

**ÉTUDE COMPARÉE DE L'INFLUENCE DE L'INGESTION
DE TROIS FORMES AZOTÉES SIMPLES :
URÉE, PHOSPHATE DIAMMONIQUE
OU URÉE-ACIDE PHOSPHORIQUE
SUR QUELQUES CARACTÉRISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUES
DU CONTENU RUMINAL CHEZ LE MOUTON ADULTE**

Rollande DUMONT et J.-L. TISSERAND
avec la collaboration technique de Catherine CORDELET

*Laboratoire de Recherches de la Chaire de Zootechnie,
Centre de Recherches de Dijon, I. N. R. A.,
École Nationale Supérieure des Sciences Agronomiques Appliquées,
21016 Dijon Cedex*

RÉSUMÉ

Chez le mouton adulte, l'influence de l'ingestion de trois formes azotées simples, phosphate diammonique (PDA), urée, urée-acide phosphorique, sur certaines caractéristiques physico-chimiques du contenu de rumen, est étudiée au cours de deux expériences successives.

Dans la première, deux lots de trois moutons ingèrent le phosphate diammonique ou l'urée.

Dans la seconde, trois lots de trois moutons reçoivent phosphate diammonique, urée ou urée-acide phosphorique.

L'apport de phosphate diammonique ou l'addition d'acide phosphorique à l'urée provoque un abaissement significatif du pH du rumen. Cette acidification s'accompagne d'une diminution des concentrations en acides gras volatils totaux, acides acétique et propionique. Le rapport acide acétique/acides gras volatils totaux diminue tandis que le rapport acide propionique/acides gras volatils totaux augmente.

L'ammoniogenèse ne varie pas de façon significative en fonction de la source azotée dans l'essai n° 2 mais se révèle plus élevée avec le phosphate diammonique dans l'essai n° 1.

INTRODUCTION

La valeur azotée réelle de l'urée ajoutée à une ration pour ruminants dépend de la fraction d'azote qui, sous forme d'ammoniac, diffuse hors du rumen et devient donc inutilisable pour les synthèses bactériennes.

Le pH du contenu de rumen influant sur la vitesse de passage de l'ammoniac

à travers la paroi (BLOOMFIELD, 1963), l'acidification du contenu ruminal peut constituer un moyen de limiter cette diffusion. Un certain nombre d'auteurs étudient l'utilisation, dans ce but, de sels d'ammonium (phosphates ammoniacaux), ou encore l'addition d'acides minéraux (acide phosphorique par exemple) à des rations contenant de l'urée. En pratique, ces phosphates se révèlent beaucoup moins toxiques pour les ruminants que l'urée (RUSSEL *et al.*, 1962 ; OLTJEN *et al.*, 1963 ; RICHARDSON, 1966) ; leur appétibilité et leur utilisation digestive et métabolique restent très comparables à celles de l'urée (OLTJEN *et al.*, 1963 ; JOHNSON et McLURE, 1963 ; R. COMPÈRE, 1969), toutefois leur taux d'incorporation dans la ration ne doit pas être trop élevé.

Pour compléter les résultats obtenus, en particulier en ce qui concerne l'intensité des fermentations et la production d'acides gras volatils, nous avons effectué deux essais destinés à :

— comparer les variations du pH des contenus de rumen de mouton recevant une partie de l'azote de leur ration sous forme de phosphate diammonique (PDA), urée, urée-acide phosphorique (urée + H_3PO_4) ;

— estimer les activités de la flore bactérienne avec ces différentes sources azotées en mesurant les teneurs en ammoniac (NH_3) et acides gras volatils (AGV) des jus de rumen.

MATÉRIEL, ET MÉTHODES

I. — Animaux et aliments

Essai n° 1.

