

Projet-DIS n° : 41238 Contrat-DIS n° : 82149 ENET n° : 240018	Chaleur ambiante, CCF, Froid Pilote et Démonstration	Par ordre de Office fédéral de l'énergie
---	---	--

Rapport final Décembre 2004

Installation de production combinée de chaud et de froid du nouveau bâtiment de Grunenfelder SA à Quartino

Rédigé par
Dr. Vinicio Curti
Termogamma SA
Via Industria, CH-6710 Biasca

Cette étude a été accomplie sur mandat de l'Office fédéral de l'énergie. L'auteur est seul responsable du contenu et des conclusions.

RÉSUMÉ

Situé à Quartino (TI), Grünenfelder SA est un distributeur de produits alimentaires qui doivent être conservés à différentes températures (congélation, réfrigération et rafraîchissement). Un système de production de chaud et de froid à de multiples niveaux de température a été dessiné, de façon à éviter toute combustion sur le site et pouvoir satisfaire de même plusieurs utilisateurs d'eau chaude (chauffage, eau chaude sanitaire, lavage de véhicules, évitement de formation de permafrost).

Le nouveau siège de Grünenfelder SA nécessite de 4400 places-palettes, ce qui revient à une surface bâtie de plus de 4650 m², comprenant chambres froides (plus de 2000 m²), bureaux, espaces logistiques, etc.. Les espaces doivent être très flexibles dans leur emploi, puisque selon la demande du marché il doit être possible de jouer sur les volumes dédiés respectivement aux surgelés, aux produits frais et aux produits secs.

La typologie des demandes est la suivante:

- chambres froides:
 - o congélation (-28°C)
 - o réfrigération (+5°C)
 - o rafraîchissement (+17°C)
 - o zone de charge (+6°C)
- chauffage et climatisation de locaux, bureaux de vente et administration;
- eau chaude sanitaire;
- préparation d'eau tiède pour station de lavage de véhicules de distribution;
- réchauffement du terrain sous les chambres froides contre la formation de «permafrost»;

Les composants principaux du système sont:

- une pompe à chaleur d'une puissance de: 305 kW de puissance froid en été (avec source froide livrée à +7°C et arrivée de l'eau au condenseur à +28°C) et 382 kW de puissance chaud en hiver (avec arrivée de source froide à +22°C et départ de l'eau chauffée à +50°C)
- un groupe frigorifique pour la congélation des chambres froides d'une puissance de 447 kW (chambres froides à -28°C et chaleur rejetée dans de l'eau à +28°C)

Des mesures des bilans énergétiques ont été effectuées sur la période 1.2.2003 au 30.11.2004.

Le but de ces mesures effectuées sur l'installation est de vérifier la qualité énergétique de l'installation afin de mettre en évidence le taux de recyclage d'énergie de ces systèmes.

Les résultats, résumés en fig. 5, montrent bien que grâce à un niveau d'intégration énergétique élevé la dissipation d'énergie dans l'air atmosphérique a pu être baissée de plus de 41%, c'est à dire qu'on a récupéré 2005 MWh pour les besoins de chaud en baissant à 2810 MWh l'énergie dissipée par la tour de refroidissement.

Le marché du froid est pauvre aujourd'hui de ces réalisations fortement intégrées, alors que le stockage des aliments devient toujours plus critique et la demande de volumes refroidis est croissante.

On remarquera que l'installation sert une seule activité, ce qui soutient sa reproductibilité.

ZUSAMMENFASSUNG

In Quartino liegend (TI), ist Grünenfelder SA ein Vertreiber von Lebensmittel, die bei verschiedenen Temperaturen gelagert werden müssen (tiefkühlen, gefrieren, kühlen). Ein Wärme- und Kälteerzeugung System mit verschiedenen Temperaturstufen wurde entworfen, um jegliche Art von Verbrennungsanlagen zu vermeiden und gleichzeitig mehrere Warmwasserverbraucher zu befriedigen (Raumheizung, Brauchwassererwärmung, KFZ Waschanlage, Permafrost Verhinderung).

