

Application de la pompe à chaleur à l'équipement d'un centre sportif

Autor(en): **Scheidegger, Kurt**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Ingénieurs et architectes suisses**

Band (Jahr): **106 (1980)**

Heft 4: **SIA, no 1, 1980**

PDF erstellt am: **13.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-73930>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern. Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Application de la pompe à chaleur à l'équipement d'un centre sportif

par Kurt Scheidegger, Morges

Au cours de l'année 1979, la consommation mondiale d'huile minérale a dépassé 3,1 milliards de tonnes. Eu égard aux réserves actuellement connues de 85 milliards de tonnes, il semble absolument évident que ce combustible devra bientôt être remplacé.

En conséquence, il devient absolument nécessaire de chercher des substituts afin de diminuer la consommation de cette énergie non renouvelable qu'est l'huile de chauffage; en effet, près de la moitié de la consommation totale d'énergie est destinée au chauffage des locaux et à la production d'eau chaude.

1. Introduction

La société Bobst SA, fabrique de machines pour l'impression et le façonnage du papier et du carton, dont le siège et les activités principales se trouvent à Prilly, s'est étendue récemment à Mex, à 8 km de Prilly en direction de Cossonay, sur une zone industrielle répartie sur trois communes.

Un centre sportif sera aménagé sur une partie de cette zone. Il comprendra un club house (buvette, vestiaires, etc.), un terrain de football, un terrain omnisport, un jeu de pétanque et quatre courts de tennis.

A disposition du personnel, ce centre sera géré par le Bobst-Sports, qui regroupera les différentes activités sportives de l'entreprise.

Au printemps 1979, le maître de l'œuvre a confié au mandataire la mission de rechercher une solution économique en ce qui concerne l'exploitation, restreignant au maximum la pollution éventuelle de l'environnement et utilisant, dans la mesure du possible, une énergie renouvelable.

Nous avons examiné les solutions suivantes :

- chauffage au gaz naturel ou au propane,
- chauffage électrique,
- chauffage solaire,
- pompe à chaleur,
- chauffage à mazout, mais uniquement à titre comparatif.

Le choix du système de chauffage s'est finalement porté sur une solution « écologique », soit la pompe à chaleur avec des capteurs d'énergie placés sous le futur terrain de football (fig. 1).

2. Principe de la pompe à chaleur

La pompe à chaleur, on le sait, est un appareil destiné au transfert de la chaleur, transformant une certaine quantité d'énergie à basse température en énergie à une température plus élevée. Son fonctionnement est basé sur le principe du

cycle de Carnot. Le cycle du procédé des pompes à chaleur est représenté dans la figure 2, alors que le principe en est exposé par la figure 3.

3. Coefficient de performance (COP)

Théoriquement, le coefficient de performance découle du second principe de Carnot : dans toute machine thermique fonctionnant entre deux températures fixes, le rendement maximum est indépendant de la nature du corps et ne dépend que des températures des sources froide et chaude :

$$COP = \frac{T}{T - T_0}$$

Le coefficient de performance réel est toutefois déterminé par l'équation

$$COP_{\text{réel}} = \frac{P(\dot{Q})c}{P_m}$$

tenant également compte des pertes.

De fait, la différence entre la pratique et un compresseur idéal de pompe à chaleur est analogue à celle caractérisée par le rendement d'un moteur électrique, aux pertes par échauffement, etc.

Si nous examinons le diagramme Mollier $\log P-h$ (fig. 2), nous pouvons appliquer pour le COP l'équation

$$COP = \frac{h_2' - h_3}{h_2' - h_1}$$

Si nous chauffons à 20°C un local avec une pompe à chaleur, à partir d'une source froide à -8°C, nous obtenons :

$$COP_{\text{réel}} = \frac{293^\circ\text{K}}{293 - 265} \cong 10$$

Cela signifie qu'une telle pompe à chaleur pourrait chauffer ce local en utilisant une puissance égale au $1/10$ de celle d'un chauffage direct au mazout ou à l'électricité. En réalité, une telle pompe à chaleur arrive à un COP d'environ 3 :

$COP_{\text{réel}} = \eta \cdot COP$ avec $\eta = 0,2-0,3$ soit un rendement de 20 à 30 %.

Toutefois, même avec un coefficient de performance de 3, le rendement réel est encore parfaitement suffisant pour justifier l'installation d'une pompe à chaleur en lieu et place d'un autre système de chauffage. Il est nécessaire de remplir les conditions suivantes :

- chauffage à basse température,
- énergie disponible pour l'entraînement du compresseur,
- source de chaleur adéquate, quantitativement et qualitativement.

