

Conserver le foin humide, une solution possible pour le fourrage grossier

Foin humide comparé à d'autres procédés de conservation

Helmut Ammann, Station de recherche Agroscope Reckenholz-Tänikon ART, Tänikon, CH-8356 Ettenhausen
Ueli Wyss, Station de recherche Agroscope Liebefeld-Posieux ALP, Posieux, CH- 1725 Posieux

Lors de la récolte, le foin séché au sol n'affiche pas toujours des teneurs en matière sèche supérieures à 82 %, teneurs qui seraient nécessaires pour que le stockage se déroule sans problème. Si le fourrage récolté est pressé en grosses balles, le reste d'humidité ne peut disparaître que lentement à cause de la forte densité du fourrage. L'échauffement et l'altération du fourrage en sont les conséquences. La station de recherche Agroscope Liebefeld-Posieux ALP a réalisé des essais en laboratoires et en plein champ afin d'étudier comment maîtriser ces problèmes à l'aide de conservateurs à base d'acide propionique. L'addition de conservateurs appropriés permet de mieux conserver le foin humide. Le dosage correct des produits et leur application homogène sont toutefois déterminants pour le résultat.

La station de recherche Agroscope Reckenholz-Tänikon ART, de son côté, a comparé le foin humide au foin séché au sol, aux balles rondes ventilées et au foin ventilé en vrac. Elle a observé des différences en ce qui concerne le travail proprement dit, les bâtiments nécessaires, la consommation d'énergie pour le séchage du fourrage, ainsi que la valeur nutritive des différents fourrages grossiers conservés. Il faut également tenir compte des pertes de récolte variables. En ce qui concerne l'organisation du travail, ce sont les balles rondes ventilées qui demandent le plus de temps, tandis que les trois autres procédés se situent plus ou moins au même niveau. C'est avec le foin humide et le foin séché au sol que les investissements attribuables sont les plus réduits. Ils sont 50 % plus élevés dans le cas des balles

ventilées et près de 160 % plus élevés dans le cas du fourrage en vrac. Si l'on se base sur une quantité de fourrage destinée à 40 unités gros bétail, les coûts attribuables sont de l'ordre de Fr. 26 000.– pour le foin humide, d'environ Fr. 24 000.– pour le fourrage ventilé en vrac et de près de Fr. 23 000.– pour le foin séché au sol. Ils sont compris entre Fr. 33 000.– et 38 000.– pour les balles rondes ventilées, suivant le système de séchage employé. Du point de vue de la technique et de l'organisation, il est possible de produire du foin humide. Toutefois, la production se fait surtout sur les restes de parcelles et en cas de problèmes de stockage. En outre, on privilégie la production dans des régions où les précipitations sont réduites, car il est indispensable d'avoir un minimum de séchage naturel (fig. 1).



Fig. 1: Le foin séché au sol est rarement suffisamment sec lors du pressage.

(Photos: Agroscope ART)

Sommaire	Page
Problématique	2
Emploi de conservateurs	2
Comparaison relative à l'économie d'entreprise	2
Conclusions	7
Annexe	9
Bibliographie	11



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Département fédéral de
l'économie DFE

Station de recherche
Agroscope Reckenholz-Tänikon ART

Problématique

Le foin séché au sol avec une teneur en matière sèche inférieure à 82 % conduit à l'échauffement du fourrage et à la formation de moisissures. En outre, les micro-organismes restent actifs. Les produits de leur métabolisme, dont les toxines, peuvent perturber le rendement et la santé des animaux. Enfin, le fourrage mal conservé a une valeur nutritive plus faible.

L'emploi approprié de conservateurs peut empêcher l'altération du fourrage, dans la mesure où la teneur en matière sèche n'est pas inférieure à 75 %. Pour une conservation correcte, il faut toutefois tenir compte des points suivants: quantité et concentration des conservateurs, précision de répartition, corrosion des machines et volatilité des produits. Les balles séchées au sol, les balles ventilées ou encore le fourrage ventilé, en vrac peuvent offrir des solutions alternatives à la production de foin humide. Les avantages de telle ou telle méthode de conservation dépendent de la valeur nutritive attendue et du temps de travail nécessaire pour la récolte, le stockage, la reprise et la distribution. Les coûts attribuables liés au travail et au stockage du fourrage varient suivant le procédé de conservation choisi.

Emploi de conservateurs

Les expériences pratiques relatives à l'emploi de conservateurs reposent sur les essais en laboratoires et en plein champ réalisés par la station de recherche fédérale Agroscope Liebefeld-Posieux ALP. Les résultats de ces essais sont décrits en détails dans l'annexe.

Les conservateurs employés à base d'acide propionique sont déjà utilisés depuis quelques années. L'acide propionique est un produit efficace pour empêcher le développement des levures, des moisissures et des bactéries. Il a toutefois l'inconvénient de se volatiliser rapidement. En outre, il a un effet fortement corrosif sur les métaux. Les matériaux des machines employées sont donc très sollicités. Depuis peu, il existe des produits tamponnés qui contiennent du propionate ou du dipropionate d'ammonium et qui ont donc un effet moins corrosif.

Les essais réalisés permettent de tirer les recommandations suivantes:

- Densité de pressage
 - Les balles ne devraient pas être pressées avec une densité trop élevée, les balles rondes d'une densité de 110 à 150 kg de matière sèche (MS) par m³ conviennent mieux que les balles rectangulaires d'une densité de 160 à 210 kg de MS par m³.
 - Le centre des balles rondes produites avec des presses à chambre constante est moins dense. C'est pourquoi ce procédé convient mieux pour la conservation de fourrage humide.
- Technique d'application
 - Les conservateurs ne sont efficaces que si leur dosage est correct et surtout s'ils sont répartis uniformément sur tout le fourrage. L'andain devrait être le plus large et le plus bas possible. La tige de pulvérisation doit être fixée au-dessus du pick-up de façon à traiter le fourrage sur toute la largeur.
- Teneur en MS
 - Le dosage optimal des conservateurs dépend essentiellement de la teneur du fourrage en MS. Des instruments de mesure appropriés permettent de la déterminer directement sur le terrain (fig. 2). Lorsque les résultats de mesure varient, il est recommandé de prendre les valeurs les plus basses comme référence pour le dosage.



Fig. 2: Des instruments de mesure appropriés permettent de déterminer le taux d'humidité des balles directement sur le terrain.

- Stockage intermédiaire
 - Il faut éviter de placer les balles sur la face plane ou de les appuyer contre un mur, lorsqu'elles viennent juste d'être pressées. Lorsque les balles sont espacées les unes des autres, l'air peut circuler et l'humidité restante s'échapper. Si les balles sont immédiatement empilées les unes sur les autres, de la condensation s'accumule dans les balles les plus hautes, offrant des conditions idéales à la formation de moisissures.

