

Évaluation du Polymair^{MD} dans un contexte d'élevage de poules de reproduction et de poulets à griller

Rapport final d'expérimentation

Présenté à



Par :

irda

10 années fertiles en
solutions!

20 avril 2008
Révisé

Table des matières

1. Équipe de réalisation	4
2. Remerciements	4
3. Résumé	5
4. Introduction	7
5. Objectifs	7
6. Déroulement des essais	8
6.1.1 Matériel et méthodes aux installations du Groupe Westco	8
6.1.2 Matériel et méthodes aux installations de la Ferme du Grand-Orme	10
7. Première partie : Résultats des essais aux installations du Groupe Westco	11
7.1 Maintien des conditions d'élevage	11
7.2 Comportement général de l'échangeur	11
7.3 Efficacité thermique de l'échangeur	14
7.4 Encrassement du cœur de l'échangeur	16
7.5 Impact sur la consommation énergétique	17
7.6 Impact économique de l'installation pour une saison hivernale (novembre à mars inclusivement)	18
7.7 Gain de puissance et coefficient de performance de l'appareil	20
7.8 Impact sur les émissions de GES	21
8. Deuxième partie : Résultats des essais aux installations de la ferme du Grand-Orme	22
8.1 Maintien des conditions d'élevage	22
8.2 Comportement général de l'échangeur	22
8.3 Efficacité thermique de l'échangeur	23
8.4 Encrassement du cœur de l'échangeur	25
8.5 Impact sur la consommation énergétique	27
8.6 Impact économique de l'installation pour une saison hivernale (mi-octobre à fin-mars)	28
8.7 Impact sur les GES	29
9. Conclusion	30

Liste des figures

Figure 1: Installation au Groupe Westco	9
Figure 3: Installation à la Ferme du Grand-Orme	10
Figure 4: Variation de la température et de l'humidité relative dans les deux bâtiments	11
Figure 5: Relevé de la température intérieure et des températures en amont et en aval du circuit froid de l'échangeur d'air.	12
Figure 6: Température de l'air froid réchauffé en fonction de la température de l'air extérieur (fév. 2008)	13
Figure 7: Humidité relative en amont et en aval du circuit froid de l'échangeur d'air (février 2008)	14
Figure 8: Évolution de l'efficacité thermique de l'échangeur (février 2008)	15
Figure 9: Prévission de l'efficacité thermique de l'appareil en fonction de la température extérieure (pour une température int. de 23°C)	15
Figure 11: Efficacité thermique de l'échangeur pour une période de 1 mois suivant une opération de nettoyage	17
Figure 12: Graphique des relevés de consommation pour les bâtiments 300 et 301 (4 fév. au 10 mars 2008)	18
Figure 13: Gain de puissance d'un échangeur en fonction de la température extérieure	20
Figure 14: Variation de la température et de l'humidité relative au premier étage du bâtiment 1	22
Figure 15: Relevé des températures en amont et en aval du l'échangeur	23
Figure 16: Évolution de l'efficacité thermique de l'échangeur	24
Figure 17: Prévission de l'efficacité thermique de l'appareil en fonction de la température extérieure (pour une température int. de 23oC)	24

Liste des tableaux

Tableau 1: Consommation de propane pour les bâtiments 300 et 301 entre le 4 fév. et le 10 mars 2008	18
Tableau 2: Bilan de consommation et total des économies associés à l'utilisation des échangeurs pour le premier étage du bâtiment 300.	19
Tableau 3: Consommation de propane, élevage de mi-janvier à mi-mars 2008	28
Tableau 4: Estimation de la consommation hivernale et totale de l'économie associée à l'utilisation des échangeurs pour le premier étage du bâtiment 1 (mi-oct à fin mars pour 3 élevages)	28

1. Équipe de réalisation

Institut de recherche et de développement en agroenvironnement inc. (IRDA) :

Daniel Yves Martin, ing. M. Sc., chercheur

François Léveillé, chargé de projet

Groupe PolyAlto :

Donald Cyr, représentant technique

2. Remerciements

Nous aimerions souligner la précieuse collaboration de MM. Daniel Dupuis et Yvano Nadeau du Groupe Westco ainsi que de M. Stéphane Forest de la Ferme du Grand-Orme sans qui la réalisation de ce projet n'aurait pu être couronnée de succès.

3. Résumé

Des échangeurs d'air récupérateurs de chaleur Polymair^{MD} ont été installés à l'hiver 2008 sur deux sites d'élevages de volaille afin d'évaluer leur rendement énergétique en condition réelle. Un des bâtiments de la Ferme-du-Grand-Orme de la région de Lanaudière a été équipé de deux échangeurs d'air récupérateur de chaleur pour la ventilation hivernale d'un élevage de poulets à griller. Deux appareils ont également été installés sur un des sites d'élevage de poules de reproduction du Groupe Westco au Nouveau-Brunswick.

Résultats suite aux essais au Groupe Westco

Deux bâtiments comparables étaient munis de compteurs de gaz. La régie de contrôle assurait une ventilation équivalente dans les deux bâtiments de sorte que le niveau d'humidité était maintenu selon la consigne préétablie. Ceci a permis d'établir avec précision l'impact du Polymair^{MD} sur la consommation énergétique des installations du Groupe Westco.

Durant la période d'évaluation, l'efficacité thermique moyenne des appareils s'est maintenue à près de 51%. Même dans les conditions poussiéreuses habituellement rencontrées dans les élevages de poules de reproduction, cette performance a été maintenue à ce niveau pendant une période d'au moins quatre semaines d'opération avant de procéder au nettoyage des appareils.

Au premier étage d'un des bâtiments étudiés, les échangeurs de chaleur ont généré une économie de 1 971 litres de propane entre la période du 4 février et du 10 mars représentant une économie de 50% par rapport à une méthode de ventilation conventionnelle. Sur une base annuelle soit entre novembre et mars inclusivement, ceci représente une économie de près de 8 758 litres de propane. La période de retour sur l'investissement est évaluée à près de trois ans.

Résultats suite aux essais à la Ferme du Grand-Orme

L'efficacité thermique moyenne des échangeurs installés à la Ferme du Grand-Orme a été de 44%. Ce résultat est inférieur à ceux obtenus habituellement pour ce genre d'élevage. Le fait que le débit du fluide froid et celui du fluide chaud n'est pas été maintenu balancé tout au long de l'expérimentation explique probablement ce résultat.

Au premier étage du bâtiment étudié, les échangeurs de chaleur ont généré une économie de près de 1 576 litres de propane entre la mi-janvier et la mi-mars représentant une économie de 60% par rapport à la gestion de ventilation usuelle de la Ferme du Grand-Orme. Sur une base annuelle soit entre la mi-octobre et la fin-mars (pour 3 élevages), ceci représente une économie de près de 4 151 litres de propane.

Période de rentabilité

Sur une base énergétique globale qui tient compte de la réduction de consommation du propane ainsi que de la dépense électrique nécessaire au fonctionnement des appareils, l'utilisation des échangeurs génère des économies qui permettent un retour sur l'investissement évalué entre trois ans et cinq ans selon la pratique d'élevage utilisée. Fait à noter, puisque le premier étage d'un élevage est souvent le plus énergivore, l'impact économique des échangeurs de chaleur sur une base absolue est davantage marqué au

premier étage qu'au second étage. Ainsi, comme stratégie d'investissement, il sera plus avantageux dans un premier temps d'implanter les échangeurs de chaleur aux étages du bas.

4. Introduction

Les résultats sur les travaux présentés dans ce document s'inscrivent dans la poursuite du programme de RSetDE sur le développement de l'échangeur d'air récupérateur de chaleur Polymair^{MD} amorcé depuis 2006 par Plastique Polyfab. L'évaluation des performances de l'appareil en conditions réelles était une étape importante dans le processus de développement du produit et devait être réalisée selon une démarche scientifique afin d'établir avec précision les paramètres d'opération de l'équipement commercialisé. Initialement, le projet proposait l'essai de l'échangeur de chaleur Polymair 1500A-07 dans un contexte d'élevage de poules pondeuses pour la reproduction ainsi que de porcs sur litière. Toutefois, suite à la proposition de projet, une opportunité s'est présentée à Plastique Polyfab afin de procéder à l'évaluation des appareils dans un élevage de poulets à griller. Considérant les ressources financières limitées pour réaliser ces travaux ainsi que l'intérêt marqué du secteur avicole pour la technologie, nous avons jugé pertinent de concentrer l'expérimentation sur les élevages de poulets à griller et de poules pondeuses pour la reproduction.

Rappelons que, de façon générale, l'élevage de volailles est réalisé sur litière de bran de scie ou de paille de céréale (poulets à griller, poules pondeuses destinées à la reproduction, dindons, canard). Les coûts de chauffage associés à ces élevages sont particulièrement importants puisque les bâtiments doivent être maintenus à des températures élevées. Le niveau d'humidité habituellement retrouvé dans ces élevages est également problématique pour la gestion de la litière qui risque d'entraîner des problèmes de santé animale. De plus, on retrouve dans ces élevages, de fortes concentrations de poussières et de gaz corrosif.

5. Objectifs

La présente étude avait pour but d'évaluer la performance de l'échangeur d'air récupérateur de chaleur Polymair^{MD} dans un contexte d'élevage de poules de reproduction et de poulets à griller. Les objectifs spécifiques suivants ont été réalisés dans le cadre des essais :

- Évaluer les performances thermiques de l'appareil en conditions réelles de production;
- Vérifier le comportement de l'appareil face aux environnements adverses retrouvés dans ces élevages (poussière, humidité);
- Évaluer l'impact de l'appareil sur la consommation de carburant;
- Montrer l'impact de l'appareil sur le contrôle de l'humidité et de la température dans les bâtiments;
- Évaluer l'impact sur la réduction des gaz à effet de serre (GES).

