

Assainissement des aires d'exercice en béton

Développement et évaluation de nouveaux procédés

Beat Steiner, Station de recherche Agroscope Reckenholz-Tänikon ART, Tänikon, CH-8356 Ettenhausen,
E-mail: beat.steiner@art.admin.ch

Dans les stabulations libres de bovins, le caractère antidérapant des aires d'exercice en béton diminue rapidement en l'espace de quelques années, que les surfaces soient des revêtements non perforés ou des caillebotis. Cette perte d'adhérence a des répercussions sur les déplacements des animaux, sur les soins corporels et sur le comportement en période de chaleurs. Les présents essais avaient pour but de développer et d'évaluer un procédé d'assainissement pour les sols non perforés (cf. tableau 1). Les résultats obtenus ont également été utilisés pour comparer les procédés d'assainissement destinés aux caillebotis.

Les critères déterminants pour l'animal sont surtout la structure et la dureté du sol. Le sol doit être très antidérapant en longueur comme en largeur. Du point de vue technique, les procédés d'assainissement doivent ménager la structure du béton et garantir un nettoyage facile de la surface.

Le procédé d'assainissement développé par ART «Rainurage-Décapage» est basé sur un travail de toute la surface en long et en large, en deux opérations. Ce nouveau procédé a été évalué en comparant les paramètres propres aux onglons, au comportement des animaux et au sol, avant et après l'assainissement. Ce procédé a permis d'accroître le caractère antidérapant du revêtement. Les glissades ont considérablement diminué.

Avant un éventuel assainissement, il est recommandé de contrôler les propriétés statiques des caillebotis. Un assainissement par décapage chimique n'a qu'un effet à court terme. En ce qui concerne le caractère antidérapant, le procédé «Jet d'eau haute pression avec abrasifs fins» (HPE) présente des avantages par rapport aux autres procédés de fraisage testés. Etant donné

les dommages causés en bordure des fentes, ces procédés ne peuvent généralement pas être considérés comme respectueux des animaux. Les futurs développements des procédés de fraisage devront tenir compte de ces résultats. Les revêtements élastiques en caoutchouc conviennent pour les sols non perforés et pour les caillebotis. La fonction physiologique des onglons est renforcée par leur enfoncement dans le revêtement. On observe de grandes différences entre les procédés d'assainissement en ce qui concerne la durée d'utilisation et les coûts matériels. Pour une durée d'utilisation de quatre à cinq ans, les procédés d'assainissement mécaniques sont très économiques.



Fig. 1: Les procédés d'assainissement mécaniques doivent être adaptés aux exigences des animaux et de la technologie.

Sommaire	Page
Problématique	2
Terminologie	2
Quand assainir?	2
Exigences des procédés	2
Décapage chimique	3
Rainurage et décapage mécanique des sols en béton non perforés	4
Rainurage et décapage mécanique des caillebotis	5
Evaluation des caillebotis avant l'assainissement	6
Plusieurs assainissements?	6
Revêtements en caoutchouc élastiques	6
Evaluation du procédé des sols en béton non perforés	7
Structure superficielle et caractère antidérapant	8
Investissements et coûts annuels	10
Conclusions	11
Bibliographie	11



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Département fédéral de
l'économie DFE

Station de recherche
Agroscope Reckenholz-Tänikon ART

Problématique

Dans les stabulations bovines, les aires d'exercice en béton restent fréquentes. Tandis qu'auparavant, l'ensemble de la surface était réalisée en béton, surface perforée ou non, aujourd'hui, souvent quelques aires fonctionnelles sont réalisées en béton. Le caractère antidérapant des sols en béton diminue considérablement dans les stabulations libres après quelques années. Cette perte d'adhérence a des répercussions sur le déplacement des animaux, sur les soins corporels et sur le comportement en période de chaleurs. Jusqu'à présent, la structure de la surface n'était pas suffisamment adaptée à la santé des onglons, ni aux possibilités de nettoyage, surtout en cas d'assainissement mécanique. Du point de vue technique, certains procédés d'assainissement endommageaient la structure du béton. Suivant le type de sol – surface perforée ou non – il existe donc différents procédés d'assainissement. Ils doivent tenir compte des aspects essentiels relatifs à la technique de construction, aux engins utilisés et aux animaux.

Terminologie	
Caillebotis	Sols perforés: avec fentes et trous
Sols en béton non perforés	Sols en béton coulé sur place ou à base d'éléments préfabriqués avec une surface en dur non perforée.
Revêtements en caoutchouc	Matériaux en caoutchouc élastique en bandes ou en tapis, posés ou vissés sur les aires d'exercice
HPE	Décapage des surfaces par jet d'eau haute pression
Rugosité	Surface (texture) / structure géométrique de la surface
Microrugosité	Rugosité superficielle ou rugosité fine; comprend les éléments rugueux d'une extension horizontale de $\leq 0,5$ mm
Macrorugosité	Structures grossières en surface; comprend les éléments rugueux d'une extension horizontale de 0,5 – environ 10 mm
Adhérence	Effet de la rugosité de la surface sur l'adhésion entre les onglons et la surface
Caractère antidérapant	Résistance au glissement: combinaison d'adhérence et de frottement, qui permet d'éviter de glisser sur l'aire d'exercice, en fonction de l'état du sol (sec, mouillé, sale, gelé), de la rugosité de la surface, du poids de l'animal, de la grandeur et de l'état des onglons
Sûreté de la démarche	Observation des déplacements, qui repose sur les propriétés du sol en liaison avec des appréciations subjectives et les expériences des animaux.
Appareil SRT	Skid-Resistance-Tester : pendule utilisé pour mesurer l'adhérence des revêtements en asphalte et en béton
AMF	Appareil de mesure du frottement dynamique utilisé pour évaluer le caractère antidérapant à l'aide de valeurs de frottement dynamique, modèle 05

Tab. 2: Exigences relatives aux procédés d'assainissement

Exigences du point de vue des animaux	Exigences du point de vue technique
<ul style="list-style-type: none"> • Surface antidérapante • Absence de pressions ponctuelles élevées sur les onglons • Absence d'arêtes acérées • Matériau élastique si possible 	<ul style="list-style-type: none"> • Qualité de traitement homogène • Procédé ménageant la structure du béton • Surface facile à nettoyer • Economique • Durable

Quand assainir?