Der neue Sitz von Grünenfelder SA hat einen Platzbedarf von 4400 Paletten, was einer überbauten Fläche von über 4650 m² entspricht, bestehend aus Kühlräume (über 2000 m²), Büros, Logistikplatz, usw.. Die Flächen müssen in ihrer Benutzbarkeit sehr flexibel sein, da das Volumen entsprechend der Marktnachfrage angepasst werden muss, respektiv dem Platzbedarf für Tiefkühl-, Frisch- oder Trockenprodukte.

Die gefragten Typologien sind die folgenden :

- Kalträume:
 - o Tiefkühlung (-28°C)
 - o Kühlung (+5°C)
 - o Frischhaltung (+17°C)
 - o Ladezone (+6°C)
- Raumheizung und Klimatisierung, für Verkaufs- und Verwaltungsbüros;
- Brauchwassererwärmung;
- Bereitung lauwarmes Wasser für LKW Waschanlage ;
- Erdreichbeheizung unter den Kalträumen, um Permafrost zu verhindern ;

Die Hauptkomponenten des Systems sind :

- Eine Wärmepumpe mit einer Leistung von: 305 kW Kälteleistung im Sommer (mit einer kalten Quelle bei +7°C und ein Wassereintrittstemperatur beim Kondensator von +28°C) und 382 kW Wärmeleistung im Winter (mit einem Eintritt der kalten Quelle von +22°C und ein Austrittstemperatur des Warmwassers von +50°C)
- Ein Kältesatz für die Tiefkühlung der Kalträume mit einer Kälteleistung von 447 kW (Kalträume bei -28°C und Wärmeabgabe an Wasserkreis bei +28°C)

Messungen für die Energiebilanz wurden in der Zeitperiode vom 1.2.2003 bis zum 30.11.2004 durchgeführt.

Das Ziel der durchgeführten Messungen auf der Anlage ist, die energetische Qualität der Installation nachzuweisen und die Wärmegewinnungszahl des Systems hervorzuheben.

Die Resultate, die in Bild 5 zusammengefasst sind, zeigen gut, dass dank einem sehr hohen energetischen Integrationsniveau, die Energieabgabe an die Umwelt um mehr als 41% gesenkt werden konnte. Das heisst, dass man 2005 MWh gewinnen konnte für den generellen Wärmebedarf, und die Wärmeabgabe des Kühlturms zu 2810 MWh reduziert wurde.

Der Kältemarkt ist heutzutage arm von solchen hoch integrierten Anlagen, gerade in einer Zeit wo die Lagerung von Lebensmittel immer kritischer wird, und die Nachfrage von gekühltem Lagervolumen steigend ist.

Es hebt sich vor, dass diese Anlage einer einzigen Aktivität dient, was seine Reproduzierbarkeit unterstützt.

SUMMARY

Located in Quartino (TI), Grünenfelder SA is a wholesaler of food which needs to be stored at different temperature levels. A multiple-temperatures heating and cooling system has been designed so that space heating, hot water production, vehicles washing and an anti-permafrost system can be satisfied with no combustion on site. The storage of 4400 pallets requires a built surface of more than 4650 m², including the freezing chambers (more than 2000 m²), offices, logistic areas, etc.. The use of the storage places must be flexible because some of the pallets have to be stored under freezing, refrigeration or light cooling conditions.

The demand is as follows:

- cold chambers:
 - o freezing (-28°C)
 - o refrigeration (+5°C)
 - o light cooling (+17°C)
 - o loading areas (+6°C)
- heating and A/C of rooms and administration offices;
- domestic hot water;
- medium-temperature water heating for vehicles washing;
- ground heating in order to avoid permafrost formation;

The system main components are :

- a heat pump with a capacity of : 305 kW summer cooling (with cold source delivered at +7°C and water entering the condenser at +28°C) and 382 kW winter heating (with cold source arriving at +22°C and water heated at +50°C)
- a refrigeration group of 447 kW cooling capacity (cold chambers at -28°C and heat rejected to water at +28°C).

Measures of the energy balances have been made in the period 1.2.2003 to 30.11.2004.

