'amélioration de la digestibilité de la matière sèche et de la matière organique ont été les plus élevés avec les coques d'arachides à tous les niveaux de traitement. Par contre l'efficacité de ce traitement a été la moins accentuée sur la digestibilité de la paille de blé.

Dans l'ensemble les effets produits par l'hydroxide de calcium ont été plus faibles que ceux observés avec les hydroxides de sodium et

d'ammonium. Ceci est surtout remarqué au niveau de la digestibilité de la matière organique de la paille de soja et des coques d'arachide (Tableaux 8 et 9). Waller et Klopfenstein (1975) et Bales *et al.* (1979) avaient indiqué que l'hydroxide de calcium n'était pas aussi efficace que les hydroxides de sodium ou d'ammonium dans l'amélioration de la digestibilité *in vivo* de plusieurs résidus agricoles (pailles de blé et d'orge, rachis de maïs et résidu du mil). Cependant dans son étude sur le gain de poids chez les moutons, Patrick (1981) a trouvé que l'efficacité de la paille de soja traitée à l'hydroxide de calcium était intermédiaire entre celle des pailles traitées à l'hydroxide de sodium ou à l'hydroxide d'ammonium au même niveau 4 p. 100. Par ailleurs, au delà des traitements à 3 p. 100 l'hydroxide de calcium se comparait assez bien aux hydroxides de sodium et d'ammonium dans leurs effets sur la digestibilité de la matière sèche des trois résidus. Il est à noter aussi que la digestibilité *in vitro* de la matière sèche de la paille de blé a été la plus élevée au niveau du traitement à 4 p. 100 de cet alcali (Tableau 8). Par ailleurs au delà des traitements à 3 p. 100, l'hydroxide de calcium se comparait assez bien aux hydroxides de sodium et d'ammonium dans leurs effets sur la digestibilité de la matière sèche des trois résidus. Par contre l'effet de cet alcali sur la digestibilité de la matière organique a été moins accentué par rapport à ceux des hydroxide de sodium et d'ammonium. Les pourcentages d'amélioration de la digestibilité de la matière sèche sont plus élevés avec les coques d'arachide et plus faibles avec la paille de blé. Contrairement à ce fait observé, les pourcentages d'amélioration de la digestibilité de la matière organique sont plus élevés avec la paille de blé et plus faibles avec les coques d'arachide.

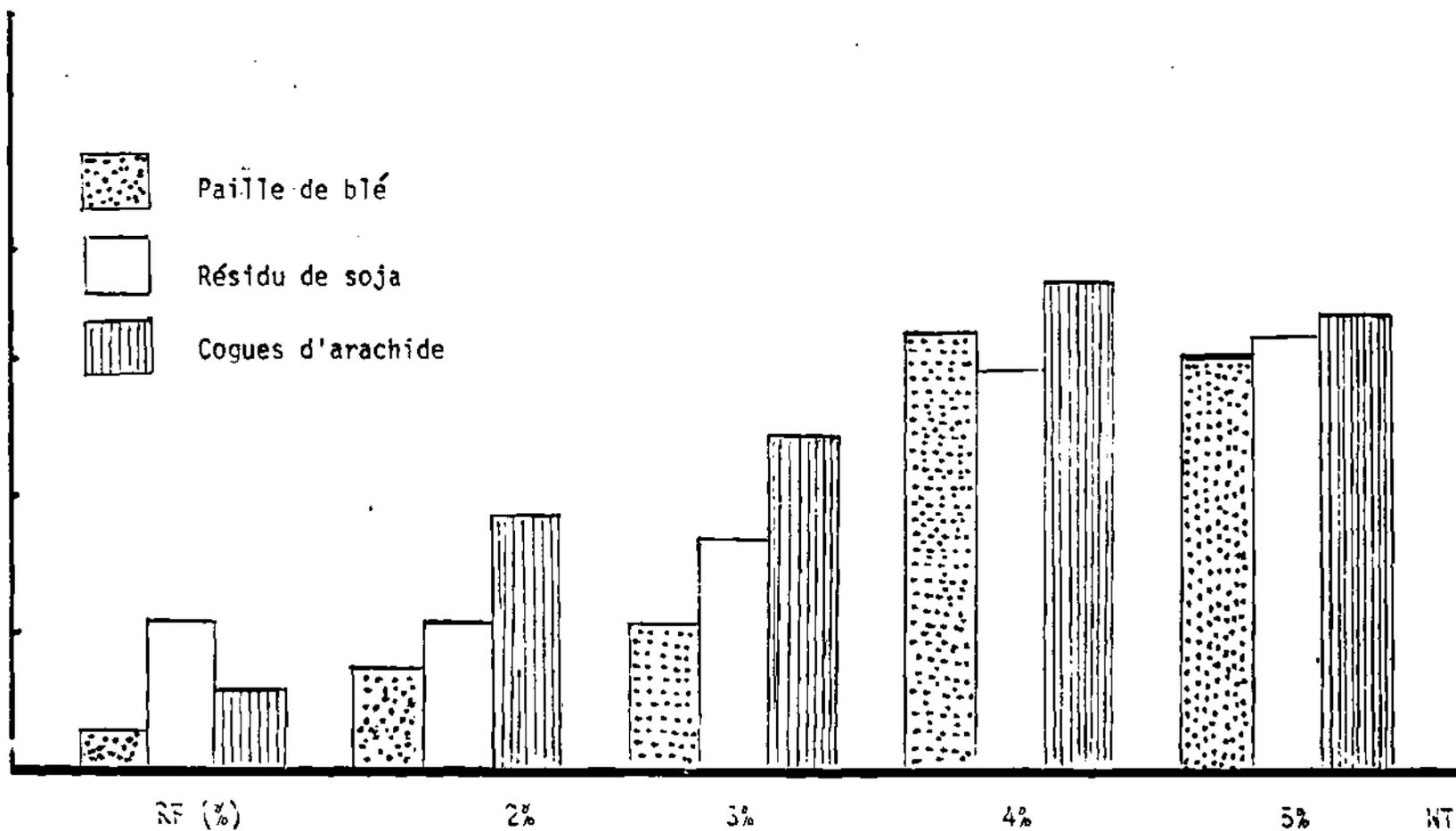


Figure 9: Pourcentages d'amélioration de la D I V M S des ensilages de paille de blé, de résidu de soja et des cogues d'arachide traités avec  $\text{Ca}(\text{OH})_2$

