

# Action des substances modifiant l'absorption digestive du radiocésium sur son excrétion par le lait chez les ovins

F. DABURON, G. FAYART, F. NUBLAT

---

(Manuscrit reçu le 22 octobre 1992)

**RÉSUMÉ** L'administration d'"entérobloquants" aux ruminants (ovins), après arrêt d'une contamination orale, ne modifie pas de façon notable les paramètres des courbes de décorporation du radiocésium ingéré. Par contre, on observe une diminution très significative – d'un facteur 2 – par rapport aux animaux témoins ( $n = 4$ ) de la radioactivité spécifique du lait et des urines chez les sujets recevant soit un dérivé du bleu de Prusse (l'AFCF) soit de la vermiculite (respectivement 5 et 6 animaux). Ces observations permettent d'une part d'apporter des précisions sur le transit métabolique du radiocésium chez les ruminants et d'autre part de disposer d'un moyen d'accélérer la décontamination du lait et, ainsi, de le rendre plus tôt utilisable pour l'alimentation humaine et celle des jeunes animaux.

**ABSTRACT** Feed addition of "caesium binders" – substances blocking caesium absorption into the digestive tract – does not significantly increase body decorporation in ruminants (sheep) when oral contamination is stopped. On the other hand a significant decrease in milk (and urine) specific radioactivity – by about a factor of 2 – is observed when ammonium ferricyanoferrate (AFCF, 5 ewes) or clay mineral (vermiculite, 6 ewes), is added in foodstuffs, in comparison with control ewes ( $n = 4$ ). These results give precise details on caesium metabolic transit in ruminants and make it possible to accelerate milk decontamination and allows earlier use for human and animal feeding in contaminated flocks just withdrawn from contaminated pastures.

---

## 1. Introduction

Lors d'une dispersion accidentelle de radiocésium dans l'environnement, la contamination des animaux de rente par ce radioélément pose un double problème, à la fois dans le domaine économique et dans celui de la protection sanitaire. En effet, ses caractéristiques physico-chimiques en font un radiocontaminant présent dans tous les maillons de la chaîne alimentaire, facilement assimilé par les animaux (les coefficients de transfert au lait et à la viande sont élevés) et qui peut représenter un danger à long terme, compte tenu de sa longue persistance dans l'environnement.

---

\* Commissariat à l'énergie atomique, Direction des sciences du vivant, Département de pathologie et de toxicologie expérimentale, Laboratoire de radiobiologie appliquée, 91191 Gif sur Yvette Cedex, France.

De nombreux essais ont été tentés pour limiter la contamination des animaux, soit en diminuant l'absorption digestive, soit en accélérant la décontamination corporelle du césium à partir du tissu musculaire où il se fixe préférentiellement. Le piégeage du césium dans le contenu du tube digestif a pu être réalisé de façon très efficace par les argiles, bentonite et vermiculite surtout [8, 14-15, 25] ou par des dérivés du bleu de Prusse, l'AFCF ou ammonium ferricyanoferrate [12, 19] : avec ces traitements, l'absorption digestive est diminuée d'un facteur 10. Par contre, les tentatives d'accélération de la décorporation du radiocésium ont été un échec chez les ruminants [3, 10, 21].

Néanmoins, les observations faites au laboratoire [7-8] avaient attiré notre attention sur les effets d'une administration de vermiculite sur l'évolution des taux de radioactivité spécifique du lait au cours des 30 jours suivant l'arrêt d'une contamination orale : la décroissance de la contamination du lait semblait accélérée de façon significative. Un nouvel essai a été réalisé en 1992 avec l'AFCF chez 3 brebis en lactation (2 traitées et 1 témoin). Les résultats des expérimentations antérieures conduites avec des "entérobloquants", vermiculite et ACF [3, 7-8], ont été regroupés et comparés en ce qui concerne les comptages *in toto* et les mesures de radioactivité spécifique du lait et des urines, après l'arrêt de la contamination orale chez des brebis en lactation ou tarées, traitées ou témoins.

## 2. Matériel et méthodes

Les résultats concernent des brebis ayant reçu pendant 30 à 50 jours du foin contaminé après l'accident de Tchernobyl et récolté dans le Sud-Est de la France en juin 1986 : ce foin contenait en 1990 environ 3 500 Bq/kg de matière sèche (MS) de  $^{137}\text{Cs}$  et 500 Bq/kg/MS de  $^{134}\text{Cs}$  et était distribué aux animaux à raison de 1 à 1,5 kg par jour, accompagné d'aliments concentrés pour équilibrer la ration notamment des animaux en lactation.

