

DÉVELOPPEMENT ET VALORISATION
Volet 5. Appui à l'adaptation et au développement régional

Rapport de projet

**Utilisation de l'énergie solaire pour le
séchage de foin en petites balles
PHASE II : Évaluation du séchage dans deux types de grange**

REQUÉRANT(E) : Ferme Richard Matte

**André Amyot, agr.
et
Jocelyn Marceau, ing.**

Janvier 2008

Résumé

Une deuxième pousse de graminées (fléole des prés et brome inerme) a été récoltée à la mi-septembre à 75% de matière sèche et pressée en petites balles relativement denses (160 kg MS/m³). Une partie a été conservée dans une grange équipée d'un système de séchage à l'air ambiant (grange conventionnelle) et l'autre dans une grange équipée d'un système permettant de capter l'énergie solaire et de la récupérer pour réchauffer l'air de séchage (grange solaire). On a suivi le séchage de ce foin pendant 29 jours et évalué sa qualité de conservation. Pendant le test, les ventilateurs ont fonctionné pendant le jour (11,8 h/j en moyenne) et l'air soufflé dans le foin a été en moyenne 3,8°C plus élevée que l'air extérieur dans la grange solaire et 2,0°C plus élevée que celui-ci dans la grange conventionnelle. La pression statique a également été un peu plus élevée dans la grange solaire que dans la grange conventionnelle.

Globalement, les balles de foin (26 kg à la mise en grange) ont subi une perte de poids plus rapide et plus poussée dans la grange solaire que dans la grange conventionnelle. Après 29 jours, leur poids avait diminué de 3,0 kg (perte de 2,6 kg d'eau et 0,4 kg de MS) dans la grange conventionnelle et de 4,1 kg (perte de 3,7 kg d'eau et 0,4 kg de MS) dans la grange solaire. Leur teneur en matière sèche avait augmenté de 8,4% (de 75,2% à 83,6%) dans la grange conventionnelle et de 11,5% (de 74,2% à 85,7%) dans la grange solaire. Cependant, la perte de poids a été beaucoup plus rapide, et plus prononcée après 29 jours de conservation, dans le rang 1 que dans le rang 4 et le rang 7, aussi bien dans la grange solaire (4,7 kg vs 3,9 kg et 3,8 kg, respectivement) que dans la grange conventionnelle (3,6 kg vs 2,9 kg et 2,7 kg, respectivement).

Lors de l'évaluation sensorielle, le foin conservé dans la grange solaire s'est révélé moins poussiéreux que celui séché à l'air ambiant (note de 8,3 vs 7,0 sur 10). Le foin du rang 1 était pratiquement exempt de poussière dans les deux granges, mais la quantité de poussière augmentait moins rapidement, du rang 1 au rang 4 et au rang 7, dans la grange solaire (note de 8,8, 8,3 et 7,8, respectivement) que dans la grange conventionnelle (note de 9,2, 6,7 et 5,1, respectivement).

Puisque aucun système n'a permis d'assurer une parfaite conservation du foin, on conclut que pour du foin récolté en fin de saison (mi-septembre) et pressé à une densité relativement élevée (160 kg MS/m³), on devrait viser une teneur en matière sèche moyenne supérieure à 75%, même si on utilise l'énergie solaire pour réchauffer l'air de séchage. Cependant, les résultats semblent indiquer un avantage à utiliser l'énergie solaire même en fin de saison, puisque 85% du foin conservé dans la grange solaire était de bonne qualité (très peu ou peu poussiéreux) alors que c'était le cas pour seulement 65% du foin conservé dans la grange conventionnelle.

Des études plus exhaustives devront être faites afin de démontrer plus clairement les avantages du captage de l'énergie solaire pour réchauffer l'air de séchage du foin, compte tenu que les améliorations observées dans cette étude semblent dues non seulement à l'élévation de la température de l'air de séchage mais aussi au maintien d'une pression statique un peu plus élevée, du moins durant une partie du test, dans la grange solaire comparativement à la grange conventionnelle.

Remerciements

Nous voulons remercier les personnes qui ont contribué à la réalisation de ce test et les organismes qu'ils représentent. D'abord, M. Richard Matte pour sa collaboration soutenue. Son intérêt et son empressement à nous assister ont été fortement appréciés. Ensuite, M. Michel Atkins, technologiste agricole à l'IRDA, qui a assuré le suivi technique de l'essai de séchage. Aussi, M. Yvan Montambault, technologiste agricole au MAPAQ, pour sa collaboration à différentes étapes du projet. Des remerciements également à M. Émile Houle du CRSAD et M. Jacques Labonté de l'IRDA pour le prêt d'équipements électroniques et pour l'assistance accordée.

Introduction

Au Québec, le séchage en grange du foin en petites balles est généralement réalisé en le ventilant avec l'air ambiant de façon continue pendant environ 1 mois. Une telle façon de procéder est jugée efficace pour sécher du foin récolté à une teneur en matière sèche d'environ 75% et pressé à une densité relativement faible (125 kg MS/m^3). Cependant, lorsqu'on confectionne des balles relativement denses (160 kg MS/m^3), cette méthode permet difficilement de conserver du foin dont la teneur en matière sèche est inférieure à 78-80%.

Le captage d'énergie solaire et sa récupération pour le séchage du foin est une pratique fréquente en Europe. Elle permet d'augmenter l'efficacité du système de séchage du foin haché en vrac (Morissette et Savoie, 2007). Par contre, cette pratique est peu courante au Québec et on ne sait pas jusqu'à quel point elle pourrait être intéressante pour les producteurs de foin de commerce qui confectionnent des balles relativement denses.

Afin d'apporter des éléments de réponse à cette question, on a évalué le séchage du foin dans une grange aménagée de façon à utiliser l'énergie solaire captée au niveau de sa toiture métallique pour réchauffer l'air de séchage et dans une grange aménagée pour sécher le foin en le ventilant avec l'air ambiant.

Cet essai a été réalisé dans le but de vérifier l'hypothèse suivante :

Dans le foin récolté relativement humide (75% de matière sèche) et pressé en petites balles relativement denses (160 kg MS/m^3), le séchage en grange est plus rapide et plus poussé, et la qualité du produit final est meilleure lorsqu'on utilise l'énergie solaire captée par la toiture de la grange pour réchauffer l'air de séchage plutôt que d'avoir recours à la ventilation à l'air ambiant pour sécher le foin en grange.

Méthodologie

Une 2^{ième} pousse de graminées (fléole des prés et brome inerme), provenant d'un champ de la ferme de M. Richard Matte (Neuville, Québec), a été fauchée le 16 septembre 2007 avec une faucheuse-conditionneuse de 2,8 m de largeur (Vicon KM-281). Après avoir été fané à 4 reprises, ce foin a été pressé le 18 septembre, à une teneur en matière sèche d'environ 75%, avec une presse à petites balles (New Holland 570). Il a par la suite été manipulé avec le système Cardinal (grappin permettant de manipuler 18 balles à la fois).

Les quelques 300 balles confectionnées ont été utilisées pour évaluer le séchage du foin dans deux granges équipées d'un système de séchage différent. L'une avait une structure de bois et était pourvue d'une toiture à fermes triangulées recouverte de tôle. Elle avait été aménagée de façon à capter l'énergie solaire pour réchauffer l'air de séchage du foin (Marceau, 2007). L'autre avait une structure métallique en forme de dôme et une couverture de toile de PVC (10 onces). Elle avait été aménagée pour sécher le foin en le ventilant avec l'air ambiant. La première était orientée ouest/est et la seconde nord-ouest/sud-est (annexe 1). Dans chaque grange, le système de séchage était constitué de ventilateurs centrifuges actionnés par des moteurs de 5 HP, d'un conduit principal de 1,2 m x 1,2 m et d'un plancher latté de 20 cm de hauteur. La dernière section était entièrement pavée sur les 60 derniers cm pour éviter les fuites prévisibles au bout de la pile.

Dans chaque grange, 144 balles (8 rangées de haut x 18 balles par rangée) ont été placées sur un plancher latté ventilé (bloc expérimental) et 6 balles sur un plancher latté non ventilé (bloc témoin). Les blocs expérimentaux ont été confectionnés à la fin du remplissage de la grange, sur la partie du plancher latté la plus éloignée du conduit principal. Dans chacun des blocs expérimentaux, seulement les balles des rangées 1, 4 et 7 (au-dessus du plancher latté) ont fait l'objet d'un suivi. Lors de la mise en grange, les balles ont été attribuées en alternance à l'un ou l'autre des blocs expérimentaux et des blocs témoins, et les balles restantes ont servi à confectionner les rangs 2, 3, 5, 6 et 8 des blocs expérimentaux. De plus, des tuyaux d'environ 0,5 cm de diamètre interne ont été insérés dans le conduit principal et sous les rangs 1, 4 et 7 de chaque bloc expérimental, et la pression statique a été mesurée à plusieurs reprises pendant le séchage à chacun de ces niveaux, à l'aide d'un manomètre mobile. Des fils thermocouples ont aussi été insérés dans 4 balles des rangs 1, 4 et 7 de chacun des blocs expérimentaux et dans 4 balles de chacun des blocs témoins, et reliés à un enregistreur de données. La température de ces balles a été enregistrée en continu pendant toute la durée du test (figure 1).

Foin ventilé (bloc expérimental)			Foin non ventilé (bloc témoin)						
Col. A	Col. B	Col. C	Fond	1	2	3	4	5	6
1	7	13							
2	8	14	Milieu						
3	9	15							
4	10	16	Bord						
5	11	17							
6	12	18							

Figure 1. Détails d'une rangée de foin ventilé et d'un témoin non ventilé¹

¹ Les balles en gris ont fait l'objet d'un suivi élaboré : enregistrement de température pendant toute la période de séchage, détermination de la teneur en matière sèche au début et à la fin du test, analyse de la valeur nutritive finale et évaluation sensorielle.

Les 18 balles des rangs 1, 4 et 7 de chaque bloc expérimental et les 6 balles de chaque bloc témoin, soit 120 balles au total, ont fait l'objet d'un suivi sommaire : pesée lors de la mise en grange (jour 0) de même qu'après 6, 13 et 29 jours de conservation. De plus, 32 balles, soit les balles numéros 1 à 4 des rangs 1, 4 et 7 de chaque bloc expérimental et les balles nos 2 à 5 de chaque bloc témoin, ont fait l'objet d'un suivi élaboré. Des échantillons ont été prélevés dans ces balles lors de la mise en grange (jour 0) de même qu'après 29 jours de conservation, pour déterminer la teneur en matière sèche du foin. Des analyses (PB, ADF, NDF et N-ADF) ont également été faites sur 8 échantillons composites dans le but de déterminer la valeur nutritive du foin après 29 jours de conservation.

Le foin a été séché pendant 29 jours, c'est à dire du 18 septembre (261^{ème} jour julien) au 17 octobre (290^{ème} jour julien). Pendant cette période, 4 ventilateurs étaient en opération et une grande partie du plancher latté était ventilé dans la grange solaire. Par contre, 1 seul ventilateur était en opération et seulement une faible partie du plancher latté était ventilée dans la grange conventionnelle. Dans la grange solaire (150 à 200 tonnes de foin), le débit d'air (4 ventilateurs) était de 40 000 pi³/min (1140 m³/min) ou 200 à 266 pi³/min/tonne (570 à 760 m³/min/100 tonnes), pour une pression statique de 0,75 po d'eau (0,19 kPa). Dans la grange conventionnelle, le système a été ajusté de façon à avoir dans le foin, une pression statique le plus comparable possible à celle de la grange solaire. Les ventilateurs ont généralement été en opération pendant le jour (de 9 à 15 heures/jour; en moyenne 11,8 heures/jour) et arrêtés pendant la nuit. Ce mode de fonctionnement a été choisi afin d'éviter de refroidir trop le foin pendant la nuit. Si on n'a pas à réchauffer le foin au début de chaque journée, le séchage commence plus tôt. Il devrait en résulter un séchage plus rapide du foin. Cependant, on a opté pour un fonctionnement continu, du jour 276 au jour 280, après avoir noté une élévation de température dans certaines balles. À un stade plus avancé de séchage (du jour 283 au jour 286), les ventilateurs ont par contre été arrêtés pendant plus de 24 h à quelques reprises parce que les conditions n'étaient pas propices au séchage (annexe 2).