The results, summarised in fig. 5, show that thanks to a highly integrated system of this kind the heat rejection to the atmosphere has been lowered of more than 41%, because 2005 MWh were recovered for internal needs where the rejected heat has been of 2810 MWh.

The refrigeration market is poor of this kind of systems, whereas the demand for storage place is more and more critical and in growth.

It shall be noted, that the installation serves a single industrial activity, which makes this approach highly reproducible.

TABLE DES MATIÈRES

Résumé (Français, allemand, anglais)

1.	INTRODUCTION	7
1.1	Données générales.....	7
1.2	Fonctionnement général.....	8
1.3	Fonctionnement en été	8
1.4	Fonctionnement en hiver.....	8
2.	SCHÉMA DE L'INSTALLATION ET POINTS DE MESURE	9
3.	RÉSULTATS DES MESURES.....	10
3.1	Refroidissement.....	10
3.2	Energie thermique.....	11
3.3	Energie électrique	11
4.	CONCLUSIONS	12

1. INTRODUCTION

Grünenfelder SA de Quartino (TI) est un distributeur de produits alimentaires. Bien que les produits-clés soient les aliments surgelés et réfrigérés, cette entreprise distribue également des produits dits «secs», qui doivent être conservés dans un environnement à +17°C, et des produits «frais», stockés à +5°C. Dans ce type d'activité, le stockage de produits revêt naturellement une importance primordiale.

Le nouveau siège de Grünenfelder SA nécessite de 4400 places-palettes, ce qui revient à une surface bâtie de plus de 4650 m², comprenant chambres froides (plus de 2000 m²), bureaux, espaces logistiques, etc.. Les espaces doivent être très flexibles dans leur emploi, puisque selon la demande du marché il doit être possible de jouer sur les volumes dédiés respectivement aux surgelés, aux produits frais et aux produits secs.

L'installation est caractérisée par une très forte intégration énergétique. Elle doit satisfaire avec un maximum de fiabilité et de disponibilité les différentes demandes de «froid» à différentes températures et également de «chaud» à différentes températures. Les demandes ne sont pas forcément simultanées.

Deux machines seules satisfont l'ensemble des demandes pour chaque possibilité d'utilisation des chambres froides et dans toutes conditions atmosphériques, sans combustion de ressources fossiles et avec une récupération d'énergie maximale. Au cours de l'exploitation il sera nécessaire d'ajuster les paramètres de réglage de l'ensemble afin de maximiser la récupération énergétique tout en garantissant les consignes de refroidissement et de confort selon l'évolution des exigences d'utilisation.

C'est pourquoi certaines possibilités supplémentaires ont également été prévues, comme la possibilité de puiser de la chaleur de l'eau de nappe souterraine par la pompe à chaleur (grâce à un circuit intermédiaire avec échange thermique et qui pourrait à cet effet être chargé en eau glycolée), ou encore la possibilité d'ajuster les températures de consigne pour l'eau de lavage de véhicules, etc.

Grâce à cette réalisation, il est possible de montrer directement et pratiquement que ce type d'installations est une réalité. En fait, le marché du froid est pauvre aujourd'hui de ces réalisations, alors que le stockage des aliments devient toujours plus critique et la demande de volumes refroidis est croissante. On remarquera que l'installation sert une seule activité, ce qui soutient sa reproductibilité.

Ceci est d'autant plus remarquable qu'il s'agit d'une installation industrielle dans un secteur, celui du stockage et de la distribution, soumis à de fortes contraintes économiques, puisque caractérisé par de très faibles marges financières.

