

**FERME DE VEAUX DE LAIT RÉMY POULIOT**

329, 3<sup>e</sup> Rang Est  
Saint-Michel de Bellechasse (Québec)  
G0R 3S0

**MISE À L'ESSAI EN CONDITIONS RÉELLES D'EXPLOITATION  
D'UN SYSTÈME DE CHAUFFAGE DE L'EAU DESTINÉE À  
L'ALIMENTATION DES VEAUX DE LAIT**

**PROGRAMME D'APPUI POUR UN SECTEUR AGROALIMENTAIRE INNOVATEUR**

**Volet 3 : APPUI POUR L'INNOVATION DANS LES ENTREPRISES AGRICOLES**

**(NUMÉRO DU DOSSIER DU PROJET: 11-337 MAPAQ)**

**Rapport final**

**Présenté à :**

*Agriculture, Pêcheries  
et Alimentation*

**Québec** 

**PROGRAMME D'APPUI POUR UN SECTEUR AGROALIMENTAIRE INNOVATEUR**

[pcita@mapaq.gouv.qc.ca](mailto:pcita@mapaq.gouv.qc.ca)

**Février 2013**

*Cultivons l'avenir, une initiative fédérale-provinciale-territoriale*

## Rapport signé par:

**Personne autorisée : M. Rémy Pouliot**

FERME DE VEAUX DE LAIT RÉMY POULIOT

329, 3e Rang Est,

Saint-Michel de Bellechasse (Québec)

G0R 3S0

Téléphone : 418 580 5443

Courriel : remypouliot@hotmail.com

\_\_\_\_\_ 13 février 2013

Date

## Équipe :

**Rémy Pouliot**, Propriétaire d'une ferme de veaux de lait qui recherche ardemment des façons d'améliorer la rentabilité de sa ferme

**Raymond Leclair**, ing. Jr., **HVAC Concept**, Ingénierie, calculs de charge et suivi du projet

**Sébastien Guillemette**, **Guillemette Énergies**, Maître mécanicien en plomberie-chauffage

**Michel Laquerre**, **HVAC Concept**, Chercheur et développeur en thermodynamique

**Michel Junior Laquerre**, **HVAC Concept**, Technicien frigoriste et responsable du système de contrôle et d'acquisition de données

## Experts scientifiques

**Dan Zegan**, ing., M.Sc., IRDA

**François Léveillée**, IRDA

## Conseiller MAPAQ

**Jonathan Leblanc**

Direction de l'agroenvironnement et du développement durable

## Direction régionale MAPAQ

**Jean-François Duquette**, agronome

Centre de Services, Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation

Direction régionale de la Chaudière-Appalaches

## Table des matières

1.	INTRODUCTION .....	1
1.1	Contexte général .....	1
1.2	Objectifs du projet.....	1
1.3	Étapes du projet .....	2
1.4	Partenaires du projet.....	2
2.	Matériel et méthodes.....	2
2.1	Description de la technologie de chauffage de l'eau par pompe à chaleur (PAC) air/eau .	2
2.2	Méthode expérimentale.....	6
2.2.1	Instrumentation.....	6
2.2.2	Méthode de calcul .....	7
3.	Description des réalisations du projet.....	8
4.	Analyse des résultats .....	8
5.	Retombées.....	16
	Annexe 1 : Économies possibles grâce à l'utilisation d'une pompe à chaleur pour chauffer l'eau sanitaire .....	19
	Annexe 2 : Système d'acquisition et équipement de mesurage .....	23
	Annexe 3 : Avancement du projet-Rapport d'étape (20.11.2012).....	24
	Annexe 4 : Fiche de transfert .....	27

# 1. INTRODUCTION

## 1.1 Contexte général

Le chauffage de l'eau sanitaire à l'aide d'un système chauffe-eau au propane représentait pour la Ferme Rémy Pouliot un coût d'énergie trois fois plus grand que le chauffage des bâtiments, tel que présenté par une étude préliminaire de la compagnie HVAC Concept (ANNEXE 1). L'étude a démontré aussi l'efficacité théorique d'un nouveau système de chauffage par pompe à chaleur (PAC) air/eau capable de remplacer le système chauffe-eau au propane existant à la ferme. Cette technologie dispose d'un potentiel important pour chauffer l'eau destinée à abreuver les veaux de lait, en plus de préchauffer l'eau nécessaire à la préparation du lait reconstitué.

Le projet actuel vise à démontrer, pour une ferme moyenne pour l'élevage des veaux de lait (540 veaux/élevage, 2,3 élevages/an), le potentiel technico-économique de chauffer de l'eau potable à partir de l'énergie de l'air ambiant extérieur par un système amélioré de pompe à chaleur air/eau.

Le système développé par la compagnie HVAC Concept utilise une pompe à chaleur air/eau, bi-bloc, avec la technologie DC Inverter et une valve d'expansion commandée électroniquement afin d'ajuster plus précisément le débit de réfrigérant et d'éliminer la problématique de basse pression, tout en améliorant les performances à basse température.

Le projet actuel fait partie du volet 3 du PROGRAMME D'APPUI POUR UN SECTEUR AGROALIMENTAIRE INNOVATEUR (PASAI) et vise l'adaptation et la mise à l'essai en conditions réelles d'exploitation de la technologie de pompe à chaleur de type air/eau pour le chauffage de l'eau destinée à abreuver les veaux et à la préparation du lait reconstitué de la ferme de Rémy Pouliot.

## 1.2 Objectifs du projet

Les objectifs visés sont de :

- Valider les performances en conditions réelles d'utilisation, particulièrement l'efficacité à basse température;
- Déterminer le COP moyen annuel;
- Démontrer la réduction réelle des coûts d'énergie reliés au chauffage de l'eau sanitaire;
- Évaluer la réduction des émissions de gaz à effet de serre (GES) et de l'utilisation des combustibles fossiles;
- Comparer la rentabilité de cette technologie à celle des systèmes classiques.

## 1.3 Étapes du projet

- Élaborer les plans de conception de l'installation. Acheter les composants et assembler le module intérieur de la PAC et le système de contrôle en atelier;
- Élaborer les plans d'installation et élaborer la procédure expérimentale, acheter les équipements de mesure et les accessoires;
- Rencontrer les partenaires pour valider l'installation;
- Transporter et installer les modules extérieurs et intérieurs à la ferme, installer les sondes requises, raccorder le système d'acquisition, effectuer la mise en marche des unités;
- Analyser les données, réaliser les bilans énergétiques et valider les performances de l'installation;
- Effectuer l'analyse économique et rédiger le rapport final.

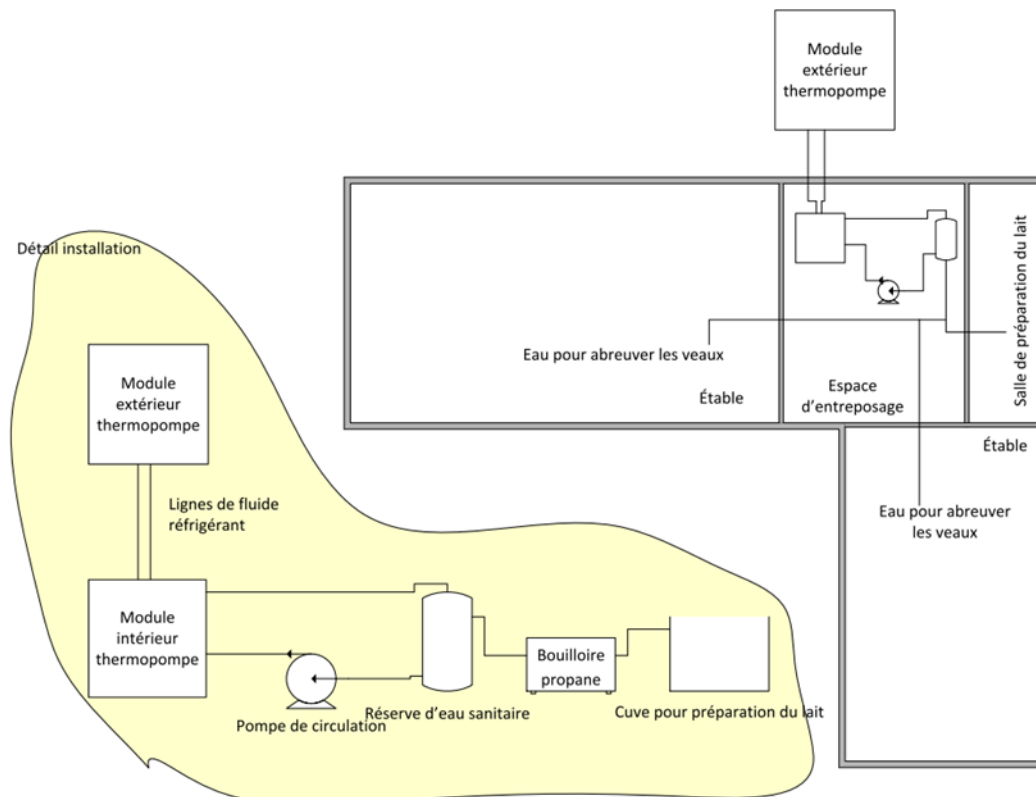
## 1.4 Partenaires du projet

- **HVAC CONCEPT**- pour l'ingénierie, récolte et compilation des données et les études de performance;
- **IRDA** pour la validation des résultats par des experts scientifiques.

## 2. Matériel et méthodes

### 2.1 Description de la technologie de chauffage de l'eau par pompe à chaleur (PAC) air/eau

Ce projet sert à démontrer la faisabilité et la rentabilité d'utiliser l'énergie de l'air ambiant extérieur pour le chauffage d'eau sanitaire servant à abreuver les veaux de lait. Puisqu'aucune technologie n'était disponible pour ce type d'application, surtout dans les conditions climatiques du Québec, un équipement a été conçu spécialement pour ce besoin par la compagnie HVAC Concept. L'installation expérimentale réalisée et testée à la ferme Rémy Pouliot est articulée autour d'une pompe à chaleur bi-bloc, d'une capacité calorifique de 40 kW, convertie pour la production d'eau sanitaire et capable de fonctionner à des températures de l'air extérieur aussi basses que -25°C (-13°F). La figure 1 présente le schéma d'implantation utilisé. La pompe à chaleur doit assurer le chauffage de l'eau destinée à abreuver les veaux (3 000 l/ 24 heures à 40°C) et le préchauffage de l'eau pour la préparation du lait reconstitué (2 400 l/ 12 heures à 40°C), qui est ensuite réchauffée jusqu'à 70°C par une bouilloire au propane. Cette consommation d'eau chaude correspond à la capacité d'élevage de la ferme qui est de 540 veaux/élevage. La durée de l'élevage est d'environ 150 jours.