Après 29 jours de conservation, les 300 balles, à savoir les 144 balles séchées à l'air ambiant (18 balles/rang x 8 rangs), les 144 balles séchées dans la grange solaire et les 12 balles non ventilées (6 balles/grange x 2 granges), ont fait l'objet d'une évaluation visuelle, ce sans couper les cordes. Les balles ont alors été classées en 2 catégories : vendable ou non vendable. De plus, on a réalisé l'évaluation sensorielle des 32 balles qui avaient fait l'objet d'un suivi élaboré, ce après avoir coupé les cordes de ces balles pour permettre de bien examiner le foin. Pour réaliser cette évaluation, on a utilisé la grille de Cinq-Mars (2005) présentée au tableau 1.

Tableau 1. Grille d'évaluation sensorielle du foin destiné aux chevaux

	Note ¹										
Item	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Couleur	Vert foncé		Vert	Vert pâle		Brun pâle		Brun foncé		Blanchi	
Odeur	Fraîche			Moyenne		Faible				Moisi pourri	
Texture	Souple			Moyenne		Rigide					
Poussière	Aucune				Peu		Moyenne			Beaucoup	

¹Note totale sur 40 points. Pour être acceptable un foin doit obtenir une note d'au moins 20 points.

En bas de cette note de passage, on n'achète ni ne sert ce foin aux chevaux.

Source : Cinq-Mars (2005).

Résultats

1. Généralités

1.1 Caractéristique du foin récolté

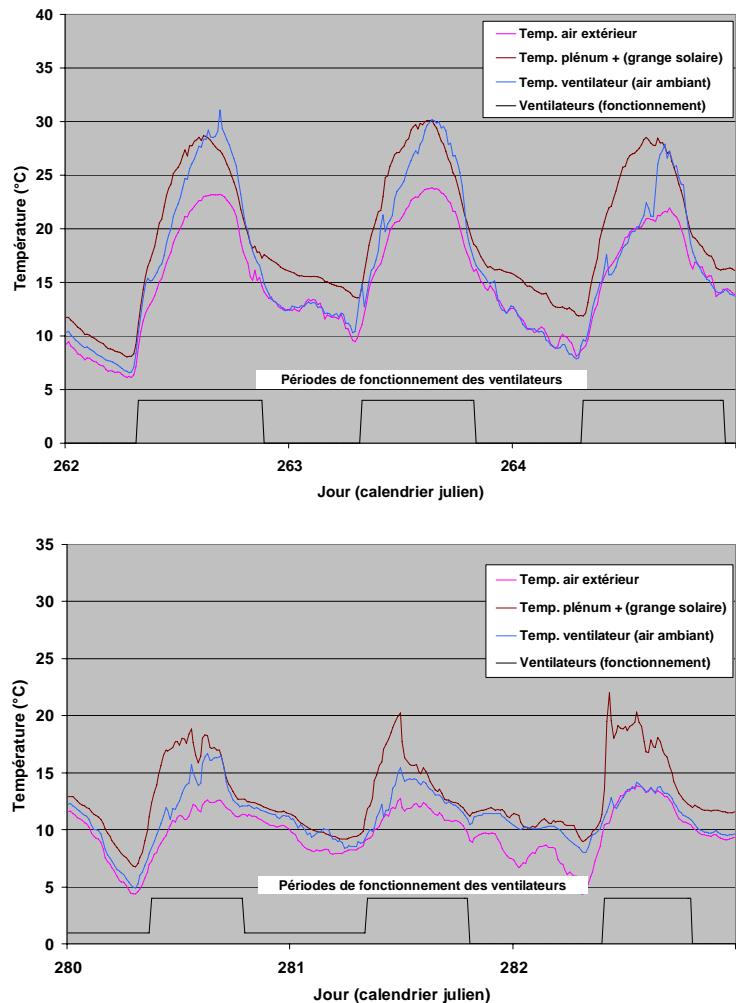
Au moment de la mise en grange, les balles échantillonnées avaient une teneur en MS de 75% (minimum de 70% et maximum de 80%) et pesaient 26 kg en moyenne. Ces balles (14 po x 18 po x 30-32 po) (35 cm x 45 cm x 75-80 cm) avaient en moyenne une densité de 155-165 kg MS/m³ (19,5 kg MS/0,118-0,126 m³).

1.2 Conditions de séchage

Température de l'air de séchage

L'évolution de la température de l'air extérieur et celle de l'air soufflé dans le foin dans chaque grange, pendant toute la durée de l'essai, sont présentées à l'annexe 2 et les détails pour certains jours en particulier à la figure 2. Certains jours, probablement ceux où le vent soufflait du nord-ouest, l'élévation de la température de l'air de séchage était presque aussi élevée dans la grange conventionnelle que dans la grange solaire alors que d'autres jours, probablement ceux où le vent ne soufflait pas du nord-ouest, elle était moins prononcée dans la grange conventionnelle que dans la grange solaire.

Figure 2. Température de l'air extérieur, de l'air du plenum positif dans la grange solaire et de l'air récupéré par le ventilateur dans la grange conventionnelle, et périodes de fonctionnement des ventilateurs : détails de l'évolution du 19 septembre (jour 262) au 21 septembre (jour 264) et du 7 octobre (jour 280) au 9 octobre (jour 282)



Ainsi, la température de l'air soufflé dans le foin a été en moyenne 3,8°C plus élevée que celle de l'air extérieur dans la grange solaire alors qu'elle a été 2,0°C plus élevée que cette dernière dans la grange conventionnelle, ce entre 8 h et 20 h. Cependant, une partie de l'élévation de température (1,7°C dans la grange solaire) serait due à la chaleur dégagée par les moteurs des ventilateurs (0,8°C dans la grange solaire) et à l'inertie thermique (0,9°C dans la grange solaire) (Marceau, 2007). De plus, la température maximale a été atteinte plus tôt en moyenne, dans la grange solaire (en début d'après-midi) que dans la grange conventionnelle (en fin d'après-midi) (figure 3).

L'élévation inattendue de la température de l'air de séchage dans la grange conventionnelle serait due au fait que le ventilateur récupérait de l'air qui s'était réchauffé dans la grange. Rappelons que cette grange était orientée nord-ouest/sud-est et était ouverte à ses deux extrémités, et que le ventilateur en opération était situé à son extrémité sud-ouest, près du mur qui était exposé au soleil de l'après-midi. Ainsi, lorsque le vent soufflait du nord-ouest, l'air qui s'engouffrait dans la grange par son extrémité nord-ouest se réchauffait, principalement en après-midi, en circulant sous la toile de PVC chauffée par le soleil, avant d'être récupérée par le ventilateur. La température maximale était atteinte plus tôt dans la grange solaire parce que son orientation ouest/est lui permettait de profiter pleinement du soleil en avant-midi.

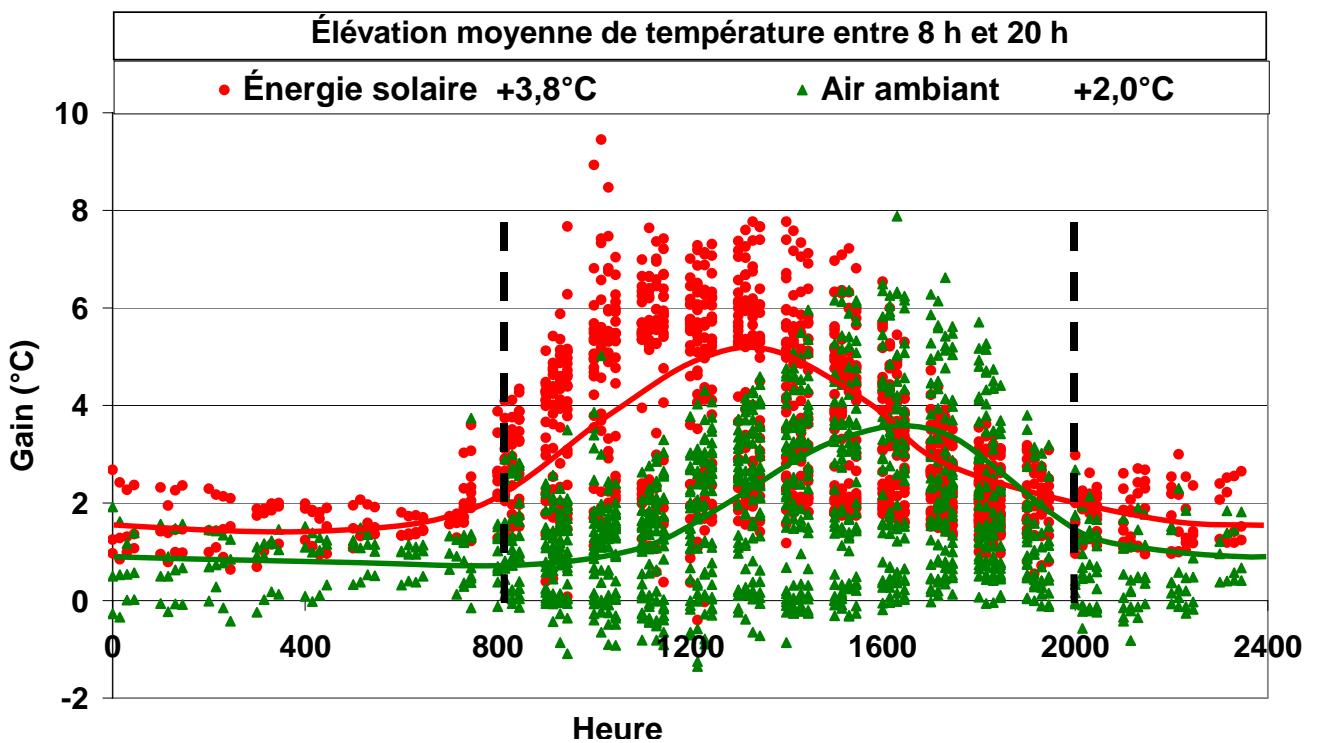


Figure 3. Gain de température en fonction de l'heure du jour, dans la grange solaire et la grange conventionnelle. On remarque que la grange conventionnelle a aussi bénéficié du réchauffement solaire.

Pression statique

Globalement la pression statique a été un peu plus élevée dans la grange solaire que dans la grange conventionnelle (en moyenne 0,78 po vs 0,71 po dans le plénium, 0,69 po vs 0,51 po sous le rang 1, 0,30 po vs 0,22 po sous le rang 4 et 0,14 po vs 0,08 po sous le rang 7) (figure 4). Cependant, ce ne fut pas le cas à chaque niveau pendant toute la durée du test. En fait, elle a été comparable dans le plénium (0,70 po vs 0,73 po) et sous le rang 1 (0,58 po vs 0,51 po) pendant la première moitié du test alors que pendant la seconde moitié du test ce fut le cas sous le rang 4 (0,30 po vs 0,27 po) et sous le rang 7 (0,15 po vs 0,11 po). Ainsi, pendant la première moitié du test la pression statique a chuté plus rapidement, à mesure qu'on s'éloignait du conduit principal, dans la grange conventionnelle que dans la grange solaire, probablement à cause de la présence de fuites d'air plus importantes. Par contre, ce fut le contraire pendant la seconde moitié du test (annexe 3).

