

Bilans minéraux et disponibilité du calcium chez des moutons recevant des pulpes de betteraves

Le calcium est présent en quantités importantes dans les pulpes de betteraves. Mais sa disponibilité est nettement plus faible que celle d'autres sources d'apport calcique. Il convient donc d'en tenir compte dans le calcul des complémentations minérales des rations.

La part importante que les pulpes de betteraves peuvent occuper dans l'alimentation des ruminants s'explique par leur valeur énergétique élevée, mais elles sont également réputées pour être très riches en calcium (10 à 40 g/kg de MS).

Les inconvénients de l'excès de Ca (diminution de la digestibilité de certains oligo-éléments, augmentation du risque de fièvre vitulaire...) dépendent fortement de la disponibilité de cet élément.

Cet essai a été entrepris à la demande, et avec le support financier de l'Union des Sica de Transformation des Pulpes de Betteraves (USICA 43-45 rue de Naples 75008 Paris), dans le but de préciser ce critère pour lequel nous ne disposons que de très peu d'informations.

L'absorption intestinale peut être réduite en raison soit de la forme chimique du calcium des fourrages (Ward *et al* 1979), soit de la mise en place d'une régulation métabolique de type hormonal déclenchée par un niveau d'apport sensiblement supérieur aux besoins des animaux (Braithwaite *et al* 1974, Field *et al* 1985).

Pour séparer ces effets nous nous sommes placés dans la situation d'un apport modéré de calcium (de l'ordre de 4,5 g/kg de MS), en considérant les pulpes comme seule source de calcium pour le régime expérimental.

Résumé

Les pulpes de betteraves sont réputées pour être riches (trop ?) en calcium mais nous ne disposons que de très peu d'informations quant à la disponibilité de ce calcium, et les inconvénients éventuels d'un excès de calcium sont fortement liés à ce critère.

Pour cet essai, nous avons utilisé des régimes semi-synthétiques où tout le calcium était apporté, soit par du carbonate de calcium (témoins) soit par des pulpes de betteraves (pulpes); la teneur en Ca (g/kg de MS) était 4,6 et 4,8 respectivement. Ces régimes ont été distribués à 6 moutons mâles adultes par lot.

Après une phase d'adaptation de 3 semaines, les mesures se sont déroulées en deux périodes successives de 5 jours consécutifs au cours desquelles les bilans minéraux (Ca, P et Mg) ont été déterminés ; de plus, l'absorption réelle de ces éléments a été calculée sur la base de pertes endogènes théoriques suivantes : 20 mg (Ca), 25 mg (P) et 3,5 mg (Mg) par kg de poids vif et par jour.

Les performances du lot témoin sont légèrement inférieures aux données de la littérature, ce que l'on peut vraisemblablement attribuer à la nature du régime semi-synthétique difficilement accepté par des ruminants adultes, ce qui était atténué par la présence de pulpes (40 %) dans le régime expérimental. Dans ces conditions, il apparaît clairement que le calcium contenu dans les pulpes de betteraves est nettement moins disponible (50 % environ) que celui du carbonate pris comme référence.

Il convient donc de tenir compte de la faible disponibilité du calcium des pulpes de betteraves pour l'évaluation des apports alimentaires et la complémentation minérale des rations dans lesquelles les pulpes représentent une part importante de la matière sèche ingérée.

1 / Conditions expérimentales

1.1 / Aliments

Les régimes, réalisés à l'Atelier de Préparation des Aliments Expérimentaux (APAE, INRA, Jouy-en-Josas), sont de type semi-synthétique (pour éviter un apport de calcium par les constituants autres que les pulpes de betteraves dans l'aliment expérimental). Pour le régime témoin, l'apport calcique est assuré par du carbonate de calcium. La composition des aliments utilisés figure au tableau 1, celle des aliments minéraux au tableau 2.

Pour de tels aliments, les valeurs UFL et PDI ne sont pas disponibles. Le calcul de la teneur en énergie nette pour l'entretien expri-

Tableau 1. Composition des régimes expérimentaux (en g/kg).