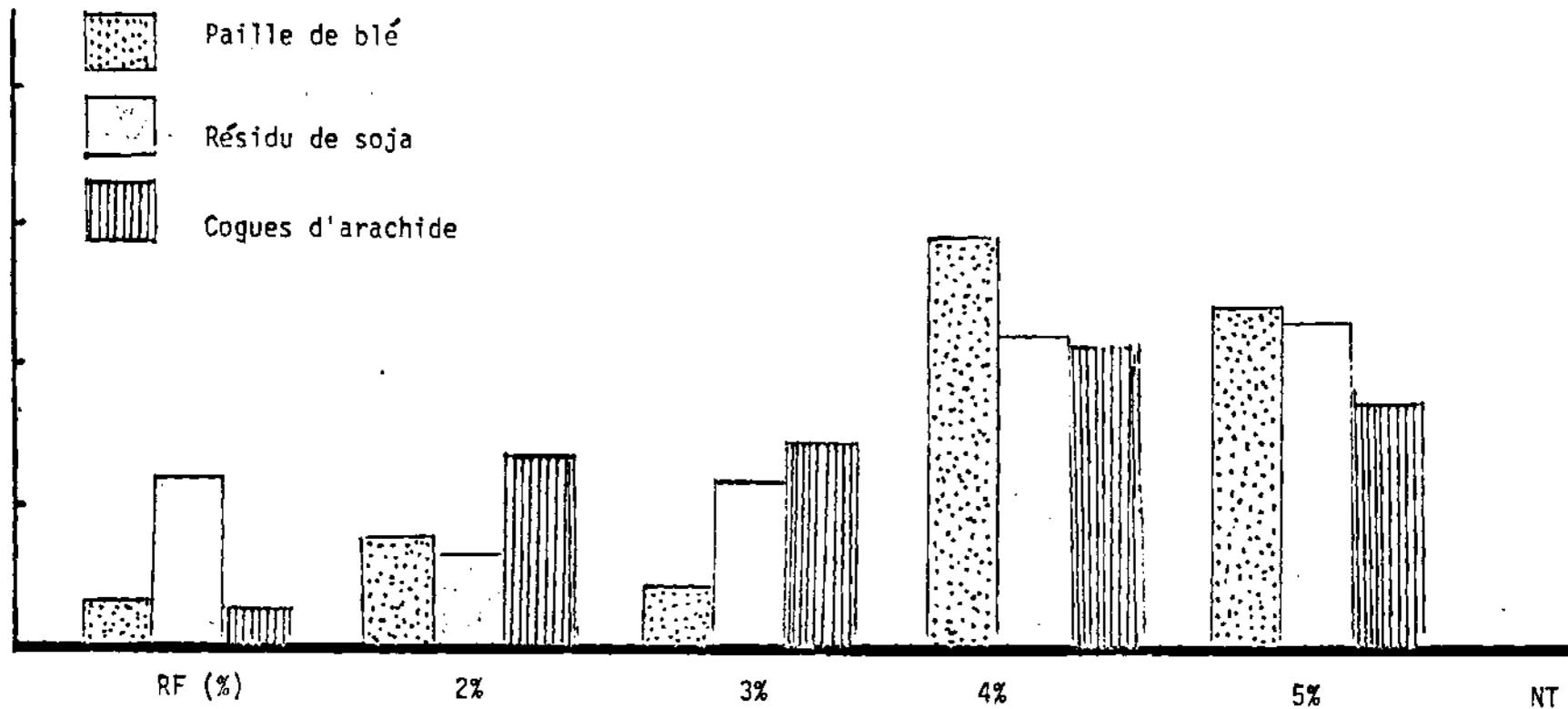


Figure 10: Pourcentages d'amélioration des D I V M O des ensilages de paille de blé, de résidu de soja et des coques d'arachide traités avec  $\text{Ca}(\text{OH})_2$

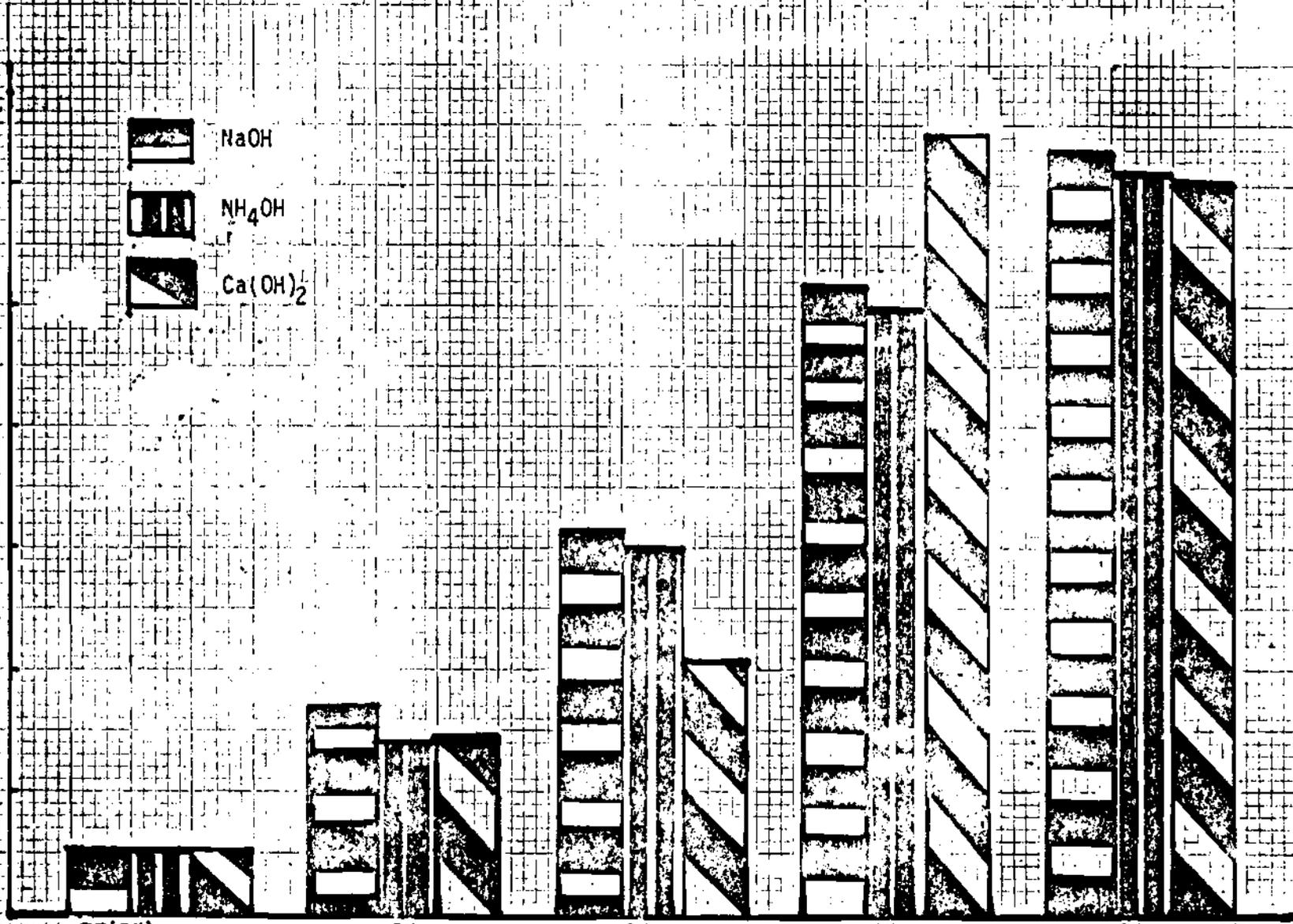
Cette étude semble indiquer que le degré d'amélioration apporté dans la digestibilité de la matière sèche est inversement proportionnel à la digestibilité de la matière sèche de ces résidus. Cette digestibilité serait à son tour inversement liée au taux de lignine dans les résidus respectifs.