Comparaison relative à l'économie d'entreprise

Conditions-cadres

La comparaison de quatre procédés de conservation différents montre les avantages et les inconvénients en ce qui concerne les aspects techniques, financiers ou encore l'organisation du travail. Les procédés comparés sont les suivants

Procédé	
1	Foin humide en balles rondes
2	Foin séché au sol en balles rondes
3a	Foin ventilé en balles rondes, système GEBA
3b	Foin ventilé en balles rondes, système Tecnomat
4	Foin ventilé, en vrac

Les machines utilisées pour effectuer le travail, ainsi que les bâtiments nécessaires au stockage varient suivant le procédé. Pour les balles, il suffit d'avoir des halles simples, pour le fourrage en vrac, les bâtiments de stockage sont plus coûteux.

Pour produire du foin humide, il faut en outre des conservateurs qui sont pulvérisés lors du pressage.

Suite aux différents procédés de conservation, le fourrage n'a plus les mêmes teneurs en éléments nutritifs après le stockage. Pour obtenir des rations de valeurs nutritives équivalentes, il est nécessaire que les différences soient compensées par des apports correspondants en concentrés.

Dans les procédés 3 et 4, le fourrage est séché a posteriori, ce qui entraîne des investissements et des coûts supplémentaires pour les installations de séchage et l'énergie nécessaire.

Enfin, il existe également des différences en ce qui concerne le temps de travail nécessaire pour la récolte, le stockage, la reprise et la distribution des volumes de fourrage. Par contre, la charge de travail physique requise par les travaux manuels ne varie pas beaucoup étant donné le taux de mécanisation pris comme hypothèse.

En ce qui concerne l'organisation, on part du principe que les machines nécessaires sont utilisées de manière à optimiser les coûts. C'est-à-dire que suivant le type des machines, elles sont soit la propriété de l'agriculteur, soit louées, soit utilisées en communauté ou encore que les travaux sont confiés à des entreprises de travaux agricoles.

Comparaison

Une comparaison allant de la récolte à la distribution du fourrage montre les avantages des quatre procédés en terme d'économie du travail et d'économie d'entreprise.

La comparaison a porté sur une quantité de fourrage d'un peu plus de 36 hectares de coupe de fourrage grossier. Sur cette surface, on produit environ 1100 dt de matière sèche, ce qui suffit comme fourrage pour 40 unités gros bétail pendant l'hiver (tab. 1).

Les différences concernent les machines mises à disposition, le type et le volume des stocks nécessaires, les éventuels conservateurs requis, les dépenses parfois nécessaires pour le séchage et les différentes quantités de concentrés utilisées pour obtenir des rations équilibrées (tab. 2).

Différentes teneurs en matière sèche lors de la récolte

Les procédés 1 à 3 produisent des balles rondes. Dans le cas du procédé 1 (foin humide), le fourrage est pressé avec un taux de matière sèche (MS) d'environ 76 %, sachant que l'acide propionique nécessaire à la parfaite conservation du fourrage est pulvérisé lors du pressage à l'aide du pick-up. Dans le procédé 2, le fourrage séché au sol est récolté avec un taux de MS de 82 %. Par rapport aux autres procédés de récolte, ce dernier suppose un travail plus intensif pour retourner le foin et le mettre en andains. Dans les procédés 3a et 3b, le fourrage, une fois ventilé, possède un taux de MS de 75 %. Le post-séchage a lieu dans des installations de séchage spéciales pour balles rondes. Les balles rondes sont manipulées à l'aide d'un chargeur frontal équipé d'une pince. Les balles sont empilées dans une halle carrossable, à l'abri des intempéries. Le foin en vrac, ventilé et récolté à l'aide d'une autochargeuse dans le procédé 4 est engrangé et repris à l'aide d'une grue à bras pivotant. Le fourrage ventilé présente une teneur en MS de 60 % lors de la récolte.

Economie du travail

Dans tous les procédés, les travaux de récolte se font mécaniquement. A condition que deux personnes soient disponibles dans l'exploitation, le temps de travail nécessaire pour la récolte de 36 hectares de coupe oscille entre 125 MOh dans le cas du procédé « foin humide » et 180 MOh pour les balles rondes ventilées, cf. tableau 2. Dans le cas des procédés 3a et 3b, dans les-

quels les balles rondes sont ventilées, c'est surtout le temps requis par la manutention des balles dans l'installation de séchage qui pèse lourd dans la balance. Par rapport aux procédés 1 et 2, il faut en outre déplacer environ 200 balles de plus. Dans le cas du foin séché au sol, il faut ajouter les passages supplémentaires de la pirouette et de l'andaineuse. Dans le cas du foin en vrac, on part du principe qu'une deuxième personne conduit la grue à bras pivotant.

Le temps de travail nécessaire pour la distribution de fourrage est compris entre 156 MOh dans le cas du procédé 4 (stockage en vrac) et 195 MOh dans le cas des procédés 3a et 3b (balles ventilées). Dans tous les cas, le fourrage est distribué à la main. Pour le

foin humide, il faut compter 186 MOh et pour le foin séché au sol 172 MOh. Les différences entre les procédés à base de balles tiennent au nombre variable de balles à distribuer. Dans le cas des balles à ventiler, il faut également tenir compte de la complexité de la manutention, sachant que les balles doivent être déposées une par une dans l'installation de séchage et emportées de la même manière après l'opération.

Investissements attribuables

Les cinq procédés comparés entraînent des investissements attribuables compris entre Fr. 125 600.- et Fr. 322 200.-. Ces mon-

Tab. 1: Procédés de conservation sélectionnés

Conditions-cadres:	40 UGB
Effectif animal	16,5 kg de MS/UGB
Consommation journalière	165 jours
Durée de l'alimentation en fourrage sec	1281 dt de MS
Rendement brut du fourrage	1089 dt de MS
Quantité de fourrage nécessaire	35,3 dt de MS/ha
Surface à conserver	36,3 hectares de coupe

