

## Compactage de l'ensilage d'herbe en silo-couloir

Une répartition régulière des couches d'ensilage à l'aide de distributeurs diminue le risque de post-fermentation.

Juin 2014



Photos: Agroscope

### Auteurs

Roy Latsch et  
Joachim Sauter

Un compactage élevé et régulier des ensilages est la pierre angulaire d'un fourrage de première qualité.

Un fourrage sec de haute qualité permet d'alimenter les ruminants à un coût avantageux en utilisant le moins possible de concentrés. Cependant, la qualité des ensilages en silos-couloirs est souvent l'objet de discussions, car on observe de lourdes pertes dans la pratique suite à des mauvaises fermentations et à la formation de moisissures. On sait que le degré et la régularité du compactage du fourrage jouent un rôle majeur. La présente étude montre que l'importante hétérogénéité de la com-

pacité au moment de l'entreposage pose un problème essentiel.

Un remplissage régulier en couches pas trop épaisses et l'emploi d'un distributeur d'ensilage peuvent atténuer ce problème. Trois passages minimum de véhicules d'environ 6–10 tonnes pour tasser le fourrage permettent d'atteindre une densité suffisante. Le processus global de compactage soulève encore de nombreuses questions car les facteurs d'influence sont multiples.



## Introduction

Le degré de compactage du fourrage vert dans le silo-couloir dépend non seulement des propriétés du matériel entreposé, mais aussi des conditions techniques qui régissent le remplissage du silo et le compactage. Les propriétés de l'herbe comme la teneur en cellulose et par conséquent sa résistance à la flexion, la teneur en matière sèche (teneur en MS) et la longueur de coupe influencent l'aptitude de l'ensilage au compactage. Du point de vue technique, on peut retenir l'épaisseur de couches, le mode de répartition, le poids des engins de tassement et la durée de ce dernier comme étant les principaux facteurs d'influence.

Lors de l'ouverture du silo, de l'oxygène pénètre dans le fourrage qui était jusqu'ici hermétiquement fermé et s'infiltré dans l'ensilage. Les microorganismes qui ont besoin d'oxygène comme les bacilles butyriques et les moisissures bénéficient alors de bonnes conditions pour se développer et commencent à décomposer l'ensilage. Ce processus entraîne la pourriture de l'ensilage et est reconnaissable au post-échauffement du fourrage. Plus la densité de compactage est mauvaise, et plus l'oxygène peut pénétrer aisément dans l'ensilage et plus le fourrage s'altère rapidement. Pour conserver la stabilité de l'ensilage à l'air libre le plus longtemps possible, Honig (1991) a fixé des compactages minimaux pour un échange de gaz de  $< 20 l / (m^2 \times h)$ , qui sont considérés comme des valeurs cibles (tabl. 1).

La littérature donne des chiffres-repères (Miller 2006; Nußbaum 2007) pour atteindre le compactage nécessaire. Pour l'ensilage d'herbe, on recommande par exemple que le poids de compactage des tracteurs soit équivalent à un tiers de la capacité de chargement horaire. La durée de compactage devrait quant à elle être de 3–3,5 minutes par tonne de fourrage ensilée (Edner 1985). Les couches de fourrage entreposées dans le silo-couloir ne devraient pas dépasser une épaisseur de 30 cm, afin d'avoir un effet suffisant en profondeur lors du tassement. Enfin, l'utilisation de distributeurs d'ensilage est également recommandée. La pression de gonflage des roues du tracteur devrait être

élevée et les roues doivent être les plus étroites possible. La valeur requise doit dépasser les 2,5 bar. En dépit de toutes ces recommandations, de nombreux ensilages d'herbe ne sont pas suffisamment compactés. Thaysen et al. (2006) citent par exemple une étude allemande sur 77 ensilages d'herbe, dans laquelle seul un tiers des ensilages atteignait les valeurs indicatives de compactage. Un état des lieux de la situation en Suisse réalisé par les auteurs de la présente étude a montré qu'un tiers des ensilages suisses étaient sujet's à caution ou présentaient une mauvaise qualité de fermentation (Latsch et Sauter 2012). Agroscope à Tänikon a effectué des études sur quatre silos-couloirs en 2009–2010, pour déterminer l'influence de la durée et du poids de tassement ainsi que de la largeur des pneus sur le compactage.

