



HAL
open science

SOLVL - Les sols des aires de circulation dans les bâtiments des vaches laitières : évaluation sanitaire, environnementale et économique.

François Gervais, Jean-Luc Ménard, Hélène Leruste, Dorothee Bizeray-Filoche, Anne Aupiais, Elise Lorinquer, Jean-Yves Audiart, Philippe Briand, A. Bruel, Stéphane Coutant, et al.

► To cite this version:

François Gervais, Jean-Luc Ménard, Hélène Leruste, Dorothee Bizeray-Filoche, Anne Aupiais, et al.. SOLVL - Les sols des aires de circulation dans les bâtiments des vaches laitières : évaluation sanitaire, environnementale et économique.. Innovations Agronomiques, 2019, 71, pp.35-49. 10.15454/ewrtgy . hal-02171438

HAL Id: hal-02171438

<https://hal.science/hal-02171438>

Submitted on 2 Jul 2019

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0 International License

SOLVL - Les sols des aires de circulation dans les bâtiments des vaches laitières : évaluation sanitaire, environnementale et économique

Gervais F.^{1,2}, Menard J.L.^{1,2}, Leruste H.³, Bizeray-Filoché D.⁴, Aupiais A.⁶, Lorinquer E.⁶, Audiart J.Y.^{2,5}, Briand P.⁷, Bruel A.⁸, Coutant S.⁸, Dudant B.⁹, Fagoo B.⁹, Flament B.⁹, Frennet J.L.¹⁰, Grattepanche F.¹¹, Kientz S.¹², Lagel D.¹³, Le Clainche D.¹⁴, Leroy M.¹⁵, Guatteo R.^{2,5}

¹ Institut de l'Elevage, 42 rue Georges Morel, F-49070 Beaucozé

² UMT Maîtrise de la santé des troupeaux bovins, ONIRIS, F-44307 Nantes

³ ISA Lille Yncrea Comportement Animal et Systèmes d'Elevage – 48 boulevard Vauban, F-59046 Lille

⁴ UniLaSalle Beauvais – 19 rue Pierre Wagué, F-60026 Beauvais

⁵ BIOEPAR, INRA, Oniris, Université Bretagne Loire, F-44307 Nantes

⁶ Institut de l'Elevage, Monvoisin, F-35650 Le Rheu

⁷ Chambre d'agriculture de Bretagne – rue Maurice Le Lannou, F-35042 Rennes

⁸ Chambre d'agriculture des Pays de la Loire – 9 rue André-Brouard, F-49105 Angers Cedex 2

⁹ Chambre d'agriculture Nord Pas-de-Calais – 56 Avenue R. Salengro, F-62051 Saint-Laurent Blangy

¹⁰ Groupement de Défense Sanitaire de la Mayenne, F-53061 Laval

¹¹ Lycée Agricole de Radinghem – 58 rue Principale, F-62310 Radinghem

¹² Chambre d'agriculture du Calvados – 6 avenue de Dubna, F-14209 Herouville Saint Clair

¹³ Bureau Technique de la Promotion Laitière – 3 chemin de la Futaie, F-72700 Rouillon

¹⁴ GDS Bretagne – 8 Avenue Edgar Degas, F-56000 Vannes

¹⁵ Institut de Genech – rue de la Libération, F-59242 Genech

Correspondance : francois.gervais@idele.fr

Résumé

Avec l'augmentation de la taille des troupeaux, les vaches passent plus de temps en bâtiment et les bâtiments avec logettes se développent. Ainsi, les éleveurs se préoccupent davantage de la nature, de la conception et des coûts des sols des aires de circulation et des conséquences de ceux-ci sur la santé et le comportement des vaches. Le projet SOLVL a été conduit pour apporter de nouveaux éléments sur ce sujet en combinant dans un premier temps une enquête postale à visée descriptive auprès de 645 élevages, puis dans un deuxième temps une enquête épidémiologique transversale sur la santé et la propreté des animaux auprès de 87 élevages équipés des sols les plus courants (bétons pleins, caillebotis et tapis) identifiés dans la première étape, pour finir par un suivi longitudinal dans 9 élevages équipés de sols innovants. En pratique, ce projet a permis de compléter les interventions en élevage en mettant au point une méthode de diagnostic des sols des aires de circulation, et de donner des recommandations sur le choix, la conception, la réfection et l'entretien des sols.

Mots-clés : bâtiment, sol, bovins, locomotion, boiterie, propreté, durabilité.

Abstract: The flooring systems in the walking area of dairy free-stall barns : a sanitary, environmental and economic study

With the increase of dairy herd size, an extended time of the cows in housing and the development of free-stall barns, the flooring in the walking areas of cubicle housing systems became a concern for many farmers and stakeholders. Therefore, farmers must consider design, cost and also consequences of flooring on health and behavior of dairy cows. This project was carried out to provide new elements on flooring in the walking area. First, a descriptive survey was conducted among 645 farms. Then, an epidemiological survey was conducted over winter 2015, where 87 farms were randomly selected from the 645 free-stall barns database in order to represent the seven most common types of flooring. Eventually, nine innovative floors were assessed. This study led to complement observations in farms by the creation of methods to make a diagnosis of flooring. Also, many recommendations and advices were made to better improve conception and renovation and to help farmers to choose the best type of floor for their dairy cows.

Keywords: Livestock housing, floor, cattle, locomotion, lameness, cleanliness, durability.

Introduction

L'agrandissement de la taille des troupeaux bovins laitiers conduit fréquemment à l'allongement du temps de présence des animaux dans les bâtiments. Ils se déplacent le plus souvent sur des sols bétonnés durs et parfois glissants, voire abrasifs. Avec la tendance à réaliser des bâtiments compacts et à gérer les déjections sous forme de lisier, les logettes sont de plus en plus répandues comme moyen de couchage. Dans ce système, la faible quantité de litière limite son rôle d'absorption de l'humidité en comparaison aux logettes paillées (à partir de 3 kg/VL/jour) ou aux aires paillées. Pour cette raison, les risques sanitaires comme les boiteries peuvent évoluer défavorablement et imposent l'adaptation de la conception et de l'entretien des bâtiments, notamment les sols des aires de circulation en bâtiment. Quelle que soit la nature du sol, de bonnes caractéristiques physiques et un entretien adapté sont indispensables pour lui permettre de jouer pleinement son rôle : propreté et bon déplacement des animaux et expression de leurs comportements naturels.

En conséquent, le projet SOLVL intitulé « Évaluation sanitaire, environnementale et économique des sols des bâtiments pour les vaches laitières » financé par le CASDAR 2013 a été lancé avec un partenariat très large regroupant des enseignants chercheurs du domaine vétérinaire et du bien-être animal, deux fermes de lycées agricoles, des organismes professionnels agricoles de terrain et avec l'appui des professionnels des sols et d'équipementiers. Ce travail a été mené en lien avec l'UMT « Maitrise de la santé des troupeaux bovins », et les RMT « Bâtiments d'élevage de demain », « Bien-être animal et systèmes d'élevage », « Élevages et environnement ».

