



Agir pour la transition énergétique
et climatique de l'agriculture



RAPPORT D'ANALYSE DE SUIVI DE CHAMBRES FROIDES PERFORMANTES



Table des matières

| | |
|--|----------|
| Table des matières | 2 |
| 1. Préambule | 3 |
| 2. Objectifs | 4 |
| 3. Méthodologie | 5 |
| Suivi thermique | 5 |
| Suivi des consommations électriques | 6 |
| Suivi comportemental | 6 |
| 4. Descriptif des exploitations monitorées | 7 |
| Ferme de la Durette. | 7 |
| Exploitation Bilocq (Domaine Saint-André). | 10 |
| 5. Analyse des suivis de température et de consommation électrique | 12 |
| Lecture des températures des chambres froides. | 12 |
| Consommation des chambres froides. | 15 |
| Conseils pour une meilleure performance des chambres froides : | 29 |

1. Préambule

Dans le cadre des programmes AGIR et AGIR+ initiés 2008 et 2012 par le conseil régional de la Région Provence-Alpes-Côte d'Azur, plusieurs exploitations maraichères et arboricoles ont amélioré ou construit des chambres froides performantes. Cela passe notamment par la surisolation des parois ainsi que l'installation de groupes frigorifiques récents et plus performants. D'autres actions ont été mises en place (interrupteur lumineux, rideaux, joints hermétiques...). Sur les 3 exploitations identifiées lors du retour d'expérience sur les programmes AGIR, deux (La Perdigone et La Pugère) avaient déjà faits l'objet d'un suivi thermique en 2017 ([Annexe ... IRAEE_Monitoring_chambre_froide_rapport GERES_janv2017](#)). L'autre exploitation identifiée est celle de l'arboriculteur Philippe Bilocq. Suite au diagnostic AGIR ([annexe ... Diagnostic AGIR exploitation P Bilocq](#)), l'une des améliorations envisagées était de fermer et isoler son hangar pour y permettre différents usages, comme la mise en place de deux chambres froides performantes construites en éco matériaux (une pour les poires, une pour les pommes) afin de diminuer sa consommation d'électricité, d'installer une petite calibreuse et d'un transpalette électrique pour améliorer les conditions de travail, de construire un bureau, deux chambres pour les salariés saisonniers, un local pour le déjeuner des salariés, des sanitaires équipés d'un chauffe-eau solaire et de toilettes sèches pour ses ouvriers.

Également, le Geres a accompagné la mise en place des quatre chambres froides éco-construites de la Durette en 2020. La ferme de la Durette, une ferme pilote, est gérée par 3 associés, en agroforesterie avec des légumes intercalés d'arbres fruitiers sur 4ha et située dans le Vaucluse, à Avignon. Sur la base de ce qui avait été réalisé pour trois exploitations d'AGIR/AGIR + sur la mise en place de chambres froides, le Geres a participé à l'élaboration du dimensionnement et de **la réalisation de chambres froides éco-construites** (calcul thermique, type et

nombre de chambre froide, dimensionnement des besoins de conservation...) pour plus de 40 espèces différentes de fruits et de légumes (cf. [annexe](#)). Suite à la livraison des chambres froides début 2022 et de l'évènement de lancement des chambres froides organisé par le Grab le 16 juin 2022 (cf. [Annexe ...](#)), le Geres a mis en place un **suivi thermique et énergétique court** sur la période estivale de 2022 afin d'évaluer la performance de ces chambres froides au plus chaud de la saison. Cette étude s'est inscrite et a été financée dans le cadre du **programme IRAEE – phase 5**.

L'axe 6 de ce projet porte entre autres sur la mesure des économies d'énergies générées par des chambres froides performantes. Il s'agit de réaliser le suivi des performances thermiques ainsi que des enquêtes sur l'usage de la chambre froide, et d'estimer la reproductibilité des actions mises en place sur d'autres exploitations agricoles. Le Geres propose de réaliser un complément d'enquête sur les utilisations et les préconisations (avantages/inconvénients de chaque solution). Les résultats de cette étude et le protocole de suivi sont consignés dans ce rapport d'étude. Une fiche de synthèse est également éditée au format fiche action-résultat Optigede.

2.Objectifs

Objectifs généraux :

- De limiter les dépenses énergétiques liées à la conservation de fruits et légumes en chambre froide,
- D'évaluer les économies d'énergie générées par les chambres froides performantes par la mise en place d'un suivi thermique et énergétique sur deux exploitations exemplaires,
- De susciter le passage à l'acte en proposant des conseils de conception, d'utilisation et d'usage

Objectifs quantitatifs

- Monitoring de petites et grandes tailles de chambre froide et analyse quantitative des données thermiques, hygrométriques et énergétiques.
- Comparatif des consommations de chambres froides performantes vis-à-vis des chambres froides classiques.

Objectifs qualitatifs :

- Enquête des faits marquants et identification des comportements des usagers de chambres froides (choix de conservation, activité humaine...),

3.Méthodologie

Suivi thermique

Les fermes sont suivies par des thermomètres / hygromètres à télérelève (Wifi). Les données sont collectées à l'instant permettant au diagnostiqueur de suivre pratiquement en temps réel les performances / incohérences des chambres froides. Un système d'alarme est par ailleurs installé pour prévenir le diagnostiqueur d'une température ou taux d'humidité inattendu.

Cinq unités sont généralement utilisées :

- Un thermomètre / hygromètre par chambre froide pour relever les températures et humidités relatives à l'intérieur des chambres,
- Un thermomètre / hygromètre dans le hangar proche des chambres froides pour relever les températures / humidités dans le local ambiant,
- Un thermomètre dans un local (ou chambre froide non-utilisée),
- Un thermomètre / hygromètre à l'extérieur à distance du hangar, généralement sous un arbre / local non chauffé et à l'ombre.

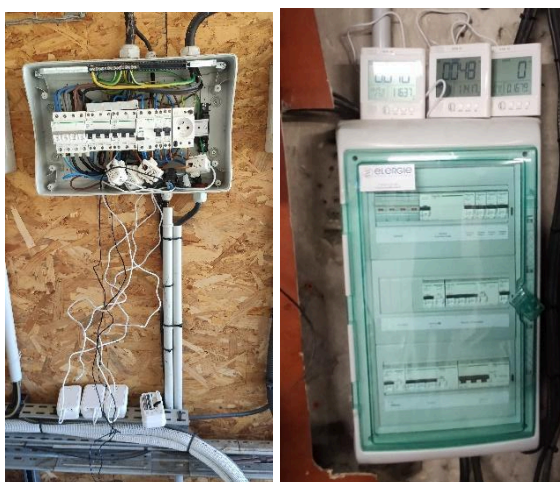
Ces unités sont de marque TESTO et type Saveris H1 et T3.

Testo SAVERIS type H1
(thermomètre/hygromètre)
avec télérelevé.



Suivi des consommations électriques

Les groupes froids sont reliés au tableau électrique de façon indépendante. Leur puissance modérée leur permet d'être alimentés en monophasé (La durette) et triphasé (Bilocoq). Le groupe est constitué de l'unité extérieure, du contrôleur et des unités intérieures (évaporateur, dégivreur, ventilateur...) et permet de suivre les consommations distinctement par chambre.



Le matériel utilisé est un **wattmètre enregistreur** dont les données sont collectées par prise USB sur place. La collecte s'effectue en deux périodes, une période test de 2 semaines et en fin de suivi (2 mois).

Ces enregistreurs sont de type OWL 160 USB dont un anneau ampèremétrique est placé sur phase dans le tableau électrique.

Wattmètre enregistreur de type OWL 160 (mono et triphasé)

Suivi comportemental

Pour identifier le comportement des chambres froides (température, humidité et consommation électrique), un fichier de relève des faits marquants est nécessaire (fiche de relevé papier, SMS, photo... rempli et envoyé par l'exploitant). Ceci permet de détecter les faits importants (temps d'ouverture prolongé, grande quantité stockée / déstockée, nettoyage...) et leurs impacts.

4. Descriptif des exploitations monitorées

Ferme de la Durette.