Les protocoles des diverses expérimentations ont été déjà décrits [8-9]. Brièvement, après arrêt de la contamination orale dont la durée était de 30 à 50 jours selon les expérimentations, la radioactivité globale des animaux était déterminée par comptage *in toto*, celle du lait sur des prélèvements de 10 ml (le reste servant à l'alimentation des agneaux) et celle de l'urine sur la totalité de l'excrétion journalière ; les mesures étaient effectuées tous les jours pendant les 10 premiers jours suivant l'arrêt de la contamination, puis au moins tous les 2 jours jusqu'au 30-40<sup>e</sup> jour.

L'étude présentée dans ce travail regroupe donc les animaux suivants :

1) *témoins* : 3 brebis en lactation contaminées pendant 50 jours, 7 brebis tarées contaminées entre 30 et 50 jours ;

2) *traités* : 3 brebis en lactation recevant pendant 50 jours respectivement 30 g/j ( $n = 2$ ) et 60 g/j ( $n = 1$ ) de vermiculite avec le foin contaminé ; le traitement a été poursuivi pendant la période de décontamination (30 j), 2 brebis tarées, contaminées pendant 50 jours, recevant respectivement 2 et 5 g/j d'AFCF pendant la période de décontamination (30 j) ;

3) *en 1992* : 3 brebis en lactation ont été contaminées avec le même foin pendant 35-55 jours ; pendant la période de décontamination (30 j) 1 a servi de témoin et 2 ont reçu 2 g/j d'AFCF.

Le tableau I regroupe les différentes observations effectuées sur les différents groupes d'animaux qui viennent d'être décrits.

TABLEAU I

Répartition des différentes mesures réalisées dans les différents groupes d'animaux  
Distribution of the measurements carried out in the various groups of animals

Animaux	n	Observation effectuée		
		Comptage global	Lait	Urines
a) Témoins				
brebis en lactation	4*	4	4	2
brebis tarées	7	7	—	—
b) Traités				
vermiculite	3	3	3	2
AFCF lactation	2	2	2	2
tarées	2	2	—	1

\* Les 3 brebis témoins du groupe (1) et la brebis témoin du groupe (3) ont été regroupées.

Deux remarques peuvent être faites à propos de ces expériences :

— les balles de foin contaminé nécessaires à l'alimentation des animaux ont été triées et réparties pour obtenir un taux de contamination quotidien à peu près constant pour chaque brebis ;

— dans ces conditions, on observe un plateau pour la radioactivité spécifique du lait en 8-10 jours et pour la charge corporelle en 30 jours environ.

Les ajustements des courbes de décroissance de la charge corporelle et de la radioactivité spécifique du lait et des urines ont été effectués sur un modèle bi-exponentiel à l'aide du programme de calcul Assystant (Asyst Software, New York, USA). La vermiculite (Vermex-SF) a été fournie gracieusement par Elf Isolation à Paris et l'AFCF (ferrocyanure ammonioferrique) par le Pr. W. Giese (Faculté de médecine vétérinaire, Hanovre, RFA).

### 3. Résultats

Le tableau II rassemble les paramètres  $T_1$  et  $T_2$  des courbes de décroissance de la charge corporelle ( $Q$ ) des différents groupes expérimentaux, selon l'équation :  $Q = A \times \exp(-0,693 t/T_1) + B \times \exp(-0,693 t/T_2)$ .

*Remarques :  $t$ ,  $T_1$  et  $T_2$  sont exprimés en jours. Les valeurs moyennes ne sont données qu'à titre indicatif car elles n'ont pas de valeur statistique.*

TABLEAU II  
Coefficients des courbes de décontamination dans les différents groupes d'animaux  
Decontamination curve coefficients in the various groups of animals

Animaux	n	$T_1$ (j)		$T_2$ (j)	
		moy.	val. extr.	moy.	val. extr.
Brebis en lactation	4	1,7	1,1-2,2	32,8	30,5-34,5
Brebis taries	7	2,1	1-3,3	26,7	24,5-28,9
Brebis en lactation traitées AFCF	2	1,4	1,1-1,7	17,3	14,6-20
Brebis en lactation traitées vermiculite	3	1,4	0,8-2,2	36,5	21-48,6
Brebis taries traitées AFCF	2	1,6	1-2,2	25,1	23,7-26,4

