

Essai démonstratif

Essai technico-économique sur la technique de conservation de foin humide traité à l'acide propionique.

ED2023/09/

FOURRAGES MIEUX

Delforge Lina

Rapport (final 2024)

Vu pour réception

Pascal POCHET

Attaché *qualité*

Date: *23/7/2024*

Avec le soutien du Service public de Wallonie Agriculture

Sommaire

1. Secteur concerné.....	3
2. Description de l'exploitation.....	3
3. Objectif(s) en tant que ED	3
4. Plan de travail et partenariats éventuels	3
5. Difficultés rencontrées.....	3
6. Résultats obtenus	4
7. Interprétation des résultats	4
8. Diffusion de l'information.....	4
9. Conclusions	4
Annexes	5

1. Secteur concerné

Élevage, la conservation des fourrages. Problématique des plastiques en agriculture.

2. Description de l'exploitation

L'essai démonstratif a eu lieu dans la ferme bio de monsieur Yoan Deremiens qui se situe à Vaux-sur-Sûre. L'éleveur a un troupeau de blondes d'Aquitaine. Pour limiter l'utilisation de plastique d'enrubannage, il a voulu tester une méthode de conservation du foin avec de l'acide propionique et a demandé à Fourrages Mieux de l'encadrer.

3. Objectif(s) en tant que ED

Les objectifs de cet essai démonstratif sont multiples :

- Obtenir des premiers résultats sur la qualité de conservation d'un foin traité avec de l'acide propionique
- Évaluer au mieux les quantités d'acide nécessaire par tonne de fourrage en fonction de la teneur en matière sèche à la récolte.
- Évaluer un système B pour l'application de l'acide, moins onéreux que l'achat d'une presse équipée d'injecteurs.

Nous savons que sur une seule période d'essai, il est difficile de tirer des conclusions définitives mais cet essai doit nous apporter les premiers éléments de réponse.

4. Plan de travail et partenariats éventuels

L'éleveur a mis à disposition de l'essai une parcelle de foin de +/-1 ha.

L'acide propionique est appliqué sur les andains juste avant passage de la presse. Un kit de pulvérisation est monté sur l'aérofaneur. Il est important d'appliquer l'acide de manière uniforme sur le fourrage pour une meilleure efficacité.

Les boules de foin traitées à l'acide devaient être réalisées dans différentes parcelles (luzerne, trèfle violet et mélanges graminées-légumineuses sont disponibles)

5. Difficultés rencontrées

Pour différentes raisons, l'essai a été reporté plusieurs fois. Ces facteurs sont la météo mais surtout la disponibilité de l'entrepreneur. L'essai qui devait avoir lieu mi-juin a eu lieu mi-juillet. Le fourrage récolté était dès lors moins riche et les résultats un peu moins intéressants.

Une nouvelle tentative a eu lieu au mois d'août mais les conditions d'humidité (hygrométrie élevée, rosée importante) ont compliqué sa mise en place.

Au moins de septembre, la quantité importante de fourrage a fait que l'agriculteur a choisi de faire un silo plutôt que de faire du foin.

6. Résultats obtenus

Les résultats sont présentés de façon synthétisée, les résultats d'analyse complets peuvent être ajoutés dans les annexes

Les résultats obtenus sont détaillés dans le rapport en annexe.

7. Interprétation des résultats

Les résultats sont interprétés dans le rapport en annexe.

8. Diffusion de l'information

Les premiers résultats ont été présentés lors de plusieurs conférences sur la conservation des fourrages. Les invitations se trouvent au point 10 (annexes).

9. Conclusions

Cette méthode n'offre bien entendu pas une réponse complète à la problématique de l'enrubannage. Elle peut cependant diminuer un peu les quantités de plastique utilisées dans certains cas. La conclusion la plus importante de ce premier essai est qu'avec un « système B » pour l'application de l'acide, cela peut fonctionner. Il ne faut pas nécessairement s'équiper d'une presse avec injecteurs d'acide (+/- 15 000€ pour les systèmes les plus sophistiqués). Cette information est importante car elle permet d'envisager la méthode comme une réponse aux enrubannages d'urgence juste avant l'arrivée d'un orage imprévisible. On peut aussi l'envisager pour des foins de légumineuses qu'il faudra moins souvent faner. Faner moins c'est perdre moins de feuilles et donc avoir obtenu un fourrage de meilleure qualité. Cette méthode reste relativement coûteuse et donc il faut que le fourrage récolté en vaille la peine.

10. Annexes

Présentations des résultats lors de conférences :

- 17/11/2023 à Libramont



FOURRAGES - MIEUX

CONSERVATION DES FOURRAGES - PRÉSENTATION DES RÉSULTATS DES SUIVIS EN FERMES 2021-2023

- * Conservation des ensilages: pertes moyennes mesurées dans les silos en Wallonie
- * Foin humide traité à l'acide propionique: résultats et conclusions de l'essai
- * Balles enrubannées: pertes moyennes mesurées dans les ballots en Wallonie

Où ? Craw Libramont, rue du Serpont 100
 Quand ? Le vendredi 17 novembre 2023 à 13h30
 Plus d'infos ? delforge@fourragesmieux.be ou 0477/353827