## Conception de l'essai pour le calcul du compactage

Les essais ont eu lieu en 2009 et 2010 de manière décalée dans le temps sur deux silos-couloirs de l'exploitation expérimentale d'Agroscope à Tänikon. La dalle du silo mesurait 6 m de large et 25,6 m de long. Les parois du silo mesuraient 1,8 m de haut sur une longueur de 19,6 m. Les 6 m restants correspondaient aux parois obliques aux deux extrémités de la dalle du silo.

Le travail de compactage a été effectué à l'aide d'un tracteur lesté d'environ 10 tonnes (John Deere 6920) (tabl. 2). Pour les besoins de l'essai, le tracteur a été équipé sur le côté droit de pneus 20 % plus étroits que les pneus standard. Cette technique a permis d'obtenir une pression à la surface de contact de 20 % supérieure pour les pneus arrière et de 30 % supérieure pour les pneus avant (tabl. 3). Cette configuration a donné trois zones de compactage différentes. La zone de compactage A était uniquement tassée par les roues gauches, la zone de compactage C uniquement par les roues droites du tracteur. La zone de compactage intermédiaire B était tassée par les deux couples de roues (fig. 1). Le fourrage était déchargé à l'aide d'une autochargeuse équipée de rouleaux-doseurs (Agrar Bison 452). Le poids moyen d'une charretée était de 3300–3900 kg.

La répartition du fourrage était finalisée à la main. La position du tracteur a été déterminée au centimètre près par localisation par satellite. La localisation était basée sur le signal RTK-GNSS du système de conduite en parallèle installé sur le tracteur (Trimble, Sunnyvale, California, USA). Les données de position étaient enregistrées une fois par seconde. À l'aide d'un système d'information géographique (Quantum GIS Lisboa 1.8.0), les données de position et par conséquent, la durée de tassement dans le silo ont été attribuées aux zones de compactage correspondantes.

Pour évaluer la surface tassée du tas d'ensilage et par conséquent son volume, on a utilisé un pont de mesure équipé de six capteurs à ultrasons (Pepperl & Fuchs UC-6000-30GMIUR2-V15), qui permettaient de déterminer la hauteur du fourrage dans le silo. Ce pont de mesure était placé sur des rails et pouvait donc être déplacé sur le long des 19,6 m de murets que compte le silo (fig. 1). Sur le trajet, la mesure se déclenchait automatiquement tous les

Tabl. 1: Valeurs indicatives de compacité de l'ensilage d'herbe (selon Richter et al. 2009, complété)

Teneur MS [%]	Ensilage d'herbe [kg MS/m <sup>3</sup> ]	Ensilage d'herbe [kg MO/m <sup>3</sup> ]
20	155–165	800
25	170–180	700
30	190–200	650
35	205–215	600
40	220–230	560
45	240–250	545
50	255–270	525
55	275–290	515

MS = matière sèche, MO = matière d'origine

Tabl. 2: Poids total du tracteur de compactage

		Poids de compactage [kg]
2009	1 <sup>er</sup> silo	10230
	2 <sup>ème</sup> silo	10230
2010	1 <sup>er</sup> silo	10020
	2 <sup>ème</sup> silo	10070

Tabl. 3: Dimensions des pneus, largeur des zones de compactage et pression à la surface de contact du tracteur utilisé pour le tassement

Dimension des pneus	650/65R38	540/65R28	20.8R38	16.9R28
Position	Arrière à gauche	Avant à gauche	Arrière à droite	Avant à droite
Zone de compactage (largeur)	A (1.89 m)		C (1.77 m)	
	B (2.11 m)			
Largeur des pneus	[mm] 642	520	553	429
Diamètre des pneus	[mm] 1838	1420	1828	1420
Charge à la roue <sup>1</sup>	[kg] 2980	2130	2910	2170
Pression de gonflage	[bar] 2.5	2.5	2.5	2.5
Surface de contact <sup>1</sup>	[cm <sup>2</sup> ] 4667.6	4346.6	3720.0	2977.2
Pression à la surface de contact <sup>1</sup>	[kg/cm <sup>2</sup> ] 0.638	0.490	0.782	0.729
	[%] 100	100	79.7	68.5