COP	= coefficient de performance théorique
$COP_{\text{réel}}$	= coefficient de performance réel (coefficient de performance minimum)
T	= température de condensation en °K (°C + 273)
T_0	= température d'évaporation en °K
$P(\dot{Q})c$	= puissance de chauffage = puissance du condenseur
P_m	= puissance absorbée par le compresseur

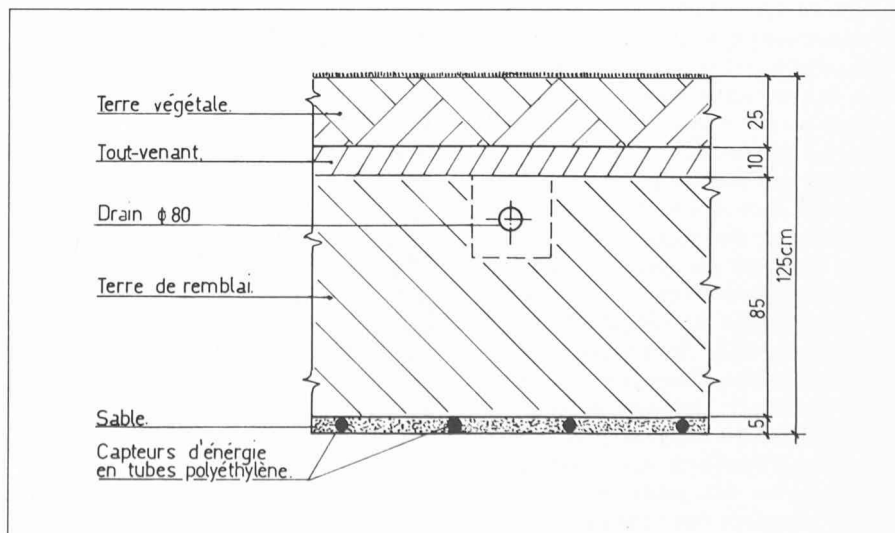


Fig. 1. — Coupe des capteurs d'énergie enterrés.

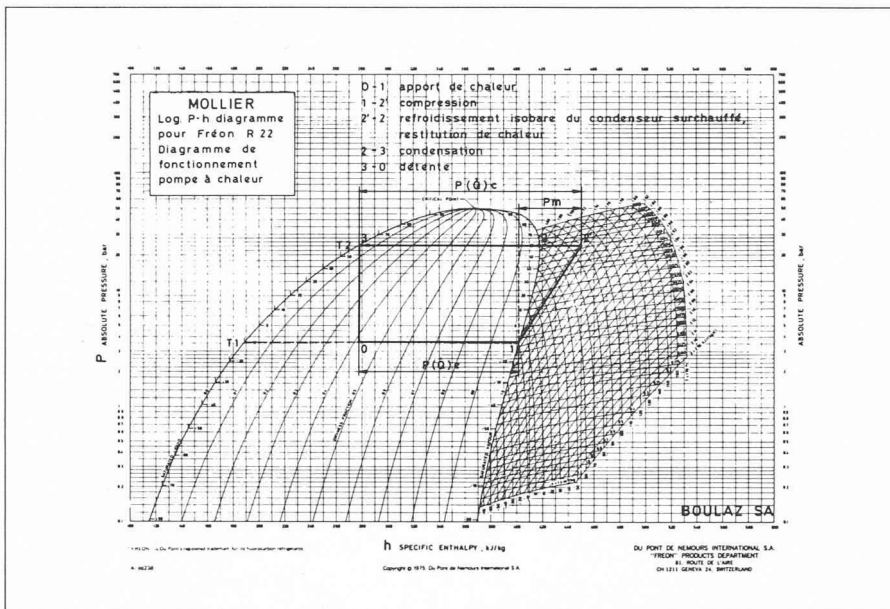


Fig. 2. — Diagramme de fonctionnement de la pompe à chaleur.