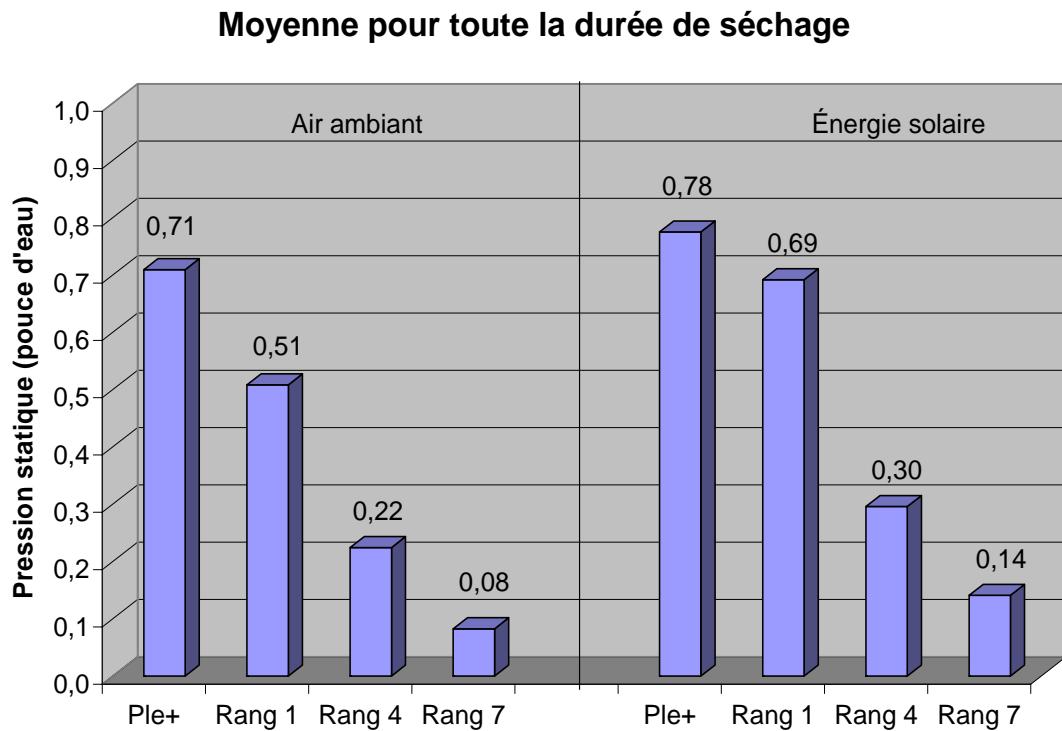


Figure 4. Pression statique moyenne, pour toute la durée de séchage, dans le plénium positif de même que sous les rangs 1, 4 et 7 dans chaque grange

Température du foin

Le jour de la mise en grange, la température du foin séché dans la grange solaire a dépassé 25°C dans le rang 7 (annexe 4) alors qu'on a observé un pic de 35°C dans chaque rang dans le foin séché à l'air ambiant (annexe 5). L'élévation de température plus importante du foin séché à l'air ambiant le jour de la mise en grange peut s'expliquer par le délai plus long (5-8 h) entre le pressage et la mise en grange que pour le foin séché dans la grange solaire (2-5 h). Par la suite, la température du foin séché dans la grange solaire s'est maintenue inférieure à 25°C sauf à 2 reprises (jour 275 et jour 276) dans le rang 4 pendant des périodes d'arrêt de la ventilation (annexe 4 et figure 5). Dans cette grange, c'est donc le foin du rang 4 qui risque le plus de présenter des signes de détérioration. Quant au foin séché à l'air ambiant, sa température s'est maintenue ensuite à un niveau inférieur à 25°C jusqu'au jour 270. À partir de ce moment, elle a été plus élevée dans le rang 7 que dans le rang 1 et le rang 4 pendant certaines périodes (jour 270 : maximum de 33°C vs 23°C) (jour 272 : maximum de 30°C vs 16°C) (jour 286 : maximum de 22°C vs 13-15°C) (annexe 5 et figure 6). Dans cette grange, c'est donc le foin du rang 7 qui risque le plus de présenter des signes de détérioration.

Régie des ventilateurs

Même si on avait opté au départ pour un fonctionnement des ventilateurs en discontinu, c'est-à-dire uniquement pendant le jour, afin d'éviter de refroidir trop le foin pendant la nuit, on les a fait fonctionner en continu, du jour 276 au jour 280, après avoir noté une élévation de température dans certaines balles. À un stade plus avancé de séchage (du jour 283 au jour 286), les ventilateurs ont par contre été arrêtés pendant plus de 24 h à quelques reprises parce que les conditions n'étaient pas propices au séchage.

Ainsi, le fonctionnement en discontinu (environ 12 heures/jour) est possible uniquement si on fait un suivi de la température du foin, comme c'était le cas dans cet essai, et qu'on change pour un fonctionnement en continu aussitôt que des signes de chauffage se manifestent. Le fait qu'on a pris trop de temps pour passer au fonctionnement continu lorsque des signes de chauffage se sont manifestés dans le rang 7 du foin séché à l'air ambiant (jour 270 à 273) a probablement causé la détérioration de ce foin. Par contre, le passage au fonctionnement en continu a été fait beaucoup plus rapidement après le début du chauffage du rang 4 du foin séché à l'énergie solaire (jour 275 et 276) de sorte qu'il n'en a pas résulté de détérioration significative.

D'autre part, il faut être prudent si on arrête les ventilateurs pendant 24 heures lorsque les conditions ne sont pas propices au séchage. Des périodes d'arrêt prolongées entre les jours 282 et 288 (114/144 heures) auraient pu être à l'origine d'une certaine détérioration de la qualité. Au cours de ces périodes d'arrêt, nous avons été en mesure de constater des élévations de température importantes dans les rangs 7 du foin séché à l'air ambiant : au jour 286, la température a été 9°C plus élevée dans le rang 7 que dans le rang 1 (22°C vs 13°C). Cependant, cela n'a probablement pas entraîné de détérioration de la qualité puisque la température n'a pas dépassé 22°C.

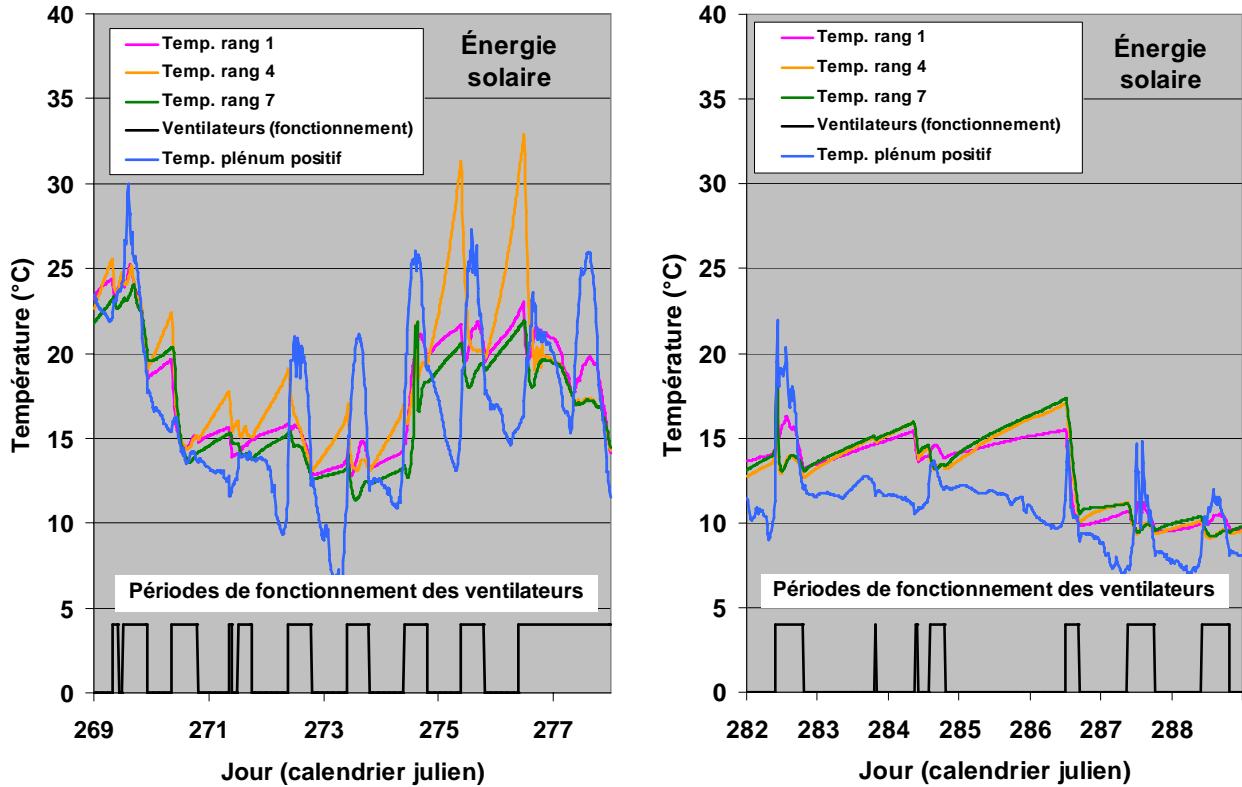


Figure 5. Evolution de la température du foin dans la grange solaire du 26 septembre (jour 269) au 4 octobre (jour 277) et du 9 octobre (jour 282) au 15 octobre (jour 288)

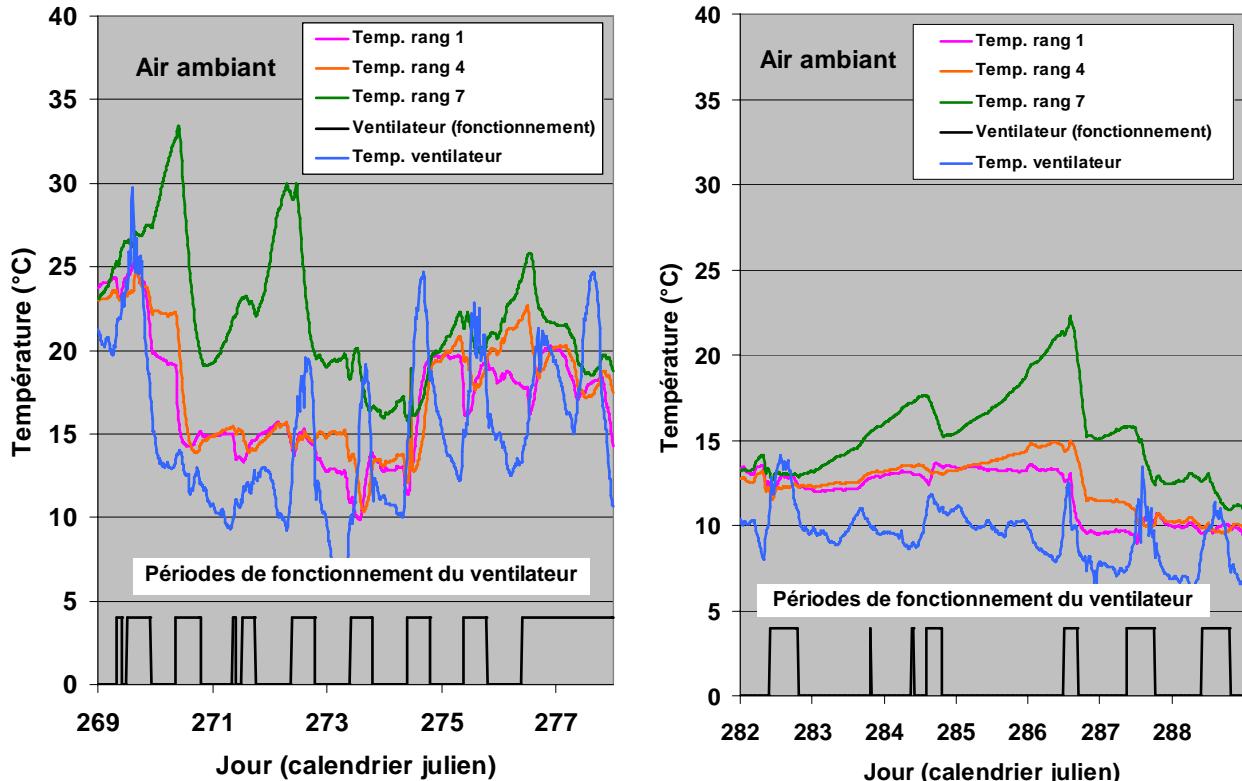


Figure 6. Evolution de la température du foin dans la grange conventionnelle du 9 octobre (jour 282) au 15 octobre (jour 288) et du 9 octobre (jour 282) au 15 octobre (jour 288)

2. Perte de poids en fonction de la durée de séchage

2.1 Pour l'ensemble des balles qui ont fait l'objet d'un suivi de poids

Pour chaque système de séchage, les pesées de l'ensemble des 54 balles sous observation (18 balles dans chacune des rangées 1, 4 et 7), lors de la mise en grange (jour 0) de même qu'après 6, 13 et 29 jours de conservation, ont permis de suivre l'évolution de leur poids et d'évaluer l'effet de bordure. On présente ci-après les résultats obtenus en fonction de la durée de conservation, soit :

- La perte moyenne de poids par balle pour chaque système de séchage.
- La perte de poids selon le rang, c'est-à-dire la hauteur au-dessus du plancher latté, pour chaque système de séchage.
- La perte de poids de la colonne de balles situées à l'extrémité du plancher latté (partie fermée par un contreplaqué) comparativement aux colonnes voisines, pour différents rangs de foin.
- La perte de poids des balles situées sur la face de reprise comparativement aux balles situées plus en profondeur dans la masse de foin, pour différents rangs de foin.