<sup>1</sup> Valeurs enregistrées lors d'essais préalables et évaluées selon TASC 2.0 (Diserens 2010)

Tabl. 4: Masses de fourrage entreposées, volume total et valeurs de densité des silos

		Matière	Teneur	Matière sèche	Volume total	Densité	Densité	Médiane des
		d'origine (MO)	moyenne en MS	(MS)		d'ensilage <sup>1</sup>	d'ensilage <sup>1</sup>	
		totale		totale		MO	MS	carottage
		[kg MO]	[%]	[kg de MS]	[m <sup>3</sup> ]	[kg de MO/m <sup>3</sup> ]	[kg de MS/m <sup>3</sup> ]	[kg de MS/m <sup>3</sup> ]
2009	1 <sup>er</sup> silo	143700	26.6	38192	208.3	690.0	183.4	185.3
	2 <sup>ème</sup> silo	85356	47.1	39651	154.3	553.0	256.9	250.6
2010	1 <sup>er</sup> silo	126410	34.7	44055	210.9	599.3	208.9	183.4
	2 <sup>ème</sup> silo	133090	33.0	43509	176.0	756.2	225.3	258.3

<sup>1</sup> Compacités calculées par rapport à la matière d'origine entreposée par volume total mesuré

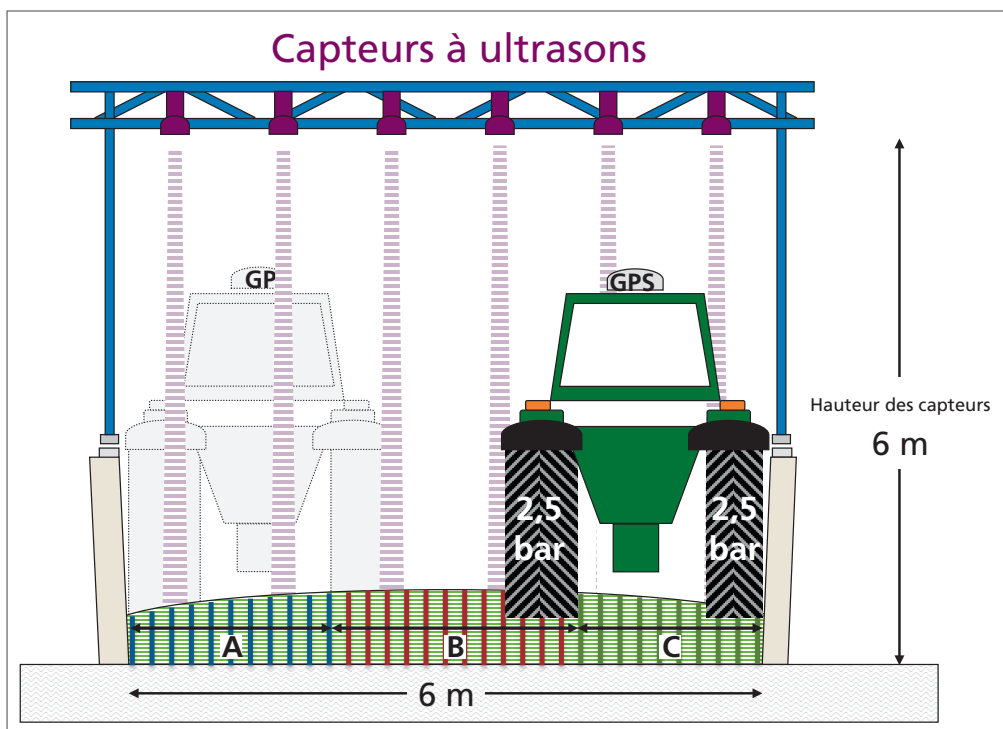


Fig. 1: Schéma de l'essai avec capteurs à ultrasons, pneus de différentes largeurs et zones de compactage A, B et C en fonction des pneus. Dans la zone B, les temps de compactage des zones A et C s'additionnent, il est donc deux fois plus élevé.

40 cm. Ces mesures ont permis d'établir une grille, qui a été utilisée en corrélation avec les hauteurs calculées pour déterminer le volume de l'ensilage. Les mesures ont été effectuées après chaque tassement d'une nouvelle charretée.