Six moutons adultes de race *Lacaune*, castrés, pesant en moyenne 47 kg, porteurs d'une canule permanente du rumen, sont répartis en 2 lots homogènes. Pour chaque animal, la ration journalière distribuée en 2 repas est composée de :

— 1 kg de maïs plante entière déshydraté et compacté ayant la composition suivante : MS = 91,4 p. 100 ; MM = 4,1 p. 100 ; CB = 15,6 p. 100 ; MAT = 7,5 p. 100 ;

— 50 g de complément minéral vitaminisé ;

— 1 supplément azoté :

Lot 1 : 15 g d'urée dosant 43,5 p. 100 d'azote et apportant 6,52 g d'azote ;

Lot 2 : 31 g de phosphate diammonique $(NH_4)_2HPO_4$, dosant 21,2 p. 100 d'azote et apportant 6,57 g d'azote.

Ces deux rations sont donc isoénergétiques et isoazotées mais ont des teneurs en phosphore différentes, l'apport de phosphore par le PDA étant relativement important.

Essai n° 2.

Neuf moutons adultes de race *Ile-de-France*, castrés, pesant en moyenne 75 kg, munis d'une canule permanente du rumen, sont répartis en 3 lots homogènes. Ils reçoivent chaque jour :

— de la paille à volonté ;

— 1,300 kg de maïs plante entière déshydraté et compacté ayant la composition suivante : MS = 92,1 p. 100 ; CB = 19,8 p. 100 ; MM = 4,2 p. 100 ; MAT = 8,2 p. 100 ;

— 1 supplément azoté différent selon le lot :

Lot 1 : 18 g d'urée à 43,5 p. 100 d'azote, soit 7,83 g d'azote ;

Lot 2 : 38 g de PDA à 21,2 p. 100 d'azote, soit 8,06 g d'azote ;

Lot 3 : 18 g d'urée à 43,5 p. 100 d'azote et 18,7 ml d' H_3PO_4 (85 p. 100) dilué ;

— 1 complément minéral de composition variable selon le lot permettant d'égaliser les apports en phosphore dans les trois types de ration.

Cette ration est distribuée en 2 repas. Dans le cas du lot 3, 250 ml de la solution acide sont introduits par la canule au début de chaque repas.

II. — *Dispositif expérimental*

La période d'adaptation aux régimes est de 3 semaines (essai n° 1) et 5 semaines (essai n° 2). Pour chaque essai, quatre séries de prélèvements sont effectuées à 5, 7, 2 jours d'intervalle (essai n° 1), une semaine d'intervalle (essai n° 2).

Les prélèvements de contenu de rumen sont faits à travers la canule au moyen d'une pompe aspirante munie d'un tube de polyvinyl souple.

Le premier prélèvement a lieu à jeun (temps 0) et les suivants 1 h, 1 h 30, 2 h 30, 3 h 30, 4 h 30, 5 h 30, 7 h 30 après le début du repas du matin (essai n° 1), 1 h, 2 h, 3 h, 4 h, 5 h, 7 h (essai n° 2).

Les jus de rumen sont analysés en vue de la détermination :

- du pH,
- des bases azotées volatiles exprimées en N-NH₃ par microdiffusion (CONWAY, 1950),
- des AGV par chromatographie phase gazeuse sur colonne de verre de 2 m de long et 3 mm de diamètre interne. Le support chromosorb W 80-100 est imprégné de 25 p. 100 de NPGA (N pentyl glycol adipate) et de 2 p. 100 d'acide phosphorique.

III. — *Analyse statistique des résultats*

Les deux essais sont traités comme essai factoriel à deux facteurs contrôlés avec répétitions (test de F et calcul de la plus petite différence significative).

Le premier facteur est la supplémentation azotée :

- 2 variantes essai n° 1.
- 3 variantes essai n° 2.

Le deuxième facteur est le temps de prélèvement par rapport au repas du matin :

- 8 variantes essai n° 1
- 7 variantes essai n° 2.