6. Déroulement des essais

Au total, quatre appareils ont été installés dans les bâtiments d'élevages des entreprises suivantes :

Entreprise :	Groupe Westco	Ferme du Grand-Orme
Personne(s) ressource(s) :	MM. Daniel Dupuis et Yvano Nadeau	M. Stéphane Forest
Type d'élevage :	Poules de reproduction	Poulets à griller
Localisation :	Saint-François, N-B.	Sainte-Mélanie, Qc.
Nombre d'appareils installés :	2	2

Les installations du Groupe Westco ont permis d'évaluer avec plus de précision l'impact économique relié à l'utilisation des échangeurs de chaleur. À cet effet, notons :

- La comparaison entre 2 bâtiments identiques soit un bâtiment témoin avec ventilation conventionnelle et un bâtiment utilisant les échangeurs de chaleur;
- Une régie de ventilation équivalente pour les deux bâtiments .
- Des compteurs de gaz propane pour chacun des étages des bâtiments étudiés;

6.1.1 Matériel et méthodes aux installations du Groupe Westco

Les essais chez le Groupe Westco se sont déroulés entre le 9 janvier 2008 et le 31 mars 2008. Deux bâtiments ont été comparés entre eux (bâtiment 300 et bâtiment 301). Chacun des bâtiments possédaient les mêmes caractéristiques de construction et abritaient environ 10 000 oiseaux répartis quasi-également sur deux étages (coqs reproducteurs et poules pondeuses). La dimension du bâtiment 300 était de 11 m sur 54 m et celle du bâtiment 301 de 11 m sur 53 m. Des aérothermes et des éleveuses au propane étaient utilisées pour le chauffage. Les deux bâtiments possédaient une puissance de chauffage identique de 185kW (630 000 BTU/h).

Deux échangeurs d'air récupérateurs de chaleur ont été installés au premier étage du bâtiment 300. Ces appareils comblaient une partie des besoins de ventilation hivernale de l'élevage en fournissant un débit total de 1,27 m³/s (2700 pcm représentant 0,55 pcm/oiseau). Les autres salles d'élevages n'étaient pas équipées d'échangeur de chaleur et la gestion de la température et de l'humidité a été maintenue de façon conventionnelle, c'est à dire avec les ventilateurs déjà en place. La consigne d'humidité était identique dans les deux bâtiments. La Figure 1 montre les installations dans un bâtiment du Groupe Westco.



Figure 1: Installation au Groupe Westco

Les premiers étages des bâtiments 300 et 301 ont été instrumentés avec des acqui- siteurs de données pour la température et l'humidité relative (HOBO U12 Temp/RH, Onset Computer Corporation, MA, USA) ayant une précision de $\pm 0,35^{\circ}\text{C}$ pour la température et de $\pm 2.5\%$ pour un niveau d'humidité variant entre 10 et 90%. Dans chacune des salles, ces appareils mesuraient et enregistraient les données d'ambiance de façon automatique toutes les 10 minutes. De plus, un des échangeurs d'air (bâtiment 300, étage 1) était équipé du même type d'acquisiteur de données pour enregistrer la température et l'humidité à l'entrée et à la sortie de l'appareil.

Chacun des étages du bâtiment 300 ainsi que l'étage 1 du bâtiment 301 ont été équipés de compteurs de gaz propane (Modèle ALM 225, Canadian Meter Company, Ont., Canada). Le système de contrôle de l'environnement en place permettait de comptabiliser le temps de fonctionnement des fournaies installées dans les zones d'élevage.

Des observations qualitatives ont portées principalement sur la propreté du noyau des échangeurs ainsi que sur l'opération de nettoyage.

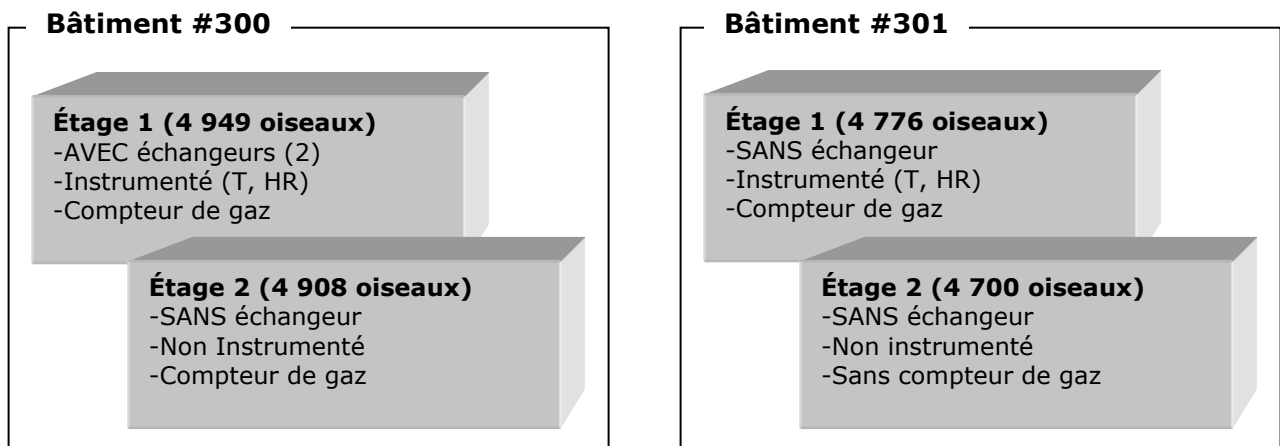


Figure 2: Installation des équipements et instruments

6.1.2 Matériel et méthodes aux installations de la Ferme du Grand-Orme

Les essais aux installations de la Ferme du Grand-Orme se sont déroulés entre le 11 janvier 2008 et le 11 avril 2008. Des observations ont été réalisées sur le bâtiment 1 qui servait à l'élevage de 9 750 poulets à griller (sur 56 jours). La dimension du bâtiment était de 61 m sur 11 m. Deux appareils y ont été installés au premier étage. Ces appareils prenaient en charge une partie de la ventilation hivernale en fournissant un débit de 1,27 m³/s (2700 pcm). Le débit de ventilation unitaire maximal fournit par les deux appareils était de 0,3 pcm/poulet pour les six premières semaines. Ce taux unitaire a été ramené à 0,4 pcm/poulet suite à l'expédition d'un certain nombre d'oiseaux. Ce taux de ventilation représente entre 20 et 70% du besoin de l'élevage selon la température extérieure.

Seul le premier étage du bâtiment 1 a été instrumenté avec des acquiiseurs de données pour la température et l'humidité relative (HOBO U12 Temp/RH, Onset Computer Corporation, MA, USA) ayant une précision de $\pm 0,35^{\circ}\text{C}$ pour la température et de $\pm 2,5\%$ pour un niveau d'humidité variant entre 10 et 90%. Ces appareils mesuraient et enregistraient les données d'ambiance de façon automatique toutes les 10 minutes. De plus, un des échangeurs d'air était équipé du même type d'acquiiseur de donnée pour enregistrer la température et l'humidité à l'entrée et à la sortie de l'appareil. Des photographies du noyau de l'échangeur ont été prises à intervalle régulier au cours de l'expérimentation afin de vérifier l'état de ce dernier. La Figure 3 montre les installations dans un bâtiment de la Ferme du Grand-Orme.

Contrairement aux installations du Groupe Westco, aucun compteur de gaz n'a été installé pour mesurer précisément la consommation des bâtiments. Toutefois, le système de contrôle de l'environnement en place permettait de comptabiliser le temps de fonctionnement des fournaies installées au premier étage du bâtiment 1. Des lectures de consommation aux réservoirs de propane ont également été prises en période d'essai. Ces informations permettront d'obtenir le portrait de consommation entre les deux modes de ventilation soit avec échangeur et sans échangeur.



Figure 3: Installation à la Ferme du Grand-Orme

7. Première partie : Résultats des essais aux installations du Groupe Westco

7.1 Maintien des conditions d'élevage

La ventilation hivernale des bâtiments assure le maintien des conditions d'élevage en régulant le taux d'humidité relative autour de la consigne, en éliminant la vapeur d'eau produite par la respiration et la transpiration des animaux ainsi que les gaz produits par la litière. Les échangeurs installés au bâtiment 300 prenaient en charge une partie de la ventilation hivernale du premier étage. Ils ont été en fonction 24 heures sur 24 durant toute la période d'essai soit entre le 9 janvier 2008 et le 31 mars 2008. La ventilation du bâtiment #301 a été opérée de façon conventionnelle sans l'utilisation d'échangeurs de chaleur. La Figure 4 montre que la température et l'humidité relative s'est maintenue de façon similaire dans les deux bâtiments d'élevage.

