



MONITORING / SUIVI CHAMBRE FROIDE



FICHE SYNTHÈSE

SOMMAIRE

OBJECTIFS ET CONTEXTE DE L'ÉTUDE	3
LES CONSOMMATIONS D'UNE CHAMBRE FROIDE	4
I. LES DIFFÉRENTS POSTES ENGENDRANT DES CONSOMMATIONS D'ÉNERGIE POUR LE MAINTIEN EN TEMPÉRATURE :	4
II. DESCRIPTION DES POSTES DE CONSOMMATION D'ÉNERGIE	5
A1 : performance de l'enveloppe de la chambre froide (CF)	5
A2 : Température des produits entrants	5
A3 : Respiration des fruits et légumes	5
A4 : Taux de renouvellement d'air	6
A5 : Activité humaine	6
A6 : appareils électriques diverses dans la CF	7
N7 : Performance du groupe froid	7
REALISATION DE SUIVI TECHNIQUE SUR DEUX EXPLOITATIONS AGRICOLES	9
I. CONTEXTE ET METHODOLOGIE / PROTOCOLE TECHNIQUE:	9
Choix des exploitations :	9
Contexte de l'étude / campagne de mesures :	9
Protocole de suivi	9
Caractéristiques des chambres froides des deux exploitations agricoles:	10
II. ANALYSE DES RESULTATS DES MESURES CHAMBRES FROIDES	12
Apport de chaleur par l'enveloppe des chambres froides étudiées	13
Apport de chaleur par les produits entrants	14
Apport de chaleur par l'ouverture des portes (renouvellement d'air)	15
CONCLUSION	18

OBJECTIFS ET CONTEXTE DE L'ETUDE

Les conseillers agricoles manquent de retours et de références sur le plan de l'**efficacité énergétique concernant les actions qu'ils proposent aux exploitants agricoles**. La mise en place d'un suivi technique et rigoureux s'avère nécessaire afin de mesurer l'impact concernant la consommation énergétique et ainsi de permettre la dissémination des résultats et des pratiques.

Les actions définies comme « poste énergivore » avec peu d'information sur leur impact énergétique sont (par ordre d'importance):

1. L'isolation et consommation électrique d'une **chambre froide**,
2. La production d'**eau chaude solaire**,
3. L'isolation du **bâti** (ou une partie d'un bâti),
4. La production d'**électricité photovoltaïque** (préférentiellement en auto-consommation),
5. La consommation énergétique de **chaudières performantes** et notamment celles utilisant la biomasse.

Le choix du ou des actions à monitorer a été déterminé avec l'inter-réseau en adéquation avec l'expertise du GERES. Il a été décidé de concentrer l'étude et les mesures sur le **poste chambre froide**.

La fiche permet de visualiser l'échelle de variation de consommation ou de gain énergétique par poste. Ces éléments pourront être utiles aux conseillers pour déterminer rapidement les consommations ou gains escomptés en relation avec leur projet.

Contenu de la fiche

Les différents postes de consommation d'une chambre froide

Mesures et analyses sur exploitations agricoles
(La Perdrigone et La Pugère)

Conseils et chiffrage des gains énergétiques possibles

LES CONSOMMATIONS D'UNE CHAMBRE FROIDE

I. LES DIFFERENTS POSTES ENGENDRANT DES CONSOMMATIONS D'ENERGIE POUR LE MAINTIEN EN TEMPERATURE :

L'énergie nécessaire au groupe de production de froid pour maintenir une température demandée se décompose de la sorte :

$$E = (A1 + A2 + A3 + A4 + A5 + A6) \times N7$$

A1 = apports de chaleur au travers des parois de l'enveloppe (**isolation**),

A2 = apports de chaleur par les produits alimentaires (**température initiale des produits**),

A3 = apports de chaleur par la **respiration des fruits et des légumes**,

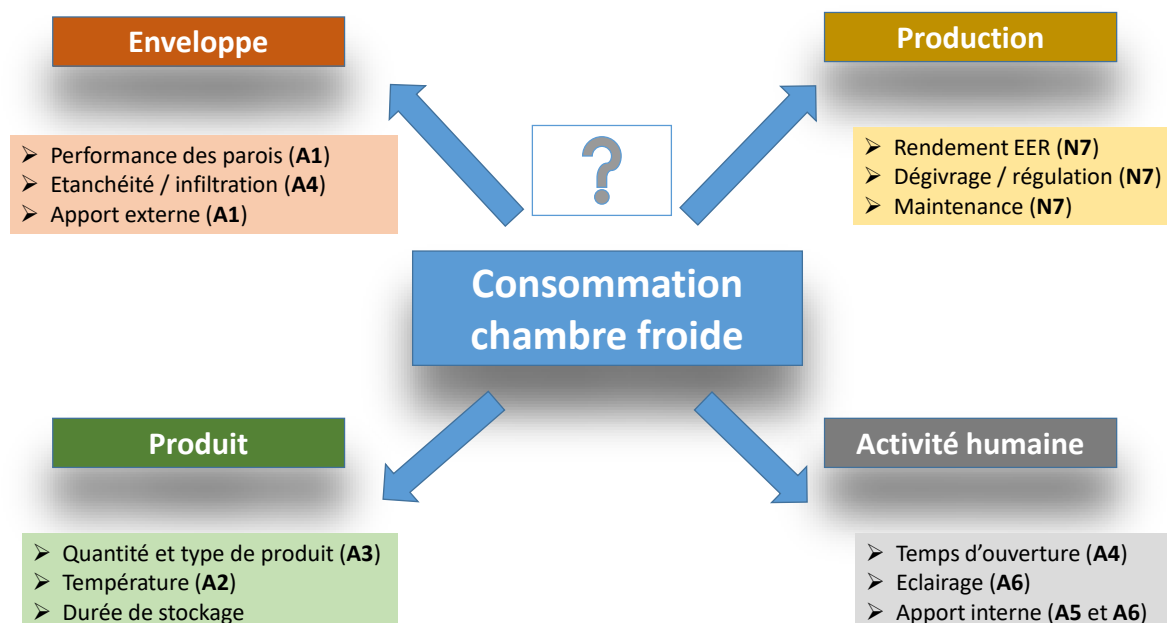
A4 = apports de chaleur par le renouvellement d'air (**ventilation / infiltration, ouverture / fermeture des portes...**),

A5 = apports de chaleur par l'activité humaine (**chaleur humaine...**),

A6 = apports de chaleur par des **appareils électriques diverses** (l'éclairage, moteur de triage ou du moteur de l'évaporateur...),

N7 = le rendement global du système de refroidissement (**dégivrage et régulation**).