- Localisation : La ferme de la Durette se trouve au 1790, route de Marseille à Montfavet (Avignon) et jouxte les bureaux du GRAB
- Nombre de chambres froides et volume : 4 chambres froides, une grande de 45 m³ et 3 petites de 25 m³
- Surface hangar : 12 m x 15 m, soit 180 m² au sol et 1 450 m³ de volume. Le sol du hangar est en terre à l'exception de l'atelier et des chambres froides (chape béton de 20 cm)
- Structure hangar :
 - Parois verticales en mur /moellon d'épaisseur 50 cm (forte inertie)
 - Toiture sur charpente bois avec couverture en tuiles romanes rénovée (pas d'isolation en sous-face (diminution des apports de chaleurs estivales due à la hauteur conséquente au faîtage supérieure à 9 m).
 - Grande ouverture (unique) en paroi sud avec portes battantes métalliques non isolées. La partie haute est en simple vitrage.
 - Hauteur utile (sous pane) 8 mètres. Pas d'ouverture en façade nord, bien protégée des vents dominants

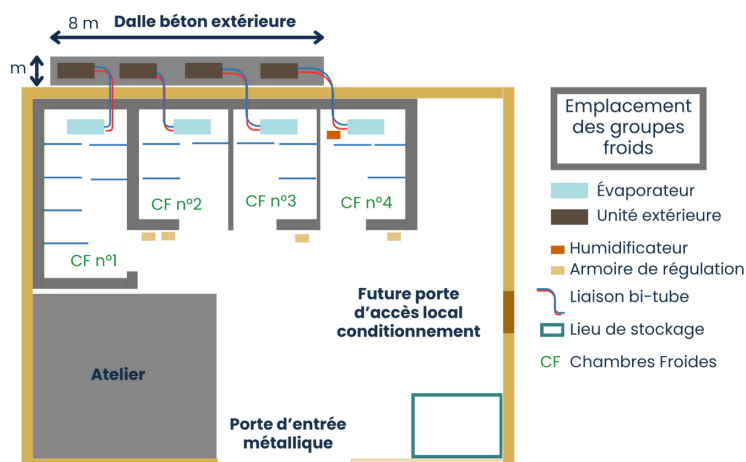
- Structure chambre froide :
 - Paroi externe : Parement OSB de 15mm (λ 0.13 W/mK) avec remplissage d'isolant balle de riz (λ 0.045 W/mK) d'une épaisseur de 220mm
 - Note : traitement du tassement de l'isolant avec une couche de laine de riz compressée sur 100mm en partie supérieure.
 - Paroi de séparation entre chambre froide. Parement OSB de 15mm avec laine de riz 60mm. Les températures sont proches entre ces chambres froides (fonctionnement annuel) et ne justifient pas d'une isolation importante
 - Ossature en bois de Douglas
 - Pas de traitement spécifique de la face intérieure à l'exception d'une d'huile végétale (protection contre le contact avec l'eau ou matière humide). Pas de traitement spécifique de la surface extérieure.
 - Porte coulissante OSB 15mm 2 faces avec laine de riz d'une épaisseur de 160mm
 - Plancher bas : plancher isolé avec 100mm de polystyrène extrudé sous chape béton
 - Plancher haut : hauteur intérieure de 2.85 mètres en structure bois section 220mm avec coffrage OSB 30mm côté intérieur et OSB 2x30mm côté extérieur. Remplissage balle de riz 220mm. Le plancher est prévu de supporter une charge moyenne (200 kg/m²) principalement pour le stockage des caisses / palox et accroche des évaporateurs
 - Pas de traitement spécifique de la surface intérieure et extérieure



| Paroi | Matériaux | é.p.(mm.) | Rth[paroi] | Uparoi (m ² K/W) |
|-----------------------------|-------------------------------|-----------|------------|-----------------------------|
| Plancher bas | Béton machefer | 225 | 0,25 | 4,00 |
| Plancher bas isolé | Béton machefer | 225 | 3,67 | 0,27 |
| | Polystyrène expansé XPS | 100 | | |
| Plancher haut | Panneau OSB | 30 | 5,49 | 0,18 |
| | Baie de riz | 220 | | |
| | Panneau OSB | 60 | | |
| Paroi verticale + mur | Calcaire tendre + tout venant | 600 | 5,59 | 0,18 |
| | Baie de riz | 220 | | |
| | Panneau OSB | 15 | | |
| Paroi verticale côté hangar | Panneau OSB | 15 | 5,09 | 0,20 |
| | Baie de riz | 220 | | |
| | Panneau OSB | 15 | | |
| Paroi verticale cloison | Panneau OSB | 15 | 1,53 | 0,65 |
| | Baie de riz | 60 | | |
| | Panneau OSB | 15 | | |

- Groupe froid :

- Puissance 3 kW (grande chambre) et 2.3 kW (autres chambres),
- Gaz R454C GWP (global Warming Potential) de 148 contre des GWP supérieurs à 6000 actuellement utilisés



- Bilan des apports :

- Produits alimentaires entre 24 et 54 %
- Emballages, contenants, caisses de stockage moins de 2%.
- Apports de chaleur par l'éclairage, négligeable
- Activité humaine (hors ouverture des portes), négligeable
- Renouvellement d'air (ventilation / infiltration, nombre et temps d'ouverture / fermeture des portes, différence d'enthalpie entre l'air intérieur et extérieur...), entre 25 et 40%
- Appareils électriques divers (dégivrage des évaporateurs (30 minutes, 4 fois par 24 heure), entre 3 et 5 %

Exploitation Bilocq (Domaine Saint-André).

- Localisation : La ferme Saint André se trouve à La Saulce (05)
- Surface hangar : 50 m x 35 m, soit 1700 m² au sol et 8 750 m³ de volume
- Nombre de chambres froides et volume : 2 chambres froides une grande de 460 m³ et une petite de 230 m³
- Structure hangar :
 - Parois verticales en structure bois et panneau sandwich OSB / ouate de cellulose 30 cm)
 - Toiture sur charpente bois avec isolation en sous-face en panneau de polyuréthane 10 cm)
 - Deux ouvertures en façade nord et sud avec portes battantes isolées.
 - Le sol du hangar est en chape béton de 20 cm avec plancher chauffant (pompe à chaleur air-eau)
 - Hauteur utile (sous pane) 8 mètres.
 - Note : le hangar est bien isolé, de grand volume avec chauffage de consigne hivernale de 15°C (amélioration des conditions de travail pour les ouvriers)



- Structure chambre froide :
 - Paroi de séparation sur hangar : Parement OSB de 15mm (Lambda 0.13 W/mK) avec isolation d'épaisseur de 150 mm.
 - Ossature en bois de Douglas.
 - Film pare-vapeur.
 - Porte coulissante métallique isolée 10 cm Polyuréthane.
 - Plancher bas : plancher isolé avec 100mm de polystyrène extrudé sous chape béton.
 - Plancher haut : directement sous toiture avec isolation supplémentaire de 100 mm.
 - Pas de traitement spécifique de la surface intérieure et extérieure



- Groupe froid :

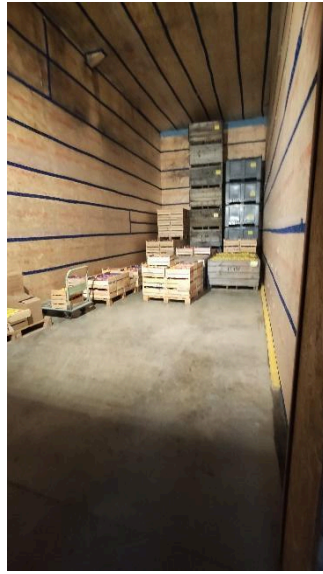
- Puissance 8,7 kW (grande chambre) et 5,3 kW (petite chambre),
- Gaz R407F GWP (global Warming Potential) de 1824.



- Bilan des apports :

- Produits alimentaires entre 35 et 60 %
- Emballages, contenants, caisses de stockage moins de 2%.
- Apports de chaleur par l'éclairage, 3%
- Activité humaine (hors ouverture des portes), négligeable
- Renouvellement d'air (ventilation / infiltration, nombre et temps d'ouverture / fermeture des portes, différence d'enthalpie entre l'air intérieur et extérieur...), entre 15 et 30%
- Appareils électriques divers (dégivrage des évaporateurs (30 minutes, 4 fois par 24 heure), entre 3 et 5 %

- Conservation et produits :
 - Petite chambre : moyenne annuelle de 30 à 50 tonnes de poire (selon les années) conservé à 0°C
 - Grande chambre froide : moyenne annuelle de 37 à 100 tonnes de pomme conservées à 3°C.
 - Période de conservation en chambre froide de septembre à mai. Transfert du contenu de la grande vers la petite chambre en avril (taille suffisante pour accommoder le reste des pommes et poires)



Pour résumer, ces 2 exploitations utilisent des **chambres froides sur-isolées**, parfaitement **étanches**, avec **peu d'équipements électriques énergivores** (group froid récent, éclairage LED à détection) et surtout un **comportement économe** (ouverture au minimum, arrêt des chambres non utilisées ou transfert des produits d'une chambre vers une autre...).