La quantité de récolte entreposée a été pesée à l'aide d'un pont-basculé disponible sur l'exploitation, la teneur en matière sèche (teneur en MS) a été déterminée pour chaque charretée à partir d'un échantillon séché à 105 °C.

Nous avons déterminé la compacité après l'ouverture des silos en extrayant des carottes par sondage. Les échantillons ont été prélevés sur toute la surface des silos à l'aide de cylindres de forage (diamètre 56 mm) à distance régulière de 20 cm de la dalle. Le contenu du volume défini a également été séché à 105 °C, afin de déterminer la densité de matière sèche. Les données ont été évaluées statistiquement à l'aide du logiciel Tibco Spotfire S+ 8.1.

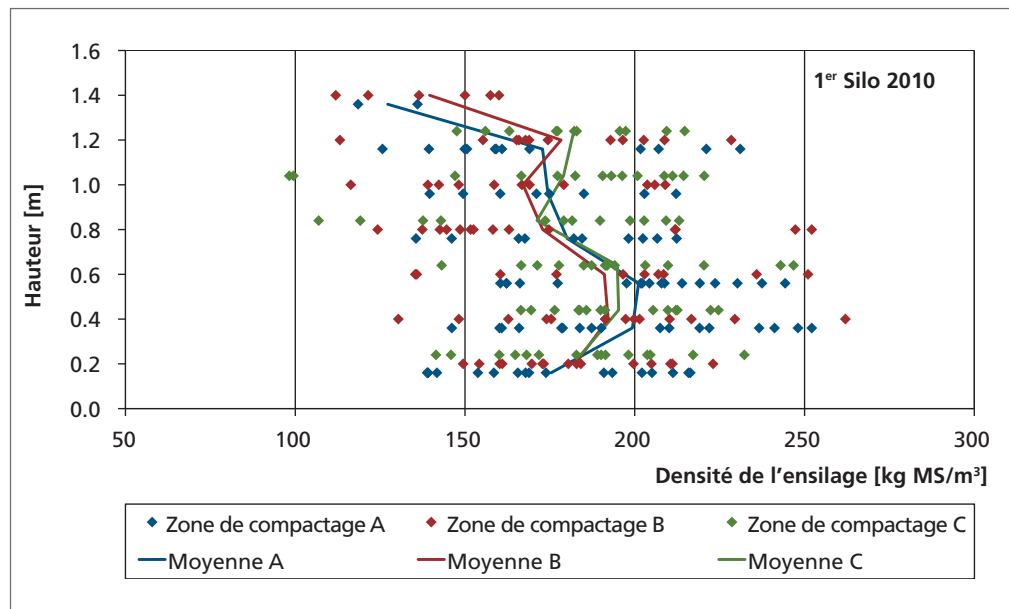


Fig. 2: Répartition des valeurs de densité dans le 1<sup>er</sup> silo en 2010 en fonction de la hauteur des prélèvements.

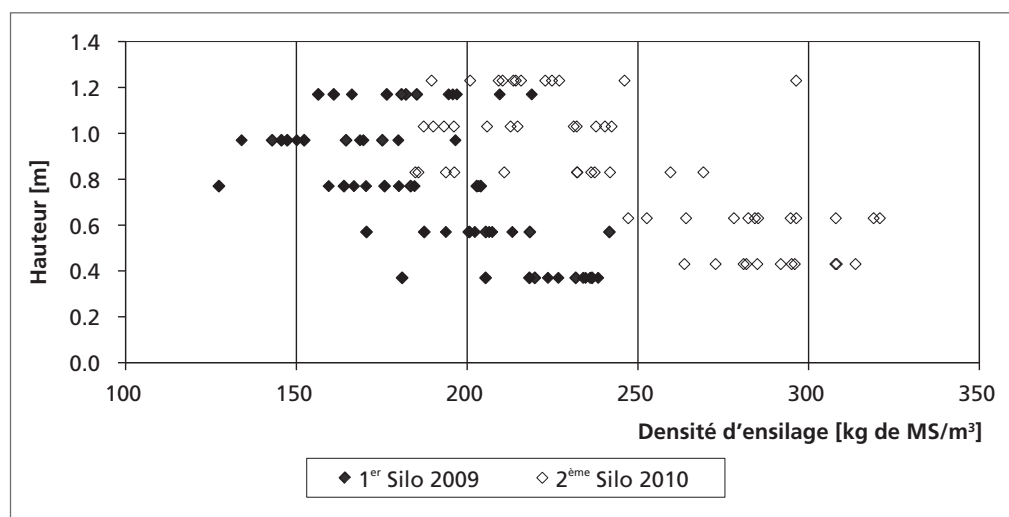


Fig. 3: Compacité dans deux blocs de silos (Latsch et Sauter 2013). En dépit d'une densité moyenne suffisante, beaucoup de zones sont mal compactées.