Composants	Témoin	Pulpes
Pulpes	0	400
Cellulose	330	200
Amidon	240	120
Cérélose	220	100
Huile de maïs	30	30
Caseïne	100	70
Urée	20	20
Bicarbonate Na	10	10
AM ¹ témoin	50	0
AM ¹ pulpes	0	50

¹Aliment minéral et vitaminique**Tableau 2.** Composition des aliments minéraux (en g/kg).

Composants	AM Témoin	AM Pulpes
Carbonate de calcium	210	0
Phosphate monosodique, 2H ₂ O	200	160
Hydroxyde de magnésium	75	50
Chlorure de potassium	190	150
Sulfate de sodium	175	150
Sulfate de cuivre, 5 H ₂ O	0,8	0,4
Sulfate de zinc, H ₂ O	2,5	2,5
Sulfate de manganèse, H ₂ O	3	3
Sulfate de cobalt, 7 H ₂ O	0,008	0,008
Sélénite de sodium	0,004	0,004
Iodure de potassium	0,010	0,010
Sulfate de fer	3	3

Chacun des aliments expérimentaux est également complémenté en vitamines : 200 000 UI de vit. A, 50 000 UI de vit D₃, 1 500 UI de vit E et 1,2 g de chlorhydrate de thiamine pour 100 kg d'aliment.**Tableau 3.** Composition minérale moyenne des régimes expérimentaux.

Composants	Témoin	Pulpes
Matière sèche (%)	90,8	90,3
Cendres totales (g/kg MS)	44,6	52,1
Calcium (g/kg MS)	4,6	4,9
Phosphore (g/kg MS)	2,9	2,8
Magnésium (g/kg MS)	1,4	1,6

mée en Mcal/kg de MS (NRC 1988) indique des valeurs très voisines : 2,01 pour le régime témoin et 1,98 pour le régime pulpes ; de même, les teneurs en matières azotées totales sont très proches : 150 et 156 g/kg de MS respectivement.

1.2 / Mesures

Les mesures sur animaux ont été réalisées à l'atelier de digestibilité de la Chaire de Zootechnie de l'École Nationale des Sciences Agronomiques Appliquées de Dijon.

Douze moutons mâles castrés adultes de race Ile de France et d'un poids moyen de 70 kg en début d'expérience, répartis en 2 lots de 6 animaux, ont été utilisés.

Les aliments expérimentaux étaient distribués en deux repas par jour ; l'eau de boisson, distribuée à volonté, était mesurée quotidiennement par lot (précision de la mesure : 0,1 l).

Après une phase d'adaptation aux régimes expérimentaux de trois semaines environ, les animaux ont été placés dans des cages à bilan où les mesures ont été réalisées au cours de deux périodes successives de cinq jours consécutifs. Chaque jour, les quantités d'aliment distribuées et éventuellement refusées ont été pesées ; un échantillon représentatif de l'aliment distribué a été constitué pour chacune des périodes de mesure ; les aliments refusés ont été cumulés par période et par animal. Les fèces émises par chaque animal étaient pesées chaque jour ; 20 % en ont été prélevés pour détermination de la matière sèche, et les échantillons secs ont été cumulés par période et par animal.

1.3 / Analyses

Les analyses minérales (cendres totales, Ca, P et Mg) portaient sur l'ensemble des échantillons cumulés par période et par animal ainsi que sur l'eau de boisson (calcium) ; elles ont été réalisées par le Laboratoire d'Analyses Végétales (INRA Bordeaux)

1.4 / Calculs

Les coefficients d'absorption apparente (CAA) sont obtenus à partir des résultats des mesures de bilan :

Ingéré - Fécal

$$CAA \% = \frac{\text{Ingéré} - \text{Fécal}}{\text{Ingéré}} \times 100$$

Ingéré

L'absorption réelle a été évaluée sur la base de pertes endogènes théoriques (Scott *et al* 1985, Guéguen *et al* 1987) de 20 mg pour Ca, 25 mg pour P et 3,5 mg pour Mg par kg de poids vif et par jour.