**Figure 1.** Schéma d'implantation du système de chauffage par pompe à chaleur air/eau utilisée à la ferme Rémy Pouliot

En plus d'un souci d'assurer que l'équipement et son installation soient rentables dans cette application, l'équipe de conception de HVAC Conception a dû faire face aux contraintes suivantes :

- Éliminer tout risque de contamination de l'eau par le fluide frigorigène, même en cas de défaillance de l'échangeur de chaleur. Cet échangeur constitue le condenseur de la PAC qui assure le transfert thermique entre le fluide frigorigène et l'eau à chauffer de la réserve d'eau sanitaire (fig. 1) ;
- Éviter tout risque de gel de l'eau qui circule dans l'appareil.

Pour ce qui est du risque de contamination, un échangeur de chaleur à double paroi ventilé est employé. Ce type d'échangeur comporte un espace ventilé vers l'atmosphère entre le compartiment qui contient l'eau et celui qui contient le réfrigérant. Ainsi, en cas de bris de l'une des parois, une fuite pourra rapidement être détectée, soit par un écoulement d'eau, ou un arrêt de l'unité qui détecte qu'elle n'a plus suffisamment de frigorigène. Les réparations requises peuvent alors être effectuées avant même que les fluides puissent entrer en contact l'un avec l'autre.



**Figure 2.** Échangeur de chaleur à double paroi ventilé - quatre sections

Puisque l'eau qui circule dans l'échangeur doit être propre à la consommation, celle-ci ne peut être mélangée à aucun antigel, et ne doit donc pas sortir de la section chauffée du bâtiment afin d'éviter des conséquences fâcheuses (bouchon de glace, tuyau qui fend, etc.) en cas de bris de la pompe ou d'interruption de l'alimentation électrique.

C'est pourquoi on apporte plutôt le fluide frigorigène jusque dans le bâtiment, où est situé l'échangeur de chaleur, installé à l'abri de tout risque de gel. Cette solution correspond à l'agencement bi-bloc ("split") de la PAC, réalisé par l'intégration de l'échangeur de chaleur, (constitué de quatre sections indépendantes) dans un module intérieur, pendant que le module extérieur est constitué par deux unités qui abritent chacune deux compresseurs, mais aussi deux évaporateurs destinés à la captation de l'énergie de l'air ambiant.

Le module intérieur est relié à une réserve d'eau isolée d'une capacité de 1500 gallons, par une boucle où l'eau circule continuellement. Cette réserve permet d'atténuer les pointes de puissance requises pour la période durant laquelle un grand débit d'eau chaude est requis pour la préparation du lait en poudre. En effet, pendant la période où l'automate commande la préparation du lait, à partir de l'eau préchauffée de la réserve, on empêche l'entrée de l'eau du puits qui viendrait refroidir la réserve et donc augmenter la charge de la bouilloire au propane qui finalise le chauffage de l'eau. L'entrée de cette eau plus froide dans la réserve dès la fin de la préparation du lait permet d'accumuler l'énergie fournie efficacement par la pompe à chaleur jusqu'à la période de préparation de lait suivante, pour maximiser l'utilisation de l'équipement et donc les économies d'énergie. Le chauffage de l'eau est effectué ainsi entre 8°C et 40°C, ces valeurs représentent respectivement la température de l'eau du puits et la température d'utilisation de cette eau.



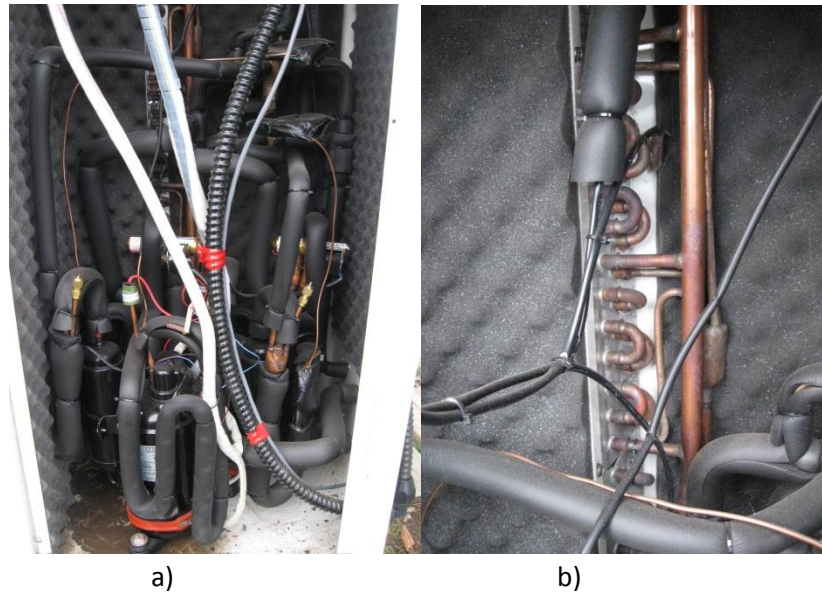
**Figure 3.** Réserve d'eau (1500 gallons) raccordée à l'échangeur de chaleur par la boucle de recirculation.

Les deux unités extérieures sont raccordées électriquement et connectées au module intérieur par des lignes de réfrigérant isolées. Ce module intérieur, développé au Québec et doté d'un contrôleur intelligent, a été adapté à cette application afin d'optimiser la charge des circuits frigorifiques de la PAC en fonction de la charge thermique de l'échangeur de chaleur. Ainsi le système, en fonction de la charge, peut moduler la puissance de ses 4 compresseurs.



**Figure 4.** Unités extérieures qui abritent les compresseurs et les évaporateurs de la PAC





**Figure 5.** Détails des unités extérieures : a) montage compresseurs, b) montage évaporateurs

## 2.2 Méthode expérimentale

Afin de faire la preuve des économies d'énergie et de la rentabilité de cette technologie, particulièrement en période froide, une phase de mesurage et d'acquisition de données a été entreprise.

### 2.2.1 Instrumentation

Le tableau suivant présente les données qui sont enregistrées durant la période d'essais et l'instrumentation nécessaire.

**Tableau 1.** Instrumentation et données enregistrées durant la période d'essais

Capteur	Description de la mesure souhaitée
Débitmètre recirculation	Débit instantané mesuré à intervalle de 5 minutes
Débitmètre utilisation	Volume total sur 5 minutes
Sonde température eau du puits	Température instantanée mesurée à intervalle de 5 minutes
Sonde température eau utilisée	Température instantanée mesurée à intervalle de 5 minutes
Sonde température eau entrée échangeur	Température instantanée mesurée à intervalle de 5 minutes
Sonde température eau sortie échangeur	Température instantanée mesurée à intervalle de 5 minutes
Sonde de température air extérieure	Température instantanée mesurée à intervalle de 5 minutes
Sonde de température air intérieure	Température instantanée mesurée à intervalle de 5 minutes
Lecteur de Watt	Puissance moyenne sur 5 minutes
	Énergie totale sur 5 minutes

La signification des principaux paramètres enregistrés pendant les essais est la suivante :

- Débit de recirculation : débit d'eau recirculée entre la réserve d'eau et l'échangeur;
- Débit utilisation : débit d'eau utilisée pour abreuvement des veaux et la préparation du lait;
- Température eau du puits : température de l'eau qui alimente la réserve d'eau; un système de contrôle du niveau assure la valeur de consigne du niveau dans la réserve, sauf lors de la préparation du lait où on évite d'admettre de l'eau qui viendrait refroidir la réserve;
- Température eau entrée (sortie) échangeur : température de l'eau à l'entrée (sortie) échangeur;
- Température air extérieur : température de l'air à l'extérieur du bâtiment où est situé le module extérieur;
- Température air intérieur : température de l'air à l'intérieur du bâtiment où est installé le module intérieur et la réserve d'eau;
- Énergie totale; énergie électrique consommée par la PAC et la pompe de recirculation.

La puissance consommée par la pompe de recirculation de l'eau entre la réserve d'eau et l'échangeur sera pour sa part mesurée de façon ponctuelle, puisqu'on s'attend à de très faibles variations de celle-ci.

Le système d'acquisition et les capteurs utilisés sont présentés à l'Annexe 2.

Pour assurer le traitement des données, les paramètres enregistrés ont été transférés dans un classeur Excel, classés par la date et l'heure de l'enregistrement et avec un titre descriptif pour chaque colonne de données brutes.

### **2.2.2 Méthode de calcul**

L'efficacité du système de chauffage a été évaluée à partir du coefficient de performance (COP) de la PAC mise à l'essai en conditions réelles d'exploitation. Suite à l'enregistrement des données expérimentales, il a été possible de calculer ce coefficient, défini comme le rapport entre l'énergie fournie à l'eau de la réserve et l'énergie consommée par la PAC pour réaliser cet effet.

L'énergie fournie à l'eau de la réserve est calculée à partir du débit de l'eau recirculée entre la réserve et l'échangeur et la différence de température de l'eau à l'entrée et à la sortie de l'échangeur.

L'énergie consommée par la PAC englobe la consommation électrique pour le fonctionnement des compresseurs et de la pompe de recirculation.

Les performances du système sont en fonction notamment de la température de l'air extérieur, de la température de l'eau d'alimentation et de la température de l'eau à l'utilisation.

À partir des données enregistrées, il serait ainsi possible de réaliser une corrélation entre le coefficient de performance (COP) de la PAC en fonction de la température extérieure de l'air en tenant compte des conditions réelles et du type d'application. Pour le projet actuel, le but

principal est d'évaluer les performances du système de chauffage surtout pour la période de l'année avec de très basses températures, pour disposer des données réelles afin d'établir un bilan énergétique annuel complet et ainsi pouvoir comparer l'efficacité de notre système avec l'efficacité des systèmes qui utilisent le chauffage au propane ou électrique.

### **3. Description des réalisations du projet**

Les étapes du projet se sont déroulées selon le contenu établi par la demande de financement du projet.