Ce projet s'est articulé en plusieurs volets :

- Une enquête sur la diversité des sols et la réalisation d'une base de données,
- Une enquête épidémiologique transversale sur les sols les plus courants,
- Des suivis d'élevages équipés de sols innovants ou rares,
- Une évaluation des émissions gazeuses (GES et ammoniac) à deux échelles (bâtiment et sol) comprenant le développement d'une méthode spécifique aux sols (résultats non présentés dans cette publication),
- Des éléments pratiques d'intérêt et innovants sur les sols (conception, entretien et méthode diagnostic).

1. Enquête sur la diversité des sols et sur la satisfaction des éleveurs

Ce premier volet du programme, mené avec l'appui d'un étudiant ingénieur (Semren, 2014), avait pour objectif de connaître la diversité des sols existants et d'obtenir une base de données sur la zone d'étude (ouest, nord et est de la France) permettant ainsi de cibler des élevages pour la suite du projet. Cette enquête a permis de connaître la satisfaction des éleveurs sur leur sol.

1.1 Matériel et méthodes

Les régions de la zone d'étude (Pays-de-la-Loire, Bretagne, Normandie, Nord-Pas-de-Calais, Grand Est) ont été choisies pour leur densité d'élevages laitiers en lien avec les partenaires du projet. Les élevages équipés d'un bâtiment avec des logettes ont été ciblés, compte-tenu d'une part de leur développement actuel avec l'agrandissement des troupeaux et, d'autre part, d'une surface d'aires de circulation plus importante en comparaison aux aires paillées, ce qui a permis de mieux appréhender les effets sur les animaux.

L'enquête était principalement composée de questions fermées avec des illustrations pour faciliter la compréhension des réponses proposées et permettre un remplissage rapide par les éleveurs (inférieure à 10 minutes), et ainsi obtenir un maximum de réponses. Le questionnaire comportait deux parties : la première s'intéressait aux types de sols (description, interventions réalisées, historique, la satisfaction de l'éleveur pour la solution choisie...), la deuxième visait à décrire la conduite du troupeau laitier (effectif, conditions d'entretien du sol, description du couchage, avis de l'éleveur sur les boiteries, etc.). En fin de questionnaire, la motivation des éleveurs a été évaluée pour savoir s'ils souhaitaient poursuivre le travail d'observation via une enquête plus approfondie. La diffusion de l'enquête a été réalisée préférentiellement par mail avec un questionnaire sous LimeSurvey® sinon par courrier.

L'enquête a été réalisée en 2014 auprès de 2400 élevages équipés d'un bâtiment avec des logettes et 645 éleveurs ont répondu complètement à cette enquête.

1.2 Résultats

1.2.1 La diversité des types de sols

L'enquête a permis de mettre en évidence deux catégories de bâtiments : ceux avec un sol unique sur l'ensemble de l'aire d'exercice (89% des élevages enquêtés) et ceux avec des sols mixtes, différents selon les zones des aires de circulation (11% des élevages enquêtés).

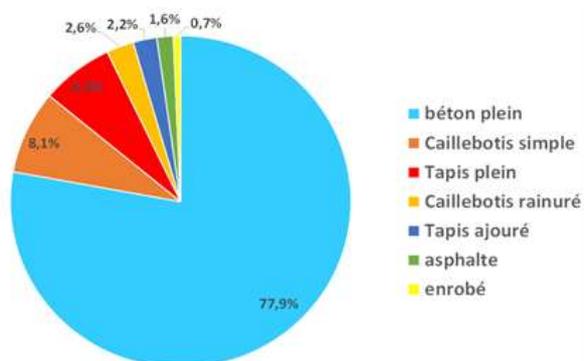


Figure 1 : Nature des sols uniques dans 579 élevages (source : Données issues du projet SOLVL).

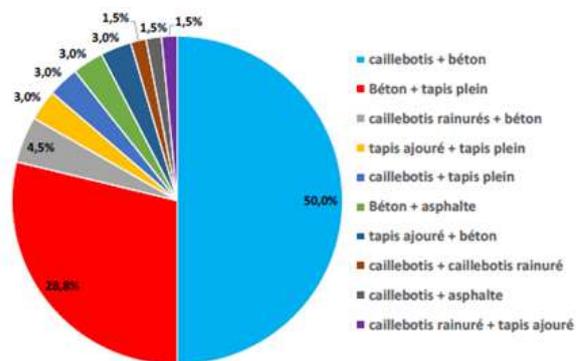


Figure 2 : Nature des sols mixtes dans 66 élevages (source : Données issues du projet SOLVL).

Pour les sols uniques (Figure 1), le béton est le matériau dominant avec 77,9% des élevages. Les caillebotis et les revêtements synthétiques représentent respectivement 10,7% et 9,1%. Les sols à base de bitume (asphalte et enrobés) sont beaucoup moins fréquents.

Les sols mixtes, différents selon les couloirs par exemple, sont en moyenne plus récents que les précédents. Les sols mixtes les plus fréquents sont présents dans des stabulations qui combinent un couloir en caillebotis et un couloir en béton plein (50% des sols mixtes) (Figure 2). Les stabulations avec sol plein qui associent béton et tapis sont en deuxième position et représentent 28,8% de l'échantillon. Des combinaisons beaucoup moins fréquentes ont aussi été repérées, par exemple l'association de béton avec de l'asphalte (2 élevages).

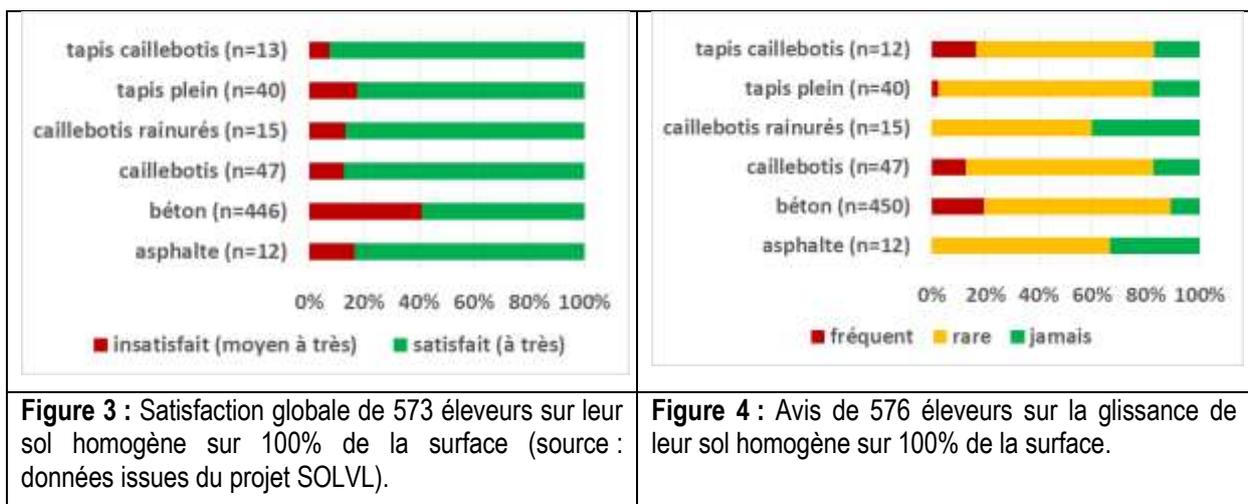
1.2.2 La finition des bétons à leur confection