Les quatre répétitions correspondent aux séries de mesures effectuées durant 4 semaines différentes. Chaque résultat est la moyenne des trois moutons du même lot. Le seuil de signification retenu est $P < 0,05$.

RÉSULTATS

A. — *Évolution postprandiale du pH ruminal*

Les pH mesurés avec le régime PDA (fig. 1) sont inférieurs ($P < 0,05$) à ceux obtenus avec l'urée. De même, avec le mélange urée-H₃PO₄, les pH restent plus faibles qu'avec les deux autres sources azotées.

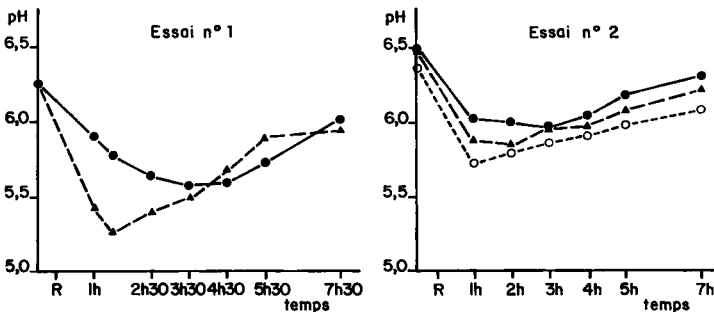


FIG. 1. — *Évolution postprandiale du pH ruminal*

- ——— ● urée
- ▲ ——— ▲ PDA
- - - - - ○ urée-H₃PO₄

L'évolution de l'acidité dans le temps est la même quelle que soit la source azotée ; en effet, l'analyse statistique montre que l'interaction temps de prélèvement-source azotée n'est pas significative.

Cette évolution peut être schématisée de la manière suivante :

Essai 1 temps (h)	0	1	1 1/2	2 1/2	3 1/2	4 1/2	5 1/2	7 1/2
pH* (1) moyen	6,25 ^a (2)	5,66 ^d	5,53 ^d	5,52 ^d	5,54 ^d	5,64 ^d	5,82 ^e	5,98 ^b

Essai 2 temps (h)	0	1	2	3	4	5	7
pH* moyen	6,44 ^a	5,88 ^d	5,88 ^d	5,92 ^d	5,97 ^d	6,08 ^e	6,22 ^b

(1) * Seuil de signification $P < 0,05$.

(2) *a, b, c...* les valeurs suivies d'une même lettre ne sont pas significativement différentes ; les valeurs non suivies d'une même lettre sont significativement différentes et se classent dans l'ordre $a > b > c...$

Le pH diminue après le repas, reste sensiblement constant pendant les 4 heures (essai 2) ou les 5 heures (essai 1) qui suivent, puis augmente ensuite.

B. — Évolution postprandiale de la teneur en bases azotées volatiles (N-NH₃) du jus de rumen (fig. 2)

Dans l'essai n° 1, la teneur en NH₃ avec le PDA est supérieure ($P < 0,05$) à celle obtenue avec l'urée, cela n'est pas confirmé par l'essai n° 2.

L'effet temps de prélèvement est, par contre, significatif dans les deux essais.

Essai 1 temps (h)	0	1	1 1/2	2 1/2	3 1/2	4 1/2	5 1/2	7 1/2
Teneur moyenne en N-NH ₃ * (en mg/100 ml)	16,70 ^c	29,57 ^a	28,56 ^a	21,76 ^b	16,54 ^c	12,02 ^d	8,97 ^d	5,52 ^e

Essai 2 temps (h)	0	1	2	3	4	5	7
Teneur moyenne en N-NH ₃ * (en mg/100 ml)	6,91 ^d	24,78 ^a	23,65 ^a	15,05 ^b	9,12 ^d	3,59 ^e	3,66 ^e

* Seuil de signification $P < 0,05$.

Le taux de $N-NH_3$ passe par un maximum 1 à 2 heures après le repas, quelle que soit la source azotée ; les évolutions dans le temps des teneurs en $N-NH_3$ sont semblables pour les différentes rations (facteur interaction non significatif).