La figure 1 représente les courbes de décroissance de la radioactivité spécifique du lait chez les animaux témoins ( $n = 4$ ) et traités ( $n = 5$ ), en pourcentage de la valeur de la radioactivité spécifique au jour de l'arrêt de la contamination orale. Nous avons rassemblé les valeurs obtenues chez les brebis traitées par la vermiculite et celles traitées par l'AFCF car les pourcentages du radiocésium ingéré éliminés par le lait sont très voisins dans les deux groupes d'animaux. Pour les témoins, les périodes des deux exponentielles sont respectivement  $T_1 = 4,2$  j et  $T_2 = 17,8$  j tandis que, pour les traités, on obtient  $T_1 = 0,5$  j et  $T_2 = 6$  j.

Le tableau III donne, pour les urines, l'évolution de la radioactivité spécifique à J10, J20 et J30, en pourcentage de l'activité à J0, jour de l'arrêt de la contamination orale.

Dans ce cas, nous avons séparé les deux groupes d'animaux traités, les pourcentages moyens du radiocésium ingéré éliminé par les urines étant dans un rapport 2 : 2,5 % pour l'AFCF et 5 % pour la vermiculite.

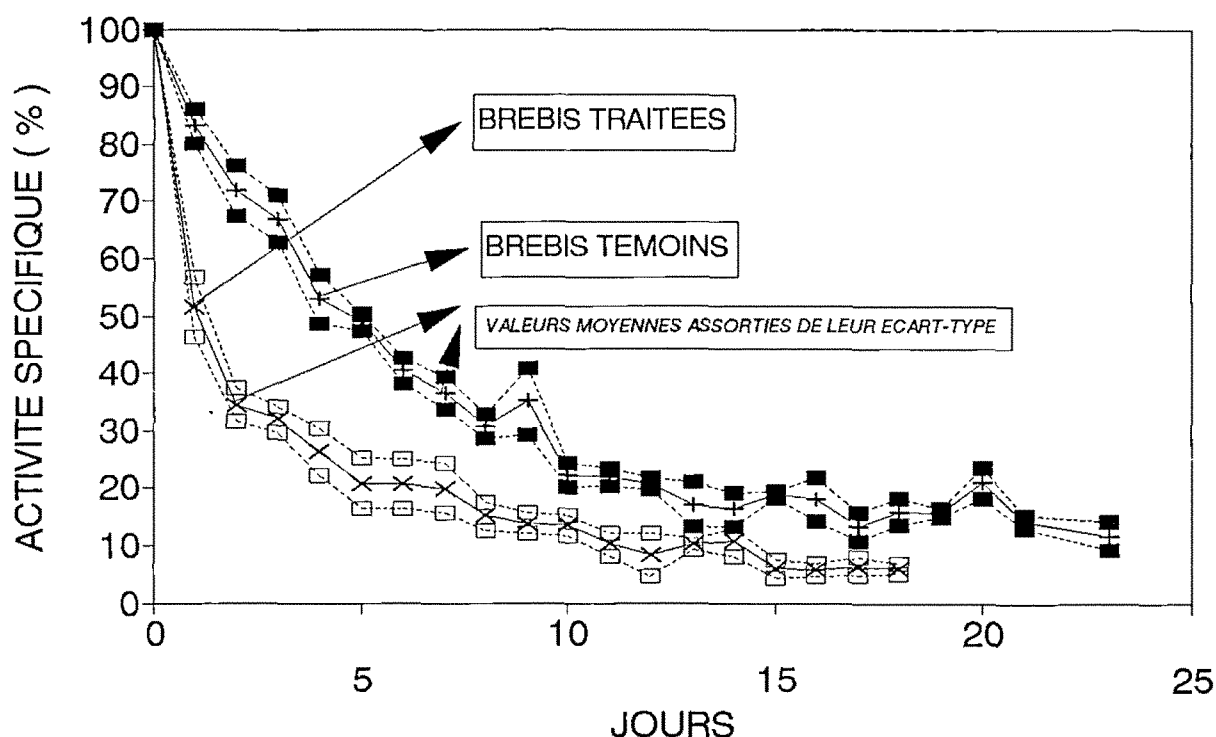


Fig. 1. - Evolution de l'activité spécifique du lait après arrêt de la contamination  
Trends of milk specific activities at the end of contamination

TABLEAU III

Evolution de la radioactivité spécifique des urines dans les différents groupes d'animaux, en fonction de la valeur au jour de l'arrêt de la contamination orale  
Trends of urine specific activities in the various groups of animals vs values at the end of oral contamination.