La compagnie HVAC Concept a élaboré les plans de conception du système de chauffage, les plans d'installation, a élaboré la procédure expérimentale, a procédé à l'achat des composants et à l'assemblage du module intérieur et du système de contrôle dans son atelier. Ensuite HVAC Concept a assuré le transport et l'installation des unités extérieures et de l'unité intérieure à la ferme. Une première rencontre entre les partenaires du projet permis de valider les résultats du projet et la procédure expérimentale. L'ANNEXE 3 présente le rapport d'étape réalisé suite à cette rencontre.

HVAC Concept a effectué la mise en marche du système de chauffage qui fonctionne à pleine capacité depuis plusieurs mois. Ensuite elle a procédé à l'achat des équipements de mesurage et des accessoires, a installé les sondes requises et a raccordé le système d'acquisition.

Les essais en conditions réelles d'exploitation ont été démarrés au début de l'année 2013 en choisissant une période avec de très basses températures extérieures afin de vérifier les performances du système dans des conditions extrêmes, pour lesquelles il n'existe pas de démonstrations ni de données disponibles. Pendant cette étape les données ont été enregistrées, les performances ont été évaluées et les ajustements et les adaptations requis ont été réalisés.

L'étape finale du projet a permis d'effectuer l'analyse des données, de réaliser les bilans énergétiques et l'estimation des performances du système de chauffage au niveau journalier, mensuel et annuel par la compagnie HVAC Concept.

L'analyse économique réalisée à la fin du projet a mis en évidence les économies réalisées par rapport aux autres solutions de chauffage disponibles (chauffage électrique, chauffage au propane).

### **4. Analyse des résultats**

Après la mise en marche du système de chauffage par pompe à chaleur, une période d'essais et de réglages d'environ 8 mois (qui a débuté à l'été 2012), a permis de démontrer le bon fonctionnement du système et a permis le remplacement total de l'ancien système de chauffage par élément électrique pour l'abreuvement des veaux tout en ajoutant la capacité de préchauffage de l'eau pour la préparation du lait. Les essais en conditions réelles d'exploitation se sont déroulés entre le 19 janvier et le 5 février 2013 pour profiter d'une période extrêmement froide.

Les données enregistrées ont permis de réaliser le bilan énergétique, le calcul du coefficient de performances (COP). Ces calculs ont été analysés en corrélation avec des facteurs d'influence comme la température extérieure, la température de l'eau d'alimentation de la réserve d'eau, le volume et la température de l'eau utilisée.

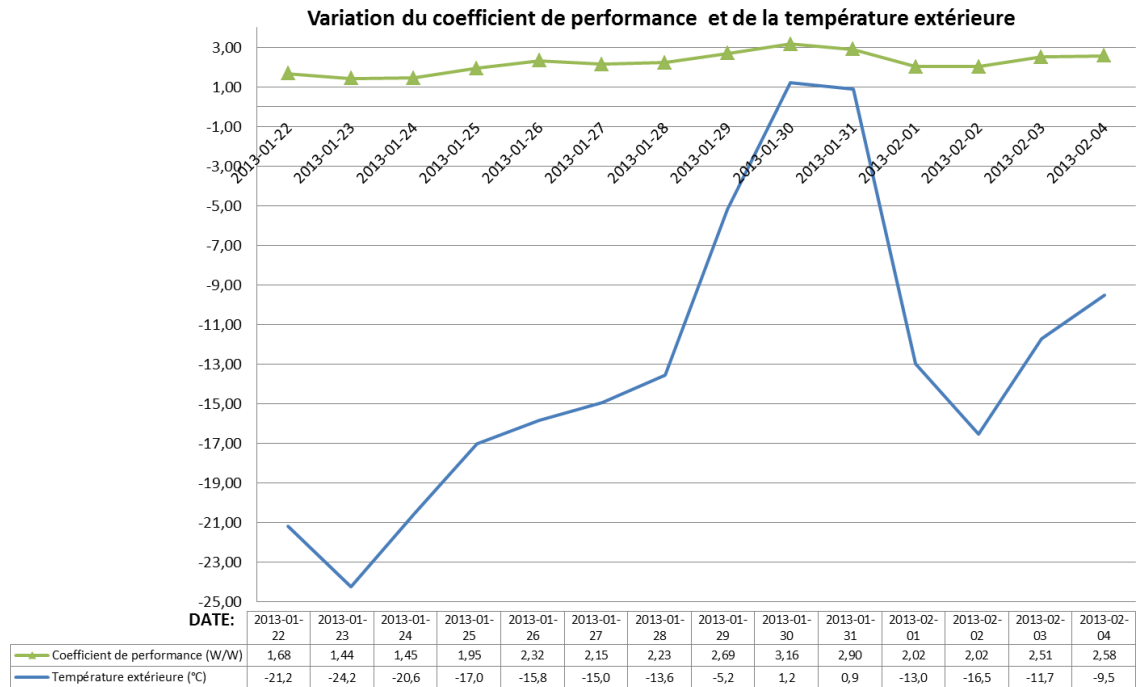
Le tableau suivant présente les plus importantes valeurs moyennes journalières obtenues pour les principaux paramètres évalués pendant la période d'essais.

**Tableau 2.** Valeurs moyennes journalières et bilans énergétique obtenus pour les principaux paramètres évalués durant la période d'essais

Date	Température extérieure (°C)	Énergie consommée (kWh)	Énergie fournie (kWh)	Coefficient de performance (W/W)	Volume d'eau utilisé (L)
22 janvier 2013	-21,2	70	117	1,68	4478
23 janvier 2013	-24,2	66	96	1,44	6053
24 janvier 2013	-20,6	69	100	1,45	4486
25 janvier 2013	-17,0	68	133	1,95	4474
26 janvier 2013	-15,8	70	163	2,32	5814
27 janvier 2013	-15,0	72	156	2,15	4486
28 janvier 2013	-13,6	74	165	2,23	4595
29 janvier 2013	-5,2	83	224	2,69	4758
30 janvier 2013	1,2	71	223	3,16	4796
31 janvier 2013	0,9	84	245	2,90	4974
1 février 2013	-13,0	79	159	2,02	4925
2 février 2013	-16,5	73	148	2,02	4845
3 février 2013	-11,7	78	195	2,51	4876
4 février 2013	-9,5	79	203	2,58	5012
<b>Valeur moyenne période</b>	<b>-12,9</b>	<b>74</b>	<b>166</b>	<b>2,2</b>	<b>4898</b>
<b>Valeur totale période</b>		<b>1 036</b>	<b>2 325</b>		<b>68 573</b>

Pour la durée des essais, la température extérieure moyenne enregistrée a été de -12,9°C, l'énergie totale consommée a représenté 1 036 kWh et l'énergie fournie à l'eau de la réserve a été de 2 325 kWh, en résultant un coefficient de performance moyen de 2,22. La température moyenne de l'eau de puits (entrée eau) a été de 12,1°C et la température moyenne de l'eau à la sortie de la réserve de 24,5°C. La consommation de l'eau chaude pour l'abreuvement des veaux et la préparation du lait a varié entre 4 474 L/ jour et 6 053 L/ jour pour un total de la période de 68 573 L et une valeur moyenne de 4 898 L/jour. La pompe de recirculation a assuré un débit moyen de 133 L/min pour une consommation totale de 362,7 kWh (incluse dans l'énergie totale consommée).

Le graphique suivant présente la variation du coefficient de performance moyen journalier et la température extérieure pendant la période d'essais. Le COP a varié entre 1,44 et 3,16 pendant que la température extérieure journalière a varié entre -24,2°C et 1,2°C.



**Figure 6.** Variation du COP et de la température extérieure durant la période d'essais

A titre d'exemple, on a présenté trois journées typiques retenues pour la comparaison des variations moyennes horaires :

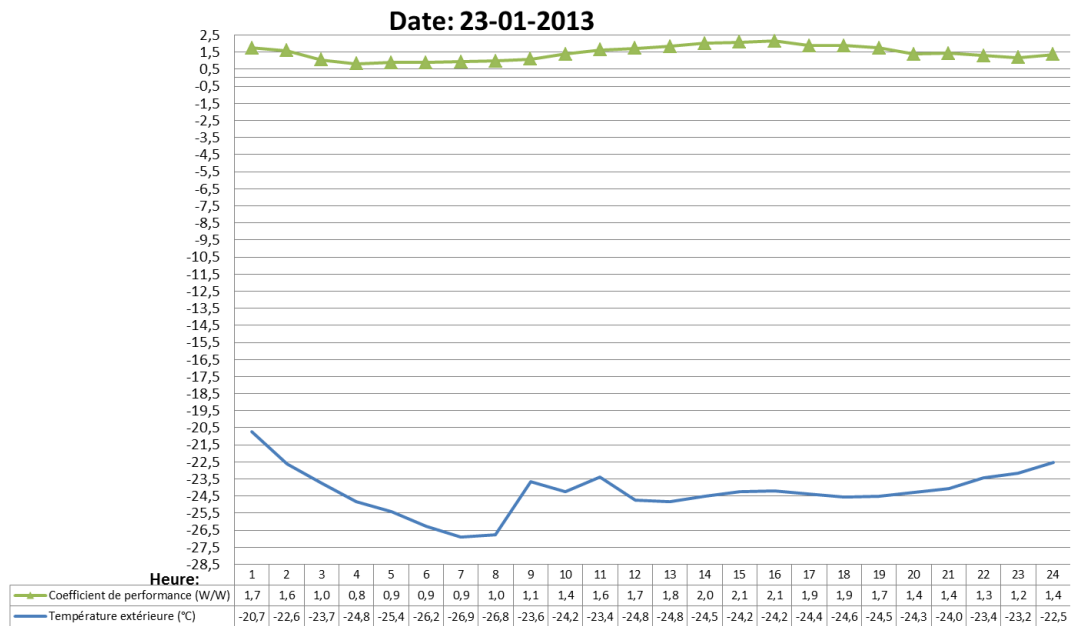
- le 23 janvier pour représenter une journée très froide, (-24,2°C) ;
- le 30 janvier pour la journée où la température est plus clémente (1,2°C);
- le 4 février qui représente une température ambiante moyenne (-9,5°C).

Il est important d'observer l'importante variation horaire de la température extérieure pendant une journée en corrélation avec la variation du COP.

Les tableaux et les graphiques suivants présentent les principaux résultats expérimentaux reliés à ces 3 jours typiques appartenant à notre période d'essais.