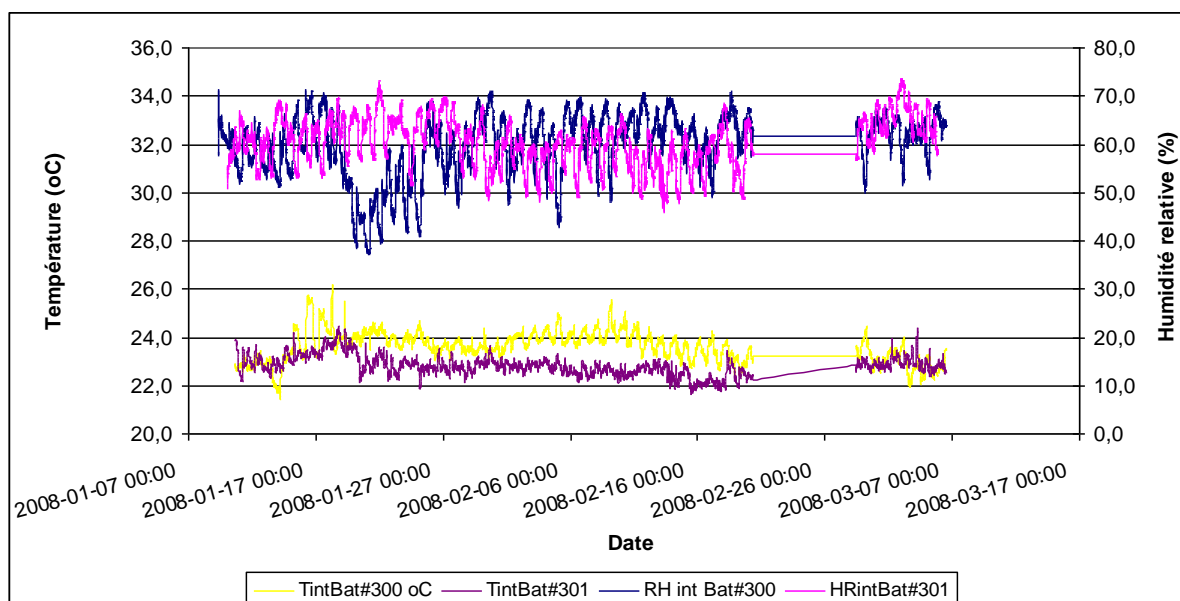


Figure 4: Variation de la température et de l'humidité relative dans les deux bâtiments

7.2 Comportement général de l'échangeur

Pour évaluer le comportement des échangeurs installés dans le bâtiment 300, la période s'écoulant entre le 11 février et le 21 février 2008 a été retenue. Lors de cette période, les deux échangeurs de chaleur ont fonctionné à plein régime et de façon continue. La Figure 5 présente les températures mesurées par le système d'acquisition de données. Ces valeurs représentent les températures mesurées à l'intérieur et à l'extérieur du bâtiment ainsi que celles de l'air provenant de l'extérieur une fois réchauffé par le système récupérateur de chaleur. L'examen de la Figure 5 montre une grande variabilité de la température extérieure passant entre -24°C et 8°C . Cette forte variation nous permet

d'évaluer le comportement de l'échangeur dans des conditions extrêmes. La température de l'air froid réchauffé par l'échangeur s'est maintenue entre 0°C et 15,5°C. L'air neuf provenant de l'extérieur n'a jamais été sous le point de congélation et ce, même pour une température extérieure de -24°C. On remarque également que les valeurs de température intérieure suivent fidèlement la consigne déterminée par l'éleveur et se situent entre 22,5°C et 24°C.

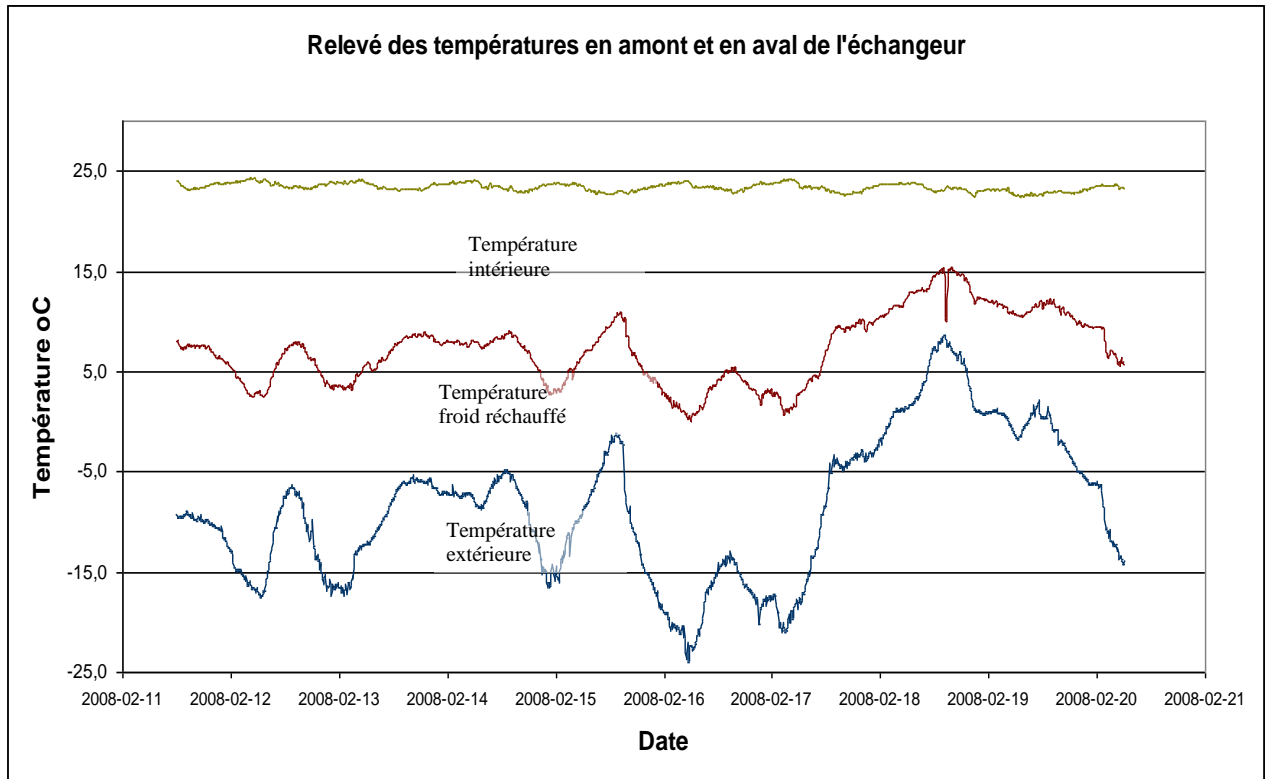


Figure 5: Relevé de la température intérieure et des températures en amont et en aval du circuit froid de l'échangeur d'air.

L'examen des températures relevées au cours des essais révèlent qu'il existe une relation linéaire entre la température extérieure et la température de l'air froid réchauffé par l'échangeur. La Figure 6 montre que cette relation est définie par l'équation suivante :

$$T_{fr} = 0,4786T_{ext} + 11,37 \quad (1)$$

Où :

T_{fr} : Température de l'air froid réchauffé par l'échangeur d'air (°C);
 T_{ext} : Température de l'air extérieur (°C).

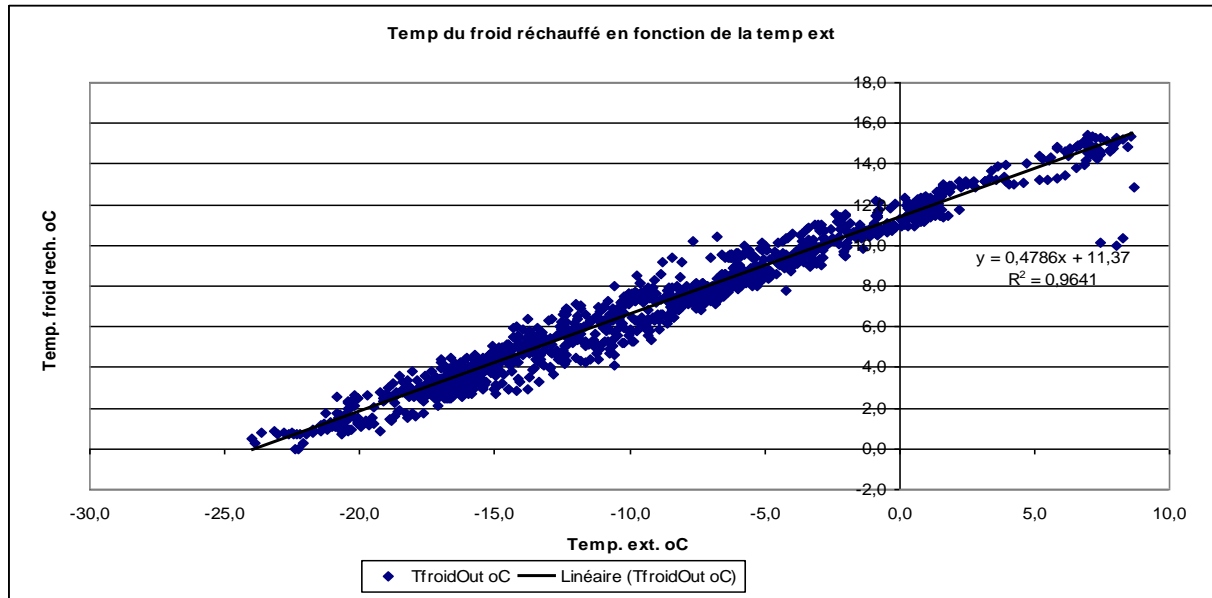


Figure 6: Température de l'air froid réchauffé en fonction de la température de l'air extérieur (fév. 2008)

L'équation (1) permet ainsi de prévoir la température de l'air réchauffé par l'échangeur selon la température de l'air extérieur pour des environnements intérieurs maintenus en moyenne à 23°C et à 65% d'humidité relative. À titre d'exemple, de l'air extérieur entrant dans l'échangeur à -15°C ressortira à 4°C dans le bâtiment.

La Figure 7 illustre un effet du réchauffement de l'air extérieur suite à son passage dans l'échangeur d'air. On note ainsi un abaissement significatif de la valeur de l'humidité relative provoqué par l'expansion de l'air réchauffé dans l'appareil. Des valeurs basses d'humidité relative au sortir de l'échangeur témoignent également de l'excellente étanchéité entre les circuits chauds et froids de l'appareil. De fait, de hautes valeurs d'humidité relative indiqueraient une contamination entre les deux circuits, ce qui serait néfaste à l'effet asséchant recherché. De manière quantitative, l'examen de la Figure 7 révèle que pour la période illustrée (février 2008) l'humidité relative de l'air extérieur a varié de 50 à 100 % et que dans ces conditions, l'humidité relative de l'air froid réchauffé par l'échangeur a oscillé entre 13 et 60% avec une moyenne de 28%.