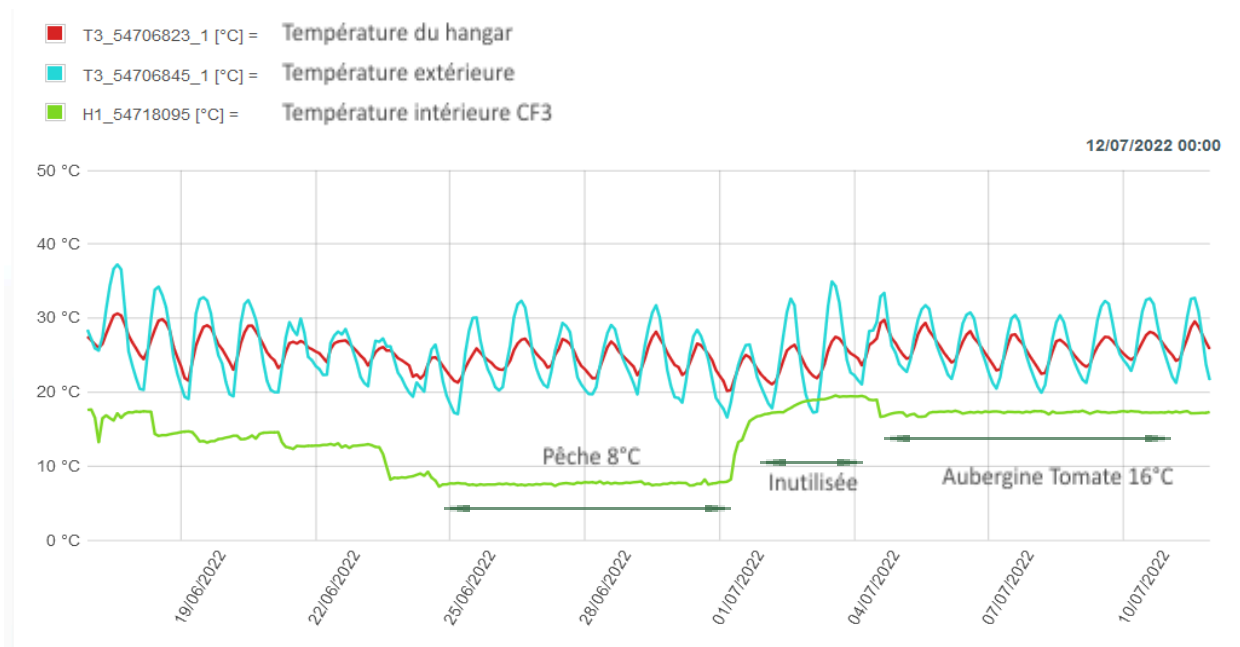
5. Analyse des suivis de température et de consommation électrique

Lecture des températures des chambres froides.

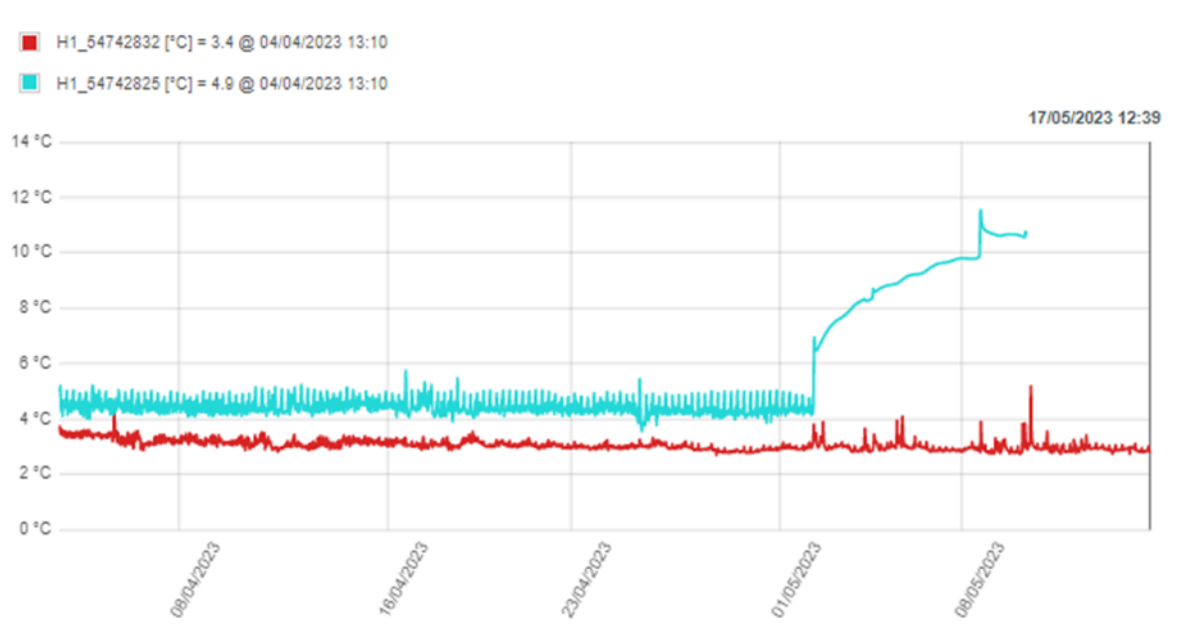
La Durette, contrairement au domaine Saint-André, conserve sur de courtes durées les différents produits selon leur récolte et à différentes consignes de température. Les chambres sont plus petites et permettent ainsi de modifier ces consignes plus facilement.

Par exemple pour la **chambre froide n°3** de la Durette, le relevé de faits marquants coïncide aux différentes températures enregistrées sur cette même période.

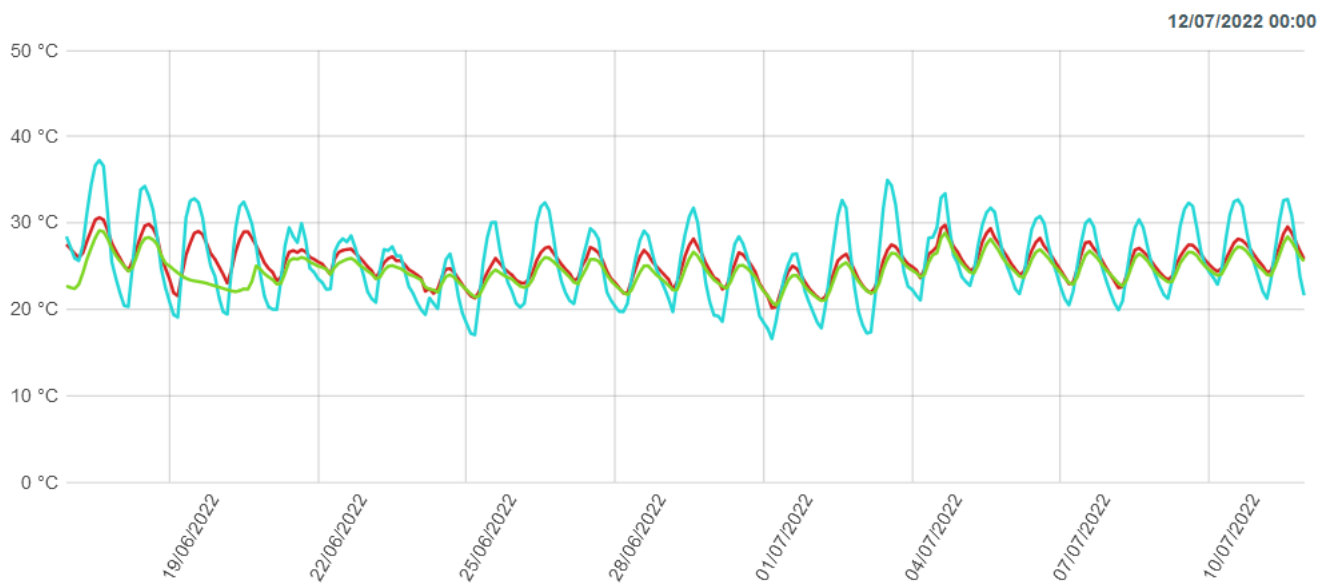
| Semaine | Température | Produits |
|------------|---------------|---|
| 17 - 19/06 | entre 8 et 16 | fonction de la quantité de fruits et avancement de maturité |
| 20 - 26/06 | 8 | pêche |
| 27 - 03/07 | 8 | pêche |
| 04 - 10/07 | 16 | Aubergine + tomate |
| 11 - 17/07 | 16 | Aubergine + tomate |



Au domaine Saint-André, seules 2 consignes ont été programmées, 3°C pour la petite chambre (courbe rouge) sur la durée du monitoring et 4,5°C pour la grande chambre (courbe bleue) jusqu'à l'arrêt de celle-ci au 10 mai (transfert des produits dans l'autre chambre froide).