## La pression à la surface de contact a peu de répercussions

Le tableau 4 récapitule les masses du fourrage et les valeurs de densité calculées. Si l'on compare les compacités calculées en MS avec les indications du tableau 1, le compactage des silos peut globalement être considéré comme bon à très bon. En 2009, la moyenne de la compacité des échantillons par carottage fournit des résultats quasiment semblables à la densité de l'ensilage établie par calculs. En 2010, ces deux valeurs fluctuent de 12,5 % vers le bas et de 16,5 % vers le haut, ce que l'on explique par la grande amplitude de variation des valeurs. La figure 2 indique par exemple les valeurs de densité de l'ensilage du 1<sup>er</sup> silo en 2010 en fonction de la hauteur du prélèvement. Les valeurs des zones de compactage A–C ont été prélevées à la même hauteur et ont été placées l'une à côté de l'autre dans le graphique, uniquement pour des questions de lisibilité. Il apparaît directement que l'amplitude de variation des valeurs par hauteur est très élevée. Dans l'ensemble du silo, l'hétérogénéité de la compacité est immense. La den-

sité a tendance à être maximale au pied du tas d'ensilage et à diminuer plus la hauteur augmente. Les valeurs réduites à une hauteur de 0,2 m s'expliquent par le mode de reprise du fourrage. En effet, celle-ci se faisait à l'aide d'une pince à ensilage qui de par sa conception arrache toujours un peu d'ensilage au fond du tas, ce qui désolidarise l'ensilage à ce niveau.

Il n'a pas été possible de constater de différences significatives entre les compacités des zones de compactage A–C. Les différentes largeurs de pneus n'ont pas eu d'effets identifiables sur les compacités dans les conditions de l'essai. Thaysen *et al.* (2006) décrivent des différences de densité très nettes entre le cœur du silo très compact et les zones périphériques moins denses. Notre essai nous a certes permis de trouver un gradient de densité de la dalle à la surface de l'ensilage, mais l'étude statistique a montré qu'il n'y avait pas de structure spatiale entre les compacités des échantillons de carottage prélevés à des hauteurs différentes.

Les importantes fluctuations de la compacité ont déjà pu être observées dans un essai séparé (Latsch et Sauter 2013).

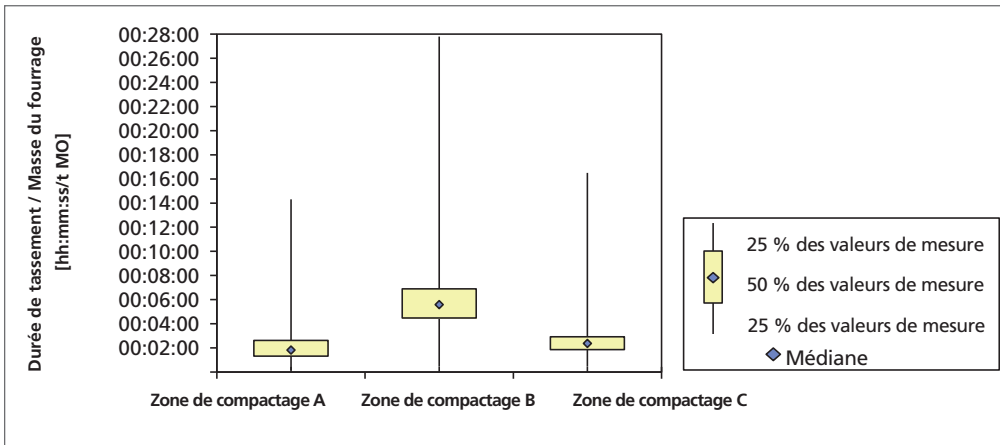


Fig. 4: Durée de tassement par tonne de matière d'origine (MO) pour les zones de compactage de tous les silos étudiés.