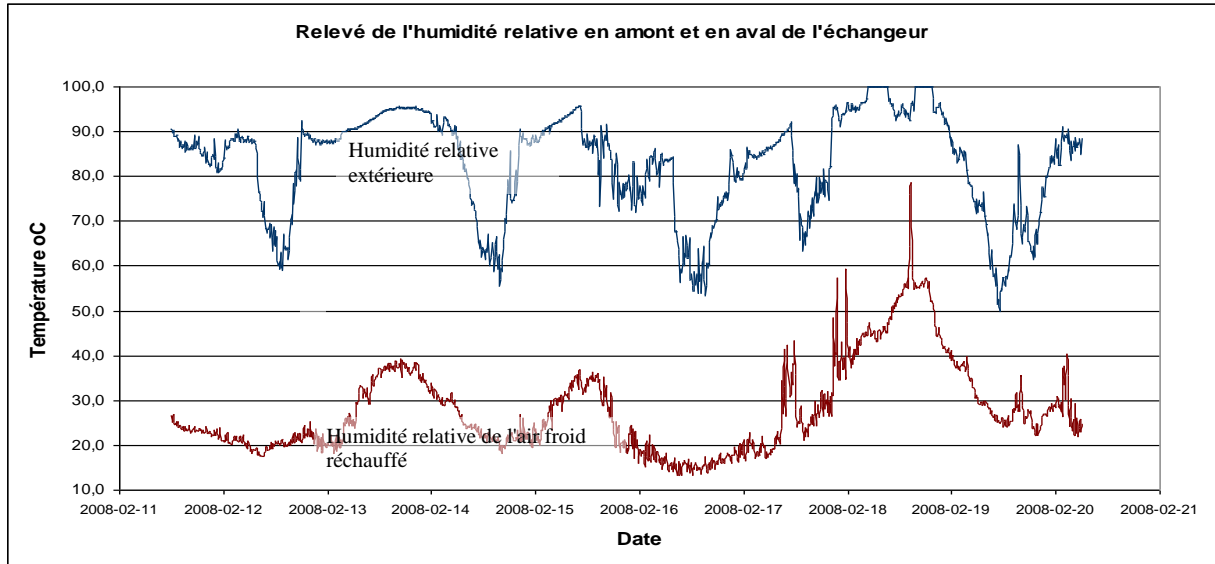


Figure 7: Humidité relative en amont et en aval du circuit froid de l'échangeur d'air (février 2008)

7.3 Efficacité thermique de l'échangeur

L'équation suivante permet de calculer l'efficacité thermique d'un échangeur de chaleur air-air à contre-courant.

$$E = \frac{T_{ce} - T_{fs}}{T_{ce} - T_{fe}} \quad (2)$$

Où :

- E : efficacité thermique (%)
- T_{ce} : température de l'air chaud entrant dans l'échangeur de chaleur (C°)
- T_{fs} : température de l'air froid réchauffé sortant de l'échangeur de chaleur (C°)
- T_{fe} : température de l'air froid entrant dans l'échangeur de chaleur (C°)

L'examen de la Figure 8 démontre que l'efficacité thermique moyenne de l'échangeur a été de 51%. L'efficacité thermique de l'appareil s'est maintenue entre 43% et 58% lors de la période étudiée.

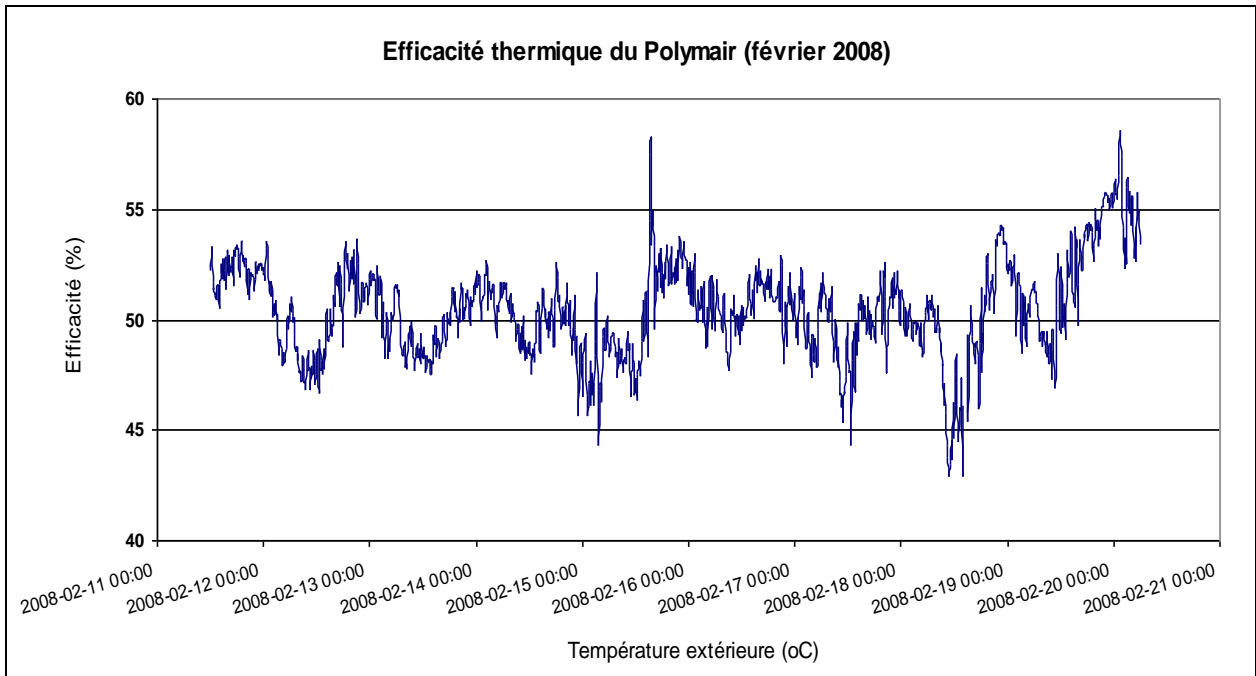


Figure 8: Évolution de l'efficacité thermique de l'échangeur (février 2008)

La différence entre la température extérieure et la température intérieure influence grandement l'efficacité thermique de l'appareil. En considérant la température ambiante constante (consigne de 23°C), l'étude de la Figure 9 nous montre la relation qui permet de prévoir l'efficacité thermique de l'échangeur en fonction de la température extérieure.

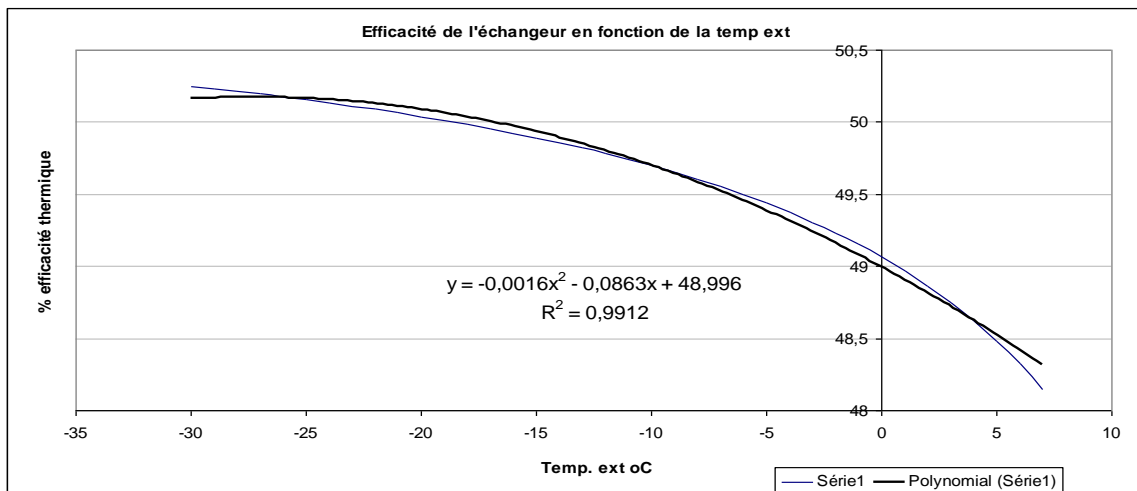


Figure 9: Prédiction de l'efficacité thermique de l'appareil en fonction de la température extérieure (pour une température int. de 23°C)

À titre d'exemple, pour une température ambiante de 23°C et une température extérieure de -15°C, l'échangeur permet de récupérer près de 50% de la chaleur évacuée du

bâtiment. Ce même graphique nous permet de voir que l'efficacité thermique de l'appareil chute rapidement pour les températures au delà de 5°C.

7.4 Encrassement du cœur de l'échangeur

L'élevage de poules de reproduction génère une quantité de poussières importante qui a un impact sur la propreté du noyau de l'échangeur. Lors des essais, la fréquence moyenne de nettoyage à été de 4 à 6 semaines. La Figure 10 montre le niveau d'encrassement avant le nettoyage et après le nettoyage.