Comme les bétons pleins sont majoritairement représentés, il a été possible de détailler leur mode de confection en particulier sur l'étape de finition pour apporter de la rugosité de surface. Cette finition est réalisée :

- Soit sur béton frais pour 43,5% des élevages, le plus souvent en réalisant une empreinte (37,3%), un balayage de surface (5,6%), voire une désactivation (0,5%),
- Soit après durcissement pour 56,5% des élevages, avec un rainurage mécanique réalisé plus de 12 mois après confection (35,4%), ou de manière très précoce moins d'un mois après confection (6,3%) ou intermédiaire de 1 à 12 mois (12,2%) avec le risque de dégradation précoce de la résistance des bétons et de leur glissance.

1.2.3 Avis des éleveurs sur les sols en place dont leur glissance

Globalement, la satisfaction des éleveurs pour leur sol est correcte (10 à 15 % d'éleveurs insatisfaits), sauf pour les sols bétons qui sont moins bien jugés (40% d'éleveurs insatisfaits) (Figure 3). Un des critères d'insatisfaction évalué concerne la glissance des sols pour les animaux et donne une idée de leur niveau d'usure en fonction de leur âge. La réponse à la question « voyez-vous des vaches qui glissent ? » montre des différences selon la nature des sols (Figure 4). Les sols pleins en béton et les caillebotis avec ou sans tapis sont les moins bien appréciés. L'asphalte et les caillebotis rainurés obtiennent une meilleure appréciation avec seulement de rares cas de glissance observés.



Une analyse de l'âge des sols considérés glissants par les éleveurs a été réalisée pour estimer leur durée de vie : si un éleveur déclarait son sol glissant, on peut supposer qu'il est nécessaire d'intervenir

pour l'améliorer ou le changer. Le type de réalisation des bétons a un impact important sur la glissance et donc la durabilité du sol. Le délai entre la confection du béton et le rainurage mécanique semble influencer l'apparition de la glissance : environ 4 ans pour un rainurage mécanique précoce (moins d'un an après confection) et environ 12 ans pour un rainurage plus tardif (Tableau 1). Un béton balayé devient glissant au bout d'environ une année d'utilisation. Cette finition n'a pas l'ambition de rendre le béton non glissant très longtemps mais permet de retarder d'autant la solution corrective comme le rainurage mécanique qui devient alors plus durable. Les bétons avec empreinte à la confection ont un résultat équivalent (11,5 ans) par rapport au béton rainuré mécaniquement au-delà d'un an. Ces sols peuvent être rainurés mécaniquement par la suite et sont donc potentiellement plus durable.

Plus de 75 % des éleveurs ont répondu positivement pour poursuivre le travail, ce qui montre leur motivation et leurs préoccupations sur le sujet des sols.

Tableau 1 : Âge des sols considérés glissants par les éleveurs (source : données issues du projet SOLVL).

Type de sol	Nombre d'élevages	Temps d'utilisation du bâtiment à 100% en années (1)
Béton gratté à la confection	3	1,2
Béton rainuré mécaniquement < 1 an après réalisation	9	3,7
Caillebotis standards	5	6,4
Tapis ajouré sur caillebotis	2	6,4
Béton avec empreinte sur béton frais	7	11,5
Béton rainuré mécaniquement > 1 an après réalisation	13	11,9

(1) Age du sol x temps d'utilisation du bâtiment = nombre d'années à 100% dans le bâtiment

1.3 Conclusion

Compte-tenu du mode de recrutement des élevages, la fréquence observée des différents types de sol n'est pas représentative de la zone d'étude, et encore moins du territoire national. Par contre, cette enquête a permis d'appréhender la diversité des sols en élevage et de constituer une base de données pour la suite de l'étude en distinguant les sols les plus courants (bétons pleins, caillebotis, tapis...) et les sols plus innovants ou rares (asphalte, sols mixtes...).

2. Impact des sols de circulation sur la propreté et la santé des pieds des vaches laitières

Cette partie présente deux études, l'une sur une enquête comparative des sols les plus courants et l'autre sur une évaluation de sols innovants ou rares. Ces deux études sont liées car les résultats de propreté et de santé des vaches laitières obtenus sur les sols les plus courants ont été utilisés pour positionner ceux obtenus avec les sols innovants ou rares et ainsi déterminer leur caractère améliorateur ou non.

2.1 Étude comparative des sols les plus courants

L'objectif de ce volet était d'évaluer l'influence du type de sol des aires d'exercice sur la propreté des pieds et la santé de l'appareil locomoteur des vaches. Il s'agissait notamment de répondre aux questions suivantes : le type de sol a-t-il une influence sur la propreté des pieds et/ou la santé de l'appareil locomoteur des vaches ? Existe-t-il un ou des types de sols améliorants/détériorants

sensiblement la propreté et/ou la santé de l'appareil locomoteur des vaches ? Le travail a été mené avec l'appui de deux étudiantes vétérinaires (Billaud, 2015 ; Naczaj, 2015).

2.1.1 Matériel et méthodes

▪ Echantillon d'étude et types de sols étudiés

Une enquête transversale a été réalisée dans 87 élevages sélectionnés parmi les 579 élevages équipés de sols homogènes sur toute leur surface et les plus représentés. Pour pouvoir être inclus dans l'étude, les élevages devaient répondre à d'autres critères : adhérent au contrôle de performances, race prim'Holstein (dominante sur notre échantillon), sol resté à l'état initial (sans solutions correctives) et réalisé par un professionnel (limitation des risques d'erreurs de conception), acceptation des éleveurs, etc. Les élevages ont été sélectionnés par tirage aléatoire dans sept catégories de sols les plus fréquemment rencontrés :

- Quatre sols pleins : béton rainuré avec empreinte à la confection (n=16), béton rainuré mécaniquement après confection soit précocement dans les 6 mois (n=10) soit au moins 12 mois après (n=14), et tapis posé sur un béton (n=15).
- Trois sols ajourés : caillebotis « standards » (n=17), caillebotis rainurés (n=9) et caillebotis avec tapis ajourés (n=6).