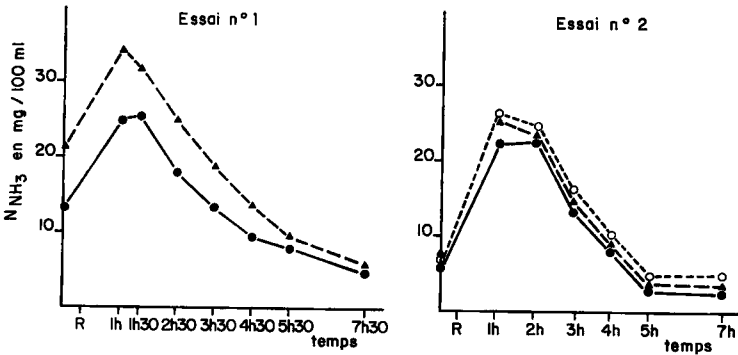


FIG. 2. — Évolution postprandiale des teneurs en bases azotées volatiles ($N-NH_3$) des contenus de rumen

● — ● urée
 ▲ — ▲ PDA
 ○ — ○ urée- H_3PO_4

C. — Évolution postprandiale des concentrations en AGV du jus de rumen (fig. 3 et 4)

Les concentrations en AGV totaux sont significativement inférieures dans le cas du PDA comparativement à l'urée. Par contre, il n'y a pas de différence significative entre le PDA et le mélange urée- H_3PO_4 .

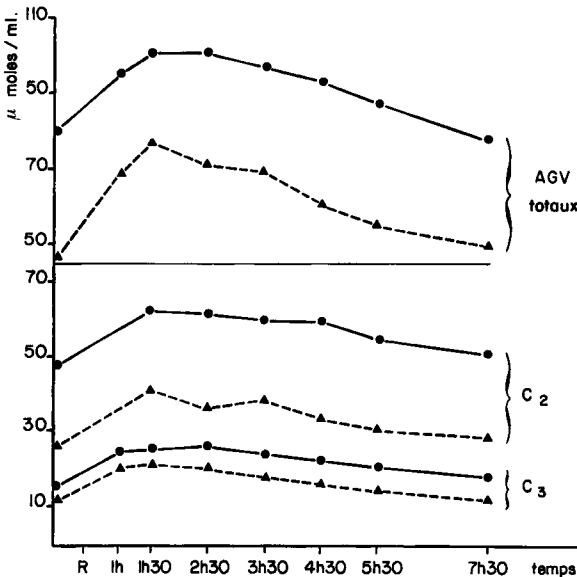


FIG. 3. — Évolution postprandiale des concentrations en AGV totaux, acide acétique, acide propionique (Essai n° 1)

● — ● urée
 ▲ — ▲ PDA

La concentration en AGV totaux passe par un maximum 1 à 4 h après le début du repas, quelle que soit la source azotée. Les valeurs obtenues aux différents temps de prélèvement se classent comme suit :

Essai 1 temps (h)	0	1	1 1/2	2 1/2	3 1/2	4 1/2	5 1/2	7 1/2
Teneur moyenne en AGV totaux (μ moles/ml)	61,63 ^e	82,55 ^{bc}	88,93 ^a	86,99 ^{ab}	84,02 ^{ab}	77,98 ^c	71,95 ^d	65,34 ^e

Essai 2 temps (h)	0	1	2	3	4	5	7
Teneur moyenne en AGV totaux (μ moles/ml)	70,16 ^e	89,08 ^{ab}	92,20 ^a	88,72 ^{ab}	86,00 ^{ac}	82,11 ^{bed}	80,73 ^d

Ceci se retrouve au niveau des acides acétique et propionique dont les teneurs sont significativement inférieures avec le PDA comparativement à l'urée pour les deux essais. Par contre, les teneurs ne sont pas différentes entre acide-urée et PDA.