**Tableau 3.** Valeurs moyennes horaires obtenues pendant une journée typique d'essai (23 janvier 2013)

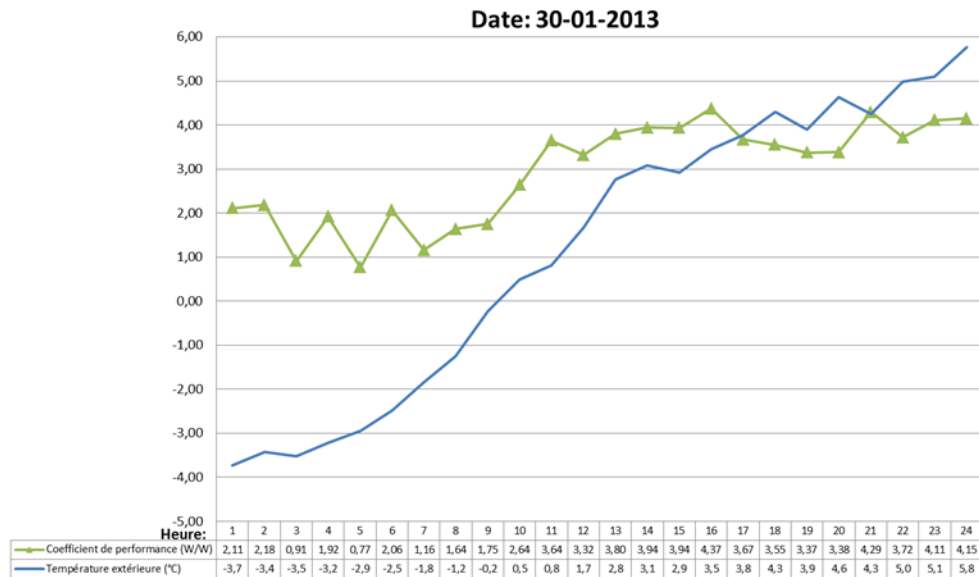
Date et heure	Température extérieure (°C)	Énergie consommée (kWh)	Énergie fournie (kWh)	Coefficient de performance (W/W)	Volume utilisé (L)
2013-01-23 01:00	-20,7	2,980	5,18	1,74	0,0
2013-01-23 02:00	-22,6	3,080	4,87	1,58	0,0
2013-01-23 03:00	-23,7	2,980	3,11	1,04	0,0
2013-01-23 04:00	-24,8	2,880	2,37	0,82	0,0
2013-01-23 05:00	-25,4	2,980	2,62	0,88	0,0
2013-01-23 06:01	-26,2	2,780	2,49	0,90	26,5
2013-01-23 07:01	-26,9	2,780	2,57	0,93	1165,9
2013-01-23 08:01	-26,8	2,880	2,82	0,98	314,2
2013-01-23 09:01	-23,6	2,780	3,05	1,10	393,7
2013-01-23 10:01	-24,2	2,780	3,84	1,38	34,1
2013-01-23 11:01	-23,4	2,780	4,55	1,64	22,7
2013-01-23 12:01	-24,8	2,580	4,42	1,71	109,8
2013-01-23 13:01	-24,8	2,580	4,73	1,83	382,3
2013-01-23 14:01	-24,5	2,580	5,21	2,02	0,0
2013-01-23 15:01	-24,2	2,680	5,56	2,07	0,0
2013-01-23 16:01	-24,2	2,480	5,32	2,14	30,3
2013-01-23 17:01	-24,4	2,680	5,03	1,88	1177,3
2013-01-23 18:01	-24,6	2,680	5,05	1,88	310,4
2013-01-23 19:01	-24,5	2,680	4,69	1,75	1249,2
2013-01-23 20:01	-24,3	2,780	3,83	1,38	798,7
2013-01-23 21:01	-24,0	2,780	3,98	1,43	18,9
2013-01-23 22:01	-23,4	2,780	3,59	1,29	18,9
2013-01-23 23:01	-23,2	2,680	3,18	1,19	0,0
2013-01-24 00:01	-22,5	2,780	3,81	1,37	0,0
<b>Total/Moyenne</b>	<b>-24,2</b>	<b>66,4</b>	<b>95,9</b>	<b>1,44</b>	<b>6052,9</b>



**Figure 7.** Variation du COP et de la température extérieure durant une journée d'essais

**Tableau 4.** Valeurs moyennes horaires obtenues pendant une journée typique d'essai  
(30 janvier 2013)

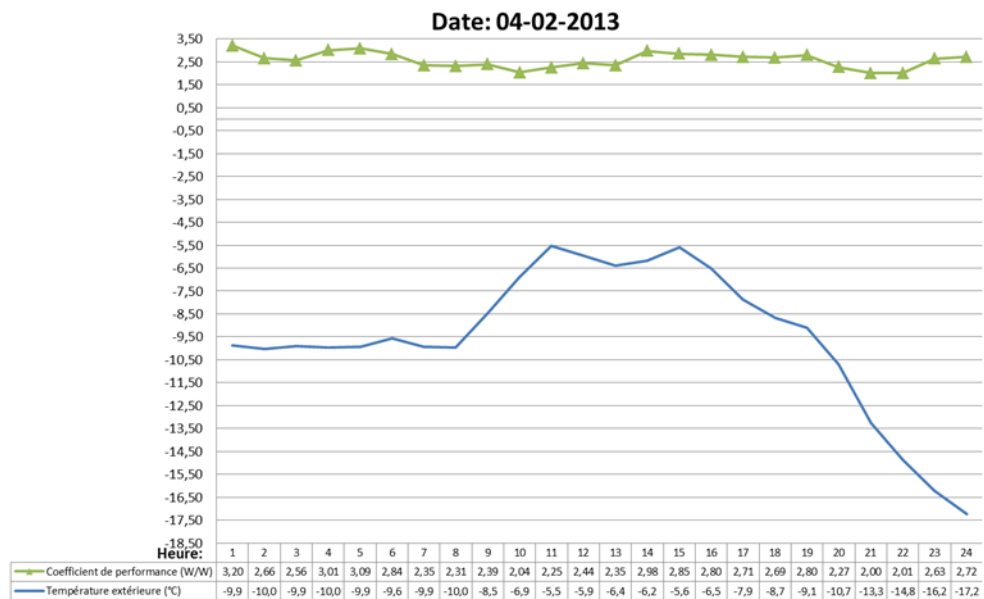
Date et heure	Température extérieure (°C)	Énergie consommée (kWh)	Énergie fournie (kWh)	Coefficient de performance (W/W)	Volume utilisé (L)
2013-01-30 01:01	-3,7	3,780	7,97	2,11	0,0
2013-01-30 02:01	-3,4	3,980	8,68	2,18	0,0
2013-01-30 03:01	-3,5	1,280	1,16	0,91	0,0
2013-01-30 04:01	-3,2	1,980	3,80	1,92	0,0
2013-01-30 05:01	-2,9	1,180	0,91	0,77	0,0
2013-01-30 06:01	-2,5	2,180	4,49	2,06	45,4
2013-01-30 07:01	-1,8	1,480	1,72	1,16	969,1
2013-01-30 08:01	-1,2	1,480	2,42	1,64	605,7
2013-01-30 09:01	-0,2	2,980	5,22	1,75	355,8
2013-01-30 10:01	0,5	3,680	9,70	2,64	53,0
2013-01-30 11:01	0,8	3,480	12,68	3,64	128,7
2013-01-30 12:01	1,7	3,380	11,21	3,32	386,1
2013-01-30 13:01	2,8	3,380	12,85	3,80	0,0
2013-01-30 14:01	3,1	3,180	12,53	3,94	18,9
2013-01-30 15:01	2,9	3,280	12,91	3,94	0,0
2013-01-30 16:01	3,5	3,280	14,33	4,37	49,2
2013-01-30 17:01	3,8	3,180	11,67	3,67	969,1
2013-01-30 18:01	4,3	3,380	12,01	3,55	749,5
2013-01-30 19:01	3,9	3,380	11,39	3,37	242,3
2013-01-30 20:01	4,6	3,280	11,10	3,38	151,4
2013-01-30 21:01	4,3	3,280	14,07	4,29	37,9
2013-01-30 22:01	5,0	3,380	12,56	3,72	18,9
2013-01-30 23:01	5,1	3,280	13,47	4,11	0,0
2013-01-31 00:01	5,8	3,380	14,03	4,15	15,1
<b>Total/Moyenne</b>	<b>1,2</b>	<b>70,5</b>	<b>222,9</b>	<b>3,16</b>	<b>4796,1</b>



**Figure 8.** Variation du COP et de la température extérieure durant une journée d'essais

**Tableau 5.** Valeurs moyennes horaires obtenues pendant une journée typique d'essai (4 février 2013)

Date et heure	Température extérieure (°C)	Énergie consommée (kWh)	Énergie fournie (kWh)	Coefficient de performance (W/W)	Volume utilisé (L)
2013-02-04 01:00	-9,9	3,180	10,18	3,20	0,0
2013-02-04 02:00	-10,0	3,180	8,45	2,66	0,0
2013-02-04 03:00	-9,9	3,080	7,90	2,56	0,0
2013-02-04 04:00	-10,0	3,280	9,86	3,01	0,0
2013-02-04 05:00	-9,9	3,180	9,82	3,09	0,0
2013-02-04 06:00	-9,6	3,280	9,31	2,84	0,0
2013-02-04 07:00	-9,9	3,380	7,94	2,35	1105,3
2013-02-04 08:00	-10,0	3,280	7,57	2,31	605,7
2013-02-04 09:00	-8,5	3,480	8,31	2,39	333,1
2013-02-04 10:00	-6,9	3,380	6,89	2,04	68,1
2013-02-04 11:00	-5,5	3,380	7,59	2,25	208,2
2013-02-04 12:00	-5,9	3,680	8,97	2,44	299,0
2013-02-04 13:00	-6,4	3,380	7,93	2,35	18,9
2013-02-04 14:00	-6,2	3,280	9,76	2,98	0,0
2013-02-04 15:00	-5,6	3,180	9,05	2,85	0,0
2013-02-04 16:00	-6,5	3,280	9,20	2,80	280,1
2013-02-04 17:00	-7,9	3,280	8,88	2,71	1097,8
2013-02-04 18:00	-8,7	3,180	8,56	2,69	620,8
2013-02-04 19:00	-9,1	3,480	9,73	2,80	185,5
2013-02-04 20:00	-10,7	3,280	7,44	2,27	102,2
2013-02-04 21:00	-13,3	3,380	6,77	2,00	53,0
2013-02-04 22:00	-14,8	3,080	6,19	2,01	15,1
2013-02-04 23:00	-16,2	3,080	8,10	2,63	0,0
2013-02-05 00:00	-17,2	3,080	8,38	2,72	18,9
<b>Total/Moyenne</b>	<b>-9,5</b>	<b>78,7</b>	<b>202,8</b>	<b>2,58</b>	<b>5011,9</b>



**Figure 9.** Variation du COP et de la température extérieure durant une journée d'essai



Ce qui nous intéresse particulièrement est la relation entre la température moyenne journalière et le COP moyen du système. La figure suivante présente ces valeurs déterminées en fonction de nos essais expérimentaux.