Effet du système de séchage

En moyenne, les balles séchées dans la grange solaire ont perdu plus de poids que celles séchées à l'air ambiant : l'écart est de 0,4 kg après 6 jours (2,0 vs 1,6 kg/balle), 0,4 kg après 13 jours (2,9 kg vs 2,5 kg/balle) et 0,6 kg après 29 jours (3,9 vs 3,3 kg/balle). (figure 7).

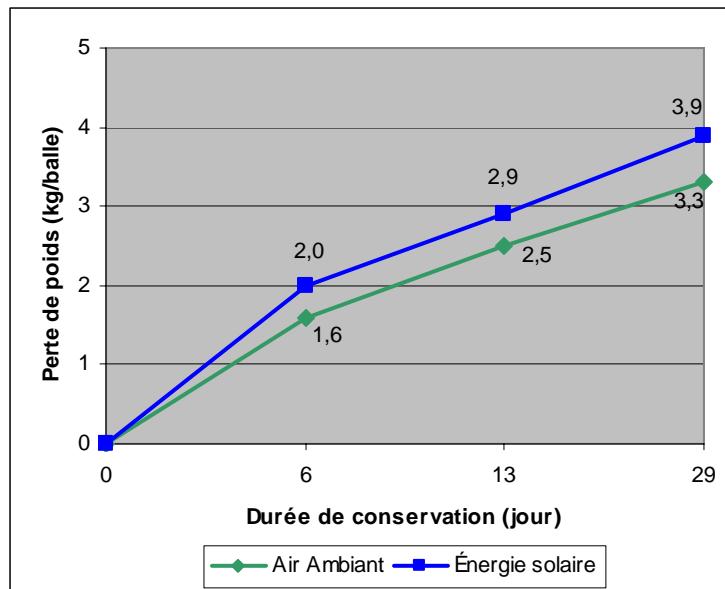


Figure 7. Perte de poids de l'ensemble des balles de foin sous observation en fonction du système de séchage et de la durée de conservation¹

¹ Moyenne de 54 balles (18 balles/rangée x 3 rangées) pour chaque système de séchage.

Effet du système de séchage et du rang

Les résultats concernant la perte de poids des balles de foin en fonction du système de séchage et du rang, pour différentes durées de conservation, (figure 8) montrent que :

- La perte de poids a été plus rapide et plus poussée dans le rang 1 que dans le rang 4 et le rang 7, dans le foin séché à l'air ambiant (2,6 vs 1,3 et 1,0 kg/balle après 6 jours et 3,5 vs 3,3 et 3,3 kg/balle après 29 jours) tout comme dans celui séché dans la grange solaire (3,5 vs 1,4 et 1,2 kg/balle après 6 jours et 4,3 vs 3,9 et 3,5 kg/balle après 29 jours).
- La perte de poids a été un peu plus rapide dans le rang 4 que dans le rang 7, aussi bien dans le foin séché dans la grange solaire (1,4 vs 1,2 kg/balle après 6 jours) que dans celui séché à l'air ambiant (1,3 vs 1,0 kg/balle après 6 jours), mais après 29 jours de conservation elle a été plus élevée dans le rang 4 que dans le rang 7 dans le foin séché dans la grange solaire (3,9 vs 3,5 kg/balle) alors qu'elle a été semblable dans chacun de ces rangs dans le foin séché à l'air ambiant (3,3 kg/balle).
- Quel que soit le rang, la perte de poids a été plus grande dans le foin séché dans la grange solaire que dans celui séché à l'air ambiant après 29 jours de conservation (4,3 vs 3,5 kg/balle dans le rang 1 ; 3,9 vs 3,3 kg/balle dans le rang 4 et 3,5 vs 3,3 kg/balle dans le rang 7). C'est dans le rang 1 que l'écart a été le plus grand (0,8 kg/balle) et dans le rang 7 qu'il a été le plus faible (0,2 kg/balle).

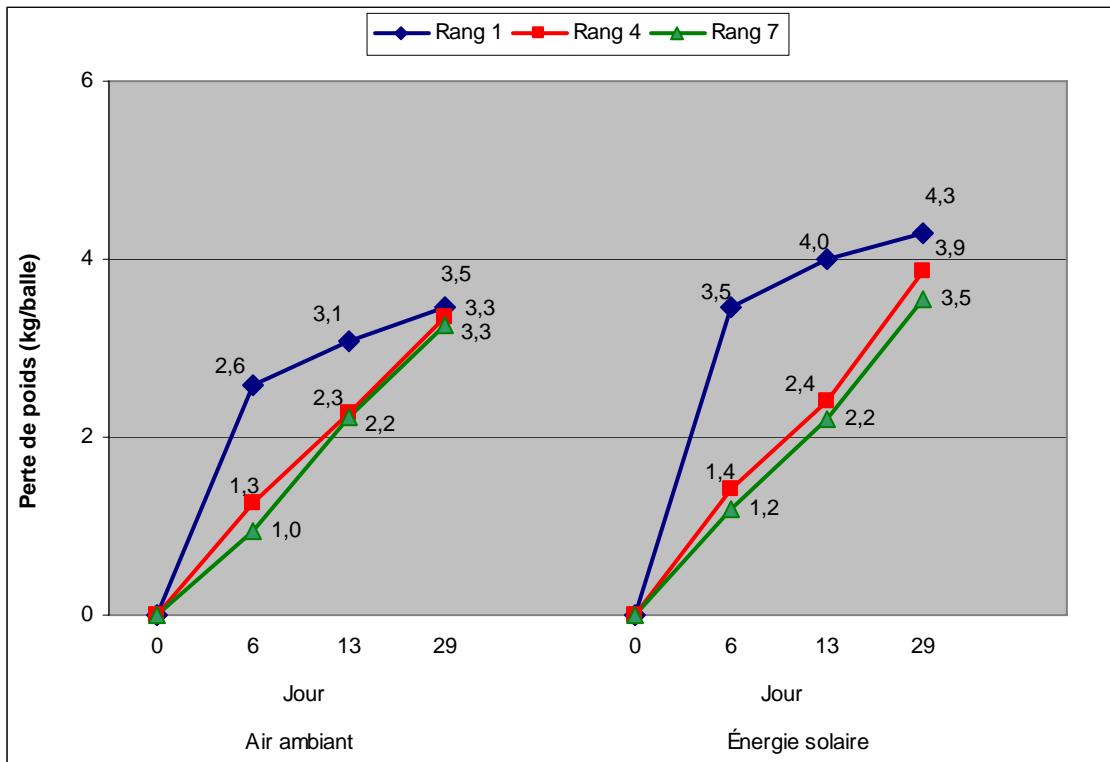


Figure 8. Perte de poids de l'ensemble des balles de foin sous observation en fonction du système de séchage, du rang et de la durée de conservation¹

¹ Résultat du suivi de 54 balles (18 balles/rangée x 3 rangées) pour chaque système de séchage.

Effet du rang et de la colonne

Les résultats concernant la perte de poids des balles de foin en fonction du rang et de la colonne, pour différentes durées de conservation, (figure 9) montrent que :

- Les balles placées à l'extrême du plancher latté, c'est-à-dire sur la partie de ce dernier qui est fermée par un contreplaqué (colonne C), ont perdu moins de poids que celles des colonnes A et B dans le rang 1 (3,6 vs 4,0 kg/balle après 29 jours), comme on pouvait s'y attendre.
- Par contre, elles ont perdu autant de poids dans le rang 4 (3,7 vs 3,6 kg/balle après 29 jours) et plus dans le rang 7 (3,8 vs 3,2 kg/balle après 29 jours), ce qui est difficile à expliquer.

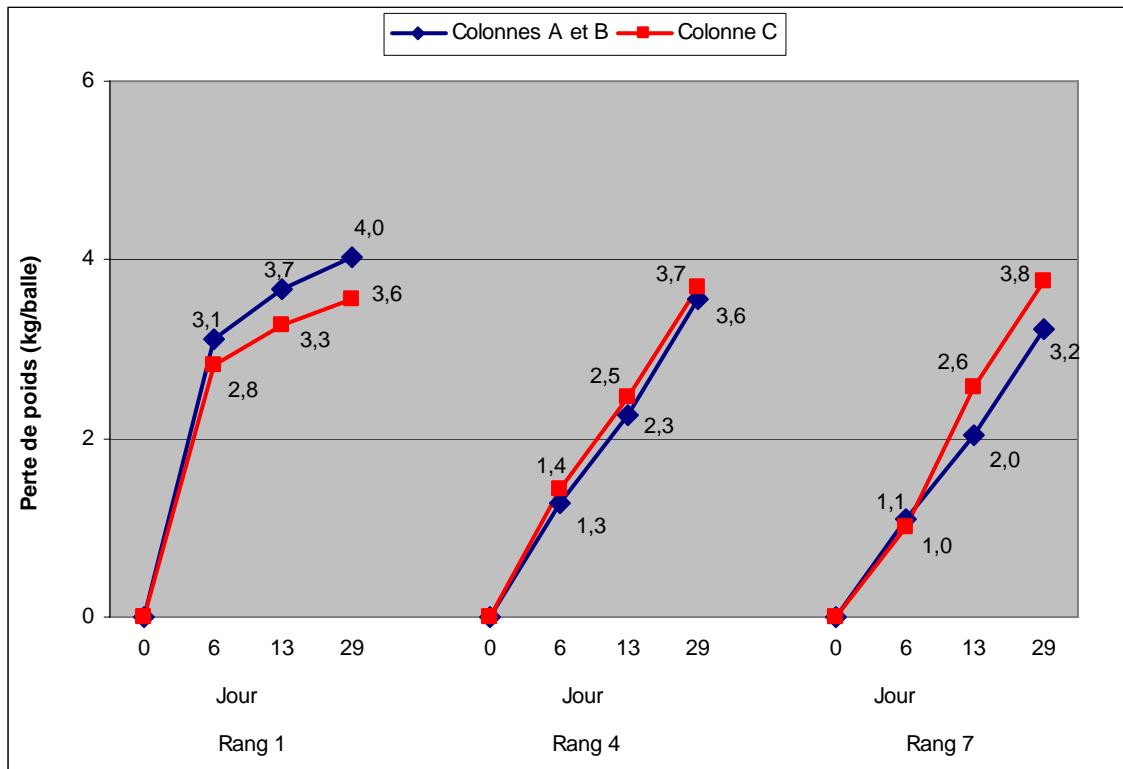


Figure 9. Perte de poids de l'ensemble des balles de foin sous observation en fonction du rang, de la colonne et de la durée de conservation¹

¹ Résultat du suivi de 54 balles (18 balles/rangée x 3 rangées) pour chaque système de séchage.

Effet du rang et de la profondeur

Les résultats concernant la perte de poids des balles de foin en fonction du rang et de la profondeur, pour différentes durées de conservation, (figure 10) montrent que :

- Dans le rang 1, les balles du bord ont perdu plus de poids après 6 jours que celles plus en profondeur (3,4 vs 2,8 kg/balle) mais la différence a disparu après 29 jours (3,9 kg/balle au bord comme en profondeur).
- Par contre, dans les rangs 4 et 7 les balles du bord ont perdu moins de poids que celles plus en profondeur quelle que soit la durée de séchage (après 29 jours : 3,1 vs 3,9 kg/balle dans le rang 4 et 2,8 vs 3,7 kg/balle dans le rang 7).