Les **postes de consommation d'énergie** sont regroupés en 4 thématiques :



L'énergie utilisée pour le groupe de production de froid est l'énergie électrique et exprimée en **kWh**. Les apports de chaleur ne sont pas tous équivalents et ne sont pas nécessairement continus (variation de la température extérieure, de la quantité de produits rentrés et sortis, durée des activités humaines etc...).

Concernant le rendement global (N7), le groupe frigorifique ainsi que ses organes de régulation, peuvent être plus ou moins énergivores.

II. DESCRIPTION DES POSTES DE CONSOMMATION D'ÉNERGIE

A1 : PERFORMANCE DE L'ENVELOPPE DE LA CHAMBRE FROIDE (CF)

- Les parois permettent de plus ou moins limiter le passage de chaleur dans la chambre froide.
- Les parois non-isolées peuvent grandement influencer sur la consommation d'énergie globale notamment lorsque la différence de température entre l'extérieur et l'intérieure est importante.

Conseils	
Les parois verticales doivent, à minima, avoir 80 mm d'isolant ($\lambda=0.035$ W/mK) pour une CF (positive) et 100 mm pour une CF négative. L'isolant le plus couramment utilisé est le panneau de polyuréthane avec un λ peu élevé (0.027 W/mK) qui lui confère de bonnes propriétés thermiques. Cependant ce produit est très énergivore (énergie grise) pour sa production et difficilement recyclable.	Une bonne alternative écologique est l'utilisation du liège ($\lambda=0.045$ W/mK), mais les épaisseurs doivent être pratiquement doublées pour atteindre les mêmes caractéristiques thermiques.
Le plafond doit, à minima, avoir 100 mm d'isolant ($\lambda=0.035$ W/mK) pour une CF (positive) et 120 mm pour une CF (négative).	
Le sol peut ne pas être isolé mais doit être sur terre plain pour les CF (positive), pour une CF (négative) le sol doit être isolé à minima de 80 mm d'isolant sous une chape en béton. Dans ce cas le sol doit avoir une résistance mécanique adéquate pour soutenir le transpalette et le poids des produits stockés.	
Dans le cas où une paroi est déjà isolée, selon l'épaisseur d'isolant d'origine (>60mm), une sur-isolation peut ne pas être économiquement viable .	
La CF doit être abritée des rayons solaires . En l'incorporant dans un bâti ou, à minima, en prévoyant un brise-soleil, la différence de température entre l'intérieur et la surface externe des parois est diminuée (température ambiante).	

A2 : TEMPÉRATURE DES PRODUITS ENTRANTS

Selon la période et l'heure de la récolte, les produits peuvent avoir emmagasiné une grande quantité de chaleur.

Conseils
Stocker les produits dans un hangar la nuit avant de les introduire dans la CF.
Pour les produits stockés en CF (négative), les refroidir dans la CF (positive) au préalable.

A3 : RESPIRATION DES FRUITS ET LÉGUMES

- Les fruits et légumes respirent et dégagent de la chaleur ainsi qu'une certaine quantité d'eau.
- L'ordre de grandeur moyenne de chaleur dégagée est de 1,4 Wh/kg/24 heures.

Conseils

Stocker les produits dans un hangar (ventilé si possible) la nuit avant de les introduire dans la CF et s'assurer que les produits sont **exemptes de condensation** (sec).

Vérifier le bon **écoulement des condensats**, en-dessous de l'évaporateur, vers l'extérieur.

A4 : TAUX DE RENOUVELLEMENT D'AIR

Le renouvellement d'air (ventilation) est **nécessaire** dès lors qu'une activité humaine a lieu (et respiration des fruits et légumes). Cet air est généralement issu de l'extérieur et **véhicule de la chaleur**. Cet apport peut être contrôlé par **des trappes** (motorisées ou non) mais peut aussi être incontrôlé par des **infiltrations** (mauvaise étanchéité au niveau des joints de la porte, au niveau de la liaison frigorifique traversant la paroi, aux ouvertures des portes...)

Conseils

Limiter le nombre d'entrée dans la CF.

Refermer la porte immédiatement (même si < 1 minute) ou faire installer un **rideau plastique** ou une fermeture mécanique automatique.

Vérifier que la liaison frigorifique entre l'évaporateur et le compresseur extérieur traversant la paroi est bien étanche ou colmatée avec une mousse isolante.

Vérifier ou remplacer **les joints** autour de la porte.

Vérifier le bon fonctionnement des éléments de fermeture de la porte (blocage en position fermée).

A5 : ACTIVITÉ HUMAINE

L'augmentation de la consommation d'énergie due aux activités humaines à l'intérieur de la CF sont multiples. Chaque **être humain dégage de la chaleur** et augmente lorsque celui-ci est en forte activité physique (5 personnes en activité représentent la même quantité de chaleur qu'un convecteur électrique). Les entrées et sorties fréquentes de la CF contribuent également à l'introduction de chaleur notamment lorsque la porte reste ouverte pour une période donnée (cf. infiltration d'air).

Conseils

Porter des **vêtements recouvrant** tout le corps

Concentrer les tâches, si cela est possible, afin de limiter les entrées / sorties,

Fermer la porte systématiquement.

A6 : APPAREILS ÉLECTRIQUES DIVERSES DANS LA CF

Toute **consommation d'énergie électrique produit de la chaleur**. L'**éclairage** et notamment les ampoules à **incandescence ou halogène** génèrent de la chaleur. Une ampoule de 100 W allumée 10h par jour sur une période de 6 mois génère 180 kWh de chaleur. Les **moteurs des ventilateurs** sur l'évaporateur produisent également de la chaleur, leur puissance varie de 50 à 500 W par unité.

Conseils

Préférer des **ampoules LED qui produisent très peu de chaleur**, ce qui est un avantage dans les CF. Leur échauffement est de seulement 32°C contrairement aux lampes à incandescence (150°C) et les lampes fluocompactes (70°C).