A compter du début de leur utilisation, les surfaces en béton perdent progressivement leur caractère antidérapant, à cause des dépôts calcaires et de l'usure mécanique. Au bout de quatre à cinq ans, il est généralement nécessaire de les rénover. Ce besoin se manifeste lorsque le personnel et les animaux n'ont plus la sûreté de la démarche suffisante. Sur des sols antidérapants, les vaches avancent en relevant la tête, affichent un comportement marqué lors des chaleurs, se chevauchent et s'adonnent à des soins corporels comme le fait de se lécher à la racine de la queue. Il devient impératif de procéder à un assainissement du revêtement lorsque ces comportements se font rares ou disparaissent complètement. Il faut savoir que les surfaces glissantes ont des répercussions tout aussi négatives, qu'il s'agisse de caillebotis ou de sols en béton non perforés. Dans le cas des caillebotis, une augmentation des blessures traumatiques des onglons est le signe que le revête-

ment éclate, que les fentes sont trop larges ou que les différences de niveaux entre les plaques de béton sont trop importantes. Pour les caillebotis, il est important de savoir s'il vaut la peine de rénover suivant l'âge et l'état des matériaux compte tenu de la durée potentielle d'utilisation du revêtement (cf. également chapitre «Evaluation des caillebotis avant l'assainissement»).

Exigences des procédés

Un procédé d'assainissement pour les aires d'exercice doit répondre à différentes exigences du point de vue des animaux et de la technique (tab. 2). Pour l'animal, les critères essentiels sont la structure et la dureté de la surface. Il s'agit de tenir compte de l'anatomie des onglons. La structure superficielle doit être conçue de manière à être suffisamment antidérapante, tout en évitant les pressions ponctuelles élevées. De telles pressions se traduisent notamment par des troubles de l'irrigation sanguine et par une destruction des plus petits vaisseaux qui

irriguent le corium (Mülling 2006). De par sa structure, la «ligne blanche» (Linea alba) est une zone particulièrement sensible des onglons; les arrêtes aiguës et les ébarbures causent des micro-fissures qui peuvent rapidement s'étendre et entraîner des infections du corium. Les revêtements élastiques ont un avantage de ce point de vue. Ils réduisent les pressions ponctuelles et favorisent le développement de la corne (Voges et al. 2004). Pour que les bovins ne circulent pas uniquement sur des sols durs, il est bon d'introduire des matériaux élastiques lorsqu'on rénove des surfaces fréquemment utilisées. Indépendamment du procédé employé pour l'assainissement, les surfaces doivent être antidérapantes dans toutes les directions, même lorsqu'elles sont souillées. Le rainurage en longueur seulement ou des revêtements en caoutchouc avec une faible profondeur de pénétration ou de structures superficielles peu prononcées (par exemple profil martelé) ne conviennent pas. Pour ménager le plus possible la structure du béton, il est recommandé d'employer des machines et des outils de poids réduit, causant un minimum de vibrations.

Tab. 1: Vue d'ensemble du développement des procédés d'assainissement

	Sols non perforés	Caillebotis
Procédés connus jusqu'ici	Fraises Diamant Décapage mécanique Jets de sable, de billes	Traitement à l'acide Jet d'eau haute pression 1000 bar Décapage mécanique/Fraisage
Développement de nouveaux procédés		
• Essais préliminaires sur des éléments de sol	x	x
• Relevés ponctuels dans des exploitations	x	x
• Optimisation technique progressive avec les fabricants d'outils	Rainurage/décapage	Rainurage HDW avec abrasifs fins ... autres développements?
Evaluation des procédés		
Comparaison avant et après l'assainissement	Dans deux exploitations	Sur des éléments de caillebotis provenant de la pratique, à ART
• Paramètres relatifs au sol (SRT, AMF)	x	x
• Paramètres relatifs au comportement (glissades, longueur des pas, comportement, traduisant le bien-être/comportement, pendant les chaleurs)	x	-
• Paramètres relatifs aux onglons	x	-
Développement de méthodes d'évaluation		
Paramètres liés au sol: AMF, nouvelle méthode d'évaluation	Valeurs de frottement dynamique et de frottement statique	Valeurs de frottement dynamique

Les micro-fissures dues à la rénovation ne doivent pas avoir plus d'un millimètre de profondeur. Ce point est particulièrement important pour les sols perforés. Afin de rentabiliser au maximum les procédés d'assainissement, il faut pouvoir évaluer la durée d'utilisation le plus précisément possible, pour que l'investissement entraîne le minimum de coûts annuels (cf. chapitre Investissements et coûts annuels).

Décapage chimique

Le décapage chimique des surfaces en béton peut améliorer la microrugosité. Le procédé est particulièrement adapté aux caillebotis. Lorsque la rénovation est faite de manière professionnelle, elle permet d'accroître le caractère antidérapant du revêtement à court terme. Voici le procédé qui a fait ses preuves: après un nettoyage intensif à l'eau, les surfaces sont traitées à l'aide d'un produit alcalin et décapées avec un appareil à haute pression. Les couches calcaires sont ensuite décollées par au moins trois traitements à l'acide. Sans danger du point de vue écologique et toxicologique, facile à utiliser, l'acide citrique (poudre) présente des avantages considérables par rapport aux autres produits (Sekul 2005). Pour les essais, on a épandu 60 g d'acide citrique en poudre par mètre carré à chaque traitement. Il est important de

laisser agir le produit 10 à 15 minutes pour obtenir l'effet nécessaire. Plus le nombre de traitements est grand, plus l'adhérence de la surface augmente (von Beschwitz 2002, Sekul 2005). Dans les études citées, l'adhérence a été mesurée à l'aide d'un appareil SRT. Cette méthode de mesure permet surtout d'évaluer la microrugosité, qui est très marquée sur les caillebotis même après un assainissement chimique. Du fait de l'assainissement, les valeurs SRT ont augmenté de plus de dix unités suivant le matériau ini-

tial et ont atteint ainsi un niveau suffisant, compris entre 50 et 60 (Weber 1985). Toutefois, après l'assainissement, cette rugosité baisse rapidement (fig. 2). L'effet positif de la rénovation n'est perceptible que pendant une année. C'est pourquoi le décapage chimique ne doit être considéré que comme une mesure à court terme, qui contribue à l'hygiène de l'étable. Appliqué sur des sols qui ne comportent aucun dommage mécanique, le procédé ménage la structure du béton et les arrêtes des fentes.

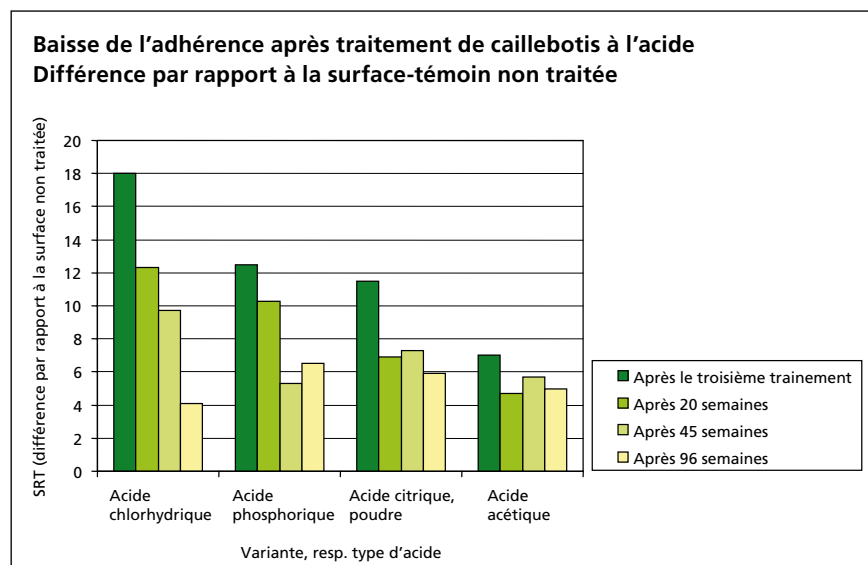


Fig. 2: L'adhérence initiale suite au décapage chimique disparaît en l'espace de quelques mois à peine.