Procédé	1	2	3a et 3b	4
Type de fourrage sec	Foin humide Balles rondes ø 1,2 m	Foin séché au sol Balles rondes ø 1,2 m	Foin ventilé Balles rondes ø 1,2 m	Foin ventilé en vrac
Opérations sur la parcelle				
Fauche	1 Ps	1 Ps	1 Ps	1 Ps
Fanage	2 Ps	3 Ps	2 Ps	2 Ps
Andainage	1 Ps	2 Ps	1 Ps	1 Ps
Procédé de récolte	Balles rondes humides avec injection	Balles rondes séché au sol	Balles rondes ventilé	Autochargeuse ventilé
Traitement du fourrage	Apport d'acide propionique		Séchage dans une installation pour balles	Séchage avec ventilation du foin
Nombre de balles rondes ou de m ³ de stock	551 bal	531 bal	764 bal	1281 m ³
Teneur en MS				
lors de la récolte	76%	82%	75%	60%
au stockage	82%	82%	85%	85%
Poids du				
lors de la récolte	260 kg/bal	250 kg/bal	190 kg/bal	142 kg/m ³
fourrage sec	241 kg/bal	250 kg/bal	168 kg/bal	100 kg/m ³
au stockage				
Mode de stockage du fourrage	Stock final en halle, carrossable	Stock final en halle, carrossable	Stock final en halle, carrossable	Ventilation du foin avec grue à bras pivotant
Déplacement du fourrage sec	Chargeur frontal	Chargeur frontal	Chargeur frontal	Grue à bras pivotant
Distribution du fourrage sec	A la main	A la main	A la main	A la main
Achat de fourrage grossier pour équilibrer les pertes de récolte				
Pertes de récolte	19%	20%	18%	15%
Rendement net de la propre production	1038 dt de MS	1025 dt de MS	1050 dt de MS	1089 dt de MS
Achat nécessaire de fourrage grossier	51 dt de MS 62 dt de fourrage sec	64 dt de MS 78 dt de fourrage sec	39 dt de MS 46 dt de fourrage sec	
Coûts du fourrage sec acheté, pressé	Fr. 37.-/dt de fourrage Fr. 2294.-	Fr. 32.-/dt de fourrage Fr. 2496.-	Fr. 37.-/dt de fourrage Fr. 1702.-	
Différence de qualité du fourrage par rapport au fourrage ventilé	-0.2 MJ NEL/kg de MS	-0.3 MJ NEL/kg de MS	-0.1 MJNEL/kg de MS	
Aliments vaches laitières supplé- mentaires nécessaires par UGB vache	0,47 kg de fourrage/jour	0,71 kg de fourrage/jour	0,24 kg de fourrage/jour	

Ps: passages; bal: balles rondes

Tab. 2: Machines, équipements et stocks de fourrage choisis Temps de travail nécessaire, investissements et coûts attribuables

Surface de récolte 36,3 hectares de fourrage sec / Effectif animal 40 UGB à 16,5 kg de MS de fourrage sec/jour

Procédé			Foin humide en balles rondes	Foin séché au sol en balles rondes	Foin en balles séché	Foin en balles séché	Fourrage sec en vrac
Système de séchage					GEBA	Tecnolam	Ventilation du foin
Mode de stockage			Balles rondes ø 1,2 m	Balles rondes ø 1,2 m	Balles rondes ø 1,2 m	Balles rondes ø 1,2 m	Fourrage sec en vrac
Bâtiment utilisé pour stocker le fourrage			Halle simple	Halle simple	Halle avec stock intermédiaire	Halle avec stock intermédiaire	Halle avec ventilation du foin
Nombre de balles en stock			551 bal	531 bal	764 bal	764 bal	
Volumés du stock de fourrage sec			935 m ³	903 m ³	1281 m ³	1281 m ³	1281 m ³
	Valeur à neuf Fr.	Mode d'utilisation/ de possession					
Machines et force de traction choisies							
Tracteur, 4 roues motrices 50 kW (68 CV)	66 000	Propriété	variables	variables	variables	variables	variables
Tracteur, 4 roues motrices, 60 kW (82 CV)	75 000	Propriété	variables	variables	variables	variables	variables
Faucheuse-conditionneuse 2,1–2,8 m	17 000	Propriété	variables	variables	variables	variables	variables
Pirouette 6,1–7,5 m	15 500	Propriété	variables	variables	variables	variables	variables
Andaineur double, jusqu'à 6,5 m	23 000	Propriété	variables	variables	variables	variables	variables
Autochargeuse 13–20 m ³	31 000	Propriété					variables
Presse à balles rondes avec filet, ø 1,2 m, 1,4 m ³	46 000	En régie	salaire	salaire	salaire	salaire	
Rampe de pulvérisation avec conservateur pour presse à balles rondes	3 200	En régie	salaire				
Chargeur frontal lourd, outil de base	13 000	Propriété	fixes + variables	fixes + variables	fixes + variables	fixes + variables	
Pince à grosses balles pour chargeur frontal	4 200	Propriété	fixes + variables	fixes + variables	fixes + variables	fixes + variables	
Remorque, 2 essieux, 10 t	21 000	Propriété	variables	variables	variables	variables	
Equipements mécaniques							
Installation de séchage pour balles rondes, GEBA 8 balles	23 000	Propriété			fixes + variables		
Installation de séchage pour balles rondes, Tecnolam 9 balles	31 000	Propriété				fixes + variables	
Pont roulant, 15 m	44 200	Propriété					fixes + variables
Ventilation du foin 1281 m ³	53 800	Propriété					fixes + variables
Stock de fourrage							
Stock pour balles rondes Foin humide	935 m ³	112 200	Propriété	fixes			
Foin séché au sol	903 m ³	108 400	Propriété		fixes		
Séchées	1281 m ³	153 700	Propriété			fixes	fixes
Stock de fourrage sec en vrac	1281 m ³	224 200	Propriété				fixes
Investissements attribuables							
Machines et outils (chargeur frontal avec pince)		Fr.	17 200	17 200	17 200	17 200	
Equipements méc. (inst. de séchage et pont roulant)		Fr.			23 000	31 000	98 000
Stock de fourrage sec		Fr.	112 200	108 400	153 700	153 700	224 200
Total		Fr.	129 400	125 600	193 900	201 900	322 200
Différence par rapport au procédé 1		Fr.		-3 800	64 500	72 500	192 800
Coûts attribuables par an							
Machines et outils Récolte		Fr.	11 435	11 444	13 426	13 426	3 212
Reprise et distribution		Fr.	779	692	994	994	36
Conservateur		Fr.	4 353				
Paille et mazout pour l'installation de séchage et la grue		Fr.			10 808	4 612	2 357
Achat de fourrage sec pour compenser les pertes de récolte		Fr.	2 294	2 496	1 702	1 702	
Apport de concentrés pour une ration d'éléments nutritifs homogène		Fr.	2 453	3 680	1 227	1 227	
Equipements méc. (inst. de séchage et grue)		Fr.			2 677	3 608	8 319
Stock de fourrage sec		Fr.	5 264	5 085	7 210	7 210	10 515
Total		Fr.	26 578	23 397	38 044	32 779	24 439
Différence par rapport au procédé 1		Fr.		-3 181	11 466	6 201	-2 139
Temps de travail nécessaire							
Récolte et mise en grange		MOh	125	160	180	180	170
Distribution de fourrage		MOh	186	172	195	195	156
Total		MOh	311	332	375	375	326
Différence par rapport au procédé 1		MOh		21	64	64	15