Les ventilateurs sur l'évaporateur ne doivent pas être en fonctionnement 24h/24. S'assurer que leur mise en route soit **asservie au fonctionnement du compresseur** et/ou pendant la période de dégivrage.

Limiter l'utilisation d'appareil électrique dans les CF et favoriser l'installation d'appareils de triage etc... à l'extérieur des CF.

N7 : PERFORMANCE DU GROUPE FROID

Non des moindres, l'efficacité énergétique d'une CF dépend fortement de la performance du groupe froid (compresseur, évaporateur, liaison frigorifique, régulation etc...). On recense différents postes de consommation d'énergie :

- le **compresseur** (plusieurs technologies : à vis, à piston, centrifuge...) et son refroidissement,
- les auxiliaires permanents (**ventilateurs**, pompes, etc.),
- le **dégivrage** (circulation d'air inversée, résistance chauffante...)
- les pertes en réseau (longueur et calorifugeage des **liaisons frigorifiques**).
- Son dimensionnement (un compresseur trop puissant par rapport aux quantités à stocker perd plus d'énergie ainsi qu'un groupe sous-dimensionné entraîne une utilisation accrue et donc une usure prématurée du système).

Tous ces paramètres définissent le **coefficient de performance** du groupe (**COP froid**) qui est le rapport entre la chaleur captée à l'évaporateur et l'énergie électrique demandée par le compresseur. Plus la valeur du COP augmente, plus le système est performant. Ci-dessous une liste des groupes froids couramment rencontrés et leur COP associé. Attention ! le COP est basé sur la consommation électrique totale du système selon des référentiels de température précis (et celui-ci se dégrade si un des éléments est défectueux ou mal installé (ex. Liaison frigorifique non calorifugée, dégivrage mal calibré etc...) :

- Groupes de production **d'eau glacée à pistons** : COP de 3 à 3.7
- Groupes de production **d'eau glacée à vis**: COP de 4.5 à 5
- Groupes de production **d'eau glacée centrifuges** : COP de 3.8 à 4.5

Conseils

Préférer les compresseurs frigorifiques **refroidis par l'air** (avec un condenseur placé dans un endroit bien ventilé) ou **par l'eau en circuit fermé**.

les appareils qui **brassent l'air** dans la chambre froide ont une plus grande efficacité énergétique.

un temps de **dégivrage optimisé** (arrêt du processus dès la disparition du givre sur l'évaporateur).

Un **dégivrage par inversion** de cycle est préférable à une résistance électrique chauffante

Les **liaisons frigorifiques calorifugées** correctement sur toute la continuité

La **puissance du groupe dimensionnée à la capacité de stockage**

Un **COP froid élevé > 3.5**

REALISATION DE SUIVI TECHNIQUE SUR DEUX EXPLOITATIONS AGRICOLES

I. CONTEXTE ET METHODOLOGIE / PROTOCOLE TECHNIQUE:

CHOIX DES EXPLOITATIONS :

Suite aux concertations menées auprès des conseillers agricoles de l'IRAEE, 2 fermes sur les 10 présentées, ont été sélectionnées en se basant sur :

- les types de chambre froide à disposition (une grande récente et une petite ancienne),
- l'engagement des exploitants à permettre d'effectuer une campagne de mesures sur leur lieu de travail
- et, pour des raisons de logistique, des fermes à une distance pas trop éloignée du GERES basé sur Aubagne.

Les deux exploitations choisies sont **La perdrigone**, arboriculteur basé sur Maillane (13) et **La Pugère**, centre d'expérimentation arboricole sur Mallemort (13).

CONTEXTE DE L'ÉTUDE / CAMPAGNE DE MESURES :

Les campagnes de mesures se sont déroulées pendant un mois en été (juillet – août 2016), et un mois en mi-saison (septembre – octobre) sur une grande chambre froide négative à La Perdrigone (> 500 m³), et une petite chambre froide positive à La Pugère (< 50 m³) afin d'analyser les comportements des chambres froides dans des conditions diverses.

La campagne de mesures retenue pour La Perdrigone s'est portée entre le 23 août et le 19 septembre 2016 (27 jours), l'autre période estivale n'étant pas concluante due à une saison de production particulièrement faible en poire.

Le compresseur de la petite chambre froide de la Pugère est malheureusement tombé en panne lors de la première campagne de mesures en été. L'étude s'est alors concentrée sur la deuxième chambre positive également pendant la deuxième campagne de mesure en septembre 2016.

Note importante : Les informations sur les activités journalières (quantité et type de denrées entrant et sortant, les heures d'activité humaine dans les chambres froides...) qui devaient être répertoriées par les exploitants n'ont été que **partiellement renseignées**. Ce manque d'information et de données a nécessité d'effectuer quelques estimations ou de se reporter à des études antérieures notamment celle effectuée sur La Perdrigone par Bio de Provence en 2013.

PROTOCOLE DE SUIVI

Chaque chambre froide a été monitorée à l'aide de :

- 2 Thermomètres / hygromètres enregistreur de type Testo T174H. 2 sondes ont été utilisées, une positionnée dans le hangar à l'abri de rayons solaires directs pour relever la température extérieure et l'autre au-dessus de la porte pour enregistrer la température intérieure.
- Un ampèremètre enregistreur placé sur les phases du compresseur et de l'évaporateur du groupe froid au niveau du tableau électrique.
- Un sous compteur électrique (déjà installé) placé sur l'alimentation générale de la chambre froide (éclairage, groupe frigorifique...)

L'acquisition des données s'est effectuée in situ sur PC portable en fin de période de mesure.

En parallèle, un tableau de relevé des « faits marquants », sous format papier, a été remis aux 2 exploitants et placé à l'entrée de la chambre froide avec instruction de répertorier tous les faits qui sortent de l'ordinaire (nettoyage, stockage/déstockage, mise en route...). Ces informations sont cruciales lors de l'analyse des données, notamment les courbes de température, afin de corréliser telle ou telle action à des hausses ou baisses de température.

Une caméra thermique à infrarouge a été également utilisée pour détecter des désordres thermiques éventuels sur l'enveloppe de la chambre froide (ponts thermiques, défaut d'étanchéité...).