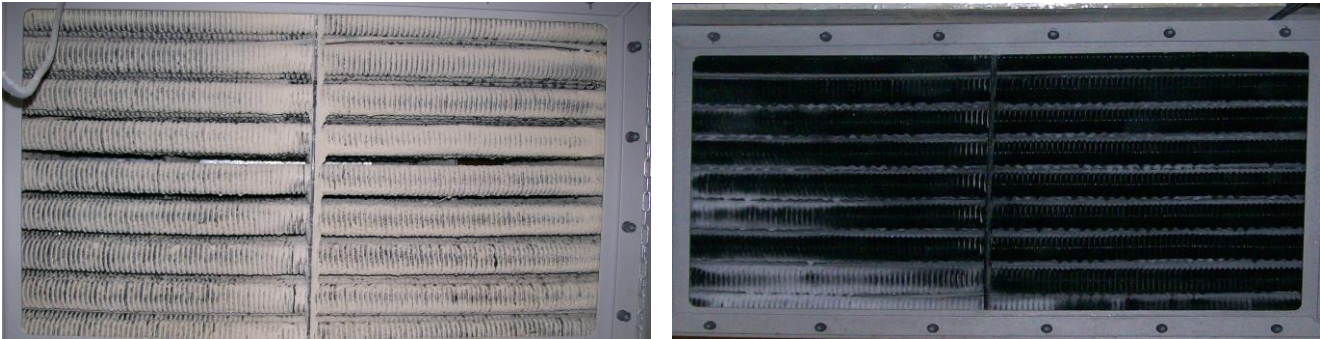


Figure 10: Niveau d'encrassement du noyau de l'échangeur avant et après le nettoyage (23 janv. 2008)

Un dépôt trop important de poussière sur la tuyauterie du noyau de l'échangeur pourrait avoir un effet sur la performance thermique de l'appareil. Le graphique de la Figure 11 montre la variation de l'efficacité thermique de l'échangeur pendant une période d'un mois suivant une opération de nettoyage. L'étude de cette figure montre que, pour une période minimale de quatre semaines d'opération, le taux d'encrassement n'a pas d'impact notable sur l'appareil puisque les efficacités ne montrent pas une tendance marquée à la baisse. L'efficacité thermique moyenne de l'appareil s'est maintenue à 50% durant cette période.

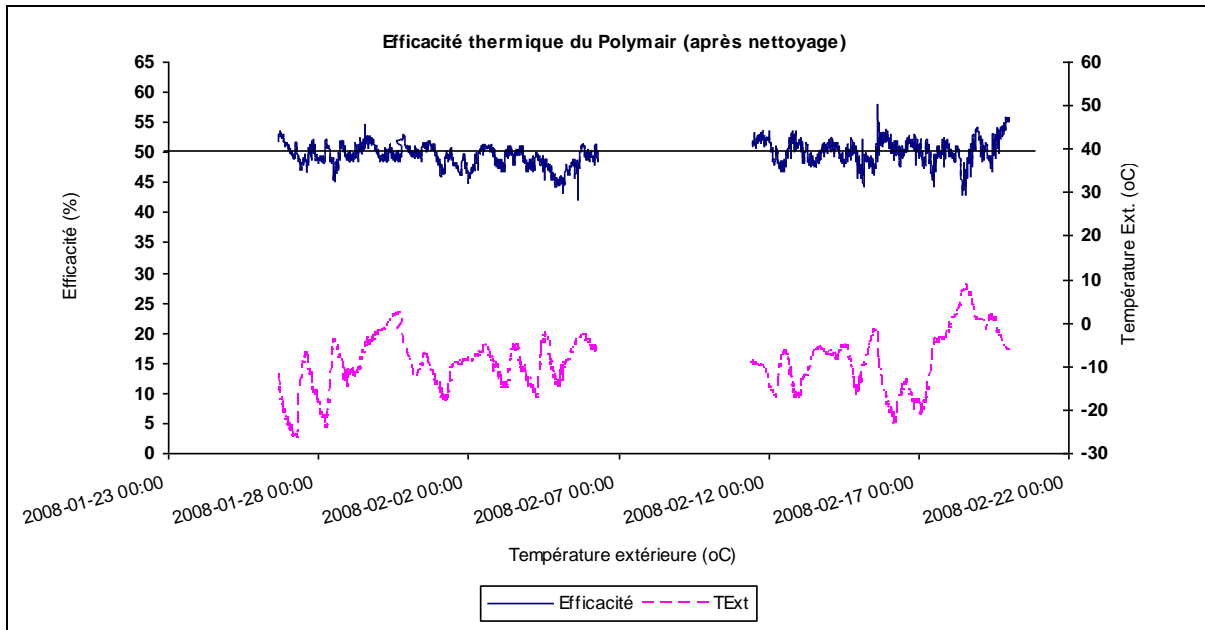


Figure 11: Efficacité thermique de l'échangeur pour une période de 1 mois suivant une opération de nettoyage

7.5 Impact sur la consommation énergétique

Les infrastructures retrouvées sur le site de Westco ont permis de comparer le comportement énergétique entre deux méthodes de ventilation hivernale. La période entre le 4 février et le 10 mars 2008 a été retenue pour évaluer l'impact de l'échangeur sur la consommation de carburant. La Figure 12 montre les relevés journaliers représentant les volumes journaliers de propane utilisé pour le chauffage des bâtiments.

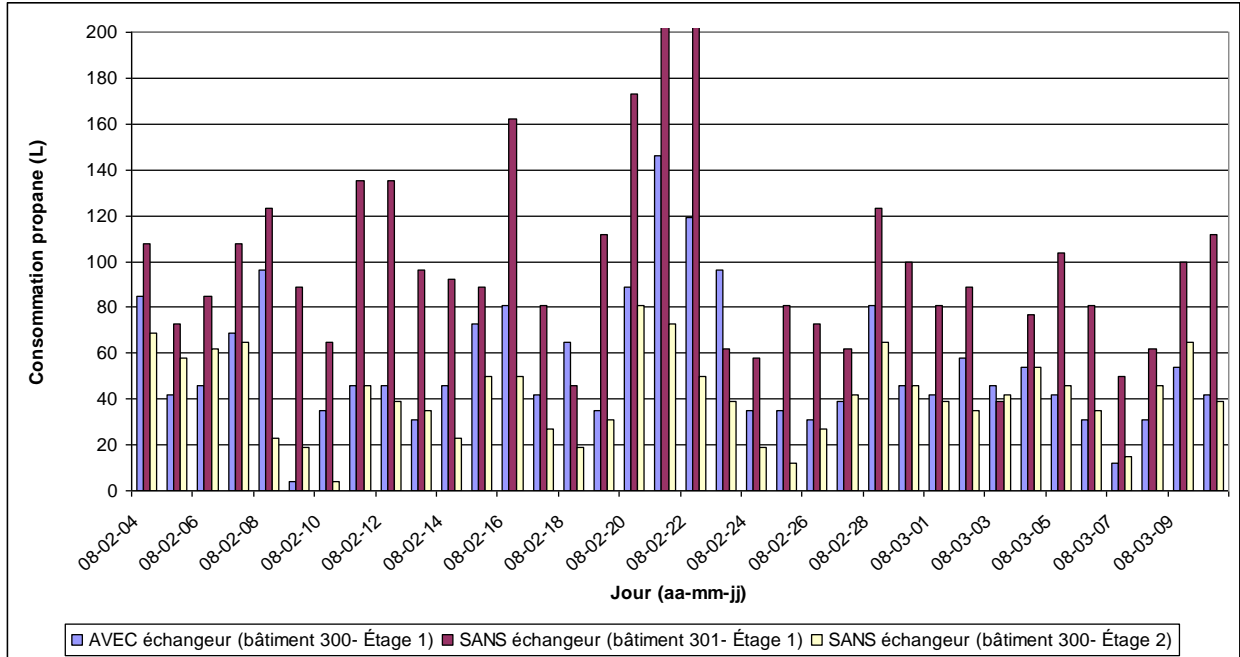


Figure 12: Graphique des relevés de consommation pour les bâtiments 300 et 301 (4 fév. au 10 mars 2008)

De façon générale, on remarque que la consommation de propane à l'étage 1 du bâtiment 300 avec échangeur est inférieure à celle de l'étage 1 du bâtiment 301 (sans échangeur) et se rapproche davantage à la consommation de l'étage 2. Le Tableau 1 résume la consommation des trois salles pour la période entre le 4 février et le 10 mars.

Tableau 1: Consommation de propane pour les bâtiments 300 et 301 entre le 4 fév. et le 10 mars 2008

Consommation relevée au compteur de gaz		
AVEC échangeur (bâtiment 300- Étage 1)	SANS échangeur (bâtiment 301- Étage 1)	SANS échangeur (bâtiment 300- Étage 2)
1 971 L	3 966 L	1 490 L

Lors de cette période, les échangeurs de chaleur ont généré une baisse de consommation de 1 995 litres de propane qui se traduit par une économie de 50% par rapport à une méthode de ventilation conventionnelle pour cette même période.

7.6 Impact économique de l'installation pour une saison hivernale (novembre à mars inclusivement)

L'analyse des bénéfices économiques associés à l'utilisation d'échangeurs d'air récupérateur de chaleur s'établit en estimant d'une part, les économies en frais de chauffage obtenues par les appareils en comparaison aux coûts qu'il faudrait consacrer pour obtenir une ambiance équivalente avec une ventilation conventionnelle. Le Tableau 2 résume le bilan énergétique pour le premier étage du bâtiment 300 en tenant compte de la dépense électrique pour le fonctionnement des ventilateurs (ventilateurs des deux

échangeurs et ventilateurs de ferme). Afin de prédire l'impact économique qu'aurait l'échangeur de chaleur pour une saison hivernale complète (novembre à mars inclusivement), nous avons procédé à une analyse selon un modèle mathématique développé à partir des données recueillies lors des essais. Ce modèle prend en considération les caractéristiques du bâtiment, la perte de chaleur engendrée par ventilation, la température intérieure et extérieure ainsi que la chaleur fournie par les animaux.

Tableau 2: Bilan de consommation et total des économies associés à l'utilisation des échangeurs pour le premier étage du bâtiment 300.

Bilan de consommation pour la période hivernale (nov. à mars inclus.)	
Coût unitaire du propane (\$/L):	0,60 \$
Dépense journalière de propane SANS échangeur:	66 \$ (110 L)
Dépense d'énergie électrique journalière pour le fonctionnement des ventilateurs de ferme:	2 \$
Dépense d'opération SANS échangeur:	68 \$
Dépense journalière de propane AVEC échangeur:	31 \$ (52 L)
Dépense d'énergie électrique pour le fonctionnement des échangeurs:	10 \$
Dépense d'opération AVEC échangeur:	41 \$
Économie journalière pour la période:	27 \$
Estimation du nb de jour d'opération des échangeurs:	151 jours
Total des économies pour la saison hivernale (pour le premier étage du bâtiment 300):	4 067 \$

L'économie de propane est basée sur la comparaison entre un mode de gestion de ventilation utilisant les échangeurs de chaleur et une gestion conventionnelle de la ventilation tel qu'opéré par Westco. Pour un élevage de poules de reproduction, la réduction de la consommation est évaluée à 8 758 litres pour la période de novembre à mars inclusivement. Ceci se traduit par une réduction de la consommation de propane de 53%.