▪ Données collectées (animaux et bâtiment)

La propreté des animaux a été notée sur 4 zones : la cuisse et le jarret selon la grille de Cook (2009) avec 4 notes possibles (de 1 à 4) par zone, puis les faces dorsales et palmaires des pieds postérieurs selon une grille simplifiée en 3 scores possibles (de 1 à 3) (Guatteo *et al.*, 2013). Cette propreté a été évaluée d'un seul côté de chaque vache, la moitié de l'échantillon à droite, l'autre moitié à gauche. La locomotion des vaches a été appréciée de manière statique au cornadis avec la notation des aplombs (de 1 à 3), et la forme des onglons postérieurs et antérieurs (de 1 à 4) selon les grilles de Bareille et Roussel (2014). La locomotion a été évaluée de manière dynamique sur une dizaine de mètres selon une grille en cinq grades, adaptée de celle de Sprecher *et al.* (1997). L'échantillon de vaches évaluées (40 % en moyenne) dépendait de l'effectif du troupeau et a été choisi au hasard selon les règles proposées par Welfare Quality® (2009).

Les données collectées sur le bâtiment intégraient différents thèmes : caractéristiques dimensionnelles (y compris les logettes et l'abreuvement), les sols (nature, état, glissance, pentes...), leur entretien (matériel, vitesse d'avancement, fréquence, efficacité avec la propreté des sols après raclage...) ... La visite d'évaluation du bâtiment durait entre 3 et 4 heures, dont 2,5 à 3 heures de mesures dans le bâtiment, et le reste en entretien avec l'éleveur.

▪ Analyse des données

Une première analyse a été réalisée à partir d'une régression logistique (PROC LOGISTIC de SAS®), entre chaque variable explicative issue des enquêtes en élevage et des différentes notations des animaux. Les modalités *a priori* les plus favorables ont servi de référence. Le seuil de significativité à 0,20 a été retenu pour sélectionner les variables dans l'étude multivariée. Pour chaque notation et afin d'identifier les facteurs de risque, un modèle de régression logistique hiérarchique a été effectué à l'aide de la procédure GLIMMIX de SAS®. Cette procédure a été effectuée jusqu'à n'obtenir que des facteurs dont le seuil de significativité était inférieur à 0,05 (procédure « backward »).

2.1.2 Résultats

Les résultats sont présentés ici de manière très synthétique. Les résultats complets sur les facteurs de risque et leur Odds-Ratio sont publiés par ailleurs (Ménard *et al.*, 2016).

Le type de sol en 2 classes (sols pleins et caillebotis) croisé avec la nature des déjections apparaît comme le principal facteur de risque pour la propreté des pieds (Tableau 2). Les caillebotis sont associés à une meilleure propreté des pieds, en comparaison aux sols pleins en conduite fumier ; les sols pleins en conduite lisier étant intermédiaires. Deux autres facteurs de risque ont été identifiés sur la propreté de la face dorsale des pieds : une part plus importante de primipares dans le troupeau et un mauvais état de propreté des sols après raclage. Le type de déjections est le principal facteur de risque sur la propreté des cuisses et des jarrets indépendamment du type de sol. Deux autres facteurs de risque ont été identifiés sur la propreté des jarrets en lien avec la conduite des logettes (faible fréquence d'entretien et absence d'utilisation d'asséchant dans les logettes).

Les sols classés en caillebotis béton vs sols pleins béton vs tapis pleins ou ajourés ressortent comme le principal facteur de risque de la locomotion et de la forme des onglons antérieurs (Tableau 3). Par rapport aux sols pleins bétonnés, la locomotion des vaches est fortement améliorée avec les tapis et elle est intermédiaire avec les caillebotis. En revanche, par rapport au béton plein, la forme des onglons antérieurs a tendance à se dégrader avec les tapis et à s'améliorer avec les caillebotis. Un niveau élevé de production laitière est un autre facteur de risque pour la locomotion. Enfin, en comparaison à un temps d'attente avant la traite inférieur à 90 minutes, un temps d'attente prolongé ou la traite robotisée sont associés à une dégradation des aplombs.

Tableau 2 : Synthèse des effets des sols les plus courants sur la propreté des animaux. Effet bénéfique (+), Délétère (-), Intermédiaire (+/-), (Billaud, 2015).

Zones du corps	Nature des sols		
	Caillebotis	Sols pleins lisier	Sols pleins fumier
Cuisse	-	-	+
Bas de membre	-	-	+
Face dorsale du pied	+	+/-	-
Face palmaire du pied	+	+/-	-

Tableau 3 : Synthèse des effets des sols les plus courants sur la santé des pieds et la locomotion des vaches. Effet bénéfique (+), Délétère (-), Intermédiaire (+/-), (Naczaj, 2015).

Evaluation des animaux	Nature des sols		
	Béton plein	Caillebotis béton	Tapis (pleins ou sur caillebotis)
Locomotion	-	+/-	+
Forme des onglons	+	+	-

2.1.3 Discussion

La nature des déjections et le type de sol (caillebotis et sols pleins) influencent de manière significative la propreté des différentes faces des pieds. L'efficacité du raclage des déjections est aussi associée à

la propreté de la face dorsale des pieds, contrairement à la face palmaire. L'entretien des sols comme leur nature est donc à considérer de manière prioritaire. Des marges de progrès sont donc possibles sur la fréquence de raclage, avec des racleurs améliorés équipés de pièces d'usure (matières synthétiques, brosse...) en contact avec le sol et sur l'entretien des passages entre couloirs de circulation. La conduite du bâtiment en lisier en comparaison au fumier semble dégrader de manière très significative la propreté des cuisses et des jarrets ce qui est probablement lié à la différence de quantité de litière dans les logettes (dans le cadre de l'étude : 0,4 kg/VL/j en conduite lisier contre 3,5 kg/VL/j en conduite fumier). L'absence de concordance entre les notes de propreté des différentes zones considérées (les deux faces du pied, jarret et cuisse) et leurs facteurs de risque différenciés montrent l'intérêt d'intégrer la grille spécifique de propreté des pieds (Guatteo *et al.*, 2013) dans d'autres études et dans la démarche d'intervention en élevage.