Le coefficient d'absorption réelle (CAR) est obtenu par la formule :

Ingéré - (Fécal - Fécal endogène)

$$CAR \% = \frac{\text{Ingéré} - (\text{Fécal} - \text{Fécal endogène})}{\text{Ingéré}} \times 100$$

Ingéré

Le traitement statistique des données a été réalisé sur micro-ordinateur Dell 316 SX à l'aide du logiciel Stat-Itcf (module d'analyse de variance, comparaison multiple de moyennes par le test de Newman et Keuls).

2 / Résultats

Les valeurs moyennes de composition minérale des régimes figurent au tableau 3.

2.1 / Ingestibilité et digestibilité

Les résultats concernant l'ingestibilité et la digestibilité de la matière sèche (MS) et de la matière organique (MO), sont regroupés au tableau 4 ; les mesures d'ingestibilité ne sont données qu'à titre indicatif car elles sont le reflet des quantités d'aliment refusées puisque l'aliment était distribué en quantité limitée sur la base des observations effectuées pen-

dant la période d'adaptation : 1300 g d'aliment brut par jour.

Les digestibilités de la MS et de la MO sont significativement inférieures pour l'aliment témoin.

2.2 / Bilans minéraux

Les données concernant les bilans minéraux figurent aux tableaux 5 pour le calcium, 6 pour le phosphore et 7 pour le magnésium.

L'absorption apparente ou réelle calculée de Ca est significativement plus faible pour le lot expérimental ; l'introduction, dans le calcul du CAR, de l'excrétion fécale endogène permet de diminuer fortement la dispersion des mesures.

L'excrétion de calcium dans les urines est très faible (de 0,01 à 0,04 g par jour en moyenne selon les régimes), ce qui est parfaitement normal chez l'animal ruminant.

Aucune différence significative n'est observée pour les bilans de P ; en revanche, les quantités ingérées, le CAA et le CAR de Mg sont significativement inférieurs pour le régime témoin. L'excrétion urinaire de magnésium ne diffère pas significativement selon les lots ($0,11 \pm 0,14$, $0,39 \pm 0,26$ pour les régimes témoin et aliment pulpes respectivement) ce qui conduit à des rétentions journalières de magnésium très proches : $0,44 \pm 0,12$ pour le lot témoin, $0,31 \pm 0,22$ pour le lot aliment pulpes.

3 / Discussion

Il convient de rappeler que ces essais se sont déroulés avec des animaux adultes à l'entretien ayant des besoins minéraux moins importants que des animaux en croissance ou en production ; ainsi, cet état physiologique conduit classiquement à des rétentions minérales autour de zéro ; ces mêmes ruminants adultes acceptent moins facilement les régimes semi-synthétiques que des agneaux en croissance, ce qui explique probablement les refus, en particulier des animaux soumis au régime témoin.

3.1 / Ingestibilité et digestibilité de la MS et de la MO

Les digestibilités de MS et MO sont conformes aux valeurs habituelles pour des régimes à base de pulpes de betteraves (valeur table INRA 1988 : 86 % pour la digestibilité de la MO).

Les valeurs obtenues avec l'aliment témoin, inférieures à celles du régime expérimental, sont vraisemblablement à relier à un effet défavorable du régime. Les aliments semi-synthétiques utilisés étaient probablement extrêmes pour des ruminants adultes, ces conséquences étant atténuées par la présence de 40 % de pulpes de betteraves dans le régime expérimental.

Tableau 4. Ingestibilité et digestibilité de la MS et de la MO (moyenne \pm écart type).

	Témoin	Aliment pulpes
Ingestibilité (g/kg P ^{0,75})	$48,5 \pm 4,3$	$48,8 \pm 3,7$
Digestibilité MS (%)	$79,8 \pm 1,6^b$	$84,2 \pm 1,7^a$
Digestibilité MO (%)	$81,0 \pm 1,6^b$	$85,5 \pm 1,9^a$

Sur une même ligne, les valeurs accompagnées de lettres différentes sont significativement différentes ($P < 0,05$).

