

Comparaison de l'écoulement sur les revêtements des aires d'exercice en stabulations bovines

Beat Steiner¹, Margret Keck¹, Markus Keller¹ et Katharina Weber²

¹Station de recherche Agroscope Reckenholz-Tänikon ART, 8356 Ettenhausen

²Université de Hohenheim, Institut für Agrartechnik, 70593 Stuttgart

Renseignements: Beat Steiner, e-mail: beat.steiner@art.admin.ch, tél. +41 52 368 31 31



Figure 1 | Pour réduire les émissions d'ammoniac, il est indispensable que l'urine soit rapidement évacuée. (Photo: ART)

Introduction

Jusqu'à présent, la surface des revêtements des aires d'exercice était structurée différemment et ne comportait généralement que peu voire pas de pente ($\leq 1\%$). Par conséquent, l'urine ne peut pas s'écouler de la surface (drainage). Or, les aires d'exercice souillées sont des sources d'émissions d'ammoniac (NH_3). Après que l'animal a uriné, la quantité de NH_3 libérée sur les aires d'exercice augmente rapidement, puis décroît. L'hydrolyse de l'urée débute environ 0,5 à 1 heure après que l'urine est entrée en contact avec les excréments et s'achève généralement en quelques heures (Monteny 2000; Aarnink *et al.* 1992). La rapidité et l'intégralité de la décomposition de l'urée sont positivement influencées par le taux de concentration de l'urée et par l'activité de l'uréase qui dépend de la température. Outre les revêtements optimisés afin de réduire les émissions, une pente et des rigoles permettent d'évacuer rapidement l'urine de la surface. On espère obtenir ainsi un effet de réduction de NH_3 . Monteny (2000) et Keck (1997) ont pu montrer à travers des simulations et des essais à échelle semi-technique que cet aménagement avait une grande

influence sur les émissions de NH_3 provenant de l'urine dans les aires d'exercice. Par conséquent, il est important d'évacuer rapidement l'urine. Une pente transversale de 3 % des deux côtés de l'aire d'exercice a eu un impact plus important sur les émissions de NH_3 (réduction de 20–50 %) que l'augmentation de l'intervalle d'évacuation de 12 à 96 fois par jour (réduction de 5 %; Braam *et al.* 1997). Sur les aires d'exercice qui n'ont pas de pente, l'humidité stagne jusqu'à la prochaine évacuation du fumier. C'est pourquoi une pente transversale doit permettre de conduire l'urine vers une rigole d'évacuation centrale par le plus court chemin possible. Pour obtenir un tel résultat, il est nécessaire de mieux connaître les interactions entre la structure des surfaces, le degré de souillure et le profil d'écoulement avec pentes et canaux d'évacuation. Les principales mesures techniques concernent le type de structure des revêtements, l'intégration d'une pente et d'un système d'évacuation des liquides par un réseau de canaux.

La présente étude avait pour but d'évaluer l'influence de la pente sur l'écoulement avec des revêtements d'aire d'exercice de structures différentes. Après l'élaboration d'une méthode de mesure appropriée, il a fallu quantifier l'effet de différents paramètres individuels et combinés.

Matériel et méthodes

Revêtements d'aires d'exercice avec différentes structures superficielles

Sept revêtements d'aires d'exercice avec différentes structures superficielles ont été étudiés: cinq revêtements en caoutchouc (tabl. 1), un revêtement en monobéton et un revêtement en asphalte coulé. Le modèle en béton correspondait à la catégorie C 30/37, avec une granulométrie de 0 à 16 mm; 1,4 kg/m² de sable de quartz A d'une granulométrie de 0,7 à 1,2 mm avait été injecté en surface. Dans le cas de l'asphalte coulé GA 8 SJ, la surface a été travaillée avec du sable rond de Mülligen d'une granulométrie de 0,8 à 1,8 mm. Les tapis en caoutchouc 1, 2, 4 et 5 avaient le dessus profilé, avec une nette distinction entre les zones en relief et les interstices. Le tapis en caoutchouc 3 présentait un profil martelé.