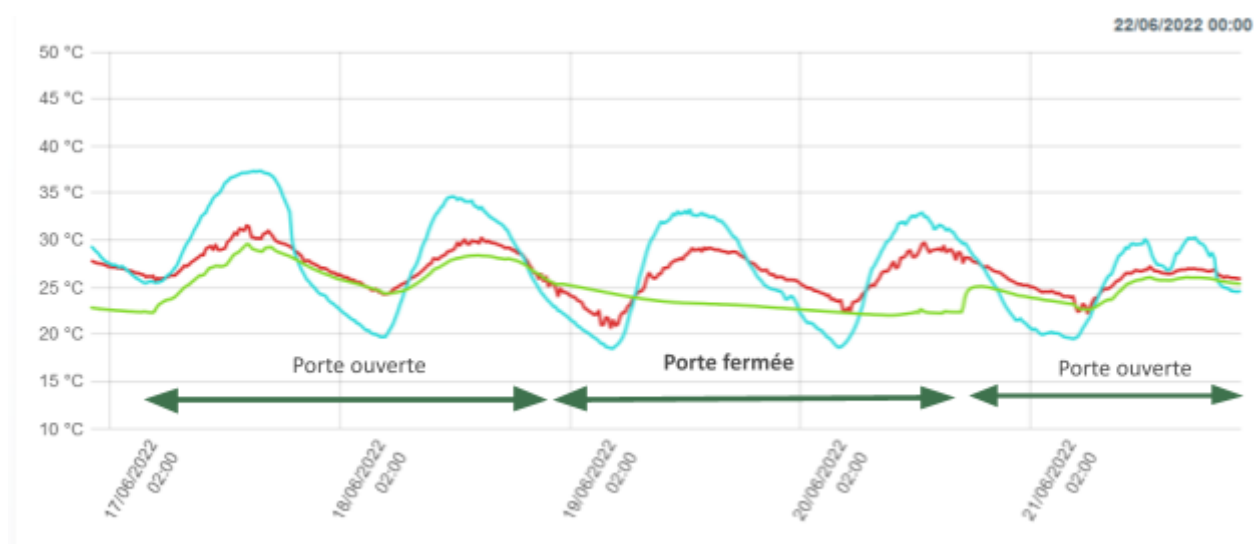
Lorsqu'une chambre n'est pas en fonctionnement et que sa porte reste ouverte, la température (courbe verte) suit à l'identique les variations de celle du hangar (rouge) et de l'extérieur (bleu).



Constat sur l'isolation des chambres froides :

L'isolation des parois d'une chambre froide joue un important rôle sur l'atténuation des apports de chaleur par paroi. A fortiori, rajouter une bonne étanchéité permettra de quasiment éliminer les fluctuations de température venant de l'extérieur.

L'exemple à la Durette en est une bonne illustration. Les 4 chambres sont mitoyennes et la **chambre froide n°2** est doublement mitoyenne. Celle-ci n'a pas été utilisée pendant une période et est restée ouverte (stockage de matériel) à l'exception du 19 et une partie du 20 juin. La courbe verte ne suit plus la tendance



des variations de température extérieure et du hangar qui oscillent respectivement de 18 à 35°C et de 23 à 28°C, celle-ci se stabilise aux environs de 23°C.

L'augmentation de la température extérieure, la journée, n'a plus d'influence à l'intérieur de la chambre, **signe que l'épaisseur de l'isolation des parois est suffisante** (parement OSB de 15mm sur les 2 faces avec remplissage balle de riz 220mm). En parallèle on constate une légère diminution de la température pendant ces deux jours qui signifie **un échange de froid des chambres voisines** (1 et 3). Les parois de séparation entre ces chambres froides sont isolées mais à une moindre épaisseur (60mm).

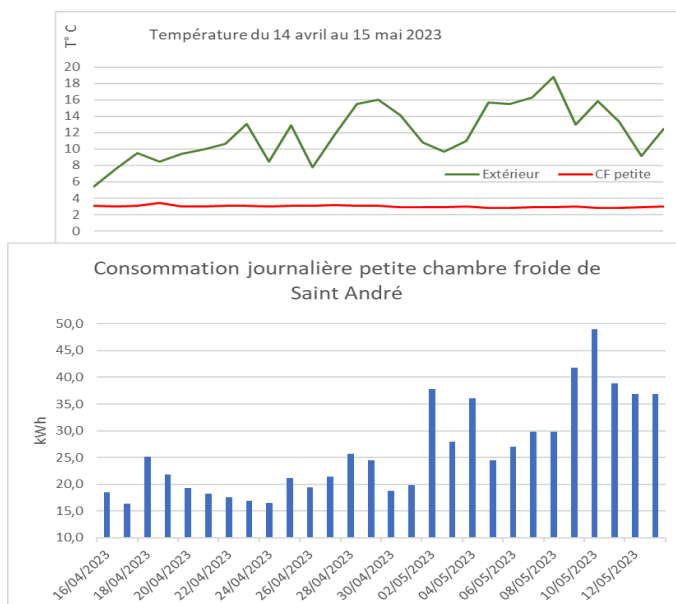
CONSEIL : Si les chambres froides ne sont pas utilisées, il est judicieux de **laisser fermées les portes** afin de ne pas réchauffer les parois mitoyennes aux autres chambres ou bien **augmenter l'épaisseur d'isolation** des parois de séparation.

Consommation des chambres froides.

Consommation à température constante avec effet d'augmentation de la température extérieure :

L'augmentation de la température extérieure se rapprochant de la période estivale va indéniablement apporter des apports de chaleur aux chambres froides. Cela va se traduire par une plus forte demande de rafraîchissement des groupes froids et ainsi augmenter leur consommation électrique.

On constate sur l'exploitation de M. Bilocq que la courbe moyenne de la température extérieure journalière (courbe verte) montre l'influence de celle-ci sur le niveau de la consommation électrique (graphe bleu) de la petite chambre froide. Bien entendu d'autres variables ne sont pas prises en compte comme la quantité de produit stocké / déstocké, même si la tendance à cette période est au déstockage des pommes et poires. La consommation électrique ne cesse d'augmenter sur cette période avec les premières journées de chaleur du printemps.