% A  
35  
30  
25  
20  
15  
10  
5  
0

NaOH  
NH<sub>4</sub>OH  
Ca(OH)<sub>2</sub>

RF(0%) 2% 3% 4% 5% NT

Figure II: Pourcentage d'amélioration de la DIVMS de la matière sèche de la paille de blé traitée avec NaOH, NH<sub>4</sub>OH et Ca(OH)<sub>2</sub>



% A

35

30

25

20

15

10

5

0



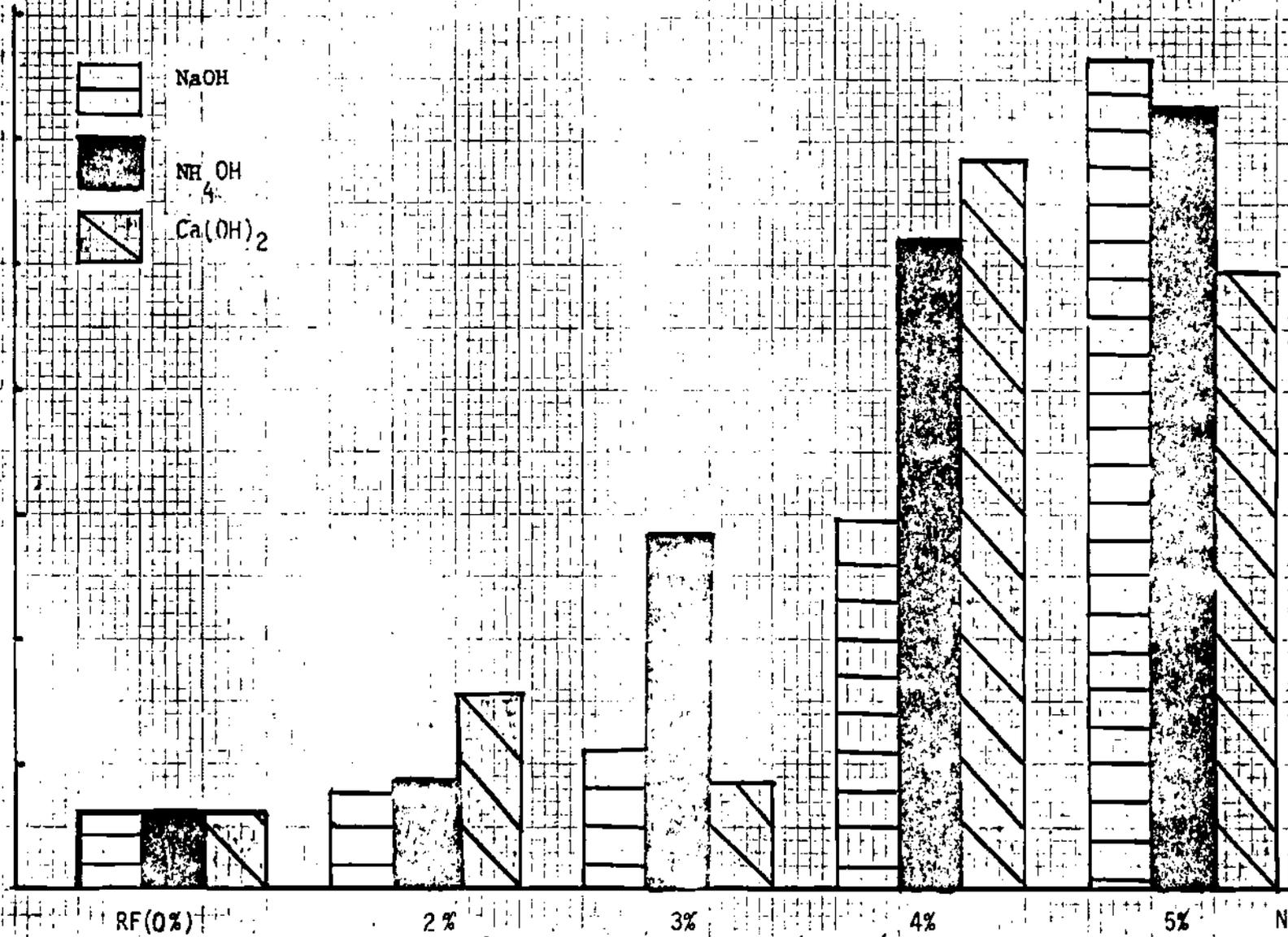
NaOH



NH<sub>4</sub>OH



Ca(OH)<sub>2</sub>



RF(0%)

