

Comment mettre en place des voies de circulation plus respectueuses des animaux dans les étables?

Mise en place et assainissement de voies de circulation en dur pour bovins

Beat Steiner und Ludo Van Caenegem, Station fédérale de recherches en économie et technologie agricoles (FAT), Tänikon, CH-8356 Ettenhausen

Au cours des dernières années, la réalisation des voies de circulation en dur a suscité un intérêt croissant (fig. 1). Les maladies des onglons ne s'expliquent plus uniquement par l'affouragement, mais sont également mises en relation avec la structure des voies de circulation et des surfaces de repos. Un confort élevé au niveau des voies de circulation améliore la consommation de fourrage et l'activité physique des animaux. Seuls des sols antidérapants permettent aux bêtes d'adopter le comportement typique de leur espèce.

Au fil du temps, les surfaces en béton perdent le caractère antidérapant qu'elles avaient au début. La résistance du béton à l'usure ne dépend pas uniquement de la qualité du béton proprement dit, mais également du soin apporté à sa pose et son traitement ultérieur.

Pour qu'une voie de circulation, même souillée, reste antidérapante, elle doit présenter une macrorugosité minimale (rugosité grossière minimale). Ce résultat peut être obtenu par profilage du béton frais ou en utilisant des éléments en béton profilés préfabriqués.

Lorsqu'ils sont propres et humides, les revêtements en asphalte coulé conservent leur caractère antidérapant même après plusieurs années. Ce résultat ne peut toutefois être obtenu que si le mélange utilisé est optimal et la pose professionnelle. Les sols déformables sont plus adaptés aux bovins que les sols durs. Les premières expériences réalisées avec des voies de circulation en caoutchouc montrent que ces surfaces exercent une influence positive sur les déplacements, le confort des vaches laitières, ainsi que sur la santé

de leurs onglons. La comparaison du coût des différents types de nouveaux sols indique que le coût des investissements, de même que le coût total varient considérablement après une durée d'utilisation de 15 ans, assainissements compris.

Outre la mesure du caractère antidérapant, la santé des onglons ainsi que l'observation des déplacements et du confort des vaches permettent d'évaluer la nécessité d'un assainissement des voies de circulation. Le rétablissement de la rugosité des surfaces en béton par des procédés chimiques et mécaniques n'a généralement qu'un effet à court terme. Des rainures fines supplémentaires peuvent améliorer la durabilité du revêtement. Dans de nombreux cas, un assainissement durable passe par la pose d'un revêtement neuf.



Fig. 1: Dans les bâtiments neufs, comme dans les bâtiments transformés, la mise en place de voies de circulation respectueuses des animaux prend de plus en plus d'importance.

Sommaire	Page
Problématique	2
Onglons et surfaces antidérapantes	2
Mise en place de voies de circulation neuves	4
Comparaison du coût de différentes variantes de sols	10
Assainissement des voies de circulation	10
Mise en servive et technique d'évacuation du fumier	12
Conclusions	12
Bibliographie	13

Problématique

De nombreuses voies de circulation mises en place dans les stabulations libres de la première génération présentent des signes d'usure et doivent être assainies. Dans les bâtiments neufs, comme dans les bâtiments transformés, on accorde aujourd'hui de plus en plus d'importance au confort des animaux et à l'adéquation des voies de circulation à leurs besoins. D'après des études réalisées sur les vaches laitières en Allemagne, la part représentée par les maladies des onglons dans les causes d'élimination des vaches est en augmentation permanente (Hermann 2001). Outre d'autres facteurs, les voies de circulation et leur propreté contribuent largement à cet état de fait.

Dans les nouveaux concepts d'étables, les animaux disposent souvent de voies de circulation en plein air. Dans ce cas, il ne peut être question d'employer de l'asphalte coulé, même si ce type de revêtement a généralement fait ses preuves dans les étables fermées. Les nouveaux développements en matière de technologie du béton ne sont pas encore très répandus dans la pratique, car ils ne sont pas encore assez connus.

Onglons et surfaces antidérapantes

Propriétés du sol et santé des onglons

Outre l'alimentation, les soins dispensés aux pieds et la génétique, les voies de circulation exercent elles aussi une influence importante sur la santé des onglons (Vokey et al. 2001). Le bien-être de l'animal lorsqu'il se tient debout et lorsqu'il se déplace influence sa consommation alimentaire et son activité physique. Aujourd'hui, dans de nombreux cas, les vaches laitières ont de plus gros gabarits et sont donc plus lourdes. De ce fait, les charges ponctuelles sont très importantes sur les parois de l'onglon et sur les bulbes.

Les maladies des onglons ont d'importantes répercussions économiques. Suivant la durée et le type d'affection, la production laitière peut enregistrer une

Tab. 1: Causes d'élimination des vaches laitières

	1985	1990	1995	2000
Infertilité en %	28,4	26,4	21,8	19,6
Maladies des mamelles en %	8,1	12,3	15,3	15,2
Maladies des onglons en %	4,5	6,8	8,3	9,4

Source: Hermann 2001.

baisse allant jusqu'à 20 % (Hermann et Wlcek 1996). La part des maladies des onglons parmi les causes responsables de l'élimination des vaches laitières augmente en permanence depuis plusieurs années et représente actuellement près de 10 % (tab. 1). C'est pourquoi les améliorations apportées sur le plan de la gestion et des investissements dans le domaine des voies de circulation et des surfaces de repos peuvent rapidement s'avérer payantes (Stärk 1996).

Souvent, on surestime la différence entre les voies de circulations en dur et les voies de circulation perforées sur le plan de la santé des onglons. Tandis qu'on observe nettement plus de contusions et d'ulcères sur la sole de l'onglon avec les surfaces perforées, la pourriture du bulbe est plus fréquente dans les stabulations libres équipées de voies de circulation en dur (Hermann et Wlcek 1996). L'ammoniac des excréments rend la corne des onglons instable (Mülling 1993). Ces observations confirment donc qu'il est nécessaire de nettoyer efficacement les voies de circulation et ce, plusieurs fois par jour (Steiner et Keck 2000). Lorsque la pose est appropriée et le nettoyage adéquat, les surfaces de circulation en dur et perforées ont un effet semblable sur la santé des onglons.

Rechercher des sols adaptés aux onglons

La figure 2 représente les éléments porteurs du bulbe et de la paroi. Tandis que le bulbe est relativement mou et sert d'amortisseur lorsque l'animal pose la patte au sol, la paroi, elle, est extrêmement dure, car au bout du compte c'est elle qui porte le poids de l'animal. Les sols durs stimulent la croissance des onglons; phénomène normalement compensé par l'usure. Certes, ils ne permettent pas d'atteindre l'usure nécessaire à la pointe des onglons et au niveau des soles (zones concaves). Pour obtenir un tel résultat, il est nécessaire d'apporter des soins réguliers aux onglons. Avec les revêtements déformables, la paroi de l'onglon peut

avoir tendance à s'enfoncer légèrement comme sur les sols naturels, ce qui évite les charges ponctuelles extrêmes.

La figure 2 représente la surface de contact de la semelle de l'onglon (en grisé). Avec une voie de circulation non déformable, cette surface représente environ 75 cm² (Lasson et Boxberger 1976). Chez les vaches laitières (animaux à gros gabarits), l'onglon arrière extérieur (le plus fréquemment touché par les blessures et les maladies) présente une largeur moyenne de la sole de 46,7 +/- 3,6 mm; sa longueur en diagonale mesure 119,3 +/- 7,46 mm (Räber 2000). C'est