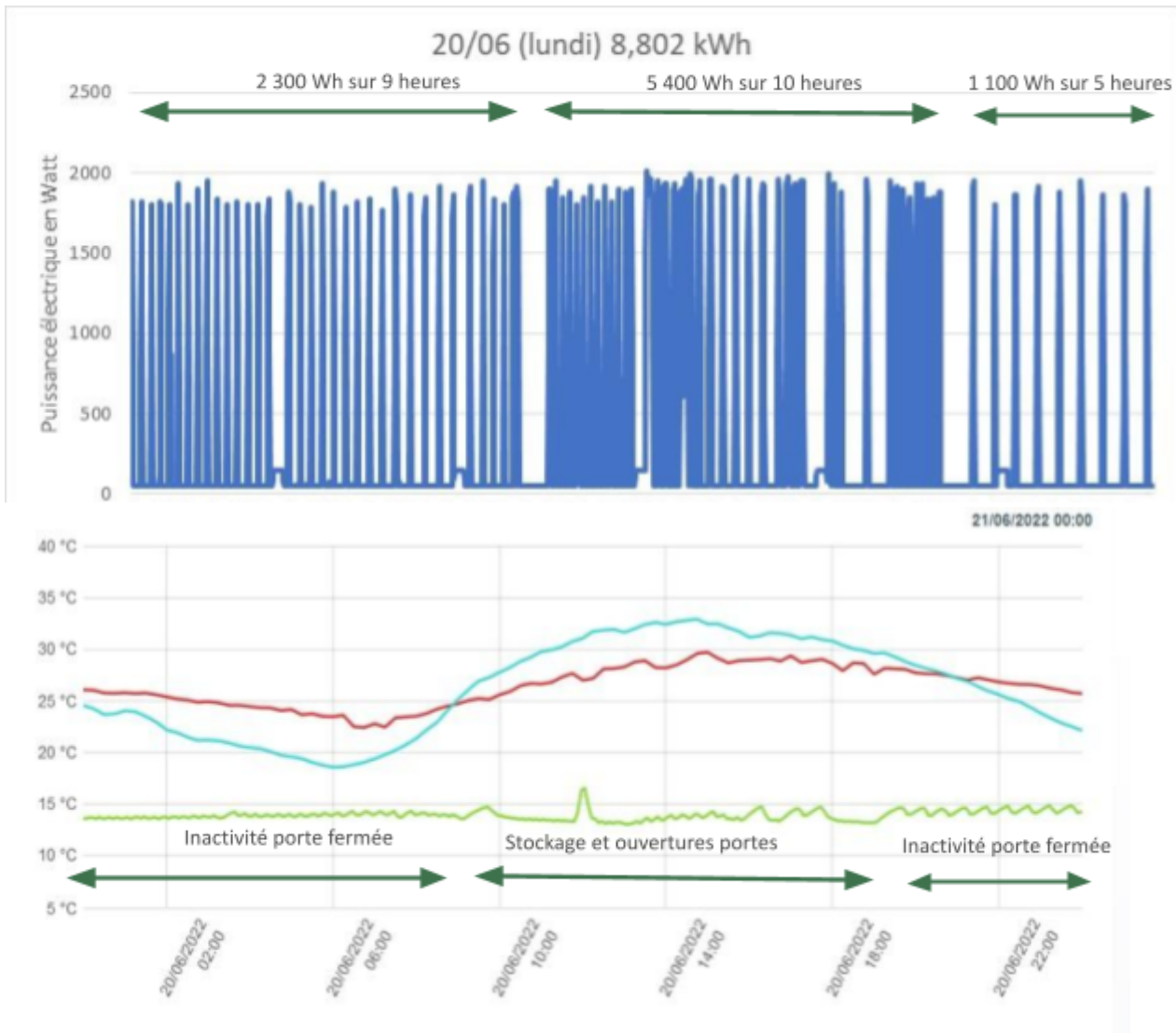
CONSEIL : Avoir un hangar bien isolé ou à forte inertie permet d'atténuer les augmentations de température venant de l'extérieur en période chaude. En supplément, une **hyperventilation nocturne** du hangar permettra d'évacuer la chaleur accumulée la journée en veillant à garder celui-ci fermé entre 10 et 16 heures.

Consommation à température constante avec effet de stockage et activité humaine :

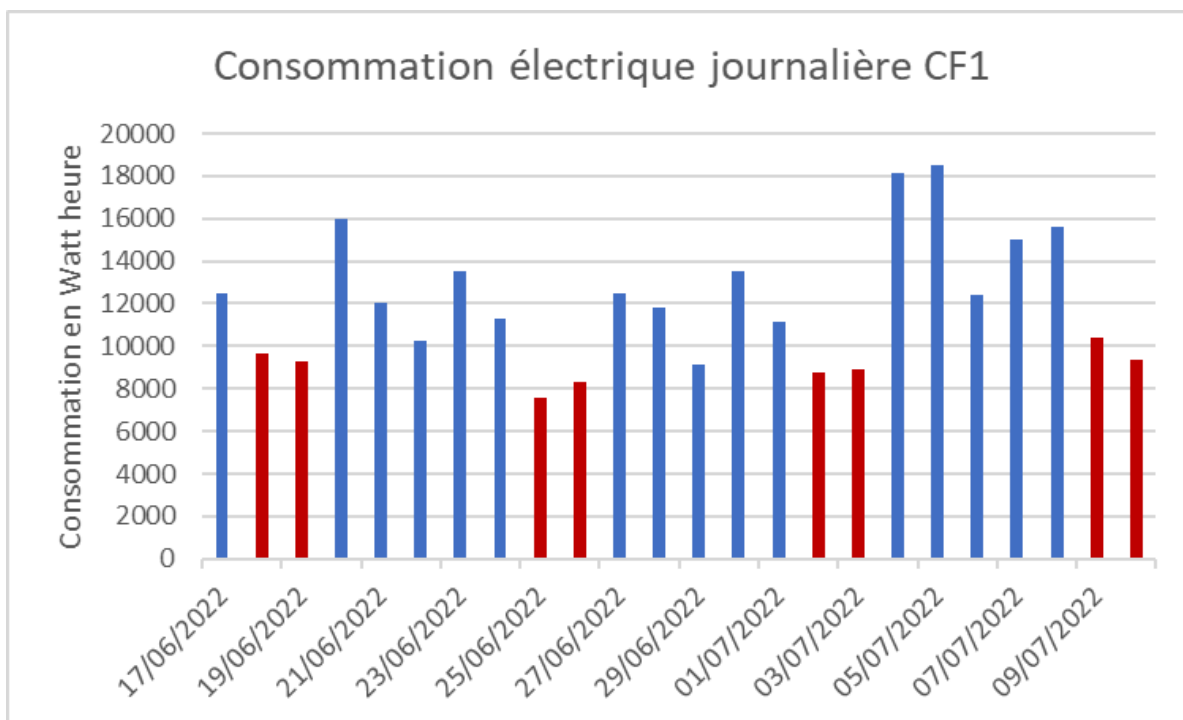
L'apport de chaleur dû à l'introduction de produits dans la chambre froide dont la température est supérieure à celle du stockage va générer une demande de rafraîchissement accrue du groupe froid. À cela s'ajoute le fait que l'ouverture de la porte pendant une période longue (supérieure à 1 minute pour une petite chambre froide et 3 minutes pour une grande chambre) va nécessiter de refroidir l'air chaud introduit. À noter qu'une ouverture de 5 minutes suffit à réchauffer entièrement l'air intérieur d'une petite chambre. Fort heureusement, la capacité thermique de l'air étant plusieurs centaines de fois moins importante que celle des produits stockés (proche de celle de l'eau), cet air est vite refroidi. Cependant une certaine quantité d'énergie sera nécessaire.

Pour exemple, la chambre froide de La Durette, un lundi 20 juin, à partir de 9h était utilisée pour le stockage de fruits à une température moyenne de 14°C. Le maintien en température sans activité humaine et sans source extérieure d'ensoleillement (de 0 à 8h) demande au groupe froid une consommation électrique de 2,3 kWh soit un régime constant de **0.26 kWh par heure**.

Entre 9 et 19h, le stockage de fruits supplémentaires (quantité inconnue), d'ouverture de porte (temps d'ouverture inconnu), d'activité humaine à l'intérieure de la chambre (temps d'activité inconnu) et l'augmentation de la température du hangar, ont engendré une consommation de 5.4 kWh soit environ **3 kWh de plus** sur une même durée de temps (soit **0.54 kWh par heure**). On en déduit qu'à une température intérieure modérée (15°C), le stockage et l'activité humaine importante (10 heures) **augmentent par 2 la consommation d'énergie**. Cependant les valeurs manquantes (quantité et type de fruit additionnelle, durée d'ouverture de la porte etc...) ne permettent pas d'indiquer laquelle a plus ou moins d'influence.



A contrario lorsque l'on élimine les paramètres d'activité humaine et de quantité supplémentaire de stockage / déstockage, on peut mieux estimer leur effet. Par exemple l'utilisation de la chambre froide n°1 de la durette est principalement pour le stockage des produits pour les paniers de l'AMAP. On constate sur le graphe ci-dessous que les week-end (en rouge) montrent une consommation plus faible du fait de l'inactivité humaine (pas de produit supplémentaire stocké, pas d'ouverture de porte...) avec une moyenne de **9 kWh / 24h**. Les jours de semaine la consommation augmente de **30 %** les 2 premières semaines et **50%** la dernière semaine du fait d'un stockage supplémentaire de 200 kg de melons.



| Température d'introduction | Tonne/24h | % (hangar) |
|--------------------------------------|-----------------|---------------|
| 2 °C (pré-refroidissement) | 1.5 kWh | - % |
| 20 °C (hangar) | 6.2 kWh | 0 % |
| 35 °C (récolte extérieur) | 11.3 kWh | + 45 % |

Pour information : extrait étude rapport Geres – IRA2E suivi de chambres froides 2017