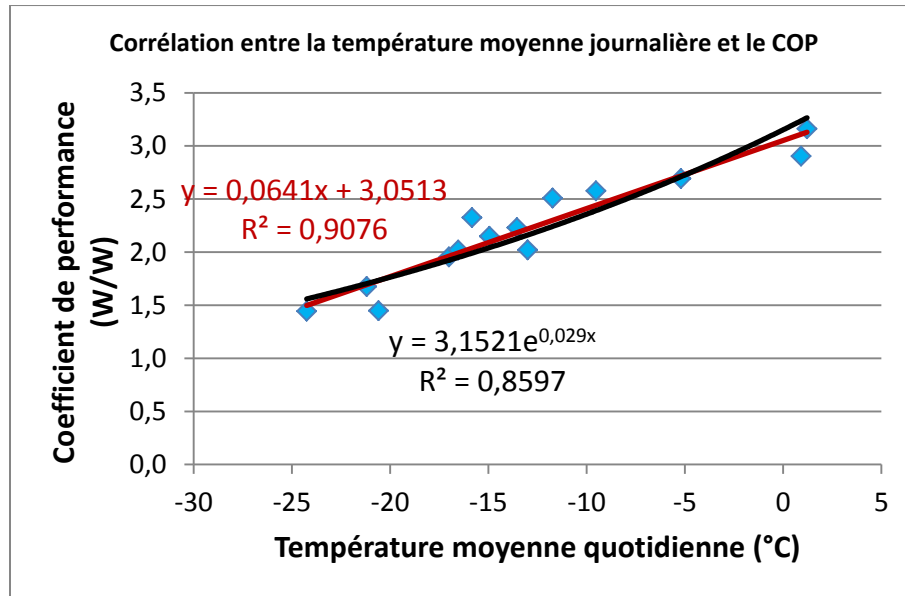
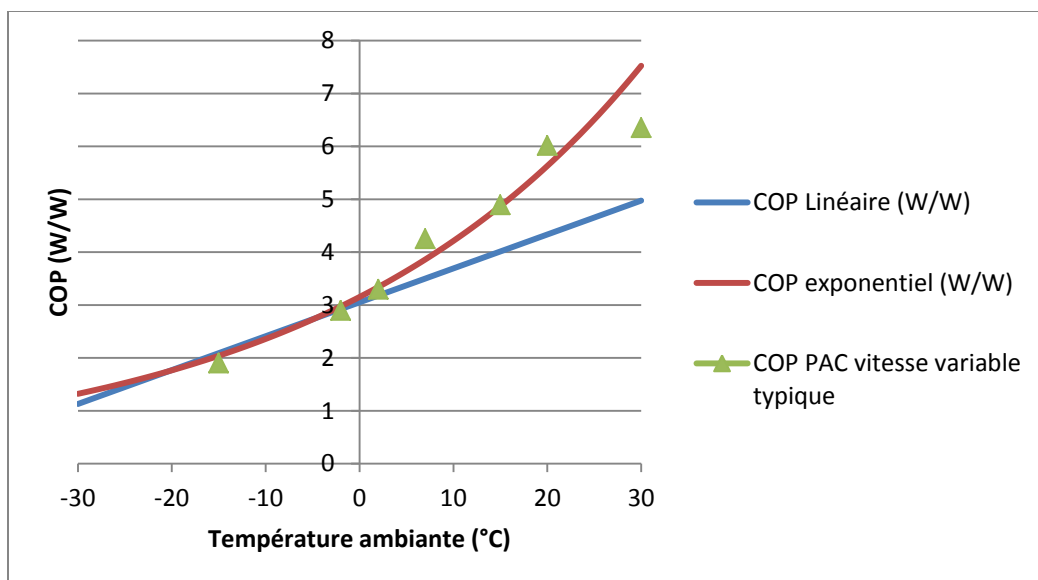


Figure 10. Corrélation entre la température moyenne journalière et le COP moyen du système

Afin d'obtenir une équation permettant d'extrapoler les valeurs pour la période chaude, deux courbes de tendance ont été tracées. La première approximation utilise une équation d'ordre 1 alors que l'autre est une courbe exponentielle, comme on peut observer sur les équations du graphique. Nous avons tracé ensuite la courbe de chacune de ces équations pour un intervalle de températures compris entre -30°C et 30°C afin d'obtenir les valeurs théoriques de COP pour une gamme plus large de températures, inclusivement pour les jours plus chauds. Comme l'écart entre les courbes augmente significativement avec les températures et afin de choisir l'équation qui décrit le plus fidèlement le comportement du système, nous avons ajouté au graphique des points correspondants à des tests indépendants de ce projet mais portant sur un appareil de technologie semblable, représentés par les triangles verts.



**Figure 11.** Corrélation élargie entre la température moyenne journalière et le COP moyen du système

Avec ces autres données, on peut observer que l'équation exponentielle semble la plus près des valeurs mesurées, et que l'approximation est moins précise vers la zone de 30°C. Cela est amplement suffisant pour évaluer la valeur du COP, en fonction des données climatiques de la région de Québec, dont la moyenne mensuelle n'atteint pas 20°C comme le montre le tableau suivant.

**Tableau 6.** COP moyen du système en fonction de la température moyenne journalière

Mois	Température ambiante (°C)	COP (W/W)	Jours	Énergie à fournir (kWh)	Énergie consommée (kWh)
Janvier	-12,4	2,20	31	5 146	2 339
Février	-11	2,29	28	4 648	2 029
Mars	-4,6	2,76	31	5 146	1 866
Avril	3,3	3,47	30	4 980	1 436
Mai	10,8	4,31	31	5 146	1 194
Juin	16,3	5,06	30	4 980	985
Juillet	19,1	5,48	31	5 146	938
Août	17,6	5,25	31	5 146	980
Septembre	12,5	4,53	30	4 980	1 100
Octobre	6,5	3,81	31	5 146	1 352
Novembre	-0,5	3,11	30	4 980	1 603
Décembre	-9,1	2,42	31	5 146	2 126
<b>Valeur moyenne annuelle</b>		<b>3,38</b>		<b>60 590</b>	<b>17 946</b>

Pour l'estimation mensuelle de l'énergie à fournir, nous avons utilisé la valeur moyenne journalière trouvée pendant les essais, soit 166 kWh (Tableau 2). Le COP moyen annuel de 3,38 a été évalué en divisant l'énergie fournie par l'énergie consommée. Cette valeur très intéressante est bien sûr avatagée par la période plus chaude durant l'été mais demeure supérieure à la valeur théorique de 2,85 présentée dans l'étude initiale.

Il ne faut pas oublier que cette valeur de COP est obtenue avec une pompe à vitesse constante qui est en marche en tout temps. On s'attend à une consommation encore moindre pour le même travail avec une pompe à vitesse variable contrôlée selon la charge réelle à fournir.

En effet, la pompe actuelle consomme 9 453,5 kWh par année or une pompe à vitesse variable contrôlée par la charge de chauffage pourrait réduire cette valeur de 44% selon un profil de consommation typique. La consommation électrique annuelle du système pourrait donc être réduite de 4 124,5 kWh. L'énergie fournie à l'eau sera évidemment moindre compte tenu de l'apport mécanique de la pompe qui diminuera avec une pompe à vitesse variable.

En considérant un rendement du moteur de 90%, l'énergie fournie à l'eau sera donc 3 712,1 kWh de moins avec la pompe à vitesse variable. S'il en coûte 13 821,5 kWh pour fournir 56 877,9 kWh, le COP moyen annuel serait plutôt de 4,12.

## 5. Retombées

Le tableau 7 présente un sommaire des économies de l'exploitation du système PAC par rapport au chauffage électrique et au chauffage au propane

**Tableau 7.** Évaluation des économies de l'exploitation du système PAC par rapport au chauffage électrique et au chauffage au propane

Mois	Énergie consommée PAC (kWh)	Énergie consommée chauffage électrique (kWh)	Consommation chauffage au propane (L propane)
Janvier	2 339	5 146	1072,1
Février	2 029	4 648	968,3
Mars	1 866	5 146	1072,1
Avril	1 436	4 980	1037,5
Mai	1 194	5 146	1072,1
Juin	985	4 980	1037,5
Juillet	938	5 146	1072,1
Août	980	5 146	1072,1
Septembre	1 100	4 980	1037,5
Octobre	1 352	5 146	1072,1
Novembre	1 603	4 980	1037,5
Décembre	2 126	5 146	1072,1

<b>Total</b>	17 946	60 590	12 623
	<b>Coût à 7,51¢/kWh</b>	<b>Coût à 7,51¢/kWh</b>	<b>Coût à 0,59\$/L</b>
	1 347,72 \$	4 550,31 \$	7 447,52 \$
	<b>Économie annuelle par rapport au chauffage électrique</b>	<b>Économie annuelle par rapport au chauffage au propane</b>	
	<b>3 202,59 \$</b>	<b>6 099,80 \$</b>	

Il résulte ainsi une économie de 42 644 kWh par rapport au chauffage électrique pour une ferme comparable à la ferme Pouliot, soit une réduction de plus de 70% sur les coûts d'électricité. L'économie annuelle, pour un consommateur au Tarif D est de 3 202,59\$, en utilisant un coût de 7,51¢/kWh soit la tranche des kWh au-delà des 30 premiers par jour.

Dans le cas d'une bouilloire au propane pour laquelle, afin de demeurer conservateurs, nous utiliserons une efficacité de 70%, il faut 1 litre de propane pour chaque 4.8 kWh fourni. On peut constater que l'économie relative à la portion de chauffage fournie par la pompe à chaleur est moins grande que celle déterminée théoriquement avant la réalisation du projet. La principale différence entre les hypothèses et les valeurs mesurées est qu'on avait initialement utilisé une consommation quotidienne de 7 800 L répartis entre la préparation du lait et l'abreuvement des veaux tandis que durant la période de mesurage, l'utilisation d'eau était comprise entre 4 474 et 6 053 litres par jour.