L'effet bénéfique sur la locomotion, observé avec les sols synthétiques confirme les résultats d'autres études. Cependant, les vaches boiteuses peuvent mieux marcher sur un sol souple indépendamment des lésions des pieds et dès lors retarder la détection par l'éleveur. La position intermédiaire des caillebotis entre les sols pleins en béton et les tapis peut s'expliquer par une fréquence de boiteries d'origine infectieuse plus réduite potentiellement en lien avec une meilleure propreté des pieds. Les tapis ressortent comme les sols où l'usure de la corne n'est pas suffisante amenant à un risque d'excroissances d'onglons comme l'ont montré d'autres études. Dans notre étude, une tendance au risque d'excroissance d'onglons n'est observée que pour les antérieurs. Cela peut s'expliquer par le fait que les postérieurs sont préférentiellement parés alors que souvent les antérieurs ne font l'objet de soins que lorsqu'il y a réellement un problème. Les onglons antérieurs sont donc plus représentatifs de l'abrasivité du sol. Cela montre la nécessité, avec les tapis ou avec un temps prolongé en bâtiment, d'envisager un parage fonctionnel régulier y compris sur les antérieurs, ce qui est de plus en plus pratiqué par les pédicures professionnels.

Les résultats de ce volet montrent que parmi les sols des aires d'exercice les plus couramment rencontrés (caillebotis, béton, tapis...), il n'existe pas de solution parfaite en termes de propreté des pieds, de locomotion des animaux et d'usure des onglons. Des recommandations sont donc à préciser sur le choix des sols et leur entretien en lien avec les conditions d'élevage (temps en bâtiment, choix du type de déjections, pratiques correctives ou préventives comme le parage fonctionnel régulier...).

2.2 Les sols innovants

2.2.1 Matériel et méthodes

L'enquête sur la diversité des sols (partie 1) a permis d'identifier des élevages équipés de sols innovants ou rares. Neuf de ces sols ont été évalués avec des suivis longitudinaux, consistant à réaliser au moins 3 visites durant la période hivernale et jusqu'à la mise au pâturage (décembre à avril). Ce travail a été réalisé en 2015 et 2016 avec l'appui de 2 étudiants ingénieur (Gervais, 2015) et vétérinaire (Delbecque, 2016).

La propreté des pieds, la locomotion, la notation des aplombs et la forme des onglons postérieurs et antérieurs ont été évaluées dans ces 9 élevages avec le même protocole que celui utilisé dans l'enquête épidémiologique transversale et décrit en partie 2.1. Afin d'apprécier leur caractère améliorateur ou non, les résultats de ces 9 élevages ont ainsi pu être comparés à ceux obtenus dans les 87 élevages classés en 7 catégories de sols (Tableau 4).

Tableau 4 : Fréquence des anomalies observées selon le type de sol et de déjection (3 665 vaches observées dans 87 élevages) (Billaud, 2015 ; Naczaj, 2015).

Type de sol (déjections)	Béton (fumier)	Béton (lisier)	Tapis pleins (fumier)	Tapis pleins (lisier)	Caillebotis standards	Caillebotis rainurés	Tapis ajourés
Propreté des pieds ^a							
• Face dorsale	25,5	29,5	35,1	27,4	8,8	9,7	7,4
• Face palmaire	30,1	32,7	36,2	35,6	12,0	16,7	17,3
Aplombs ^b	55,3	59,8	58,1	53,7	41,9	56,6	59,5
Boiteries ^c	36,6	39,1	37,4	32,1	27,8	41,6	34,2
Pousse des onglons ^d							
• Antérieurs	14,9	13,2	18,9	28,2	11,8	8,7	13,4
• Postérieurs	6,3	5,5	8,3	12,9	8,2	5,7	8,1

^a % de pieds sales (score 3) ; ^b % d'aplombs modifiés (scores > 1) ; ^c % de VL boiteuses (scores ≥ 3) ; ^d % d'onglons déformés (au moins 1 onglon)

D'autres éléments ont été mesurés sur les animaux :

- Les lésions des pieds en début et fin de suivi avec l'intervention de pédicures professionnels,
- L'enregistrement de données comportementales (nombre de pas, temps de couchage...) avec des podomètres IceQube (Ice Robotics - U.K.) sur une dizaine de vaches par élevage pendant au moins 5 jours.

Ces éléments ne sont pas présentés dans ce document, mais ont été en partie intégrés aux fiches de synthèse de chaque élevage qui sont en cours de finalisation (Gervais *et al.*, (à paraître) ^a à ⁱ).

2.2.2 Résultats

Les 9 sols innovants étudiés sont présentés succinctement dans le Tableau 5, ainsi que les sols de références les plus courants auxquels ils ont été comparés. Globalement, 8 des 9 élevages équipés des sols innovants obtiennent de bons résultats :

- Les élevages équipés des sols en béton désactivé (A), en asphalte (B et C), ou avec certains sols mixtes E et I obtiennent des résultats équivalents ou meilleurs à ceux des sols de référence.
- Les élevages équipés de deux autres sols mixtes (D et G) sont aussi dans cette situation sauf pour la forme des onglons antérieurs qui est moins bonne en comparaison aux sols de référence.

Par contre, l'élevage équipé du sol H (mixte tapis plein et ajouré) obtient des résultats significativement moins bons en comparaison aux sols de référence, en particulier sur la forme des onglons.

Tableau 5 : Positionnement de l'évaluation des animaux dans les élevages équipés de sols innovants, en comparaison aux sols les plus courants – Ecart significatif positif (+), négatif (-) ou absence d'écarts significatifs (=) (source : données issues du projet SOLVL).

Sols innovants évalués : • Identifiants A à I • Description simple	Nombre de vaches laitières (VL) des élevages suivis <i>(référence bibliographique de la fiche de synthèse par élevage)</i>	Sols de référence (Tableau 4). <i>Les sols mixtes ont souvent deux sols de référence.</i>	Propreté des faces des pieds		Qualité des aplombs	Locomotion	Forme des onglons	
			dorsale	palmaire			antérieurs	postérieurs
A - Béton désactivé	100 VL <i>(Gervais, à paraître ^a)</i>	Béton (lisier)	=	=	+	+	=	=
B - Asphalte, raclage lisier	40 VL <i>(Gervais, à paraître ^b)</i>	Béton (lisier)	+	+	=	=	=	=
C - Asphalte, raclage fumier	70 VL <i>(Gervais, à paraître ^c)</i>	Béton (fumier)	+	+	=	+	=	=
D - Mixte : tapis plein standard + tapis abrasifs	130 VL <i>(Gervais, à paraître ^d)</i>	Tapis pleins (lisier)	+	=	=	=	-	=
E - Mixte : Tapis plein standard + asphalte, avec pentes transversales	65 VL <i>(Gervais, à paraître ^e)</i>	Béton (lisier)	+	+	+	+	=	=
		Tapis pleins (lisier)	+	+	=	+	=	=
F - Mixte : Caillebotis ECOSOL (béton + inserts caoutchouc)	125 VL <i>(Gervais, à paraître ^f)</i>	Caillebotis standards	=	+	=	=	=	=
		Tapis pleins (lisier)	=	+	=	=	+	=
G - Mixte : Caillebotis béton + tapis ajouré	70 VL <i>(Gervais, à paraître ^g)</i>	Caillebotis standards	=	+	=	+	-	=
		Tapis ajourés	=	+	=	+	-	=
H - Mixte : Tapis plein + tapis ajouré	115 VL <i>(Gervais, à paraître ^h)</i>	Tapis pleins (fumier)	+	=	-	-	-	-
		Tapis ajourés	+	-	=	=	-	-
I - Mixte : Béton + caillebotis rainurés	65 VL <i>(Gervais, à paraître ⁱ)</i>	Béton (fumier)	+	+	=	=	+	=
		Caillebotis rainurés	+	+	=	=	=	=