Fig. 3: Les procédés d'assainissement doivent tenir compte de l'anatomie des onglons. Si l'on procède uniquement à un rainurage, le revêtement ne devient que légèrement plus antidérapant.

Rainurage et décapage mécanique des sols en béton non perforés

Dans les exploitations, les variantes de rénovation mécanique sont très diverses. Souvent, la structure superficielle présente de grandes différences suite à l'assainissement. L'assainissement est insuffisant lorsque le revêtement est à peine plus antidérapant ou qu'il perd rapidement l'adhérence obtenue. Ces aspects, ainsi que les exigences indiquées dans le tableau 2, ont été pris en compte dans des essais préliminaires. Les

procédés avec jets de sable ou de billes ne conviennent pas, car ils ne permettent pas d'obtenir un résultat homogène lorsque les surfaces présentent des structures ou des duretés différentes. En outre, ces procédés sont très onéreux et ne permettent pas d'effectuer beaucoup de travaux par soi-même. Les procédés qui consistent à fraiser des rainures en longueur ou en diagonale, sans toucher les surface d'appui, ont un effet trop limité sur le caractère antidérapant du revêtement (fig. 3). Suite à ces conclusions, ART a mis au point un procédé mixte de rainurage et de décapage avec des fraises à lamelles et diverses combinaisons d'outils. Le procédé choisi doit assurer un caractère



Fig. 4: Pour fraiser les rainures de manière homogène, il est nécessaire d'utiliser des appareils avec un mécanisme de translation réglable en continu. Le poids minimal des appareils et des outils ménage la structure du béton.



Fig. 5: Le décapage dans le sens de la largeur permet de travailler le reste de la surface. Cette technique augmente considérablement le caractère antidérapant du revêtement dans le sens de la longueur.



Fig. 4a: La combinaison de lamelles rondes et octogonales permet un rainurage ciblé et un décapage simultané des surfaces intermédiaires.



Fig. 5a: L'utilisation de lamelles rondes permet un rainurage fin et évite les éclats du béton.

antidérapant élevé en longueur comme en largeur. En outre, il s'agissait également d'intégrer au mieux les exigences relatives aux onglons en ce qui concerne les mesures (longueur, largeur, surface de contact), les charges ponctuelles (De Belie 2002) et la rugosité de la surface superficielle. Il est possible d'obtenir de tels résultats en travaillant toute la surface en deux phases:

1. Rainurage en longueur à l'aide de lamelles rondes et octogonales: entre-axe 20, largeur 10, profondeur 3 mm.

Le rainurage est effectué dans le sens de l'évacuation du fumier ou des eaux usées. Pour assurer un travail homogène, il est nécessaire d'employer une machine avec un mécanisme de translation réglable en continu (fig. 4 et 4a).

2. Décapage en largeur à l'aide de lamelles rondes : entre-axe 8 mm, largeur 7 mm, profondeur 1½ mm.

Cette opération nécessite un appareil de décapage léger, dirigé à la main qui permet d'effectuer efficacement les passages en largeur, souvent courts, et d'atteindre les zones difficilement accessibles (fig. 5 et 5a). Le passage en largeur se fait à 80° par rapport aux rainures longitudinales, pour ne pas gêner l'avancement des appareils d'évacuation du fumier. Le décapage à l'aide de lamelles rondes au lieu de lamelles pentagonales permet également d'obtenir un rainurage fin; parallèlement, ce procédé entraîne moins d'éclats du béton.

La combinaison ciblée du rainurage et du décapage avec des lamelles rondes et octogonales adéquates permet d'obtenir des profondeurs de travail minimales (3 respectivement 1½ mm). Cette méthode ménage la structure du béton et son armature. Par rapport au décapage seul, le rainurage augmente la durabilité du revêtement d'au moins cinq ans.

Il est également nécessaire de nettoyer fréquemment et efficacement les aires d'exercice rénovées avec des raclers adaptés.

Rainurage et décapage mécanique des caillebotis

Sur les sols perforés, les possibilités d'assainissement mécaniques sont limitées. Les appareils lourds, qui de plus produisent des vibrations, ne peuvent pas être utilisés. Les traitements avec des jets de vapeur ou de l'eau à haute pression à plus de 1000 bar causent des dommages aux arrêtes des fentes ou aux éléments voisins de la construction. C'était finalement les procédés les plus prometteur – les fraises à lamelles et jet d'eau haute pression de 500 bar avec abrasifs fins (HPE) – qui faisait donc l'objet d'une étude approfondie et comparée. Les opérations d'assainissement ont été effectuées sur les éléments d'un caillebotis de 18 ans (fig. 6) pourvu de fentes de 35 mm.

Sur la base d'études antérieures (Zevenbergen 2006) et du procédé développé pour les surfaces non perforées, la fraise a été équipée de lamelles rondes de manière à effectuer des rainures en longueur et à obtenir un profil gaufré (rainurage diagonal) (fig. 7 et 8). La largeur des rainures était d'environ 5 mm, leur profondeur de 0,6–1 mm et leur intervalle d'environ 5 mm. Le profil gaufré a été effectué en deux passages en diagonale par rapport aux fentes.

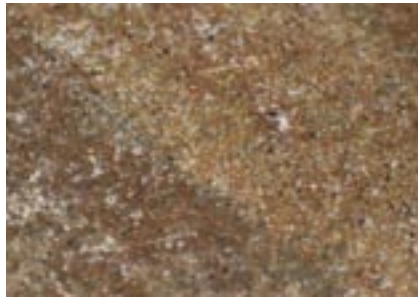


Fig. 6: Surface d'un élément de caillebotis choisi pour être soumis aux phases d'assainissement; état initial après 18 ans d'utilisation.