CARACTÉRISTIQUES DES CHAMBRES FROIDES DES DEUX EXPLOITATIONS AGRICOLES:

Ci-dessous, un tableau récapitulatif des caractéristiques techniques et d'exploitations des chambres froides. **Les colonnes grisées** correspondent aux chambres froides qui ont fait l'**objet d'une analyse** suite aux campagnes de mesure et de suivi technique.

	La Perdrigone (Maillane 13)		La Pugère (Mallemort 13)		
Caractéristique	Petite CF	Grande CF	CF 1	CF 2	CF 3
Volume (m3)	300	600	43	28	95
Date de d'installation	2003	2012	1988	1988	2006
Période de fonctionnement	Toute l'année	Juillet à décembre	Fin juillet à mi-novembre		
Périodes de mesure	37 jours (18/07 au 23/08/2016)	27 jours (23/08 au 19/09/2016)	37 jours (18/07 au 23/08/2016)	37 jours (18/07 au 23/08/2016)	27 jours (23/08 au 19/09/2016)
température moyenne extérieure enregistrée	26°C	23.4 °C		25.6 °C	
Consommation réelle sur ces périodes (sous compteur électrique SCE*)	1155 kWh	2930 kWh	NA - Tombé en panne	1121 kWh	3200 kWh
Equipements de mesure	SCE*, TE**	SCE*, TE**, WM***	SCE*, TE**, WM***	TE**	SCE*, TE**, WM***
Localisation	Sous le hangar, à l'abris du soleil	Sous le hangar, à l'abris du soleil	Sous le hangar, exposition solaire à l'ouest	Sous le hangar, à l'abris du soleil	Sous le hangar, à l'abris du soleil
Caractéristique parois et équipements					
Murs :	polyurethane (80)	polyurethane (100)	polyurethane (80)	polyurethane (80)	polyurethane (100)
Plafond :	polyurethane (80)	polyurethane (120)	polyurethane (100)	polyurethane (100)	polyurethane (120)
Sol :	dalle béton	dalle béton	dalle béton	dalle béton	dalle béton
Porte / surface:	polyurethane (80) 4 m ²	polyurethane (100) 6 m ²	polyurethane (80) 4 m ²	polyurethane (80) 4 m ²	polyurethane (100) 4.6 m ²
Type d'ouverture / étanchéité	Sur rail coulissant semi-étanche	Sur rail coulissant étanche	Sur rail coulissant Rideau, non-étanche	Sur rail coulissant Rideau, étanche	Sur rail coulissant semi-étanche
Temps d'ouverture global / jour	¾ d'heure	1h30	NC	NC	2h

Puissance frigorifique / puissance ventilateur / puissance dégivrage	23kW 500W (x2)	23 kW 500 (x4)	7 kW 500 W 8.7 kW	7 kW 500 W (x2) 8.7 kW	16 kW 500 W (x3) 9.7 kW
durée et fréquence de dégivrage	30 min, 4 fois par 24h	30 min, 4 fois par 24h	-	30 min, 4 fois par 24h	30 min, 4 fois par 24h
Eclairage / temps d'utilisation (24h)	10 néon T5 (35W) / 45min	12 néon T5 (35W) / 1h30	2 hublots incandescente (90W) / -	2 hublots incandescente (90W) / 1h	4 néon T8 (55W) / 2h
Stockage	Prune / pomme	Poire		Poire / pomme	Poire
Tonnage entrant / sortant (29j)		140 / 0 Soit 5.2 t/j (estimation basée sur donnée Bio de provenance 2013)	-	NC	200 / 140 7t/j
Température des denrées	Récolte 35°C, stockage nuit dans hangar 20°C	Récolte 35°C, stockage nuit dans hangar 20°C, pré-refroidissement petite chambre froide 2°C	-	-	Récolte 35°C, stockage nuit dans hangar 23°C
Température de consigne (°C)	+2	-1	-	2	2
Température moyenne intérieure de stockage enregistrée(°C)	+2	0.15	-	1.8	2.3

*SCE : Sous compteur électrique dédié à la consommation spécifique de la chambre froide (Compresseur, évaporateur, ventilateur et éclairage)

** TE : Thermomètre / hygromètre enregistreur

*** WM : Ampèremètre enregistreur dédié au compresseur/évaporateur de la chambre froide

II. ANALYSE DES RESULTATS DES MESURES CHAMBRES FROIDES

Ci-dessous, un tableau récapitulatif des apports moyens par poste sur 24h.

Ces calculs **sont théoriques** et sont obtenus grâce à un **logiciel de simulation de chambre froide**.

Les moyennes ont été obtenues par les relevés du GERES, des exploitants, l'analyse des relevés sur site et par extrapolation d'études antérieures effectuées à La Perdrigone notamment.

Les apports ont été classés selon les catégories précédemment décrites, l'indexation permet de se reporter aux caractéristiques prises en compte.

Apport moyen de chaleur sur 24h La Pugère CF3				La Perdrigone Grande CF	
Apports		kWh	%	kWh	%
A1	Parois	20,5	16,7%	73,6	70,0%
A2 + A3	Produits et respiration	55,2	44,8%	7,8	7,4%
A4	Renouvellement d'air (ventilation)	20,3	16,5%	18,6	17,7%
A4	Renouvellement d'air (Infiltration)	1,2	1,0%	1,1	1,0%
A5	Activité humaine (hors ouverture porte)	1,1	0,9%	1,1	1,0%
A6	Appareil électrique (ventilateur)	24,0	19,5%	1,1	1,0%
A6	Appareil électrique (éclairage)	0,9	0,7%	1,8	1,8%
Total	des apports (kWh/j)	123,2	100,0%	105,1	100,0%

Ci-dessous, l'exploitant de La Pugère a effectué des relevés du sous-sompteur de la chambre froide 3 pendant la campagne de mesures. On constate que la consommation réelle moyennée sur 24 h est pratiquement équivalente aux résultats de la simulation (<2% d'écart).

Relevé de la consommation réelle La Pugère CF3			
jour relevé	index date	index kWh	Delta
Monday	22/08/2016	132460	-
Tuesday	23/08/2016	132560	100
Thursday	25/08/2016	132790	230
monday	29/08/2016	133800	1010
thursday	01/09/2016	133830	30
monday	05/09/2016	134090	260
tuesday	06/09/2016	134220	130
wnesday	07/09/2016	134350	130
thursday	08/09/2016	134460	110
Friday	09/09/2016	134570	110
tuesday	13/09/2016	134990	420
thursday	15/09/2016	135180	190
Total	22 jours	2720	kWh
Consommation moyenne journalière		124	kWh/j.