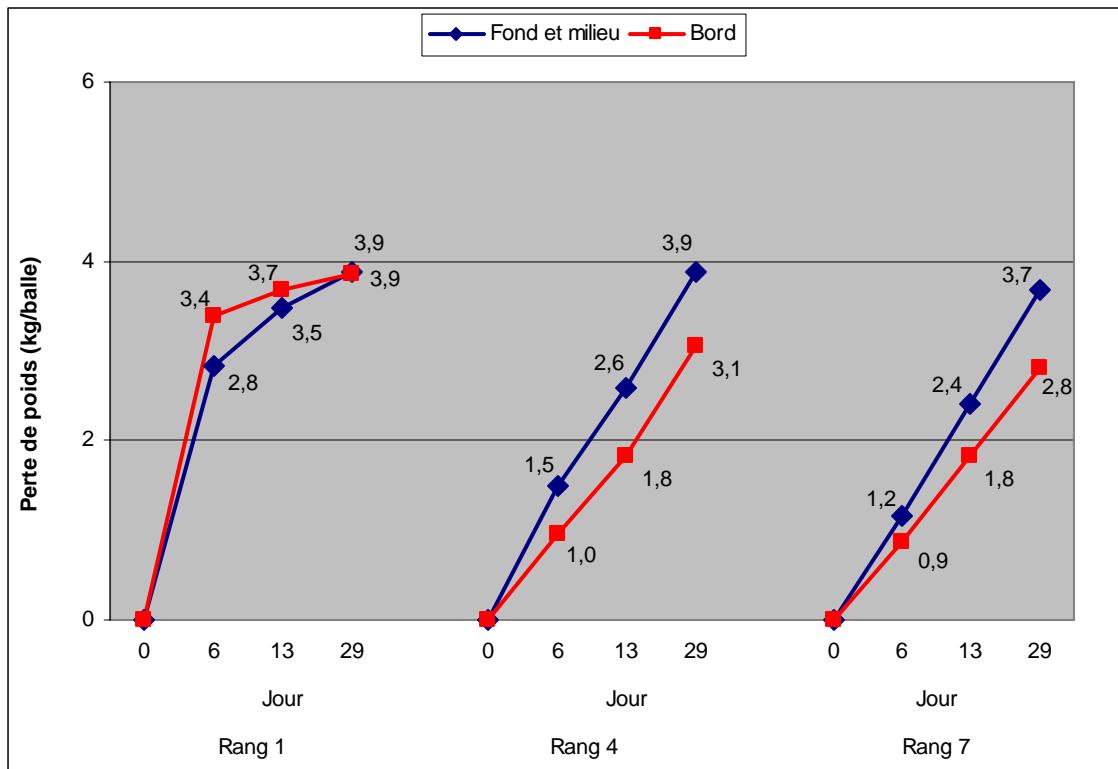


Figure 10. Perte de poids de l'ensemble des balles de foin sous observation en fonction du rang, de la profondeur et de la durée de conservation¹

¹ Résultat du suivi de 54 balles (18 balles/rangée x 3 rangées) pour chaque système de séchage.

2.2 Pour les balles qui ont fait l'objet d'un suivi élaboré

Effet du système de séchage

La perte moyenne de poids pour les 12 balles de chaque système de séchage (4 balles dans chacune des rangées 1, 4 et 7) et les 7 balles non ventilées qui ont fait l'objet d'un suivi élaboré (température, matière sèche et valeur nutritive) est présentée à la figure 11 :

- Quelle que soit la durée de séchage, les balles séchées dans la grange solaire ont perdu plus de poids que celles séchées à l'air ambiant. L'écart a été de 0,4 kg après 6 jours (2,0 vs 1,6 kg/balle), 0,7 kg après 13 jours (2,9 kg vs 2,2 kg/balle) et 1,1 kg après 29 jours (4,1 vs 3,0 kg/balle).
- Quant aux balles non ventilées, elles ont perdu moins de poids que celles séchées à l'air ambiant ou dans la grange solaire après 6 jours (1,2 vs 1,6 et 2,0 kg) mais plus que ces dernières après 29 jours (4,3 vs 3,0 et 4,1 kg/balle).
- Ainsi, après 29 jours de conservation, l'écart entre le foin séché dans la grange solaire et celui séché à l'air ambiant a été plus grand pour les balles qui ont fait l'objet d'un suivi élaboré (4,1 vs 3,0 kg/balle) (figure 11) que pour l'ensemble des balles sous observation dans chaque système de séchage (3,9 vs 3,3 kg/balle) (figure 7).

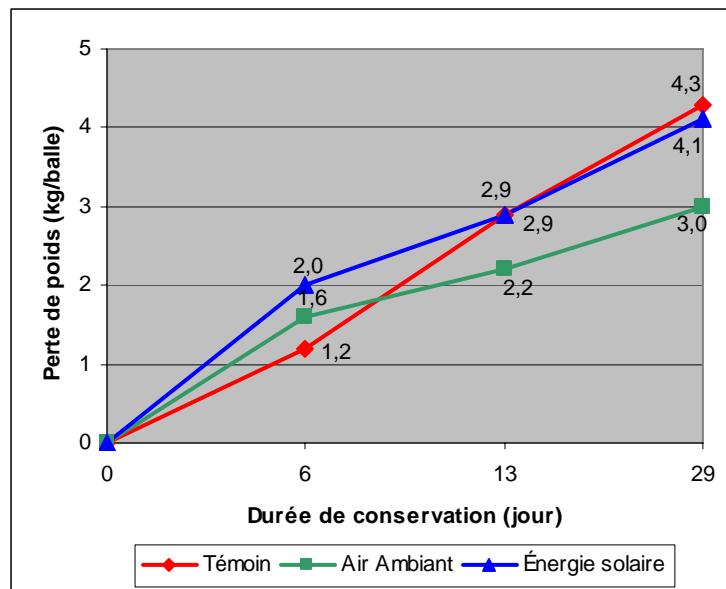


Figure 11. Perte de poids des balles de foin qui ont fait l'objet d'un suivi élaboré en fonction du système de séchage et de la durée de conservation¹

¹ Moyenne de 12 balles (4 balles/rangée x 3 rangées) pour chaque système de séchage et de 7 balles pour le témoin.

Effet du système de séchage et du rang

Les résultats concernant la perte de poids des balles de foin en fonction du système de séchage et du rang, pour différentes durées de conservation, (figure 12) montrent que :

- La perte de poids a été plus rapide et plus poussée dans le rang 1 que dans le rang 4 et le rang 7, dans le foin séché à l'air ambiant (3,6 vs 2,9 et 2,7 kg/balle après 29 jours) tout comme dans celui séché dans la grange solaire (4,7 vs 3,9 et 3,8 kg/balle après 29 jours).
- La perte de poids a évolué de la même façon dans le rang 4 et le rang 7 quel que soit le système de séchage. Cependant, elle a été aussi rapide dans le rang 7 que dans le rang 4 dans le foin séché dans la grange solaire (1,5 kg/balle après 6 jours) alors qu'elle a été un peu moins rapide dans le rang 7 que dans le rang 4 dans le foin séché à l'air ambiant (0,9 vs 1,2 kg/balle après 6 jours).
- Quel que soit le rang, la perte de poids a été plus grande dans le foin séché dans la grange solaire que dans celui séché à l'air ambiant après 29 jours (4,7 vs 3,6 kg/balle dans le rang 1, 3,9 vs 2,9 kg/balle dans le rang 4 et 3,8 vs 2,7 kg/balle dans le rang 7) et l'écart a été à peu près le même (environ 1 kg/balle) dans chaque rang.
- Quel que soit le rang, la perte de poids a été plus rapide dans le foin séché dans la grange solaire que dans celui séché à l'air ambiant, tel qu'indiqué par les valeurs observées après 6 jours (2,9 vs 2,7 kg/balle dans le rang 1, 1,5 vs 1,2 kg/balle dans le rang 4 et 0,9 vs 1,5 kg/balle dans le rang 7). De plus, l'écart a été 2 à 3 fois plus prononcé dans le rang 7 que dans le rang 1 et le rang 4 (0,6 vs 0,2 et 0,3 kg/balle, respectivement).

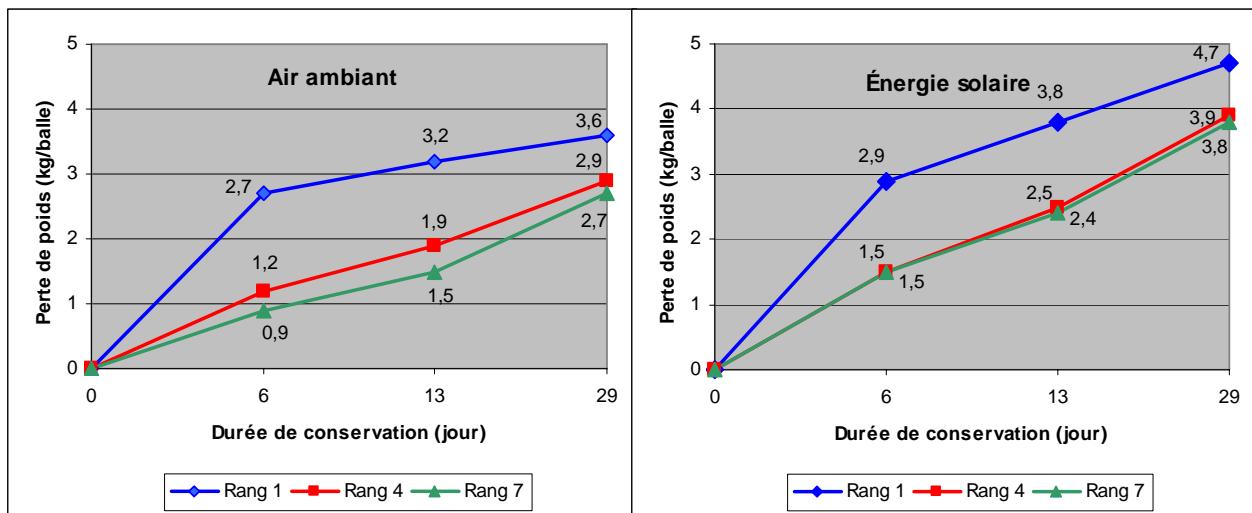


Figure 12. Perte de poids des balles de foin qui ont fait l'objet d'un suivi élaboré en fonction du système de séchage, du rang et de la durée de conservation¹

¹ Résultat du suivi de 12 balles (4 balles/rangée x 3 rangées) pour chaque système de séchage.

3. Modification du foin après 29 jours de conservation

3.1 Perte de matière sèche et perte d'eau selon le système de séchage

Air ambiant

Les résultats présentés à la figure 13 montrent que :

- Le foin séché à l'air ambiant a vu sa teneur en matière sèche augmenter de 8,4% en moyenne, passant de 75,2% lors de la mise en grange à 83,6% après un mois de conservation.
- Le poids des balles a diminué de 3,0 kg, passant de 25,2 kg à 22,2 kg.
- Elles ont perdu 2,6 kg d'eau et 0,4 kg de matière sèche.
- La perte de matière sèche représente 2,1% de la matière sèche initiale.

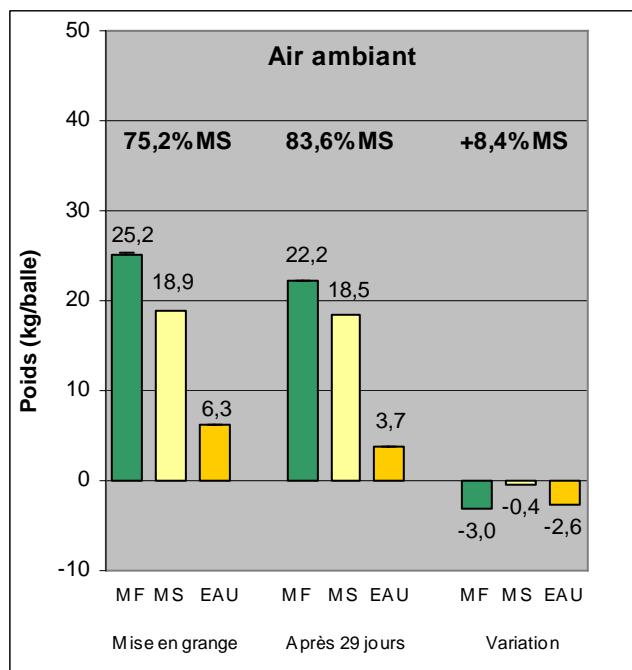


Figure 13. Variation de la quantité de matière fraîche, de matière sèche et d'eau dans les balles de foin séchées à l'air ambiant qui ont fait l'objet d'un suivi élaboré¹

¹ Moyenne de 12 balles (4 balles/rangée x 3 rangées).