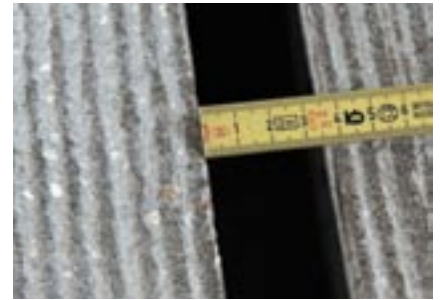


Fig. 7: Procédé d'assainissement: fraisage de rainures longitudinales à l'aide de lamelles rondes

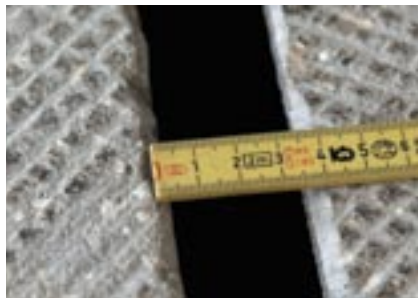


Fig. 8: Procédé d'assainissement: fraisage de rainures diagonales à l'aide de lamelles rondes en deux phases (profil gaufré).



Fig. 9: Procédé d'assainissement: jet d'eau haute pression avec abrasifs fins 0,6–1 mm; ce n'est qu'une fois toutes les couches de calcaire décollées que l'on peut obtenir le caractère antidérapant nécessaire.

On a constaté que les dommages aux arêtes des fentes étaient inévitables, même avec des profondeurs de travail minimales. Les ébarbures causées ont été éliminées à l'aide d'une meuleuse d'angle.

Le procédé HPE (fig. 9) a été appliqué avec une pression de 500 bar et une quantité d'eau de 28 l/min. Les abrasifs étaient aspirés directement depuis un sac à l'aide d'une lance d'aspiration et d'un dispositif de dosage. Ils se composaient de scories d'une granulométrie de 0,6–1 et 1,5–2,8 mm. La distance des buses au sol était d'environ 20 cm. Le traitement nécessitait 12 kg de scories par m². Cette consommation peut toutefois varier considérablement dans la pratique en fonction de l'état initial des surfaces. Etant donné la pression élevée dans les appareils et les conduites, ainsi que le risque que représentent les abrasifs, il est obligatoire de porter une combinaison de protection complète pour effectuer ce travail (fig. 10). Il est également conseillé de couvrir les aires de repos voisines pour les protéger. On ne dispose pas encore d'assez de recul pour évaluer la durabilité de ce procédé d'assainissement. Si l'on considère les surfaces superficielles semblables, on peut



Fig. 10: L'utilisation du jet d'eau à haute pression nécessite le port d'une combinaison de protection complète. Une consigne correspondante est indispensable pour cette procédure.

cependant supposer qu'elle devrait être de l'ordre de 3 à 4 ans minimum.

Les caillebotis eux aussi doivent être nettoyés régulièrement pour bénéficier du caractère antidérapant de la structure superficielle. Souvent il est nécessaire de les laisser s'amollir au préalable. En outre, un nettoyage régulier contribue à la bonne santé des onglons.

Evaluation des caillebotis avant l'assainissement

L'âge et l'état du caillebotis sont décisifs lorsqu'il s'agit de décider s'il faut réover et quel procédé employer. Du point de vue de la statique, les caillebotis de bonne fabrication permettent une durée d'utilisation d'environ 20 ans; sans doute un peu moins dans le cas des surfaces carrossables. Autrefois pour les caillebotis, l'armature était souvent enrobée d'une couche de béton trop réduite. C'est pourquoi avant de se décider à assainir des caillebotis de plus de dix ans, il est important de contrôler qu'il n'y ait pas de fissures et d'éclats dessous. Le contrôle visuel par un professionnel est pour le moment le seul contrôle efficace et la seule mesure de prévention contre un éventuel effondrement. Contrôler l'état du caillebotis à l'aide d'un endoscope demande beaucoup de temps. C'est une mesure qui ne convient donc que pour un contrôle par sondage (Van Caenegem 2001). Lorsque la structure est déjà fissurée, les secousses peuvent encore affaiblir la liaison entre l'armature et le béton. Il ne faut pas chercher les fissures seulement au centre des éléments, mais aussi aux deux extrémités (recouvrements). Les fissures longitudinales sur de longues distances aux extrémités indiquent que la barre d'armature risque d'être arrachée. Pour les travaux dans les canaux et dans les fosses, il est impératif de respecter les mesures de prévention des accidents (SPAA/agriss, brochure 7).

Plusieurs assainissements?

Cette question se pose notamment pour les sols à fonction statique. Est-il possible de décaper plusieurs fois un sol en béton? Cela dépend du matériau enlevé par phase d'assainissement. Les multiples décapages réduisent l'épaisseur des caillebotis ou des dalles en béton de la profondeur de travail nécessaire, ce qui, par conséquent, diminue

la charge utile autorisée. Une réduction de l'épaisseur du caillebotis de 16 à 15 cm par exemple a pour conséquence une baisse de la charge utile d'environ 8 %. Le même enlèvement de matériau peut avoir pour conséquence une augmentation du fléchissement d'environ 20 %. Or, plus le fléchissement est important, plus le risque de fissures est élevé. De plus, l'armature risque de se corroder et de se détendre, ce qui finit par faire éclater le béton. Dans le cas des caillebotis carrossables, qui sont parfois soumis à d'importantes charges à l'essieu, l'enlèvement de matériau doit être limité à 5 mm maximum. Cette limite doit également être respectée à cause de l'armature supérieure. Lorsque la couverture en béton est trop réduite suite au décapage, des microfissures se forment et le béton peut même finir par se détacher.

Revêtements en caoutchouc élastiques

Des revêtements en caoutchouc peuvent être posés sur les aires d'exercice non perforées et sur les caillebotis. Pour préserver leur propriété essentielle, qui est leur forme malléable, il faut que les onglons puissent s'y enfoncer d'environ 3 mm. Dans le cas des caillebotis, il faut d'abord vérifier que les conditions statiques soient correctes (cf. chapitre «Evaluation des caillebotis avant l'assainissement»). Etant donné son coût, un assainissement des caillebotis à l'aide de revêtements en caoutchouc n'est recommandé que si la durée de vie prévue des éléments est aussi élevée que celle du revêtement en caoutchouc.