Points d'attention :

En premier abord, les consommations semblent identiques entre les 2 CF, or l'une a un volume de stockage 6 fois plus grand que l'autre. Plusieurs critères diffèrent entre les deux :

- Les **apports de chaleur par parois sont 3 fois plus importants** dans la CF de la Perdrigone (bien que celle-ci soit mieux isolée).
- Les apports par produits et respirations sont nettement inférieurs pour la Perdrigone pour 2 raisons ; **peu de produits récoltés** et stockés pendant la campagne de mesures, et la température d'entrée des produits est à 2°C (préalablement refroidi dans la petite chambre froide) et non à température ambiante comme pour la Pugère.
- Les ventilateurs de l'évaporateur de la CF de la Pugère sont en **marche continue** (24h/24), générant ainsi une augmentation importante de chaleur produite par les moteurs électriques (+18%).

Ci-après, **l'analyse poste par poste** sur l'ensemble des critères / paramètres engendrant des variations de consommation (cf. chapitre II « les différents postes de consommation »).

APPORT DE CHALEUR PAR L'ENVELOPPE DES CHAMBRES FROIDES ÉTUDIÉES

Les 2 exploitations agricoles sont pourvues de chambres froides semi-récentes à récentes avec une épaisseur d'isolant correcte des parois. La performance de l'enveloppe, c'est-à-dire le transfert de chaleur par les parois, a été calculé par simulation thermique.

Bilan thermique de **La Perdrigone** :

- U parois verticales (porte incluse) = 0.27 W/m²K, U sol = 0.7 W/m²K et U plafond = 0.24 W/m²K
- **Apport de chaleur = 3.06 kWh** (ou 73.6 kWh par jour), soit **5 Wh/m³**.

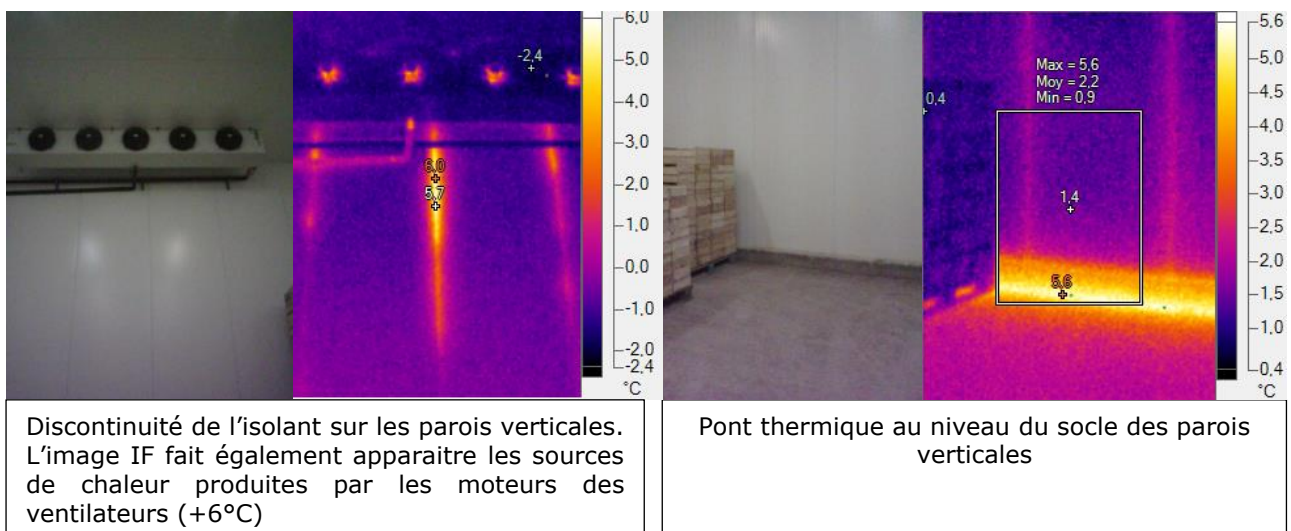
Bilan thermique de **La Pugère** :

- U parois verticales (porte incluse) = 0.29 W/m²K, U sol = 0.7 W/m²K et U plafond = 0.27 W/m²K
- **Apport de chaleur = 0.854 kWh** (ou 20.5 kWh par jour), soit **8.9 Wh/m³**.

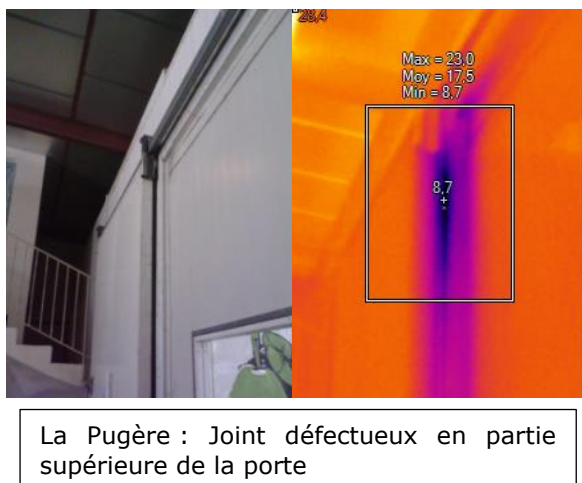
Certes, la CF de la pugère génère moins d'apport de chaleur par paroi que celle de la Perdrigone, cependant à volume égal celle-ci est plus énergivore.

L'analyse des images infrarouge (IR) font apparaître des **désordres thermiques** dans les 2 CF.

Pour la perdrigone, sur la dalle en béton, en périphérie, est apposé un socle en béton également pour maintenir les parois verticales au sol (cf. photo ci-dessous), cependant celui-ci n'est pas isolé et présente un **pont thermique** non-négligeable (15% de déperdition selon les calculs théoriques). Egalement, sur les parois elles-mêmes, la continuité de l'isolant n'est pas assurée, laissant apparaître des ponts thermiques.



Pour La Pugère, les joints d'étanchéité de la porte de la CF n'assurent plus une étanchéité parfaite. On peut distinguer **les fuites d'air froid** à l'aide de la photo IR sur le haut de la porte (cf. photo ci-dessous).