1.1 Données générales

La typologie des demandes est la suivante:

- refroidissement des chambres de congélation (-28°C), des chambres pour produits frais (+5°C) et des produits "secs" (+17°C), surface totale 2500 m² et volume 25'000 m³ ;
- refroidissement de halles de chargement/déchargement (+6°C);
- chauffage et climatisation de locaux, bureaux de vente et administration;
- préparation eau chaude sanitaire;
- préparation d'eau tiède pour station de lavage de véhicules de distribution;
- réchauffement du terrain sous les chambres froides contre la formation de «permafrost»;

Les composants principales du système sont:

- une pompe à chaleur d'une puissance de: 305 kW de puissance froid en été (avec source froide livrée à +7°C et arrivée de l'eau au condenseur à +28°C) et 382 kW de puissance chaud en hiver (avec arrivée de source froide à +22°C et départ de l'eau chauffée à +50°C)
- un groupe frigorifique pour la congélation des chambres froides d'une puissance de 447 kW (chambres froides à -28°C et chaleur rejetée dans de l'eau à +28°C)

1.2 Fonctionnement général

Les utilisateurs prioritaires de l'installation sont les chambres de congélation et les locaux climatisés. La chaleur de rejet extraite des chambres de congélation est récupérée pour satisfaire les utilisateurs « chaud ». La récupération est effectuée de façon optimale pour le rendement énergétique de la machine de réfrigération, puisqu'elle est effectuée sur deux niveaux différents de température: désurchauffe et condensation. Ceci permet de récupérer une partie de la chaleur à une température plus élevée en travaillant aux mêmes conditions d'une machine avec condenseur classique, donc avec des meilleurs rendements énergétiques.

L'accumulateur de l'eau de chauffage est chargé thermiquement en stratification pour permettre à la pompe à chaleur une condition optimale de travail (puisque'elle travaille sur la partie inférieure, donc plus froide, du volume).

Les désurchauffeurs livrent la chaleur à l'eau chaude sanitaire et au chauffage. La condensation des machines frigorifiques et de la pompe à chaleur donne la chaleur à l'accumulateur de chauffage. L'énergie thermique y contenue est également utilisée pour chauffer à son tour l'eau tiède de lavage des véhicules de distribution, une valeur ajoutée non négligeable pour ce type d'activité.

La chaleur produite est en priorité envoyée du côté utilisateurs. Lorsque ceux-ci sont satisfaits, elle est déviée vers l'accumulateur de dissipation. Toutefois, l'énergie thermique prête à être dissipée par la tour de refroidissement peut quand-même être réutilisée par la pompe à chaleur, qui la remet ainsi en jeu.

L'eau froide produite pour la climatisation est stockée dans un accumulateur ; lorsque celui-ci est chargé « froid », la chaleur nécessaire pour le fonctionnement de la pompe à chaleur est prise de l'accumulateur « dissipation chaud », et seulement en dernier essor de l'eau souterraine.

La formation de «permafrost » dans le terrain en-dessous des chambres froides est évitée grâce à un circuit fermé qui amène dans le terrain la chaleur de rejet des condenseurs des chambres froides.

Le jeu d'accumulations permet les utilisations non simultanées des productions de « chaud » respectivement de « froid ».

Le dégivrage des évaporateurs est effectué par récupération de chaleur de l'eau de la tour de refroidissement, donc sans apport de chaleur de l'extérieur, en évitant ainsi de chauffer inutilement de l'eau à une température élevée. Cette solution augmente également la rapidité de réaction du système.

L'utilisateur dispose d'une installation très intégrée, qui toutefois lui laisse la nécessaire flexibilité d'utilisation, puisqu'une partie variable des chambres froides, selon les besoins, peuvent être refroidie à - 28°C, +5°C ou +17°C.