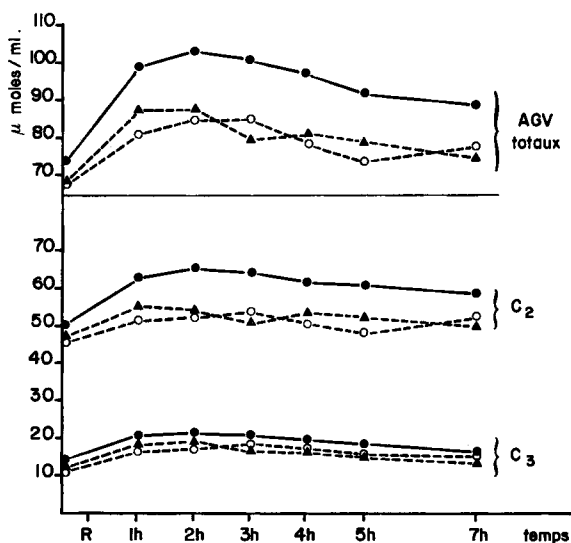


FIG. 4. — Évolution postprandiale des concentrations en AGV totaux, acide acétique, acide propionique (Essai n° 2)

● — ● urée
▲ — ▲ PDA
○ — ○ urée-H₃PO₄

Cette diminution de la concentration en AGV totaux, acide acétique et acide propionique, s'accompagne également d'une modification des proportions molaires des différents acides (tabl. 1 et 2). Avec le PDA, le rapport acide acétique/AGV

totaux $\times 100$ est significativement inférieur comparativement à l'urée dans l'essai n° 1 ; on ne note pas de différence dans l'essai n° 2. Le rapport acide propionique/AGV_T $\times 100$ est significativement plus élevé avec le PDA comparativement à l'urée.

TABLEAU I

Évolution postprandiale des proportions molaires des acides acétique et propionique (Essai n° 1)

Temps (h)		0	1	1 1/2	2 1/2	3 1/2	4 1/2	5 1/2	7 1/2
$\frac{C_2}{AGV\text{ totaux}} \times 100$	urée	64,2	61,9	61,9	61,4	62,5	63,4	63,2	64,9
	PDA	57,1	54,5	55,1	53,3	56,7	56,3	57,1	58,0
$\frac{C_3}{AGV\text{ totaux}} \times 100$	urée	21,3	25,4	25,2	26,4	25,2	24,1	24,0	22,8
	PDA	24,8	30,8	29,8	29,4	27,7	28,3	28,7	28,5

TABLEAU 2

Évolution postprandiale des proportions molaires des acides acétique et propionique (Essai n° 2)

Temps (h)		0	1	2	3	4	5	7
$\frac{C_2}{AGV\text{ totaux}} \times 100$	urée	68,1	63,6	63,3	63,7	64,5	65,7	67,2
	PDA	68,9	62,4	61,9	64,2	66,2	66,3	67,6
	urée H ₃ PO ₄	67,2	62,8	61,6	62,9	63,4	64,7	65,4
$\frac{C_3}{AGV\text{ totaux}} \times 100$	urée	17,7	20,6	20,4	20,2	20,0	19,1	18,5
	PDA	17,5	21,6	22,0	20,8	19,7	19,3	18,0
	urée H ₃ PO ₄	18,7	21,5	22,0	21,5	20,8	20,2	19,5

Au cours du 1^{er} essai, les taux acide acétique/AGV_T et acide propionique/AGV_T sont invariables au cours du temps ; par contre, dans le 2^e essai, le rapport acide acétique/AGV_T diminue puis augmente, le rapport acide propionique/AGV_T évolue en sens inverse.

DISCUSSION

Il est relativement difficile d'interpréter les résultats de ces deux essais puisqu'il s'agit toujours de concentrations en ions H⁺, ammoniac et acides gras, et non des quantités totales des différents métabolites produits.