Animaux <i>n</i>	Témoins 2	Traités AFCE 3*	Traités vermiculite 2
Jours			
J0	100	100	100
J10	29,9 ± 2,5	14,7 ± 4,4	7,5 ± 0,3
J20	12 ± 0,3	6,6 ± 2,5	3,7 ± 1,2
J30	5,4 ± 0,1	2,9 ± 1,4	1,9 ± 1,2

\* 1 brebis tarie (groupe 2) et 2 brebis en lactation (groupe 3) ; cf. Matériel et méthodes.

#### 4. Discussion

Les tentatives de décontamination des animaux et des êtres humains ayant ingéré du radiocésium ont été entreprises dès la fin des années 50. En 1968, Richmond [20] a passé en revue tous les essais

réalisés à cette date, comprenant la dilution isotopique, la supplémentation de la ration en K et Na, les diurétiques, les hormones, les résines échangeuses d'ions et les agents chélateurs ; plus récemment, Arnaud (1987) [4] a réactualisé ces observations après l'accident de Tchernobyl. Aucune de ces méthodes n'était réellement efficace sans être toxique, mais déjà le bleu de Prusse (ferrocyanure ferrique) administré *per os* avait montré son efficacité en ramenant chez l'homme la durée de la période longue de décontamination de 110 à 40 jours [2, 17, 27]. Après le rat [1], les argiles (bentonite et vermiculite ont été essayées chez les ruminants dès 1964 par Hansard, [14] puis par Hazzard [15] et Van den Hoek [25], avec les conclusions suivantes : les argiles fixent le césium présent dans le contenu du tube digestif, limitant son absorption, et donc son transfert à la viande et au lait, jusqu'à un facteur 8-10 quand elles sont administrées à la dose de 3 % de la matière sèche de la ration ; par contre, leur action sur la décorporation du césium contenu dans la carcasse est faible sinon nulle [10].

De même, l'utilisation des dérivés du bleu de Prusse, chez les monogastriques (rat, chien et homme) et chez les ruminants, a mis en évidence une différence importante dans le comportement des entérobloquants dans les deux groupes d'animaux. Même administrés tardivement après la contamination, les dérivés du bleu de Prusse sont capables d'accélérer la décontamination chez le rat [18], le chien [17] et l'homme [2, 23-24] ; par contre, chez les ruminants, aucune accélération de la décontamination n'a pu être mise en évidence [3, 21].

Il est important de souligner, dans l'effet des entérobloquants sur la rétention du césium, le délai entre le moment de la contamination et le début du traitement. Dans les heures ou les tous premiers jours d'une contamination, lorsqu'une fraction importante du césium administré se trouve encore dans l'espace extracellulaire (y compris le contenu du tube digestif), les entérobloquants, qui limitent la réabsorption du césium présent dans les sécrétions digestives, et même les diurétiques, qui augmentent la clairance plasmatique, sont efficaces pour diminuer la charge corporelle. Après un délai de quelques jours, près de 99 % du césium se trouve dans l'espace intracellulaire : le seul moyen d'accélérer la décontamination est d'augmenter la clairance des liquides extracellulaires en piégeant le césium dans le tube digestif et en empêchant sa réabsorption. Il semble que chez les monogastriques une telle augmentation de la clairance par les entérobloquants soit possible, alors qu'elle est très faible chez les ruminants. L'augmentation du taux ou de la vitesse de renouvellement du césium dans l'intracellulaire en intervenant directement sur le métabolisme cellulaire (par exemple avec des extraits thyroïdiens) n'est pas sans danger.

