

Éléments minéraux majeurs : données récentes chez les caprins

Les recommandations d'apports en minéraux pour les caprins étaient jusqu'alors principalement dérivées d'études sur bovins et ovins. Les données obtenues depuis dix ans permettent de préciser les besoins spécifiques des caprins en minéraux, notamment en phosphore et en calcium.

Les principaux systèmes d'apports alimentaires recommandés en éléments minéraux aux caprins (NRC 1981, INRA 1988, AFRC 1991) sont en fait des extrapolations de données obtenues sur ovins et bovins ; seule une équipe allemande a proposé, malgré des données assez clairsemées à l'époque, une démarche plus spécifique (Pfeffer 1989). Cette situation n'est pas très satisfaisante surtout si l'on tient compte des particularités observées dans l'espèce caprine pour d'autres éléments nutritionnels (azote par exemple). Depuis une dizaine d'années, un certain nombre de résultats concernant les caprins ont été publiés, ils permettent aujourd'hui de

préciser les recommandations d'apport minéral pour cette espèce comme en atteste une première démarche britannique (AFRC 1997) pour le phosphore et le calcium.

Pour les éléments minéraux majeurs (phosphore, calcium, magnésium, sodium et potassium), les besoins des animaux (et les recommandations d'apport alimentaire qui en découlent) sont évalués par une approche factorielle qui comporte deux étapes : estimation des besoins physiologiques nets (entretien, gestation, croissance et lactation) puis de l'efficacité de l'absorption digestive de l'élément considéré (coefficient d'absorption réelle ou CAR). En effet, seule la fraction absorbée est susceptible de satisfaire les besoins physiologiques nets. Le besoin strict est obtenu en divisant la somme des besoins nets par le CAR. Une marge de sécurité visant à prendre en compte les variations individuelles des animaux est ensuite adoptée. Elle porte en général sur le CAR, qui est le paramètre le plus variable, et est de l'ordre de 10 %. Les recommandations pratiques d'apport correspondent au besoin strict majoré de cette marge de sécurité.

Résumé

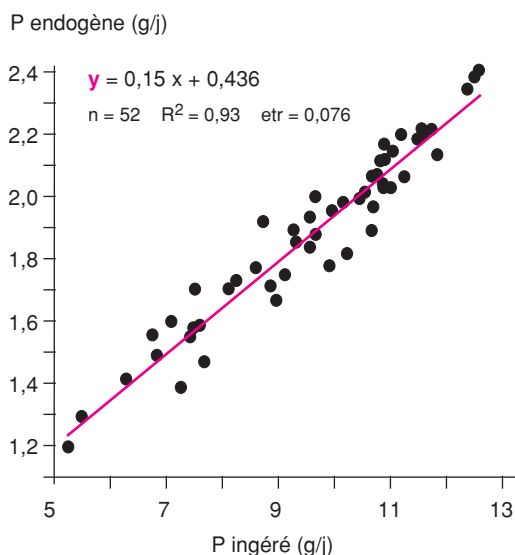
Des données acquises depuis une dizaine d'années sur l'alimentation de la chèvre permettent de proposer des recommandations d'apport minéral plus spécifiques, au moins pour les éléments minéraux majeurs. Le besoin d'entretien en phosphore correspond à la perte fécale endogène incompressible (P salivaire non réabsorbé) ; il est donc logique de le rapporter à la matière sèche ingérée. Le besoin de croissance en P et Ca est légèrement inférieur à celui des bovins, mais sensiblement plus élevé que celui des ovins, ce qui conduit à une réévaluation notable de ce besoin, jusqu'ici extrapolé des résultats sur ovins. Le besoin de gestation (six dernières semaines) concerne principalement P et Ca, il dépend surtout de la taille de la portée. La composition minérale moyenne du lait de chèvre (1,30 g/l de Ca et 0,95 g/l de P) est très proche de celle du lait de vache. L'absorption réelle de P est plus élevée chez la chèvre que chez les autres ruminants, la valeur de 70 % est adoptée pour le calcul des apports alimentaires recommandés. Chez la chèvre, le coefficient d'absorption réelle de Ca diminue sensiblement lorsque l'apport alimentaire devient excédentaire et la valeur retenue de 30 % n'est valable que pour des apports alimentaires non excessifs. L'utilisation de ces données spécifiques aux caprins conduit à augmenter les apports recommandés de P et Ca, notamment pour les animaux en croissance.