2%

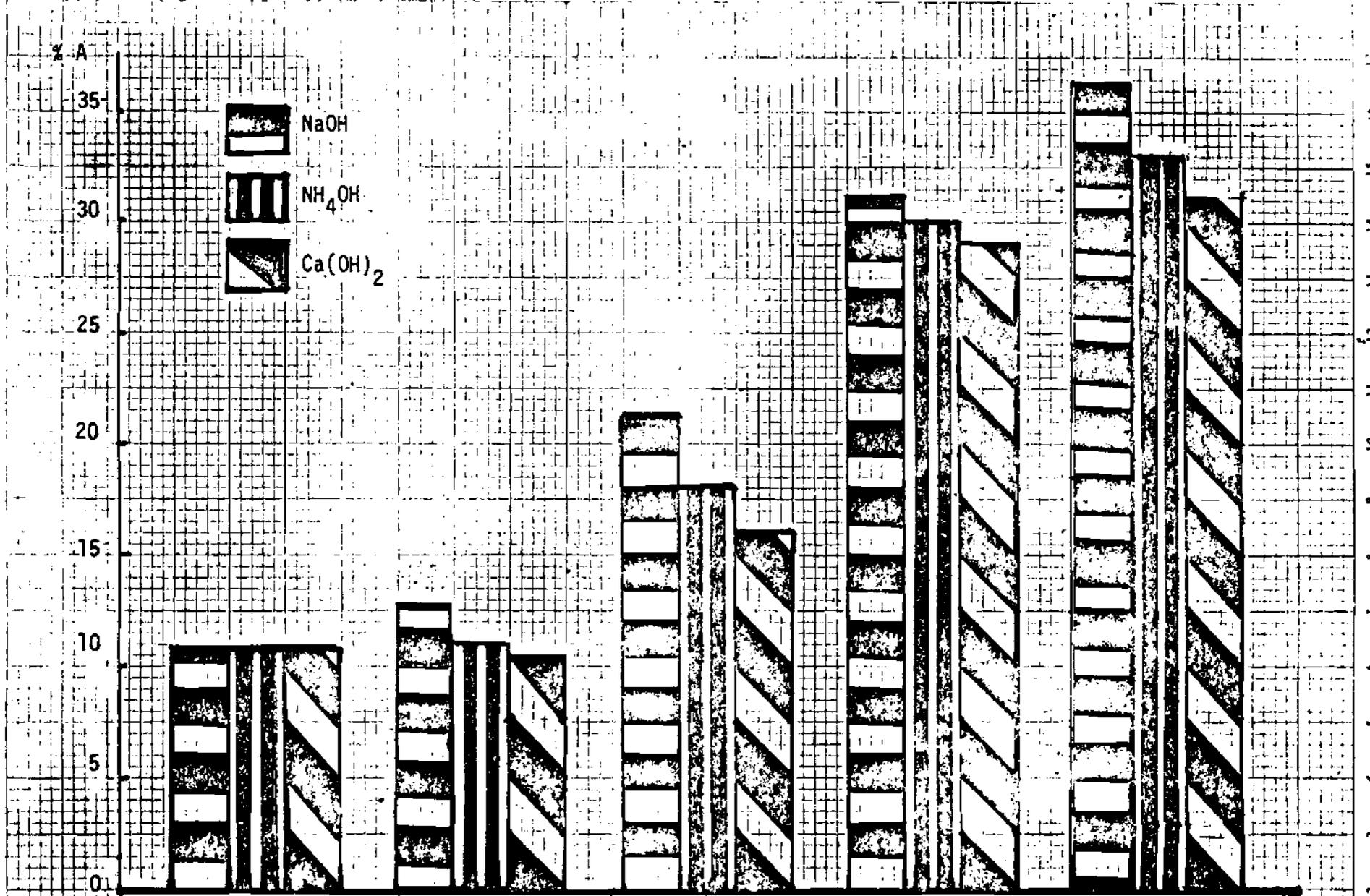
3%

4%

5%

NT

Figure 12: Pourcentage d'amélioration de la digestibilité in vitro de la matière organique de la paille de blé traitée avec NaOH, NH<sub>4</sub>OH et Ca(OH)<sub>2</sub>



RF(0%)  
 Figure 17: Pourcentage d'amélioration de la DIVMS du résidu de soja traité avec NaOH, NH<sub>4</sub>OH et Ca(OH)<sub>2</sub>

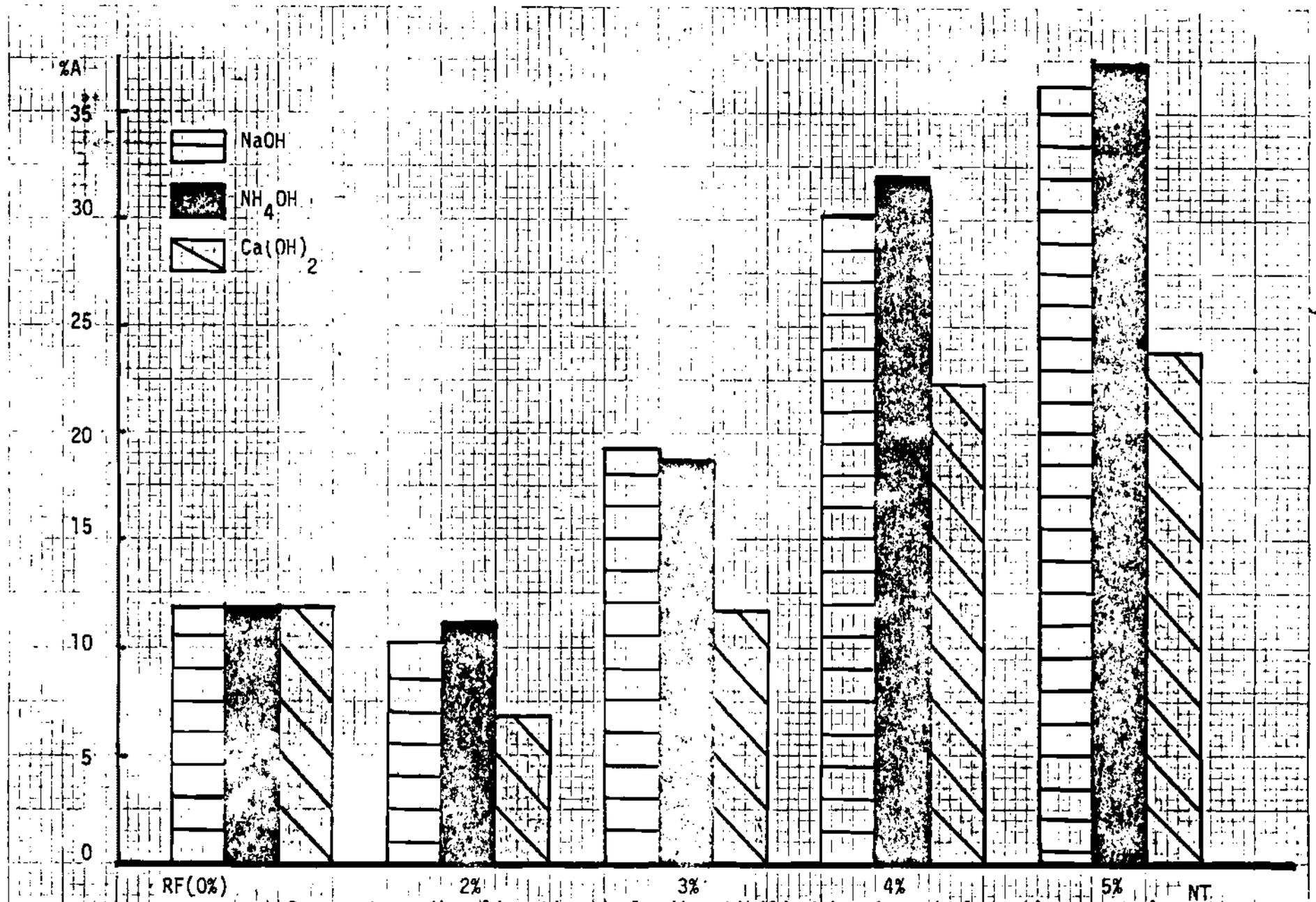


Figure 14: Pourcentage d'amélioration de la digestibilité *in vitro* de la matière organique due résidu de soja traité avec NaOH NH<sub>4</sub>OH et Ca(OH)<sub>2</sub>