Coûts pris en compte

tants sont essentiellement déterminés par les installations de stockage nécessaires et par les éventuelles installations de séchage. Avec les procédés à balles 1 et 2, les balles peuvent être pressées à des pressions normales. Pour les 551, resp. 531 balles rondes, il faut un volume de stockage de 935, resp. 903 m³. Les procédés 3a et 3b avec des balles ventilées nécessitent un volume de stockage de 1281 m³. Les 764 balles rondes ne peuvent pas être autant condensées que dans le cas des deux autres procédés qui emploient des balles, ceci pour des questions de ventilation. Le stockage en vrac avec alimentation par grue requiert un volume aussi important que les balles sèches. Les balles peuvent être entreposées dans des granges simples, accessibles à l'aide du tracteur. Elles doivent être conçues de manière à permettre à un tracteur équipé d'un chargeur frontal de manœuvrer. Le stockage du fourrage en vrac nécessite des bâtiments plus onéreux. La grue à bras pivotant suppose une enveloppe de bâtiment très stable. De son côté, le bâtiment nécessite également un cloisonnement pour la ventilation du fourrage.

En ce qui concerne les machines et les outils, on suppose que les exploitations emploient un chargeur frontal équipé d'une pince pour manœuvrer les balles. L'achat d'outils d'une valeur à neuf de Fr. 17 200.– doit par conséquent être attribué à la récolte et à la distribution du fourrage grossier.

Les équipements techniques spéciaux requis sont les installations de ventilation

dans les procédés 3 et 4 et la grue à bras pivotant dans le procédé 4. Dans le procédé 3a, on estime l'investissement nécessaire à Fr. 23 000.–. Dans le procédé 3b, séchage des balles rondes avec système Tecnomam, il faut compter 31 000.– francs. Enfin dans le procédé 4, la valeur à neuf de l'équipement mécanique se compose de la grue à bras pivotant d'une valeur de Fr. 44 000.– et de l'installation de ventilation du foin d'une valeur de Fr. 54 000.–.

Coûts attribuables

Les coûts attribuables sont un critère déterminant pour la rentabilité des procédés. Il s'agit des postes de coûts qui ont une influence directe sur le revenu agricole. Les travaux effectués à l'aide de la main-d'œuvre disponible sur l'exploitation n'ont pas été évalués, car il s'agit de valeurs calculées qui peuvent varier considérablement d'une exploitation à l'autre. Le chef d'exploitation peut plus facilement comptabiliser le nombre d'heures de travail requis par tel ou tel procédé.

Sont attribués au procédé:

- Les coûts des forces de traction, des machines et des outils

Les coûts variables de toutes les forces de traction, machines et outils employés ont été comptabilisés. Les procédés avec balles rondes prennent également en compte les coûts fixes du chargeur frontal et de la pince. Partant du principe que

la maintenance et les bâtiments n'entraînent aucun coût réel spécifique, ces facteurs n'ont pas été évalués.

En ce qui concerne les procédés avec balles rondes, il est essentiel de savoir dans quelles conditions se fait le pressage. On suppose qu'il est confié à une entreprise de travaux agricoles. Il faut en outre prendre en compte les coûts fixes attribués pour le chargeur frontal avec pince. Pour les procédés avec balles, les coûts totaux attribuables pour les machines oscillent entre Fr. 12 100.– et Fr. 14 400.–. Pour le pressage de foin humide, le tarif a été fixé à Fr. 11.30 par balle ronde. Ce tarif tient compte non seulement des coûts du pressage, mais aussi des coûts supplémentaires pour l'installation de pulvérisation fixée sur le pick-up.

Dans le cas des balles de foin séché au sol ou ventilé, on compte Fr. 10.– par balle pour le pressage. Les coûts de pressage les plus élevés concernent les balles à ventiler. Comme il ne faut pas que les balles atteignent une densité trop élevée, leur nombre est d'autant plus élevé, soit environ 760 balles par rapport à un peu plus de 500 balles pour le foin humide et le foin séché au sol.

Par conséquent, lorsque le prix du pressage augmente de Fr. 1.– par balle, les coûts augmentent entre Fr. 530.– et Fr. 760.– suivant le procédé, pour la quantité de fourrage prise comme hypothèse. Dans le procédé avec foin en vrac, ventilé, les coûts attribuables pour les forces de traction, les machines et les outils ne s'élèvent qu'à Fr. 3200.–. Ce procédé ne nécessite que des machines qui sont déjà disponibles sur l'exploitation. C'est pourquoi seuls leurs coûts variables ont été pris en compte.

- Conservateurs
On suppose qu'on pulvérise un litre d'acide propionique pour 100 kg de foin humide. Cette concentration élimine largement le risque de mauvaise fermentation. Pour un poids moyen de 260 kg par balle ronde, il faut donc compter 2,6 litres de conservateur. Avec un prix de Fr. 3.04 le litre, les coûts sont donc de Fr. 7.90 par balle ronde ou de Fr. 4353.– pour la quantité de fourrage employée dans l'essai.

- Coûts annuels des équipements mécaniques
Dans le procédé 3a (GEBA), l'installation de séchage peut accueillir huit balles. Pour une valeur à neuf de Fr. 23 000.–, les coûts annuels s'élèvent à Fr. 2677.–. La



Fig. 3: L'installation de séchage GEBA pour balles rondes a demandé moins d'investissement, mais consomme beaucoup d'énergie.

durée d'amortissement prévue est de 15 ans. Par rapport aux autres systèmes de séchage, c'est celui qui requiert le moins d'investissement. Par contre, sa consommation d'énergie est élevée (fig. 3). D'après les résultats de l'essai, il faut compter 7,2 kWh de courant et 9,4 litres de mazout pour sécher 100kg de foin. Le procédé 3b (Tecnolam) nécessite un investissement plus élevé au départ, mais consomme moins d'énergie (fig. 4). Pour une installation de neuf places, il faut compter Fr. 31 000.–, ce qui entraîne des coûts annuels de Fr. 3 608.–. Pour 100kg de fourrage séché, ce procédé consomme 12 kWh de courant et seulement 2,3 litres de mazout. Par rapport au procédé 3a, il consomme donc 4,8 kWh de courant en plus et 7,1 litres de mazout en moins pour 100kg de foin. Avec un prix du mazout élevé, cette différence peut être déterminante lorsqu'il s'agit d'évaluer la rentabilité du procédé. Le procédé 4 entraîne des coûts élevés. La grue à bras pivotant d'une valeur à neuf de Fr. 44 000.– se traduit par des coûts annuels de Fr. 3 777.–. L'installation de séchage du foin d'une valeur à neuf de Fr. 54 000.– se traduit, elle, par des coûts annuels de Fr. 4 542.–.