Énergie solaire

Les résultats présentés à la figure 14 montrent que :

- Pendant la même période, le foin séché dans la grange solaire a vu sa teneur en matière sèche augmenter de 11,5% en moyenne, passant de 74,2% à 85,7%.
- Le poids des balles a diminué de 4,1 kg, passant de 26,5 kg à 22,4 kg.
- Elles ont perdu 3,7 kg d'eau et 0,4 kg de matière sèche.
- La perte de matière sèche représente 2,0% de la matière sèche initiale.

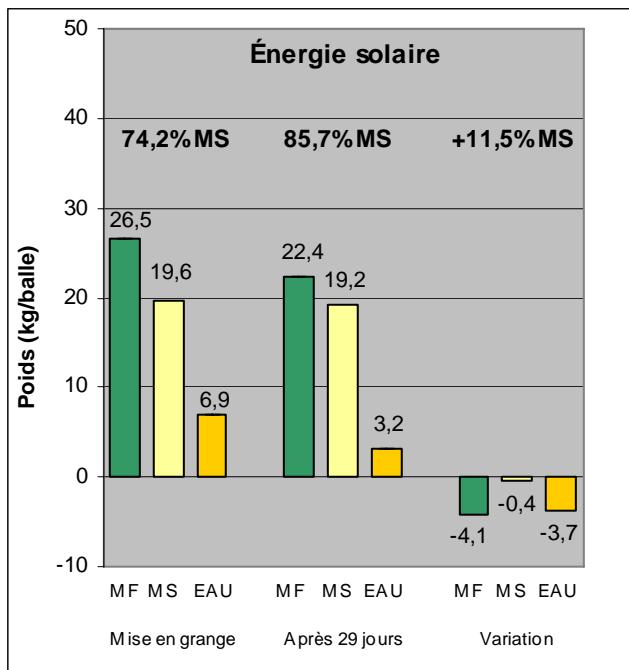


Figure 14. Variation de la quantité de matière fraîche, de matière sèche et d'eau dans les balles de foin séchées dans la grange solaire qui ont fait l'objet d'un suivi élaboré¹

¹ Moyenne de 12 balles (4 balles/rangée x 3 rangées).

Témoin

Les résultats présentés à la figure 15 montrent que :

- Le foin témoin a vu sa teneur en matière sèche augmenter de 10,1% en moyenne, passant de 74,3% à 84,4%.
- Le poids des balles a diminué de 4,3 kg, passant de 25,4 kg à 21,1 kg.
- Elles ont perdu 3,2 kg d'eau et 1,1 kg de matière sèche.
- La perte de matière sèche représente 5,8% de la matière sèche initiale.

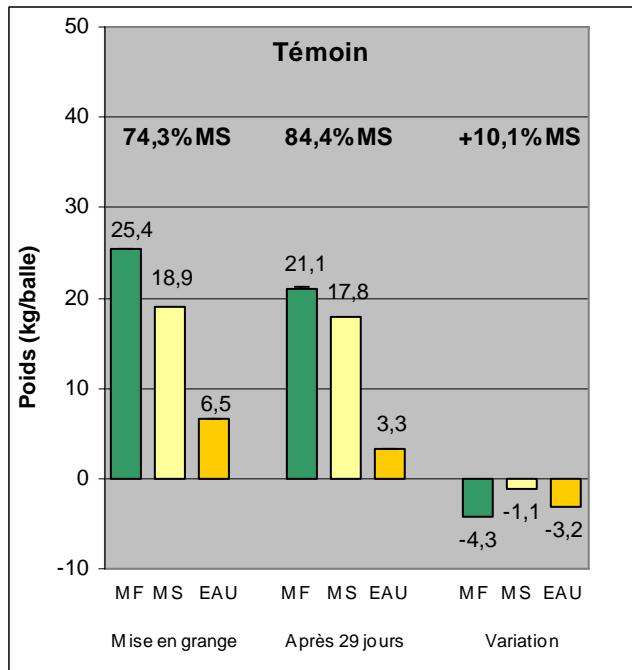


Figure 15. Variation de la quantité de matière fraîche, de matière sèche et d'eau dans les balles de foin témoin qui ont fait l'objet d'un suivi élaboré¹

¹ Moyenne de 7 balles.

3.2 Teneur en MS finale du foin ventilé en fonction du rang

Les résultats présentés à la figure 16 montrent que :

- Après 29 jours de conservation, la teneur en matière sèche était 2,1% plus élevée, en moyenne, dans le foin séché dans la grange solaire que dans celui séché à l'air ambiant (85,7% vs 83,6%).
- En fait, l'écart était de 1,9% dans le rang 1 (88,0% vs 86,1%), 1,7% dans le rang 4 (83,7% vs 82,0%) et 2,8% dans le rang 7 (85,5% vs 82,7%).
- La teneur en matière sèche qui permet une conservation sécuritaire à une telle densité (82%) a été atteinte dans le foin séché à l'air ambiant, tout comme dans celui séché dans la grange solaire, peu importe sa position au-dessus du plancher latté.
- En fait, les résultats révèlent que toutes les balles échantillonnées avaient une teneur en matière sèche supérieure à 80% (non illustré).

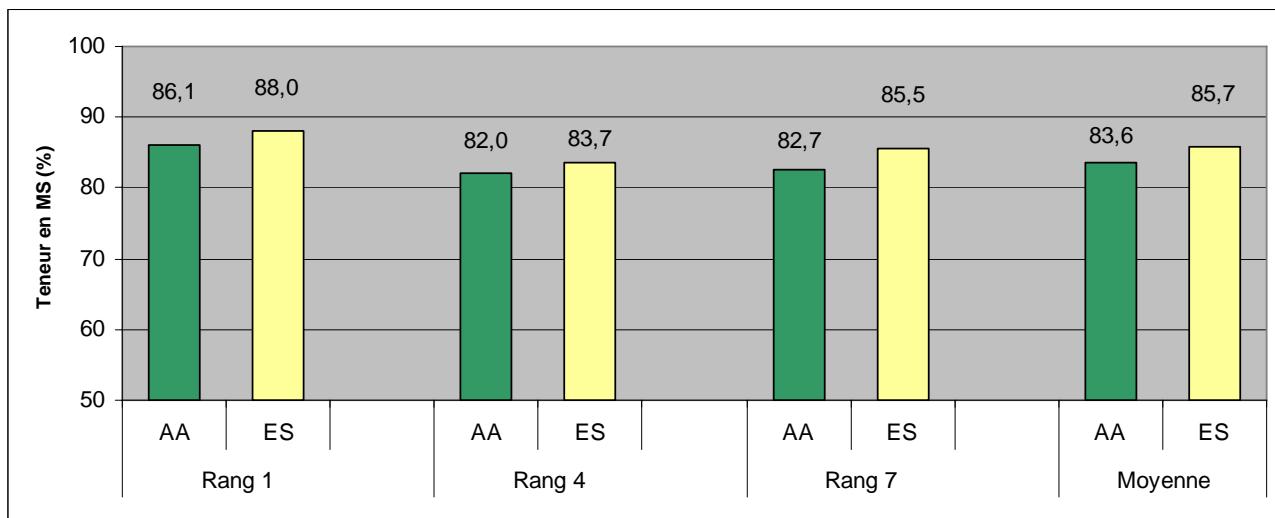


Figure 16. Teneur en matière sèche finale en fonction du système de séchage¹ et du rang dans les balles de foin qui ont fait l'objet d'un suivi élaboré²

¹ AA = air ambiant ; ES = Énergie solaire.

² Résultat du suivi de 12 balles (4 balles/rangée x 3 rangées) pour chaque système de séchage.

4. Évaluation du foin

4.1 Évaluation visuelle

Lors de l'évaluation visuelle du foin, aucune balle témoin n'a été jugée vendable alors que ce fut le cas pour 78% du foin séché à l'air ambiant et 88% du foin séché dans la grange solaire (tableau 2).

Tableau 2. Évaluation visuelle du foin

Traitement	Balles évaluées (nombre)	Balles jugées vendables	
		Nombre	%
Témoin	7 ¹	0	0
Air ambiant	144	113	78
Énergie solaire	144	126	88

¹ Une balle de foin témoin a été éliminée parce qu'elle était déjà à 80% de matière sèche au moment de la mise en grange.

4.2 Évaluation sensorielle

Les résultats de l'évaluation sensorielle du foin, effectuée après 29 jours de conservation et basée sur quatre critères : la couleur, l'odeur, la texture et la présence de poussière, sont présentés au tableau 3. Ils montrent que :

- Le foin séché dans la grange solaire et celui séché à l'air ambiant ont accumulé beaucoup plus de points que le témoin (34,1 points et 31,1 points vs 20,6 points sur 40, respectivement).
- Ce résultat indique que le foin témoin était mal conservé alors que celui séché à l'air ambiant et celui séché dans la grange solaire était moyennement bien conservé.
- Puisque la texture du foin (souple vs rigide) n'est pas influencée par la conservation, ce sont sa couleur, son odeur et principalement la présence de poussière qui ont influencé la note attribuée.
- En moyenne, le foin séché dans la grange solaire a présenté une plus belle couleur (note de 8,5 vs 7,8), une meilleure odeur (note de 8,3 vs 7,3) et moins de poussière (note de 8,3 vs 7,0) que celui séché à l'air ambiant.

L'analyse des notes attribuées en fonction du rang pour chacun des critères considérés (tableau 3) montre que :

- La qualité du foin a diminué du rang 1 au rang 7, qu'il soit séché à l'air ambiant (note totale de 35,8, 30,3 et 27,2 dans les rangs 1, 4 et 7, respectivement) ou séché dans la grange solaire (note totale de 35,2, 34,0 et 32,9 dans les rangs 1, 4 et 7, respectivement).
- Dans les deux cas, le foin du rang 7 avait une moins bonne odeur et était plus poussiéreux que celui du rang 4, et il en était de même pour le rang 4 par rapport au rang 1.
- Cependant, l'effet a été moins prononcé dans le foin séché dans la grange solaire que dans celui séché à l'air ambiant. En effet, dans le rang 1 (près du plancher latté) le foin était pratiquement exempt de poussière, qu'il soit séché dans la grange solaire ou à l'air ambiant (note de 8,8 vs 9,2), alors que dans le rang 4 (note de 8,3 vs 6,7) et le rang 7 (note de 7,8 vs 5,1) le foin séché dans la grange solaire était moins poussiéreux que celui séché à l'air ambiant.

Tableau 3. Effet du système de séchage et du rang sur la note attribuée lors de l'évaluation sensorielle du foin¹

Traitement	Couleur	Odeur	Texture	Poussière	Total
Note					
Témoin	5,0	4,6	9,0	2,0	20,6
Air ambiant	7,8	7,3	9,0	7,0	31,1
Rang 1	8,7	8,9	9,0	9,2	35,8
Rang 4	7,6	7,0	9,0	6,7	30,3
Rang 7	7,1	6,1	9,0	5,1	27,2
Énergie solaire	8,5	8,3	9,0	8,3	34,1
Rang 1	8,7	8,7	9,0	8,8	35,2
Rang 4	8,5	8,3	9,0	8,3	34,0
Rang 7	8,4	7,8	9,0	7,8	32,9

¹Une note de 0 à 10 est attribuée pour chaque critère et la note finale est sur 40.

En ce qui concerne la présence de poussière, les résultats présentés au tableau 4 montrent que :

- Environ 85% des balles témoins évaluées (6 sur 7) étaient très poussiéreuses alors que c'était le cas pour seulement 15% des balles séchées à l'air ambiant (2 sur 12) et aucune des balles séchées dans la grange solaire.
- Environ 40% des balles séchées à l'air ambiant ou dans la grange solaire (5 sur 12) étaient très peu poussiéreuses.

- Environ 65% des balles séchées à l'air ambiant (8 sur 12) et 85% des balles séchées dans la grange solaire (10 sur 12) étaient très peu ou peu poussiéreuses.