Sur une base énergétique globale qui tient compte de la dépense électrique nécessaire au fonctionnement des échangeurs, l'économie est ramenée à 40%. Considérant cette économie à 4 067\$ et le coût d'acquisition des deux appareils à environ 12 500\$, la période de retour sur l'investissement est évaluée à près de 3 ans.

7.7 Gain de puissance et coefficient de performance de l'appareil

La performance énergétique de l'échangeur de chaleur se mesure en comparant la puissance récupérée par celui-ci et celle consommée par les ventilateurs de l'appareil. Le rapport entre ces deux valeurs donne le coefficient de performance (COP) de l'échangeur. La puissance récupérée par l'échangeur, c'est-à-dire le gain de Puissance Q , se calcule à partir de la variation d'énergie de l'air du circuit froid et est donné par la relation (3).

$$Q = V_f \left(\frac{\rho_{fs} + \rho_{fe}}{2} \right) (h_{fs} - h_{fe}) \quad (3)$$

Où

Q = Gain de puissance (kW);

V_f = Débit volumique de l'air froid (m^3/s);

ρ_{fs} = densité de l'air froid sortant de l'échangeur (kg/m^3);

ρ_{fe} = densité de l'air froid entrant dans l'échangeur (kg/m^3);

h_{fs} = enthalpie de l'air froid sortant de l'échangeur ($\text{kJ}/\text{kg}_{\text{air sec}}$);

h_{fe} = enthalpie de l'air froid entrant dans l'échangeur ($\text{kJ}/\text{kg}_{\text{air sec}}$).

La Figure 13 montre le gain de puissance fourni par un échangeur en fonction de la température extérieure pour des conditions ambiantes moyennes aux installations du Groupe Westco.

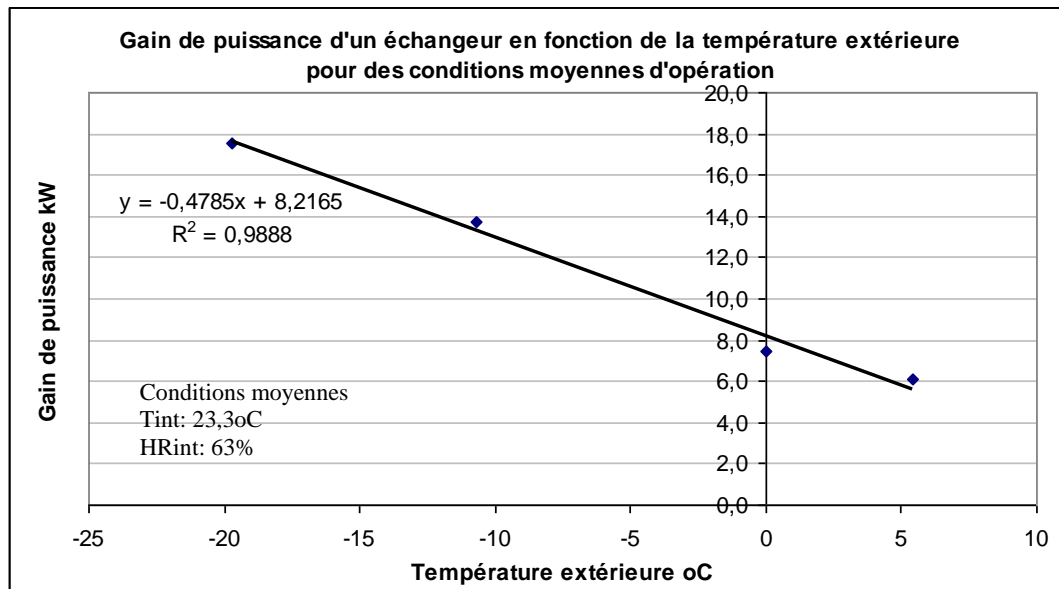


Figure 13: Gain de puissance d'un échangeur en fonction de la température extérieure

La figure 13 montre que pour une température extérieure de -10°C et pour des conditions ambiantes habituellement retrouvées dans un poulailler, un échangeur fournit une puissance de 13,7 kW.

Compte tenu que la puissance électrique nécessaire au fonctionnement des deux ventilateurs est de 2,2 kW, le COP de l'échangeur pour ces conditions est de 6,2. En d'autre terme, l'échangeur, dans ces conditions d'opération, va produire 6,2 fois plus d'énergie qu'il n'en consomme. Il variera de 8 à 2,8 pour des températures extérieures - 20°C à 5°C. Plus le COP est élevé, plus l'équipement est performant. Le COP varie selon les conditions d'opération de l'échangeur

7.8 Impact sur les émissions de GES

De façon générale, chaque litre de propane consommé génère 1,5 kg de CO₂ dans l'atmosphère. L'utilisation des échangeurs d'air installés au premier étage du bâtiment 300 permet une réduction d'émission de ce gaz à effet de serre d'un peu plus de 13 tonnes annuellement.

8. Deuxième partie : Résultats des essais aux installations de la ferme du Grand-Orme

8.1 Maintien des conditions d'élevage

Deux échangeurs ont été installés au premier étage du bâtiment 1. Les appareils ont été contrôlés par un automate de contrôle de l'humidité. La consigne d'humidité était fixée à 65% en début d'élevage et à 66% pour les trois dernières semaines d'élevage. La Figure 14 nous montre le maintien des conditions d'élevage pour la période entre le 18 février et le 5 mars 2008.

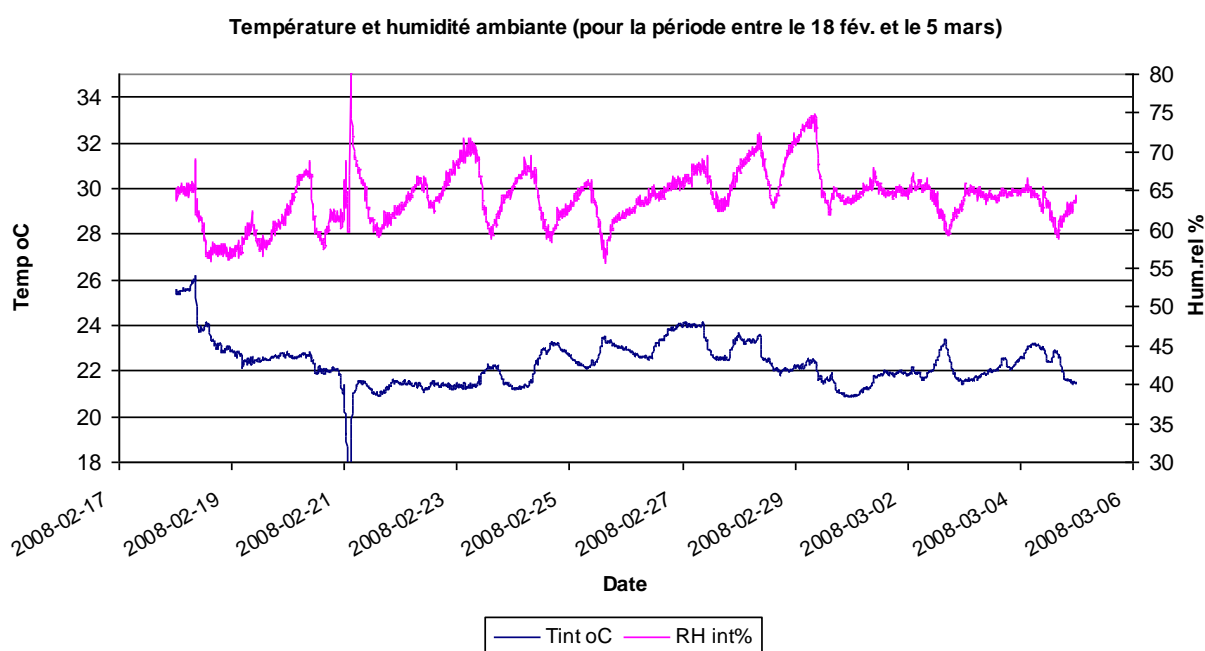


Figure 14: Variation de la température et de l'humidité relative au premier étage du bâtiment 1

8.2 Comportement général de l'échangeur

Pour évaluer le comportement de l'échangeur installé dans le bâtiment 1, la période s'écoulant entre le 11 février et le 5 mars 2008 a été retenue. Lors de cette période, les papillons servant à l'ajustement du débit des échangeurs ont été réajustés par l'éleveur à de nombreuses reprises lors des essais modifiant ainsi l'équilibre entre le fluide froid et le fluide chaud circulant dans l'échangeur. Puisque cette notion d'équilibre n'a pas été respectée lors des essais, il nous est difficile d'exprimer avec précision la performance des appareils en opération optimale.

La Figure 15 présente les températures mesurées par le système d'acquisition de données. Ces valeurs représentent les températures mesurées à l'intérieur et à l'extérieur du bâtiment ainsi que celles de l'air provenant de l'extérieur une fois réchauffé par le système récupérateur de chaleur. L'examen de cette figure montre une grande variabilité de la température extérieure qui s'est située entre -27°C et 7°C . Cette forte variation nous permet d'évaluer le comportement de l'échangeur dans des conditions extrêmes. De façon générale, la température de l'air froid réchauffé par l'échangeur s'est maintenue entre $-0,5^{\circ}\text{C}$ et 14°C à l'exception de deux période (21 fév. et 29 fév.).