Un dispositif expérimental spécial a été installé à une échelle semi-technique (fig. 1). Dans le sens de la pente, les revêtements des aires d'exercice utilisés mesuraient 160 cm de long, ce qui correspond plus ou moins à la largeur habituelle du couloir de circulation jusqu'à la rigole d'évacuation centrale dans les stabulations de vaches laitières; la largeur était de 120 cm. La pente des revêtements a été modulée de 0 à 5 %, en six niveaux. Six mesures ont été effectuées pour chaque niveau de pente, trois dans les deux sens opposés afin de tenir compte d'un éventuel effet de la direction. Au total, on disposait donc de six mesures par niveau de pente et de 36 mesures pour chaque matériau. Les mesures ont été effectuées sur des surfaces préalablement humidifiées et souillées avec un mélange standard d'urine et d'excréments. Le mélange provenant de vaches laitières était réparti sur les revêtements d'aires d'exercices à l'aide d'un racleur d'évacuation. La teneur en MS du mélange urine-excréments variait de 10 à 12 % entre les phases d'essai. Le liquide utilisé pour l'expérience était de l'eau. Le volume appliqué était de deux litres, ce qui correspond à la miction moyenne d'une vache (Rutzmoser 2009). Le volume de liquide écoulé a été mis en parallèle au temps écoulé depuis le début de la miction et enregistré de manière gravimétrique (fig. 2). Le logiciel d'enregistrement (Dasy-Lab) commandait la soupape et enregistrait les valeurs toutes les 0,5 s dans un fichier ASCII.

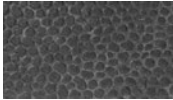
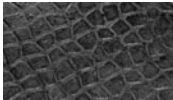
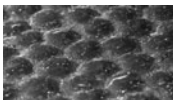

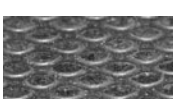
La surface de propagation a été enregistrée à l'aide d'une caméra infrarouge «Flir ThermaCam TM E4». L'eau a donc été chauffée à 30 °C avant le début de chaque mesure afin d'obtenir un contraste suffisant avec la température de l'aire d'exercice qui était de 18 °C. Une baguette chauffée à la même température a été placée sur la surface avant l'enregistrement et a servi de référence pour la conversion des points de l'image digitale.

Nouveaux paramètres pour quantifier l'écoulement

La durée du processus d'écoulement variait de manière considérable car souvent de petites quantités s'égouttaient encore après l'écoulement proprement dit. C'est pourquoi un nouveau paramètre a été introduit, la «durée de l'écoulement de 75 % du volume épandu (1500 g)». Pour déduire la quantité d'urine pouvant encore être libérée, la «masse du liquide résiduel» a été calculée. La «surface de propagation» a été calculée à l'aide du logiciel Adobe Photoshop 7.0. Les moyennes et les écarts-types ont également été calculés pour les six résultats obtenus par matériel et niveau de pente. Afin de déterminer les effets de la direction sur les différents revêtements, les écarts entre les deux sens d'écoulement ont été documentés. L'évaluation statistique a été réalisée avec le logiciel Software S-Plus. Les moyennes de

Résumé Les aires d'exercice souillées dans les stabulations bovines sont des sources d'émissions d'ammoniac. En vue de réduire les émissions, les chercheurs ont quantifié l'influence de la pente sur l'écoulement de l'eau à une échelle semi-technique sur sept revêtements d'aire d'exercice différents. Les revêtements ont été souillés par défaut avec un mélange d'urine et d'excréments. Les paramètres mesurés étaient la durée de l'écoulement, la masse et l'étendue occupée par le liquide résiduel. Quel que soit le paramètre, des différences significatives ont été constatées entre les pentes jusqu'à une déclivité de 4 %. La réduction de la durée d'écoulement et de la masse résiduelle était très importante, notamment jusqu'à une pente de 3 %. Une augmentation plus importante de la pente n'a apporté que de légères variations. Compte tenu des conséquences en termes de construction et des répercussions éventuelles sur les déplacements des animaux, une pente de 3 % s'avère avantageuse pour les aires d'exercice en dur.