D'un autre côté, la variation des coûts unitaires pour les sources d'énergie semblent avantager la rentabilité du système. D'une part le coût au kWh est passé de 0,065\$ à 0,0751\$, pour une hausse de 15.5% tandis que le coût unitaire considéré pour le propane est passé de 0.52\$/L à 0.59\$/L, soit une hausse de 13.5%.

Antérieurement à la période des essais, l'utilisation du système de chauffage par PAC à la ferme Rémy Pouliot a déjà permis, pendant plusieurs mois, de réaliser d'importantes économies. En effet, puisque les pompes à chaleur étaient destinées à remplacer complètement deux chauffe-eaux électriques et à préchauffer l'eau de la chaudière au propane, la consommation d'électricité est restée inchangée pendant que la consommation de propane a diminué.

La première partie du tableau suivant présente un relevé des livraisons indiquant la quantité de propane (en L) utilisée durant une période de référence (en 2011) où il n'y a eu aucun chauffage du bâtiment (donc la totalité du combustible utilisé est destiné au chauffage de l'eau). La deuxième partie du tableau représente le relevé des livraisons indiquant la quantité de propane utilisée durant la période après l'installation de la pompe à chaleur (en 2012).

L'installation du nouveau système a apporté une réduction significative de la consommation de propane, pour une valeur moyenne de 27,8 litres par jour.

**Tableau 8.** Évaluation des économies réalisées à la ferme pendant la période de démarrage du système de PAC (mai-octobre 2012)

Période de référence (2011)		Période avec PAC (2012)	
Date	Remplissage (L)	Date	Remplissage (L)
18-avr-11	1 500	01-mai-12	1 500
16-mai-11	2 100	11-juin-12	1 600
13-juin-11	2 000	09-juil-12	1 000
11-juil-11	2 000	06-août-12	1 200
08-août-11	1 600	04-sept-12	900
06-sept-11	1 600	01-oct-12	1 200
03-oct-11	2 000		
<b>Jours</b>	<b>Total (L)</b>	<b>Jours</b>	<b>Total (L)</b>
168	12 800	153	7 400
<b>Litres/jour</b>	<b>76,2</b>	<b>Litres/jour</b>	<b>48,4</b>
		<b>Économie quotidienne moyenne (L)</b>	<b>27,8</b>

À partir de cette valeur moyenne, on peut déterminer les économies mensuelles et annuelles réalisables pour la ferme Remi Pouliot tel que montré dans le tableau suivant. Ces valeurs viennent confirmer l'ordre de grandeur des économies présentées précédemment, soit environ 6 000\$ par an pour une technologie beaucoup moins coûteuse qu'un système géothermique de capacité équivalente.

**Tableau 9.** Évaluation des économies réalisées à la ferme

Mois	Jours	Économie (L-propane)	Économie (\$)
Janvier	31	861,8	508,46 \$
Février	28	778,4	459,26 \$
Mars	31	861,8	508,46 \$
Avril	30	834,0	492,06 \$
Mai	31	861,8	508,46 \$
Juin	30	834,0	492,06 \$
Juillet	31	861,8	508,46 \$
Août	31	861,8	508,46 \$
Septembre	30	834,0	492,06 \$
Octobre	31	861,8	508,46 \$
Novembre	30	834,0	492,06 \$
Décembre	31	861,8	508,46 \$
		<b>10 147,0</b>	<b>5 986,73 \$</b>

L'économie annuelle de 10 147 L de propane permet une réduction des émissions de GES (gaz à effet de serre) de 15,5 Tonnes CO<sub>2</sub> équivalent par année.

# Annexe 1 : Économies possibles grâce à l'utilisation d'une pompe à chaleur pour chauffer l'eau sanitaire

## ÉTUDE PRÉLIMINAIRE HVAC CONCEPT

### Résumé du projet

Nous avons évalué la réduction possible des coûts d'opération d'une ferme en ayant recours à une pompe à chaleur utilisant l'énergie de l'air extérieur plutôt qu'à une bouilloire au propane pour le préchauffage de l'eau.

Voici les principaux résultats, le calcul d'amortissement complet est disponible en annexe.

Économie d'énergie annuelle	7 735.25 \$ / an
Période requise pour l'amortissement	3.0 ans
Écart mensuel au bilan les 5 premières années	-296.99 \$ / mois
Écart mensuel au bilan pour les années subséquentes	-743.16 \$ / mois
Économie réelle sur 15 ans	133 768.90 \$

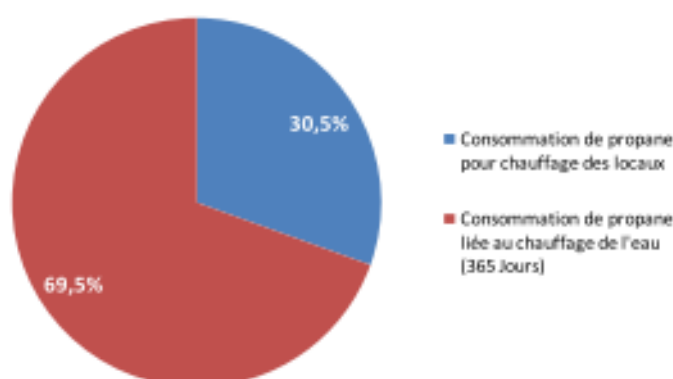
Le principe 'DC Inverter' de l'équipement retenue permet de fonctionner à très basse température ambiante tout en offrant une meilleure efficacité que les thermopompes conventionnelles sur toute la plage de températures ambiantes. L'installation de type 'Split' élimine le risque de gel en cas de panne électrique prolongée durant hiver puisque l'eau potable n'a pas à circuler à l'extérieur.

### Étude énergétique

Afin de pouvoir prévoir les économies possibles, il importe d'abord de valider la répartition énergétique du scénario de référence. En effet, si on veut prouver les économies d'une mesure d'efficacité énergétique, il est essentiel de connaître la consommation actuelle liée aux usages touchés.

La première étape consiste à répartir la consommation énergétique annuelle entre le chauffage de l'eau et le chauffage des locaux. Pour ce faire, nous avons utilisé la consommation totale de propane pour les mois de mai à novembre afin de déterminer les besoins quotidiens pour le chauffage de l'eau. En effet, les bâtiments ne sont pas chauffés durant cette période. À partir de cette valeur moyenne, nous avons pu établir le combustible consommé sur 365 jours pour le chauffage de l'eau. La différence est destinée au chauffage des locaux, que l'on peut voir en bleu sur la figure suivante.

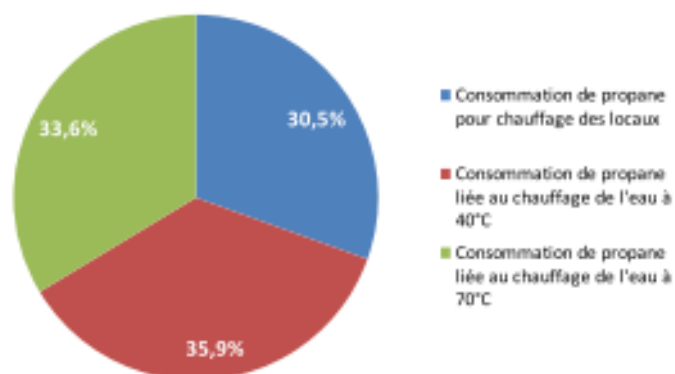
### Répartition de la consommation de propane



La tâche de chauffage de l'eau au propane est séparée en deux processus distincts. Il y a, d'une part, chauffer l'eau de puits de 8°C jusqu'à 40°C et l'y maintenir, d'autre part chauffer l'eau jusqu'à 70°C pour la préparation du lait. Dans le cadre de cette première phase du projet, on s'intéresse seulement aux économies possibles avec l'eau à 40°C.

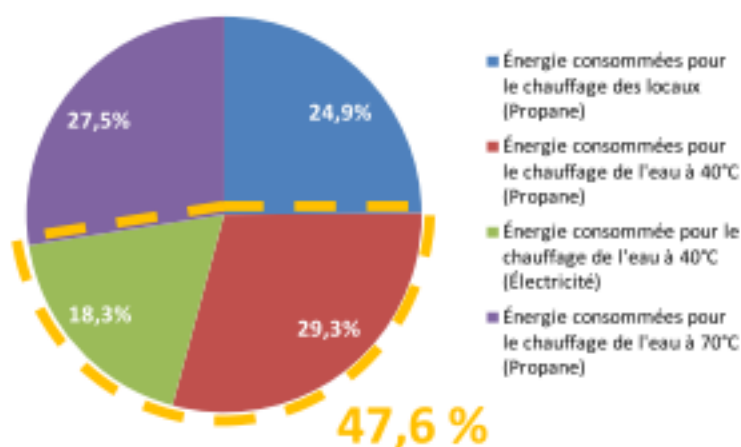
Avec l'utilisation de 2 400 Litres d'eau à 70°C par période de 12 heures, nous avons pu évaluer l'énergie requise annuellement pour produire cette eau à partir d'une réserve à 40°C. Cette proportion d'énergie est montrée en vert sur la figure suivante.

### Répartition de la consommation de propane



De plus, des chauffe-eaux à résistance électrique chauffent de l'eau à 40°C pour faire boire les veaux, avec un débit approximatif de 3000L par jour. Cette utilisation augmente les économies liées à l'emploi d'une pompe à chaleur pour le chauffage de l'eau jusqu'à une température de 40°C.

## Répartition de la consommation énergétique



Lorsqu'on combine les quartiers vert et rouge de la figure précédente, représentant le chauffage de l'eau jusqu'à 40°C, on constate que cette charge représente 47.6% de l'énergie utilisée à des fins de chauffage, toutes utilisations confondues.

Le tableau suivant présente les coûts annuels pour fournir l'énergie précitée avec les équipements actuels.