Le tableau ci-dessous montre **le gain énergétique** par rapport à différentes épaisseurs de **sur-isolation**

Epaisseur de sur-isolation	Parois verticales	Plafond	Sol	Apport de chaleur	Gain %
+ 5 cm	15 cm -> U=0.19 W/m²K	17 cm -> U=0.17 W/m²K	-	2.57	16
+ 10 cm	20 cm -> U=0.14 W/m²K	22 cm -> U=0.13 W/m²K	-	2.09	27

Recommandations générales :

Il est fortement conseillé d'effectuer des travaux de sur-isolation par l'extérieur afin de ne pas dénaturer le traitement des parois internes ainsi que la diminution de l'espace de stockage.

Il n'est pas nécessaire d'utiliser le même type de matériau que celui déjà utilisé dans la paroi d'origine. Il faudra veiller à ce que le nouveau matériau soit protégé des influences externes comme la pluie ou les coups (dépose de palette contre la paroi ou des engins de transport).

Pour rappel, dans le cas de chambre froide positive, l'isolation du sol n'est pas indispensable dès lors que la chambre froide est posée à même le sol (terre-plein).

Au-delà des gains énergétiques possibles il faudra prendre en compte le coût d'investissement des travaux. La **valeur du gain n'est pas proportionnel à l'épaisseur de l'isolant**, c'est-à-dire que doubler l'épaisseur d'isolant ne double pas les gains ! Donc au-delà d'une certaine épaisseur les gains engendrés par la sur-isolation sont nettement inférieurs au coût d'installation et donc rend le temps de retour sur l'investissement trop important et non rentable.

APPORT DE CHALEUR PAR LES PRODUITS ENTRANTS

Les deux exploitations ont déjà adopté les préconisations de base, c'est-à-dire stocker la récolte à l'abri du soleil et ce pendant toute une nuit pour ramener la température des denrées à la température ambiante (environ 20°C). Pour la Perdrigone l'exploitant a pris l'option de pré-refroidir les poires dans la petite chambre froide à 2°C.

Note : N'ayant pas reçu un listing détaillé des produits stokés journalièrement, les calculs sur les apports de chaleur sont basés sur des données d'études précédentes et le résultat d'enquête du diagnostiqueur.

Bilan pour **La Perdrigone** :

- Quantité introduite par jour (estimation basée sur les données de Bio de Provence en juillet 2013) : 5 200 kg de poire
- Température d'introduction : 2°C (prérefroidissement petite chambre froide)
- Température de consigne de stockage : - 1°C
- Apport de chaleur = **7.8 kWh/j**, soit **1.5 kWh/tonne/jour** (attention ! valeur tronquée par le refroidissement des produits par une autre chambre froide).

Bilan pour **La Pugère** :

- Quantité introduite par jour (estimation basée sur les données de Bio de Provence en juillet 2013) : 7 000 kg de poire / pomme / prune
- Température d'introduction : environ 23°C (température hangar)
- Température de consigne de stockage : 2°C
- Apport de chaleur = **55.2 kWh/j**, soit **7.9 kWh/tonne/jour**.

Le tableau ci-dessous montre le gain/perte énergétique par rapport à différentes températures d'introduction des poires (**par tonne**):

Température d'introduction	Tonne/24h	% (hangar)
2 °C (pré-refroidissement)	1.5 kWh	- %
20 °C	6.2 kWh	0 %

(hangar)		
35°C (récolte extérieur)	11.3 kWh	+ 45 %

Recommandations générales :

La température d'introduction des fruits joue fortement sur la consommation globale de la chambre froide.

Le fait de **préstocker les fruits la nuit** dans le hangar pour diminuer la température interne du fruit de 35 °C (si récolté en plein jour d'été) à 20 °C, diminue de **45 %** la consommation due aux apports des fruits entrants. Par conséquent plus la température d'introduction est faible, moins le groupe froid aura à « travailler » et donc consommer de l'énergie pour rafraîchir les fruits.

Cependant pré-refroidir les fruits dans une autre chambre froide n'apporte pas un gain d'énergie et au contraire la manutention impliquée pour le transfert des fruits d'une chambre froide à l'autre augmente les apports de chaleur par l'ouverture des portes.

APPORT DE CHALEUR PAR L'OUVERTURE DES PORTES (RENOUVELLEMENT D'AIR)

Les deux exploitations ont déjà adopté les préconisations de base, c'est-à-dire stocker l'ensemble de la récolte dans le hangar (à l'abri du soleil) et une fois à température ambiante, les rentrer en essayant de **minimiser le temps d'ouverture des portes**.

Bilan pour **La Perdrigone** (par le calcul):

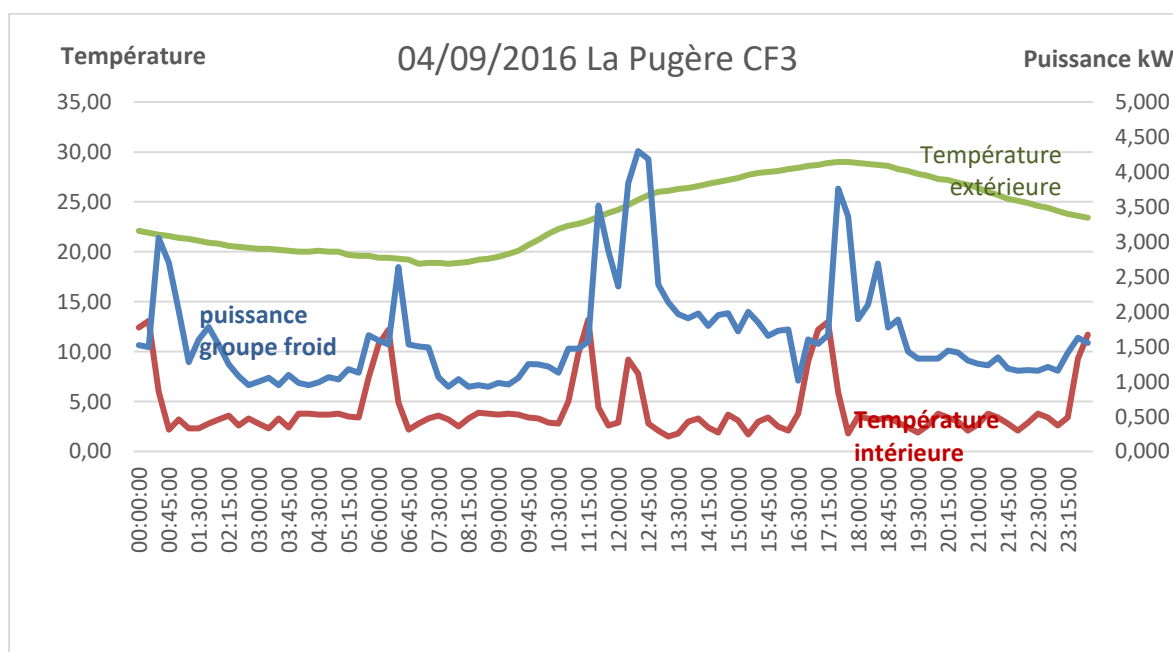
- Nombre d'ouverture de porte moyenne: 3 fois par jour (hypothèse)
- Temps d'ouverture de porte moyen : 21 minutes (hypothèse)
- Taux de renouvellement d'air : **3.1 volume / jour**
- Apport de chaleur = **18.6 kWh/j**, soit **6.2 kWh** par ouverture de porte sur 21 minutes.