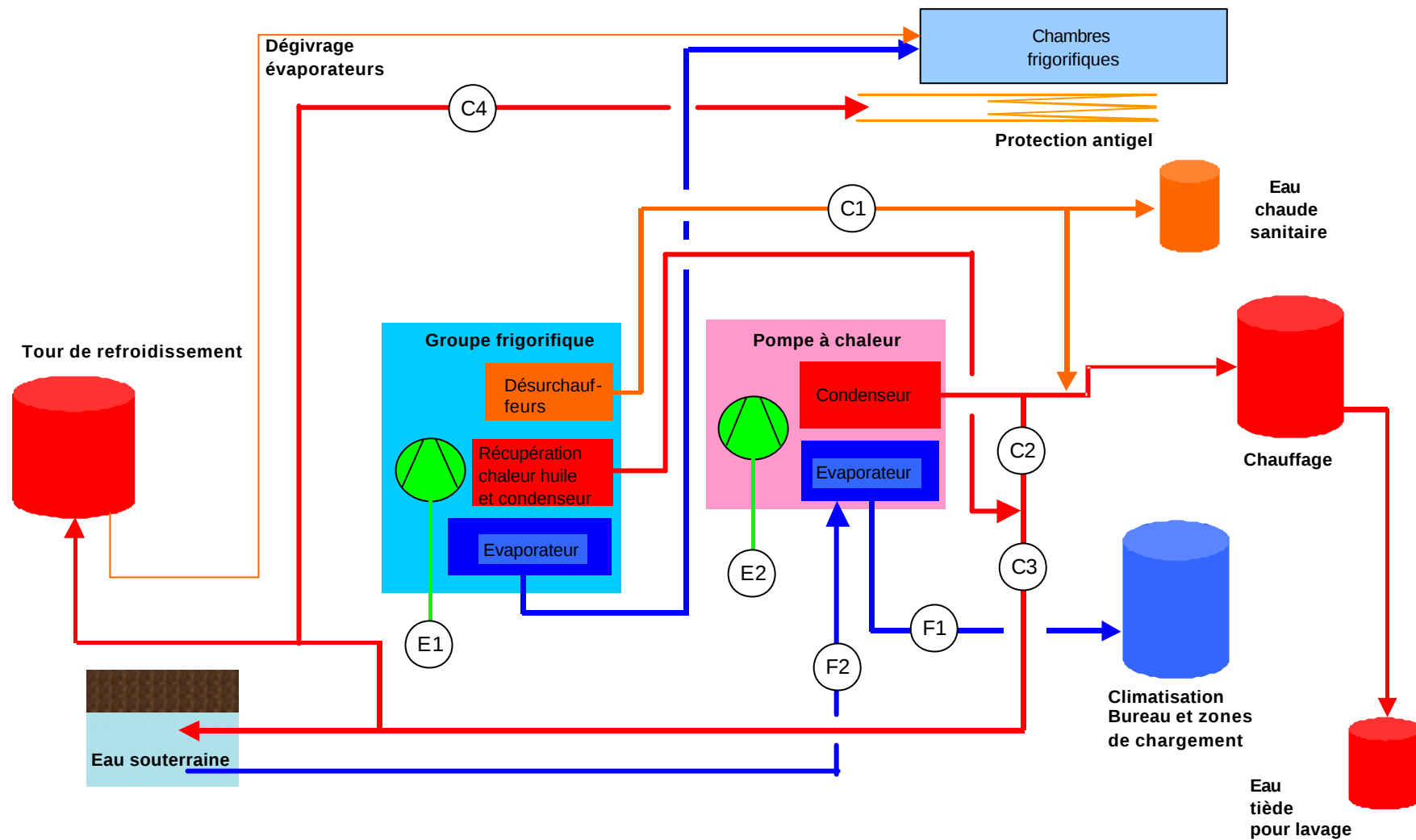
1.3 Fonctionnement en été

- 1) La production d'eau chaude sanitaire et d'eau chaude pour le lavage des véhicules de distribution est assurée par la récupération de la chaleur de surchauffe du fluide réfrigérant en sortie des compresseurs frigorifiques des chambres froides.
- 2) La climatisation des locaux habités est effectuée par la pompe à chaleur.
- 3) La chaleur en excès, qui ne peut donc plus être récupérée, est dissipée par la tour de refroidissement.