1 / Besoins physiologiques nets

1.1 / Besoin physiologique net d'entretien

Les besoins d'entretien en éléments minéraux sont le plus souvent assimilés aux pertes endogènes dans les fèces et l'urine (en géné-

Figure 1. Relation entre phosphore ingéré et perte fécale endogène.



ral très faibles pour Ca et P chez le ruminant, sauf pour P dans le cas de régimes très riches en concentrés). Ces pertes résultent du fonctionnement normal d'un organisme animal (renouvellement cellulaire, sécrétions digestives...). Seul le phosphore n'obéit pas à cette règle générale : la perte fécale endogène augmente quasi-linéairement avec la quantité de P ingérée chez le ruminant (Grace 1981, Braithwaite 1985, Scott *et al* 1985 et 1995, Ternouth 1989). La figure 1 illustre cette relation pour 52 bilans individuels de chèvres en lactation. Cette perte fécale endogène correspond en fait à une part incompressible, véritable besoin d'entretien, et à une part variable, composante de l'homéostasie digestive du métabolisme de P permettant l'élimination du phosphore absorbé en excès. La perte endogène fécale de P est majoritairement constituée par le phosphore salivaire non réabsorbé ; dans des conditions classiques d'alimentation, la concentration des phosphates dans la salive est peu variable (Kessler 1981). Il semble donc logique de baser l'évaluation du besoin d'entretien en P (P_{ENT}) sur la matière sèche ingérée (MSI), principal facteur de variation du flux salivaire qui, de plus, est une donnée relativement facile d'accès.

L'AFRC (1997) recommande d'utiliser pour les caprins l'équation retenue pour les ovins et les bovins : $P_{ENT(g/j)} = (0,693 \text{ MSI (kg)} - 0,06) \times 1,6$ pour les rations usuelles. Pour des régimes très riches en concentrés (dont le rapport Energie Métabolisable/Energie Brute est supérieur à 0,7) le coefficient 1,6 est supprimé. La compilation des résultats d'un nombre important de bilans réalisés sur des chèvres à différents stades physiologiques (138 en lactation, 24 en gestation et 8 tarées) et avec un apport en P couvrant uniquement les besoins physiologiques nets conduit Pfeffer (1989) à une estimation légèrement inférieure : $P_{ENT(g/j)} = 0,88 \text{ MSI (kg)} + 0,08$. Cette différence pourrait s'expliquer par un meilleur recyclage salivaire de P, dû en partie à une concentration salivaire de phosphates plus élevée chez la chèvre (Kessler 1981). Pour le calcul, nous retien-

drons cette dernière équation qui conduit à une légère réévaluation du besoin d'entretien en P pour les caprins.

La perte endogène fécale de calcium, contrairement à celle de P, n'augmente pas avec la quantité de calcium ingérée. La prédiction du besoin d'entretien en calcium (Ca_{ENT}) basée sur la MSI :

$Ca_{ENT} = 0,623 \text{ MSI} + 0,228$ (AFRC 1991 et 1997) est essentiellement issue de résultats obtenus avec des ovins et surestime le besoin d'entretien en Ca des caprins, principalement celui des chèvres hautes productrices. Nous avons proposé (Guéguen *et al* 1987) 20 mg par kg de poids vif (PV), cette valeur a été confirmée depuis (Kessler 1991, Soussa *et al* 1998) et peut être adoptée pour le calcul des besoins alimentaires.

Le besoin d'entretien pour les autres éléments minéraux majeurs n'a pas suscité de travaux spécifiques pour l'espèce caprine, il faut donc continuer à utiliser les données obtenues sur mouton : 3,5 mg/kg PV pour le magnésium, 50 mg/kg PV pour le potassium et 15 mg/kg PV pour le sodium.