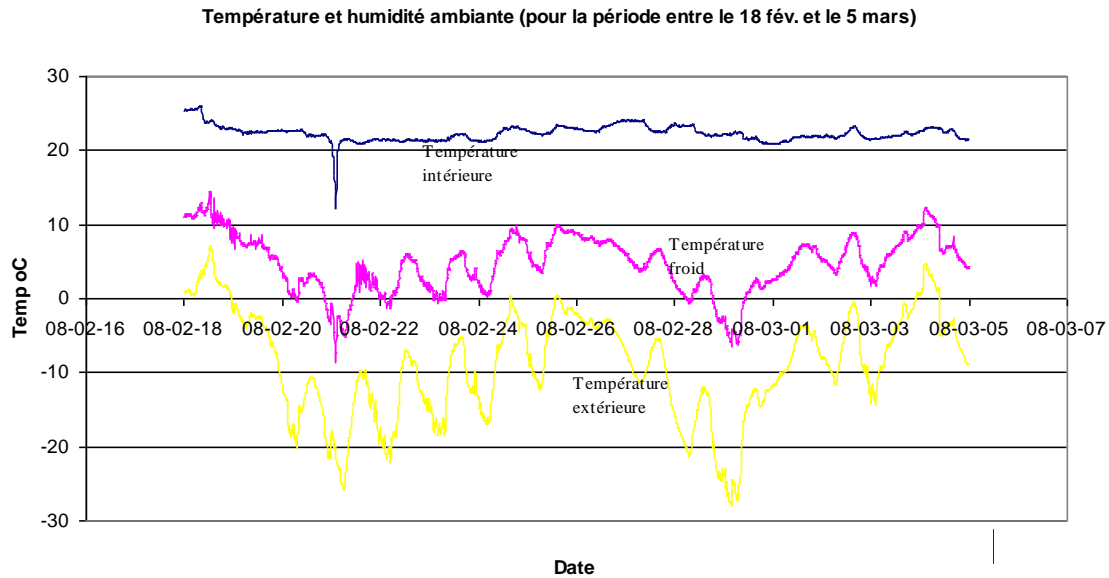


Figure 15: Relevé des températures en amont et en aval de l'échangeur

8.3 Efficacité thermique de l'échangeur

L'examen de la Figure 16 démontre que l'efficacité thermique moyenne des échangeurs a été de 44%. L'efficacité thermique de l'appareil s'est maintenue entre 40% et 50% pour de la période étudiée. Ce résultat est inférieur à ceux obtenus habituellement pour ce genre d'élevage. Le fait que le débit du fluide froid et celui du fluide chaud n'est pas été maintenu balancé tout au long de l'expérimentation explique probablement ce résultat.

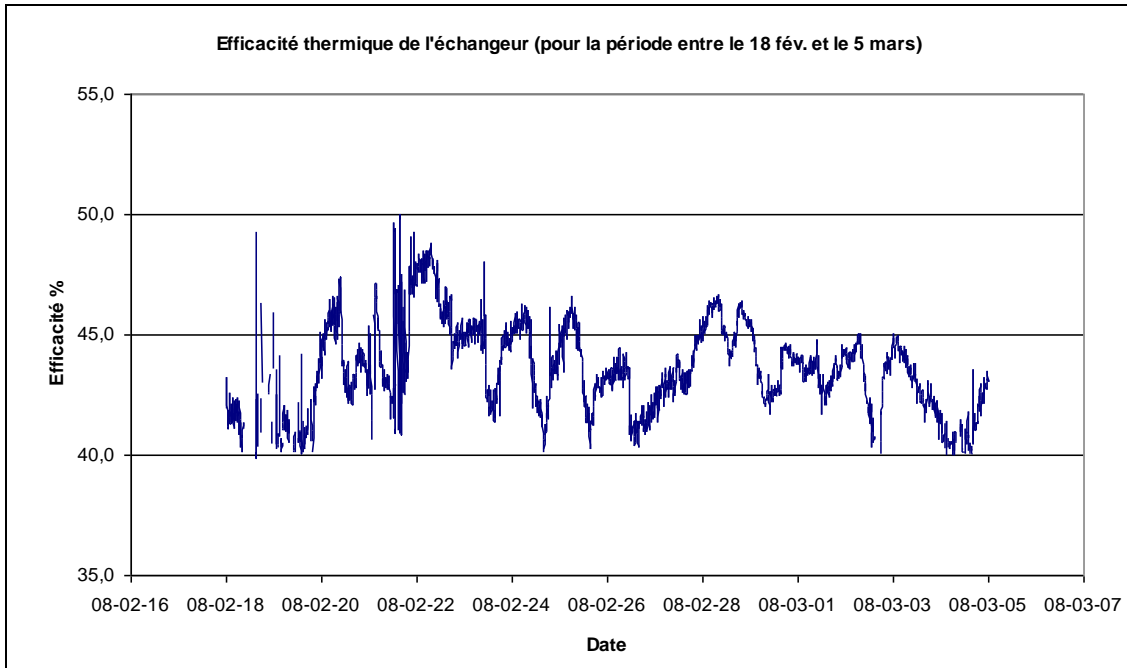


Figure 16: Évolution de l'efficacité thermique de l'échangeur

En considérant la température ambiante constante à 23°C, l'étude de la Figure 17 nous montre la relation qui permet de prévoir l'efficacité thermique de l'échangeur en fonction de la température extérieure.

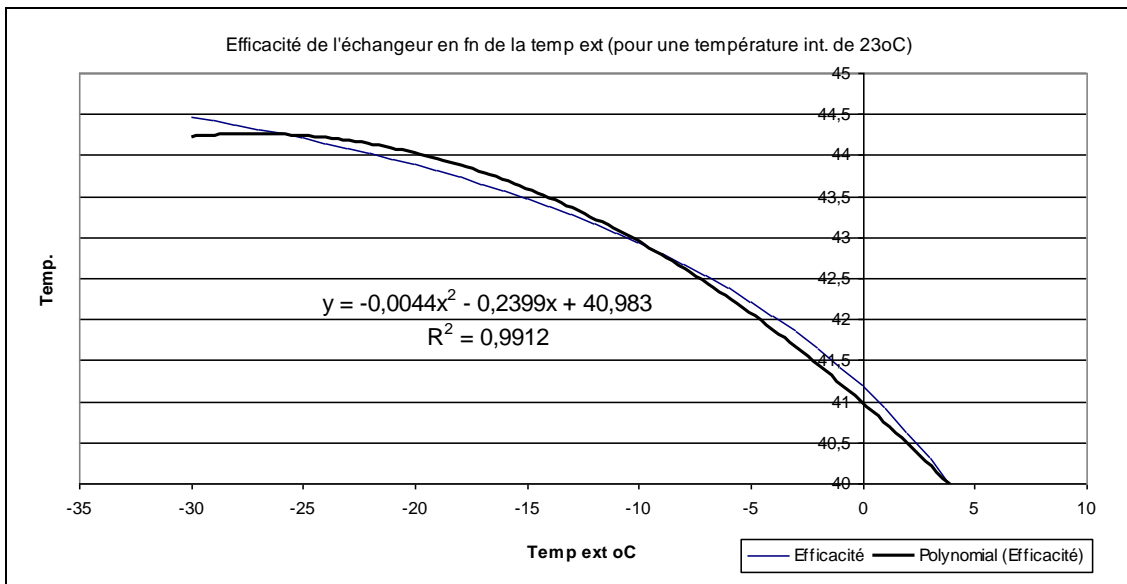


Figure 17: Prédiction de l'efficacité thermique de l'appareil en fonction de la température extérieure (pour une température int. de 23oC)

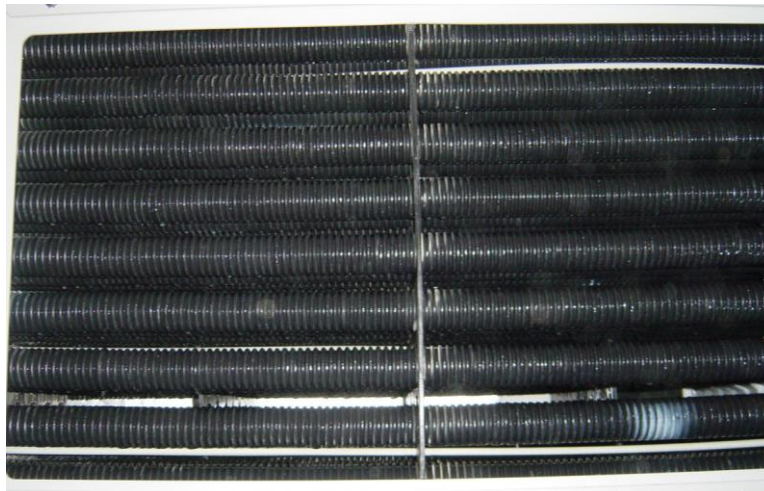
8.4 Encrassement du cœur de l'échangeur

Tout comme les élevages de poules de reproduction, les élevages de poulets à griller génèrent une quantité importante de poussières qui a un impact sur la propreté du noyau de l'échangeur. Le concept de construction de l'échangeur Polymair^{MD} permet son opération efficace durant la période que dure un élevage de poulets à griller. Ainsi, les échangeurs ont été maintenus en opération pour une période d'environ 56 jours suite à quoi, l'éleveur a procédé au nettoyage des appareils. Les figures suivantes montrent l'état du cœur de l'échangeur entre les jours d'opération 3 et 46. Bien que l'encrassement du noyau soit perceptible visuellement, l'examen de la Figure 16 révèle que ce phénomène a eu peu d'impact sur l'efficacité thermique des appareils durant la période visée.