1.4 Fonctionnement en hiver

- 1) Le chauffage (et toujours aussi l'eau chaude sanitaire et l'eau tiède pour le lavage de véhicules) est assuré par:
 - a. la récupération de chaleur des gaz chauds (surchauffe) en sortie des compresseurs frigorifiques des chambres froides ;
 - b. la pompe à chaleur, qui récupère la chaleur en excès fournie par les condenseurs. Si cette chaleur devait se révéler insuffisante, et seulement pour la partie nécessaire de chaleur, la compensation par eau de nappe phréatique entrerait en fonction ;

2. SCHÉMA DE L'INSTALLATION ET POINTS DE MESURE



Les points de mesure indiqués dans le schéma permettent de relever les grandeurs suivantes :

Point de mesure	Description
C1	Energie thermique récupérée aux désurchauffeurs du groupe frigorifique
C2	Energie thermique produite par la pompe à chaleur envoyée dans l'accumulateur de dissipation
C3	Energie thermique produite par les condenseurs de la machine frigorifique + C2
C4	Energie thermique aux échangeurs antigel sous les chambres frigorifiées
F1	Energie « Froid » produite par la pompe à chaleur destinée à la climatisation
F2	Energie thermique fournie à l'évaporateur de la pompe à chaleur par l'accumulateur de dissipation (réintégration) ou par l'eau souterraine
E1	Energie électrique fournie à la machine frigorifique (compresseurs)
E2	Energie électrique fournie à la pompe à chaleur (compresseurs)

3. RÉSULTATS DES MESURES

Les mesures ont été effectuées sur une période allant du 01.02.2003 au 30.11.2004.

3.1 Refroidissement

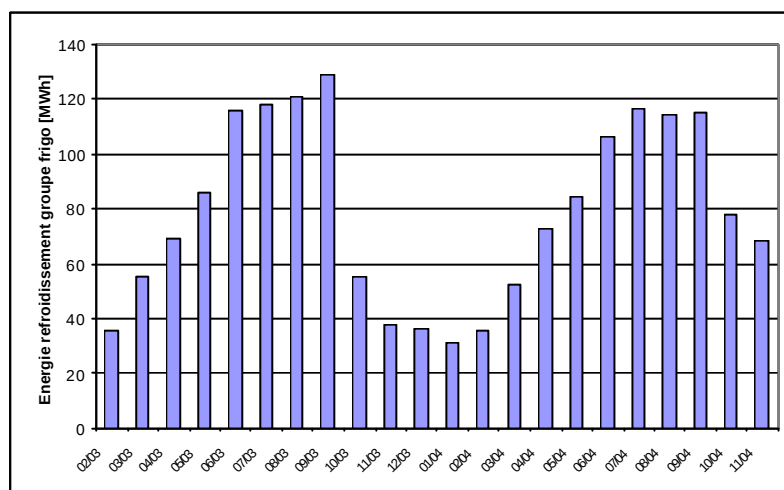


Fig. 1 Energie de refroidissement mensuelle fournie par le groupe frigorifique

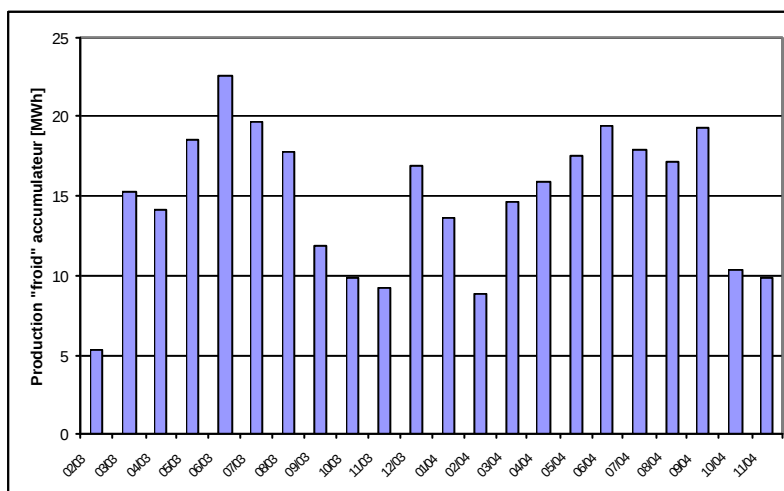


Fig. 2 Energie de refroidissement mensuelle fournie par la pompe à chaleur à l'accumulateur « froid » servant les réseaux de climatisation bureaux/locaux administratifs et unités de traitement d'air.