Tab. 3: Evaluation du rainurage-décapage / des surfaces en béton non perforées dans des exploitations, données relatives aux animaux, à la stabulation et aux paramètres d'évaluation

		Exploitation 1	Exploitation 2	
Animaux	Nombre	35	27	
	Races	Brown-Swiss	Brown-Swiss / Holstein	
Stabulation	Logettes	Logettes profondes	Logettes profondes	
	Couloir de circulation aire de repos	Dans l'aire de repos entre les logettes	Dans la stabulation libre à logettes avec deux rangées de logettes opposées et deux couloirs de circulation	
	Dans la stabulation libre à logettes avec deux rangées de logettes opposées et deux couloirs de circulation	Dans l'aire extérieure, combinée avec l'aire d'exercice		
	Technique d'évacuation du fumier	mobile	fixe	
	Brosses-étrilles	électriques	Installation fixe	
Matériaux de sol	Age avant rénovation	6-25 ans	14 ans	
	Type de béton	B35/25, grains 0-32	B35/25, grains 0-32	
Paramètres liés au sol	Caractère antidérapant	Pendule SRT (avant assainissement)		
		AMF (valeur de frottement dynamique et statique)		
Paramètres liés au comportement	Comportement de déplacement	Longueur des pas et port de tête		
		Déplacements rapides (trot, galop, sauts)		
		Glissades	Couloir aire d'affouragement	
			Couloir aire de repos	
		Chutes (ensemble de l'aire de circulation)		
Comportement traduisant le bien-être avec rotation du corps				
Santé des onglons	Comportement pendant les chaleurs	Chevauchements (tous les cas)		
		Espace interdigital, enflures		
		ulcères, pourriture		
		Fissures et saignements		

Pour des éléments de surface, il peut s'agir de neutraliser des zones qui pourraient entraîner des blessures (arrêtes ébréchées par exemple) ou de réduire la largeur des fentes. Les revêtements qui peuvent atteindre 24 mm d'épaisseur augmentent la distance entre la surface et le bord de rempre de la crotte. Pour que l'autonettoyage continue à fonctionner, la perforation doit correspondre exactement à celle du caillebotis (fig. 11). C'est pourquoi il faut mesurer soigneusement le caillebotis pour qu'un revêtement en caoutchouc parfaitement adapté puisse être fabriqué. Si le caillebotis présente des fentes de largeurs très différentes, il est nécessaire d'employer des clavettes écartées. Pour assurer la fixation. Le montage doit également tenir compte de la dilatation due à la température. Sur ce point, il est indispensable de suivre les indications de montage du fabricant. C'est valable également pour les adaptations nécessaires sur les racleurs à fumier, comme l'arrondissement des volets du racler. Le caractère carrossable des aires d'exercice est limité par la pose de revêtements en caoutchouc. Suivant le fabricant, les restrictions portent sur la pression des pneus, la vitesse de circulation et les points de charge maximum.

Il est possible de rénover la totalité des aires d'exercice avec des revêtements en caoutchouc ou seulement des portions, comme les zones très sollicitées (par exemple, brosses-étrilles, couloirs de circulations, abreuvoirs). Nettoyés correctement, les revêtements en caoutchouc élastiques sont très antidérapants. Pour qu'aucun animal ne soit tenté de se coucher sur le revêtement en caoutchouc des couloirs de circulation, il faut que les logettes soient parfaitement adaptées et entretenues.

Evaluation du procédé des sols en béton non perforés

Afin de réunir davantage de données pour évaluer les procédés d'assainissement mécaniques, le procédé combinant rainurage et décapage a été étudié précisément dans deux exploitations (Thalmann 2006). La méthode d'assainissement a été évaluée à partir de paramètres relatifs aux animaux et au sol (tab. 3). L'adéquation de la rénovation a été jugée sur la base d'une comparaison de ces paramètres avant et après assainissement. Les paramètres relatifs au sol consistaient en des valeurs SRT et des

valeurs de frottement dynamique (cf. encadré). Les mesures ont été réalisées dans l'aire d'affouragement, ainsi que dans le couloir entre les logettes, en quatre points à chaque fois, en longueur et en largeur. Les paramètres relatifs au comportement appréhendés par observation directe comprenaient la démarche des animaux, les soins corporels et le comportement en pé-

riode de chaleurs. L'évaluation des onglons englobait notamment l'étude des modifications, comme les enflures, les ulcères, les fissures et les saignements à différents niveaux de l'onglon.

Les valeurs de frottement dynamique ont augmenté suite à l'assainissement. Le classement de ces valeurs permet une évaluation plus différenciée que l'évaluation



Fig. 11: La perforation du revêtement élastique en caoutchouc doit être parfaitement adaptée au caillebotis. Il est indispensable d'adapter la technique d'évacuation du fumier.

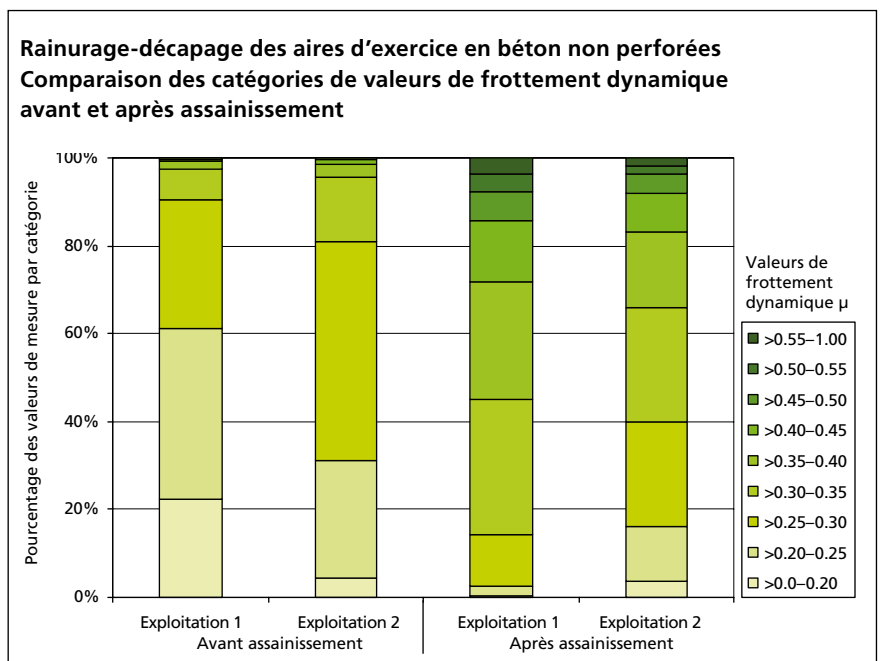


Fig. 12: Catégories des valeurs de frottement dynamique avant et après l'assainissement d'aires d'exercice en béton non perforé par rainurage-décapage dans deux exploitations. Les catégories où les valeurs sont basses ($\leq 0,3 \mu$) reflètent les zones où le caractère antidérapant est réduit et celles où les valeurs sont supérieures à $0,35 \mu$, les zones très antidérapantes. Après l'assainissement, les catégories de plus de $0,45 \mu$ affichent une nette hausse de la macrorugosité.