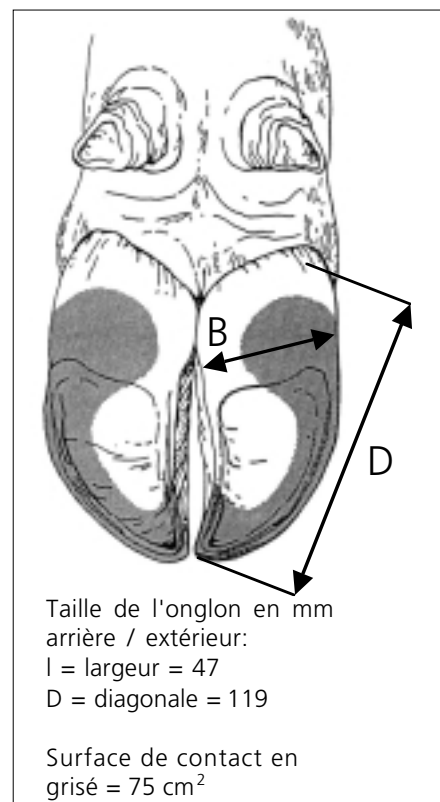
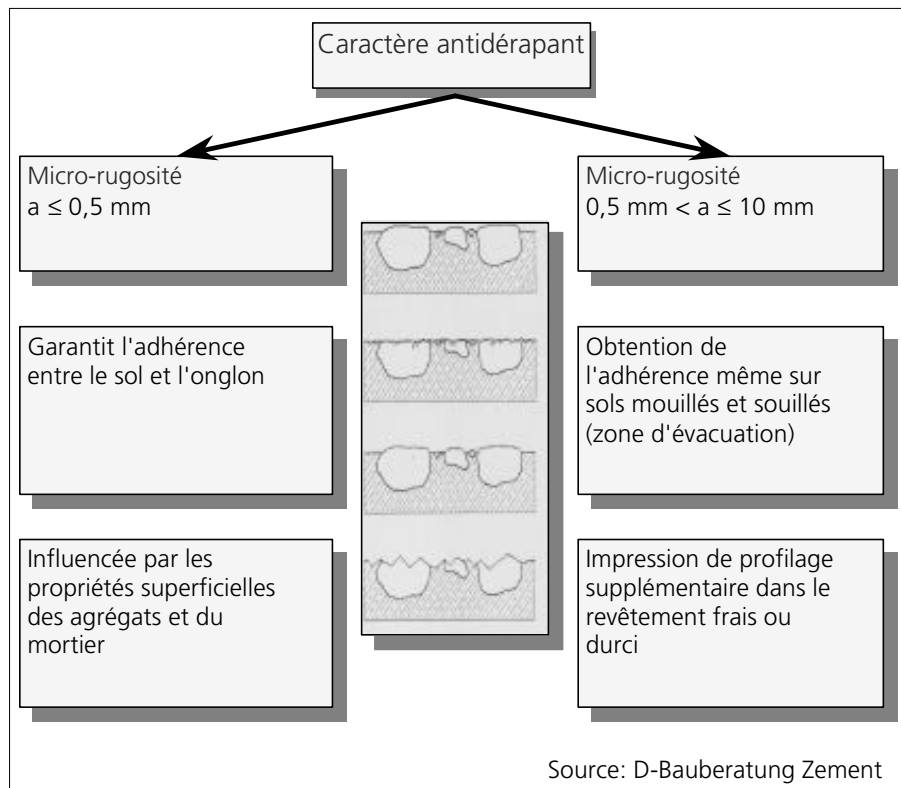


Fig. 2: La taille des onglons (vaches brunes, Simmental, tachetées rouges, tachetées noires) fournit des informations sur la structure nécessaire pour la surface des voies de circulation. (Sources: J. Hermann, M. Räber, E. Lasson). Les zones en grisé correspondent aux zones porteuses du bulbe et de la paroi.



Source: D-Bauberatung Zement

- Rugosité (ou texture superficielle)
Structure géométrique de la surface du sol, permet l'adhérence entre l'onglon et la surface.
- Caractère antidérapant
Combinaison entre adhérence et frottement, qui se traduit par une résistance au glissement sur la voie de circulation, en fonction de l'état du sol (sec, mouillé, souillé, gelé), de la rugosité superficielle, du poids de l'animal, de la taille et de l'état des onglons.
- Assurance de la démarche
Observation des déplacements des animaux, en relation avec les propriétés du sol et avec les expériences et opinions subjectives.
Objectif: démarche assurée de l'homme et de l'animal.

Le caractère antidérapant des voies de circulation est important non seulement pour les animaux. Il l'est aussi pour la personne qui s'en occupe. Glisser sur les sols d'étables est un accident fréquent chez les éleveurs. Pour les sols recouverts de matériaux lubrifiants, une surface plane antidérapante ne suffit plus. Il faut créer des zones d'évacuation supplémentaires sous forme de cavités (Hugi 2000). Tandis que les chaussures de travail présentent des semelles profilées, ce n'est pas le cas des onglons. Par conséquent, le caractère antidérapant doit être assuré par la rugosité de la surface. Cette dernière se présente comme un paysage de cratères (d'un point de vue microscopique). L'effet antidérapant est obtenu par des dépressions et des sommets qui forment un

pourquoi la surface des voies de circulation doit tenir compte des dimensions des onglons et des surfaces de pression qui en résultent. Chez les vaches dont le poids vif est de 700 kg, la charge supportée en mouvement et à l'arrêt oscille entre 175 et 400 kg par couple d'onglons. Cela représente des pressions allant jusqu'à 40 N/cm² sur la sole et jusqu'à 320 N/cm² sur la paroi. Lorsque les vaches se chevauchent, les charges sont même doubles (Wandel 1999).

Différentes études montrent à quel point il est important que le sol présente un minimum de rugosité pour que les

onglons aient une bonne assurance (De Belie 2002; Albutt 1990). Pour éviter les surcharges ponctuelles sur la sole et la paroi des onglons, il faut cependant éviter tout élément acéré ou saillant. Le tableau 2 récapitule les exigences relatives aux voies de circulation.

Définition du caractère antidérapant

Dans le cadre du débat sur les voies de circulation dans les étables, différents concepts peuvent être définis comme suit, par analogie à la construction routière:

Tab. 2: Exigences relatives aux voies de circulation

<p>Exigences du point de vue des animaux:</p> <ul style="list-style-type: none"> • surface antidérapante • usure suffisante des onglons, mais pas trop importante • absence d'arêtes acérées • surfaces planes sans dépression • superficie déformable si possible • propreté élevée 	<p>Exigences d'un point de vue technique et économique:</p> <ul style="list-style-type: none"> • surfaces faciles à nettoyer • prix avantageux • longue durée de vie.
--	--

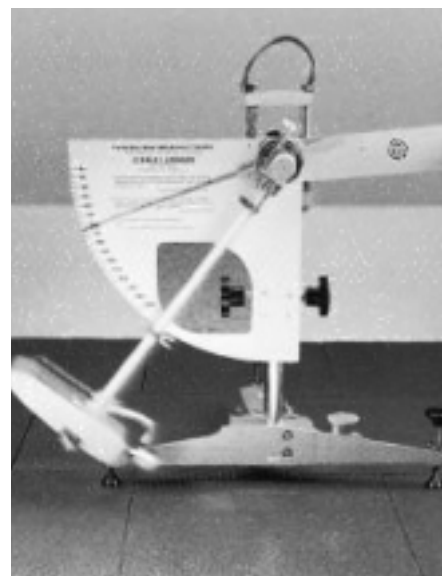


Fig. 4: L'appareil SRT permet de mesurer la microrugosité d'une surface propre et humide.

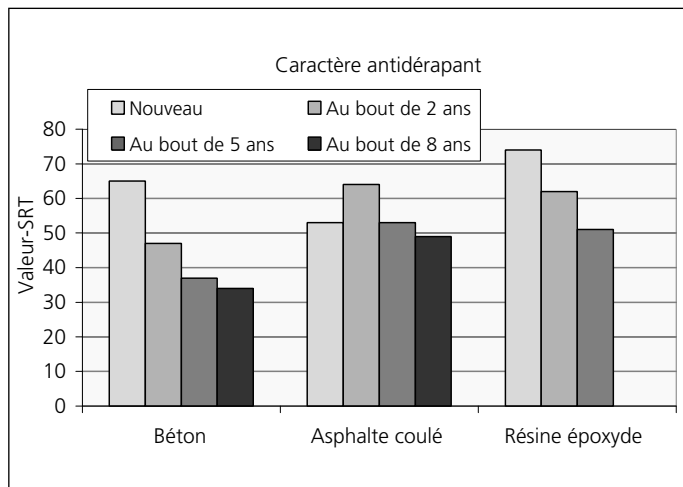


Fig. 5: Baisse du caractère antidérapant de différents matériaux composant les voies de circulation en fonction de la durée d'utilisation, selon Weber (1985).

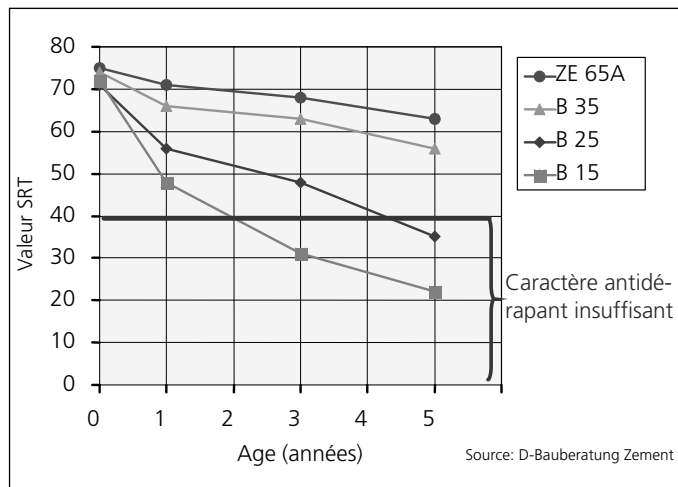


Fig. 6: Valeurs SRT en fonction de la classe de résistance du béton. Plus le béton résiste à l'usure, plus il conserve son caractère antidérapant pendant longtemps.

espace où la saleté peut s'insérer. On distingue deux niveaux de rugosité: la micro- et la macrorugosité (fig. 3).