Bilan pour **La Pugère** (par l'analyse des données cf. ci-dessous):

- Nombre d'ouverture de porte : 2 fois
- Temps d'ouverture de porte moyen : 2 heures et 1 heure
- Taux de renouvellement d'air : **15.1 volume / jour**
- Apport de chaleur = **30.1 kWh/j**, soit **15 kWh** par ouverture de porte sur 90 minutes.

Ci-dessous, **l'analyse des courbes de température et de consommation électrique du groupe froid** de la CF3 de **La Pugère** :

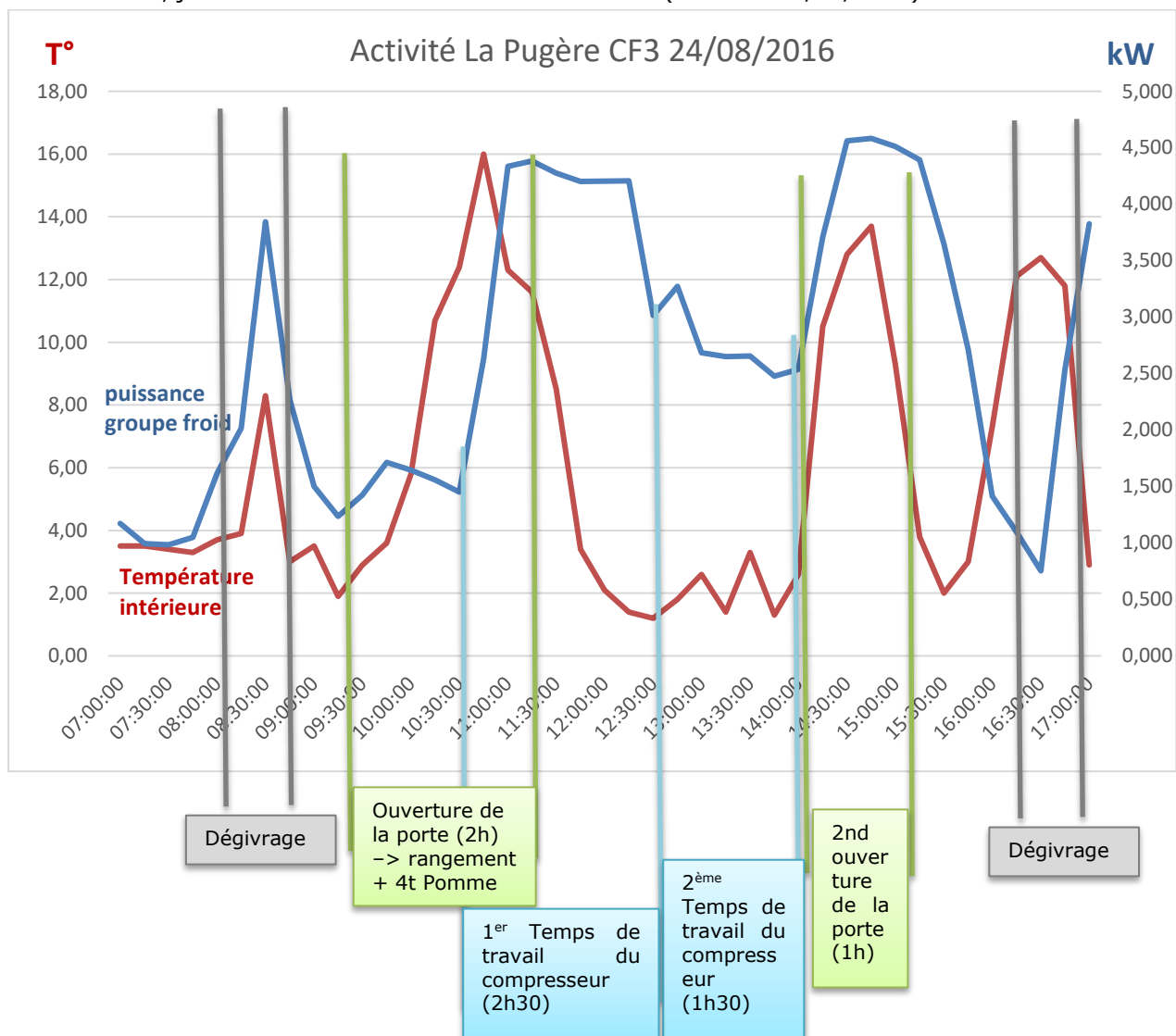
Sur le premier schéma, journée sans activité humaine dans la CF (Dimanche 04/09/2016) :



On constate les quatre périodes de dégivrage (pics sur les courbes) qui sont espacées toutes les 6 heures.

Le compresseur doit également fournir plus d'effort pour compenser les apports de chaleur dues à l'augmentation de la température extérieure entre 10 et 22 heures, sachant que la température intérieure ne varie pratiquement pas (hors dégivrage).