Tableau 1 | Description des revêtements d'aires d'exercice en caoutchouc étudiés

Vue de la surface en agrandissement	Numérotation et description de la structure superficielle des revêtements d'aire d'exercice
	Tapis en caoutchouc 1 Surfaces en relief 6–10 mm de diamètre, interstices 1–2 mm de large, env. 1 mm de profondeur
	Tapis en caoutchouc 2 Surfaces en relief, avec arrêtes de 11–16 mm, interstices 3 mm de large, env. 1 mm de profondeur, surface en caoutchouc à la structure légèrement rugueuse
	Tapis en caoutchouc 3 Profil martelé, surfaces en relief en forme de bosses, 12 mm de diamètre, passage sans transition des zones en reliefs aux creux
	Tapis en caoutchouc 4 Surfaces en relief «Lines», symétriques, 6 mm de long, 1 mm de large, interstices 3 mm de large, env. 1 mm de profondeur
	Tapis en caoutchouc 5 Surfaces en relief en forme d'ellipses, symétriques, 7 mm de long, 5 mm de large, interstices 2 mm de large, env. 1 mm de profondeur

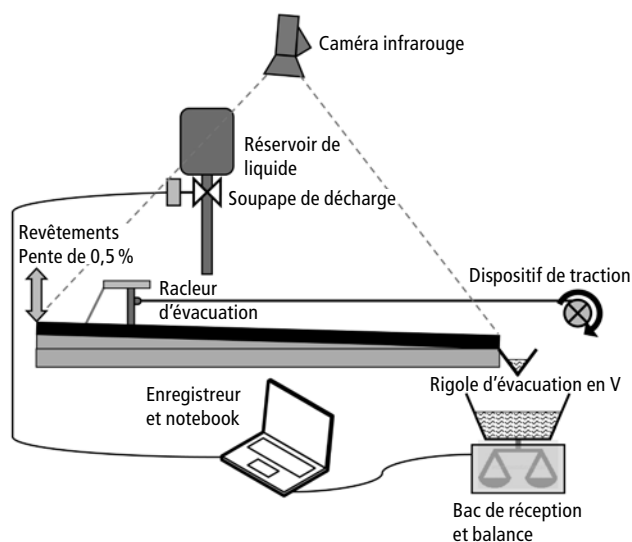


Figure 2 | Schéma du dispositif expérimental.

durée ont été transformées avec une fonction racinaire. Enfin, une analyse de variance à deux facteurs a été effectuée avec un intervalle de confiance de 95 % pour les combinaisons linéaires spécifiées selon la méthode Bonferroni.

Résultats

Des pentes allant jusqu'à 3 % réduisent considérablement la durée d'écoulement et la masse résiduelle

La durée d'écoulement et la masse résiduelle ont diminué considérablement avec des pentes jusqu'à 3 %, quel que soit le revêtement de l'aire d'exercice (fig. 3 et 4). Pour les pentes entre 1 et 3 %, la baisse était comprise entre 67 et 77 % pour la durée et entre 59 et 74 % pour la masse résiduelle. Avec une pente de 3 %, la masse résiduelle était encore comprise entre 209 g (pour le béton) et 119 g (pour le tapis en caoutchouc 5). A la pente maximale de 5 %, ces masses ont encore diminué de 175 respectivement 52 g. Une masse encore plus faible a été obtenue avec l'asphalte coulé (35 g). Pour tous les revêtements d'aire d'exercice présentant une pente de 1 %, la durée d'écoulement de 75 % de la masse épanchée (2000 g) variait en moyenne entre 166 et 97 s; pour une pente de 5 %, la durée était comprise entre 34 et 28 s. Pour une pente de 1 %, la masse résiduelle représentait entre 550 et 371 g, pour une pente de 5 % entre 175 et 35 g. Avec une pente de 1 %, la surface de propagation était comprise entre 18 696 et 13 514 cm², avec une pente de 5 % entre 13 628 et 8 806 cm². Les masses résiduelles les plus élevées ont été relevées avec le béton. Le tapis en caoutchouc 4 a affiché les durées d'écoulement les plus courtes. Avec l'augmentation de la pente, les diffé-

rences de durées d'écoulement et de masses résiduelles entre les tapis en caoutchouc sont devenues de moins en moins importantes.