2.2.3 Discussion

Ce travail donne des premiers éléments sur des sols innovants, peu ou pas connus. Sauf exception, les résultats sont globalement équivalents, voire meilleurs en comparaison aux sols de référence, en particulier sur la propreté des pieds et la locomotion des animaux. Cela a permis de réaliser des fiches « cas concrets » (références dans le Tableau 5) descriptives du sol innovant, des pratiques de l'élevage suivi et des tendances observées sur les animaux.

Ce travail a permis de proposer une méthodologie d'évaluation de sols innovants qui a été intégrée dans la synthèse sur le diagnostic des sols (Gervais *et al.*, 2017). Cependant, il apparaît difficile d'évaluer un sol innovant dans un seul élevage, surtout avec le caractère multifactoriel des critères mesurés. Il serait préférable de l'appliquer dans plusieurs élevages en particulier les premiers équipés d'un sol innovant. Cela permettrait de vérifier si les améliorations sont rencontrées ou non dans plusieurs élevages et des contextes différents. Cette évaluation peut permettre aussi aux fournisseurs

de ces sols innovants de mieux connaître les conséquences de leurs nouveaux produits (sol ou équipements d'entretien) sur l'élevage et de les améliorer si besoin. Ainsi, depuis la fin du projet, cette méthodologie a été utilisée pour évaluer un sol synthétique innovant Magellan® de la société Bioret-Agri dans les 3 premiers élevages équipés en France (Elvinger, 2017). Ce sol peut être considéré comme innovant avec sa particularité d'être profilé avec des rainures nettoyées très régulièrement avec un racleur à dents spécifiquement adapté.

3. Éléments pratiques d'intérêt et innovants sur les sols, leur entretien et sur le diagnostic en élevage

Les enquêtes et l'évaluation des sols innovants ont permis d'identifier des pistes d'amélioration de la conception et de l'entretien des sols et de proposer des synthèses opérationnelles sur différents thèmes. Cette partie présente quelques exemples d'améliorations et d'innovations mises en avant dans le cadre du programme.

3.1 Améliorer les sols en béton plein

Les recommandations sur la réalisation des bétons coulés sur place sont déjà bien décrites (SNBPE *et al.*, 2007). Cette étude a montré la nécessité d'augmenter leur longévité grâce à une finition plus élaborée des bétons avec la réalisation d'une empreinte juste après le coulage du béton (Figures 5 et 6) afin d'obtenir dès le départ une surface antidérapante la plus durable possible. Le rainurage mécanique est alors considéré comme une opération de réfection des sols à réaliser le plus tard possible, ce qui laisse au sol bétonné le temps de se stabiliser le plus complètement possible.



Figure 5 : Empreintes en arrêtes de poisson sur béton frais avec pentes transversales vers le canal.

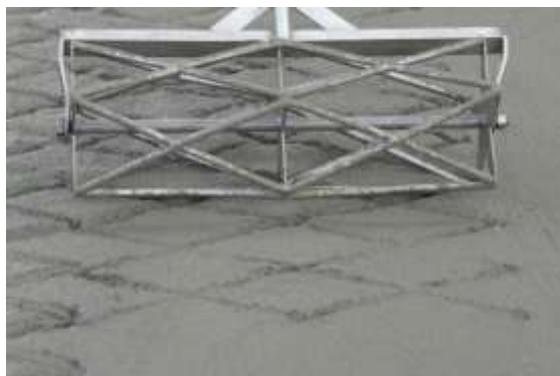


Figure 6 : Empreintes en quadrillé sur béton frais avec un rouleau.

Compte-tenu des difficultés de réalisation, ces finitions avec empreintes sont à envisager avec des professionnels spécifiquement équipés et entraînent un surcoût (en 2017) de l'ordre de 3 € H.T./m², ce qui est moins coûteux qu'un rainurage mécanique.

Par ailleurs, la réalisation de pentes transversales (Figure 7) permet un écoulement rapide vers la partie centrale des couloirs et est un bon moyen d'éliminer l'humidité. Les pentes transversales recommandées sont de 2,5 à 3 % et sont combinées à une pente longitudinale de 1,5 % à 2 % si possible, pour une bonne évacuation des liquides dans le canal central.

Une autre possibilité est de mettre en place des bétons préfabriqués rainurés qui apparaissent sur le marché. Ces solutions beaucoup plus coûteuses (X 2 par rapport à un béton classique) restent à évaluer en lien avec une meilleure efficacité du raclage (racleurs à dents pour nettoyer les rainures).



Figure 7 : Combinaison de pentes transversales (flèches rouges) et longitudinale (flèche jaune) sur la ferme de l'Institut de Genech (Gervais, à paraître ^e). Racleur à corde en W (marque CRD) pour capter le lisier par demi-couloir et limiter le passage de lisier dans le canal central lors du raclage.

3.2 L'asphalte, très adapté pour la réfection de sols usagés

L'asphalte est un matériau bitumeux antidérapant par l'ajout de sable en surface à sa mise en place puis, avec l'usure, par les granulats fins qui le constituent (Coutant *et al.*, 2018). C'est un matériau coulé à chaud (200°C) sans porosité, étanche donc sans infiltration des déjections et facile d'entretien (absence de rainures). Il est très adapté en rénovation de sol usagé en raison de la faible épaisseur nécessaire (2,5 cm en moyenne). En revanche, son coût est élevé en cas de construction à neuf (Tableau 6). En effet, au coût de l'asphalte s'ajoute celui du sol support généralement en béton. D'autre part, ce matériau est uniquement mis en œuvre par des entreprises spécialisées. La durabilité du matériau (plus de 20 années), sans intervention après sa mise en place est très intéressante et permet une durée d'amortissement plus longue.

Tableau 6 : Exemples de coûts associés à un chantier d'asphalte à neuf ou en réfection (source : données issues du projet SOLVL).