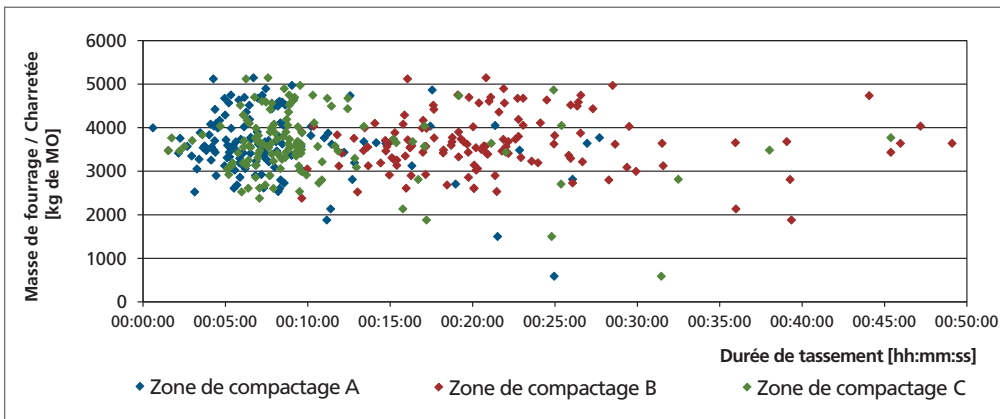


Fig. 5: Durée de tassement en fonction de la masse de fourrage entreposée par zone de compactage (MO = matière d'origine).

La densité représentée à la figure 3 montre bien la baisse de la compacité depuis la dalle en direction de la surface de l'ensilage. Les valeurs de compactage aux différentes hauteurs affichent également une importante amplitude de variation.

### Un tassement trop long n'apporte pas de plus-value

L'étude statistique de la compacité et de la durée de tassement n'a pas permis de conclure à l'existence d'une relation significative. La durée de tassement effective par tonne de matière d'origine à chaque charretée atteint une

valeur de 1 min. et 49s en moyenne de la zone de compactage A, une valeur de 2min. et 22s dans la zone de compactage C. Avec 5min. et 35s, la durée de tassement est plus de deux fois plus élevée dans la zone de compactage B (fig. 4). Par rapport aux données de la littérature, qui requièrent une durée de tassement de 2–3,5 minutes (Edner 1985; Bundesarbeitskreis Futterkonservierung 2006; Miller 2006; Grünig 2007; Nußbaum 2007), les valeurs mesurées ici pour un compactage suffisant se situent donc dans la plage inférieure des recommandations.

Pour les quatre silos, la durée de tassement dans la zone de compactage C (pneus plus étroits) est un peu plus longue que dans la zone de compactage A (fig. 5). L'influence du conducteur du tracteur est manifeste à ce niveau. De par la



La surface de contact des roues au sol dans le silo a été relevée grâce à un marquage à la chaux et à une détermination photogrammétrique de la surface a posteriori.



Tracteur de compactage avec pneus de différentes largeurs.



Les distributeurs d'ensilage permettent une répartition régulière du fourrage, ce qui est une condition essentielle pour obtenir un fourrage de qualité.



En dépit du dispositif de dosage, il est encore nécessaire de répartir le fourrage.



Ce silo-couloir de 6 m de large et de 26,5 m de long a servi aux essais. En haut sur la photo, on distingue le pont de mesure à ultrasons qui a servi à déterminer le volume du silo.

conception du système, la zone de compactage B est celle qui affiche la durée de tassement la plus longue. La durée de compactage beaucoup plus élevée dans la zone B ne se traduit pas par de meilleures valeurs de compactage (fig. 2).

Apparemment, les effets positifs que peuvent avoir les pneus étroits, sont atténués dans le cas présent. Dans les conditions données, le tas de fourrage ne peut pas être compacté davantage. Le Groupe de travail fédéral Conservation du fourrage (Bundesarbeitskreis Futterkonservierung 2006) recommande trois passages au minimum. Ce nombre minimum a été dépassé et le niveau maximum de compactage possible a donc été atteint.