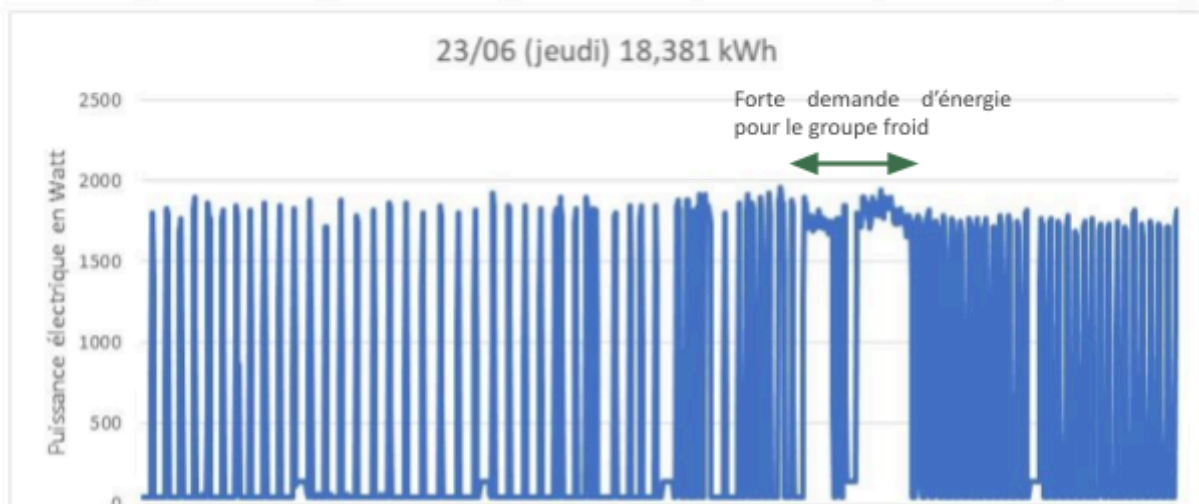
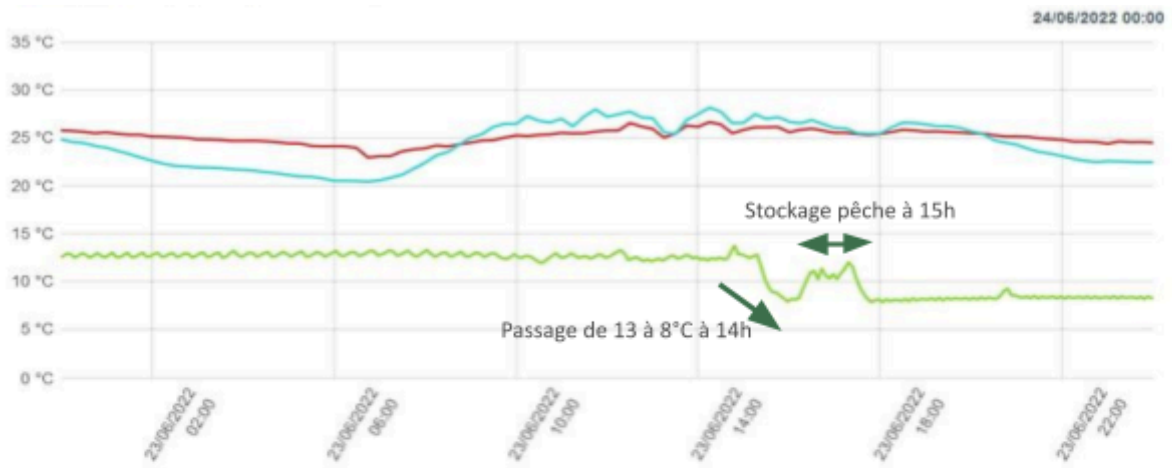
CONSEIL : Il est préférable de **diminuer la température des fruits et légumes** récoltés en plein été (température moyenne du produit à 28°C) en les laissant se **rafraîchir naturellement la nuit** dans le hangar pour ensuite les stocker dans les chambres le matin suivant.

Demande énergétique pour une baisse de consigne de température :

Dans les chambres avec multiples produits de conservation où les besoins en température diffèrent, cela engendre une consommation électrique temporaire plus ou moins importante selon la demande.

C'est le cas de la Durette où, par exemple, le stockage des pêches, un 23 juin, a nécessité une baisse de 5°C de température (de 13 à 8°C). Vers 14h, la consigne de 8°C a été enclenchée et le stockage des pêches s'est effectué vers 15h00. Le rafraîchissement des pêches (quantité inconnue) a eu pour effet de faire remonter la température pendant deux heures. Sur cette période (3 heures) le compresseur du groupe froid a fonctionné quasiment sans arrêt et a consommé **4.2 kWh** (soit **1.4 kWh par heure**). La demande en énergie au préalable du changement de température (13°C) avoisinait **0.37 kWh par heure**. Par la suite, le maintien de la température à 8°C est plus énergivore avec une consommation de **0.6 kWh par heure** jusqu'à ce que toute la masse inertielle soit à température (environ 24 heures selon la quantité introduite).

La baisse de température de 13 à 8°C couplée avec un stockage de fruits supplémentaires peut demander jusqu'à **4 fois plus d'énergie** le temps que la température interne des produits s'équilibre à la nouvelle consigne de température.



Consommation globale sur une période :

Dans le cadre du projet de l'IRA2E, le suivi des chambres froides performantes s'est effectué sur une période limitée, La Durette (été 2022) et Saint-André (printemps 2023). Le suivi est donc partiel et ne peut engager une consommation annuelle réelle sauf à en estimer les données manquantes.

La Durette :

Chambre froide n°1 : La consommation totale de la chambre pendant le suivi approfondi (24 jours) est de **285 kWh** et jusqu'à fin novembre de **1420 kWh** sachant que la chambre est toujours utilisée en fin novembre (150 jours) avec une moyenne de température de conservation de 10°C. Cela représente une consommation de **9.4 kWh/jour**.

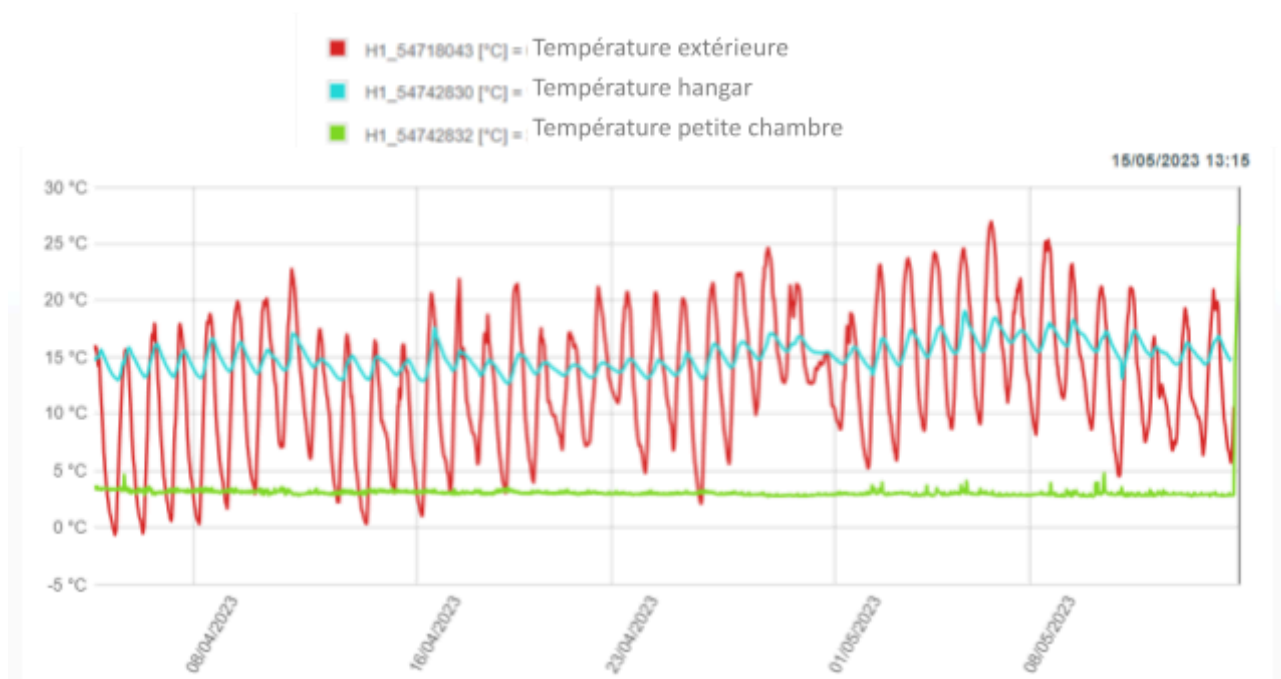


Chambre froide n°3 : La consommation totale de la chambre pendant le suivi approfondi (24 jours) est de **203 kWh** et à fin novembre de **592 kWh** sachant que la chambre n'a pas été utilisée de début septembre jusqu'à fin octobre (50 jours)

avec une moyenne de température de conservation de 14.9 °C. Cela représente une consommation de **5.9 kWh/jour**.