	Neuf	Rénovation
Asphalte	35 à 45 € HT /m ²	
Sols support en béton	38 à 45 € /m ²	/
Lavage haute pression du sol support (100 m ² /h)	/	60 à 120 € /jour
Cornières en acier galvanisé pour rails	/	10 à 20 € /ml
Ragréage barbotine (hors main-d'œuvre)	/	1,5 à 3 € /m ²

Contrairement à l'asphalte, les enrobés bitumeux compactés sont à proscrire des aires de vie des animaux pour deux raisons principales : d'une part, une abrasivité très importante due aux granulats anguleux aboutissant à une usure excessive des onglons, et d'autre part, une dégradation précoce (quelques années) sur les zones de piétinement (dégradation du bitume, les graviers se déchaussent et deviennent encore plus agressifs pour les onglons).

3.3 Les sols mixtes

Si le sol parfait n'existe pas, la complémentarité des propriétés des sols permet toutefois de compenser leurs effets et de parvenir à un compromis (Bruel *et al.*, 2017). Le suivi de six élevages équipés de combinaisons de sols toutes différentes a permis d'apporter des premiers éléments de réflexion. Sur le plan technique, la mixité peut être abordée à de nombreux niveaux, tant par rapport aux matériaux, que par rapport aux surfaces mises en jeu. Les leviers d'action sont multiples : choix des matériaux (dureté, abrasivité, souplesse ou confort), choix de la localisation (couloirs, passages entre logettes, aire

d'attente, etc.), choix de l'équilibre des surfaces. Sur le plan économique, ce type de conception doit intégrer les coûts. La réduction des surfaces mises en œuvre peut engendrer un surcoût. La réduction des surfaces des matériaux particuliers peut limiter leur(s) effet(s) souhaité(s).

3.4 L'entretien des sols

Les recommandations sont proposées pour améliorer la qualité de l'entretien des sols (Briand *et al.*, 2017). Le type de matériel doit être choisi en fonction du type de déjections à racler et de la fréquence de raclage voulue. La vitesse des racleurs, souvent trop élevée, ne doit pas être supérieure à 4 m/min (meilleure efficacité de raclage, moindre usure des sols, animaux moins perturbés, minimisation du stress). En conduite lisier, la fréquence de raclage qui participe à la propreté des pieds des vaches devra tendre vers 12 fois par jour, y compris la nuit. L'objectif est ainsi de diminuer la longueur de la vague de lisier pour permettre à l'animal de l'enjamber sans y mettre les pieds. Pour améliorer l'efficacité de l'entretien, la mise en place sur les racleurs d'une pièce de lien en caoutchouc, ou sous forme de brosse, est aussi fortement recommandée pour être au plus près de la surface à racler. Le raclage des sols caillebotis, mécanique ou robotisé, est à généraliser pour qu'ils restent propres.

D'autres zones de circulation du bâtiment sont à enjeux pour la propreté et la santé des animaux : les passages de logettes, les aires d'attentes, les couloirs de retour et de tri. Ces zones sont caractérisées par des densités d'animaux importantes, des temps de présence qui peuvent être importants, en lien avec les équipements courants d'une stabulation (abreuvoirs, brosses, distributeurs automatiques de concentrés, etc.). Dans certaines situations, la mécanisation de l'entretien de ces zones est difficile à mettre en œuvre ; cependant, leur entretien ne doit pas être négligé. Par exemple, le repositionnement des abreuvoirs pour que les vaches s'abreuvent depuis les couloirs de circulations raclés mécaniquement est une piste intéressante pour que ces zones redeviennent des zones de passage et non des zones de stationnement souillées.

3.5 Le diagnostic des sols en élevage

Le projet SOLVL a permis de produire une méthode de diagnostic des sols en deux approches complémentaires (Gervais *et al.*, 2017 ; Gervais *et al.*, 2018) :

- **Un diagnostic de l'appareil locomoteur des vaches**, en ciblant les critères les plus pertinents décrits par Bareille et Roussel (2014)
- **Un diagnostic des sols de circulation des bâtiments pour vaches laitières**, pour évaluer les qualités et les défauts des aires de vie des stabulations. Cette enquête complémentaire porte sur des éléments classiques de la conduite du logement, le dimensionnement des aires de vie, l'installation d'abreuvement, la ventilation du bâtiment... L'originalité de la démarche est d'ajouter des éléments jusqu'à maintenant peu considérés pour établir un diagnostic sur l'état des sols et de leur entretien, comme la glissance des sols, leurs pentes et l'état des sols après raclage.

Conclusion

Cette étude montre la diversité des sols présents sur le terrain. Les résultats montrent qu'il n'existe pas vraiment de sols parfaits. Des solutions sont donc proposées pour les améliorer. Par exemple, les sols bétonnés, les moins onéreux, sont perfectibles afin d'augmenter leur durabilité et de réduire leur glissance avec des empreintes sur béton frais pour retarder le plus possible le rainurage mécanique. La réalisation de bétons avec des pentes transversales vers le centre des couloirs est aussi à envisager pour éliminer plus rapidement l'humidité. Les solutions de réfection des sols usagés sont à envisager

par exemple avec des revêtements synthétiques ou de l'asphalte. Une autre voie est de proposer des sols mixtes en combinant par exemple des zones plus abrasives à d'autres plus souples ou ajourées. D'ailleurs, une nouvelle génération de sols arrive sur le marché avec ce principe de mixité des propriétés. Enfin, l'amélioration des sols concerne aussi leur entretien, notamment avec une adaptation des racleurs (aux pentes transversales, au nettoyage des rainures, à leur robotisation y compris sur les sols pleins...).

D'un point de vue méthodologique, ce travail a permis de formaliser une méthode de diagnostic des sols existants pour en évaluer leur amélioration, leur réfection, voire leur remplacement en y intégrant des éléments de coût. Elle est aussi utilisable pour évaluer des innovations qui sont actuellement nombreuses autant sur la nature des sols que sur leur entretien.

Sur le plan environnemental, le travail s'est focalisé à deux échelles en parallèle : le sol et le bâtiment. Pour les mesures d'émissions gazeuses (gaz à effet de serre et NH₃) à l'échelle du sol, le travail a été plus prospectif avec le développement d'une méthode d'évaluation in situ qui a été testée dans 10 élevages au cours de deux saisons contrastées. Les résultats ne sont pas publiés pour l'instant. Des travaux complémentaires sont nécessaires et se poursuivent actuellement au niveau national et européen pour consolider cette méthode.

Références bibliographiques

Bareille N., Roussel P., 2014. Guide d'intervention pour la maîtrise des boîtes en troupeaux de vaches laitières. UMT Maîtrise de la santé des troupeaux bovins, 2^{ème} édition, 177 p.

Billaud E., 2015. Etude épidémiologique sur l'impact du type de sol des aires de vie en bâtiment sur la propreté des vaches laitières. Thèse pour le diplôme d'Etat de Docteur Vétérinaire, Oniris Nantes, 128 p.