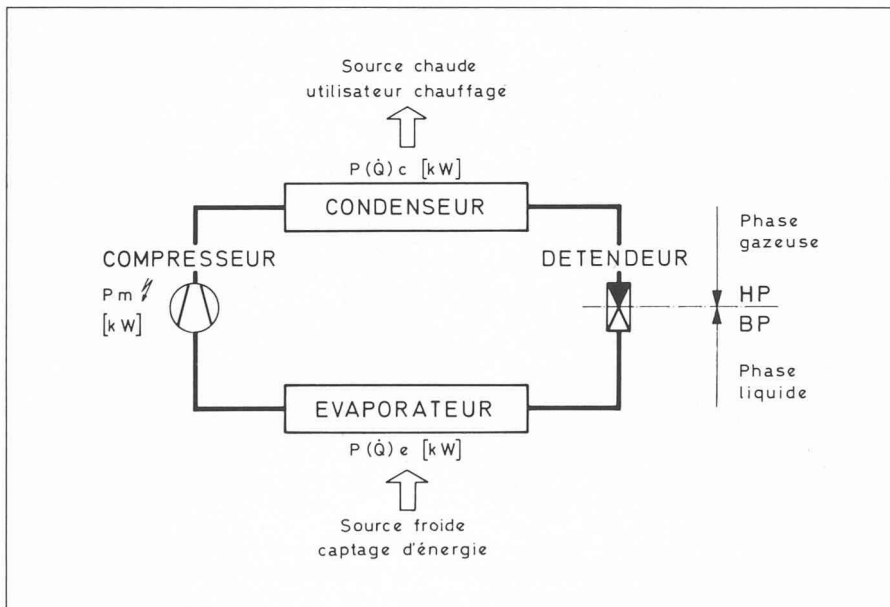


Fig. 3. — Principe de la pompe à chaleur.

4. Construction de la pompe à chaleur

Il existe deux principes de construction :
 — les pompes à chaleur à compression,
 — les pompes à chaleur à absorption.
 Nous analyserons de plus près le fonctionnement de la pompe à chaleur à compresseur (voir fig. 3).
 Ce type de pompe à chaleur fonctionne à l'aide de compresseurs à pistons ou de turbocompresseurs. Pour leur entraînement, on peut faire usage de tout système connu : moteurs électriques, à gaz, Diesel, à pistons libres Rankine, Stirling, turbines, ainsi que toute combinaison entre eux. Le choix du moteur d'entraînement est conditionné par le type d'énergie disponible et par la rentabilité. Les éléments principaux des pompes à chaleur à compression sont :
 — *Le compresseur*, qui fait circuler le fluide caloporteur dans le circuit de la

pompe à chaleur : il comprime et envoie dans le condenseur le fluide gazeux aspiré de l'évaporateur. Pendant la compression, la pression et la température du fluide s'élèvent jusqu'à ce que soit atteinte la température souhaitée.
 — *L'évaporateur*, qui est un échangeur de chaleur. Il retire de la chaleur à la source de chaleur et l'introduit dans le fluide caloporteur s'évaporant au moment de l'absorption de la chaleur.
 — *Le condenseur*, qui est lui aussi un échangeur de chaleur. Il rend au système de chauffage des locaux la chaleur contenue dans le fluide caloporteur, qui se condense sous l'effet de cette baisse de température.
 — *La soupape d'expansion* (détendeur), qui entraîne enfin dans l'évaporateur le fluide liquéfié à cause de sa pression, et le cycle recommence.

5. Sources de chaleur

Les sources de chaleur se distinguent en deux groupes, selon leur provenance :
 — sources naturelles,
 — chaleur de récupération.
 On distingue les sources froides suivantes (capteurs d'énergie) :
 — air extérieur ou extrait des locaux,
 — eau de surface (lac, rivière, ruisseau), souterraine ou industrielle,
 — sol (échangeur à eau glycolée ou évaporateur enterré).
 Les sources chaudes (au niveau des utilisateurs) peuvent être :
 — l'air chaud : chauffage à air chaud,
 — l'eau chaude : chauffage par radiateurs à basse température ou chauffage par le sol à rayonnement,
 — l'eau chaude pour usage ménager, à 40°C.

Le propre de la pompe à chaleur est de pouvoir relier n'importe quelle source froide à n'importe quelle source chaude. Le type de pompe à chaleur à choisir est fonction des sources qu'elle relie. Par exemple, une pompe à chaleur qui extrait de la chaleur d'une nappe phréatique pour chauffer un bâtiment par l'intermédiaire de radiateurs à basse température sera du type eau/eau, alors que si elle retire de la chaleur à l'air extérieur, elle sera du type air/eau. Si l'on utilise l'air vicié d'un système de ventilation comme source froide en vue de chauffer des locaux par un système à air chaud, on parlera d'une pompe à chaleur air/air.

6. Centre sportif : puissance calorifique

La centrale du nouveau centre sportif doit fournir une puissance calorifique totale de 105 kW, dont la répartition est donnée par le tableau I.

