

Evaluation des performances énergétique de prérefroidisseurs de lait et récupérateurs de chaleur sur tank à lait

LOOBUYCK M. (1), BAZANTAY F. (2), WILLAME C. (3), CORBET V. (4)

(1) GIE Lait-Viande de Bretagne, Maison de l'Agriculture, Rue Maurice Le Lannou, 35042 Rennes Cedex

(2) Pôle Cristal Dinan, BP 56357, 22106 Dinan Cedex

(3) Institut de l'Élevage, Monvoisin, BP85225, 35652 LE RHEU Cedex

RESUME

La réduction de la consommation d'énergie du bloc de traite constitue un réel enjeu économique pour les exploitations laitières. Les refroidisseurs de lait et les ballons d'eau chaude sont les deux principaux postes de consommation d'électricité dans les élevages laitiers. Les pré-refroidisseurs de lait et récupérateurs de chaleur sur refroidisseur de lait constituent des solutions efficaces pour en réduire les consommations. Dans le cadre du programme régional "éco énergie lait", le GIE Lait-Viande de Bretagne a confié au Pôle Cristal la conception d'une méthodologie et d'un banc d'essais, puis la réalisation de campagnes de tests en laboratoire sur ces deux équipements, en collaboration avec l'Institut de l'Élevage. Les résultats de ces essais permettent de mieux apprécier et caractériser le fonctionnement de ces équipements. De plus ils fournissent des éléments chiffrés et comparables pour les démarches de conseil auprès des éleveurs en projet d'acquisition de ces équipements. Les références et l'expérience acquises durant ces essais constituent une base d'informations pour le conseil dans l'installation, la conception et le réglage des pré-refroidisseurs et des récupérateurs de chaleur sur refroidisseurs de lait auprès des éleveurs et des installateurs.

Laboratory testing of devices aiming at reducing electricity consumption in dairying : pre-coolers and heat recovery units

LOOBUYCK M. (1), BAZANTAY F. (2), WILLAME C. (3), CORBET V. (4)

(1) GIE Lait-Viande de Bretagne, Maison de l'Agriculture, Rue Maurice Le Lannou, 35042 Rennes Cedex

SUMMARY

The reduction of energy consumption related to milk production in farming is a real economic concern for milk producers. The cooling units and hot water production are the two main devices involved in electric consumption. Pre-coolers and heat recovery units are both efficient solutions to obtain a significant reduction of this consumption. As a part of the regional operation "éco énergie lait", the GIE Lait Viande has assigned the Pôle Cristal technical center to create a testing method and facility, and perform laboratory tests on several equipments, with the collaboration of the Institut de l'Élevage. The results obtained permit a better understanding of their real performance and the main factors that influence this performance. Thus, they give accurate and objective information for advising the farmers who want to invest in such equipment. The information gathered along this operation is becoming a knowledge data bank very useful for contractors and farmers, to make better choice and efficient use of the pre-coolers and heat recovery units.

INTRODUCTION

Les consommations d'énergie ont lieu dans un contexte de raréfaction des ressources en énergie fossile et d'accentuation du phénomène de réchauffement climatique. Au même titre que les différentes activités professionnelles, les bâtiments d'élevage, consommateurs d'énergie sous différentes formes, sont concernés par ces évolutions. L'agriculture représente 2 % de la consommation nationale des énergies directes (fioul, gaz, électricité).

En élevage laitier, la consommation énergétique moyenne mise en évidence est de 880 kWh/VL/an pour des installations de traite courantes (salle de traite épi ou par l'arrière) et une durée de stabulation de 180 jours. Cette consommation énergétique regroupe le fioul consommé lors de la mise en œuvre des pratiques d'élevage (distribution des fourrages, paillage, ...) et l'électricité liée au fonctionnement du bâtiment (tank à lait, chauffe-eau, ...). Ces 2 postes représentent respectivement 47 et 53 %.

Au travers d'enquêtes réalisées en exploitation de vaches laitières, les disparités entre exploitation et l'importance des différents postes ont permis l'identification de leviers d'action et de pistes de substitution.

Les refroidisseurs de lait et les ballons d'eau chaude sont les deux principaux postes de consommation d'électricité dans les élevages laitiers. Les pré-refroidisseurs de lait et récupérateurs de chaleur sur tank à lait constituent des solutions efficaces pour en réduire les consommations.

Dans le cadre du programme régional "éco énergie lait", le GIE Lait-Viande de Bretagne a confié au Pôle Cristal la conception d'une méthodologie et d'un banc d'essais, puis la réalisation de campagnes de tests en laboratoire sur ces deux équipements.