- Coûts énergétiques des installations de séchage et du pont roulant
Avec un prix du mazout de Fr. 78.25 par hectolitre, les coûts sont de Fr. 9 424.– dans le cas du procédé 3a. Les 9 224 kWh d'énergie électrique supplémentaire reviennent à Fr. 1 384.–. Pour la même quantité de fourrage, les coûts du mazout sont de Fr. 2 306.– dans le procédé 3b. Les coûts de l'énergie électrique se montent également à Fr. 2 306.–. Dans le procédé 3b, la somme des coûts du mazout et de l'électricité représente donc Fr. 4 612.–, contre Fr. 10 808.– dans le procédé 3a.
Les coûts énergétiques sont nettement plus bas, pour le fourrage en vrac, ventilé. Partant d'une consommation de 12 kWh par dt de fourrage séché, il faut compter 15 374 kWh pour la quantité totale de fourrage. Avec un prix moyen du courant de Fr. –.15 par kWh, les coûts de l'électricité sont donc de Fr. 2 306.–. La consommation d'électricité de la grue à bras pivotant est modeste. Elle serait de l'ordre de Fr. 51.–.

- Stock de fourrage sec
Le stockage des balles peut se faire dans de simples granges. Elles doivent tou-



Fig. 4: L'installation de séchage Tecnolam pour balles rondes a demandé un investissement plus élevé, et consomme moins d'énergie.



Fig. 5: Les stocks de balles peuvent être de simples bâtiments. Il suffit que les véhicules puissent y circuler pour transporter les balles.



Fig. 6: Les locaux de stockage du fourrage en vrac sont plus grands que les locaux consacrés aux balles; ils doivent également être équipés de dispositifs pour manœuvrer le fourrage.

tefois permettre la circulation des machines (fig. 5). Pour une valeur à neuf de Fr. 120.-/m³, les investissements sont compris entre Fr. 108000.- et Fr. 154000.-. Il faut y ajouter des coûts compris entre Fr. 5100.- et Fr. 7200.-. Pour un stock de fourrage en vrac d'un volume d'environ 1300m³, l'investissement nécessaire est de Fr. 224000.- et entraîne des coûts de Fr. 10500.- (fig. 6).

- Achat de fourrage sec pour compenser les différentes pertes de récolte

Les différentes phases de travail et les différentes teneurs en MS lors de la récolte se traduisent par des pertes de récolte variables. Le fourrage ventilé qui doit être engrangé en vrac affiche une teneur en matière sèche de 60 % et des pertes de 15 %. Le foin séché au sol affiche, au stade de la mise en grange, une teneur en MS de 82 % et exige donc un traitement plus intensif. Les pertes de récolte sont de l'ordre de 20 %. Avec le foin humide, les pertes représentent 19 % et avec les balles rondes à ventiler, 18 %. Pour compenser ces pertes de fourrage, il est nécessaire d'avoir des surfaces supplémentaires de fourrage sec ou d'acheter des compléments de fourrage. Par rapport au fourrage en vrac, ventilé, il faut compenser 62 dt pour le fourrage humide, 78dt pour le foin séché au sol et 46dt pour les balles rondes à ventiler. Ces différentes quantités entraînent des coûts compris entre Fr. 1700.- et Fr. 2500.-.

- Fourrage complémentaire pour compenser les fluctuations de la qualité du fourrage

Par rapport au foin en vrac, ventilé, les balles rondes ventilées, le foin humide et le foin séché au sol affichent une valeur nutritive inférieure. D'après les résultats des études dont nous disposons, la différence est de 0,1 MJ NEL parkg de MS pour les balles rondes ventilées, de 0,2 MJ NEL pour le foin humide et de 0,3 MJ NEL pour le foin séché au sol. Pour obtenir une qualité de fourrage comparable dans l'ensemble de la ration, il est nécessaire de distribuer des quantités supplémentaires de concentrés. Pour pouvoir compenser la qualité d'environ 1100 dt de MS de fourrage grossier, il faut donner 16 dt d'aliments vaches laitières en plus pour les balles rondes ventilées, 31 dt pour le foin humide et 47 dt pour le foin séché au sol (fig. 7). Sachant que le prix des aliments vaches laitières est de Fr. 78.85

par dt, les coûts supplémentaires varient entre Fr. 1230.- et Fr. 3700.-.

- Comparaison des coûts

Les coûts attribuables des cinq procédés comparés oscillent entre Fr. 23400.- et Fr. 38000.-. Par rapport au foin humide, le foin séché au sol revient environ Fr. 3200.- moins cher. Les deux procédés qui emploient des balles rondes séchées sont nettement plus onéreux. Les coûts supplémentaires sont de l'ordre de Fr. 11500.- avec le système 3a et de l'ordre de Fr. 6200.- avec le système 3b. Les coûts énergétiques et les coûts des installations de séchage sont les principaux responsables de ces différences. Le procédé avec fourrage en vrac, ventilé revient Fr. 2100.- moins cher que celui avec du foin humide. Dans le cas du fourrage en vrac, ventilé, ce sont surtout les coûts du local de stockage et ceux de l'installation de séchage et de la grue à bras pivotant qui jouent un rôle.

avec une presse à balles rectangulaires ont donné des résultats en partie insatisfaisants. Outre les problèmes techniques liés aux andains trop gros et au conservateur trop faiblement dosé, le fourrage était trop humide avec une teneur en MS de 68 %. Dans le cas des essais effectués avec deux types différents de presses à balles rondes et deux dosages différents, la quantité variable de conservateur n'a pas eu une influence marquante sur l'échauffement du fourrage. En revanche, le dosage a joué un rôle significatif par rapport à la valeur nutritive. Le dosage correct du conservateur en fonction de la teneur en MS du fourrage et l'application homogène des produits sont déterminants pour le résultat.

La rentabilité économique du foin humide a été étudiée dans le cadre d'une comparaison avec quatre autres procédés de conservation. Suivant le procédé de récolte et de stockage choisi, la qualité du fourrage grossier obtenue n'est pas la même. Pour avoir des rations d'une valeur nutritive comparable, il est donc nécessaire de distribuer plus ou moins de concentrés aux animaux. Suivant le procédé de récolte, les pertes de récolte varient elles aussi et doivent également être compensées, soit en adaptant les surfaces de fourrage sec, soit en achetant du fourrage supplémentaire.