Tab. 4: Nombre de glissades par jour et pourcentage de glissades suite à une interaction avec d'autres vaches sur la surface de circulation de l'aire d'affouragement et de l'aire de repos avant et après l'assainissement pendant une période d'observation de 3x30 minutes pendant 4 jours

Stabulation	Exploitation 1 (35 vaches)				Exploitation 2 (27 vaches)			
	Nombre de glissades par jour [n]			Pourcentage ¹⁾ suite à interaction (%)	Nombre de glissades par jour [n]			Pourcentage ¹⁾ suite à interaction (%)
	Avant	Après	Valeur p		Avant	Après	Valeur p	
Aire d'affouragement	21.3	1.3	0.004	51.1	3.5	0.5	0.039	62.5
Aire de repos	0.8	0	–	100	0.5	0	–	50

1) Parts de tous les résultats avant et après l'assainissement

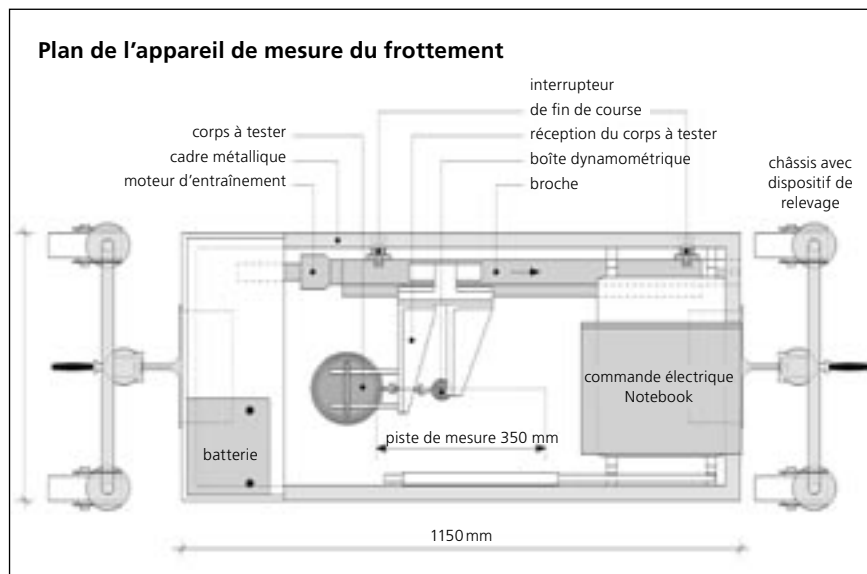


Fig. 13: La mesure du caractère antidérapant avec l'appareil de mesure du frottement dynamique (AMF, modèle 05) consiste à tirer un corps à tester, qui simule un onglon, sur une piste de 350 mm. Cinq valeurs de mesures (coefficient de frottement dynamique μ) sont enregistrées par millimètre.

décrite dans la littérature à l'aide de moyennes. D'un côté, le décalage des catégories de 0,2–0,3 à 0,3–0,45 μ apparaît essentiel. C'est dans ce secteur que ce situaient plus de 50 % des valeurs avant, respectivement après l'assainissement. D'un autre côté, les catégories de plus de 0,45 μ affichent une nette hausse de la macrorugosité après l'assainissement (fig. 12). Des surfaces et des arrêtes tranchantes étaient visibles dans la catégorie >0,55 μ . Elles étaient toutefois neutralisées au bout de cinq semaines d'utilisation seulement. Le caractère antidérapant a été augmenté dans les mêmes proportions en longueur et en largeur. Après l'assainissement, le nombre de glissades sur les aires d'exercice a diminué considérablement (tab. 4). L'étude des onglons n'a montré aucune augmentation des dommages suite au décapage et au rainurage mécaniques. Au bout de six mois, il n'était plus possible de constater une augmentation des fissures au niveau de la « ligne blanche » (Linea alba) telle qu'elle s'était manifestée quatre semaines après l'assainissement.

Structure superficielle et caractère antidérapant

La figure 14 indique les différents procédés d'assainissement mécanique avec les valeurs de frottement dynamique correspondantes. Le procédé rainurage-décapage et le procédé HPE fin sont au même niveau que la référence «caillebotis neuf». Ces

Méthode de mesure du caractère antidérapant

Procédé utilisé jusqu'ici: pendule SRT

Le principe de l'appareil SRT repose sur la perte d'énergie de frottement d'un corps à tester fixé au bras pendulaire avec support en caoutchouc (largeur = 76,5 mm). Ce corps glisse sur une surface définie (longueur de glissement) de 126 ±1mm, oscille sous l'effet de son énergie résiduelle et son aiguille indique un point de l'échelle de mesure. L'endroit où l'aiguille s'arrête donne l'indice de frottement, la valeur SRT. La mesure doit être effectuée sur des sols nettoyés et mouillés. La microrugosité est largement pondérée avec l'appareil SRT; les structures grossières comme les rainures fraisées ne peuvent plus être enregistrées.

Nouvelle méthode de mesure: appareil de mesure du frottement dynamique (AMF)

L'AMF du DLG-Testzentrum Technik & Betriebsmittel, Gross-Umstadt a été amélioré (fig. 13). Il permet également de saisir les surfaces dans les conditions d'utilisation pratique, c'est-à-dire lorsqu'elles sont souillées. Les résultats de mesure sont enregistrés de manière électronique.

Lors de la mesure, un corps à tester de 10 kg est tiré à une vitesse constante ($v = 0,02$ m/s) sur un trajet de 350 mm. Le cylindre en polyamide PA 6 d'une dureté de 73°-Shore-D simule un onglon d'un diamètre de 97 mm avec une «paroi» de 3/1 mm. Cinq valeurs de frottement dynamique par millimètre sont enregistrées via une cellule dynamométrique et une unité d'évaluation électronique; ce qui donne 1716 valeurs à évaluer par trajet de mesure.

Afin de comparer les procédés d'assainissement dans les conditions de laboratoire et de la pratique, toutes les surfaces ont été mesurées à l'état propre et mouillées.

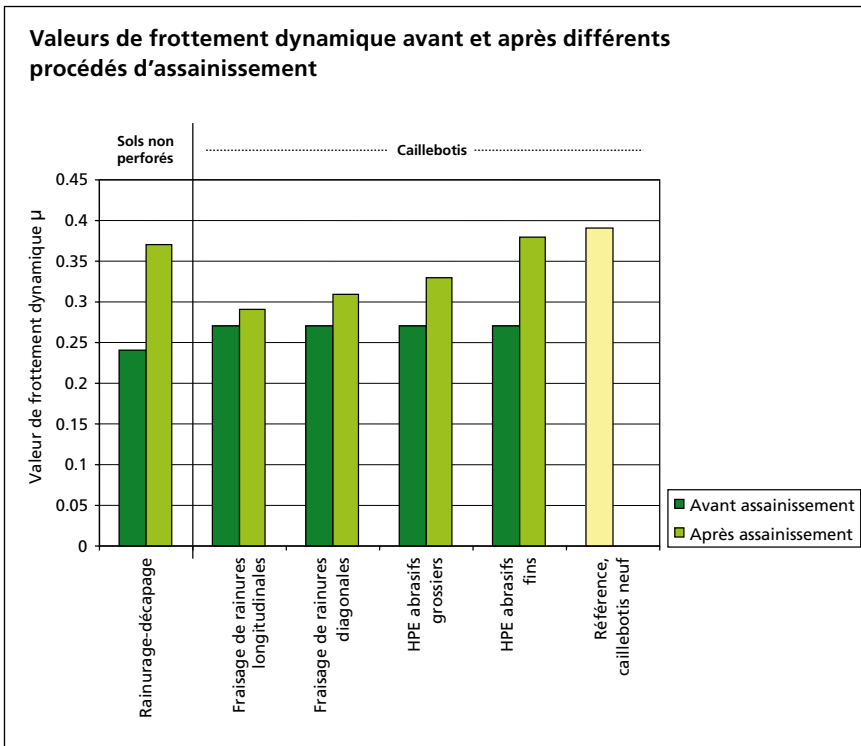


Fig. 14: Les moyennes des valeurs de frottement dynamique donnent un aperçu grossier de l'effet des procédés d'assainissement sur le caractère antidérapant. Les meilleurs résultats ont été obtenus sur les caillebotis avec le procédé «Jet d'eau haute pression avec abrasifs fins»; le produit de référence (neuf) et le procédé «rainurage-décapage sur surfaces non perforées» se situent au même niveau.