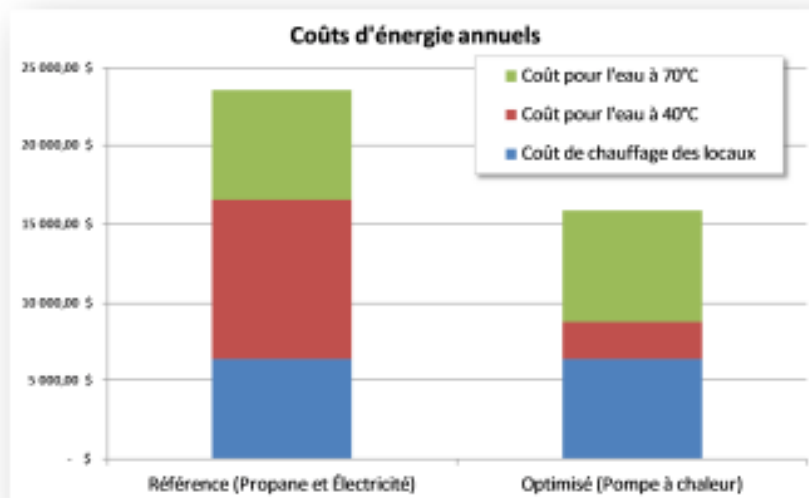
	Référence Propane (L)	Référence Électricité (kWh)	Coût de Référence
Énergie de chauffage des locaux	12 260		6 375,24 \$
Énergie pour l'eau à 40°C pour faire boire les veaux		40 724	2 647,08 \$
Énergie pour préchauffage de l'eau à 40°C pour la préparation du lait	14 429		7 503,04 \$
Énergie pour l'eau à 70°C	13 527		7 034,10 \$
<b>Coût d'énergie annuel (Propane : 52¢/L, Électricité : 6.5¢/kWh)</b>	<b>40 216</b>		<b>23 559,47 \$</b>

Le tableau suivant présente la consommation énergétique requise pour fournir la même quantité d'énergie en utilisant une pompe à chaleur pour le chauffage de l'eau.

	Optimisé Propane (L)	Optimisé Électricité (kWh)	Coût Optimisé (0,52\$/L) (6,5¢/kWh)
Énergie de chauffage des locaux	12 260		6 375,24 \$
Énergie pour l'eau à 40°C pour faire boire les veaux		14 289	928,80 \$
Énergie pour préchauffage de l'eau à 40°C pour la préparation du lait		22 863	1 486,08 \$
Énergie pour l'eau à 70°C	13 527		7 034,10 \$
<b>Coût d'énergie annuel (Propane : 52¢/L, Électricité : 6.5¢/kWh)</b>			<b>15 824,22 \$</b>

Même si cette mesure d'efficacité énergétique est liée seulement au chauffage de l'eau jusqu'à 40°C, elle permet une bonne réduction des coûts énergétiques tel que montré à la figure et le tableau suivants.





	Référence (Propane et Électricité)	Optimisé (Pompe à chaleur)
Coût de chauffage des locaux	6 375,24 \$	6 375,24 \$
Coût pour l'eau à 40°C	10 150,12 \$	2 414,88 \$
Coût pour l'eau à 70°C	7 034,10 \$	7 034,10 \$
<b>Coût d'énergie annuel</b> (Propane : 52¢/L, Électricité : 6.5¢/kWh)	<b>23 559,47 \$</b>	<b>15 824,22 \$</b>
<b>Économie annuelle</b>		<b>7 735,25 \$</b>

L'utilisation d'une pompe à chaleur pour le chauffage de l'eau permet une réduction des coûts de l'ordre de 76.2% pour le chauffage de l'eau jusqu'à 40°C. Cela représente une réduction globale de 32.8% des coûts d'énergie.

### Résumé des hypothèses et valeurs utilisées pour les calculs

Coût moyen du litre de propane	0.52 \$
Efficacité de la bouilloire	65,8%
Capacité calorifique du propane	23 420 BTU/L
Consommation totale annuelle	40 216 L
Utilisation d'eau à 70°C par période de 12h	2 400 L
Utilisation d'eau à 40°C par période de 24h	3 000 L
Température de l'eau du puits	8 °C
Chaleur massique de l'eau	4.184 kJ/kg°C
Température moyenne annuelle	4,4 °C
Coefficient de performance moyen	285%
Coût moyen du kWh	0.065 \$

## Annexe 2 : Système d'acquisition et équipement de mesurage

Le système d'acquisition est conçu autour d'un contrôleur VLCA-1688 de la compagnie Alerton. Ce contrôleur possède 16 entrées universelles d'une résolution de 12 bits chacune en plus de supporter l'acquisition par COV (Change of value). En effet, en plus de mesurer toutes les données à intervalle fixe de 5 minutes, des points intermédiaires sont pris en cas de variation brusques d'une des valeurs. Vu la mémoire limitée de l'appareil, les plus anciennes données sont remplacées progressivement par les nouveaux enregistrements. Bien que la durée d'acquisition dépende du nombre d'enregistrements dus aux COV, on s'attend à une période d'acquisition autonome de 6 à 8 semaines entre les récupérations d'historique, ce qui est amplement suffisant puisqu'une visite mensuelle de notre technicien est planifiée.

Les capteurs de température de type à immersion, d'une résistance de 10k $\Omega$  à 25°C, possèdent une précision de  $\pm 0.1^\circ\text{C}$  sur la plage de 0°C à 85°C, ce qui assure la précision des valeurs de température lues à chaque intervalle.

Les capteurs de température ambiante, autant intérieurs qu'extérieurs, ont une précision de  $\pm 0.2^\circ\text{C}$  et sont également des modèles à résistance de 10k $\Omega$  à 25°C. Le capteur extérieur est destiné à établir la corrélation entre l'efficacité du système et la température de l'air à l'évaporateur de l'unité. Bien qu'on ne juge pas que la température intérieure puisse influencer significativement les performances, une variation importante de celle-ci viendrait indiquer une perturbation des conditions d'opération, pouvant aider à expliquer certaines données hors tendance.

Les lectures de débit d'eau, par débitmètre à pulses, permettent d'enregistrer le débit total sur chaque intervalle avec une précision de 1.5%.

## Annexe 3 : Avancement du projet-Rapport d'étape (20.11.2012)

### IRDA

François Léveillé  
Dan Zégan  
Cédric Marin

### Avancement du projet pour la ferme de veaux de lait Rémi Pouliot Rapport d'étape (20.11.2012)

**PROGRAMME :** PASAI VOLET 3

#### **Titre du projet**

*Mise à l'essai en conditions réelles d'exploitation d'un système de chauffage de l'eau destinée à l'alimentation des veaux de lait*

**Dossier :** 11-337 (MAPAQ)

**Requérant :** Rémi Pouliot , Ferme de veaux de lait, St-Michel de Bellechasse.

**Partenaires :** HVAC et IRDA

**Acceptation du projet :** 28 oct. 2011

**Aide financière maximale :** 14 000 \$ pour

- Frais d'ingénierie récolte et compilation des données et les études de performances (HVAC);
- Frais des experts scientifiques de l'IRDA.

**Date initiale pour compléter le projet :** 1-er novembre 2012

**Date actuelle pour compléter le projet :** l'échéance a été remise à la fin février 2013 (confirmé par M. J-F. Duquette suite à un appel téléphonique (10 oct. 2012) du responsable du programme, M. Charles Fortier :

#### **Étapes du projet prévues :**

- Élaborer les plans de conception de l'installation. Acheter les composants et assembler le module intérieur et le système de contrôle en atelier;
- Élaborer les plans d'installation et élaborer la procédure expérimentale, acheter les équipements de mesurage et les accessoires;
- Rencontrer les partenaires pour valider l'installation;
- Transporter et installer les modules extérieurs et intérieurs à la ferme, installer les sondes requises, raccorder le système d'acquisition, effectuer la mise en marche des unités;
- Démarrer les essais en conditions réelles d'exploitation. Enregistrer les données, suivre les performances et procéder aux ajustements et aux adaptations requis;
- Analyser les données, réaliser les bilans énergétiques et valider les performances de l'installation;
- Effectuer l'analyse économique et rédiger le rapport final.

#### **Étapes du projet réalisées :**

(selon le rapport de HVAC et constaté pendant la visite du 14.11.2012) :

- Plans de conception de l'installation réalisés;
- Module intérieur et le système de contrôle et les modules extérieurs réalisés et installés à la ferme;
- Mise en marche des unités et ajustements et réglages réalisés;
- Exploitation du système de chauffage pendant plus de 6 mois;
- Première rencontre de partenaires pour valider l'installation réalisée.

#### **Étapes du projet à réaliser :**

- Élaborer la procédure expérimentale, acheter les équipements de mesurage et les accessoires : novembre 2012- HVAC et validation IRDA;
- Installer les sondes requises, raccorder le système d'acquisition, effectuer la mise en marche des unités : novembre 2012- HVAC et validation IRDA;
- Démarrer les essais en conditions réelles d'exploitation. Enregistrer les données, suivre les performances et procéder aux ajustements et aux adaptations requis début décembre 2012 –28 février 2013 - HVAC et validation IRDA;
- Analyser les données, réaliser les bilans énergétiques et valider les performances de l'installation; février- mars 2013 - HVAC et validation IRDA;
- Effectuer l'analyse économique et rédiger le rapport final février- mars 2013 -HVAC et validation IRDA.

## Résumé de la rencontre des partenaires durant la visite à la ferme du 14 novembre 2012

### Participants :

Rémi Pouliot , Ferme de veaux de lait

Jean- François Duquette, Centre de Services MAPAQ, Direction régionale de la Chaudière-Appalaches

Raymond Leclair - HVAC

Michel Jr. Laquerre - HVAC

Dan Zegan- IRDA

Cédric Morin -IRDA

### État d'avancement du projet et performances

- Mise en marche du système de chauffage réussie;
- Faisabilité du système démontrée pendant plus de 6 mois (mai- novembre). La capacité de chauffage assurée pendant toute cette période (chauffage de l'eau de 8 °C à plus de 40 °C) pour une consommation de 3000l/jour pour abreuvement et 2x 2400l/jour pour préparation du lait.
- Performances et économies non évaluées (système de mesurage et acquisition des données non installé). Le producteur extrêmement content de fonctionnement du système et qui semble extrêmement économique par rapport à l'ancienne installation (chauffage électrique pour 3000l/jour et chauffage au propane pour 2x2400 l/ jour.)