La microrugosité (aspérité superficielle) comprend tous les éléments rugueux dont l'extension horizontale (a) est ≤ 0,5 mm; la macrorugosité, tous ceux dont l'extension horizontale est > 0,5 mm – env. 10 mm. Suite à l'usure mécanique, due notamment aux appareils d'évacuation du fumier, et suite à la présence permanente des excréments, la microrugosité diminue plus le revêtement vieillit. Les revêtements doivent présenter une macrorugosité minimale, pour rester adhérents même lorsque les sols sont très encrassés. Avec le béton, la macrorugosité est obtenue par des étapes de traitement supplémentaires: empreinte dans le béton frais, fraisage dans le béton durci.

Mesure du caractère antidérapant

Jusqu'à présent, il n'existe pas de méthode permettant de mesurer la résistance au frottement et à l'adhérence dans les conditions de la pratique. La méthode

Skid-Resistance-Tester (SRT), largement employée pour les tests de rugosité dans la construction routière, convient également pour les mesures dans les étables. Cette mesure porte sur la phase de glissement: un corps à tester (caoutchouc), fixé au bras pendulaire glisse sur la surface à mesurer (fig. 4). L'aiguille de l'appareil s'arrête en fonction de l'énergie résiduelle du pendule et indique l'indice de frottement sur l'échelle de mesure, la valeur SRT. La vitesse du pendule, de 2,8 m/s, se situe dans la zone des vitesses de glissement fréquentes chez les bovins.

L'appareil SRT permet uniquement de mesurer l'influence du matériau utilisé pour le sol sur la résistance au dérapage. L'influence des fentes, trous et fissures n'est pas prise en compte. C'est pourquoi la valeur SRT décrit avant tout la microrugosité.

Le classement des valeurs SRT présenté dans le tableau 3 est basé sur les données de Weber (1985). Tandis que l'asphalte coulé conserve un bon caractère antidérapant au fil des ans, ce caractère varie considérablement dans le cas du béton en fonction de la qualité (fig. 5 et 6).

ge, comme l'asphalte coulé par exemple, il est souhaitable que les sols soient humides pour les besoins du nettoyage, ce qui est encore possible avec une pente de 1%. La pente ne rend toutefois pas superflu un nettoyage régulier (cf. chapitre Conditions d'un nettoyage de bonne qualité). Suivant le modèle de racleur large, il faut installer des rails de guidage, des éléments d'entraînement et de commande correspondants.

Béton

La solution la plus avantageuse sur le plan des coûts est une solution qui offre également la possibilité d'effectuer une partie des travaux par soi-même. Elle consiste à poser une simple dalle en béton. Pour que le béton satisfasse toutes les exigences (qu'il soit portant, durable, antidérapant, facile à nettoyer), la fabrication et la mise en place doivent satisfaire des exigences de qualité élevées.

Exigences élevées en ce qui concerne la résistance à l'usure

Les sols qui présentent une résistance élevée à l'usure exigent un béton très résistant, qui doit être post-traité suffisamment longtemps. La classe de résistance doit atteindre au moins C30/37 (classe selon SIA 162.001, correspond à l'ancienne classe B35). Etant donné la faible résistance à l'usure de la pâte de ciment, le ciment doit être limité à la quantité nécessaire. Par ailleurs, il est recommandé d'utiliser si possible des mélanges pauvres en sables et en cavités à base de granulats résistants (graviers) (tab. 4). La

Tab. 3: Classement des valeurs SRT (selon Weber 1985)

Valeur SRT	Caractère antidérapant de la voie de circulation
Jusqu'à 40	trop glissant
40 – 50	insuffisant
50 – 60	suffisant à bon
60 – 70	bon
70 – 80	très bon à trop rugueux

Mise en place de voies de circulation neuves

Exigences générales en matière de construction

Pour éviter l'humidité constante (les flaques), il est recommandé de prévoir une pente transversale minimale de 1 à 2%. Dans le cas de revêtements sans profila-

Tab. 4: Caractéristiques d'un béton résistant à l'usure

Catégorie de béton	min. C30/37 (B35–25), mieux C35/45 (B40–30)
Rapport eau-ciment	0,48 (< 0,50) (utiliser du plastifiant-réducteur d'eau)
Granulats	0–32 mm, si profilé 0–16 mm dans la zone granulométrique 3–11 mm, roche dure concassée
Epaisseur de la dalle	12–20 cm (cf. tab. 5)
Pose	Dans les 100 min. qui suivent sa fabrication, sinon ajouter un retardateur. Vibrer brièvement.
Post-traitement en fonction des conditions météorologiques	<10 °C temps sec: 8 jours >10 °C temps sec: 5 jours

Tab. 5: Epaisseur minimale de la dalle et armature recommandée pour différentes charges à l'essieu. Lit de cailloux jusqu'à la profondeur de gel. Sous-sol portante.

	Charge à l'essieu	Epaisseur minimale de la dalle	Armature en longueur et en largeur (treillis)
	kN (t)	cm	mm ² /m ²
Animaux / tracteur jusqu'à 70 kW	< 30 (3)	12	230
Tracteur avec balle d'ensilage	< 50 (5)	15	300
Cuve à lisier / épandeur	< 100 (10)	18	350
Camions	> 100 (>10)	20	D'après calculs

quantité de mortier nécessaire (mélange ciment-sable) diminue lorsque la dimension des plus gros grains des granulats augmente. En général, on choisit 32 mm pour les plus gros grains.

Le rapport eau-ciment doit être aussi bas que possible (< 0,5 kg eau/kg de ciment). Lors de la pose, le béton contient environ 10 % d'air. Le béton n'est donc pas compact. Le vibrage est une opération qui permet d'évacuer l'air et de compacter le béton. Cette opération ne doit se poursuivre que jusqu'à obtention d'une surface fermée exempte de poches d'air. Un vibrage trop long amène l'eau et le lait de ciment à la surface, ce qui réduit considérablement la résistance de cette dernière. La résistance du béton C30/37 (B 35) à l'usure est 20 à 30 % supérieure à celle d'un béton C20/25 (B 25) (Richter 2001). Un béton de qualité C30/37 ne peut être fabriqué que dans une usine à béton. Sur le chantier, il faut absolument éviter tout apport d'eau, car cela détériore nettement la qualité du béton.

Epaisseur nécessaire de la dalle en béton

L'épaisseur nécessaire de la dalle en béton dépend de la charge, de la résis-

tance du béton et des contraintes admissibles du sous-sol. Si la dalle en béton n'est utilisée que par les animaux, il suffit qu'elle mesure 12 cm d'épaisseur. Mais si des machines doivent circuler sur la dalle, son épaisseur doit être adaptée aux charges à l'essieu (tab. 5). On part du princi-

pe que le sous-sol est portante (par exemple, couche de graviers compactés de 20 à 30 cm). Sur les bords, la dalle doit s'appuyer sur un coupe-gel.

De manière à limiter la largeur des fissures, l'armature doit être placée le plus haut possible (mais au moins 30 mm en dessous de la surface).

Post-traitement du béton

Pour durcir et atteindre les propriétés recherchées, le béton a besoin d'un certain temps et doit bénéficier de certaines conditions. Pour qu'il dispose de l'humidité nécessaire à son durcissement, il doit être maintenu humide suffisamment longtemps. Dans les conditions météorologiques normales, un béton frais peut perdre plus d'un litre d'eau par heure sous l'effet de l'évaporation. Ce volume peut augmenter lorsque le soleil tape et lorsque le vent souffle très fort. Sachant que les 2 cm supérieurs ne contiennent que 4 l d'eau par m², l'eau nécessaire pour l'hydratation peut disparaître en très peu de temps. Les conséquences sont les suivantes:

- Les grains de ciment humides sèchent et perdent leur effet collant. Ils se transforment en poussière inerte. Il ne sert plus à rien d'humidifier le béton a posteriori.
- Importante formation de fissures en surface.
- Baisse de la résistance du béton à la compression et à l'usure.