Le refroidissement est réalisé par le groupe frigorifique et par la pompe à chaleur. Les deux éléments produisent du froid utilisé par les usagers pendant toute l'année, le groupe frigo pour le maintien des chambres de congélation aux basses températures prévues, la pompe à chaleur l'été pour la climatisation des bureaux et autres locaux administratifs et l'hiver surtout pour le traitement d'air des zones de chargement et des chambres « produits secs », à +6°C respectivement +17°C.

Les figures 1 et 2 montrent que c'est bien en été que le besoin de refroidissement est supérieur, mais il est aussi intéressant de noter que la pompe à chaleur livre du froid aussi bien en été qu'en hiver, tandis qu'en mi-saison cela diminue. Ceci parce que si en été le froid est utilisé pour la climatisation, en hiver il est nécessaire de traiter l'air (déshumidification) des espaces destinées au chargement (+6°C) et des chambres destinées à la conservation de produits « secs », maintenues à 17°C et à un faible taux d'humidité.

Comme il peut être remarqué à la figure 1, en septembre/octobre 2003 un changement d'utilisation des chambres froides est survenu, ce qui a provoqué une diminution sensible des besoins en production de froid pour le refroidissement des chambres froides. En décembre/janvier 2003 une augmentation des besoins en froid pour le traitement d'air est à mettre en relation avec une augmentation de l'activité de chargement / déchargement en correspondance de la période des fêtes de fin d'année, où les mouvements de marchandises augmentent.

3.2 Energie thermique

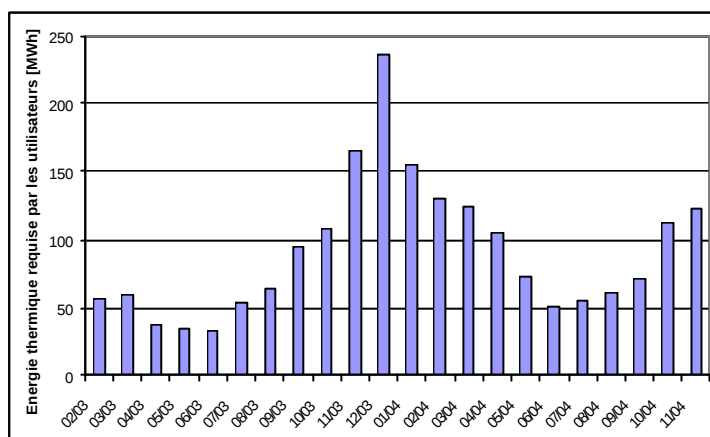


Fig. 3 Energie thermique fournie par le système aux différents usagers.

L'énergie thermique, fournie pour le chauffage, l'eau chaude sanitaire et le lavage, est clairement dominée par les besoins hivernaux, même si une base de 30 à 50 MWh par mois est présente en été.

3.3 Energie électrique

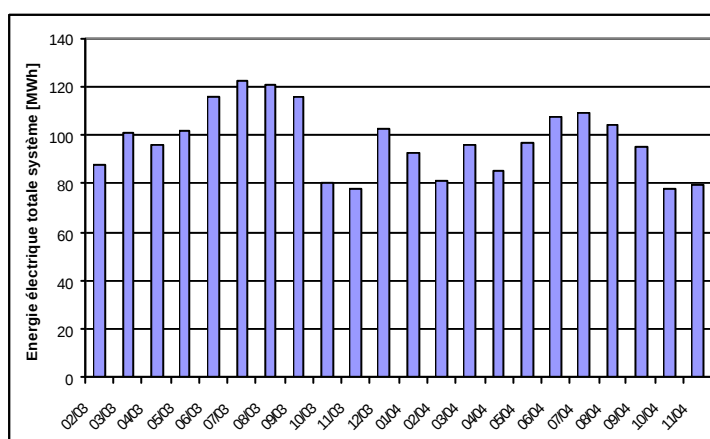


Fig. 4 Energie électrique fournie au système

4. CONCLUSIONS

La figure 5 montre le bilan énergétique pour la période considérée 1.2.2003 - 30.11.2004.