APPORTEZ VOS ÉCHANTILLONS DE FOURRAGES POUR UNE ANALYSE RAPIDE

Avec le soutien de   En collaboration avec 

- Le 22/02/2024 à Etalle



Conservation des fourrages
Résultats de suivis en ferme 2021-2023

Par Lina DELFORGE de 

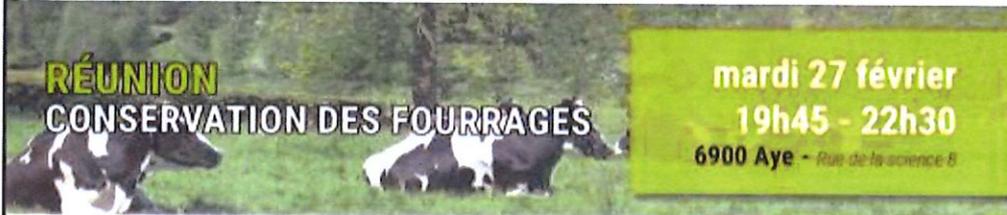
Assemblée générale du Comice agricole d'Etalle-Florenville

Judi 22 février 2024 à 20h00
Salle 18 Rue du Moulin à Etalle

L'agriculture sociale
 Par Martine LEROY de 

Organisation :
 Comice d'Etalle
 SPW-Direction Recherche et Développement

- Le 27/02/2024 à Marche-en-Famenne



RÉUNION
CONSERVATION DES FOURRAGES

mardi 27 février
19h45 - 22h30
6900 Aye - Rue de la science 8

Programme

- Echange des résultats de suivis réalisés entre 2021 et 2023 sur la conservation des fourrages (ensilages, enrubannés et foin) et conseils pour l'année à venir, avec Lina Delforge de Fourrage Mieux
- Verre de l'amitié

PLUS D'INFOS
ah@fugea.be
0499/71.44.44

- Participation gratuite
- Inscription bienvenue mais pas obligatoire



- Le 04/03/2024 pour le Comice agricole de Virton

Annexe au rapport SPW essai démonstratif : Foin humide traité à l'acide propionique

Introduction

Cet essai démonstratif « foin acide » s'inscrit dans le cadre de recherche d'alternative aux plastiques d'enrubannage. En effet, malgré ses nombreux avantages, l'enrubannage est une technique coûteuse au niveau économique et surtout environnemental. Les déchets produits sont actuellement difficilement recyclable.

TABLEAU 1 QUANTITÉ DE PLASTIQUE UTILISÉE PAR TONNE DE MS ET PRIX

	Nombre de balles/rouleau	Quantité de plastique/balle (kg)	Quantité de plastique/t MS (kg)	Prix /rouleau (€) 2023- (HTVA-21%)	Prix/balle
Minimum	13	0,9	1,9	78	6€
Moyenne	22	1,2	3,8		3,5€
Maximum	29	1,5	6,9		2,7€

Dans le tableau 1, nous pouvons voir les quantités de plastique utilisées par tonne de matière sèche récoltée. Partant du principe que le meilleur déchet est celui qui n'est pas produit, le mieux est d'essayer de diminuer le recours à l'enrubannage.

Une technique qui permettrait de diminuer la quantité de plastique produite quand on ne sait pas réaliser du foin sec serait de traiter le foin humide à l'acide propionique. Le traitement permet d'éviter qu'il n'y ait d'échauffement. Les ballots continuent donc à sécher une fois pressés. L'acide propionique est un des moyens les plus efficaces pour empêcher la prolifération des levures, moisissures et autres bactéries (Wyss et Albisser, 2009). Cette technique est connue depuis plusieurs décennies dans les pays anglo-saxons ainsi qu'en Suisse mais est très peu connue dans le monde francophone et encore moins développée sur le terrain. Cet essai permet donc d'avoir des références technico-économiques régionales et actuelles. A partir de ces références, FM objectivera l'intérêt de mettre en place d'autres suivis, voire la diffusion de cette technique auprès des éleveurs wallons.

L'essai démonstratif a eu lieu chez un éleveur bio de la province de Luxembourg (commune de Vaux/Sûre) durant le mois de juillet 2023. Une tentative moins fructueuse a eu lieu au mois d'août.

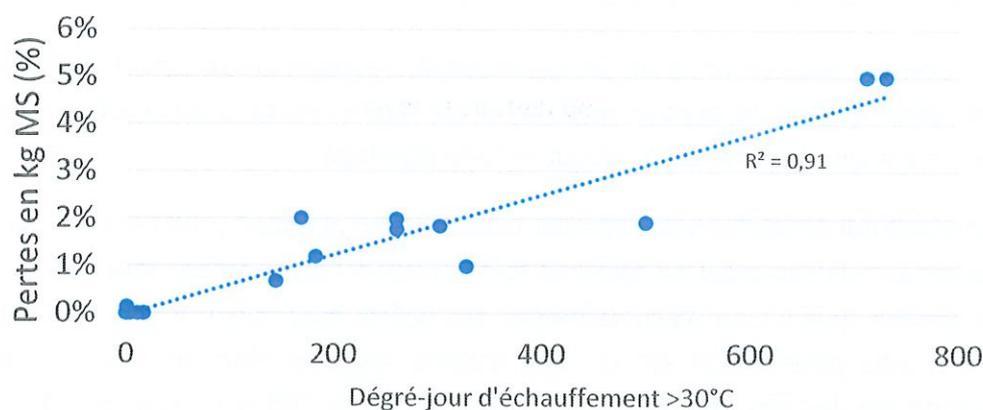
L'éleveur n'était pas équipé d'une presse avec injecteurs d'acide. Un « système-B » a été mis en place. Une cuve avec pompe et injecteur a été installée sur l'aérofaneur (Figure 1).