Tableau 5. Bilan du calcium.

	Témoin	Aliment Pulpes
INGÉRÉ g/j		
Aliment	$5,27 \pm 0,22$	$5,62 \pm 0$
Eau	$1,01 \pm 0,56$	$0,60 \pm 0,11$
TOTAL	$6,29 \pm 0,36$	$6,22 \pm 0,11$
FÉCAL g/j	$5,94 \pm 0,14^b$	$6,68 \pm 0,13^a$
ENDOGÈNE g/j	$1,40 \pm 0,16$	$1,39 \pm 0,13$
Absorption apparente %	$5,35 \pm 4,66^a$	$-7,52 \pm 2,47^b$
Absorption réelle %	$27,62 \pm 2,34^a$	$14,90 \pm 2,32^b$

Sur une même ligne, les valeurs accompagnées de lettres différentes sont significativement différentes ($P < 0,05$).

Tableau 6. Bilan du phosphore.

	Témoin	Aliment Pulpes
INGÉRÉ g/j	$3,37 \pm 0,07$	$3,28 \pm 0$
FÉCAL g/j	$3,23 \pm 0,35$	$3,01 \pm 0,18$
ENDOGÈNE g/j	$1,75 \pm 0,20$	$1,74 \pm 0,16$
Absorption apparente %	$4,03 \pm 10,83$	$12,02 \pm 7,94$
Absorption réelle %	$55,94 \pm 9,99$	$61,41 \pm 4,4$

Tableau 7. Bilan du magnésium.

	Témoin	Aliment Pulpes
INGÉRÉ g/j	$1,66 \pm 0,04^b$	$1,84 \pm 0^a$
FÉCAL g/j	$0,94 \pm 0,15$	$0,87 \pm 0,07$
ENDOGÈNE g/j	$0,24 \pm 0,03$	$0,24 \pm 0,02$
Absorption apparente %	$43,08 \pm 8,35^b$	$52,89 \pm 3,83^a$
Absorption réelle %	$57,83 \pm 8,87^b$	$66,17 \pm 4,89^a$

Sur une même ligne, les valeurs accompagnées de lettres différentes sont significativement différentes ($P < 0,05$).

3.2 / Bilans minéraux

a / Calcium

Les données de l'absorption apparente, ou celles de l'absorption réelle calculée, sont significativement plus faibles pour le régime contenant des pulpes de betteraves ; cette diminution de l'absorption réelle calculée est de l'ordre de 46 %. La disponibilité potentielle du calcium contenu dans les pulpes de betteraves déshydratées est donc sensiblement inférieure à celle d'une source classique comme le carbonate de calcium.

Dans cet essai les quantités ingérées correspondaient à la couverture des besoins des animaux et ce résultat ne peut donc être attribué à une diminution de l'absorption intestinale du calcium consécutive à un apport excessif.

La faible disponibilité du calcium des pulpes de betteraves semble liée à sa nature chimique. Dans les pulpes de betteraves, le calcium est principalement présent sous forme d'oxalate, de pectinate et de pectate (ou polyglucuronate). L'oxalate de calcium est mal utilisé par le ruminant (Ward *et al* 1979, Campos *et al* 1980) ; à notre connaissance, aucune étude n'a été effectuée à propos de l'utilisation par l'animal du calcium lié aux chaînes pectiques de la pulpe de betterave. Les pulpes utilisées lors de ces essais ont été produites sans adjuvant de surpréssage ; lorsque du sulfate de calcium est ajouté à cette fin, l'ion Ca^{++} se combine aux chaînes pectiques. Des résultats partiels, non rapportés ici, ne montrent pas d'amélioration de l'utilisation de Ca dans le cas où du sulfate de calcium est ajouté en cours de fabrication, ce qui semble indiquer que les pectinates ou les pectates de calcium sont également mal utilisés par l'animal.