Dès que le béton a fini de sécher et «brille», il doit faire l'objet d'un post-traitement:



Fig. 7: Granulé en caoutchouc intégré dans la couche de béton supérieure: pour réduire l'usure, la technique d'évacuation du fumier doit pouvoir être utilisée de manière à ménager le revêtement.



Fig. 8: Le moment pour profiler le béton est déterminé en testant avec le doigt. Ce moment peut varier considérablement en fonction des conditions de livraison et de pose.

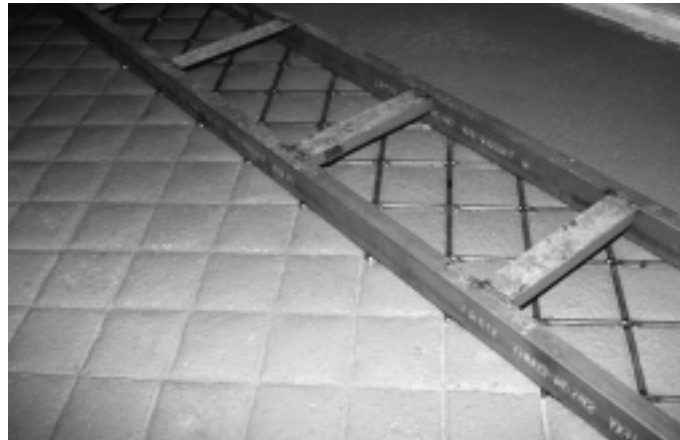


Fig. 9: Un modèle d'empreinte ouvert permet de contrôler le travail et de bien faire coïncider l'empreinte avec la surface déjà profilée.

Il existe plusieurs possibilités:

- On peut le recouvrir d'un film plastique.
- On peut vaporiser un produit anti-évaporation (Curing-Compound).
- On peut vaporiser de l'eau sur la surface. Il n'est conseillé d'opter pour ce traitement que lorsque toute la surface de béton peut être vaporisée sans grandes différences de températures entre la surface du béton et l'eau.

La durée du post-traitement dépend des conditions météorologiques, ainsi que de la composition du béton (type de ciment, rapport eau-ciment). Il est recommandé de respecter une durée de traitement minimum de cinq jours. Lorsque les températures et l'humidité relative sont basses et/ou les rayons du soleil ardent et/ou le vent fort, le traitement doit durer au moins huit jours.

Amélioration de la surface en béton frais

Le caractère antidérapant et la résistance à l'usure de la surface peuvent être améliorés en incorporant des matériaux à résistance mécanique élevée dans le béton frais. Il est recommandé d'employer des granulats durs concassés avec une granulométrie de 0,4 à 1,6 mm. Leur quantité ne devrait pas dépasser 3 kg par m², pour que l'usure des onglons ne soit pas trop élevée.

Une autre variante permettant d'améliorer le caractère antidérapant de la surface consiste à incorporer des granulés en caoutchouc à la surface selon une quantité d'env. 2 à 2,5 kg par m². Pour la pose d'un revêtement de 4 cm d'épaisseur, il est recommandé d'utiliser entre 5 et 5,5 kg de granulés par m² (fig. 7). Pour réali-

ser une bonne adhérence entre le béton et le caoutchouc, il est recommandé de ne pas utiliser des granulés en caoutchouc recyclé, mais des granulés en caoutchouc neuf. Les nouveaux revêtements à base de granulés en caoutchouc sont très antidérapants lorsqu'ils sont propres. Pour éviter l'usure, le système d'évacuation du fumier devrait travailler de manière à ménager le revêtement (en respectant une certaine distance entre le sol et la hauteur de la lame du racleur).

Profilage de la surface

Différentes études traitent de la rugosité et de l'effet du profilage des surfaces en béton sur les déplacements des bovins et



Fig. 10: Le profilage doit être effectué à la même vitesse que le bétonnage précédent. Grâce aux supports (coffrage et/ou rails de guidage), le rouleau peut rester sur la surface pendant les temps d'attente.

l'assurance de leur démarche (Dooren 2001; Swierstra et al. 1998; Dumelow et al. 1989; Vokey 2001; De Belie 2002). Comme la microrugosité du béton diminue souvent très rapidement et qu'il faut compter avec d'importantes souillures, le caractère antidérapant de la surface doit être compensé par une macrorugosité durable et élevée obtenue par profilage. Par rapport aux surfaces non travaillées, les différents profilages améliorent tous de la même manière le comportement des animaux dans leurs déplacements. Toutefois, en ce qui concerne les dérapages, les différents dispositifs présentent des différences considérables. Le profilage doit être conçu de manière à ce que les onglons ne puissent pas glisser quelle que soit la direction. Les bovins glissent fréquemment sur les pattes avant, en s'écartelant (Albutt 1989).

Les études effectuées jusqu'ici ont montré que le modèle hexagonal et le modèle carré étaient ceux qui convenaient le mieux aux vaches. Le modèle hexagonal exige toutefois des outils complexes et le modèle carré pose problème pour de nombreux racleurs d'évacuation du fumier. C'est pourquoi le modèle en losange s'est imposé dans la majorité des cas.

En cas de profilage du béton frais, la distance entre les rainures doit être d'environ 15 cm, pour que le pourcentage de zones planes soit suffisamment important. Quel que soit le profil, la largeur des rainures doit être d'environ 10 mm. Une profondeur minimale de 5 mm suffit. Pour le profilage avec l'empreinte ou le rouleau, il convient d'utiliser des barres rondes.



Fig. 11: Le rouleau métallique utilisé pour le profilage doit présenter un gros diamètre; un rouleau d'une dimension de 60 cm peut aisément être déplacé par deux personnes.

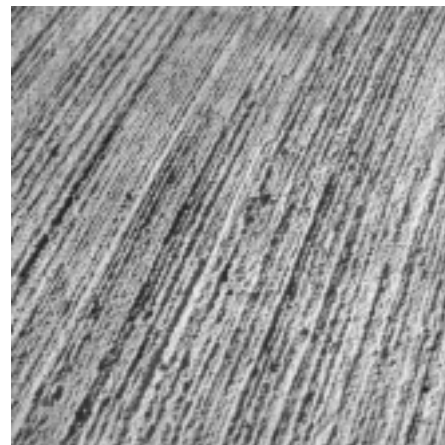


Fig. 12: Un coup de balai professionnel apporte au départ une bonne rugosité à la surface. Toutefois comme les rainures se situent au niveau du mortier, la résistance à l'usure est faible.

Adapter le bétonnage au profilage

Au cours de plusieurs essais, la FAT a mis au point un procédé idéal pour le profilage du béton frais. Il s'agit d'imprimer le profil dans le béton frais en train de prendre. Avec une granulométrie de 0 à 32, l'impression du profil crée des trous à la

surface du béton. C'est pourquoi les grains de 0 à 16 conviennent mieux. Le béton doit si possible être seulement aplani; un talochage intensif le rend trop lisse.

Il suffit de tester avec le doigt pour déterminer le moment idéal pour le profilage:

le béton doit commencer à prendre (fig. 8). Suivant la température et les conditions de livraison, cette phase peut commencer une demi-heure à deux heures après la pose du béton. Si le béton est profilé trop tôt, il est encore trop plastique et des zones intermédiaires bombées ont tendance à se former. Si le béton est trop dur, la profondeur du profil diminue, ce qui est moins grave. Il existe différentes techniques de profilage:

Profilage à l'empreinte ou au rouleau

Le profilage à l'empreinte consiste à imprimer une grille, une plaque ou une planche avec le profil correspondant dans le béton frais. L'outil doit être conçu de manière à obtenir un profil régulier (vue sur les losanges et/ou marquages, fig. 9). La structure la plus légère possible facilite le travail. Pour que le béton ne colle pas à l'empreinte, il est nécessaire d'huiler préalablement cette dernière.