Tableau 4. Effet du système de séchage et du rang sur la présence de poussière dans le foin : classement des balles évaluées selon quatre catégories

Traitement	Note ≥ 9	9 > note ≥ 6	6 > note ≥ 3	Note < 3	Total
	Nombre de balles				
Témoin	0	0	1	6	7
Air ambiant	5	3	2	2	12
Rang 1	3	1	0	0	4
Rang 4	2	1	0	1	4
Rang 7	0	1	2	1	4
Énergie solaire	5	5	2	0	12
Rang 1	3	1	0	0	4
Rang 4	2	1	1	0	4
Rang 7	0	3	1	0	4

De plus, l'analyse des notes attribuées en fonction du rang (tableau 4) montre que :

- Dans le foin séché dans la grange solaire, tout comme dans celui séché à l'air ambiant,
 - 100% des balles du rang 1 (4 sur 4) étaient très peu ou peu poussiéreuses.
 - 75% des balles du rang 4 (3 sur 4) étaient très peu ou peu poussiéreuses.
 - Il n'y avait aucune balle très peu poussiéreuse dans le rang 7.
- Dans le foin séché dans la grange solaire, 75% des balles du rang 7 (3 sur 4) étaient peu poussiéreuses, alors que c'était le cas pour seulement 25% des balles du rang 7 (1 sur 4) dans le foin séché à l'air ambiant.

On retient principalement que seulement 40% du foin séché dans la grange solaire et de celui séché à l'air ambiant (5 balles sur 12) était d'excellente qualité (très peu de poussière). Par contre, 65% du foin séché à l'air ambiant (8 balles sur 12) était de bonne qualité (très peu ou peu de poussière) alors que c'était le cas pour 85% du foin séché dans la grange solaire (10 balles sur 12).

5. Valeur nutritive

Les résultats des analyses effectuées sur les échantillons prélevés après 29 jours de conservation sont présentés au tableau 5.

- Les analyses (15,8% PB, 33,2% ADF et 50,7% NDF, en moyenne) sont caractéristiques d'un foin de graminées récoltées jeunes.
- En moyenne, les teneurs en protéine brute (15,6 à 16,1%) et en protéine liée (2,2 à 2,3%) ont été comparables quel que soit le traitement.
- En moyenne, la teneur en ligno-cellulose (fibre par détergent acide) a été à son plus bas niveau dans le foin séché dans la grange solaire (32,1%), a un niveau intermédiaire dans le foin séché à l'air ambiant (33,2%) et à son niveau le plus élevé dans le foin témoin (34,2%).
- Il en fut de même, mais avec des écarts plus prononcés, pour la teneur en parois cellulaires (fibre par détergent neutre) qui a présenté des valeurs de 47,9% dans le foin séché dans la grange solaire, 51,2% dans le foin séché à l'air ambiant et 52,9% dans le foin témoin.

De plus, l'analyse des résultats en fonction du rang (tableau 5) montre que :

- Dans le foin séché à l'air ambiant, la teneur en protéine brute a été plus élevée dans le rang 7 que dans le rang 1 et le rang 4 (16,5% vs 15,4% et 15,4%, respectivement), ce qui semble la conséquence de la détérioration plus prononcée du foin du rang 7.
- Dans le foin séché dans la grange solaire, les teneurs en ligno-cellulose (ADF) a été plus faible dans le rang 1 que dans le rang 4 et le rang 7 (31,5% vs 32,5% et 32,4%, respectivement) et la teneur en parois cellulaires (NDF) plus faible dans le rang 1 et le rang 4 que dans le rang 7 (47,5% et 47,6% vs 48,7%), ce qui semble la conséquence d'une meilleure préservation du foin situé près du plancher latté.
- En conséquence, le foin séché dans la grange solaire a présenté une teneur en ligno-cellulose (ADF) plus faible que celui séché à l'air ambiant principalement dans le rang 1 (31,5% vs 33,6%) et une teneur en parois cellulaires (NDF) plus faible que ce dernier principalement dans le rang 1 (47,5% vs 51,6%) et le rang 4 (47,6% vs 51,4%). Sa teneur en protéine brute a par contre été un peu plus faible que celle du foin séché à l'air ambiant dans le rang 7 (15,8% vs 16,5%).

Les résultats obtenus sont considérés représentatifs de la qualité finale du foin, puisque après un mois de conservation la majorité des changements dans la qualité des fourrages sont généralement complétés (Coblentz et al, 1996).

Tableau 5. Effet du système de séchage et du rang sur la valeur nutritive du foin après 29 jours de conservation

	Protéine brute (PB) (%)	Ligno- cellulose (ADF) (%)	Parois cellulaires (NDF) (%)	Protéine liée à la fibre (PB-ADF) (%)
Témoin	16,1	34,2	52,9	2,2
Air ambiant	15,8	33,2	51,2	2,3
Rang 1	15,4	33,6	51,6	2,4
Rang 4	15,4	32,7	51,4	2,3
Rang 7	16,5	33,4	50,8	2,3
Énergie solaire	15,6	32,1	47,9	2,3
Rang 1	15,4	31,5	47,5	2,3
Rang 4	15,5	32,5	47,6	2,0
Rang 7	15,8	32,4	48,7	2,7
Moyenne globale	15,8	33,2	50,7	2,3

Conclusion

Dans les conditions de cette expérience, le séchage du foin a été plus rapide et plus poussé, après 29 jours de conservation, dans la grange solaire que dans la grange conventionnelle. La perte de matière sèche a été comparable dans les deux systèmes de séchage (environ 2%) et, dans un cas comme dans l'autre, la teneur en matière sèche finale a atteint 82% dans chaque rang.

Le foin situé près du plancher latté (rang 1) a été presque exempt de poussière qu'il soit séché dans la grange solaire ou à l'air ambiant, alors que celui du rang 4 et du rang 7 a été moins poussiéreux lorsqu'il était séché dans la grange solaire plutôt qu'à l'air ambiant. Il a aussi présenté une meilleure couleur et une meilleure odeur.

De plus, la valeur nutritive du foin séché dans la grange solaire a été meilleure que celle du foin séché à l'air ambiant, tel qu'indiqué par une moindre teneur en parois cellulaires (NDF) après 29 jours de conservation.

Les résultats semblent indiquer un avantage à utiliser l'énergie solaire même en fin de saison, puisque 85% du foin séché dans la grange solaire était de bonne qualité (très peu ou peu poussiéreux) alors que c'était le cas pour seulement 65% du foin séché à l'air ambiant. Cependant, pour du foin récolté en fin de saison (mi-septembre) et pressé à une densité relativement élevée (160 kg MS/m^3) on devrait viser une teneur en matière sèche moyenne supérieure à 75%, même si on utilise l'énergie solaire pour réchauffer l'air de séchage, puisque aucun système de séchage n'a permis d'assurer une parfaite conservation d'un foin, c'est-à-dire où toutes les balles auraient été pratiquement exemptes de poussière.

Des études plus exhaustives devront être faites afin de démontrer plus clairement les avantages du captage de l'énergie solaire pour réchauffer l'air de séchage du foin, compte tenu que les améliorations observées dans cette étude semblent dues non seulement à l'élévation de la température de l'air de séchage, mais aussi au maintien d'une pression statique un peu plus élevée, du moins pendant une partie du test, dans la grange solaire comparativement à la grange conventionnelle. De plus, ce système devra être évalué dans des conditions où l'apport d'énergie solaire est plus important qu'il l'a été dans ce test réalisé en fin de saison et avec des balles pressées à une densité plus faible que celle réalisée dans cette expérience.

Finalement, ce projet ne permet pas de conclure sur l'avantage de la régie de fonctionnement des ventilateurs en discontinu en terme de rapidité de séchage du foin. Toutefois, nous avons été en mesure de constater qu'il est absolument nécessaire de suivre de très près l'évolution de la température du foin si on opte pour un fonctionnement en discontinu et que de longues périodes d'arrêt peuvent induire des montées de température dans le foin qui pourraient affecter négativement sa qualité. Des périodes d'arrêt de 15 heures s'avèrent trop longues même en fin de saison. Il y aurait avantage à les raccourcir.

Avertissement

Les résultats de cet essai doivent être interprétés en tenant compte de plusieurs facteurs :

- D'abord, la période de l'année où le test a été fait. Le réchauffement de l'air de séchage suite à la récupération de l'énergie solaire aurait été plus prononcé en juin, juillet ou août qu'en septembre et octobre.
- Ensuite, le fait qu'il y a eu réchauffement de l'air de séchage dans la grange conventionnelle, quoique moins prononcé que dans la grange solaire. L'avantage de l'utilisation de l'énergie solaire aurait pu être mieux mis en évidence si ça n'avait pas été le cas.
- Ajoutons le fait que pendant la plus grande partie du test les ventilateurs n'ont pas fonctionné en continu, mais seulement pendant le jour. Un fonctionnement en continu (jour et nuit) au début de la période de séchage aurait peut-être réduit les écarts entre les deux systèmes.
- Également, le fait que les deux systèmes de ventilation n'étaient pas tout à fait équivalents dans les deux granges et que la pression statique a été plus élevée, du moins pendant une partie du test, dans la grange solaire que dans la grange conventionnelle.
- La teneur en matière sèche relativement faible du foin (75%) compte tenu de la densité des balles (160 kg MS/m^3) a rendu le séchage difficile et la variation importante de la teneur en matière sèche d'une balle à l'autre a compliqué l'analyse des résultats.
- La position des lots de foin expérimentaux, en fin de remplissage des granges et en bout de plancher latté, peut aussi avoir influencé les résultats. On en était conscient, et c'est pour cette raison que le suivi élaboré (matière sèche, température, valeur nutritive, évaluation sensorielle) a été fait, dans chaque lot, seulement sur les balles qui semblaient le moins influencé par l'effet de bordure.
- Il ne s'agit que d'une étude préliminaire faite sur un nombre limité de balles et les résultats rapportés n'ont pas été analysés statistiquement puisqu'il n'y avait pas de répétition des traitements.

Références bibliographiques

- Cinq-Mars, D. 2005. Critères d'évaluation du foin permettant d'établir son acceptabilité et sa valeur marchande relative pour les chevaux. Info-Fourrage, 2005 no 3, p. 8-10.
- Coblentz, W.K., J.O. Fritz, K.K. Bolsen et R.C. Cochran. 1996. Quality changes in alfalfa hay during storage in bales. *J. Dairy Sci.* 79 : 873-885.
- Marceau, J. 2007. Utilisation de l'énergie solaire pour le séchage du foin en petites balles. Phase 1 : Conception et évaluation du système. Rapport de projet. Développement et valorisation- Volet 5. Appui à l'adaptation et au développement régional. MAPAQ Québec. 18 p.
- Morissette, R. et P. Savoie. 2007. Le séchage du fourrage haché en vrac avec un apport d'énergie solaire. Demi-journée scientifique sur les fourrages. CRAAQ et CQPF, Victoriaville. 20 février, p. 19-26.