surfaces obtiennent des valeurs de frottement dynamique comprises entre 0,37 et 0,39 μ. La représentation par catégories (fig. 15) présente les écarts de manière plus différenciée. L'importante différence entre les procédés HPE grossier et fin est due au pourcentage de surfaces non travaillées dans le cas du procédé HPE grossier. Avec ce procédé, un travail plus intensif se traduit toutefois par de lourds dommages sur les arrêtes des fentes.

Dans le cas des procédés «rainurage diagonal» et «rainurage longitudinal», la répercussion des surfaces non travaillées est encore plus nette: malgré un traitement homogène, ces procédés n'apportent qu'une légère amélioration du caractère antidérapant. Les deux procédés de rainurage présentent un lourd inconvénient pour les caillebotis: ils endommagent les arrêtes des fentes (fig. 16). Or, les parties saillantes et les arrêtes représentent un risque de blessures pour les ongles. Aux blessures aiguës s'ajoute une usure disproportionnée de la paroi et de la sole de l'onglon. C'est pourquoi il est impératif de retravailler les arrêtes à l'aide d'outils adéquats. L'enlèvement de matériaux sur les deux arrêtes des fentes agrandit la largeur de ces dernières d'au moins 5 mm (fig. 17 et 8). Afin

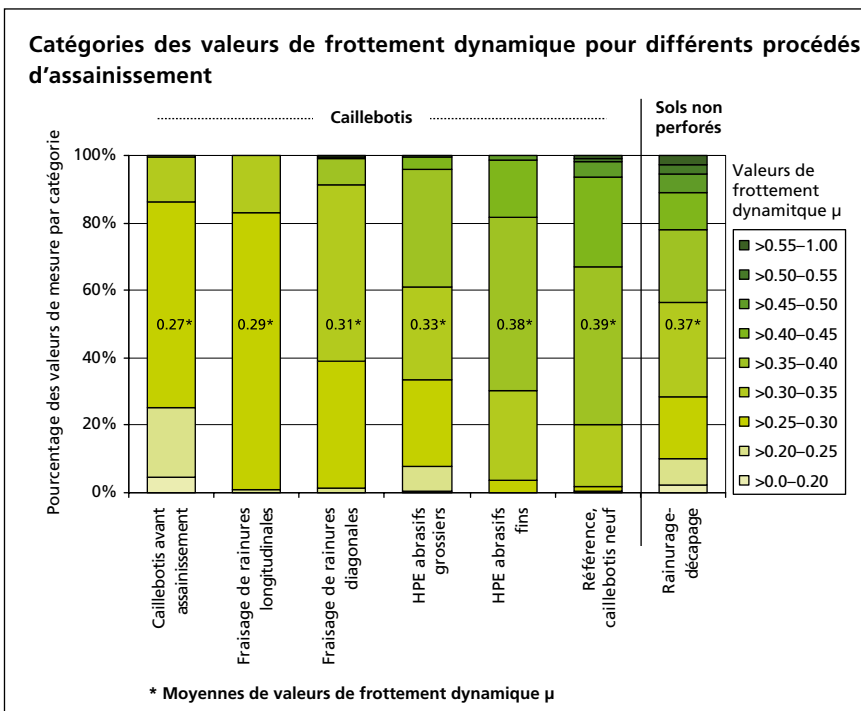


Fig. 15: Les catégories des valeurs de frottement dynamique donnent une image différenciée de l'effet de la modification des structures superficielles sur le caractère antidérapant. Les procédés d'assainissement qui traitent la totalité de la surface obtiennent une répartition par catégorie semblable à celle du produit de référence, soit une microrugosité et une macrorugosité équilibrées et une adhérence élevée.



Fig. 16: Le fraisage de la totalité des surfaces de caillebotis fait éclater les arêtes des fentes. Or, les arêtes acérées et les parties saillantes représentent un important risque de blessures pour les ongles.



Fig. 17: Les arrêtes des fentes qui ont été endommagées doivent être réparées avec les outils correspondants. L'enlèvement de matériau des deux côtés des fentes augmente la largeur de ces dernières d'au moins 5 mm.

que les directives relatives à la largeur des fentes soient respectées, une telle mesure n'entre en ligne de compte que pour les bovins de plus de 200 kg de poids vif sur des sols avec des fentes larges de ≤ 30 mm. La problématique exposée ici est la même pour les procédés de rénovation avec fraises diamant (Zevenbergen 2006). Lorsque l'assainissement n'améliore que légèrement le caractère antidérapant du revêtement, mais qu'en plus, il endommage les arêtes des fentes, les procédés de fraisage en question pour les caillebotis doivent en général être considérés comme non respectueux des animaux. Ces procédés doivent être améliorés de manière à ménager les arêtes des fentes et la structure du béton. Si l'on se base sur les outils disponibles aujourd'hui pour l'assainissement, il faudrait revoir entièrement la conception des tambours et des entraînements.



Fig. 18: Un déplacement sûr exige une structure antidérapante en surface. La procédure d'assainissement «rainurage-décapage» prend en considération les exigences des animaux et celles de la technique.