Pour les surfaces plus importantes, comme les couloirs et les aires d'exercice, la technique du rouleau a fait ses preuves. Cette technique consiste à pousser un rouleau en acier d'un diamètre de 60 cm, opération qui peut être réalisée à la main même sur les grandes largeurs (fig. 11). Pour éviter les inégalités, le rouleau s'appuie latéralement soit sur le coffrage et/ou le profil de guidage du racler (fig. 10). Ce procédé garantit une profondeur de pénétration régulière du profil et le rouleau peut rester sur la surface pendant les temps d'attente. Avant de passer le rouleau, on peut recouvrir la surface d'un film (0,007 mm). Les films plus épais (par exemple films de 0,05 mm disponibles dans le commerce pour les travaux de

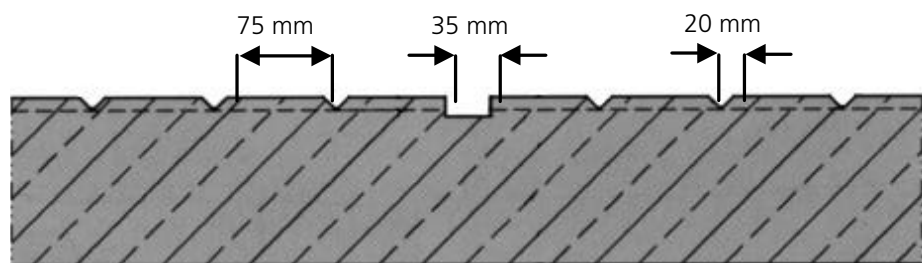
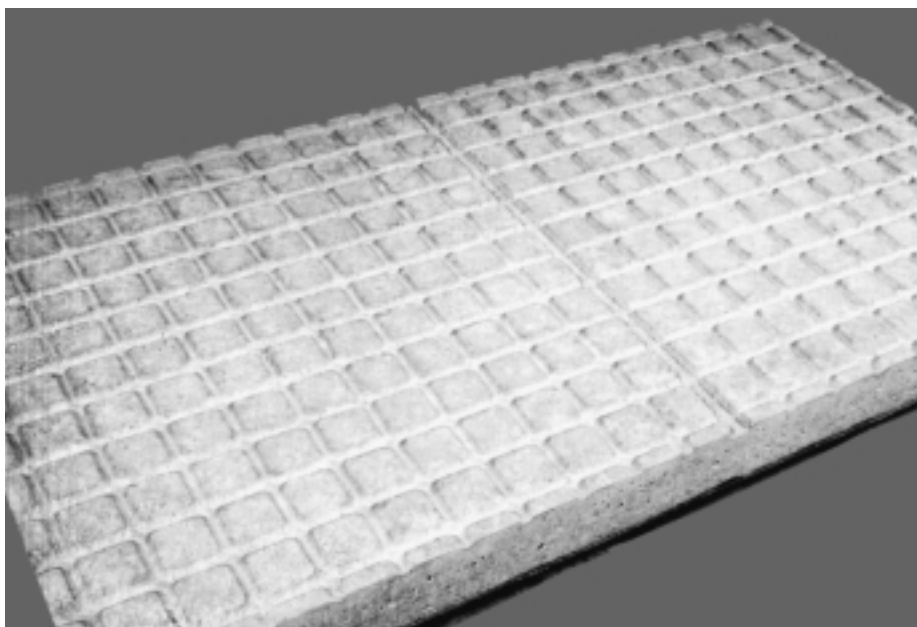


Fig. 13: Avec les éléments en béton préfabriqués, le profilage peut être effectué de manière optimale. Cette méthode permet également d'obtenir une qualité de béton homogène et une surface plane (exemple de produit: Plusvloer (NL)).

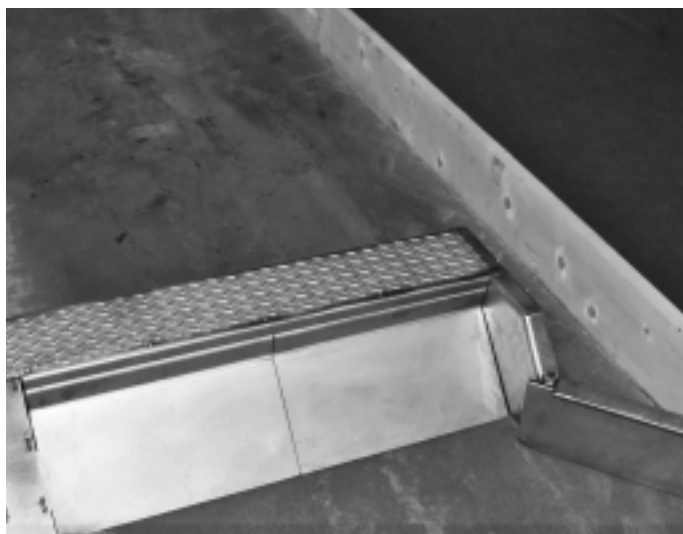


Fig. 14: Les voies de circulation qui présentent une faible rugosité exigent une technique de nettoyage particulièrement efficace. Les racleurs à volets individuels ont fait leurs preuves sur l'asphalte coulé. Les surfaces doivent être humides pour un bon résultat.

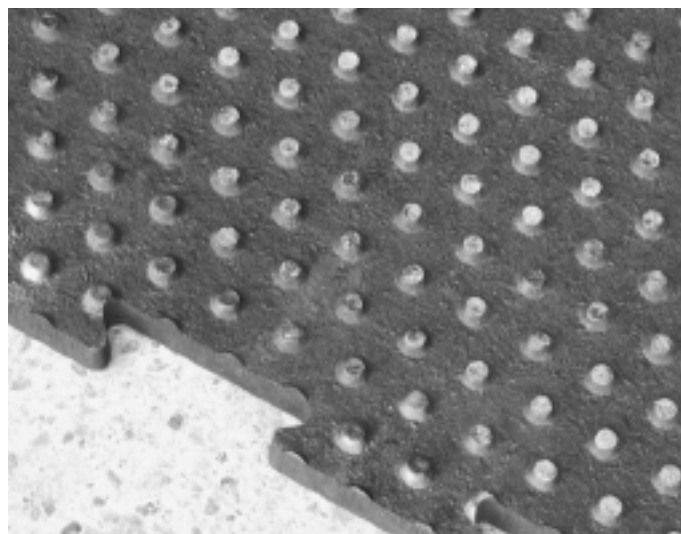


Fig. 15: Des vésicules spéciales sur la face inférieure des tapis en caoutchouc leur confèrent un caractère déformable.

construction) sont peu extensibles et portent préjudice à la coupe du profil. Le film de couverture évite que le béton ne colle au rouleau, lisse les transitions des rainures et empêche finalement que la surface ne sèche trop rapidement.

Pour pouvoir profiler efficacement le béton frais, il vaut la peine de faire un test au préalable à l'extérieur de la voie de circulation.

Amélioration la durabilité grâce au passage du balai

Un coup de balai professionnel (fig. 12) permet également d'obtenir une surface antidérapante. Par le passé, l'usure était cependant trop importante avec les fines rainures et l'effet de rugosité disparaissait au bout de quelques années. Un béton très résistant et une pose optimale permettent aujourd'hui d'augmenter légèrement la durée de vie des rainures. Pour que les rainures soient régulières et suffisamment profondes (environ 2 mm), il est indispensable d'utiliser un balai métallique.

Éléments en béton, plaques pour sols d'étables et pavés de raccord

En liaison avec la réduction des émissions, certains pays, notamment la Hollande et le Danemark, utilisent des éléments préfabriqués en béton (fig. 13) qu'ils posent sur les canaux. Grâce à un mode de fabrication standard, cette méthode permet d'obtenir un béton homo-

gène de très haute qualité. Le profilage peut être effectué de manière optimale. La planitude des éléments et la régularité de la déclivité constituent d'autres avantages de cette méthode. Les plaques de revêtement d'étables (par exemple Stallit) ont en principe les mêmes avantages que les éléments en béton. Différentes plaques traditionnelles présentent toutefois une faible résistance à l'usure. Des difficultés peuvent également apparaître lorsque la technique d'évacuation du fumier n'est pas suffisamment adaptée. Enfin, la pose à l'aide de mortier représente une lourde charge de travail.

L'utilisation de petits pavés de raccord permet d'améliorer la sécurité des dépla-

cements grâce au quadrillage serré des joints (par exemple, forme en S ou 10x10 cm). La surface des pavés est toutefois peu rugueuse et les joints ne laissent pas suffisamment d'espace libre pour évacuer les importantes souillures caractéristiques des aires d'affouragement.

Les dispositions de la protection des eaux et leurs répercussions sur la mise en place des éléments, des plaques et des pavés doivent être étudiées au préalable.

Asphalte coulé et béton bitumineux

Comme le béton, l'asphalte coulé est composé d'agrégats minéraux et d'un



Fig. 16: Une démarche lente et de petits pas, la tête baissée sont des caractéristiques typiques des voies de circulation glissantes.