Les différents modèles compartimentaux [5-6, 13] proposés pour la représentation du transit du radiocésium chez les ruminants font appel à un compartiment intracellulaire (IC) en équilibre avec un compartiment extracellulaire (EC), recevant un flux positif du tube digestif (TD) et dis-

tribuant trois flux négatifs entre le lait, l'urine et les sécrétions digestives. Selon Hanout [13], le flux d'IC vers EC est 40 fois plus faible que l'inverse ; le flux de TD vers EC (absorption intestinale) est le tiers du flux d'EC vers TD (sécrétion dans les fluides digestifs). Si un "entérobloquant" réduisant l'absorption intestinale d'un facteur 10 est présent dans le tube digestif, le passage de TD vers EC sera considérablement réduit, tandis que les flux négatifs à partir d'EC (lait, urine et sécrétions digestives) ne seront pas affectés [16]. Ainsi, la concentration du compartiment extracellulaire EC va décroître rapidement, le seul flux positif à partir du tube digestif étant fortement diminué : dans nos expériences, à l'arrêt de la contamination orale va s'ajouter le piégeage du radiocésium dans le contenu du tube digestif. On comprend ainsi que la concentration de césium dans le lait et les urines puissent décroître rapidement, tandis que la charge corporelle (le compartiment IC), dont les échanges sont très lents avec le compartiment EC, est peu affectée. Les différences observées dans l'efficacité des entérobloquants entre les monogastriques et les ruminants reposent probablement sur les valeurs respectives des flux entre les différents compartiments.

## 5. Conclusion

Les résultats présentés dans cette note regroupent toutes les expérimentations conduites au laboratoire sur le transit métabolique du radiocésium présent dans du foin contaminé par les retombées de Tchernobyl et administré à des brebis taries ou en lactation. Il apparaît clairement que, pendant la phase de décontamination spontanée des animaux après arrêt de la contamination orale, l'ajout à la ration d'"entérobloquants" (argile ou AFCF) permet de réduire la concentration du radiocésium dans le lait d'environ un facteur 2. Pendant la durée relativement courte de nos observations (20-30 jours), nous n'avons pas pu mettre en évidence une action nette de ces substances sur la cinétique de la décontamination corporelle. ■

*Remerciements* : MM. J.F. Dossin, J.J. Leplat et Y. Mellerin ont assuré l'entretien des animaux en expérimentation et la plupart des prélèvements.

## RÉFÉRENCES

- [1] Nutrition factors influencing the secretory pattern of  $^{134}\text{Cs}$  in rats. ORO-159, 1957, 6-10.
- [2] AIEA. – L'accident radiologique de Goiânia, Chap. 5. Vienne : AIEA, 1989, 46-48.
- [3] ARCHIMBAUD Y. – Etude du métabolisme du césium chez les ovins. Action de l'ammonium-ferrique-cyanoferrate sur l'absorption et l'élimination du césium. Thèse de doctorat vétérinaire, Ecole nationale vétérinaire de Lyon, 1988.