b / Phosphore et magnésium

L'absorption apparente ou réelle de P peut sembler faible dans la mesure où la source de phosphore utilisée (phosphate monosodique) est considérée comme une bonne forme d'apport de P. De même, les résultats d'absorption de Mg sont systématiquement inférieurs pour les animaux du lot témoin, ce qui pourrait confirmer un effet "type de régime" sur l'absorption de P et Mg ; à ce propos, il n'est pas impossible qu'il y ait eu un effet de même nature sur l'absorption de Ca, les valeurs observées pour le lot témoin étant légèrement inférieures à ce que l'on aurait pu attendre (CAR de 30 à 35 %).

Conclusion

Les bilans de P et Mg n'étaient pas les objectifs principaux de cette étude et les résultats obtenus avec le régime contenant des pulpes de betteraves n'indiquent pas de modifications importantes de l'utilisation digestive de ces éléments minéraux.

Dans nos conditions expérimentales, avec un apport modéré de calcium, il apparaît que la disponibilité potentielle de cet élément dans les pulpes est sensiblement inférieure à celle d'autres sources d'apport calcique : environ la moitié de celle du carbonate dans cet essai, et entre 30 et 60 % de celle des fourrages (figure 1).

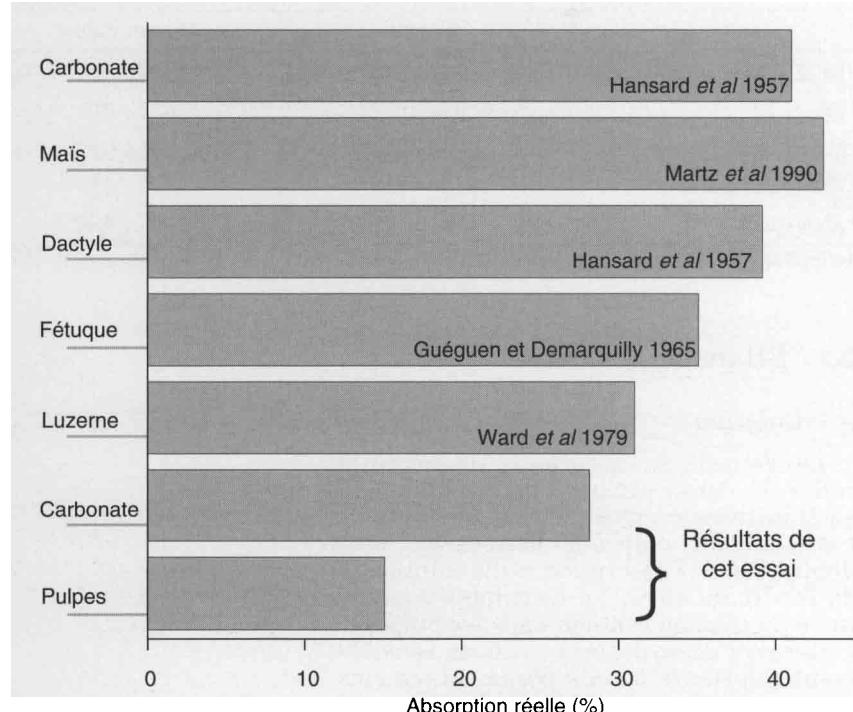
Dans des conditions pratiques d'alimentation des ruminants et lorsque les pulpes de betteraves représentent une part importante de la MS ingérée et par conséquent un apport de calcium souvent supérieur aux besoins des animaux, il est probable que l'effet de diminution de disponibilité lié à la nature du calcium des pulpes soit encore renforcé par un effet niveau d'apport calcique ; cela mérirait d'être étudié pour pouvoir quantifier avec davantage de précision la valeur calcique des pulpes de betteraves et tirer des conclusions définitives.