Chaque concentration est le résultat de trois phénomènes : les activités fermentaires, la vitesse de transit vers l'intestin, la vitesse d'absorption à travers l'épithélium ruminal.

L'apport de PDA ou l'addition d' H_3PO_4 à l'urée provoque une diminution du pH postprandial. Ce résultat confirme les travaux de RUSSEL *et al.* (1962), OLTJEN *et al.* (1963), PEREZ *et al.* (1967). MAROADI (1972) signale également une diminution du pH dans les heures qui suivent le repas lorsqu'il distribue de l'urée-phosphate à des bovins ; cependant, au bout de 18 semaines d'expérience, il n'observe pratiquement plus cette chute du pH.

Cette acidification du contenu ruminal serait due aux deux premières acidités de l'acide phosphorique, ou, dans le cas du PDA, au fait que le phosphate d'ammonium est un sel d'acide faible et de base faible.

Parallèlement à cette baisse de pH avec le PDA, l'essai n° 1 seul montre une augmentation de la teneur en bases azotées volatiles ($N-NH_3$), signalée également dans les travaux de PEREZ (1967). Par contre, dans l'essai n° 2, il n'y a pas de différence des ammoniogenèses selon les trois sources azotées. OLTJEN *et al.* (1968) mettent en évidence un taux maximum de $N-NH_3$ significativement supérieur avec l'urée comparativement à l'urée-phosphate.

Il est possible de penser que la vitesse de diffusion de l'ammoniac à travers la paroi du rumen est diminuée avec des rations PDA ou acide phosphorique. En effet, les teneurs maxima de $N-NH_3$ et d'urée du sang périphérique sont généralement plus faibles avec les phosphates ammoniacaux qu'avec l'urée (RUSSELL *et al.*, 1962 ; JOHNSON et McCLURE, 1964 . PEREZ *et al.*, 1967).

Cet abaissement du pH peut être mis en relation avec la diminution des activités fermentaires mesurées par la diminution des concentrations en AGV. Le pH le plus bas enregistré dans nos deux essais atteint la valeur 5,28. Or, d'après ESDALE et SATTER (1972), lorsque le pH diminue de 6,8 à 6,2, la production d'AGV n'est pas modifiée ; par contre de 6,2 à 5,6, le taux d'AGV totaux décroît de 25 p. 100, le rapport acide acétique/acide propionique diminue également.

Ce sont surtout les bactéries cellulolytiques et amylolytiques qui utilisent l'ammoniac. Une diminution de l'activité cellulolytique peut alors s'accompagner d'une diminution de l'utilisation de l'ammoniac, d'où son accumulation (le pH limitant la diffusion). Cela pourrait expliquer les plus fortes teneurs en $N-NH_3$ enregistrées avec le PDA.

Enfin, les faibles teneurs en AGV enregistrées avec les rations PDA peuvent être mises en relation avec le pH du rumen ; en milieu acide, l'absorption des AGV est plus rapide.

CONCLUSION

Le PDA ou l'acide phosphorique acidifient le contenu ruminal et limitent ainsi la vitesse de diffusion de l'ammoniac hors du rumen. Cela n'implique pas obligatoirement une diminution de la quantité totale d'azote perdue par cette voie. Dans la pratique, les rétentions azotées mesurées avec le PDA ou l'urée phosphate ne sont pas meilleures que celles obtenues avec l'urée (OLTJEN *et al.*, 1963 ; JOHNSON et McCLURE, 1963-1964).

L'apport de phosphate diammonique ou l'addition d'acide phosphorique à l'urée provoque une baisse de la concentration en acides gras volatils totaux (acide acétique et acide propionique notamment). Le rapport acide acétique/acides gras volatils totaux diminue tandis que le rapport acide propionique/acides gras volatils totaux augmente.