L'objectif de ces essais est d'évaluer la performance énergétique des pré-refroidisseurs et récupérateurs de chaleur distribués sur le marché français et de mieux connaître leurs modes de fonctionnement et spécificités. Pour cela, les matériels sont testés sur un banc d'essai. Les essais sont réalisés dans des conditions maîtrisées, afin de pouvoir comparer les résultats sur une base identique et identifier les paramètres d'influence.

1. MATERIEL ET METHODE POUR LES PRE-REFROIDISSEURS DE LAIT

1.1 CONDITIONS D'ESSAIS

Chaque pré-refroidisseur est testé sur un banc d'essai matérialisant une salle de traite. Il est positionné entre une réserve d'eau à +35°C (solution de « lait ») matérialisant le lait chaud issu du pis de la vache, et un tank à lait. Une pompe envoie la solution de « lait » à +35°C dans le pré-refroidisseur pendant une durée qui varie en fonction de la configuration d'essai : pour les modèles adaptés aux grands élevages la quantité et le temps d'envoi sont plus longs (cf. Tableau 1). Dans le même temps, l'eau du réseau stabilisée à +12°C, 2 bars est envoyée dans le pré-refroidisseur à contre courant, pendant une durée qui varie en fonction de la régulation du matériel. Chaque essai dure 75 minutes.

Tableau 1 : Configurations d'essai en fonction de la production laitière

	Production laitière	Volume de traite moyen	Débit de la pompe à lait	Nombre d'envois
1	365000 l/an	500 l en 75 min	10 l en 5 sec	50
2	730000 l/an	1 000 l en 75 min	20 l en 10 sec	50
3	1095000 l/an	1 500 l en 75 min	20 l en 10 sec	75

Le banc d'essai est instrumentalisé de façon à mesurer les débits, pressions et températures toutes les 5 secondes. Chaque pré-refroidisseur subit un essai réalisé dans des conditions identiques à tous les modèles et utilise 1,5 litres d'eau par litre de lait. Cet essai permet de comparer l'ensemble des matériels sur une base commune ; on parle d'essai de référence. Par ailleurs, un second essai est réalisé dans des conditions similaires et permet d'appréhender le comportement du pré-refroidisseur dans des conditions différentes (optimales ou minimalistes).

1.2 CALCUL DE LA PERFORMANCE DES PRE-REFROIDISSEURS DE LAIT

La performance énergétique des matériels testés est calculée d'après la température moyenne de la solution de « lait » mesurée à la sortie du pré-refroidisseur sur la durée de l'essai.

Cette valeur est ensuite reportée sur un graphique représentant la consommation de référence d'un tank à lait en fonction de la température d'arrivée du lait. Ce graphique a été élaboré grâce à une série d'essais étalons réalisés sur un tank de référence.

La consommation calculée en présence du pré-refroidisseur est comparée à la consommation de référence, ce qui permet d'obtenir la performance énergétique du matériel exprimée en pourcentage.

1.3 RESULTATS

Les Tableaux 2, 3 et 4 présentent les valeurs obtenues pour chacun des 14 modèles testés lors des essais de références (fonction de la configuration de traite sélectionnée).

Tableau 2 : Performance des pré-refroidisseurs testés dans une configuration de traite de 500 litres en 75 minutes

Marque	Modèle	Performance énergétique pour l'essai de référence
DELAVAL	BM PR-37	33 %
FRIGELAIT	PRT R18	47 %
GEA	PK 5000 / 70	47 %
PACKO	Compact cooler simple	36 %

Tableau 3 : Performance des pré-refroidisseurs testés dans une configuration de traite de 1 000 litres en 75 minutes

Marque	Modèle	Performance énergétique pour l'essai de référence
BOUMATIC	N53 SC0.5	28 %
CHARRIAU ¹	TEM Class	54 %
DELAVAL	BM PR-51	37 %
FRIGELAIT	PRT	46 %
GEA	PK 8000 / 32	53 %
G-MCIT	G-MCIT	35 %
PACKO	Compact cooler double	46 %
SERAP	Coaxial / PRT SX	42 %

Tableau 4 : Performance des pré-refroidisseurs testés dans une configuration de traite de 1 500 litres en 75 minutes

Marque	Modèle	Performance énergétique pour l'essai de référence
FRIGELAIT	PRT GD	46 %

La performance énergétique de l'ensemble des pré-refroidisseurs testés varie entre 28% et 54% pour les essais de référence.