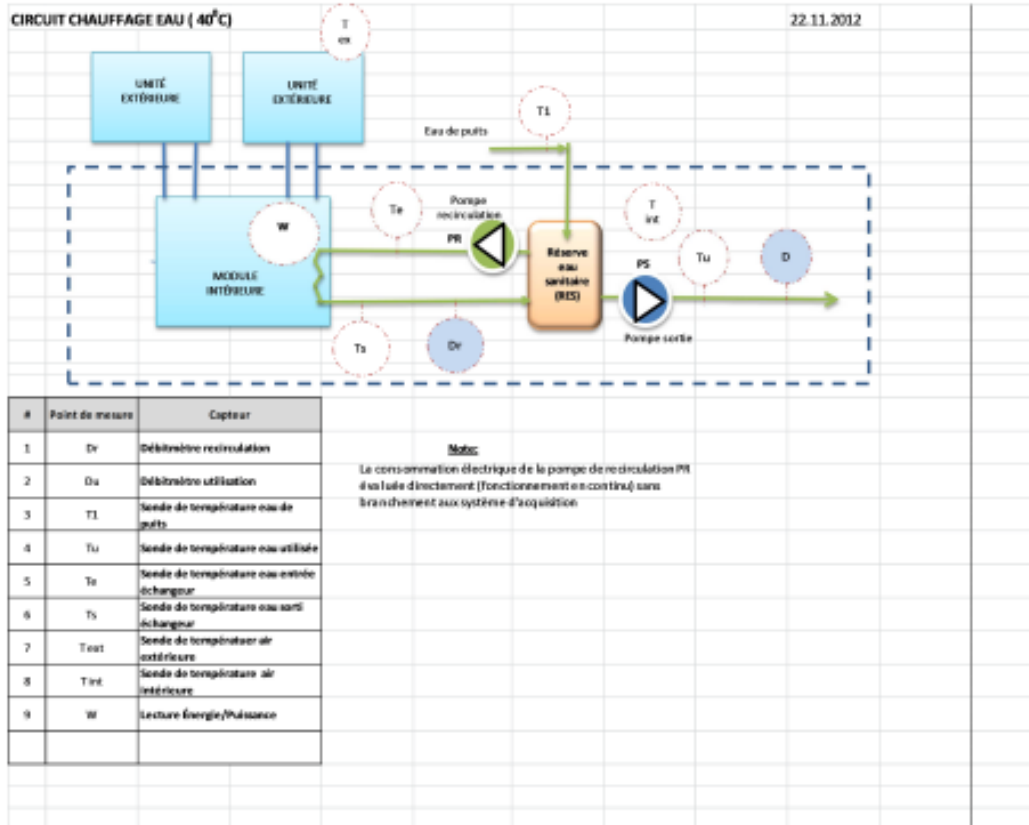
### Validation des éléments de base pour la procédure expérimentale

- Inspection de l'installation réalisée;
- Emplacement des points de mesure établie;
- Propositions pour les méthodes de calculs et évaluation des performances à utiliser.
- Deux options pour le système d'acquisition :
  - a) fourni par IRDA (21x)
  - b) un nouveau système plus performant proposé par HVAC pour acquisition de données et contrôle à distance.

### **Priorités établies afin d'accélérer le démarrage de l'étape d'essais et finaliser le projet**

- Mise à jour des informations et les obligations contenues dans la lettre d'acceptation du projet (échanciers, budget);
- Choix et installation rapide du système de mesurage et d'acquisition de données; IRDA doit faire une offre de location pour 21x, (inclure aussi les sondes pour l'air extérieur, ordinateur portable, programmation et démarrage).
- Réalisation d'une offre de service par HVAC et IRDA pour les travaux à réaliser dans le cadre du projet;
- Réaliser l'achat de composantes pour mesurage et acquisition et procéder à l'installation, programmation;
- Démarrage des essais : début décembre 2012.
- Revoir l'échéancier et établir les responsabilités pour tous les partenaires dans le cadre du projet.

- Schéma installation et points de mesure



## **Annexe 4 : Fiche de transfert**

### **UNE NOUVELLE TECHNOLOGIE ÉCOÉNERGÉTIQUE POUR LE CHAUFFAGE DE L'EAU DESTINÉE À L'INDUSTRIE AGRICOLE**

Rémy Pouliot<sup>1</sup>, Michel Laquerre<sup>2</sup>, Michel Junior Laquerre<sup>2</sup>, Raymond Leclair<sup>2</sup>

**No de projet :** (réservé à l'administration)

**Durée :** 02/2012 – 02/2013

#### **FAITS SAILLANTS**

Le projet actuel a permis la mise à l'essai en conditions réelles d'exploitation d'une nouvelle technologie de pompe à chaleur et son adaptation en type air/eau pour le chauffage de l'eau destinée à abreuver les veaux et à la préparation du lait reconstitué de la ferme Rémy Pouliot. Le chauffage de l'eau sanitaire à l'aide d'un système chauffe-eau au propane représentait pour cette ferme un coût d'énergie trois fois plus grand que le chauffage des bâtiments.

Puisqu'aucune technologie n'était disponible pour cette application, surtout dans les conditions climatiques du Québec, un équipement a été conçu spécialement pour ce besoin par la compagnie HVAC Concept, maintenant offert sous le nom Versa-Nergy.

Des essais en conditions réelles d'exploitation se sont déroulés entre le 19 janvier et le 5 février 2013 pour faire la démonstration pendant une période extrêmement froide, incluant une journée complète avec une température de -24.2°C.

La température moyenne sur la période des essais a été de -12,9°C, avec un coefficient de performance moyen de 2.22.

En extrapolant les résultats des tests sur une année complète, on obtient un COP de 3,38 avec le système actuel, et un COP potentiel de 4,12 si une pompe à vitesse variable avait été utilisée.

Avant la période de mesurage, une période d'essais et de réglages a eu lieu. Au cours de cette période, une économie moyenne de 27.8 litres de propane par jour a été observée. Ce qui, pour la même utilisation d'eau représente une économie annuelle de plus de 10 000 Litres soit une réduction de 6 000\$ sur les coûts de propane.

Puisque le système remplace également deux chauffe-eaux à résistance électrique, le client nous confirme que la consommation d'électricité n'a pas augmenté avec l'utilisation du système.

#### **OBJECTIF(S) ET MÉTHODOLOGIE**

Le projet a eu comme objectif principal de démontrer, pour une ferme moyenne pour l'élevage des veaux de lait (540 veaux/élevage, 2.3 élevages/an), le potentiel technico-économique de chauffer de l'eau potable à partir de l'énergie de l'air ambiant à l'extérieur du bâtiment par un système amélioré de pompe à chaleur air/eau. Les plus importants objectifs visés sont de :

- Valider les performances en conditions réelles d'utilisation, particulièrement l'efficacité à basse température;
- Déterminer le coefficient de performance de la pompe à chaleur (COP) et démontrer l'efficacité comparativement aux technologies classiques;
- Démontrer la réduction réelle des coûts d'énergie reliés au chauffage de l'eau sanitaire

L'efficacité du système de chauffage a été évaluée à partir du coefficient de performance (COP) de la PAC mise à l'essai en conditions réelles d'exploitation. Suite à l'enregistrement des données expérimentales, il a été possible de calculer ce coefficient, défini comme le rapport entre l'énergie fournie à l'eau de la réserve et l'énergie consommée par la PAC pour réaliser cet effet.

### **RÉSULTATS SIGNIFICATIFS POUR L'INDUSTRIE**

Une période d'essais et de réglages d'environ 8 mois (qui a débuté à l'été 2012), a permis de démontrer le bon fonctionnement du système et a permis le remplacement total de l'ancien système de chauffage au propane pour cette étape de préchauffage de l'eau. Des essais en conditions réelles d'exploitation se sont déroulés entre le 19 janvier et le 5 février 2013 pour faire la démonstration pendant une période extrêmement froide. La température extérieure moyenne enregistrée a été de  $-12,9^{\circ}\text{C}$ , l'énergie totale consommée a représenté 1036 kWh et l'énergie fournie à l'eau de la réserve a été de 2325 kWh, en résultant un coefficient de performance (COP) moyen de 2,22. Le COP a varié entre 1,44 et 3,16 pendant que la température extérieure journalière a varié entre  $-24,2^{\circ}\text{C}$  et  $1,2^{\circ}\text{C}$ . La température moyenne de l'eau de puits (entrée eau) a été de  $12,1^{\circ}\text{C}$  et la température moyenne de l'eau à la sortie du réservoir de  $24,5^{\circ}\text{C}$ . La consommation de l'eau chaude pour l'abreuvement des veaux et la préparation du lait a varié entre 4474 L/ jour et 6053 L/ jour pour un total de la période de 68 573 L. L'analyse des données expérimentales a permis aussi d'évaluer un coefficient de performance annuel de 3,38 et de démontrer les économies réalisées par rapport au chauffage électrique et au chauffage au propane. Ainsi le système de chauffage avec PAC, avec une consommation annuelle de 17 946 kWh, est moins coûteux à opérer que les technologies conventionnelles pour des économies de 3 202,59\$/an comparativement à un élément électrique et 6 099,80\$/an pour une bouilloire au propane.

### **APPLICATIONS POSSIBLES POUR L'INDUSTRIE**

Le système de chauffage Versa-Nergy conçu la compagnie HVAC Concept démontre une efficacité élevée, même pendant la période froide.

En plus de la production d'eau sanitaire, le système Versa-Nergy peut répondre simultanément aux besoins de plusieurs autres applications nécessitant du chauffage, telles le chauffage par plancher radiant, le chauffage direct de l'air des locaux et même répondre aux besoins de refroidissement. C'est un système qui permet aux agriculteurs de non seulement réduire leurs coûts de production, mais également réduire leur dépendance aux combustibles fossiles et l'impact environnemental de leur production grâce à l'utilisation d'énergie renouvelable.

Une des grandes innovations technologiques du système Versa-Nergy réside dans le fait qu'il est facilement adaptable à toute forme d'exploitation agricole.

### **POINT DE CONTACT POUR INFORMATION**

Nom du responsable du projet : Raymond Leclair, ing. jr.

Téléphone : (819) 841 0236 ext. 203

Télécopieur : (819) 841 0262

Courriel : [rleclair@hvac-concept.com](mailto:rleclair@hvac-concept.com)

### **REMERCIEMENTS AUX PARTENAIRES FINANCIERS**

Ces travaux ont été réalisés grâce à une aide financière du Programme d'appui à l'innovation en agroalimentaire, un programme issu de l'accord du cadre Cultivons l'avenir conclu entre le ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation et Agriculture et Agroalimentaire Canada.