1.2 / Besoin physiologique net pour la croissance

En 1991, l'AFRC a publié des équations allométriques pour la détermination du besoin de croissance en P (P_{CR}) et Ca (Ca_{CR}) des bovins (reprises par le NRC 2001) et des ovins. Ces équations basées sur le PV et le poids vif adulte (PVad), présentent l'intérêt de tenir compte de l'évolution de la composition minérale du croît avec l'âge des animaux. Pour tenir compte de la proportion relative du tissu osseux des caprins (16 %) plus proche de celle des bovins que de celle des ovins (13 %), l'AFRC (1997) adopte l'équation « bovins » pour les chèvres, le PVad étant fixé à 65 kg pour les femelles et à 100 kg pour les mâles :

$$P_{CR} \text{ (g/kg de gain)} = 1,2 + 4,635 \text{ PVad}^{0,22} \text{ PV}^{-0,22}$$

$$Ca_{CR} \text{ (g/kg de gain)} = 9,83 \text{ PVad}^{0,22} \text{ PV}^{-0,22}$$

Toutefois, des travaux conduits chez le chevreau en croissance (Pfeffer et Keunecke 1986, Pfeffer 1989, Pfeffer *et al* 1995) indiquent que les teneurs en Ca et P sont légèrement inférieures chez le chevreau que chez le bovin. L'utilisation de ces équations surestime donc faiblement le besoin phosphocalcique pour la croissance des caprins. A l'inverse, les valeurs moyennes de 5,5 g de P et 9,5 g de Ca par kg de gain pour l'ensemble de la période de croissance (Guéguen *et al* 1987), principalement extrapolée de mesures sur agneaux, constituent une forte sous-estimation de ce besoin.

Les autres éléments majeurs sont nettement moins représentés dans le croît corporel : 0,4 g/kg pour Mg, 1,6 g/kg pour Na et 2,4 g/kg pour K (Kessler 1991).

1.3 / Besoin physiologique net de gestation

Ce besoin concerne essentiellement le phosphore et le calcium, il correspond à la

Le besoin d'entretien en phosphore dépend surtout des quantités d'aliment ingérées.

Tableau 1. Effet du stade de lactation sur la teneur en P et Ca du lait de chèvre (Schmidely et al 2002).

Stade de lactation	n	Phosphore (g/l)	Calcium (g/l)
Début (semaine 6)	28	1,05 ± 0,02	1,40 ± 0,04
Milieu (semaine 11)	27	0,95 ± 0,03	1,26 ± 0,04
Fin (semaine 16)	26	0,89 ± 0,02	1,15 ± 0,04

minéralisation du fœtus et des enveloppes et n'est à prendre en compte que pendant les 6 dernières semaines de gestation. L'importance du besoin de gestation est directement fonction du nombre de fœtus. La composition minérale moyenne du chevreau à la naissance est la suivante : 11,5 g de Ca, 6,6 g de P, 0,3 g de Mg, 2,1 g de K et 1,7 g de Na (Lüdke 1971, Pfeffer et Keunecke 1986, Kessler 1991, Pfeffer et Rodehutsord 1998). Selon le nombre de fœtus, ces données correspondent à un transfert placentaire de 25 à 50 g de P et 40 à 90 g de Ca soient 0,6 à 1,2 g de P et 1,0 à 2,0 g de Ca par jour pendant les six dernières semaines de gestation.

1.4 / Besoin physiologique net de lactation

Le besoin de lactation se déduit directement de la composition minérale du lait. Des variations peuvent être observées en raison du stade de lactation (tableau 1), mais, pour un stade donné, la composition du lait en éléments minéraux majeurs varie peu, sauf peut-être pour P lorsque l'apport est nettement insuffisant (Pfeffer 1989). Pour Ca et P des valeurs moyennes sur l'ensemble de la lactation de 1,30 g/l et 0,95 g/l respectivement peuvent être retenues pour le calcul des besoins. Les autres éléments sont moins présents, les valeurs moyennes pour la mi-lactation, toutes races confondues figurent au tableau 2.

2 / Coefficient d'absorption réelle (CAR)

Le CAR résulte de la capacité d'absorption digestive de l'animal (susceptible de varier selon son stade physiologique) et de l'« absorbabilité » de l'apport alimentaire : les éléments minéraux contenus dans les différents aliments ne présentent probablement pas la même aptitude à être absorbés, ce qui est surtout vrai pour le phosphore, mais aussi, dans une moindre mesure, pour le calcium et le magnésium. Dans l'attente d'un système permettant de prendre en compte ces variations du CAR d'origine alimentaire, prévu à court/moyen terme, nous continuerons à utiliser une valeur unique de CAR.