La comparaison portait sur une quantité de fourrage sec destiné à 40 unités gros bétail, ce qui correspond à une surface fourragère

Conclusions

Les essais ont montré que l'échauffement, la teneur en germes (moisissures) et les répercussions sur la valeur nutritive dépendent largement du taux d'humidité de fourrage au départ. Les essais réalisés



Fig. 7: Pour conserver des rations de valeur nutritive équivalente, il est nécessaire de distribuer des aliments de compensation sous forme de concentrés suivant le procédé de conservation du fourrage.

d'environ 36 hectares de coupe. Le procédé avec le fourrage en vrac, ventilé est celui qui exige le montant le plus élevé d'investissements attribuables, soit Fr. 322 000.-. Les procédés avec les balles rondes séchées demandent environ Fr. 100 000.- de moins, Fr. 194 000.- avec le système GEBA et Fr. 202 000.- avec le système Tecno-lam. Le foin humide et le foin séché au sol exigent respectivement Fr. 129 000.- et Fr. 126 000.-.

Dans le cas du foin humide, les coûts attribuables s'élèvent environ à Fr. 26 600.- par an. La solution avec le foin séché au sol revient Fr. 3200.- moins cher. Le procédé avec le foin en vrac, ventilé est également plus économique que le foin humide. Les coûts attribuables sont de l'ordre de Fr. 24 400.-. Par rapport au foin humide, les procédés avec les balles rondes séchées coûtent Fr. 11 400.- de plus (système GEBA) et Fr. 6200.- de plus (système Tecno-lam). Ces coûts supplémentaires sont essentiellement dus à l'énergie calorifique supplémentaire nécessaire au séchage.

Suivant l'année, le temps de travail nécessaire de la récolte à la distribution du fourrage grossier est compris entre 311 et 332 MOh pour le fourrage humide, le fourrage séché au sol et le fourrage en vrac, ventilé. Les balles ventilées exigent, elles, 375 MOh, soit un temps de travail nettement plus élevé. Ce qui est déterminant dans ce procédé, ce sont les multiples opérations nécessaires lors du séchage des balles. Suivant le système choisi, il n'est possible de sécher que huit ou neuf balles simultanément. Pour le séchage, il est indispensable de procéder par étapes. Les balles doivent être placées dans un stock intermédiaire d'où elles sont amenées à l'installation de séchage. Le déroulement du séchage doit être surveillé et les balles doivent ensuite être empilées dans le stock définitif.

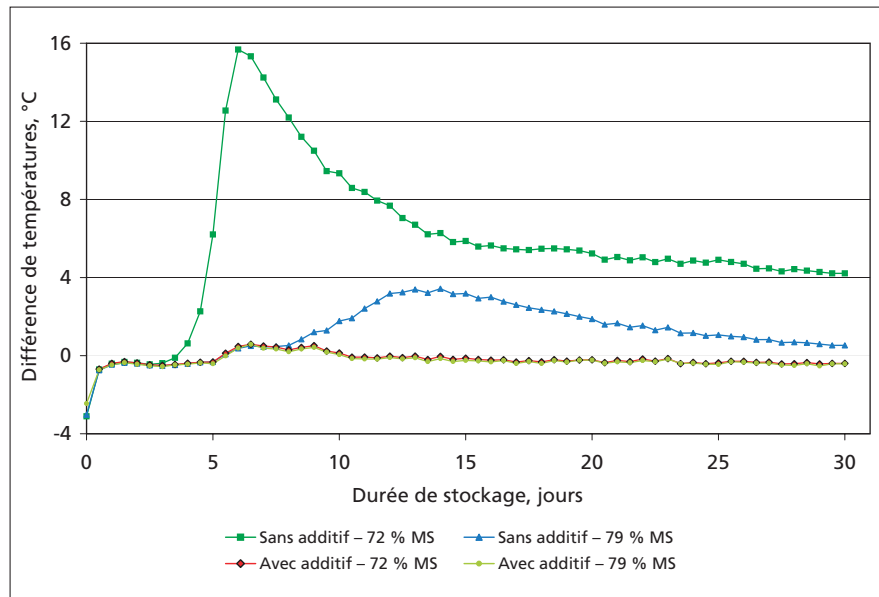


Fig. 8: Evolution de la température dans du foin humide traité et non traité dans les conditions de laboratoire.



Fig. 9 et 10: Dans les presses à densité constante, l'humidité résiduelle s'échappe plus facilement que dans les balles conditionnées avec des densités de compression variables.

Annexe

Pendant les essais réalisés sur le terrain, la station de recherche Agroscope Liebefeld-Posieux ALP a utilisé à la fois des presses à balles rectangulaires et des presses à balles rondes.

Le conservateur employé dans le cadre de l'essai en laboratoire s'est avéré très efficace pour empêcher l'échauffement du fourrage (fig. 8) et pour réduire le développement des moisissures (Meisser 2001).

Les résultats obtenus dans le cadre d'essais avec une presse à balles rectangulaires étaient partiellement insatisfaisants (Meisser et Wyss, 1999). Outre les problèmes techniques causés par les andains trop gros et par l'application irrégulière et trop réduite de conservateur, le fourrage présentait des teneurs en MS de 68 % et était donc relativement humide. De bons résultats ont été obtenus avec du fourrage dont la teneur en MS était d'environ 80 % ainsi qu'avec un surdosage par rapport à la quantité de conservateur recommandée. Le degré de compression du fourrage peut être un autre facteur d'échauffement, car avec les balles rectangulaires qui sont très comprimées (densité 210 kg de MS/m³), l'humidité résiduelle ne peut plus parvenir à s'échapper. L'échauffement du fourrage sec produit des complexes non digests à base de sucre et de fractions de protéines. Il faut ajouter que les méthodes classiques utilisées pour déterminer le taux de matière azotée ne permettent pas d'enregistrer les modifications du fourrage dues à la chaleur. Les différences de teneurs du fourrage ne peuvent donc pas être relevées de manière systématique.

La teneur en sucre est en relation directe avec l'échauffement du fourrage. Les balles rectangulaires traitées affichaient une teneur en sucre nettement plus basse que le foin ventilé. Les essais sur le terrain et en laboratoire ont montré que la part d'azote insoluble (NADF/N) était un bon indicateur pour évaluer les dommages dus à la chaleur. On a pu constater un lien étroit entre la température moyenne de stockage et la part d'azote insoluble. Cette constatation se recoupe avec les études de Maeda et al. (1988).

Des différences ont également pu être constatées en ce qui concerne la teneur en énergie. Dans le meilleur des cas, la différence était de 0,3 MJ NEL par kg de MS entre les balles rectangulaires non traitées et le fourrage ventilé et de 0,6 dans le cas le plus défavorable.