Étant donné la sensibilité des métabolismes bactériens aux variations de pH, de telles sources d'azote ne sont peut-être pas à rechercher. Par contre, le phosphate diammonique en tant que source de phosphore pourrait se révéler intéressant dans la mesure où l'utilisation de son phosphore est satisfaisante et où il ne pose pas de problème d'appétence.

Reçu pour publication en février 1976.

SUMMARY

COMPARATIVE STUDY OF NITROGEN INGESTED IN THREE SIMPLE FORMS :
UREA, DIAMMONIC PHOSPHATE OR PHOSPHORIC ACID-UREA.
EFFECT ON SOME PHYSICO-CHEMICAL CHARACTERISTICS
OF ADULT SHEEP RUMEN CONTENT

Nitrogen is ingested by adult sheep in three simple forms : diammonic phosphate (PDA), urea and phosphoric acid-urea. Its effect on some physico-chemical characteristics of rumen content is studied during two successive experiments.

In the first, two lots of three sheep eat diammonic phosphate or urea.

In the second, three lots of sheep are given diammonic phosphate, urea or phosphoric acid-urea.

The diammonic phosphate supply or addition of phosphoric urea-acid causes a significant drop in rumen pH. This acidification is accompanied by a decrease in total volatile fatty acids and acetic and propionic acids. The ratio acetic acid/total volatile fatty acids decreases, while the ratio propionic acid/total volatile fatty acids increases.

Ammonogenesis does not vary significantly in relation to nitrogen source in trial 2, but is higher with diammonic phosphate in trial 1.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BLACKBURN Th., 1964. Nitrogen metabolism in the rumen. In *Physiology of digestion in the ruminant* ed. by R. W. DOUGHERTY London, 322-334.
- COMPÈRE R., 1969. Valeur comparée des phosphates monoammonique et diammonique comme sources d'azote et de phosphore alimentaires chez le Mouton. *Bull. Rech. Agron. Gembloux*, **4**, 339-367.
- CONWAY E. J., 1962. *Micro-diffusion Analysis and Volumetric Error.*, ed. 5 Crosby Lockwood and Son, London.
- ESDALE Wt., SATTER L. D., 1972. Manipulation of ruminal fermentation. IV. Effect of altering ruminal pH on volatile fatty acid production. *J. Dairy Sci.*, **55**, 964-969.
- JOHNSON R. R., McCLURE K. E., 1963. *In vitro* and *in vivo*, studies on the adaptation of sheep to biuret. *J. Anim. Sci.*, **22**, 1123.
- JOHNSON R. R., McCLURE K. E., 1964. *In vitro* and *in vivo* comparisons on the utilization of urea, biuret and diammonium phosphate by sheep. *J. Anim. Sci.*, **23**, 208-213.
- MAROADI A., PIVA G., ROSTELLI A., CAPRIOLI G., 1972. Urea-phosphate in the feeding of young cattle. *Nutr. abstr.* **43**, 6879.
- OLTJEN R. R., WALLER G. R., NELSON A. B., TILLMAN A. D., 1963. Ruminant studies with diammonium phosphate and urea. *J. Anim. Sci.*, **22**, 36-41.

- OLTJEN R. R., SLYTER L. L., KOZAK A. S., E. E. WILLIAMS J. R., 1968. Evaluation of urea, urea phosphate, biuret and uric acid as NPN sources for cattle. *J. Nutr.*, **94**, 193-202.
- PEREZ C. B., WARNER R. G., LOOSLI J. K., 1967. Evaluation of urea-phosphate as a source of nitrogen and phosphorus for ruminants. *J. Anim. Sci.*, **26**, 810-819.
- RUSSELL E. L., HALE W. H., FARRIS HUBBERT J. R., 1962. Evaluation of diammonium phosphate as a source of nitrogen for ruminants. *J. Anim. Sci.*, **21**, 523-526.
- RICHARDSON, 1966, cité par BNA IT 418 BO, 1968. L'utilisation des phosphates d'ammonium dans les aliments composés pour ruminant et les ensilages.