## Conseils pour un compactage efficient des ensilages

La présente étude montre qu'en dépit d'un bon compactage en moyenne, il pouvait y avoir de grosses fluctuations dans la compacité d'un silo-couloir. Cette situation peut conduire à des post-fermentations par endroit, lorsque le fourrage est peu décompacté lors de la reprise. Le respect



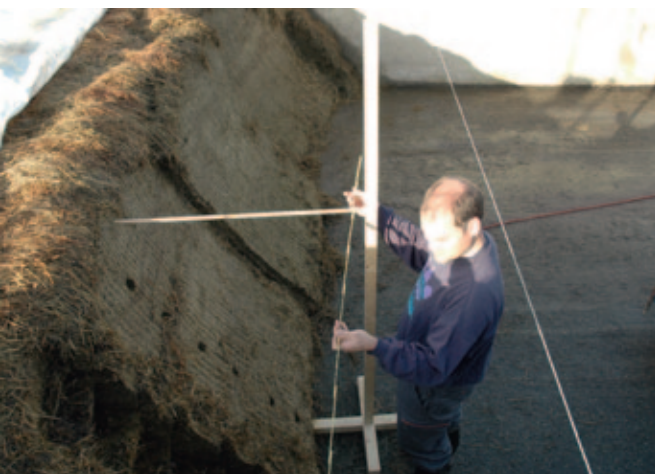
La détermination des compacités grâce à des carottes prélevées par sondage a montré que les densités étaient très hétérogènes dans les silos.

des points suivants permet d'obtenir des compacités régulières:

- **Teneur en cellulose:** les herbages jeunes qui ont des teneurs en cellulose relativement faibles sont plus faciles à compacter que le fourrage plus mûr et riche en cellulose. Plus un brin contient de cellulose, moins il est souple et plus il forme avec les autres tiges une structure difficile à compacter. Parallèlement, il faut de faibles teneurs en



L'utilisation de dameuses permet de répartir l'ensilage rapidement. En dépit de la faible pression à la surface de contact, les expériences réalisées en pratique sont très bonnes, à condition de ne tasser que des couches planes.



La densité de l'ensilage a tendance à augmenter du haut vers le bas.

celluloses pour obtenir un fourrage à haute teneur énergétique avec plus de 6,0 MJ NEL/kg de MS. La teneur optimale en cellulose pour l'ensilage est de l'ordre de 22–23 % de matière sèche et est atteinte au début de l'épiaison/l'apparition de la panicule des graminées essentielles (Bundesarbeitskreis Futterkonservierung 2006).

• **Teneur en MS et longueur de coupe:** le fourrage trop long et trop sec est difficile à compacter. Les longues

tiges forment entre elles un réseau tridimensionnel, qui absorbe des forces élevées et réagit de manière élastique, sans se compacter davantage. Même s'il est impossible de respecter la date de récolte idéale avec des teneurs en cellulose de 22–23 % de MS, il est recommandé de couper le fourrage en brins plus courts, pour permettre d'obtenir la compacité nécessaire. Surtout pour les récoltes d'herbes hautes, le nombre de coupeaux de la remorque ensileuse est trop limité. Dans une telle situation, l'utilisation d'une hacheuse peut améliorer considérablement la compacité. La teneur optimale en MS pour l'ensilage est de 30–40 %, la longueur de coupe devrait être de l'ordre de 6 cm. Si la teneur en MS est plus élevée, le fourrage devrait être coupé à 4 cm.

- **Répartition du fourrage:** une bonne répartition du fourrage dans le silo lors de l'entreposage permet d'éviter une compacité hétérogène. Les couches ne devraient par conséquent pas dépasser 30 cm d'épaisseur et être régulièrement réparties (Bundesarbeitskreis Futterkonservierung 2006). On évite ainsi d'avoir des zones de fourrage à haute compacité et des zones voisines moins remuées à basse compacité. Les distributeurs d'ensilage aident à obtenir une répartition régulière ainsi que le profil souhaité à la surface, le long des parois du silo.
- **Durée de tassement:** une durée de tassement d'environ 2 minutes par tonne semble être une approche raisonnable et praticable. Chaque couche devrait être tassée

complètement en trois passages minimum. La prolongation de la durée de tassement n'apporte un plus que jusqu'à un certain point. Si l'on multiplie les passages, le fourrage fait ressort et ne se compacte pas davantage. Comme le montrent les expériences positives réalisées avec les dameuses, une répartition rapide en couches fines est plus efficace qu'un tassement prolongé de couches épaisses.