Contrairement aux paramètres «durée de l'écoulement» et «masse résiduelle», le paramètre «surface de propagation» (fig. 5 et 6) a permis d'établir une comparaison avec une pente de 0 %. On a constaté une baisse de 58 à 79 % entre une pente de 0 et une pente de 3 %. Avec 0 % de pente, la surface de propagation était comprise entre 22 285 et 16 387 cm², tandis qu'avec une pente de 5 %, elle variait entre 13 628 et 8 806 cm². Avec une pente de 3 %, ce sont le béton et le tapis en caoutchouc 4 qui ont affiché les surfaces de propagation les plus réduites (13 012 et 10 629 cm²). A l'exception du tapis en caoutchouc 4, tous les autres revêtements ont enregistré la plus importante réduction de la surface de propagation entre la pente de 1 % et la pente de 2 %. A partir d'une pente de 2 %, la surface de propagation a néanmoins continué à diminuer progressivement.

Avec une pente de 1 %, l'écart-type de la durée d'écoulement était en moyenne de 17 s et celui de la masse résiduelle de 46 g. A partir d'une pente de 2 %, l'écart-type était déjà nettement inférieur, tandis qu'il s'élevait encore à 0,7 s et 17 g pour une pente de 5 %. Pour les différents revêtements et les niveaux de pente, l'écart-type de la surface de propagation variait nettement plus que celui des deux autres paramètres. Pour tous les paramètres confondus, l'analyse de variance a indiqué des différences significatives ($P < 0,05$) entre les niveaux de pente jusqu'à 4 % compris. Dans le cas de la masse résiduelle, la différence entre les niveaux 4 et 5 % était également significative. Qu'il s'agisse des tapis en caoutchouc produits en série, du béton ou de l'asphalte coulé, les essais n'ont montré aucun effet spécifique de la direction.

Discussion

La pente a plus d'impact que la structure de la surface

Avec les revêtements utilisés pour les aires d'exercice, il s'est avéré que la pente avait un impact nettement plus important sur l'écoulement que la structure de la surface. Des différences ont toutefois été relevées entre les différents types de revêtements. Avec des structures superficielles, grossières, hétérogènes et une pente faible, les temps d'écoulement étaient plus longs et la masse résiduelle plus élevée qu'avec la structure plus fine des tapis en caoutchouc. Pour les surfaces de propagation, le béton et l'asphalte coulé se situaient au même niveau que les revêtements en caoutchouc. La granulométrie du sable choisi pour la surface avait par conséquent un effet sur la propagation du liquide similaire à celui des surfaces en relief des tapis en caoutchouc. Par