Annexe 1. Les deux granges utilisées pour réaliser le test de séchage et les lots de foin qui a fait l'objet d'un suivi dans chaque grange¹

A- Grange équipée d'un système de captage de l'énergie solaire pour réchauffer l'air de séchage

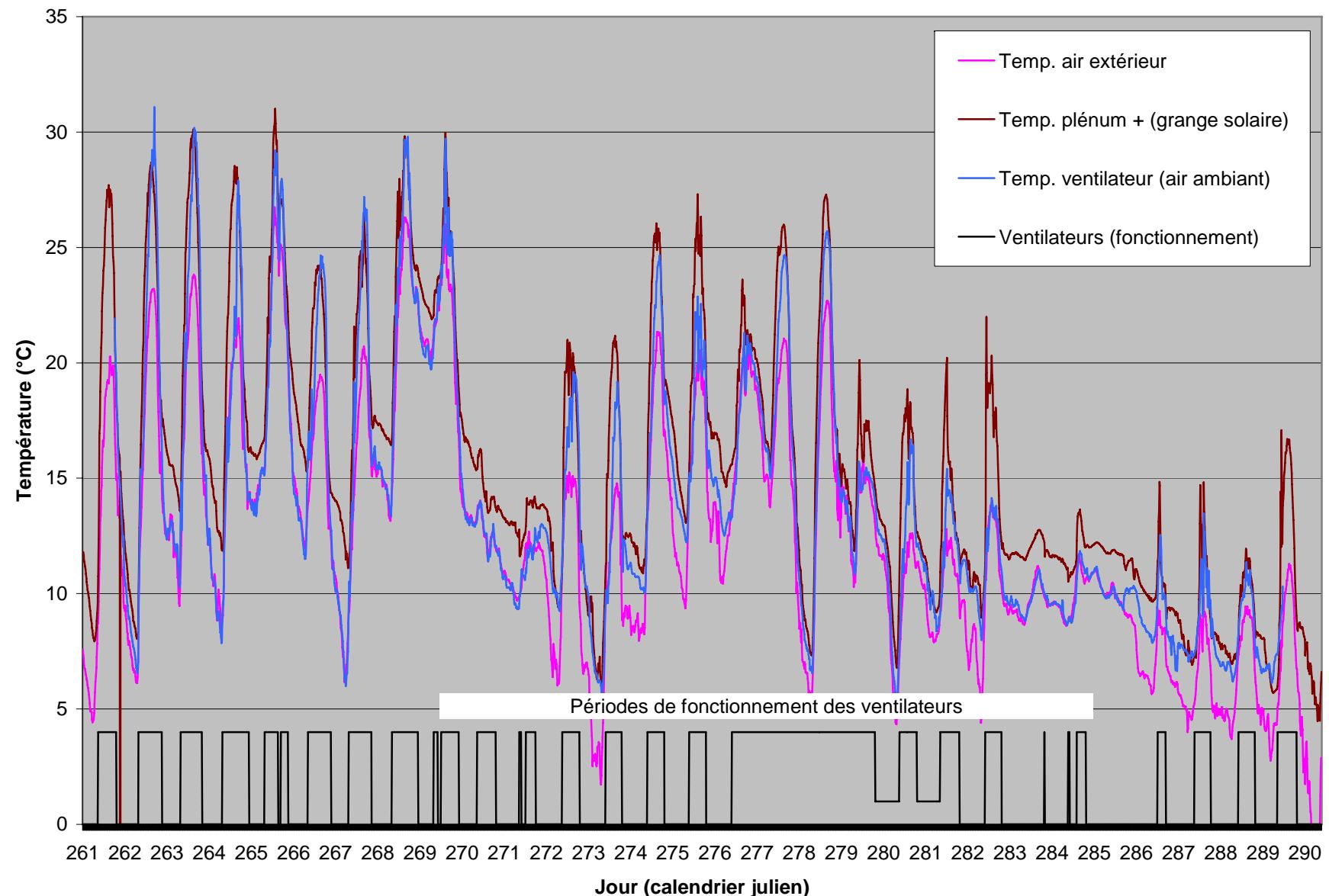


B- Grange équipée d'un système de séchage à l'air ambiant



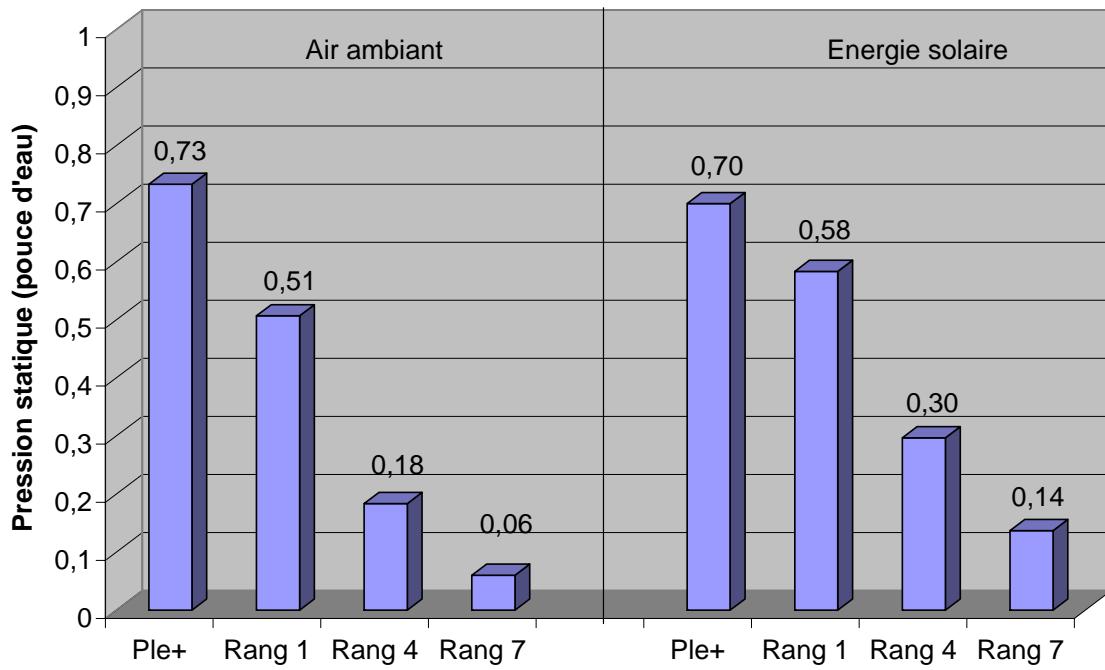
¹ Dans chaque grange, le bloc expérimental, constitué de 144 balles (18 balles par rangée x 8 rangées de haut), a été placé sur la partie du plancher latté la plus éloignée du conduit d'air principal (encadré en trait plein rouge) alors que le bloc témoin, constitué de 6 balles, a été placé sur une palette non ventilée (encadré en trait pointillé bleu).

Annexe 2 Température de l'air extérieur, de l'air du plenum positif dans la grange solaire et de l'air récupéré par le ventilateur dans la grange conventionnelle, et périodes de fonctionnement des ventilateurs : Variation du 18 septembre (jour 261) au 17 octobre (jour 290)

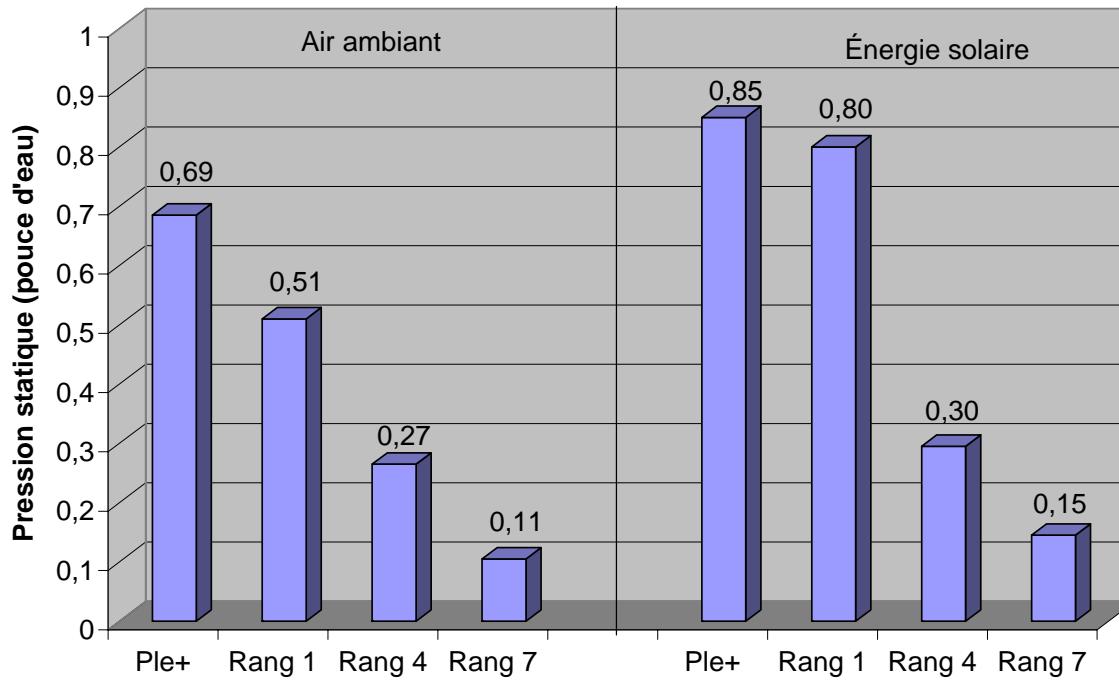


Annexe 3. Pression statique dans le plenum positif de même que sous les rangs 1, 4 et 7 dans chaque grange, pendant la première et la seconde moitié de l'essai

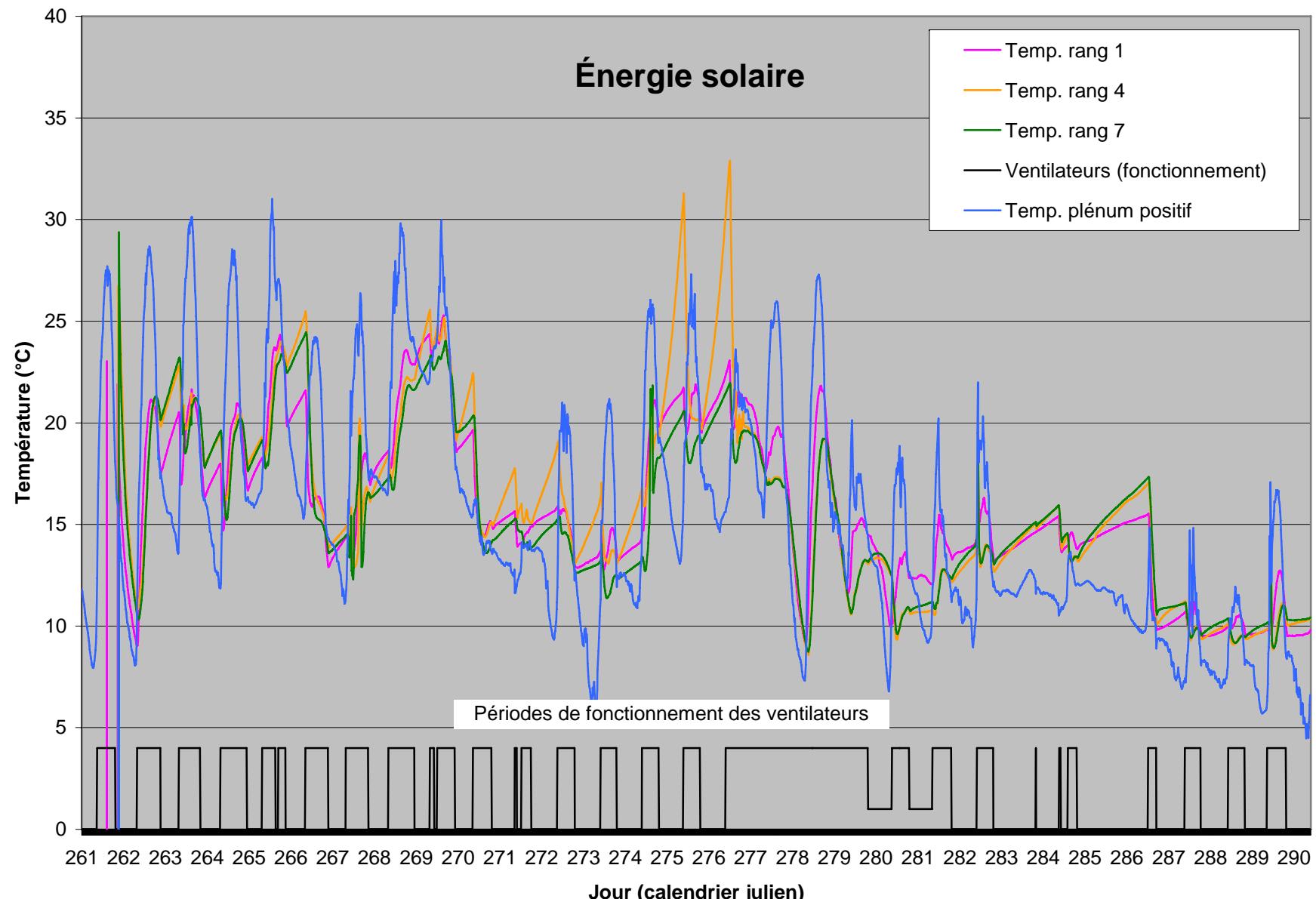
Pendant la première moitié de l'essai



Pendant la seconde moitié de l'essai



Annexe 4. Température du foin des rang 1, 4 et 7, température de l'air dans le plenum positif et périodes de fonctionnement des ventilateurs dans la grange solaire



Annexe 5. Température du foin des rangs 1, 4 et 7, température de l'air récupérée par le ventilateur et périodes de fonctionnement du ventilateur dans la grange conventionnelle (air ambiant)