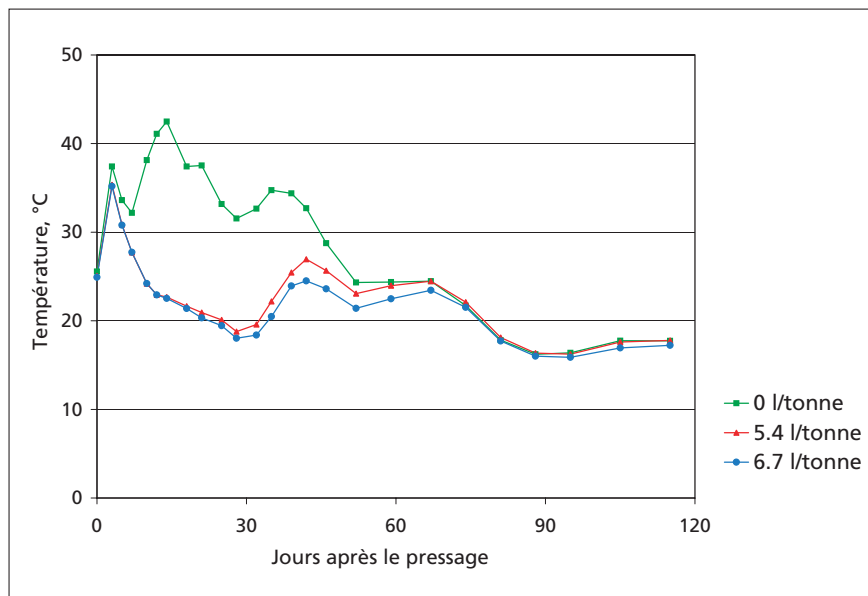


Fig. 11: Influence du dosage du conservateur sur l'évolution de la température dans les balles rondes.

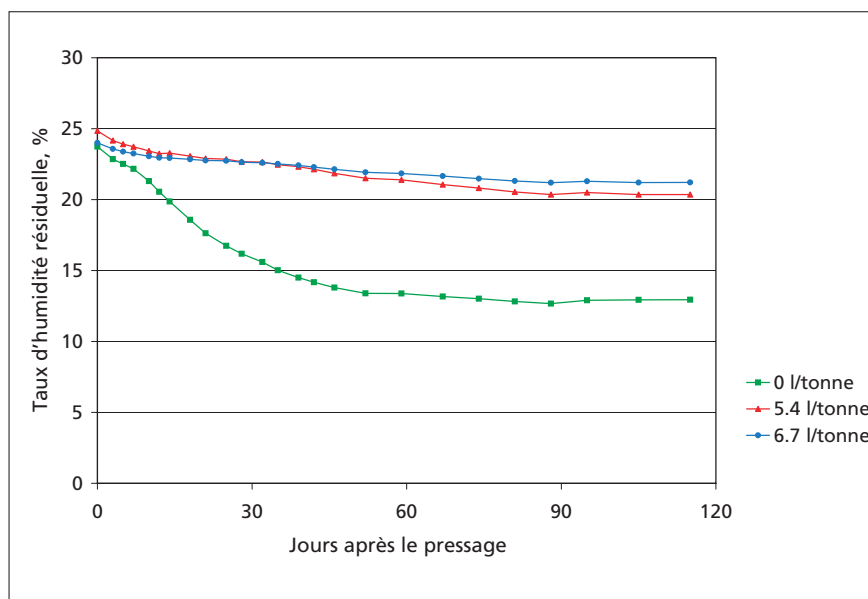


Fig. 12: Influence du dosage du conservateur sur le taux d'humidité des balles rondes.

Après un stockage de deux à trois mois, on n'a trouvé aucun acide de fermentation dans les balles de la variante «foin humide». D'autre part, on n'a constaté aucun résidu de l'acide propionique appliqué. Le pH était cependant parfois très bas, puisqu'il était compris entre 4,1 et 5,2. Ce phénomène est dû à la croissance microbienne de bactéries thermophiles et d'actinomycètes (Gregory et al. 1963).

Le fourrage des balles rectangulaires a également été étudié à la recherche de mycotoxines. Bien que certains échantillons aient présenté des zones moisies, on n'a pu

identifier aucune mycotoxine. L'absence de toxines ne garantit cependant pas l'absence de moisissures.

Une deuxième série d'essais a permis de comparer deux différents types de presses à balles rondes (Meisser 2003). On a pulvérisé entre 0,5 et 0,7 litre d'acide propionique par décitonne de fourrage ou 1,6 et 2,0 litres par balle (poids moyen des balles: 300 kg). Le conservateur était diffusé à l'aide d'une petite rampe de pulvérisation, fixée sur le pick-up. Ce système permettait de pulvériser le fourrage sur une grande largeur.

Tab. 3: Influence de l'emploi du conservateur et du type de presse sur les paramètres chimiques

		Dosage (litre/tonne)			Presse à balles rondes Chambre de compression	
		0	5.4	6.7	constante	variable
Matière organique	g/kg de MS	910 ^a	919 ^b	917 ^{ab}	915	916
Matière azotée	g/kg de MS	130	123	126	127	125
ADF	g/kg de MS	293 ^b	279 ^a	276 ^a	281	284
NDF	g/kg de MS	509 ^c	482 ^b	467 ^a	486	486
Sucre	g/kg de MS	094 ^a	141 ^c	133 ^b	121	124
NADF/N tot ¹	%	4,2 ^b	2,2 ^a	1,9 ^a	2,9	2,6
dMO ²	%	64,8 ^a	66,2 ^{ab}	67,5 ^b	66,0	66,4

Les valeurs d'une même ligne avec un exposant autre sont statistiquement différentes (P < 0,05)

¹ Part d'azote non soluble dans l'azote total; ² Digestibilité de la matière organique

Le conservateur a considérablement freiné l'échauffement du fourrage dans les balles, sachant qu'il n'existait pratiquement pas de différences entre les deux niveaux de dosage. C'est également ce qui ressort des expériences de Sonnenberg et Küntzel (1982). Les essais ont également montré que le fourrage qui était produit dans des balles dont la densité était constante, s'échauffait moins que celui qui était conditionné dans des chambres de compression variable. Les presses à balles rondes dont la densité de compression est constante produisent des balles dont le centre est peu dense (fig. 9 et 10). Ceci permet à l'humidité restante de mieux s'échapper. Par contre, les chambres de compression variables produisent des balles dont la densité est homogène sur tout le diamètre. Les densités moyennes des balles oscillaient entre 142 kg de MS/m³ avec la presse à balles rondes à chambre constante et 151 kg de MS/m³ avec la chambre variable.

L'évolution du taux d'humidité du fourrage sec dépend beaucoup de la température des balles (fig. 11 et 12). Lorsque la croissance microbienne est intense, les balles „suent“ et l'eau excédentaire (humidité résiduelle) s'échappe au cours des premières semaines de stockage. Dans les balles traitées qui ne connaissent pratiquement pas d'échauffement, le taux d'humidité n'a varié que très lentement.