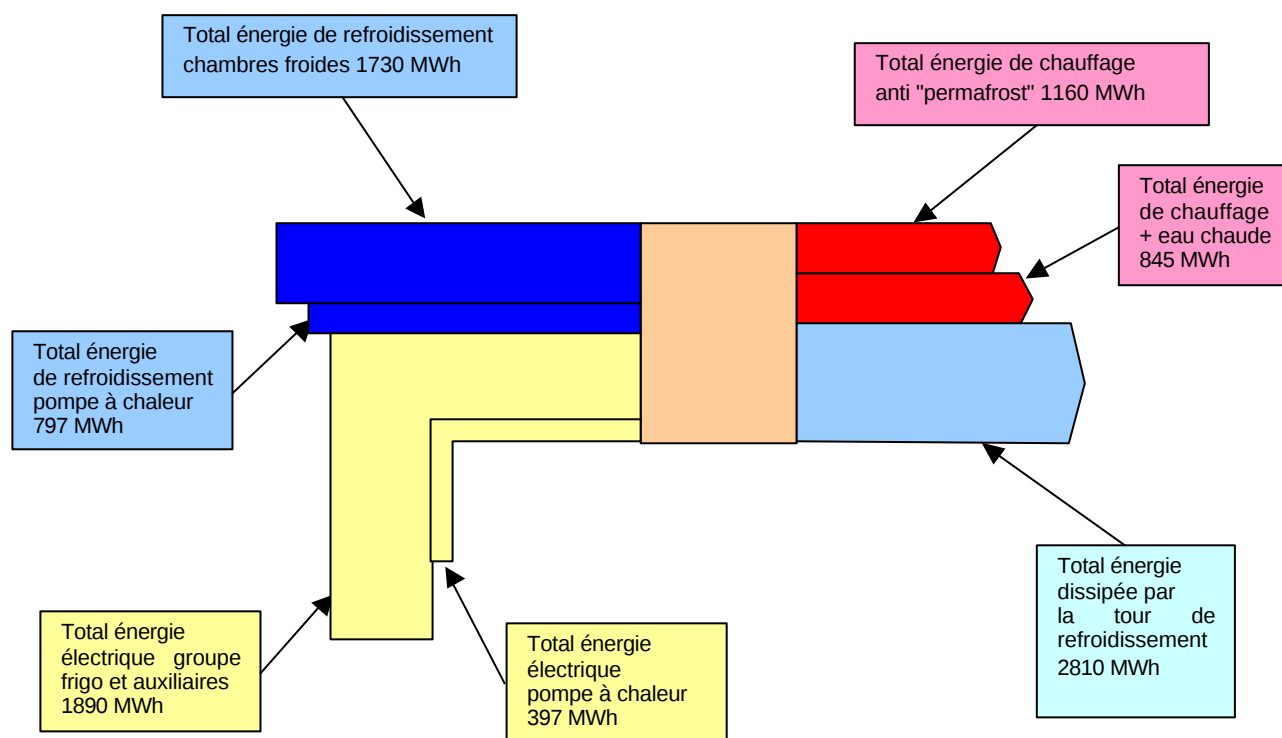


Fig. 5 Bilan énergétique mesuré pendant la période 1.2.2003 - 30.11.2004.

Il est à noter que l'énergie thermique requise par les utilisateurs pour le chauffage, l'eau chaude sanitaire et l'eau tiède de lavage ainsi que celle requise pour empêcher la formation de gel dans le sous-sol des chambres froides, égale à 2005 MWh, dans une installation conventionnelle aurait été produite par des combustibles fossiles.

Ceci a permis de réduire l'utilisation de la tour de refroidissement à 2810 MWh seulement.

Les mesures effectuées sur la période considérée ont ainsi bien montré non seulement la faisabilité d'une telle installation, mais également l'intérêt réel de l'intégration énergétique dans une installation isolée et typique de centre d'entreposage de produits congelés. Ce type d'installations pourraient donc être répété sans devoir forcément dépendre de synergies avec d'autres activités.