% A

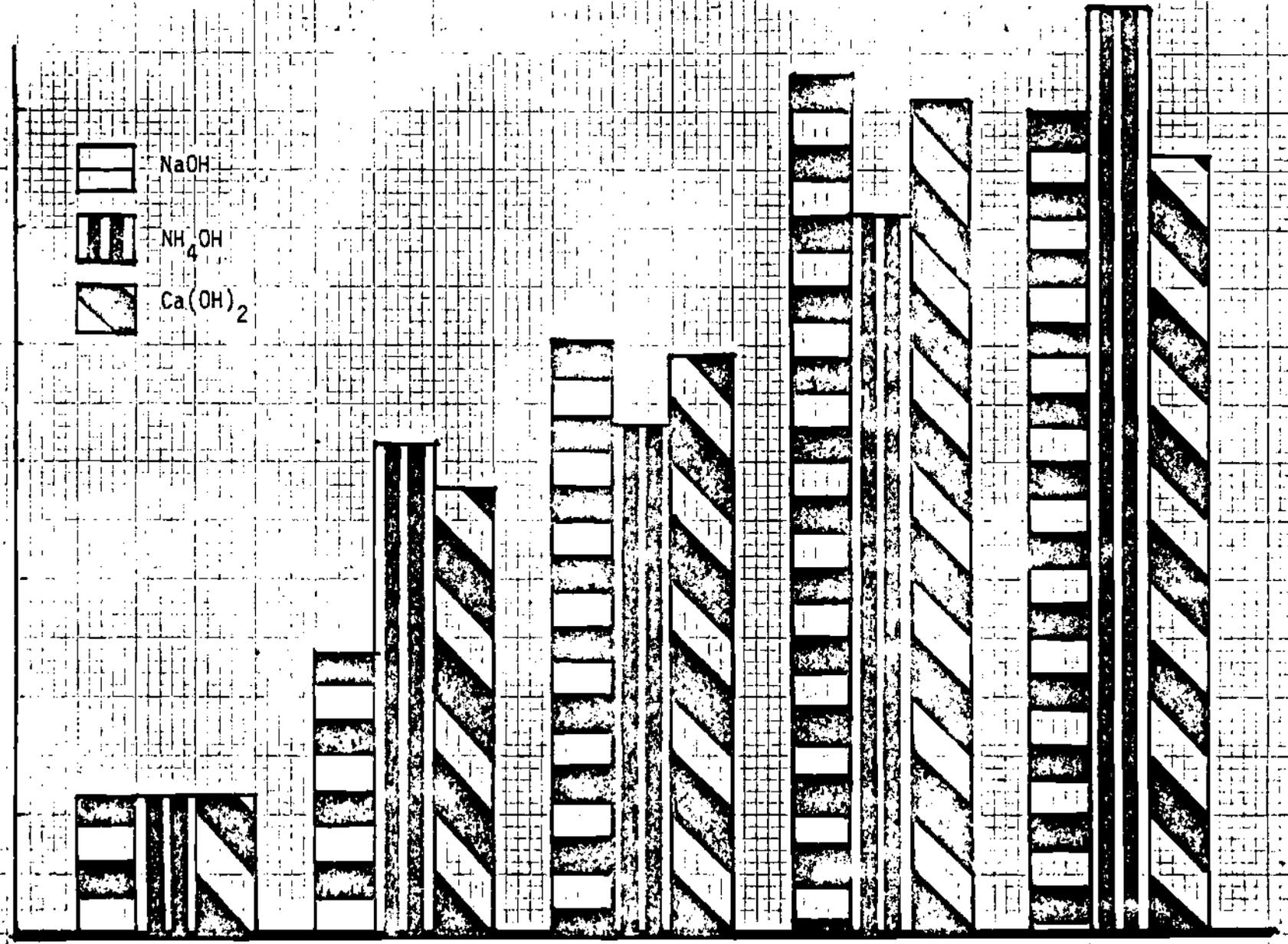
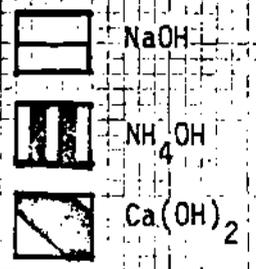


Figure 15 : Pourcentage d'amélioration de la DIVMS des coque d'arachide traitées avec NaOH NH<sub>4</sub>OH et Ca(OH)<sub>2</sub>