FIGURE 1 AÉROFANEUR AVEC INJECTEUR D'ACIDE

Sur une période de 80 jours, les températures ont été mesurées en continu dans certaines boules. Des analyses ont été faites avant et après. Sur le graphique 1, on peut voir que les pertes en kg de matière sèche sont plus importantes lorsque l'échauffement est important. Pour cette mesure, nous avons tenu compte de la durée et de l'intensité de l'échauffement.

Dans la suite de l'article, les différents facteurs qui influencent l'échauffement des ballots et donc la qualité des boules seront détaillés.



GRAPHIQUE 1 PERTES EN KG DE MS EN FONCTION DE L'ÉCHAUFFEMENT

Fauche

Pour la fauche, les bonnes pratiques habituelles sont de mise. Les respecter au mieux est d'autant plus important avec cette méthode de conservation. Faucher à une hauteur de 7 cm au moins est doublement bénéfique. Premièrement, l'herbe fauchée ne sera pas en contact direct avec l'humidité du sol et l'air pourra circuler plus facilement sous le fourrage. Deuxièmement, elle ne sera pas en contact avec la terre. On évite ainsi de contaminer le fourrage et on n'augmente pas le risque d'échauffement durant la conservation. Un dernier avantage, non lié à la conservation, est qu'une fauche plus haute favorisera la repousse de l'herbe.

Fanage

L'objectif est de ramasser le plus rapidement possible le fourrage avec une teneur en matière sèche adéquate. Dès lors, un fanage efficace est indispensable pour obtenir de bons résultats. En rassemblant le fourrage en andains étroits trop rapidement on diminue la vitesse de séchage. Si le fourrage est bien étalé il devra rester moins longtemps au sol pour atteindre le niveau de matière sèche recherchée. S'il reste moins longtemps au sol, il y aura moins de pertes d'éléments solubles.

La première phase de séchage est une phase d'évapotranspiration au niveau des stomates. Mais pour cela il faut que les stomates soient ouverts. Pour être ouverts, ils ont besoin de lumière.

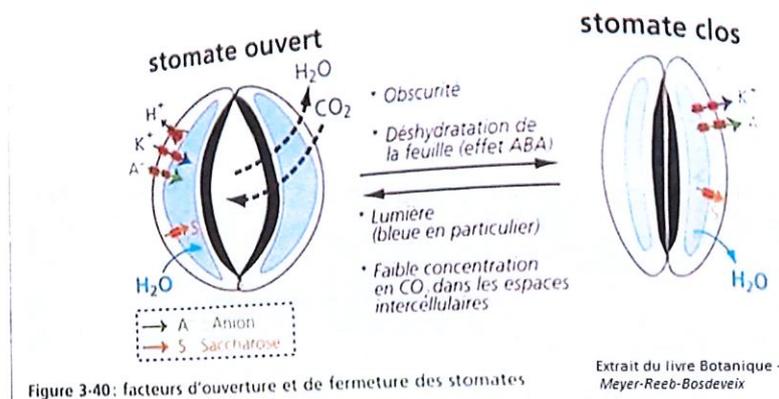


FIGURE 2 FACTEURS D'OUVERTURE ET FERMETURE DES STOMATES (RIOU, 2019)

Cette 1^{ère} phase peut permettre une évacuation de 30% de l'eau contenue dans la plante. Il faut donc favoriser des andains larges dans lesquels, la majorité des stomates seront ouverts. Dans les andains étroits, les stomates se situant dans le milieu ou à la base de l'andain sont fermés, vu qu'ils n'ont d'accès au soleil.

Dès que le foin est à 60% de matière sèche, la vitesse de séchage va diminuer. Elle dépendra de l'humidité relative de l'air à proximité du fourrage et de la température.

PROTOCOLE D'ESSAI

Application et dose d'acide

Le produit utilisé est un acide propionique tamponné. Sa composition est de 73% d'acide propionique et 21% de propionate d'ammonium. Selon LACEY et LORD (1977) de tous les produits testés, l'acide propionique et le propionate d'ammonium se sont avérés les plus intéressants pour la conservation des foin humides. Le propionate d'ammonium présente l'avantage, par rapport à l'acide propionique d'être moins volatil et moins corrosif (Zwaenepoel, 1986).

Le propionate d'ammonium est un sel d'acide propionique. Il n'est pas corrosif, il est peu volatil et est un fongicide et bactéricide efficace.

Le conservateur ne sera efficace que s'il est appliqué de manière homogène. L'avantage de l'appliquer lors du passage avec l'aérofaneur, c'est qu'il sera appliqué sur des fines couches de foin. Un des inconvénients de cette méthode c'est que la dose d'acide ne sera pas modifiée automatiquement en fonction de l'humidité du foin. Il faut donc connaître la teneur en matière sèche du foin à récolter. Il faudra prendre en compte la teneur en humidité la plus élevée dans la parcelle. Cette méthode engendre une surconsommation d'acide.