Bien que la valeur de 90 % obtenue par Koddebusch (1988) soit surestimée car obtenue chez des animaux fortement carencés, il semble que le CAR de P soit plus élevé chez les caprins que chez les bovins et se situe probablement entre 65 % (Kessler 1991) et 75 % (Pfeffer 1989). Pour notre part, nous avons obtenu une valeur moyenne de 70,7 % à partir de 65 bilans sur chèvres en lactation (PV

moyen 60 kg, production de lait de 4,5 l/j) en estimant la perte endogène à partir de l'équation de Pfeffer (1989). La valeur de 70 % pour le CAR de P sera adoptée pour le calcul des apports alimentaires de P.

Les données de la littérature concernant le CAR du calcium montrent d'importantes variations. Chez la chèvre, un apport excessif de calcium diminue fortement son absorption digestive (Maraval *et al* 1984). Cette observation a été confirmée par Hove (1984), avec un CAR variant de 43 à 20 %, et par nos propres données (tableau 3). Cela signifie que la valeur moyenne de CAR de 30 % (Guéguen *et al* 1987, Kessler 1991) n'est utilisable que pour un apport de Ca non excessif.

Pour des raisons techniques, il y a très peu de mesures du CAR du magnésium, mais compte tenu de la stabilité des pertes endogènes de Mg, le coefficient d'absorption apparente (CAA) en est un bon reflet. La variation du CAA de Mg est très importante, de 18 à 57 % (Kessler 1991). Récemment des valeurs élevées (de 40 à plus de 70 %) ont été obtenues avec des régimes semi-synthétiques, c'est-à-dire en l'absence de facteurs interfé-

Tableau 2. Composition minérale moyenne du lait de chèvre (Guéguen 1997).

Éléments majeurs	g/l
Calcium	1,26
Phosphore	0,97
Potassium	1,90
Sodium	0,38
Magnésium	0,11
Chlore	1,10
Oligo-éléments	mg/l
Zinc	3,80
Fer	0,46
Cuivre	0,22
Manganèse	0,06
Iode	0,07
Sélénium	0,02

Tableau 3. Effet du niveau d'apport sur l'absorption du calcium chez la chèvre.

	Essai 1	Essai 2
Effectif	65	33
Apport (% du besoin)	160	106
Absorption apparente (%)	17,85 ± 0,96	28,22 ± 0,97
Absorption réelle ¹ (%)	22,23 ± 1,02	38,83 ± 0,94

¹ CAR calculé sur la base d'une perte endogène théorique

Chez la chèvre, le phosphore est mieux absorbé que chez les bovins et ovins. Pour le calcium, l'absorption diminue beaucoup lorsque l'apport est excessif.

rents (Alcade *et al* 1999, Meschy *et al* 2000). Comme chez les autres espèces de ruminants, un excès de potassium alimentaire diminue fortement l'efficacité de l'absorption digestive du magnésium chez les caprins (Kessler 1987, Johnson et Powley 1990). Compte tenu d'interactions possibles, nous utiliserons la valeur de CAR de 20 % proposée par Kessler (1991) pour le calcul des recommandations d'apport alimentaire en Mg.

Il n'y a pas de données nouvelles sur les CAR de Na et K, les valeurs de 80 % pour Na et de 90 % pour K généralement retenues (Guéguen *et al* 1987, Kessler 1991) seront utilisées pour les calculs.

Le tableau 4 indique les apports alimentaires recommandés en phosphore, calcium et magnésium (ceux de K et Na sont inchangés : INRA 1988) calculés avec les valeurs spécifiques présentées ici pour les chèvres en lactation. La réévaluation du besoin d'entretien en P est compensée par l'adoption d'un

CAR plus élevé ; les apports recommandés en Mg sont plus élevés que ceux de 1988.

Les apports recommandés en phosphore et calcium pour les chevrettes en croissance (tableau 5) sont sensiblement plus élevés que ceux établis en 1988. Ces différences proviennent de la réévaluation du besoin d'entretien, mais surtout de celle du besoin de croissance.

Conclusion

L'utilisation de données spécifiques aux caprins pour l'évaluation des apports alimentaires recommandés en macro-éléments conduit à une réévaluation du besoin physiologique net en phosphore et surtout du besoin de croissance en phosphore et calcium qui, jusqu'ici dérivés de ceux des ovins, étaient notablement sous-estimés. Des recherches seraient bien entendu nécessaires pour préciser les données concernant les autres éléments minéraux qui continuent à être extrapolées des autres catégories de ruminants.