% A

35

30

25

20

15

10

5

0



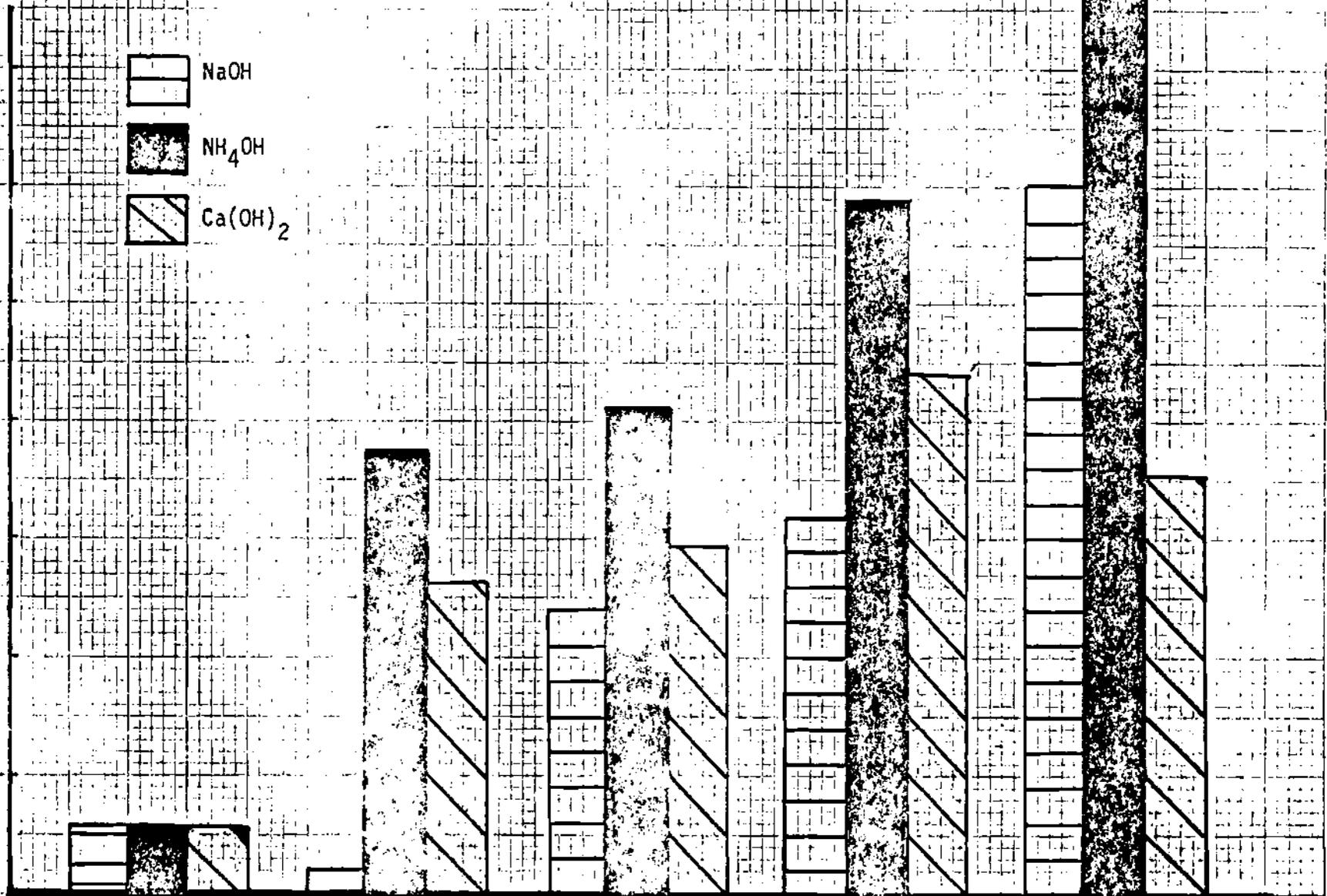
NaOH



NH<sub>4</sub>OH



Ca(OH)<sub>2</sub>



RF(0%)

2%

3%

4%

5%

NT

Figure 16: Pourcentage d'amélioration de la DIVMO des coques d'arachide traitées avec NaOH, NH<sub>4</sub>OH et Ca(OH)<sub>2</sub>

## CONCLUSION

Cette étude nous a permis de mettre en évidence l'influence des traitements avec les hydroxides de sodium, d'ammonium et de calcium sur la digestibilité de la matière sèche et de la matière organique de la paille de blé, du résidu de soja et des coques d'arachide. Cette influence a été traduite par une augmentation appréciable de la digestibilité de la matière sèche et de la matière organique de ces trois résidus. Les résultats obtenus (Tableaux 8,7) montrent que la digestibilité de la matière sèche et de la matière organique augmente linéairement en fonction de l'élévation de la concentration des alcalis utilisés dans le traitement. La digestibilité de la matière sèche a été généralement plus élevée que celle de la matière organique. La paille de blé s'est révélée plus digestible que le résidu de soja. Les plus faibles digestibilités ont été observées avec les coques d'arachide.

Les hydroxides de sodium et d'ammonium se sont révélés plus efficaces que l'hydroxide de calcium dans le traitement alcalin des trois résidus. L'amélioration de la digestibilité de la matière sèche et de la matière organique a été beaucoup plus appréciable avec les traitements à 4 et 5 p. 100 des alcalis utilisés. Cependant pour tous les trois alcalis, les traitements à 4 p. 100 pourraient être les plus économiques.

Les résultats de cette expérience n'ont pas la prétention d'être définitifs. Les digestibilités mesurées *in vitro* ne sont applicables que dans la mesure où elles peuvent être répétées *in vivo*. Par conséquent, d'autres études doivent être menées *in vivo* pour confirmer la validité de ces résultats. Par ailleurs peu d'investigations ont été menées *in vitro*

ou *in vivo* sur la digestibilité de la paille de soja et des coques d'arachide traitées chimiquement. En outre d'autres investigations devraient essayer des combinaisons d'hydroxides de sodium et de calcium ou d'hydroxides d'ammonium et de calcium afin d'établir de façon plus précise si la contribution de l'hydroxide de calcium est de nature chimique ou nutritionnelle. Il n'y a pas de doute que l'amélioration de la digestibilité des résidus agricoles par les traitements chimiques peut contribuer énormément à augmenter leur utilisation dans l'alimentation des ruminants. Ceci permettra de réduire l'emploi des grains dans l'alimentation du bétail et de les rendre plus disponibles pour la consommation humaine. Le traitement chimique des résidus de récolte est facilement applicable sur les fermes de grandes exploitations animales et aussi chez les petits éleveurs des pays en voie de développement. Cependant l'étendue de l'application de ce procédé dépendra du prix des produits chimiques dans les différentes régions et aussi de la productivité qui découlerait de cette pratique. Il est aussi important de souligner que les différents résidus agricoles répondent différemment aux traitements chimiques appliqués. Par conséquent les résultats des traitements alcalins de certains résidus déterminés ne sauraient être appliqués à d'autres résidus à moins qu'ils ne soient expérimentalement vérifiés.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Al-Rabat, M.F. and D.P. Heaney, 1978. The effects of anhydrous ammonia treatment of wheat straw and steam cooking of aspen wood on their feeding value and on ruminal microbial activity. II. Fermentable energy and microbial growth derived from ammonia nitrogen in the ovine rumen can. *J. Animal Sci.* 58:453.
- Anderson, D. and A.T. Ralston, 1973. Chemical Treatment of ryegrass straw: *In vitro*, dry matter digestibility and compositional changes. *J. Animal Sci.* 37:148.
- Arnason, J. and Mo., 1977. Ammonia Treatment of straw. In 3rd straw Utilization Conference. A.R. Stainforth, Ed., Oxford, England. Feb. 24 and 25. p. 25.
- Bales, G.L., D.W. Kellogg and D.D. Miller, 1979. Comparison of ammonium, potassium, sodium chloride and hydroxylions on *In vitro* dry matter disappearance of milo stalks. *J. Animal Sci.* 49:1324.
- Beardsley, D.W., 1964. Symposium of Forage utilization: nutritive value of forage as affected by physical form. Part II. Beef cattle and sheep studies. *J. Animal Sci.* 23:239.
- Beckman, E., 1921. Conversion of grain straw and lupins into feed of high nutritive value. *Chem. Abstr.* 16:765.
- Bergen, W.G., 1970. Osmolarity and rumen function in sheep. *J. Animal Sci.* 31:236.
- Berger, L.L., J.A. Patterson, T.J. Klopfenstein and R.A. Britton, 1979. Effect of sodium hydroxide on efficiency of rumen digestion. *J. Animal Sci.* 49:1317.
- Braman, W.L. and R.K. Abe, 1977. Laboratory and *In vivo* evaluation of the nutritive value of NaOH treated rice straw. *J. Animal Sci.* 46:496.
- Brian, F. Bland, 1971. Crop Production: cereal and legumes. Academic Press London and New York. p. 2-61.
- Capper, B.S., D.J. Morgan and W.H. Parr, 1977. Alkali-treated roughages for feeding ruminants: a review. *Tropical Sci.* 19:73.
- Cuthbert, N.H., W.S. Thickett, P.N. Wilson and T. Brigstocke, 1978. The use of sodium hydroxide-treated straw in rations for beef cattle. *Animal Prod.* 27:161.
- FAO. Food Outlook. J. No. 8. August 25, 1981. p. 2-5.