La presse doit également suivre juste derrière pour éviter une trop grande perte d'acide par volatilisation.



FIGURE 3 PRESSAGE DU FOIN

Connaître la teneur en matière sèche

Connaître la teneur en matière sèche est indispensable pour doser au mieux la quantité d'acide nécessaire. Il existe sur le marché des presses équipées de capteur infrarouge, d'injecteurs et d'un logiciel qui adapte la dose automatiquement selon la teneur en MS du foin. Dans notre cas, il fallait estimer cette teneur en matière sèche avant de commencer l'essai.



FIGURE 4 PRESSE AVEC INJECTEURS D'ACIDE

Pour avoir une idée de la teneur en matière sèche il existe différentes méthodes (Shewmaker et Thaemert, 2004).

TABLEAU 2 MÉTHODES POUR DÉTERMINER LA MATIÈRE SÈCHE

Méthode	Gamme d'humidité (%)	Taille de l'échantillon (g)	Durée du test	Erreur typique (%)
Micro-ondes	15-100	50-200	5-15 minutes	-2 à +1
Testeur Koster	20-90	100	30 minutes	+/- 3
Sonde électronique	8-40	Boule ou andain	1 minute	+/- 5
Étuve	0-100	10-1000	5h à 3 jours	+/- 1

Il y aura bien entendu une certaine hétérogénéité dans la parcelle. Après avoir mesuré l'humidité en différents points, il vaut mieux prendre en compte la valeur la plus haute pour choisir la dose.

Dans le cadre de l'essai, nous avons à disposition le spectromètre portatif du cra-w. Il nous a permis d'estimer la matière sèche à différents endroits dans la parcelle avant de presser. Une fois la première boule pressée, nous avons effectué des mesures avec la sonde électronique en plus.

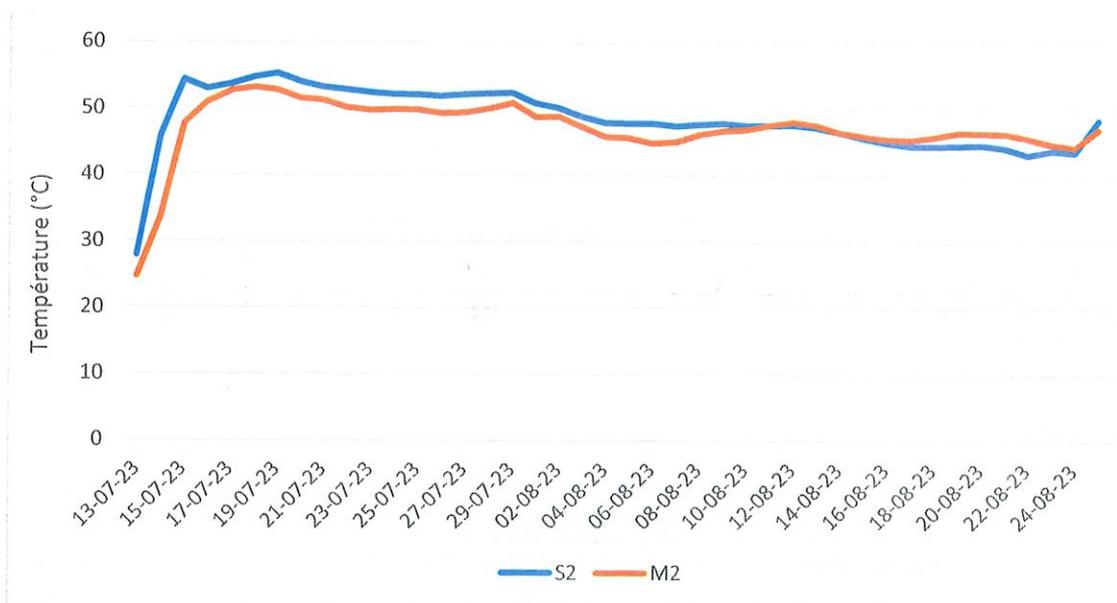


FIGURE 6 UTILISATION DU SPECTROMÈTRE PORTATIF



FIGURE 7 UTILISATION DE LA SONDE ÉLECTRONIQUE

Bien estimer la teneur en matière sèche est important pour appliquer la bonne dose d'acide mais aussi parce qu'au-delà de 25% d'humidité, la conservation avec acide s'avère inefficace (Leduc, 2021). Nous avons d'ailleurs pu l'observer lors de notre essai avec foin récolté à un stade avancé. Les 2 boules les plus humides (tableau 3) se sont échauffées (graphique 2) tout au long de la période de stockage. Des champignons se sont développés dans ces boules, qui n'étaient plus consommables par les animaux.