Tab. 6: Comparaison des coûts des différentes variantes de revêtements

Taux d'intérêt	3,5%				
Renchérissement de la construction	2,0%				
Coûts totaux après 15 ans, compte tenue du renchérissement de la construction et des taux d'intérêt du capital investi					
		Coûts des matériaux	Prix Entrepreneur	Assainissement	Coûts totaux après 15 ans
		Fr/m ²	Fr/m ²		Fr/m ²
12 cm de béton B40/30 WD, 0-32 Lit de graviers compacté: 20 cm	Sol en béton avec roche dure concassées si possible, coup de balai	40	67	Rétablissement de la rugosité au bout de 6, 9, 12 ans	116
12 cm de béton B40/30 WD, 0-16 Lit de graviers compacté: 20 cm	Sol en béton avec roche dure concassées si possible, profilage	43	71	Rétablissement de la rugosité au bout de 6, 9, 12 ans	121
3 cm d'asphalte coulé 12 cm de béton B30/20, 0-32 Lit de graviers compacté: 20 cm	Sol en béton avec revêtement de 30 mm en asphalte coulé	94	118	Aucun assainissement prévu	159
4 cm de revêtement Merostep 12 cm de béton B30/20, 0-32 Lit de graviers compacté: 20 cm	Sol en béton avec revêtement de 40 mm en Merostep	55	101	Sans assainissement éventuel, durabilité inconnue	136
12 cm B40/30 WD + caoutchouc Lit de graviers compacté: 20 cm	Sol en béton avec granulé en caoutchouc taloché	50	78	Sans assainissement éventuel, durabilité inconnue	105
3 mm de Résine époxyde 12 cm de béton B35/25, 0-32 Lit de graviers compacté: 20 cm	Sol en béton avec revêtement de résine époxyde (pas dans les couloirs équipés de racleurs)	84	128	Aucun assainissement prévu	172
2 mm PUR 12 cm de béton B35/25, 0-32 Lit de graviers compacté: 20 cm	Sol en béton avec revêtement de polyuréthane (pas dans les couloirs équipés de racleurs)	62	105	Aucun assainissement prévu	141
12 cm Plusvloer profilé 5 cm de béton 150 recycl. Lit de graviers compacté: 20 cm	Dalles en béton profilé préfabriquées (Plusvloer) avec kit de joints	96	141	Étanchéité et durabilité inconnues	190
12 cm Plusvloer profilé 12 cm de béton B35/25 WD, 0-32 Lit de graviers compacté: 20 cm	Dalles en béton profilé préfabriquées (Plusvloer) sur en béton	106	144	Durabilité inconnues	194
Tapis en caoutchouc 12 cm de béton B35/25 WD, 0-32 Lit de graviers compacté: 20 cm	Sol en béton avec tapis en caoutchouc (vésicules sur la face inférieure)	113	145	Surée de vie du tapis selon fabricant: 15 ans	196

liant (bitume au lieu du ciment). La teneur en bitume doit être calculée de manière à ce que les cavités soient entièrement comblées ou qu'il existe un léger excédent de liant. De cette manière, l'asphalte coulé est étanche à l'eau et résistant à la saumure. Les agrégats sont faits de matériaux concassés. L'infrastructure doit être plane, car avec l'asphalte coulé, on ne peut apporter que de légères corrections en ce qui concerne la déclivité et la planitude. Entre le radier en béton et l'asphalte coulé, une couche de séparation est prévue, composée par exemple de voile de verre bitumineux.

L'asphalte coulé est posé à l'état liquide à une température d'environ 230 °C. Le respect de la température sur le chantier est décisif pour la qualité et la durabilité de la rugosité superficielle. L'entreprise contractée doit disposer de suffisamment d'expérience en ce qui concerne les voies de circulation dans les étales et doit garantir une pose professionnelle.

Pour les voies de circulation, il faut en général prévoir une couche de 30 à 35 mm d'épaisseur. Avant que le revêtement ne refroidisse, on épand une couche de sable marin, puis on procède au talocha-

ge. La surface n'est antidérapante que lorsqu'elle est propre et humide. C'est pourquoi les exigences relatives à la technique de nettoyage sont très élevées (fig. 14). L'asphalte coulé ne convient pas pour les zones extérieures à cause de l'influence des facteurs météorologiques (dessiccation, gel).

En ce qui concerne le béton bitumineux, on manque encore d'expériences dans les étales. La teneur en bitume (qui devrait être supérieure à 6 %) et le compactage influence la durabilité du revêtement. C'est pourquoi il faut veiller à un



Fig. 17: Ce revêtement en asphalte coulé présente une rugosité trop élevée et entraîne donc une usure trop importante des onglons.

compactage élevé lors de la pose, pour réduire au maximum le pourcentage de vides. En ce concerne le caractère antidérapant, le béton bitumineux est semblable à l'asphalte coulé.

Revêtements avec des mélanges à base de sable et de résine

Les revêtements à base de résine époxyde et de sable sont de plus en plus employés dans les salles de traite, et quelquefois dans les aires d'attente et les voies de circulation. Ces revêtements posent des exigences élevées en ce qui concerne la qualité du nettoyage, car ils ne présentent que peu d'espace libre où pourrait se nicher la saleté. C'est pourquoi leur emploi est typiquement réservé à des secteurs comme la salle de traite et les voies de circulation dans les stabulations entravées, dans la mesure où ces zones sont nettoyées quotidiennement à grande eau. Les mélanges de sable d'une granulométrie < 1 mm s'avèrent déjà glissants même lorsqu'ils ne sont que légèrement sales. C'est pourquoi il est recommandé d'employer des mélanges de sable dont une partie au moins présente des grains de 0,5 à 1,6 mm.

L'utilisation de tels revêtements dans les stabulations libres équipées de systèmes mécaniques d'évacuation du fumier est

problématique pour des questions d'usage.

Voies de circulation déformables en caoutchouc

Les voies de circulation en caoutchouc sont censées répondre aux besoins des bovins, car elles permettent d'avoir des surfaces déformables. Les études effectuées sur des caillebotis avec revêtement en caoutchouc montrent que les surfaces déformables exercent une influence positive sur les déplacements, le confort des vaches laitières, ainsi que sur la santé de leurs onglons (Benz 2001). Pour permettre aux animaux de se déplacer avec la sécurité voulue, les onglons doivent pouvoir s'enfoncer dans les tapis en caoutchouc. Avec les produits proposés actuellement, ce résultat ne peut être atteint que lorsque les tapis présentent des vésicules spéciales sur la face inférieure (fig. 15). Il n'est que difficilement possible d'augmenter la macrorugosité en jouant sur la structure de la surface, sans pour autant risquer de nuire à la stabilité et de rendre le nettoyage difficile. Les tapis et les voies en caoutchouc doivent être bien raccordés à l'infrastructure, pour ne pas se soulever ou ne pas être endommagés par les systèmes d'évacuation du fumier. Les voies de circulation en caoutchouc représentent une nouvelle solution dont on ne peut pas encore évaluer la durabilité.

Comparaison du coût de différentes variantes de sols

La comparaison du coût (tab. 6) de différentes nouvelles variantes montre que les investissements comme les coûts totaux varient considérablement. Les coûts totaux portent sur l'amortissement, les taux d'intérêt (4%) et les éventuels travaux de réparation pendant toute la durée d'utilisation. Sur ce point, on est parti du principe que toutes les variantes avaient la même durée de vie, soit 15 ans. Pour certains revêtements (Merostep, résine époxyde, PUR, matelas en caoutchouc), cette hypothèse repose sur les données fournies par le fabricant et n'a pas pu être vérifiée dans la pratique par manque d'expérience. C'est pourquoi les résultats doivent être interprétés avec précaution. Dans les variantes «béton coup de balai» et «béton profilé», la rugosité est améliorée au bout de 6, 9 et

12 ans. Malgré l'augmentation de la qualité du béton (B40/30) et le rétablissement périodique de la rugosité, ces surfaces comptent parmi les meilleur marché.

Assainissement des voies de circulation

Quand doit-on assainir?

La mesure de la résistance au glissement ne donne que des informations partielles sur le caractère antidérapant des voies de circulation. Le comportement et la santé des animaux sont des indicateurs plus pertinents lorsqu'il s'agit de déterminer la nécessité d'un assainissement. Pour que la comparaison puisse être objective, les animaux doivent être comparés à ceux gardés dans de bonnes conditions (pâturage, sécurité des déplacements dans l'étable, bonne santé des onglons).

En principe, la vache pose la patte arrière à proximité de l'empreinte laissée par la patte avant. La longueur de ses pas atteint en moyenne 80 cm. Sur les surfaces glissantes, la vache a tendance à réduire l'ampleur de ces pas et à se déplacer plus lentement (fig. 16). Lorsque l'animal avance rapidement la tête relevée, c'est le signe que la surface n'est pas glissante.