- Ferguson, W.S., 1942. The digestability of wheat straw and wheat straw pulp. *Biochem. J.* 36:786.
- Garrett, W.N., H.G. Walker, G.O. Kohler, and M.R. Hart, 1976. Feedlot response of beef steers to diets containing NaOH or  $\text{NH}_3$  treated rice straw. 15th California Feeders Day, Proc., University of California at Davis. p. 39.
- Garrett, W.N., H.G. Walker, G.O. Kohler, and M.R. Hart, 1979. Response of ruminants to diets containing sodium hydroxide or ammonia treated rice straw. *J. Animal Sci.* 48:92.
- Godden, W., 1920. The digestibility of straw after the treatment with soda. *J. Agr. Sci.* 10:437.
- Gihad, E.A., 1979. Intake, Digestibility and nutrient utilization by sheep of sodium hydroxide-treated tropical grass supplemented with soybean or urea. *J. Animal Sci.* 48:1172.
- Gupta, B.S., D.E. Johnson, and F.C. Hinds, 1978a. Soybean straw intake and nutrient digestibility by sheep. *J. Animal Sci.* 46:1086.
- Gupta B.S., D.E. Johnson, and F.C. Hinds, 1978b. Energy partitioning and nitrogen balance of sheep fed soybean straw diets. *J. Animal Sci.* 46:1326.
- Gupta, B.S., D.E. Johnson, F.C. Hinds, and M.C. Minor, 1973. Forage potential of soybean. *Agron, J.* 65:538.
- Hamilton, T.D., H.H. Mitchell, and W.C. Kammlade, 1928. The digestibility and metabolizable energy of soybean products for sheep. *Illinois Agr. Exp. Stat. Bull*, 303.
- Hill R.A., 1981. Effect of Chemical treatment of soybean straw on *in vitro* dry matter digestibility and digestibility by sheep. M.S. Thesis, non published. AL A&M University in Huntsville. Personal Communication.
- Horton, G. M.J., 1978. The intake and digestibility of ammoniated cereal straws by cattle. *Can. J. Animal Sci.* 58:471.
- Horton, G.M.J., Feeding value of rations containing non protein nitrogen or natural protein and of ammoniated straw for beef cattle. *J. Animal Sci.* 48:38.
- Horton, G.M.J., and G.M. Steacy, 1979. Effect of anhydrous ammonia treatment on the intake and digestibility of cereal straws by steers. *J. Animal Sci.* 48:1239.
- Jackson, M.G., 1977. Review article: The Alkali Treatment of Straws. *Animal Feed Sci. and Tech.* 2:105.
- Jayacuriya, M.C.N. and E. Owen, 1975. Sodium hydroxide treatment of barley straw, effect of volume and concentration of sodium on digestibility and intake by sheep. *Animal Prod.* 21:313.

- Kammlade, W.G., A.K. Mackey, 1925. The soybean crop for fattening western lambs. Illinois Agr. Exp. Stat. Bull, p.260.
- Kay, M., R.P. Andrews, N.S. Macleod, and T. Walker, 1968. Urea and cereal as supplements for ruminant offered barley straws. Animal Prod. 10:171.
- Kay, M.A., A. Mac Dearmid and R. Massie, 1970. Intensive beef production. Part II. Replacement of cereals with ground straw. Animal Prod. 12:419.
- Klopfenstein, T., 1978. Chemical treatment of crop residues. J. Animal Sci. 46:841.
- Klopfenstein, T.J., R.R. Bartling and W.R. Wood, 1967. Treatments for increasing roughage digestion. J. Animal Sci. 26:1492. (Abstr.)
- Klopfenstein, T.J., R.R. Berger and J.A. Patterson, 1979. Performance of animals fed crop residues. FASEB 38:1939.
- Klopfenstein, T.J., V.E. Krause, M.J. Jones and Walker Woods, 1972. Chemical Treatment of low quality roughages. J. Animal Sci. 35:418.
- Klopfenstein, T.J. and W.Wood, 1970. Sodium and potassium hydroxide treatment of crop residue. J. Animal Sci. 31:246. (Abstr.)
- Koers, W., M. Prokop, and T.J. Klopfenstein, 1972. Sodium hydroxide treatment of crop residue. J. Animal Sci. 35:1131. (Abstr.)
- Koers, W., W.R. Woods and T.J. Klopfenstein, 1970. Sodium hydroxide treatment of corn stover and cobs. J. Animal Sci. 31:1030.(Abstr.)
- Lehman, F., 1905. Process for pulping of liquified materials such as straw, wood and the like in order to prepare fooder. German Pat. No., 169,880, March 26.
- Lesoing G., T. Klopfenstein, I. Rush, and John Ward, 1981. Chemical treatment of wheat straw. J. Animal Sci. 51:263.
- Maing, W.J., D.M. Mowat and W.K. Bilanski, 1971. Digestibility of Na OH treated straw fed alone or in combination with alfalfa silage. Can. J. Animal Sci. 51:743.
- McManus, W.R. and C.C. Choung, 1976. Alkali Treatment of rice straw and rice hulls. J. Agr. Sci. 86:453.
- Miller, B.L., G.C. Gahey, Jr., R.B. Rindsig, L.L. Berger and W.G. Bottje, 1979. *In vitro* and *in vivo* evaluations of soybean residues ensiled with various additives. J. Animal Sci. 49:1545.
- Mowat, D.N. and J.G. Buchanan-Smith, 1978. Ammoniated corn stover with or without monensin for growing steer. Can. J. Animal Sci. 58:805. (Abstr.)