Sur ce schéma, journée avec une **forte activité humaine** (Mercredi 24/08/2016) :



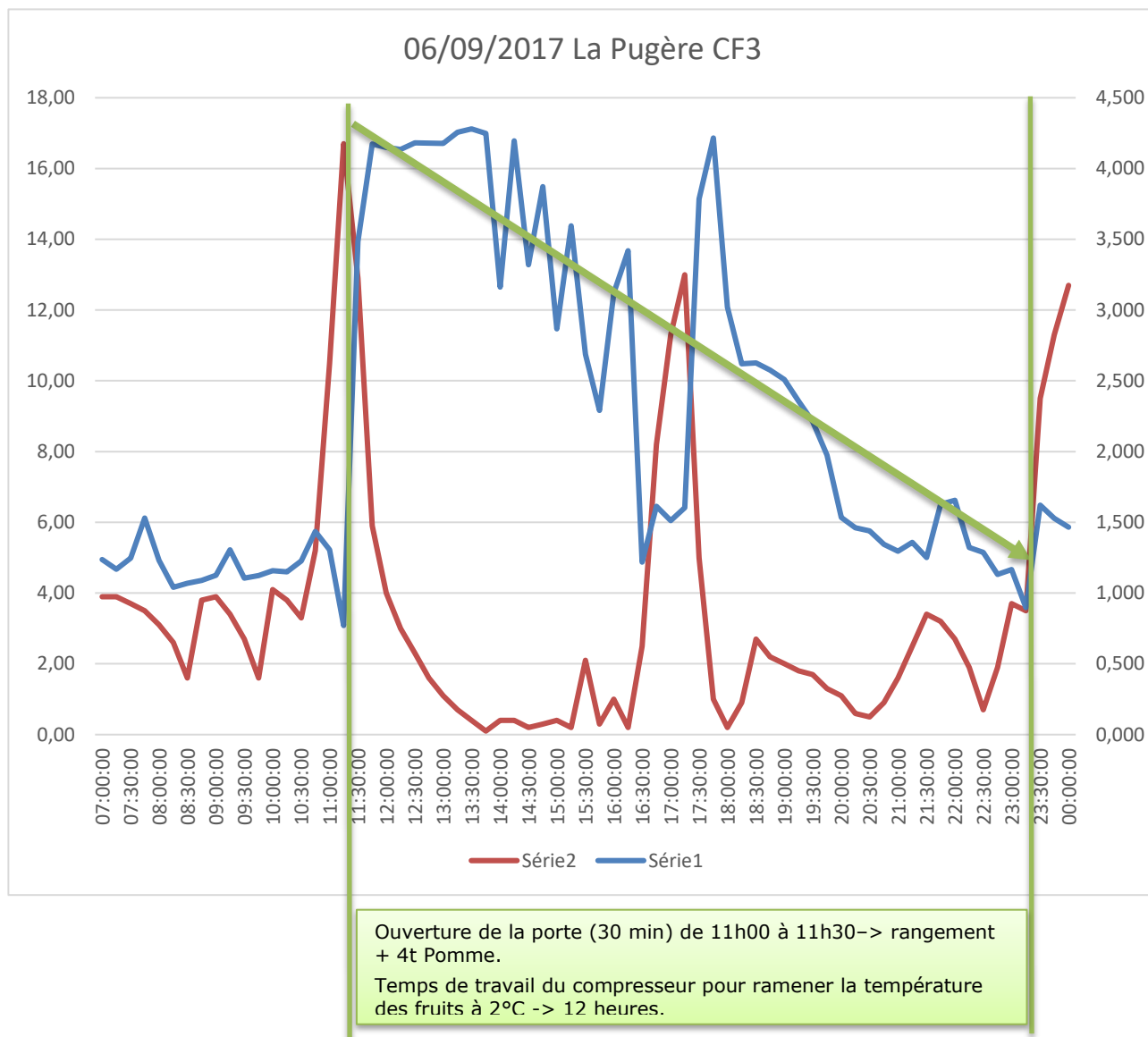
Constat :

- La première ouverture de porte de 9h30 à 11h30, soit 2 heures où l'exploitant a effectué du rangement ainsi que l'introduction de 4 tonnes de pomme, a engendré une forte augmentation de la température intérieure de 2°C (T° de consigne) à **un pic de 16°C**.
- Le compresseur, dans un premier temps a « travaillé » à pleine puissance pour redescendre la température intérieure de la CF à la température de consigne, soit plus de 2h30.
- Dans un deuxième temps, le groupe froid a continué de fonctionner pour maintenir la CF à température tout en refroidissant les 4 tonnes de pomme d'une température de **25°C à 2 °C**.
- La deuxième ouverture de porte de 14h30 à 15h30, soit 1 heure où l'exploitant a retiré 5 tonnes de pommes et prunes, a engendré également une hausse de température. Cependant le groupe froid n'a pas eu à fonctionner dans un 2nd temps pour refroidir de nouveaux produits.

Résultat :

La première ouverture de la porte, d'une durée de 2 heures, a engendré une surconsommation du groupe froid de **19.8 kWh** (hors refroidissement des produits), soit **23 %** de la consommation totale journalière. La deuxième ouverture (plus courte, 1 heure) a engendré **10.3 kWh** de sur-consommation.

Ci-dessous, un autre exemple d'augmentation de la consommation du groupe froid due à **l'introduction de 4 tonnes de pomme** à température ambiante. Le refroidissement complet des fruits s'effectue sur une durée de 12 heures.



CONCLUSION

Le monitoring de ces 2 chambres froides a présenté des instructions et des résultats intéressants bien qu'incomplet sur certains points par le manque de relevé de « faits marquants » par les exploitants. Cependant le croisement de données avec des analyses antérieures effectuées notamment sur La Perdigone, associé aux calculs et simulations théoriques, permet de décrire les effets de chaque action apportée au fonctionnement de la chambre froide.

Dans l'ensemble les 2 chambres froides sont en bon état et de niveau de performance correcte. Effectivement quelques points d'amélioration sont à prévoir comme le renouvellement des joints de porte, l'isolation du socle des parois verticales (La Perdigone), l'asservissement des ventilateurs de l'évaporateur aux dégivrages (La Pugère). On a constaté, des défauts de continuité d'isolant sur les parois verticales de La Perdigone, où l'exploitant pourrait considérer ajouter une « seconde peau » isolante par l'extérieur. Cependant une étude plus approfondie est nécessaire pour mieux quantifier les apports créés par ces ponts thermiques et déterminer le coût réel d'investissement et de retour financier.