Investissements et coûts annuels

Le tableau 5 présente les investissements et les coûts annuels des différents procédés d'assainissement par 100 m² d'aire d'exercice. Il s'agit de valeurs indicatives. Le temps de travail nécessaire inclut les travaux préliminaires pour le nettoyage et la préparation des outils utilisés pour la rénovation, ainsi que les travaux d'assainissement proprement dits. Les procédés d'assainis-

sement chimiques et mécaniques exigent deux personnes, la pose des revêtements en caoutchouc en exige trois. Les travaux ont été comptabilisés comme prestations propres sur la base d'un salaire horaire de Fr. 27.–. Les techniciens éventuellement mis à disposition par les entreprises qui ont livré le matériel et les outils n'ont pas été pris

en compte. Le calcul des coûts annuels est basé sur un taux d'intérêt moyen de 2,4 %. La durée d'amortissement a été fixée en fonction de la durée d'utilisation prévue pour chaque procédé. Le temps de travail nécessaire pour le procédé rainurage-décapage dépend largement de la disposition des surfaces et s'élève environ à 7 heures par 100 m². Les investissements requis par ce procédé dépendent également considérablement de la surface, parce qu'on compte généralement un forfait journalier pour les engins en plus du coût des pièces d'usure. Pour une surface de 100 m², les investissements sont de l'ordre de Fr. 660.–. Dans ce cas, pour une durée d'utilisation de cinq ans, les coûts annuels s'élèvent à Fr. 1.50 par m². Le décapage chimique est lui aussi économique. Le rendement à la surface varie en fonction du degré de saleté avant la rénovation; avec trois phases de décapage à l'acide, il faut compter environ 6 heures pour 100 m². En cas d'utilisation d'acide citrique, les investissements sont de l'ordre de Fr. 250.–; ce qui correspond également aux coûts annuels étant donné la faible durabilité de ce type d'assainissement. Avec le procédé HPE, le temps de travail est de 7,5 heures, soit légèrement au-dessus du procédé rainurage-décapage. Les investissements nécessaires qui s'élèvent à Fr. 1753.– sont dus à la consommation élevée d'abrasifs. Pour une durée

Tab. 5: Investissements et coûts annuels

		Procédé d'assainissement				
		Rainurage-décapage	Revêtement en caoutchouc	Acide	HPE	Revêtement en caoutchouc
Investissements assainissement		Sols non perforés		Caillebotis		
Temps de travail nécessaire	MOh/100 m ²	7.1	12.9	6.0	7.5	11.1
Coûts du travail à Fr. 27.–/h	Fr./100 m ²	193	347	162	203	301
Matériaux et auxiliaires	Fr./100 m ²	467	7100	85	1550	9900
Total Investissement assainissement	Fr./100 m²	660	7447	247	1753	10201
Calcul des coûts	Amortissement	20.0 %	10.0 %	100 %	25.0 %	12.5 %
	Taux d'intérêt moyen	2.4 %	2.4 %	2.4 %	2.4 %	2.4 %
	Réparations	0%	2.0 %	0 %	0 %	2.0 %
	Total %	22.4%	14.4%	102.4 %	27.4 %	16.9 %
Total des coûts annuels, main-d'œuvre comprise	Fr./100 m²	148	1072	253	480	1724

d'utilisation de quatre ans, les coûts annuels se montent à Fr. 480.– pour 100 m². En comparaison, les investissements requis par les revêtements en caoutchouc apparaissent relativement élevés. Ils sont de l'ordre de Fr. 7400.– pour les surfaces non perforées et de Fr. 10 000.– pour les caillebotis. Il faut néanmoins tenir compte de leurs avantages: leur élasticité et leur durée d'utilisation plus élevée (au moins 10, resp. 8 ans). Les coûts annuels indiqués pour les revêtements en caoutchouc, soit Fr. 1100.–, resp. Fr. 1700.–, comprennent 2 % de coûts de réparation.

Conclusions

Les aires d'exercice en béton perdent rapidement leur caractère antidérapant, ce qui exige l'emploi de procédés d'assainissement appropriés. Ces procédés doivent respecter à la fois les exigences de l'animal et celles de la technique. ART a développé et évalué un nouveau procédé d'assainissement mécanique de rainurage-décapage pour les surfaces non perforées. Les animaux ayant la démarche plus sûre affichaient davantage de comportements naturels et le risque de blessures à la suite de chutes diminuait. Les personnes chargées des animaux profitaient elles aussi des sols plus antidérapants. Différents procédés de fraisage connus jusqu'ici se sont généralement avérés non respectueux des animaux dans le cas des caillebotis. C'est pourquoi il serait souhaitable que ces engins et outils puissent être optimisés. Les revêtements en caoutchouc élastiques conviennent pour les surfaces non perforées et pour les caillebotis. Il est toutefois recommandé de vérifier les propriétés statiques de ces derniers.

Bibliographie

BBUL / agriss, Gasgefahren in der Landwirtschaft. Broschüre Nr. 7/02103, Beratungsstelle für Unfallverhütung in der Landwirtschaft (BUL), S. 710.

Mülling C., 2006. Laufflächen für Milchkühe – Ausführung und Sanierung. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. KTBL-Heft 60, S. 8, 39–45.

De Belie N. et al., 2002. Effect of surface roughness on pressure distributions in the foot-to-ground contact area for cattle. AgEng Budapest 2002, S. 1–8.

Thalmann C., 2006. Bewertung der Sanierung planbefestigter Betonböden anhand von Klauenuntersuchungen, Verhaltensbeobachtungen und bodenbezogener Parameter. Mas-terarbeit am Institut für Nutztierwissenschaften (INW) der ETH Zürich.

Voges T., 2004. Morphometrical analysis for the microstructure of hoof horn and its interaction with flooring systems. Proceedings of the 13th International Symposium on Lameness in Ruminants, Maribor/Slovenia, S. 86–88.

Von Beschwitz E., 2002. Einfluss von Wasser und Säurebehandlung auf die Rutschfestigkeit von Laufflächen in Milchviehställen. Diplomarbeit an der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität, Bonn.

Sekul W., 2005. Versuch zur Säurebehandlung von Spaltenböden. Interner Bericht. LVVG Aulendorf.

Weber R. 1985. Revêtements anti-glissants de sols d'étables; Rapports FAT n° 280. Station de recherche Agroscope Reckenholz-Tänikon ART (anciennement FAT), Ettenhausen.

Zevenbergen G., 2006. Sanierung von Stallböden: Mit Diamanten wird's am rauesten. Untersuchungen am Institut für Landbau und Fischzucht, B-Merelbeke. PROFI VEREDLUNGS-TECHNIK 5/2006, S. 62.

Van Caenegem L., 2001. Sécurité structurale des caillebotis en béton. Contrôles réguliers nécessaires. Rapports FAT n° 564. Station de recherche Agroscope Reckenholz-Tänikon ART (anciennement FAT), Ettenhausen.

Impressum

Edition: Station de recherche Agroscope Reckenholz-Tänikon ART, Tänikon, CH-8356 Ettenhausen

Les Rapports ART paraissent environ 20 fois par an. – Abonnement annuel: Fr. 60.–.
Commandes d'abonnements et de numéros particuliers: ART, Bibliothèque, Tänikon, CH-8356 Ettenhausen, Tél. 052 368 31 31, Fax 052 365 11 90, E-mail: doku@art.admin.ch, Internet: <http://www.art.admin.ch>

Les Rapports ART sont également disponibles en allemand (ART-Berichte).
ISSN 1661-7576.

Les Rapports ART sont accessibles en version intégrale sur notre site Internet (www.art.admin.ch).