Saint-André :

Petite chambre froide : La consommation totale de la chambre pendant le suivi approfondi printanier (42 jours) est de **969 kWh** sachant que la chambre était toujours en cours d'utilisation jusqu'à fin mai 2023 avec une moyenne de température de conservation de **3.3°C**. Cela représente une consommation de **23 kWh/jour**.



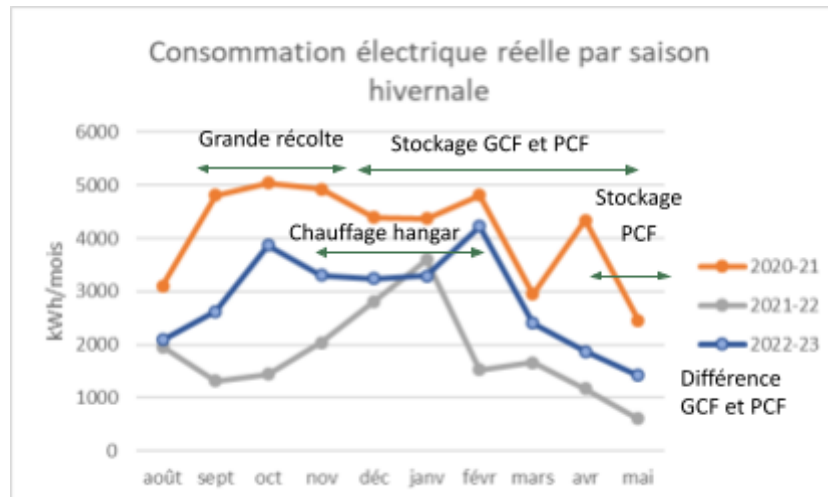
Grande chambre froide : La perte de données de l'enregistreur wattmètre ne nous permet pas d'avoir des données fiables sur la grande chambre froide sur cette période.

Consommation réelle :

Les courbes représentent **l'ensemble de la consommation** de la ferme (chambres froides incluses) sur les 3 dernières années en période hivernale (septembre à mai).

Les **grands postes** de consommation électrique sont :

- Chambres froides
- Chauffage hangar
- Pompe irrigation
- Autre (habitation)



On peut diviser en 4 parties les différences de consommation pendant cette période :

- De fin août à fin novembre : période qui s'apparente à la **grande partie des récoltes** (pomme et poire) et où la réfrigération des produits fait augmenter la consommation des chambres froides (environ **2500 kWh/mois**).
- De novembre à février, le **chauffage du hangar** est nécessaire (environ **1200 kWh/mois**)
- De novembre à mars, le **maintien en température des stocks** des 2 chambres froides (environ **1900 kWh/mois**)
- Avril et mai, arrêt de la grande chambre froide et transfert des produits restant dans la **petite chambre froide** (environ **740 kWh/mois**). Arrêt de la petite chambre fin mai, elle est occasionnellement remise en fonctionnement en été pour le stockage du vin blanc.

Estimation de la consommation de la grande chambre froide :

M. Bilocq affirme avoir eu dans l'hiver 2021 – 2022 une mauvaise récolte (gel de certains produits). Il n'a pas eu besoin d'utiliser la grande chambre froide à partir de janvier. La différence de consommation avec les autres années nous donne une indication de la consommation de la grande chambre froide (**1150 kWh/mois**).

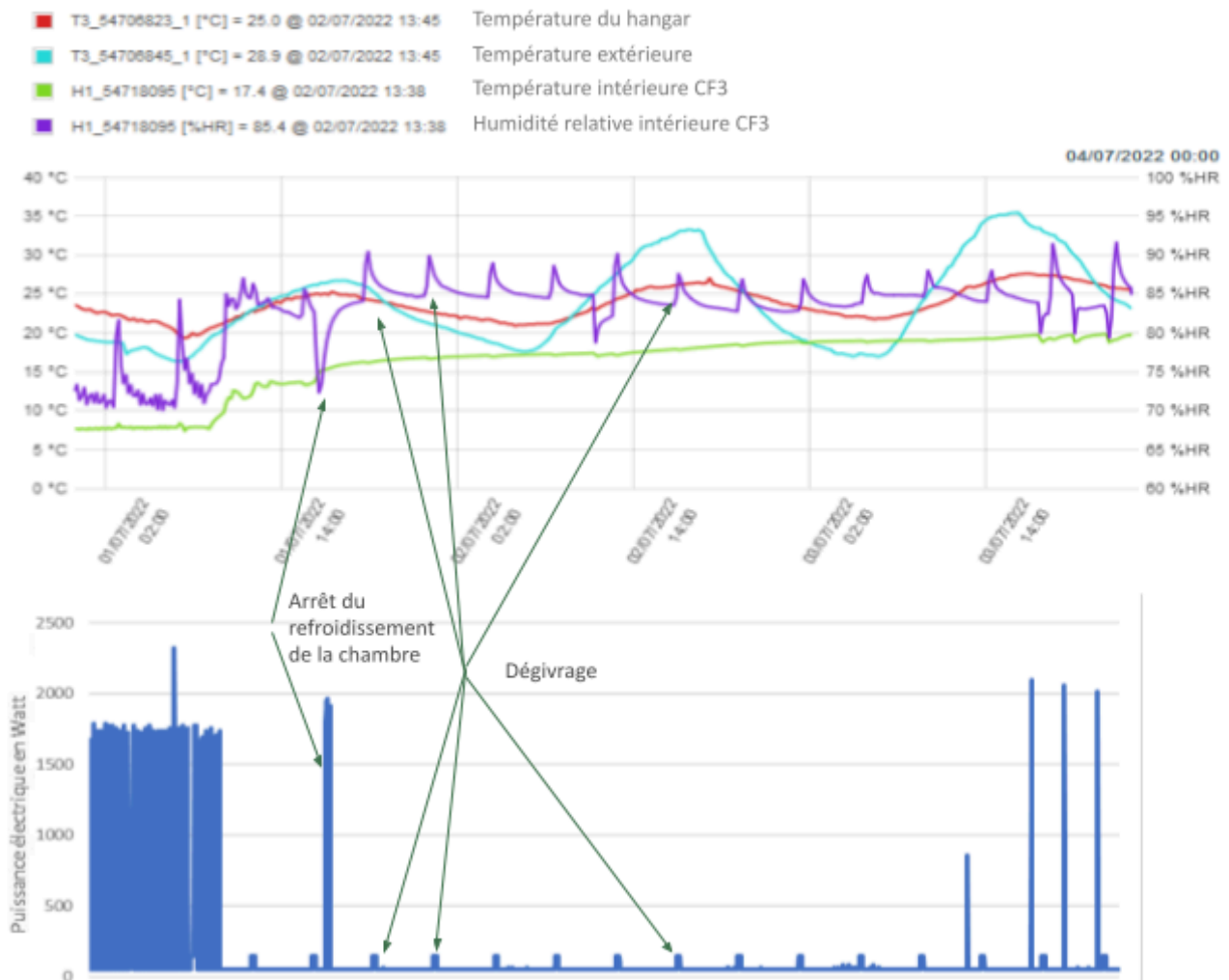
Consommation annexe (veille, dégivrage...) :

Un groupe froid est composé de plusieurs éléments et de modes de fonctionnement. Hormis la mise en route du compresseur et de l'évaporateur, lorsqu'un besoin en froid est nécessaire, il existe deux autres principales sources de consommation, le **thermostat** et le **dégivrage**.