Au bout de 136 jours de stockage, on a constaté des différences significatives en ce qui concerne les teneurs en éléments nutritifs en fonction du dosage appliqué (tab. 3). Les différences relatives à la teneur en matière organique, aux fibres neutres solubles sur les parois cellulaires (NDF) et en lignocellulose, fibres solubles dans l'acide et difficilement digestes, (ADF) sont une conséquence de la décomposition du sucre. Cet élément nutritif représente la source

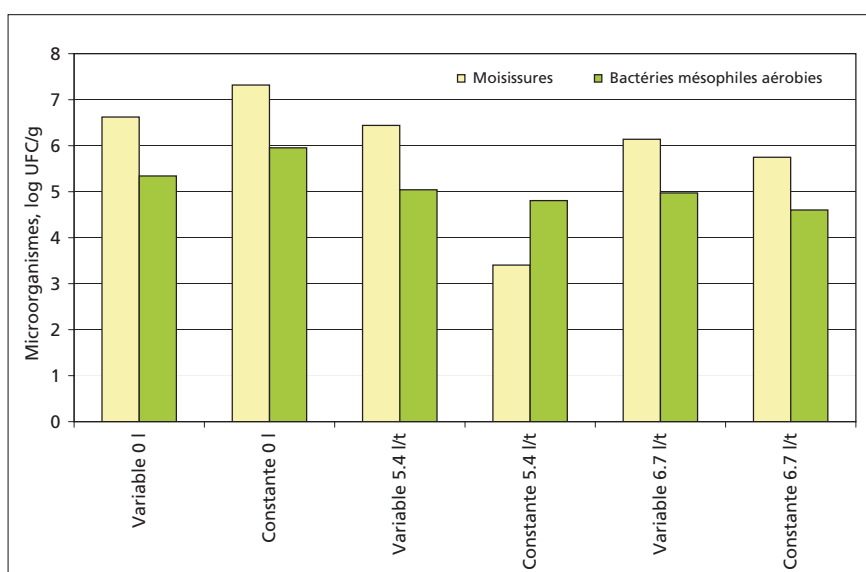


Fig. 13: Influence du type de presse et de l'emploi du conservateur sur le développement de moisissures et de bactéries mésophiles aérobies (UFC: unités formant colonies).

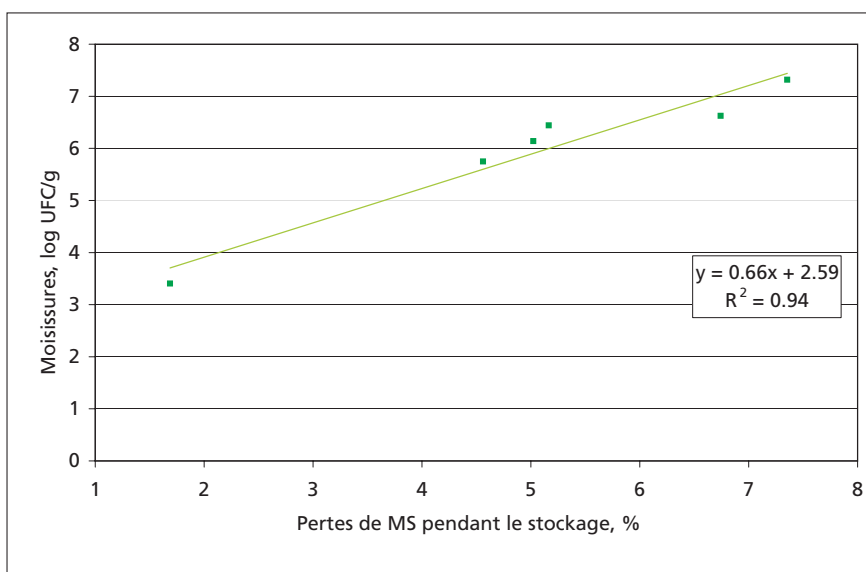


Fig. 14: Rapport entre les pertes de MS et le développement de moisissures (UFC: unités formant colonies).

d'énergie la plus facilement disponible pour les microorganismes et reflète relativement bien l'étendue de l'activité microbologique. Le traitement à l'acide propionique a amélioré la digestibilité de la matière organique. Les différences de valeur énergétique étaient comprises entre 0,2 et 0,3 MJ NEL/kg de MS par rapport à la variante non traitée.

Dans les variantes non traitées, le fourrage était très attaqué par les moisissures. La qualité microbologique des balles traitées n'a pas été améliorée de manière uniforme.

Dans deux procédés sur quatre, le conservateur n'a fait apparemment que freiner la croissance microbologique (fig. 13). L'absence d'échauffement n'est pas nécessairement une preuve de bonne qualité microbologique.

Les essais ont permis d'identifier clairement la relation linéaire entre les pertes de MS pendant le stockage et le degré de moisissures (nombre de germes) (fig. 14).

Le nombre de germes déterminés pour les bactéries aérobies mésophiles était très bas. En général, les bactéries sont plus sensibles aux conditions sèches que les moisissures et les levures et ne commencent à se développer que lorsque la teneur en eau dépasse 20%.

Bibliographie

Gregory P.H., Lacey M.E., Festenstein G.N. and Skinner F.A., 1963. Microbiological and biochemical changes during the moulding of hay. *J. Gen. Microbiol.* 33. 147–174.

Maeda Y., Okamoto M. and Yoshida N., 1988. Heat damage in hay-making of big round bale. *Japan Grassl. Sci.* 34. 193–201.

Meisser M. und Wyss U., 1999. Qualität von unterschiedlich konserviertem Dürrfutter. *Agrarforschung* 6 (11-12), 437–440.

Meisser M., 2001. Konservierung von Feuchtheu. *Agrarforschung* 8 (2), 87–92.

Meisser M., 2003. Mikrobiologische Qualität und Nährwert von Feuchtheu. *Agrarforschung* 10 (9), 348–353.

Sonnenberg H. und Küntzel U., 1982. Stabilisierung von feuchtem Heu. 1. Mitteilung: Versuche mit Ammoniumpropionat. *Landbauforschung Völkenrode* 32 (1), 21–26.

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 ART (Tänikon, CH-8356 Ettenhausen). Tél. 052 368 31 31, Fax 052 365 11 90, E-mail: doku@art.admin.ch, Internet: <http://www.art.admin.ch>

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	Fleury-Mouttet Solange, FRI, Courtemelon, 2852 Courtételle	Tél. 032 420 74 38
NE	Huguelit Yann, 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, Marcellin, 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
AGRIDEA	Boéchat Sylvain, Jordils 1, 1006 Lausanne	Tél. 021 619 44 74
SPAA	Grange-Verney, 1510 Moudon	Tél. 021 995 34 28

Impressum

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

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

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

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