Tableau 4. Apports recommandés en phosphore, calcium et magnésium chez la chèvre en lactation (poids vif : 60 kg, production de lait : 4 l/j et ingestion : 2,5 kg MS/j).

	Phosphore (g/j)	Calcium (g/j)	Magnésium (g/j)
Entretien	2,30	1,20	0,20
Lactation	3,80	5,20	0,44
Total	6,10	6,40	0,64
CAR %	70	30	20
Apport recommandé ¹	8,71 (9,00)	21,30 (19,00)	3,20 (2,70)

¹ Valeurs entre parenthèses : recommandations INRA 1988

Tableau 5. Besoins en phosphore et calcium des chevrettes en croissance (entretien + croissance).

Age	Poids vif (kg)	GMQ (g)	Ingestion (kg MS/j)	Phosphore ¹ (g/j)	Calcium ¹ (g/j)
3 mois	16,5	155	0,90	2,9 (1,7)	8,0 (3,7)
4 mois	20,5	140	1,05	2,9 (1,7)	7,3 (3,8)
5 mois	24,5	115	1,10	2,6 (1,8)	6,3 (3,8)
6 mois	27,5	90	1,15	2,4 (1,8)	5,5 (3,7)
7 mois	30,0	70	1,20	2,3 (1,8)	4,7 (3,6)

¹ Valeurs entre parenthèses : recommandations INRA 1988

Références

- Alcade C.R., Ezequiel J.M.B., Lema A., Malheiros E.B., 1999. Endogenous losses and coefficient of apparent and true absorption of magnesium in goats. *Rev. Bras. Zootech.*, 28, 1347-1357.
- AFRC, 1991. Technical Committee on Responses to Nutrients, Report 10. The nutrition of goats. *Ag. Food Res. Council. Nutr. Abstr. Rev. (Series B)*, 61, 573-612.
- AFRC, 1997. Technical Committee on Responses to Nutrients, Report 10. The nutrition of goats. *Ag. Food Res. Council. Nutr. Abstr. Rev. (Series B)*, 67, 806-815.
- Braithwaite G.D., 1985. Endogenous faecal loss of phosphorus in growing lambs and the calculation of phosphorus requirements. *J. Agric. Sci.*, 105, 67-72.
- Grace N. D., 1981. Phosphorus kinetics in sheep. *Br. J. Nutr.*, 45, 367-374.
- Guéguen L., 1997. La valeur nutritionnelle minérale du lait de chèvre. In : G. Freund (ed), Intérêts nutritionnels et diététique du lait de chèvre, 67-80. INRA, Paris.
- Guéguen L., Durand M., Meschy F., 1987. Apports recommandés en éléments minéraux majeurs pour les ruminants. *Bull. Tech. CRVZ Theix, INRA*, 70, 105-112.
- Hove K., 1984. Intestinal radiocalcium absorption in the goat: measurement with a double-isotope technique. *Br. J. Nutr.*, 51, 145-156.
- INRA, 1988. Alimentation des bovins, ovins et caprins R. Jarrige (ed.). INRA, Paris, 471 p.

Johnson C.L., Powley G., 1990. Magnesium metabolism in lactating goats fed on grass diets differing in mineral content. *J. Agric. Sci.*, 114, 133-138.

Kessler J., 1981. Eléments minéraux majeurs chez la chèvre. Données de base et apports recommandés. In: Morand-Fehr P., Bourbouze A. and De Simiane M. (eds), Nutrition and systems of goat feeding, Vol. 1, 196-209. Symposium International, Tours, May 12-15 1981, INRA-ITOVIC, Paris, France.

Kessler J., 1987. Effect of a high dietary potassium content on Mg, K and Na metabolism in the lactating goat. *Ann. Zootech.*, 36, 329.

Kessler J., 1991. Mineral Nutrition of Goats. *Goat Nutrition*, 46, 104-119.

Koddebusch L., 1988. Untersuchung zur Verwertung von Phosphor verschiedener Herkünfte bei laktierenden Ziegen. Dissertation Institut für Tierernährung, Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität, Bonn (Germany).