Thermostat : La tableau ci-contre fait ressortir qu'il existe une veille d'environ 48 Watt en continu qui correspond à l'alimentation des sondes, du thermostat et d'autres éléments électroniques du groupe froid. Cette consommation représente **35 kWh/mois**.

| B | C | D | E |
|------------|----------|-------|------------|
| timestamp | | Watts | DayTotalsW |
| 02/07/2022 | 08:51:00 | 48 | 502,331 |
| 02/07/2022 | 08:58:00 | 48 | 503,731 |
| 02/07/2022 | 08:53:00 | 48 | 504,531 |
| 02/07/2022 | 09:00:00 | 48 | 505,331 |
| 02/07/2022 | 09:01:00 | 48 | 506,131 |
| 02/07/2022 | 09:02:00 | 48 | 506,831 |
| 02/07/2022 | 09:03:00 | 48 | 507,731 |
| 02/07/2022 | 09:04:00 | 48 | 508,531 |
| 02/07/2022 | 09:05:00 | 48 | 509,331 |
| 02/07/2022 | 09:06:00 | 48 | 510,131 |
| 02/07/2022 | 09:07:00 | 48 | 510,931 |
| 02/07/2022 | 09:08:00 | 48 | 511,731 |
| 02/07/2022 | 09:09:00 | 48 | 512,531 |
| 02/07/2022 | 09:10:00 | 48 | 513,331 |
| 02/07/2022 | 09:11:00 | 48 | 514,131 |
| 02/07/2022 | 09:12:00 | 48 | 514,931 |
| 02/07/2022 | 09:13:00 | 48 | 515,731 |
| 02/07/2022 | 09:14:00 | 48 | 516,531 |
| 02/07/2022 | 09:15:00 | 48 | 517,331 |
| 02/07/2022 | 09:16:00 | 48 | 518,131 |
| 02/07/2022 | 09:17:00 | 48 | 518,931 |
| 02/07/2022 | 09:18:00 | 48 | 519,731 |
| 02/07/2022 | 09:19:00 | 48 | 520,531 |
| 02/07/2022 | 09:20:00 | 48 | 521,331 |

Dégivrage : Un système frigorifique nécessite un **dégivrage de l'évaporateur** par circulation inversée d'air ambiant afin d'éviter que la puissance frigorifique diminue et l'évaporateur givre. Cette technique se réalise avec une **horloge de dégivrage** qui est réglée toutes les six heures pour déclencher les ventilateurs sur 10 minutes environs. Cette action représente une consommation journalière d'environ 1.5 kWh, **soit 45 kWh/mois**.



Estimation des consommations annuelles des chambres froides

La Durette : chambre de 25 m³ à 45 m³, utilisation 365 jours/an.

Les situations proposées sont issues de l'analyse où les consommations diffèrent selon qu'il y ait une activité humaine, stockage de fruits et légumes, le jour ou la nuit, canicule ou couverture nuageuse ... Les hypothèses prises pour le calcul en utilisant une journée type (mixte*) sont, pour la période sans activité*, de 16h par jour et deux jours par semaine (week-end) et, pour la période avec activité, de 8 heures par jour et sur cinq jours ouvrés. Pour le calcul de la durée de

rafraîchissement** de 5°C, cela s'étend sur 24 heures (mise en température de la masse thermique).

| Exemples de consommation électrique du groupe froid n°3 | | | |
|---|-----------|---------|---------------------|
| Exemples de situation | kWh/heure | kWh/24h | Simulation |
| | | | 90 jours (estivale) |
| 15° sans activité | 0,25 | | |
| 15° avec activité | 0,45 | | |
| 15° mixte * | | 7,6 | 664,8 |
| 7° sans activité | 0,48 | | |
| 7° avec activité | 0,61 | | |
| 7° mixte * | | 12,56 | 1117,92 |
| Refroidissement de 5°C** | 1,2 | 28,8 | |
| Annexe (veille, dégivrage...) | 0,06 | 1,44 | 129,6 |

En se basant sur les consommations chiffrées (et réelles), en supposant que la demande en froid va progressivement diminuer cet hiver et progressivement augmenter à partir d'avril, on estime que les consommations annuelles (15 avril au 15 décembre) avoisineront pour la CF3 (25m³): **1 100 kWh** et la CF1 (45m³): **2 300 kWh**.

En estimant qu'à termes les quatre chambres seront utilisées, on estime la consommation globale annuelle du poste froid à **5 600 kWh** pour 120 m³ de volume réfrigéré.

Note: Cependant ces calculs sont également basés sur des températures pratiquées cet été qui sont relativement modérées entre 7 et 17°C. Il est évident que les consommations augmenteraient significativement si les consignes baissaient en-dessous de 4°C.

Saint-André: chambre de 230 m³ à 460 m³, utilisation 270 jours/an.

En conjuguant les données produites lors du monitoring, des données réelles des factures, de l'estimation des consommations par postes et du temps d'utilisation annuelle des chambres froides, on estime que la **consommation moyenne**

annuelle (calculée sur les 3 derniers hivers) de la **petite** chambre froide est de **5 180 kWh** et celle de la **grande** chambre froide est de **6 900 kWh**, soit un total annuel pour **le poste froid d'environ 12 000 kWh**.

Comparatif des consommations annuelles avec des chambres froides « classiques »

Le Geres a suivi plusieurs exploitations dans le cadre des programmes AGIR et AGIR + entre 2010 et 2014 où les consommations de chambres froides avant travaux ont été identifiées. A titre de comparaison, des chambres froides construites début 2000 avec panneaux sandwichs isolants (60 à 80 mm d'isolant polyuréthane), placées dans un hangar ou à l'extérieur en façade nord, de volume de stockage entre 25 à 45 m³, consigne de stockage entre 2 et 12°C et des groupes froids de moyenne performance (ancien), consomment en moyenne **38 kWh/jour** soit environs **1 120 kWh/mois**.

On peut d'ores et déjà estimer que les **chambres froides de la Durette sont performantes avec environs 60 % de consommation électrique en moins** par rapport aux chambres froides dites « classiques » et moyennement performantes.

Également, M. Bilocq en 2010 stockait ses pommes et poires de début septembre à fin avril (soit huit mois de l'année) dans une **chambre froide louée** à Tallard. La consommation (**26 000 kWh**) provenait du fonctionnement de cette **chambre froide vétuste, très mal isolée** et des **groupes froids de plus de 40 ans** ([annexe ... Diagnostic AGIR exploitation P Bilocq](#)). L'économie estimée entre la chambre froide de location en 2010 et ses 2 chambres froides performantes actuelles représente 55%, soit **14 000 kWh/an** d'économie.

Cependant, il faut relativiser ces résultats car **les suivis sur ces 2 exploitations ont été faites sur de courtes périodes, sans suivi des intrants et des comportements**.

Les données du programme AGIR sont issues d'exploitations maraichères et/ou arboricoles qui ne reflètent pas exactement les mêmes produits et quantités stockés par les exploitants de la Durette par exemple. Ce sont donc des données à titre indicatif.

Une étude plus approfondie sera menée à La Durette dans le cadre du projet IRA2E 6 sur une période d'un an. Plus de paramètres sont pris en compte, notamment sur le suivi de la quantité des produits stockés / déstockés, des appareils de suivi

électrique plus performants, un dispositif de comptage de durée d'ouverture des portes ainsi qu'une enquête des faits marquants plus poussée.

Conseils pour une meilleure performance des chambres froides :

Ci-dessous un tableau récapitulatif des conseils à mettre en place pour réduire les consommations d'énergie liées au refroidissement (extrait du rapport d'étude thermique de 2020 sur la Durette).

| | |
|--|--|
| Respiration | Stocker les produits dans un hangar la nuit avant de les introduire dans la CF. |
| | Vérifier le bon écoulement des condensats , en-dessous de l'évaporateur, vers l'extérieur. |
| Renouvellement d'air/ infiltration d'air | Limiter le nombre d'entrée dans la CF. |
| | Refermer la porte immédiatement ou faire installer un rideau plastique . |
| | Liaison frigorifique entre l'évaporateur et le compresseur traversant la paroi est étanche. Vérifier les joints autour de la porte. |
| Activité humaine | Porter des vêtements recouvrant tout le corps |
| | Concentrer les tâches afin de limiter les entrées / sorties, |
| Activité mécanique | Eviter un fonctionnement continu des ventilateurs sur l'évaporateur (16h max) et que leur mise en route est asservie au fonctionnement du compresseur et/ou pendant la période de dégivrage. |
| | Limiter l'utilisation d'appareil électrique dans les CF.. |
| Groupe froid | Préférer les compresseurs frigorifiques refroidis par l'air avec un condenseur placé dans un endroit bien ventilé. |
| | 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 EER froid élevé > 2,8 |

Récapitulatif de conseils additionnels issus de ce suivi :

| | |
|-----------------|---|
| Activité | Si la chambre froide n'est pas utilisée, il est judicieux de laisser fermer la porte afin de ne pas réchauffer les parois mitoyennes aux autres chambres. |
| Activité | Si la chambre n'est plus utilisée, il est préférable d'arrêter complètement le groupe froid pour éviter ses consommations « cachées » qui sur une longue période peut devenir importante. |

Si vous souhaitez consulter une des annexes, veuillez joindre Marc Glass au +33 (0)4 42 18 61 14 ou par mail au m.glass@geres.eu.