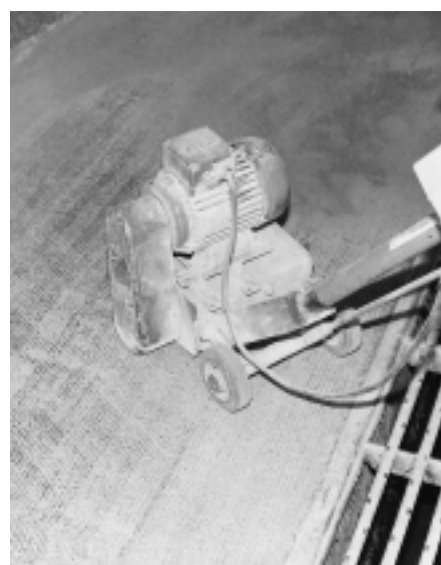


Fig. 18: Le rétablissement de la rugosité sur toute la surface permet d'obtenir une superficie à rugosité fine. Le caractère antidérapant perdure au maximum pendant deux à trois ans, suivant la qualité du béton et les sollicitations mécaniques.

Tab. 7: Vue d'ensemble de l'assainissement des voies de circulation dans les stabulations bovines

	Revêtement en résine artificielle (uniquement salle de traite, couloirs d'étable)	Revêtement en béton dur	Asphalte coulé	Tapis en caoutchouc déformables	Rétablissement de la rugosité / Fraisage
Conséquences relatives à la construction	Épaisseur de la couche 2–3mm; infrastructure plane nécessaire	Épaisseur de la couche 30–40 mm; possibilités de corriger les petites aspérités; adaptations de l'installation d'évacuation du fumier	Épaisseur de la couche env. 30 mm; pente max. 5%; infrastructure plane nécessaire; adaptations de l'installation d'évacuation du fumier	Tapis d'env. 20 mm; infrastructure plane nécessaire; adaptations de l'installation d'évacuation du fumier	N'augmenter que légèrement la rugosité des revêtements; fraisage dans le béton: à 2–3 mm de profondeur; tenir compte de l'enrobage de l'armature
Nettoyage, préparation	Nettoyage à haute pression, éventuellement dégraissage / rétablissement de la rugosité	Nettoyage à haute pression; éventuellement rétablissement de la rugosité	Nettoyage à haute pression	Nettoyage à haute pression	Nettoyage à haute pression
Opérations	– Poser la couche d'adhérence – Poser la couche de couverture – Epancher du sable silicieux	Garantir l'adhérence avec le béton (rétablir la rugosité) – revêtement avec env. 60 kg/m ³ de sable silicieux concassé ou – revêtement avec environ 100 kg/m ³ de granulés de caoutchouc	– Poser la couche de séparation – Asphalte coulé – Epancher du sable marin – Comblir les joints	Visser les tapis individuels à l'aide de vis spéciales	– Rétablir la rugosité / fraiser – Nettoyer
Durée de l'assainissement	Durcissement 3–5 jours	Durcissement 10 jours min.	Durcissement 2–3 heures	Utilisable immédiatement	Utilisable immédiatement
Coût (main-d'œuvre + matériel)	50–70 Fr./m ²	30–40 Fr./m ²	50–60 Fr./m ²	80–85 Fr./m ²	15–20 Fr./m ²
Prestations propres	Possible d'effectuer la pose par soi-même, mais pas recommandée (question de garantie)	Travaux préparatoires	Travaux préparatoires	Préparation et montage selon le mode d'emploi	Travaux préparatoires souvent possibilité de louer des machines; élimination des déchets de fraisage
Adéquation aux zones extérieures	Inadapté; formation de couches glissantes; nettoyage intensif fréquent nécessaire; les influences climatiques peuvent réduire la durée de vie de l'ouvrage	Sous réserves; couches glissantes; nettoyage intensif fréquent nécessaire	Inadapté; couches glissantes; surface parfaitement antidérapante seulement à l'état propre et humide	Sous réserves; couches glissantes	Bon; lorsque la rugosité grossière est suffisante, l'influence des couches glissantes diminue
Durée de vie	5–10 ans	> 10 ans	> 10 ans	> 10 ans (selon fabricant)	3–5 ans (selon la qualité du béton)

Les chaleurs peu marquées sont également un signe que les surfaces ne sont pas assez antidérapantes. Enfin, les signes qui traduisent le confort de l'animal constituent un autre indice: par exemple, pour que l'animal se lèche à la racine de la queue, il faut que la surface soit très antidérapante. Une usure trop importante des onglons peut causer des boiteries et nécessiter des traitements adaptés. De telles situations se présentent surtout avec des revêtements vieillissants en asphalte coulé (fig. 17). Un ongleur ou le vétérinaire peut constater si l'usure est anormale en procédant à une évaluation comparative. Les causes peuvent être liées aux voies de circulation dans l'étable, mais aussi aux chemins de pâture et aux aires d'exercice.

Différentes possibilités d'assainissement

Le tableau 7 présente et compare les principales variantes d'assainissement. Des informations plus précises sur les

revêtements comme l'asphalte coulé, les mélanges résine époxyde/sable et caoutchouc se trouvent dans les chapitres précédents. Dans le cas du béton, il est

possible de poser un revêtement (B 45). Après un nettoyage en profondeur et le rétablissement de la rugosité, il est nécessaire d'appliquer une couche d'accrocha-



Fig. 19: Un nettoyage fréquent et efficace des voies de circulation améliore leur caractère antidérapant, ainsi que la santé des onglons. Le racleur rabattable convient particulièrement bien du fait de ses petites dimensions.

ge. Pour rendre la surface du revêtement antidérapante, on peut de nouveau avoir recours à différentes solutions: addition de granulats fins à résistance mécanique élevée, granulés en caoutchouc et coup de balai. Les inconvénients mentionnés pour le béton existent également avec le revêtement.

La pose de revêtements augmente le niveau des voies de circulation d'au moins 3 cm. C'est pourquoi il faut prévoir à l'avance quelles seront les répercussions sur le reste de la construction. Il faut notamment respecter la hauteur minimale par rapport à la crèche, prévoir l'évacuation des eaux et adapter la technique d'évacuation du fumier.

Pour des raisons de coûts et à cause des conséquences citées sur le plan de la construction, les agriculteurs choisissent souvent de rétablir la rugosité de la surface en béton déjà en place.

Rétablissement de la rugosité par des procédés chimiques

Le procédé chimique permet d'améliorer la microrugosité, mais cette méthode ne permet pas de compenser l'absence de macrorugosité. Elle permet seulement d'éliminer de fines couches de calcaire. Voici quelle est la méthode qui a fait ses preuves pour y parvenir: dans un premier temps, les surfaces propres sont traitées avec un produit alcalin et nettoyées à l'aide d'un appareil à haute pression. Puis un produit acide dissout les résidus anorganiques (calcaire, etc.). Le traitement réitéré à l'acide améliore considérablement le résultat final (von Beschwitz 2002).

Il est possible d'utiliser des produits normalement employés pour l'hygiène du lait. Ces produits sont moins corrosifs et facilement biodégradables. Dans le domaine des acides, l'acide phosphorique a notamment fait ses preuves. Dans tous les cas, il est impératif de respecter les consignes d'utilisation.

Suivant la dureté de l'eau sur l'exploitation et l'utilisation des surfaces, le résultat obtenu par voie chimique se maintient entre quelques mois et une année.

Rétablissement de la rugosité par des procédés mécaniques

Pour éliminer la couche lisse agglomérée, il est nécessaire de rétablir la rugosité du revêtement sur toute la surface. Pour cette opération, il est possible de louer de

petits appareils légers à des entreprises de construction locales (fig. 18). Un résultat similaire peut être obtenu avec des jets de sables ou de billes. Avec ces procédés, le travail nécessaire est nettement supérieur pour le même résultat. La durée de vie de la rénovation avec le procédé mécanique est légèrement supérieure à celle de la variante chimique – mais dans ce cas aussi, il faut réitérer l'opération au bout de deux à trois ans déjà.

Pour prolonger leur durée de vie, les voies de circulation sont de plus en plus souvent pourvues de rainures. Ce travail nécessite également des outils très maniables conduits à la main. Le profil des rainures doit offrir aux onglons une surface plane sans angles, ni arrêtes acérées. Bien que les burins aient une forme arrondie, le travail à plus de 3 mm de profondeur dans le béton produit des éclats tranchants. Des études faites sur les onglons ont montré que ces revêtements se traduisent par un effilochage de la sole des onglons et une forte usure des parois. C'est pourquoi les rainures doivent présenter au maximum 2 à 3 mm de profondeur et environ 12 mm de largeur; elles doivent être espacées au minimum de 10 mm. Des rainures plus en profondeur gênent généralement l'enrobage minimum de l'armature (au moins 30 mm). Une fois les travaux terminés, les éclats doivent être entièrement éliminés pour éviter que les animaux ne se blessent les onglons. Pour l'instant, on ne dispose pas encore d'assez d'expérience pour juger l'impact de telles rainures sur la santé des onglons et la durabilité du revêtement.