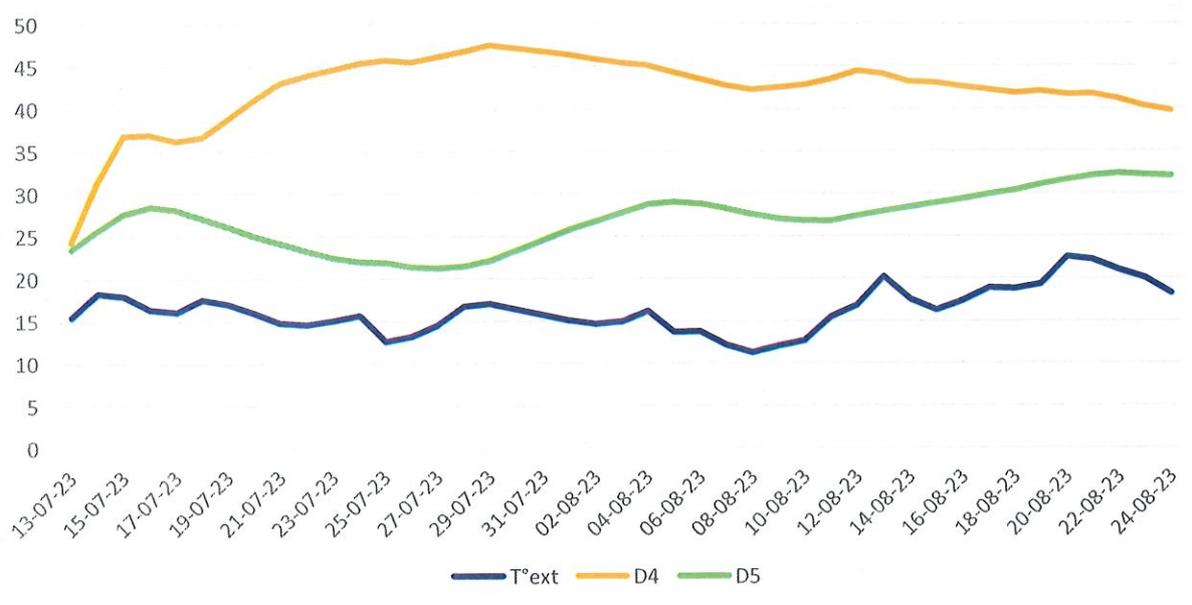
GRAPHIQUE 2 ÉVOLUTION DE LA TEMPÉRATURE DE DEUX BOULES À 27% D'HUMIDITÉ

TABLEAU 3 CARACTÉRISTIQUES DES BOULES S2 ET M2

	S2 Cœur serré - 3l/t	M2 Cœur mou- 3l/t
Poids sec	310	338
%Humidité	27	27

Densité des boules

La taille et la densité des boules ont une influence sur leur échauffement spontané. La chaleur produite dans des boules contenant plus de matière est plus difficile à dissiper. Dans l'essai réalisé cette année, on a pu observer cette tendance avec plusieurs ballots. Un exemple est illustré par les deux graphiques ci-dessous.