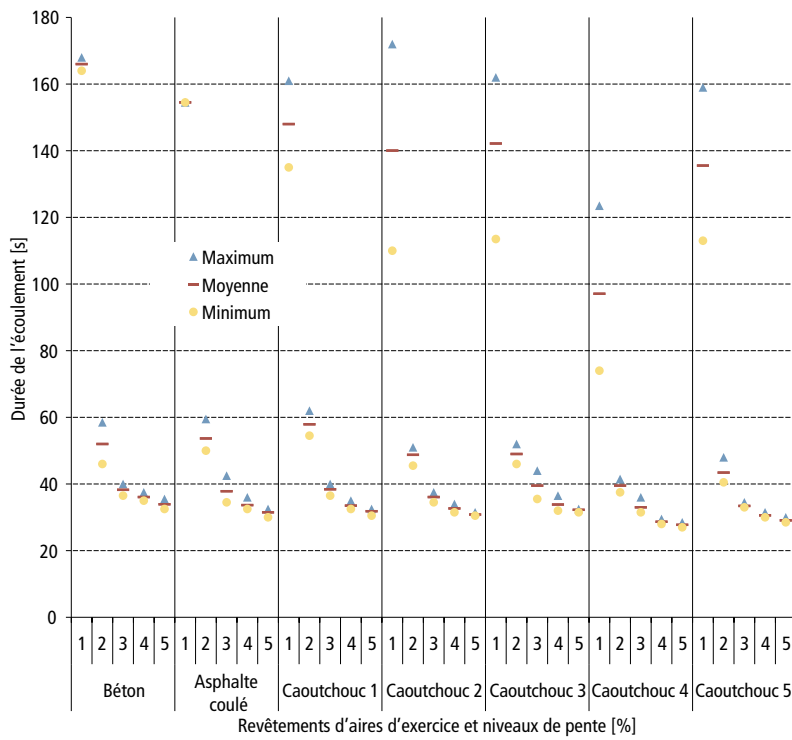


Figure 3 | Durée de l'écoulement pour différents revêtements d'aires d'exercice et différents niveaux de pente.

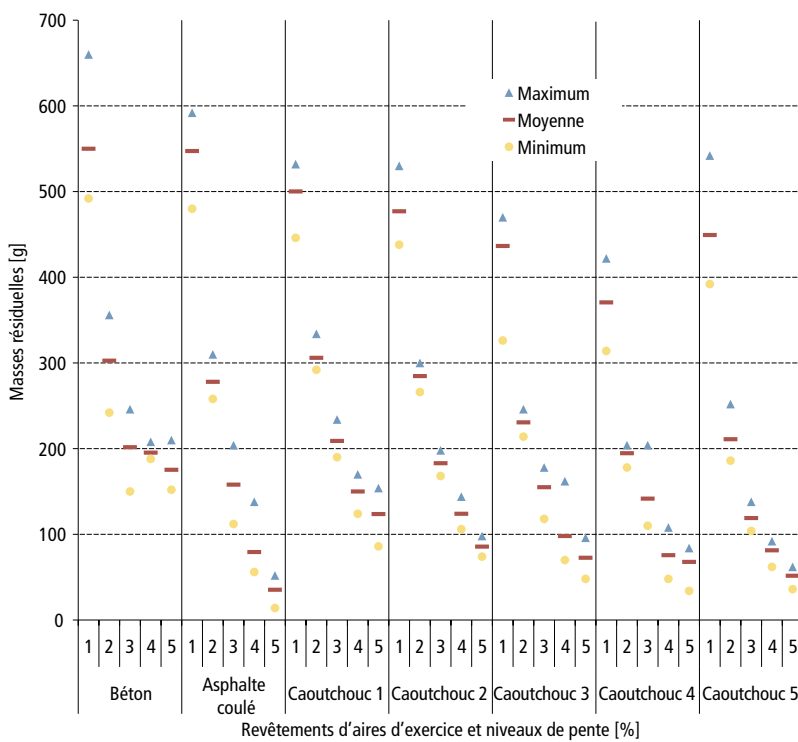


Figure 4 | Masse résiduelle pour différents revêtements d'aires d'exercice et différents niveaux de pente.