Ces résultats amènent à reconsiderer en partie la complémentation minérale des rations dans lesquelles les pulpes représentent une part importante de la matière sèche ingérée ; en effet, on peut envisager de remplacer un aliment minéral riche en phosphore (et par conséquent onéreux) par une formule plus équilibrée et permettre ainsi à l'éleveur de réaliser une économie non négligeable, notamment dans le cas des vaches laitières.

Références bibliographiques

- Braithwaite G. D., 1974. The effect of changes of dietary calcium concentration on calcium metabolism in sheep. *Br. J. Nutr.*, 31, 319-331.
- Campos M. S., Murillo A., Mataix F. J., Varela G., 1980. Absorption du calcium chez des chèvres en croissance : effet de l'oxalate. *Ann. Nutr. Alim.*, 34, 725-734.
- Field A. C., Woolliams J. A., Dingwall R. A., 1985. The effect of dietary intake of calcium and dry matter on the absorption and excretion of calcium and phosphorus by growing lambs. *J. Agri. Sci.*, 105, 237-243.
- Guéguen L., Demarquilly C., 1965. Influence du cycle de végétation et du stade de croissance sur la valeur minérale de quelques plantes fourragères pour le mouton adulte. *Fourrages*, 22, 48-59.
- Guéguen L., Durand M., Meschy F., 1987. Apports recommandés en éléments minéraux majeurs pour les ruminants. *Bull. Techn. CRVZ Theix, INRA*, 70, 105-112.
- Hansard S. L., Crowder H. M., Lyke W. A., 1957. The biological availability of calcium in feeds for cattle. *J. Anim. Sci.*, 16, 437-.

Figure 1. Disponibilité du calcium de quelques aliments des ruminants.



Martz F. A., Belo A. T., Weiss M. F., Belyea R. L., Goff J. P., 1990. True absorption of calcium and phosphorus from alfalfa and corn silage fed to lactating cows. *J. Dairy Sci.*, 73, 1288-1295.

NRC, National Research Council. 1988. Nutrient requirements of dairy cattle. National Academy Press, Washington, D.C.

Scott D., Buchan W., 1985. The effect of feeding either roughage or concentrate diets on salivary phosphorus secretion, net intestinal absorption and urinary excretion in the sheep. *Quart. J. Exp. Physiol.*, 70, 365-375.

Ward G., Harbers L. H., Blaha J. J., 1979. Calcium containing crystals in alfalfa : their fate in cattle. *J. Dairy Sci.*, 62, 715-722.

Summary

Mineral balances and calcium availability in sheep fed sugar beet pulps.

Sugar beet pulp (SBP) is known to be rich in calcium but the availability of Ca is not well known, and adverse effects of Ca overloading are strongly related to this parameter.

In this trial we used a semi-purified diet where all Ca was supplied by calcium carbonate (control) or beet pulp (SBP). The Ca content (g/kg on dry matter basis) was 4.6 and 4.8 respectively. These diets were fed to 6 adult sheep by group.

Following an initial 3-week feeding period which allowed the animals to adapt to the experimental diet, measurements were conducted on two 5-days collection periods while mineral balances (Ca, P and Mg) were determined. True absorption of minerals was calculated on a theoretical basis of 20 mg (Ca), 25 mg (P) and 3.5 mg (Mg) of endogenous losses per kg of liveweight per day.

Results obtained by the control group are slightly lower than data found in the literature. This could be explained by the difficulty of semi-purified diets to be accepted by adult ruminants ; this effect can be reduced for SBP diets which contain 40 % of sugar beet pulps. Nevertheless, these results underline that Ca availability from SBP is markedly lower (near 50 %) than that of the carbonate one.

The low availability of calcium from SBP must be taken into account for the estimation of calcium supply and mineral supplementation when SBP makes up a significant proportion of the ruminant diet.

MESCHY F., FAURIE F., GUEGUEN L. 1993. Bilans minéraux et disponibilité du calcium chez des moutons recevant des pulpes de betteraves. *INRA Prod. Anim.*, 6 (1), 47 - 51.