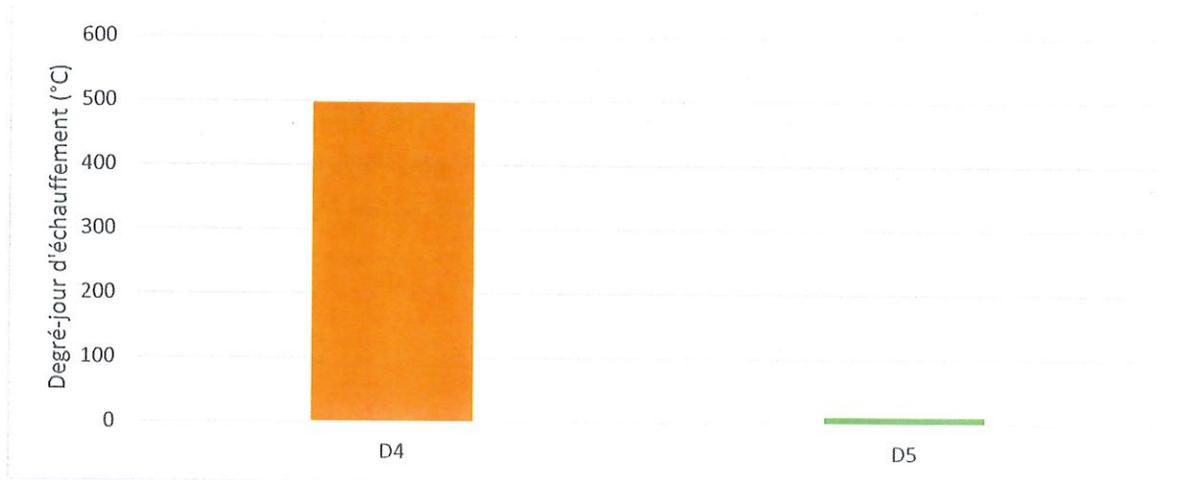


GRAPHIQUE 3 ÉVOLUTION DE LA TEMPÉRATURE DE DEUX BOULES À CŒUR MOU

TABLEAU 4 CARACTÉRISTIQUES DES BOULES D4 ET D5

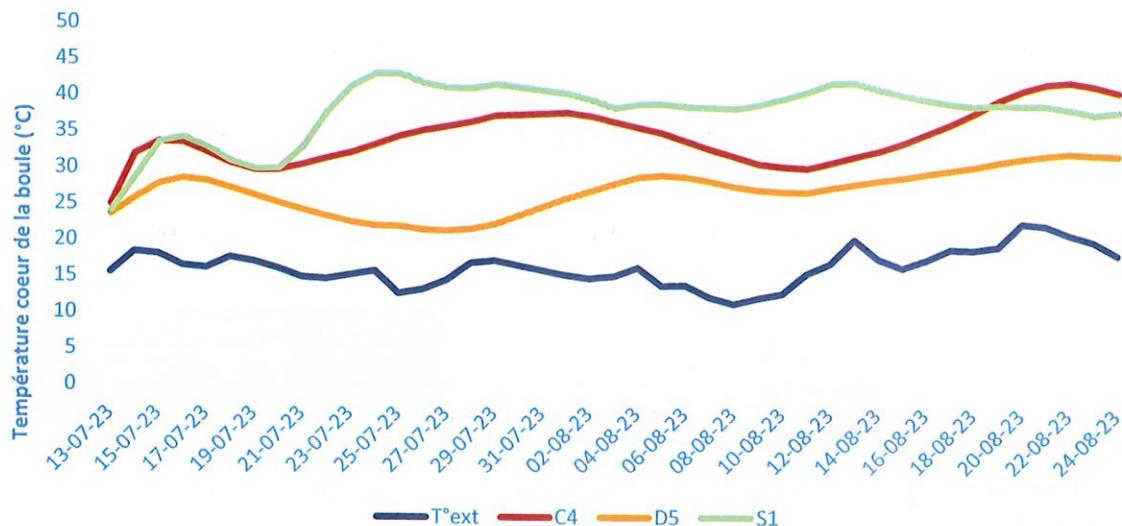
	D4 Cœur mou- 3l/t		D5 Cœur mou – 3l/t	
	Avant	Après	Avant	Après
MS (%)	78	83	77	82
Poids sec	334	327 (-2%)	300	299 (-0%)
Densité (kg MS/m ³)	205		183	
Sucres (%)	15	11 (-26%)	14	12 (-19%)
VEM (/kg MS)	706	662 (-8%)	746	691 (-6%)

La boule D5 pour une teneur en matière sèche plus faible mais aussi une densité plus faible s'est moins échauffé que la D4. Les pertes énergétiques (tableau 4) sont cependant assez similaires entre les 2 boules.



GRAPHIQUE 4 DEGRÉ-JOUR D'ÉCHAUFFEMENT DE 2 BOULES À CŒUR MOU

On a essayé de comparer l'utilisation de couteaux ou non et différents types de pressage (cœur mou VS cœur serré). Sur le graphique 4, on peut observer les tendances qui se dégagent en fonction du type de pressage. Pour une même teneur en matière sèche de départ et un même stockage, les boules à cœur serré et celles avec couteaux ont tendance à chauffer plus que les boules à cœur mou. Les trois boules comparées ont la même teneur en matière sèche.

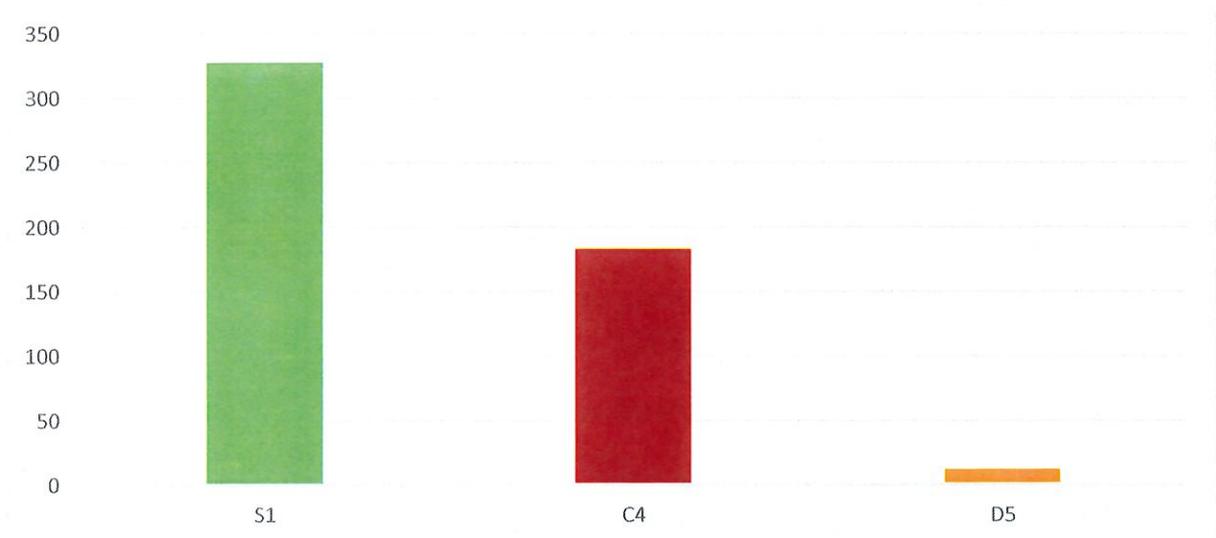


GRAPHIQUE 5 ÉVOLUTION DE LA TEMPÉRATURE POUR DES BOULES À CŒUR SERRÉ, CŒUR MOU ET HACHÉE

Ce ne sont que des tendances mais on observe que pour une même teneur en matière sèche les boules avec un cœur mou s'échauffent moins que celle avec un cœur serré. Celles pour lesquelles les couteaux de la presse ont été activés se situent entre les deux. En regardant l'impact sur les pertes en sucres, en énergie et en kg de MS (tableau 5) on voit que les différences sont loin d'être significatives entre les différentes boules.