- Mowart, D.N. and B.G. Olofade, 1970. Effect of sodium hydroxide treatment on digestibility and voluntary intake of straw. Can. Soc. Animal Prod. Proc., p. 35. (Abstr.)
- NRC National Academy of Sciences 1969: United States-Canadian Tables of Feed Composition-Second Revision. Washington D.C.
- Oji, V.I., D.N. Mowat and J.E. Winch, 1977. Alkali Treatments of corn stover to increase nutritive value. J. Animal Sci. 44:798.
- Olofade, B.G., D.N. Mowat and J.E. Winch, 1970. Effect of processing methods on the *in vitro* digestibility of sodium hydroxide treated roughages. Can. J. Animal Sci. 50:657.
- Osborn, F., 1957. Renewable resources and Thurman population. In America's National Resources. Roland Press, New York.
- Patrick I. Ikem, 1981. Performance of growing sheep fed soybean straw silage treated with Na OH, Ca (OH)<sub>2</sub> and NH<sub>4</sub> OH. M.S. Thesis, non published. AL A&M University in Huntsville, Personal Communication.
- Patterson, J.A., T.J. Klopfenstein and L. Petersen, 1980. Corn plant residue ammonia treatment. Nebraska Beef Cattle Report. EC. 80-218. p. 24.
- Pickard, D., W.H. Swaz, and G.E. Lamming, 1969. Studies on the nutrition of ruminants. II. The use of ground straw of different particle sizes for cattle from twelve years of age. Animal Prod. 11:543.
- Rexen, F.P. Stigsen, and V. Frus Kristensen, 1975. The effect of a new alkali technique on the nutritive value of straw. Proc. 9th Nutr. Cong. For Feed Manuf., Univ. of Nottingham, p. 65.
- Rexen, F. and K. Vestergaard Thompson, 1976. The effect on digestibility of a new technique for alkali treatment of straw. Anim. Feed Sci. Technol. 1:73-83.
- Roland R. Spencer and Danny E. Akin, 1980. Rumen microbial degradation of potassium hydroxide-treated Coastal Bermudagrass leaf blades examined by electron microscopy. J. Animal Sci. 51:1189.
- Rounds, W. and T. Klopfenstein, 1974. Chemicals for treating forage crop residues. J. Animal Sci. 39:25. (Abstr.)
- Sen, K.C.K., S.C. Ray and S.K. Talapatra, 1942. The nutritive value of alkali-treated cereal straw. Indian J. Vet. Sci. 12:263.
- Singh, M. and M.G. Jackson, 1971. The effect of different levels of sodium hydroxide spray treatment of wheat straw on consumption and digestibility of cattle. J. Agr. Sci. 77:5-10.
- Smith, G.S., A.B. Nelson and E.J.A. Boggino, 1971. Digestibility of forages *in vitro* as affected by silica content. J. Animal Sci. 33:466.

- Solaiman, S.G., G.W. Horn, F.N. Woens, and A.R. Rider, 1978. Ammonium hydroxide treatment of wheat straw. Anim. Sci. Res. Report, Oklahoma Agr. Exp., Oklahoma State Univ. and U.S.D.A., p. 103.
- Solaiman, S.G., G.W. Horn, F.N. Owens, 1979. Ammonium hydroxide treatment of wheat straw. J. Animal Sci. 49:802.
- Sundstol, F., E. Coxworth and D.N. Mowat, 1978. Improving the nutritive value of straw and other low quality roughages by treatment with ammonia. World Animal Review, 26:13.
- Talley, W.J. and J.L. Stallings, 1976. Soybean in Alabama Economic costs and return. Alabama Agr. Exp. Stat., Auburn Univ., Auburn, AL.
- Tarkow, H. and W.C. Feist, 1969. A mechanism for improving the digestibility of ligno cellulosic materials with dilute alkali and liquid ammonia. Advances in Chemistry Series 95. American Chemical Society Washington, D.C. p.197.
- Thomas, V.M., W.L. Cleveland, R.E. Ohms, and J. Bretson, 1979. Effect of variety on the chemical composition of wheat and barley straw. Proc. Am. Soc. Anim. Sci. (Abstr.); p. 723.
- Tilley, J.M.A. and R.A. Terry, 1963. A two-stage technique for the *in vitro* digestion of forage crops. J. British Grassl. Soc. 18:104-111.
- U.S.D.A., 1981. Crop Residue management in livestock production and conservation systems. Part II. Agronomic Considerations of Crop Residue Removal, p. 2-4
- Van Soest, P.J. and L.M.P. Jones, 1969. Effect of Silica in forage upon digestibility. J. Dairy Sci. 51:1644.
- Waiss, A.C., Jr., J. Guggolz, G.O. Kohler, H.G. Walker, Jr. and W.N. Garrett, 1972. Improving digestibility of straws for ruminant feed by aqueous ammonia. J. Animal Sci. 35:109.
- Waldo, D.R., 1977. Potential of chemical preservation and improvement of forages, J. Dairy Sci. 60:306.
- Waller, J.C., 1976. Evaluation of sodium, calcium and ammonium hydroxides for treating crop residues. M.S. Thesis, University of Nebraska, Lincoln.
- Waller, J.C. and T.J. Klopfenstein, 1975. Hydroxides for treating crop residue. J. Animal Sci. 41:424. (Abstr.)
- Watson, S.J., 1941. Increasing the feeding value of cereal straws. J. Royal Agr. Soc. of England. 101:37.
- Wheeler, W.E., C/H. Noller and J.L. White, 1981a. Effect of level of calcium addition and rate of reactivity on response to calcitic limestones in high concentrate diets by beef steers. J Animal Sci. 53:499.

- Wheeler, W.E., C.H. Noller and J.L. White, 1981b. Effect of level calcium and sodium bicarbonate in high concentration diets on performance and nutrient utilization by beef steers. *J. Animal Sci.* 53:499.
- White, L.M., G.P. Hartman, and J.W. Bergman, 1979. Straw digestibility of winter wheat, spring wheat, barley, and oat genotypes in eastern Montana. Personal Correspondence.
- Willis, C.M., O.T. Stallcup and L.L. Kreider, 1979. Influence of sodium hydroxide and enzyme additions on nutritive values of rice straw. *J. Animal Sci.* 50:303.
- Wilson, R.K. and W. Pigden, 1964. Effect of a sodium hydroxide treatment on the utilization of wheat straw and poplar wood by rumen microorgms. *Can. J. Animal* 44:122.