2. MATERIEL ET METHODE POUR LES RECUPERATEURS DE CHALEUR

2.1 CONDITIONS D'ESSAIS

Chaque récupérateur de chaleur est testé sur un banc d'essai matérialisant la laiterie d'un bloc traite. Il est implanté sur le groupe frigorifique de 4,4 kW d'un tank à lait 2BII de 2 000 litres², entre le compresseur et le condenseur à air. Les modèles à plaques sont reliés par ailleurs à un ballon de stockage d'eau de 300 litres initialement à +12°C qui matérialise la source d'eau froide à préchauffer. Le groupe frigorifique du tank est déporté dans une chambre climatique de façon à maîtriser la température de l'air à l'entrée du condenseur.

L'essai démarre lorsqu'une quantité d'eau à +35°C (matérialisant le lait d'une traite) est introduit dans le tank, et dure tout le temps nécessaire au tank pour refroidir ce volume jusqu'à +4°C. Pour les modèles à plaques, l'eau commence à circuler dans le récupérateur de chaleur lorsque le tank se met en marche.

¹ NB : compte tenu des pertes de charges du circuit d'eau et afin d'assurer un ratio eau/lait de 1,5/1, la pression d'eau en entrée a été relevée à **3 bars** pour l'essai de référence, contre 2 bars pour les essais effectués sur les autres matériels. Cette modification était nécessaire pour parvenir au ratio commun de 1,5 litre d'eau par litre de lait.

² Équivalant à un tank de 4 000 litres conçu pour refroidir des traites de 1 000 litres en moins de 3 heures

Le banc d'essai est instrumenté de façon à mesurer les débits, pressions, températures et quantités d'énergie toutes les secondes.

Chaque récupérateur de chaleur subit deux essais :

- Le premier est réalisé dans des conditions dites « favorables » à la récupération de chaleur : 1 000 litres d'eau à +35°C sont introduits dans le tank, ce qui représente la quantité maximale d'une première traite, et la température à l'entrée du condenseur à air est maintenue à +30°C. Cet essai vise à évaluer le potentiel de récupération de chaleur des matériels dans des conditions qui favorisent la production d'eau chaude
- Le second est réalisé dans des conditions dites « intermédiaires » : la quantité de calories à évacuer est plus faible puisqu'on n'introduit que 500 litres d'eau à +35°C, et la température à l'entrée du condenseur à air est maintenue à +20°C.

2.2 CALCUL DE LA PERFORMANCE DES RECUPERATEURS DE CHALEUR

On mesure à la fin de l'essai la température moyenne de l'eau contenue dans le ballon de stockage où la cuve du récupérateur de chaleur, ce qui permet de connaître la quantité d'énergie transmise à l'eau via la récupération de chaleur. Cette valeur est comparée à la quantité d'énergie nécessaire pour chauffer 300 litres d'eau de +12°C à +65°C (valeur arbitraire de référence). En déduisant les éventuelles consommations liées à l'utilisation du récupérateur de chaleur (circulateur), on obtient la performance énergétique des matériels ; c'est-à-dire l'économie d'énergie qu'ils permettent sur la consommation de référence pour le chauffage de l'eau chaude sanitaire.

Parallèlement, on mesure également la consommation électrique du tank à lait que l'on compare à une valeur de référence. On évalue ainsi l'impact du récupérateur de chaleur sur ce paramètre.

2.3 RESULTATS

La performance énergétique des récupérateurs de chaleur testés varie de 85% à 103% pour les essais dits « favorables », et de 38% à 76% pour les essais dits « intermédiaires » (interm).

Marque	Modèle	Performance énergétique	
		Conditions favorables	Conditions interm
Récupérateurs de chaleur à échangeur à plaques			
ECOLACTEO	ECOLACTEO AERO	103 %	76 %
GEA	OPTICOOL 10	92 %	56 %
GEA	OPTICOOL 10 R	86 %	38 %
SERAP	SERATEMP SP 03	91 %	62 %
Récupérateurs de chaleur à échangeur interne (intégré à la paroi d'un ballon de stockage)			
BOUMATIC	THERMASTOR II-80	86 %	46 %
SERAP	ECOTEMP 300	86 %	46 %

3. DISCUSSION et CONCLUSION

Les résultats de ces essais permettent de mieux apprécier et caractériser le fonctionnement de ces équipements. Des recommandations de montage ont été définies.

Ainsi sur les pré-refroidisseurs, une vigilance particulière est demandée sur l'alimentation en eau (la température, le débit ainsi que le choix et le réglage du système de contrôle), l'alimentation en lait (dimensionnement de la pompe à lait et conception du circuit d'extraction du lait), la vidange du circuit d'eau (durant le nettoyage de l'installation de traite et mise hors gel) et l'entretien. De plus des propositions et des enquêtes ont été réalisées autour de la valorisation de l'eau tiédie : abreuvement, nettoyage, circuit fermé.