TABLEAU 5 CARACTÉRISTIQUES DES BOULES S1, C4 ET D5

	S1 Cœur serré -3 l/t		C4 Cœur mou avec couteaux – 3l/t		D5 Cœur mou- 3l/t	
	Avant	Après	Avant	Après	Avant	Après
% MS	77	84	77	84	77	83
Poids sec	320	316 (-1%)	327	319 (-2%)	300	299 (-0%)
Densité (kg MS/m ³)	196		200		183	
Sucres (%)	16	15 (-3%)	15	14 (-10%)	14	12 (-19%)
VEM (/kg MS)	719	717 (-1%)	695	691 (-3%)	746	691 (-6%)



GRAPHIQUE 6 DEGRÉ JOUR D'ÉCHAUFFEMENT POUR DES BOULES À CŒUR MOU, CŒUR SERRÉ ET HACHÉE

Stockage des boules

Les boules doivent être stockées à l'abri de la pluie. Elles ne doivent pas être empilées directement les unes sur les autres pour éviter que la condensation ne s'accumule dans la balle la plus haute. Idéalement, elles ne doivent pas être posées sur leur face plane et il faut qu'il y ait un peu d'espace entre chaque boule pour permettre une meilleure circulation de l'air et donc une meilleure évacuation de l'humidité.



FIGURE 5 STOCKAGE DES BOULES

Si les ballots sont stockés sous une bâche, il faut faire en sorte que la bâche ne soit pas directement en contact avec les ballots pour éviter tout risque de condensation.

Coût économique de la méthode

Pour ce calcul, voici les données qui ont été utilisées :

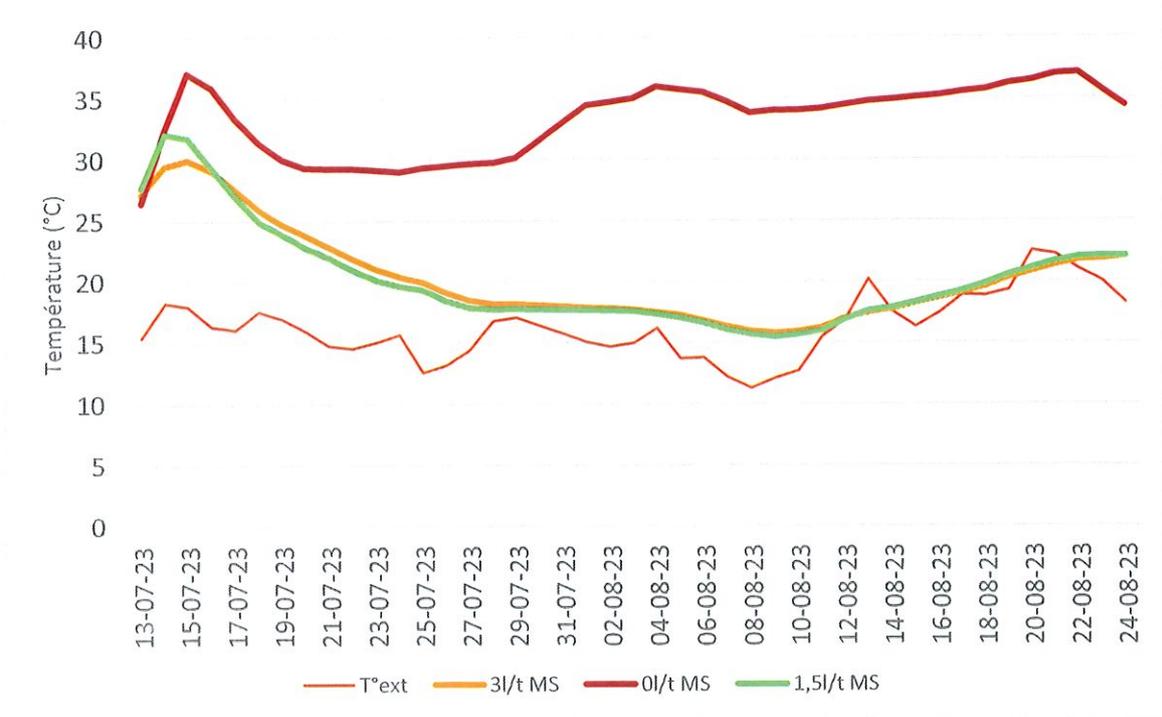
- 2,19€/kg d'acide propionique
- 78€/ rouleau de plastique
- 22 boules enrubannées en moyenne avec 1 rouleau
- 1 boule = en moyenne 320 kg de MS

TABLEAU 6 COÛT ÉCONOMIQUE DE LA MÉTHODE

Prix méthode acide propionique (AP)		Prix enrubannage
[80-85%MS] = 1,5l/t	~4€/t MS	~11€/t MS
[80-85%MS] = 3l/t	~8€/t MS	
[75-80%MS] = 4l/t	~11€/t MS	
[70-75%MS] = 5l/t	~16€/t MS	

Le prix d'une balle enrubannée dépend très peu de la teneur en matière sèche. En pratique, la plupart des éleveurs disent enrubanner en 6 couches quelle que soit la teneur en MS. Le prix de la méthode AP lui dépend fortement de la teneur en matière sèche. Logique, vu que plus la teneur en matière sèche est faible, plus il faut appliquer de l'acide pour éviter un échauffement des boules.