Jour 3



Jour 6



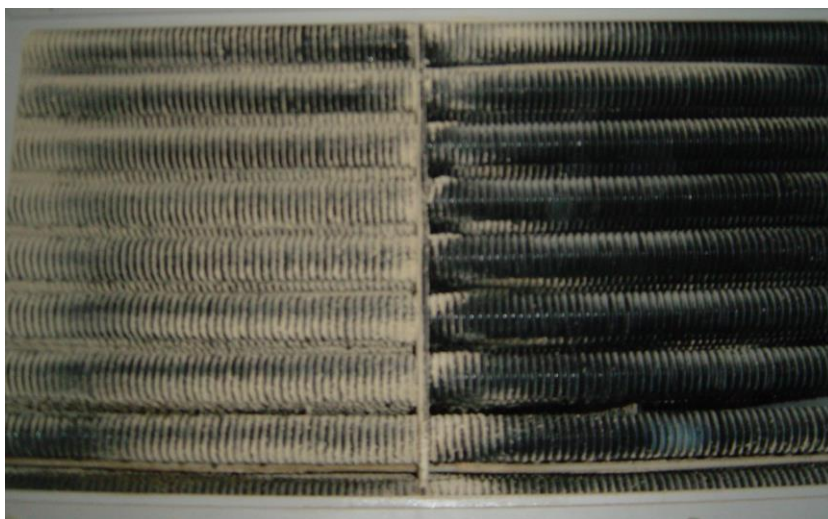
Jour 16



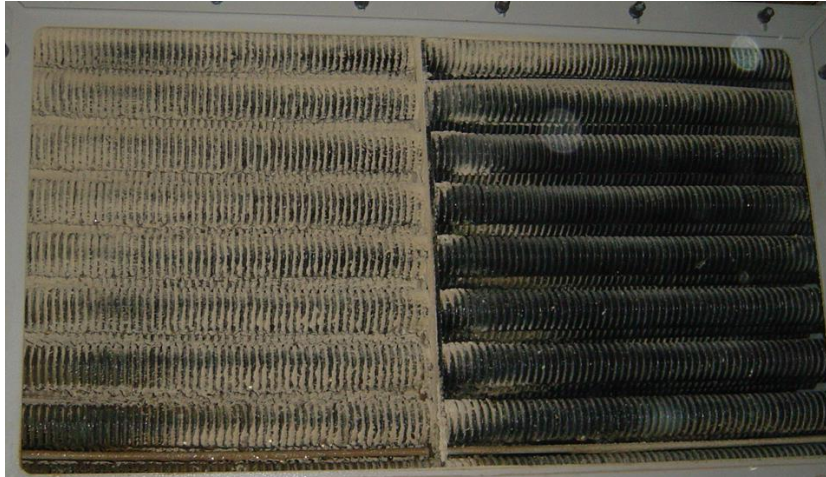
Jour 23



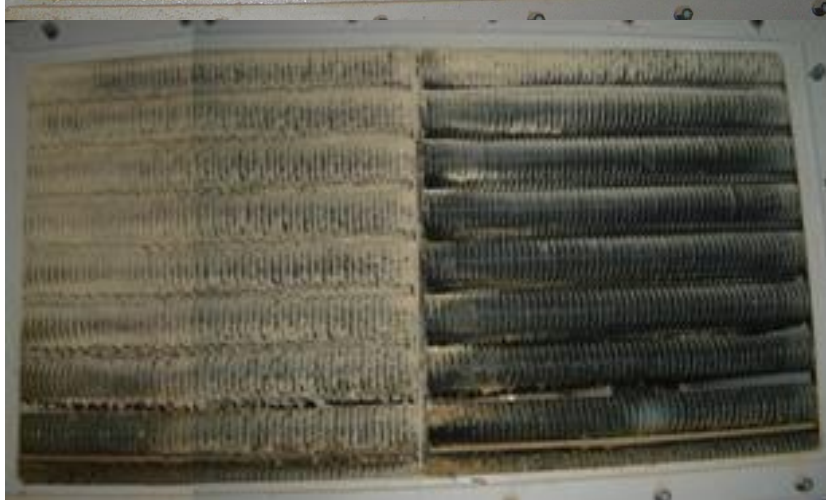
Jour 30



Jour 37



Jour 46



8.5 Impact sur la consommation énergétique

L'utilisation d'un compteur installé sur la ligne d'arrivée du gaz propane est la façon la plus précise d'en évaluer la consommation. Puisque ce genre d'appareil n'était pas installé à la Ferme-du-Grand-Orme, l'analyse de la consommation a été basée sur les relevés de volumes de propane aux réservoirs des bâtiments 1 et 2 pour l'année en cours.

Un modèle prévisionnel prenant en charge les différents paramètres d'élevage ainsi que les caractéristiques du bâtiment a été développé. Ce modèle a permis d'obtenir une évaluation relativement précise de l'impact des échangeurs sur la consommation aux installations de la Ferme-du-Grand-Orme.

Tableau 3: Consommation de propane, élevage de mi-janvier à mi-mars 2008

	Étage 1 et 2 du bâtiment	Étage 1*
Bâtiment 1 SANS échangeur :	3 765 L	2 635 L
Bâtiment 1 AVEC échangeur :	2 189 L	1 060 L
Économie de carburant :	1 576 L	1 576 L
Proportion de l'économie de carburant :		60%

*Considérant que le premier étage nécessite 70% des besoins totaux de propane

Les échangeurs de chaleur de premier étage du bâtiment 1 ont générés une économie de 1 576 litres de propane pour l'élevage qui s'est déroulé entre la mi-janvier et la mi-mars 2008 par rapport à la gestion de ventilation sans échangeur. Ceci représente une économie de 60% entre les deux modes de ventilation.

8.6 Impact économique de l'installation pour une saison hivernale (mi-octobre à fin-mars)

Tel que présenté au chapitre 5.6, l'analyse des bénéfices économiques associés à l'utilisation d'échangeurs d'air récupérateur de chaleur s'établit en estimant d'une part, les économies en frais de chauffage obtenues par les appareils en comparaison aux coûts qu'il faudrait consacrer pour obtenir une ambiance équivalente avec une ventilation conventionnelle. Le Tableau 4 présente une estimation de l'impact économique qu'aurait l'échangeur de chaleur lors d'une saison hivernale pour environ 3 élevages (mi-octobre à fin-mars).

Tableau 4: Estimation de la consommation hivernale et totale de l'économie associée à l'utilisation des échangeurs pour le premier étage du bâtiment 1 (mi-oct à fin mars pour 3 élevages)

Bilan de consommation pour la période hivernale		
Coût unitaire du propane (\$/L):	0,60 \$	
Consommation estimée AVANT échangeur :	4 168 \$	6 947 L
Consommation estimée APRÈS échangeur :	1 678 \$	2 796 L
Estimation du nb. de jours d'opération des échangeurs:	168	
Total des économies de carburant pour la période:	2 490 \$	4 151 L

Pour l'élevage du premier étage du bâtiment 1, la réduction de la consommation est évaluée à 4 151 litres pour la période entre la mi-octobre et la fin-mars.

Considérant cette économie à 2 490\$ et le coût d'acquisition des deux appareils à environ 12 500\$, la période de retour sur l'investissement est évaluée à 5 ans.

8.7 Impact sur les GES

L'utilisation des échangeurs d'air installés au premier étage du bâtiment 1 permet une réduction d'émission de CO₂ d'environ 6 227 kg pour lors de la période hivernale.

9. Conclusion

Le débit unitaire de ventilation comblé par les échangeurs a été de 0,3 à 0,5 pied-cube/minute par oiseau. Même si ce taux ne subvenait pas à l'ensemble des besoins de ventilation des élevages, la contribution de ventilateurs d'appoints a suffi à respecter les besoins de changement d'air. Cette combinaison a permis de maintenir l'humidité relative près de la consigne déterminée par les éleveurs.

En termes de réduction de la consommation de propane, l'utilisation des échangeurs de chaleur dans la salle observée pour l'ensemble de la période hivernale se chiffre à 8 758 litres aux installations du Groupe Westco. Cette réduction se traduit par une réduction de 53% de la consommation de carburant fossile. Pour la Ferme du Grand-Orme, l'économie pour la période hivernale se chiffre à 4 151 litres pour le premier étage du bâtiment observé et représente une réduction de la consommation de propane de 60%. Le coefficient de performance de l'appareil a varié de 8 à 2,8 pour des températures extérieures de -20°C à 5°C.

Le niveau d'encrassement des appareils n'a jamais modifié leur performance thermique au cours de l'élevage même dans un élevage très poussiéreux de poules de reproduction. Dans ce contexte, l'efficacité thermique des échangeurs a été maintenue en moyenne à 51%. Des opérations de nettoyage du noyau des appareils ont cependant été nécessaires à toutes les 4 à 5 semaines.

Lors des essais à la Ferme du Grand-Orme, l'efficacité moyenne a été maintenue à un niveau plus bas soit à 44%. Ce résultat est expliqué par le fait que le balancement des débits entre le côté froid et le côté chaud n'a pas été respecté tout au long de l'expérimentation. Aucun nettoyage n'a été nécessaire avant la fin du cycle d'élevage de 56 jours.

Sur une base énergétique globale qui tient compte de la réduction de consommation du propane ainsi que de la dépense électrique nécessaire au fonctionnement des appareils, l'utilisation des échangeurs aux installations du Groupe Westco a généré des économies qui permettent un retour sur l'investissement évalué à près de trois ans. Cette période de retour est estimée à 5 ans pour les installations de la Ferme du Grand-Orme. Fait à noter, puisque le premier étage d'un élevage est souvent le plus énergivore, l'impact économique des échangeurs de chaleur sur une base absolue est davantage marqué au premier étage qu'au second étage. Ainsi, comme stratégie d'investissement, il sera plus avantageux dans un premier temps d'implanter les échangeurs de chaleur aux étages du bas.

Ces résultats encourageants confirment que l'échangeur d'air récupérateur de chaleur Polymair^{MD} est un outil permettant de réduire la consommation énergétique globale tout en favorisant le maintien optimal des conditions même dans des environnements adverses tels que ceux rencontrés dans les élevages de volailles.