- [4] ARNAUD M.J. – The removal and/or reduction of radionuclides in the food chain. *In* : Radionuclides in the food chain (J.H. Harley, G.D. Schmidt and G. Silini, Eds.), ILSI Monographs. Berlin : Springer-Verlag, 1987, chap. 16, 195-213.
- [5] CARNAUD C. – Contribution à l'étude du métabolisme du césium chez les ovins ; essai d'un traitement mathématique des données expérimentales. Thèse de docteur vétérinaire, Paris, 1969.
- [6] COUGHTREY P.J., THORNE M.C. – Radionuclide distribution and transport in terrestrial and aquatic ecosystems ; a critical review of data, Vol. 1, Cesium. Rotterdam : A.A. Balkema, 1983, 374-388.
- [7] COUSI J. – Etude expérimentale de la contamination des ovins par les radiocésiums 134 et 137. Thèse de doctorat vétérinaire, Ecole nationale vétérinaire d'Alfort, 1985.
- [8] DABURON F., ARCHIMBAUD Y., COUSI J., FAYART G., HOFFSCHIR D., CHEVALLEREAU I., LE CREFF H., GUEGUEN L. – Radiocaesium transfer to ewes fed contaminated hay after the Chernobyl accident : effect of vermiculite and AFCF (ammonium ferricyanoferrate) as countermeasures. *J. Environ. Radioact.*, 1991, 14, 73-81.
- [9] DABURON F., FAYART G., BARADAT M., LIBOTTE S. – Transfert du radiocésium présent dans du foin contaminé par les retombées de Tchernobyl à des brebis gestantes et à leurs produits à différents âges. *Radioprotection*, 1992, 27(4) 423-435.
- [10] FABBRI S., LUSARDI E., PIVA G., STEFANINI L., FUSCONI G., MODENESI R. – Additivi alimentari ad azione sequestrante al fine di ridurre la contaminazione del latte da  $^{137}\text{Cs}$  e  $^{134}\text{Cs}$ . *In* : Les études relatives à la radioactivité de l'environnement et à son impact sanitaire notamment à la suite de l'accident de Tchernobyl, Congrès franco-italien SFRP-AIRP, Castelgandolfo (Roma), 12-13 octobre 1987. Rome : ENEA, 1988, 301-306.
- [11] GIESE W. – Thesis, School of Vet. Med., Hannover, 1971.
- [12] GIESE W. – Reduction of gastro-intestinal radio-caesium absorption in domestic animals by a special feed additive : ammonium-ferric-cyano-ferrate (AFCF). *In* : Proceedings of the XIXth ESNA Conference, Vienna, Aug. 29 – Sept. 2, 1988 (M. H. Gerzabek, Ed.), Seibersdorf : Institut für Landwirtschaft, 1989, 235-245 (OEFZS-4489 ; LA-210/89).
- [13] HANOUT R., CARNAUD C., REMY J. – Un traitement mathématique de la cinétique du radiocésium chez la brebis. *Health Phys.*, 1971, 20, 601-611.
- [14] HANSARD S.L. – Effects of hydrobiotites upon 89 Sr and 137 Cs retention by ruminant animals. *Proc. Soc. Expe. Biol. Med.*, 1964, 115(2), 346-350.
- [15] HAZZARD D.G. – Per-cent caesium 134 and strontium 85 in milk, urines and feces of goats on normal and verscite-containing diets. *J. Dairy Sci.*, 1969, 52, 990-994.
- [16] IOANNIDES K.G., MANTZIOS A.S., PAPPAS C.P. – Influence of Prussian blue in reducing transfer of radiocaesium into ovine milk. *Health Phys*, 1991, 60(2), 261-264.
- [17] MADSHUS K., STRÖMME A., BOHNE F., NIGROVIC V. – Diminution of radiocaesium body-burden in dogs and human beings by Prussian blue. *Int. J. Rad. Biol.*, 1966, 10(5), 519-520.
- [18] NIGROVIC V. – Enhancement of the secretion of radiocaesium in rats by ferric cyanoferrate (II). *Int. J. Radiat. Biol.* 1963, 7, 307-309.
- [19] PEARCE J. UNSWORTH E.F., McMURRAY C.H., MOSS B.W., LOGAN E., RICE D., HOVE K. – The effects of Prussian blue provided by indwelling rumen boli on the tissue retention of dietary radiocaesium by sheep. *Sci. Total Environ.*, 1989, 85, 349-355.
- [20] RICHMOND C.R. – Accelerating the turnover of internally deposited radiocaesium. *In* : Diagnosis and treatment of deposited radionuclides (H.A. Kornberg and W.D. Norwood, Eds). Amsterdam : Excerpta medica, 1968, 315-328.



- [21] RINGDORFER F. – Caesium decontamination of lambs by different feeds and additives. *In* : Environmental contamination following a major nuclear accident, Vienna, 16-20 Oct. 1989 (IAEA-SM-306). Vienne : AIEA, 1990, vol. 2, 236-239.
- [22] STATHER J.W., SMITH H. – Treatment of accidental intakes of <sup>137</sup>Cs. *Health Phys.*, 1982, 42(2) 239.
- [23] STRÖMME A. – Increased excretion of <sup>137</sup>Cs in humans by Prussian blue. *In* : Diagnosis and treatment of deposited radionuclides (H.A. Kornberg and W.D. Norwood, Eds.). Amsterdam : Excerpta medica, 1968, 329-332.
- [24] TANG MING-HUA, GONG YI-FEN, SHEN CHENG-YAO, YE CHANG-QING, WU DE-CHANG. Measurement of internal contamination with radioactive caesium released from the Chernobyl accident and enhanced elimination by prussian blue. *J. Radiol. Prot.*, 1988, 8(1), 25-28.
- [25] VAN DEN HOEK J. – Cesium metabolism in sheep and the influence of orally ingested bentonite on cesium absorption and metabolism. *Z. Tierphysiol. Tierernährg. Futtermittelkd.*, 1976, 37, 315-321.