Lüdke H., 1971. Phosphor und Fruchtbarkeit bei Milchkuhen und Ziegen. *Wissenschaftliche Zeitschrift der Karl-Marx-Universität, Leipzig*, 20, 482-486.

Maraval B., Laurent F., Vignon B., 1984. Effect of diet composition on Ca and Mg utilisation by lactating goats. Proceedings of 35th meeting of the EAAP. August 6-9, 1984, The Hague, EAAP, Netherlands.

Meschy F., Beguin J.M., Dagonne R.P., 2000. Valeur nutritionnelle de quelques sources de magnésium mesurée chez la chèvre laitière. *Renc. Rech. Ruminants*, 7, 210.

NRC, 1981. National research Council, Nutrient requirements of goats: Angora, dairy and meat goats in temperate and tropical countries. National Academy Press, Washington, 81 p.

NRC, 2001. National research Council, Nutrient requirements of dairy cattle. National Academy Press, Washington, 381 p.

Pfeffer E., 1989. Phosphorus requirements in goats. Proceedings of the International meeting on mineral nutrition and mineral requirements in ruminants, Kyoto, Japan, 1989. Showado Insatsu Co, Kyoto, 42-46.

Pfeffer E., Keunecke R., 1986. Untersuchungen über die Gehalte an Protein, Fett und Mineralstoffen im Körper wachsender Ziegen. *J. Anim. Phys. Anim. Nut.*, 54, 166-171.

Pfeffer E., Rodehutsord M., 1998. Body chemical composition and utilization of dietary energy by male Saanen kids fed either milk to satiation or solid complete feeds with two proportions of straw. *J. Agric. Sci.*, 131, 487-495.

Pfeffer E., Rodehutsord M., Breves G., 1995. Effects of reducing dietary calcium and/or phosphorus on performance and body composition in male kids. *J. Anim. Phys. Anim. Nut.*, 74, 243-252.

Schmidely Ph., Tessier J., Meschy F., Sauviant D., 2002. Lactation response and nitrogen calcium and phosphorus utilization of dairy goats differing by the genotype for alpha-S1 casein in milk, and fed diets varying in crude protein concentration. *J. Dairy Sci.*, 85, 2299-2307.

Scott D., Whitelaw F.G., Buchan W., Bruce L.A., 1985. The effect of variation in phosphorus intake on salivary phosphorus secretion, net intestinal phosphorus absorption and endogenous phosphorus secretion in sheep. *J. Agric. Sci.*, 105, 271-277.

Scott D., Rajaratne A.A.J., Buchan W., 1995. Factors affecting faecal endogenous phosphorus loss in the sheep. *J. Agric. Sci.*, 124, 145-151.

Soussa H.M.H., De Quieroz A.C., De Resende K.T., Da Silva J.F.C., Pereira J.C., De Góvela L.J., 1998. Nutritional requirements of Alpina breed goats in the growing phase. 1. Nutritional calcium requirements for maintenance, endogenous losses and comparative slaughter. *Rev. Bras. Zootech.* 27, 186-192.

Ternouth J.H., 1989. Endogenous losses of phosphorus by sheep. *J. Agric. Sci.*, 113, 291-297.

Abstract

Mineral nutrition (macro-elements): recent progress in goats.

The P maintenance requirement must be considered as the irreducible part of endogenous losses which is highly related to the not re-absorbed salivary P. The P maintenance requirement is related to dry matter intake. The requirements for growth are slightly lower than for calves but markedly higher than for lambs, this must be taken into account for a re-assessment of growing requirement in kids. Calcium and phosphorus requirements for pregnancy mainly result from the number of fetuses and must be taken into account during the six last weeks of pregnancy. Calcium and

phosphorus content of goat milk (1.3 g Ca/L, and 0.95 g P/L, respectively) are very close to those of cow milk. True absorption coefficient (TAC) of P is higher for goats than for other ruminant species; the value of 70 % is adopted for calculations. In the goat, the TAC of Ca is markedly depressed by high level of dietary Ca, the retained value of 30 % is only suitable when dietary Ca is not in excess. Using specific data for mineral nutrition of goats lead to higher dietary recommendations for P and Ca especially for growing animals.

MESCHY F., 2002. Eléments minéraux majeurs : données récentes chez les caprins. *INRA Prod. Anim.*, 15, 267-271.