- **Poids de compactage:** en principe, la règle est la suivante: plus le poids est élevé, plus le compactage est efficace et plus la surface de contact au sol est réduite, plus l'effet en profondeur est important. Les poids de compactage fréquemment utilisés dans la pratique en Suisse de 4–6 t (Latsch et Sauter 2012) doivent donc être considérés de manière plutôt critique. La tendance marquée à employer des poids de compactage plus élevés de 6–10 t doit être saluée comme une évolution positive.

## Bibliographie

- Bundesarbeitskreis Futterkonservierung (Hrsg.), 2006. Praxishandbuch Futterkonservierung – Silagebereitung, Siliermittel, Dosiergeräte, Silofolien. 7. völlig überarb. u. akt. Aufl., DLG-Verlag, Frankfurt. 354 p.
- Diserens E., 2010. TASC Tyres/Tracks And Soil Compaction. A practical tool to prevent soil compaction damage. TASC V2.0.xls (E/D/F), Excel 2003. Agroscope, Ettenhausen.
- Edner H.H., 1985. Die Verdichtung von Siliergut und die Lagerungsdichte von Grünfuttersilage. Dissertation. Agrarwissenschaftliche Fakultät des wissenschaftlichen Rates, Humboldt-Universität zu Berlin, Berlin. 125 p.
- Grünig K., 2007. Verdichten als schwächstes Kettenglied. Die Grüne, N° 19, p. 19–20.
- Honig H., 1991. Reducing losses during storage and unloading of silage. Landbauforschung Völkenrode Sonderheft 123, p. 116–128.
- Latsch R. & Sauter J., 2012. Ensilages d'herbe dans les silos-couloirs en Suisse - Etat des lieux. Rapport ART 751, Agroscope, Ettenhausen. 8 p.
- Latsch R. & Sauter J., 2013. Comparison of methods for determining the density of grass silage. Agricultural and Food Science, 22 (1), 189–193.
- Miller A.M., 2006. Gute, stabile Maissilagen: Verteil- und Walzarbeiten entscheiden über den Erfolg. Milchpraxis, 44 (3), 118–119.
- Nußbaum H., 2007. Technische Verfahrenslösungen für die Futterernte. Clever einsilieren ins Fahrsilo. In: Deutscher Grünlandtag 2007. Futterernte auf dem Grünland – Technik für Qualität und Leistung. Beiträge der DLG-Grünlandtagung 2007 und aus der internen Sitzung des DLG-Ausschusses «Grünland und Futterbau» in Arnstadt vom 21. Juni 2007, DLG-Verlag, Frankfurt. p. 45–49.
- Richter W., Zimmermann N., Abriel M., Schuster M., Kölln-Höllrigl K., Ostertag J., Meyer K., Bauer J. & Spiekers H., 2009. Hygiene bayerischer Silagen: Controlling am Silo. Schriftenreihe der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft 09/2009, Freising. 131 p.
- Thaysen J., Ruser B. & Kleinmanns J., 2006. Dichte Controlling – Bedeutung und Instrumente. In: GKL-Früh-

jahrstagung 2006 – Siliererfolg auch bei grossen Erntemassen, 28./29.03.2006. Gesellschaft für Kunststoffe im Landbau e.V. (Hrsg.). Universität Bonn, Bonn. p. 14–17.

## Impressum

Editeur	Agroscope, Tänikon 1, Ettenhausen. <a href="http://www.agroscope.ch">www.agroscope.ch</a>
Renseignements	Roy Latsch, e-mail: <a href="mailto:roy.latsch@agroscope.admin.ch">roy.latsch@agroscope.admin.ch</a> , tél. +41 58 480 33 63
Rédaction	Erika Meili, Agroscope
Mise en page	Sonderegger Druck AG, Weinfelden
Impression	Sonderegger Druck AG, Weinfelden
Download	<a href="http://www.agroscope.ch/transfer/fr">www.agroscope.ch/transfer/fr</a>
Copyright	© Agroscope 2014
ISSN	2296-7222 (print), 2296-7230 (online)