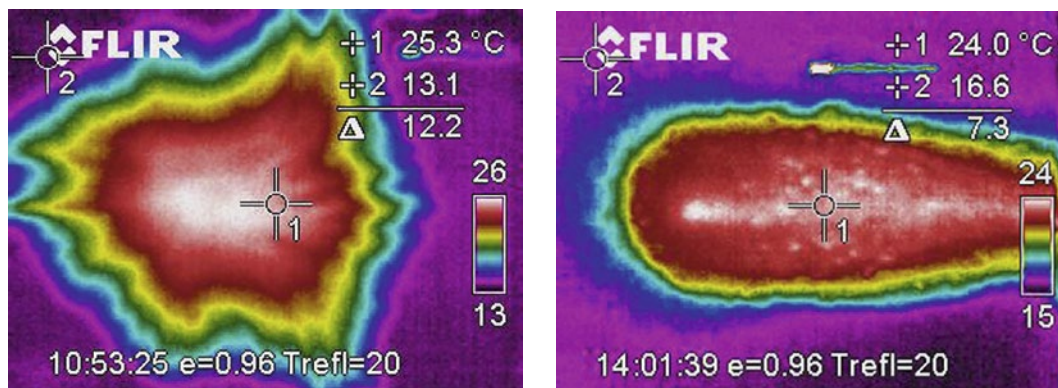


Figure 5 et 6 | Surfaces de propagation sur un revêtement en caoutchouc avec une pente de 0 % (fig. de gauche) et de 3 % (fig. de droite). (Photos: ART)

conséquent, la structure de la surface n'a pas eu une grosse influence sur la propagation du liquide. L'amplitude de variation plus importante du paramètre «surface de propagation» pourrait donc être due non seulement à des aspects méthodologiques, mais aussi au fait que l'effet de refoulement entre le mélange urine-excréments et l'eau est différent. Si l'on tient compte des résultats des trois paramètres de mesure, le tapis en caoutchouc 4 apparaît comme le plus avantageux, ses zones en relief étant plus fines et symétriques par rapport aux interstices.

Par conséquent, la structure et la pente doivent être conçues de manière à permettre un drainage. Plus le drainage d'une aire d'exercice se fait mal, plus le volume de matières responsables des émissions augmente. Les surfaces qui conviennent le mieux sont celles qui présentent un fort pourcentage de volume libre et ouvert (Steiner *et al.* 2010). Jusqu'à des pentes de 3 %, les baisses enregistrées notamment en termes de durée d'écoulement et de masses résiduelles étaient importantes, quel que soit le revêtement considéré.

Avec une pente de 3 à 5 %, l'écart-type des durées d'écoulement était plus faible, ce qui confirme le fait que l'augmentation de la pente favorise l'écoulement immédiat. Bien que l'on ait encore constaté des différences significatives entre les niveaux de pente de 3 et de 4 %, on peut se demander si les différences quantitatives sont encore pertinentes par rapport à l'effet de réduction des émissions.

En ce qui concerne l'adéquation de la méthode de mesure, les essais ont montré que la technique d'enregistrement avec caméra infrarouge et traitement des images à l'aide de Photoshop 7.0 devait encore être améliorée.

Les résultats des essais ont indiqué que les paramètres de mesures (durée d'écoulement, masse résiduelle et surface de propagation), convenaient tous les trois pour quantifier l'influence de la pente sur l'écoulement des différents types d'aires d'exercice.

Combinaison avec un nettoyage fréquent – Synergies avec le bien-être des animaux

Dans les conditions de la pratique, on peut supposer que les excréments gênent encore davantage l'écoulement que dans la présente expérience, en fonction de la fréquence et de l'efficacité du nettoyage des aires d'exercice. Ce serait un argument en faveur d'une pente de plus de 3 %. Mais d'autres arguments sont en défaveur, notamment la question des coûts de construction et les questions relatives aux répercussions sur les déplacements des animaux. Il est donc recommandé pour l'instant de prévoir une pente transversale d'environ 3 % dans les aires d'exercice en dur. Associé à un nettoyage fréquent et efficace, cet aménagement devrait permettre de réduire les émissions et avoir un effet positif sur la propreté des animaux et la santé de leurs onglons.