Sur les récupérateurs de chaleur, les recommandations sont sur le bon refroidissement et stockage du lait et la production d'eau chaude sanitaire. Pour le premier, il s'agit de maintenir la bonne ventilation des condenseurs, l'entretien des différents composants. Pour le second, il s'agit de la limitation des consommations d'eau chaude, du réglage de la consigne, de la qualité de l'eau, l'isolation des ballons et des canalisations et de l'entretien.

De plus ces essais fournissent des éléments chiffrés et comparables pour les démarches de conseil auprès des éleveurs en projet d'acquisition de ces équipements. Les techniciens peuvent ainsi réaliser des calculs et des simulations de coût et de retour sur investissement des solutions à mettre en place. L'éleveur obtient par ce fait des éléments plus concrets de choix de solutions et d'aide à la décision autour des économies d'énergie électrique de son bloc-traite.

Les références et l'expérience acquises durant ces essais constituent une base d'informations pour le conseil dans l'installation, la conception et le réglage des pré-refroidisseurs et des récupérateurs de chaleur sur refroidisseurs de lait auprès des éleveurs et des installateurs. Le banc d'essai a également été mobilisé par plusieurs fabricants pour tester des améliorations sur leur produit, en vue d'améliorer les performances. Il est probable que la publication des résultats a créé une émulation bénéfique en ce sens. Enfin, les résultats obtenus sur le banc d'essais ont été repris dans le cadre du dispositif national des certificats d'économie d'énergie, et ont servi au calcul de la valeur en kWh cumac des pré-refroidisseurs de lait et récupérateurs de chaleur.

Les auteurs tiennent à remercier en premier lieu l'ADEME et le Conseil Régional de Bretagne qui ont financé une partie des travaux de mise en place des bancs d'essais. Ils remercient également chaleureusement les membres du comité technique chargé de l'élaboration des protocoles de tests (Bureau d'études Elydhia, Chambres d'agriculture de Bretagne, CROCIT Bretagne, GIE Lait-Viande de Bretagne, Institut de l'Elevage, Pôle Cristal.,

Béguin, E., et al., 2008. Les consommations d'énergie dans les systèmes bovins laitiers : repères de consommation et pistes d'économie. Institut de l'Elevage, collection Synthèse, 32p.
Billon, P., et al., 2009. Traite des vaches laitières. Institut de l'Elevage, Guide France Agricole, 555p.
Carotte, G., et Heuchel, V., 1985. Pré-refroidissement et réfrigération instantanée du lait : intérêt économique. Institut Technique de l'Elevage Bovin, n°85113, 23p.
Comité Européen de Normalisation, 2003. EN 13732, " Refroidisseurs de lait en vrac à la ferme"
Durand, P., et Rosat, O., 1986. Etude sur le pré-refroidisseur tubulaire à lait par stagnation temporisée type PRT 32-24, GIE Lait-Viande de Bretagne, 77p.
Loobuyck, M., et al., 2010. Evaluation des performances énergétiques des pré-refroidisseurs de lait, résultats de la 1^{ère}

campagne d'essais, Institut de l'Elevage et GIE Lait-Viande de Bretagne, n°1031030, 42p.

Loobuyck, M., et al., 2010. Réduire la consommation électrique du tank grâce au pré-refroidissement du lait, Institut de l'Elevage et GIE Lait-Viande de Bretagne, ISBN 978-2-84148-947-3, n°001031025, 8p.

Loobuyck, M., et al., 2011. Evaluation des performances énergétiques des récupérateurs de chaleur sur tank à lait, résultats de la 1^{ère} campagne d'essais, Institut de l'Elevage et GIE Lait-Viande de Bretagne, n°1131003, 34p.

Loobuyck, M., et al., 2011. Réduire la consommation électrique du ballon d'eau chaude grâce au récupérateur de chaleur sur tank à lait,

Institut de l'Elevage et GIE Lait-Viande de Bretagne, ISBN 978-2-36343-121-9, n°001131020, p.

Ménard, J.L., et al., 1992. Influence du pré-refroidissement sur la qualité bactériologique du lait. Institut de l'Elevage, ENITIAA Nantes, La Cana, 26p.

Morin, C., et al., 2011, Consommation d'énergie en élevages herbivores. Institut de l'Elevage, Agricultures et Territoires, ADEME, Collection Méthodes et Outils, 92 p.

Prévost, M.C., et al., 2010. La maîtrise de la consommation d'eau en élevage bovin laitier. Institut de l'Elevage, Collection Essentiel, 4p.