Mise en service et technique d'évacuation du fumier

Préparation du revêtement de l'étable

Avant de mettre les voies de circulation en service, il est impératif de contrôler qu'elles ne présentent ni angles tranchants, ni arrêtes acérées. En cas de profilage dans du béton frais non recouvert d'un film, il est recommandé de passer un bloc en métal ou en béton sur la surface pour casser toutes les parties saillantes. Un nettoyage intensif est impérativement nécessaire dans tous les cas.

Avant de laisser les animaux circuler, les voies doivent être humidifiées avec de l'eau. Les nouvelles voies de circulation

doivent si possible toujours être mises en service pendant la saison de pâture. La forte sollicitation des onglons au départ est ainsi réduite. Les nouveaux animaux devraient être intégrés au troupeau au pâturage.

Conditions pour une bonne qualité de nettoyage

Une bonne santé des onglons et une bonne hygiène d'étable supposent une évacuation fréquente du fumier. Suivant la surface, il faut compter entre quatre à six évacuations par jour. Il n'est quasiment plus possible de procéder à cette opération avec un appareil mobile. Il faut avoir recours à des installations d'évacuation fixes, sauf lorsque le fumier est gelé. Dans ce cas précis, il est bon de renoncer totalement à l'évacuation du fumier, jusqu'à ce qu'un nettoyage complet soit de nouveau possible.

Les lames de contact sur les volets des racleurs, qui présentent une résistance moins élevée que les voies de circulation ou une distance faible entre le bord du racleur et la surface des voies de circulation sont des mesures qui permettent de réduire l'usure du revêtement. Les volets des racleurs doivent être contrôlés régulièrement et remplacés à temps. Les voies de circulation qui affichent une rugosité minimale (peu de cavités pour évacuer les souillures) nécessitent un nettoyage particulièrement efficace (fig. 19). L'asphalte coulé fait notamment partie de ce type de surfaces. De tels sols doivent être humidifiés chaque jour, pour éviter la formation de couches glissantes. Indépendamment de leur pose, les voies de circulation doivent être soumises régulièrement à un nettoyage intensif (nettoyeur à haute pression). Cette mesure permet de réactiver l'effet de la rugosité superficielle.

Conclusions

A l'avenir, l'adéquation des voies de circulation aux besoins des animaux prendra de plus en plus d'importance. On cherche à réduire les maladies des onglons et à augmenter le confort de l'animal, couché ou en mouvement. Pour parvenir à un tel résultat, la surface des sols doit être systématiquement adaptée aux onglons. Une microrugosité minimale est nécessaire pour assurer la démarque des animaux. Or, la rugosité initiale disparaît rapidement avec les sols en

béton traditionnels. L'augmentation de la résistance du béton, l'addition de granulats adaptés et un post-traitement suffisamment long peuvent, à moindre frais, améliorer considérablement la résistance du béton à l'usure. Les souillures importantes exigent une macrorugosité (rugosité grossière) suffisante pour bénéficier d'espace où s'insérer. Celle-ci peut-être obtenue par profilage du béton frais, formation de rainures dans les sols existants par fraisage ou encore par la pose d'éléments en béton profilés préfabriqués. Une comparaison des coûts montre que les différences sont énormes entre les variantes. Les données doivent toutefois être interprétées avec précaution, car on ne connaît pas encore la durabilité des nouveaux revêtements. Il existe différentes possibilités d'assainissement. Tandis que la rugosité des sols en béton peut être améliorée à peu de frais, les revêtements en asphalte coulé doivent être remplacés lorsqu'ils sont endommagés. Les matelas en caoutchouc déformables et les revêtements à base de granulés en caoutchouc ou de matériaux à résistance mécanique élevée constituent encore d'autres variantes possibles. La propreté des voies de circulation influence largement leur caractère antidérapant. C'est pourquoi la technique d'évacuation du fumier doit être adaptée au type de revêtement et appliquée plusieurs fois par jour.

Bibliographie

Albutt R.W. et Dumelow, J. et. al., 1990. Slip-resistance of solid floors in cattle buildings.

Benz B., 2002. Gestaltung der Lauffläche für Milchvieh.

De Belie et Nele, 2002. Effect of surface roughness on pressure distributions in the foot-to-ground contact area for cattle.

Dooren H.J.C., van Smolders E.A.A. et Blanken K., 2001. Effect of grooving of a solid concrete floor on slip incidence and walking behaviour of dairy cattle.

Hermann H.J. et Wlcek S., 1996. Planbefestigte Laufflächen – Stand der Diskussion, ALB-Fachtagung, Stuttgart-Hohenheim.

Hermann J. et Müller K., 2001. Anforderungen an Stallfußböden in der Rinderhaltung, p.11.

Hugi M., 2000. Anforderungen an Bodenbeläge, p. 1.

Lasson E. et Boxberger J., 1976. Untersuchungen über die Anforderungen von Rindern an die Wärme- und Härteeigenschaften von Stand- und Liegeflächen.

Mülling C., 1993. Struktur, Verhornung und Hornqualität in Ballen, Sohle und

weisser Linie der Rinderklaue und ihre Bedeutung für Klauenerkrankungen.

Räber M. E., 2000. Das Ballenpolster beim Rind.

Richter T., 2001. Trittsicherheit von Stallfußböden aus Beton, BfL 3 / 2001, S. 14.

Stärk K.D.C. et al., 1996. Häufigkeit und Kosten von Gesundheitsproblemen bei Schweizer Milchkühen und deren Kälbern (1993–1994).

Steiner B. et Keck M., 2000. Systèmes fixes d'évacuation du fumier dans l'élevage bovin et porcin, rapport FAT n° 542.

Swierstra D. et Braam C.R., 1998. Characteristics of floors in cattle houses with respect to animal and environmental demands, IMAG-DLO.

Vokey F.J. et al., 2001. Effects of Alley and Stall Surfaces on Indices of Claw and Leg Health in Dairy Cattle Housed in a Free-Stall Barn, Journal of Dairy Science Vol. 84, No 12, 2001.

Von Beschwitz E., 2002. Einfluss von Wasser und Säurebehandlung auf die Rutschfestigkeit von Laufflächen in Milchviehställen.

Wandel H., 1999. Laufflächen für Milchvieh – Anforderung, Auswahl, Erneuerungen, ALB-Fachtagung, Stuttgart-Hohenheim.

Weber R., 1985. Revêtements anti-glissants de sols d'étables, rapport FAT n° 280.

Des demandes concernant les sujets traités ainsi que d'autres questions de technique et de prévention agricoles doivent être adressées aux conseillers cantonaux en machinisme agricole indiqués ci-dessous. Les publications peuvent être obtenues directement à la FAT (Tänikon, CH-8356 Ettenhausen). Tél. 052 368 31 31, Fax 052 365 11 90, E-Mail: doku@fat.admin.ch, Internet: <http://www.fat.ch>

FR	Berset Roger, Institut agricole, 1725 Grangeneuve	Tél. 026 305 58 49
GE	AgriGenève, 15, rue des Sablières, 1217 Meyrin	Tél. 022 939 03 10
JU	Koenig André, Institut agricole, 2852 Courtemelon	Tél. 032 420 74 65
NE	Benoît Steve, CNAV, 2053 Cernier	Tél. 032 854 05 30
TI	Müller Antonio, Office de l'Agriculture, 6501 Bellinzona	Tél. 091 814 35 53
VD	Louis-Claude Pittet, Ecole d'Agriculture, Marcelin, 1110 Morges	Tél. 021 801 14 51
	Hofer Walter, Ecole d'Agriculture, Grange-Verney, 1510 Moudon	Tél. 021 995 34 57
VS	Roduit Raymond, Ecole d'Agriculture, Châteauneuf, 1950 Sion	Tél. 027 606 77 70
SRVA	Mouchet Pierre-Alain, CP 128, 1000 Lausanne 6	Tél. 021 619 44 61
SPAA	Grange-Verney, 1510 Moudon	Tél. 021 995 34 28

Les «Rapports FAT» paraissent environ 20 fois par an. Abonnement annuel: Fr. 50.–. Commandes d'abonnements et de numéros particuliers: FAT, Tänikon, CH-8356 Ettenhausen. Tél. 052 368 31 31, Fax 052 365 11 90. E-Mail: doku@fat.admin.ch – Internet: <http://www.fat.ch>
Les Rapports FAT sont également disponibles en allemand (FAT-Berichte).– ISSN 1018-502X.