Conclusions

L'influence sur l'écoulement de différents types de revêtements d'aires d'exercice dans les stabulations bovines peut être quantifiée à une échelle semi-technique à l'aide de trois paramètres: la durée d'écoulement, la masse résiduelle et la surface de propagation. Jusqu'à une pente de 3 %, la réduction obtenue est très nette, notamment en termes de durée d'écoulement et de masse résiduelle, quel que soit le revêtement. La propagation du liquide n'a pas été fondamentalement influencée par la structure superficielle des matériaux employés. Pour obtenir une réduction sur les émissions, la structure et la pente des aires d'exercice doivent être conçues de manière à faciliter le drainage. Dans les conditions de la pratique, il est impératif de prévoir des rigoles d'évacuation fonctionnelles. Associées à un nettoyage fréquent et efficace, ces mesures ont en outre un effet positif sur la santé des onglons. ■

Riassunto**Confronto delle condizioni di deflusso sui rivestimenti delle superfici di camminamento nelle stalle per bovini**

Superfici di camminamento sporche rappresentano, nelle stalle per bovini, fonti di emissioni di ammoniaca. Per ridurre le emissioni è stato quantificato l'influsso della pendenza sulle condizioni di deflusso dell'acqua, su piccola scala, su sette diversi rivestimenti delle superfici di camminamento. I rivestimenti delle superfici sono stati sporcati in modo standardizzato con una miscela di escrementi e urina. Come parametri di misura sono serviti il periodo di deflusso, la massa e la superficie di diffusione del liquido rimanente. Delle differenze significative si sono evidenziate per tutti i parametri tra i livelli di pendenza fino al 4 %. La diminuzione del tempo di deflusso e della massa restante è risultata rilevante soprattutto fino a una pendenza del 3 %. Un ulteriore aumento del dislivello ha apportato solo cambiamenti irrilevanti. Un dislivello del 3 % si dimostra vantaggioso per le superfici di camminamento con rivestimento, in considerazione delle conseguenze edilizie ed eventuali ripercussioni sul comportamento della camminata.

Summary**Comparison of drainage characteristics of traffic floor surfaces in cattle-housing systems**

Soiled traffic floor surfaces in cattle-housing systems represent plane sources for ammonia emissions. For emission-reduction purposes, the influence of the gradient on the drainage behaviour of water was quantified on a pilot-plant scale for seven different traffic surfaces. The surfaces were uniformly soiled with a mixture of excrements and urine. Measuring parameters were the duration of drainage, mass and spread area of the residual liquid. For all parameters, there were significant differences between the gradient levels up to 4 %. The decrease in both drainage time and residual mass was considerable, especially up to a gradient of 3 %. A further increase in the gradient occasioned only slight changes. Bearing in mind the structural consequences and any possible effects on the cows' walking behaviour, a gradient of 3 % for traffic floor surfaces would appear to be advantageous.

Key words: floor surface, cattle housing, drainage, ammonia emission, gradient.

Bibliographie

- Aarnink A. J. A., van Ouwerkerk E. N. J. & Verstegen M. W. A., 1992. A mathematical model for estimating the amount and composition of pig slurry from fattening pigs. *In: Livestock Production Science* **31**, 133–147.
- Braam C. R., Smits M. C. J., Gunnink G. & Swierstra D., 1997. Ammonia emission from a double-sloped floor in a cubicle house for dairy cows. *Journal of Agricultural Engineering Research* **68**, 375–386.
- Gooch C. A., 2000. Considerations in Flooring. Dairy Housing and Equipment Systems. Natural Resource, Agriculture and Engineering Service NRAES-129, Cooperative Extension, Ithaca, New York, 278–291.
- Keck M., 1997. Ammonia Emission and Odour Thresholds of Cattle Houses with Exercise Yards. *In: Voermans J. A. M. & Monteny G. J., Ammonia and Odour Emissions From Animal Production Facilities. Proceedings of a International Symposium in Vinkeloord, Netherlands*, 349–355.
- Monteny G. J., 2000. Modelling of ammonia emissions from dairy cow houses. Ph. D. Thesis, Wageningen University, Wageningen.
- Rutzmoser K., 2009. Communication écrite. Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Tierernährung und Futterwirtschaft, Grub, 11.5.2009.
- Steiner B., Kilian M., Haidn B. & Keck M., 2010. Emissionsrelevante optische Kenngrößen zum Vergleich von Laufflächen-Materialien in Rindviehställen. *Landtechnik* **05**, 346–349.