Briand P., Gervais F., Kientz S., Bizeray-Filoché D., Coutant S., Lagel D., Le Clainche D., Menard J.L., 2017. La propreté des sols des bâtiments pour vaches laitières : préconisations d'entretien et perspectives d'amélioration. Collection Synthèse, Institut de l'Elevage, 28 pages. ISBN 978-2-36343-855-3

Bruel A., Gervais F., Kientz S., Bizeray-Filoché D., Briand P., Le Quellec A., Menard J.L., Stéphan O., 2017. Les sols mixtes dans les bâtiments pour vaches laitières : la combinaison des avantages. Collection Synthèse, Institut de l'Elevage, 24 pages. ISBN 978-2-36343-858-4

Cook N.B., 2009. The Influence of Barn Design on Dairy Cow Hygiene, Lameness and Udder Health," Vet. J., 179 (3), 360–369.

Coutant S., Bruel A., Gervais F., Lagel D., Menard J.L., Philippe J.M., 2018. L'asphalte pour les aires d'exercice des bovins. Institut de l'Elevage. Collection Synthèse, Institut de l'Elevage, 38 pages. ISBN 978-2-36343-898-0

Delbecq B., 2016. Impact des sols innovants des aires d'exercice des bâtiments d'élevage sur la propreté et la santé de l'appareil locomoteur des vaches laitières. Thèse pour le diplôme d'Etat de Docteur Vétérinaire, Oniris Nantes, 120 pages.

Elvinger A., 2017. Evaluation du sol innovant Magellan® (Bioret Agri) sur la santé et l'hygiène des pieds, le comportement animal et les émissions gazeuses (GES et NH₃) dans 3 élevages de vaches laitières. Mémoire de fin d'études d'ingénieur UniLaSalle Beauvais, 200 p.

Gervais F., 2015. Les sols innovants dans les bâtiments pour vaches laitières : évaluation de leurs effets sur le bien-être des animaux. Mémoire de fin d'études ingénieur Agrocampus Ouest, 57 p.

Gervais F., Bizeray-Filoché D., Briand P., Duvauchelle A., Frennet J.L., Leruste H., Menard J.L., Lagel D., Le Clainche D., Kientz S., Fagoo B., 2017. Impact des sols de circulation sur la santé des pieds des vaches : comment l'évaluer, le diagnostiquer et l'améliorer ? Collection Synthèse, Institut de l'Elevage, 46 pages. ISBN 978-2-36343-868-3

Gervais F., Menard J.L., Guatteo R., 2018. La qualité des sols de circulation en bâtiment bovins laitiers : quel impact ? Comment l'évaluer et l'améliorer ? Bulletin des GTV, 91, 25-32.

Gervais F., (à paraître)^a. Sol en béton désactivé. Institut de l'Élevage, CA de Bretagne, GDS Bretagne. Collection Focus, 4 pages.

Gervais F., (à paraître)^b. Sol en asphalte et conduite des déjections en lisier. Institut de l'Élevage, CA pays de la Loire, SMAC. Collection Focus, 4 pages.

Gervais F., (à paraître)^c. Sol en asphalte et conduite des déjections en fumier. Institut de l'Élevage, CA pays de la Loire, SMAC. Collection Focus, 4 pages.

Gervais F., (à paraître)^d. Sol plein mixte : tapis standard et tapis abrasif. Institut de l'Élevage, CA de la Manche. Collection Focus, 4 pages.

Gervais F., (à paraître)^e. Sol mixte : asphalte et tapis avec pentes transversales. Institut de l'Élevage, Institut de Genech, Yncrea – ISA Lille, CA Nord – Pas de Calais, CRD, Nord Asphalte, Boulet Bâtiment. Collection Focus, 4 pages.

Gervais F., (à paraître)^f. Sol caillebotis « Ecosol ». Institut de l'Élevage, CA Bretagne, GDS Bretagne, Anders Béton. Collection Focus, 4 pages.

Gervais F., (à paraître)^g. Sol mixte : caillebotis scarifié et caillebotis avec tapis ajourés. Institut de l'Élevage, CA de la manche. Collection Focus, 4 pages.

Gervais F., (à paraître)^h. Sol mixte : tapis standard sur sol plein et tapis ajourés sur caillebotis. Institut de l'Élevage, CA de Bretagne, GDS Bretagne. Collection Focus, 4 pages.

Gervais F., (à paraître)ⁱ. Sol mixte : caillebotis rainuré et sol plein en béton rainuré. Institut de l'Élevage, UniLasalle beauvais, Anders Béton, GEA. Collection Focus, 4 pages (à paraître).

Guatteo R., Arnoult A., Menard J.L., Bareille N., 2013. Elaboration d'une grille de notation spécifique de la propreté des pieds des bovins laitiers et investigation des facteurs de risque en période hivernale. Renc. Rech. Ruminants, 20, 379 – 382.

Menard J.L., Billaud E., Naczaj C., Aupiais A., Leruste H., Bizeray-Filoché D., Audiard J.Y., Briand P., Bruel A., Coutant S., Dudant B., Fagoo B., Flament B., Frennet J.L., Kientz S., Lagel D., Le Clainche D., Guatteo R., 2016. Effet des sols des aires d'exercice sur la propreté et la locomotion des vaches laitières. Rencontres Recherches Ruminants 23, 289-292.

Naczaj C., 2015. Impact des types de sol des aires d'exercice en bâtiment sur la santé de l'appareil locomoteur des bovins laitiers. Thèse pour le diplôme d'Etat de Docteur Vétérinaire, Oniris, Nantes, 148 p.

Semren E., 2014. Caractérisation des sols des aires de circulation des bâtiments destinés aux vaches laitières et estimation des facteurs impactant leur durée de vie. Mémoire de fin d'études d'ingénieur VetAgroSup Clermont-Ferrand, 158 p.

Sprecher D.J., Hostetler D.E., Kaneene J., 1997. A lameness scoring system that uses posture and gait to predict dairy cattle reproductive performance. Theriogenology 47, 1179–1187.

SNBPE, CIM-Béton, SNPB, Institut de l'Élevage, 2007. Ouvrages en béton pour l'exploitation agricole et les aménagements ruraux : Conception, prescription, réalisations – Guide Technique: B 66, 144 p.

Welfare Quality®, 2009. Welfare Quality® assessment protocol for cattle. Welfare Quality® Consortium, Lelystad, Netherlands, 142 p.

Cet article est publié sous la licence Creative Commons (CC BY-NC-ND 3.0)



<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/fr/>

Pour la citation et la reproduction de cet article, mentionner obligatoirement le titre de l'article, le nom de tous les auteurs, la mention de sa publication dans la revue « Innovations Agronomiques », la date de sa publication, et son URL)