Dans le cas de l'essai, nous avons utilisé une demi-dose par rapport à ce qui est recommandé en théorie par Beaumont et al (2011). Pour nos boules, cette quantité d'acide était suffisante. Mais le foin utilisé dans l'essai était un vieux foin, moins susceptible à l'échauffement, et ces boules avaient toutes des teneurs en matière sèche proches ou supérieures à 80%. Certaines n'avaient peut-être même pas besoin d'acide pour ne pas s'échauffer.



Graphique 7 évolution de la température pour en fonction de la quantité d'acide (0l/t ; 1,5l/t ; 3l/t)



GRAPHIQUE 8 DEGRÉ JOUR D'ÉCHAUFFEMENT EN FONCTION DE LA QUANTITÉ D'ACIDE

La comparaison de ces boules nous montre que l'acide a très légèrement limité l'échauffement des boules. On remarque qu'à cette teneur en matière sèche pour ce fourrage, la dose de 1,5l/t est déjà trop importante. La boule « témoin » reste sous les 40°C et surtout on n'observe pas de grosses différences au niveau des pertes énergétiques. La boule sans acide atteint même les 85% de matière sèche après les 80 jours contrairement aux deux autres. Il serait intéressant de vérifier le stockage à plus long terme des boules traitées à l'acide.

TABLEAU 7 CARACTÉRISTIQUES DES BOULES M5, M01 ET R1

	M5 Cœur mou -3l/t		M01 Cœur mou-1,5l/t		R1 Cœur mou- 0l/t	
	Avant	Après	Avant	Après	Avant	Après
% MS	79	82	79	82	79	85
Poids sec	296	293 (-1%)	289	289 (-0%)	303	301 (-1%)
Sucres (%)	14	14 (-1%)	14	13 (-7%)	17	15 (-11%)
VEM (/kgMS)	713	711 (-1%)	779	734 (-6%)	782	773 (-2%)

Les limites de la méthode

Lors des suivis de cette année nous avons été confrontés à différents problèmes qui ont compliqué la réalisation de l'essai.

Idéalement, nous voulions tester cette méthode sur un fourrage plus riche. La météo et la disponibilité de l'entrepreneur en ont décidé autrement lors de l'essai du mois de juillet.

Une hygrométrie trop élevée (difficulté à sécher le fourrage) lors du 2^{ème} essai au mois d'août ne nous a pas permis de réaliser l'essai. Les boules ont été pour la plupart enrubannées.

Au moins de septembre, la quantité importante de fourrage a fait que l'agriculteur a choisi de faire un silo plutôt que de faire du foin.

La place nécessaire pour la première phase de stockage est un facteur limitant de la technique. De plus, d'après la littérature, le stockage à long terme de ces ballots n'est pas recommandé.

Conclusion

Cette méthode n'offre bien entendu pas une réponse complète à la problématique de l'enrubannage. Elle peut cependant diminuer un peu les quantités de plastique utilisées dans certains cas. La conclusion la plus importante de ce premier essai est qu'un « système B » pour l'application de l'acide peut fonctionner. Il ne faut pas d'office s'équiper d'une presse avec injecteurs d'acide. Cette information est importante car elle permet d'envisager la méthode comme une réponse aux enrubannages d'urgence juste avant l'arrivée d'un orage imprévisible. On peut aussi l'envisager pour des foins de légumineuses. L'utilisation d'acide permettrait de les laisser moins longtemps au sol. Le risque de perdre des feuilles lors du fanage serait réduit et le fourrage récolté serait donc de meilleure qualité. Cette méthode reste relativement coûteuse, il faut que le fourrage récolté en vaille la peine.

Perspectives

L'essai devra être répété sur des fourrages plus jeunes et donc plus riches. En effet, le foin que nous avons à disposition ne nous permet pas de tirer des conclusions généralisables. Pour ce foin, l'utilisation d'acide était un peu du gaspillage. Avec quelques heures de plus pour les boules les plus humides, on aurait pu se passer d'acide pour la conservation du foin.

Bibliographie :

Amyot A. (2003), Les additifs pour le foin et l'ensilage : mode d'action et recommandations d'utilisation pour chaque type de produit

Beaumont et al. (2011). Réalisation de foin précoce traité à l'acide propionique. *Fourrages* 206, 125-128

Coblentz W.K. and al. (2012), Storage characteristics, nutritive value, energy content, and in vivo digestibility of moist, large rectangular bales of alfalfa-orchardgrass hay treated with a propionic acid-based preservative. *J. Dairy Sci.* 96 :2521–2535

Coblentz W.K. and al. (2013), Propionic Acid Preservatives for Hay. *Focus on Forage* - Vol 15 : No. 5

Lacey J. (1977) Preservation of baled hay with propionic and formic acids and a proprietary additive. *Ann. appl. Biol.* (1978), 88,65-73

Riou Pierre-Jean (2019), Les stomates. <https://sciences-nature.fr/stomates-orifices-permettant-echanges-gazeux-chez-les-vegetaux/>

Undersander D. (2016) HAY DRYING, PRESERVATIVES, CONDITIONING, ASH CONTENT

Zwaenepoel P. (1986) Biodeteriorations et conservation des foins humides. *Sciences du Vivant* [q-bio]. Université Blaise Pascal-Clermont-Ferrand II, 1986.Français. tel-00855341