Chauffage à 20°C (34 400 Kcal/h)	40 kW
Ventilation mécanique	
— vestiaires (19 000 Kcal/h)	22 kW
— cuisine/buvette (12 000 Kcal/h)	14 kW
Préparation d'eau chaude, compte tenu d'un coefficient de simultanéité (25 000 Kcal/h)	29 kW
Puissance totale	105 kW

7. Les différentes installations analysées

Nous donnons ci-après un bref descriptif des différentes installations analysées dans le cadre de notre mandat :
 — Chauffage au mazout :
 Chaudière simple en fonte, d'une puissance de 116-128 kW, citerne à

mazout cylindrique de 20 m³, enterrée en zone C, et brûleur à deux allures de marche.

— Chauffage au gaz naturel :

Deux chaudières spécialement conçues pour la combustion au gaz, avec brûleurs atmosphériques incorporés de puissance unitaire de 58 et 70 kW. L'enclenchement des générateurs thermiques se fait par un réglage en cascade selon la charge demandée.

— Chauffage au gaz propane :

Même principe que ci-dessus, sauf que le gaz propane est stocké dans un réservoir de 4,7 m³ à l'air libre.

— Chauffage à chaudière électrique :

Deux chaudières électriques de puissances de 60 et 70 kW, avec réglage en cascade.

— Chauffage par pompe à chaleur :

Une pompe à chaleur avec deux compresseurs semi-hermétiques d'une puissance totale absorbée par les compresseurs de 30 kW, permettant un réglage très souple en fonction de la charge demandée.

Le captage de l'énergie se fait par des serpentins en polyéthylène enterrés à 1,25 m de profondeur sur une surface de 1800 m² environ sur le terrain de football.

La production d'eau chaude est prévue avec un système d'accumulation pour disposer d'un volume-tampon entre la production et la consommation. Cette solution s'impose lors de soutirages instantanés et à grand débit d'eau chaude. Le stockage de l'eau chaude se fait dans un accumulateur de 6 m³, alimenté par les chaudières mentionnées auparavant et par la pompe à chaleur, grâce à un système de charge avec pompe et régulation.

— Chauffage à énergie solaire :

Notre projet prévoyait 24 capteurs solaires plans inclinés à 45°, d'une surface utile de 48 m², recouvrant la totalité du toit du bâtiment des vestiaires.

La consommation d'eau chaude prévue est de 4000 litres à 40°C par jour, avec un débit de pointe de 200 l/min pendant les dix premières minutes. Pendant la saison hivernale, soit de novembre à fin février, on peut admettre une consommation journalière de 1000 à 1500 litres à 40°C.

Compte tenu des données pour une année d'ensoleillement moyen, nous constatons que le captage d'énergie solaire ne serait suffisant que pour les mois de février et mai à septembre. Pour tous les autres mois, soit la moitié de l'année, il est nécessaire de prévoir un complément, soit un serpentin de chauffé dans l'accumulateur, alimenté par une autre source d'énergie.

— Chauffage des locaux :

Le chauffage à une température de 20 à 22°C est assuré par un chauffage

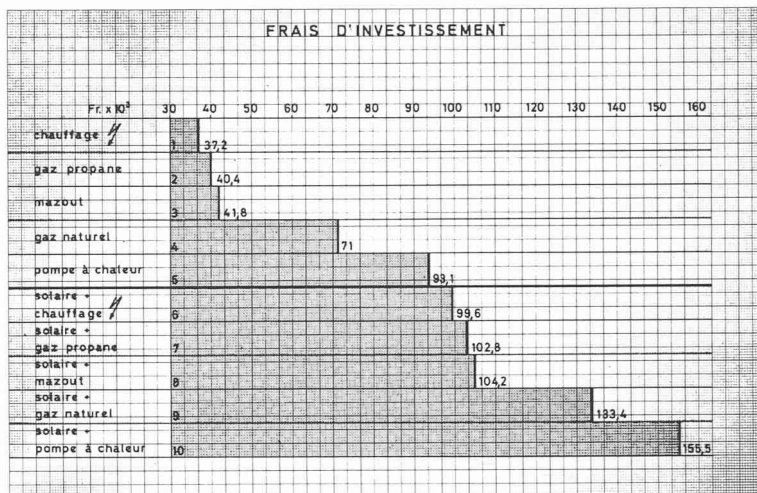


Fig. 4. — Comparaison des frais d'investissement.

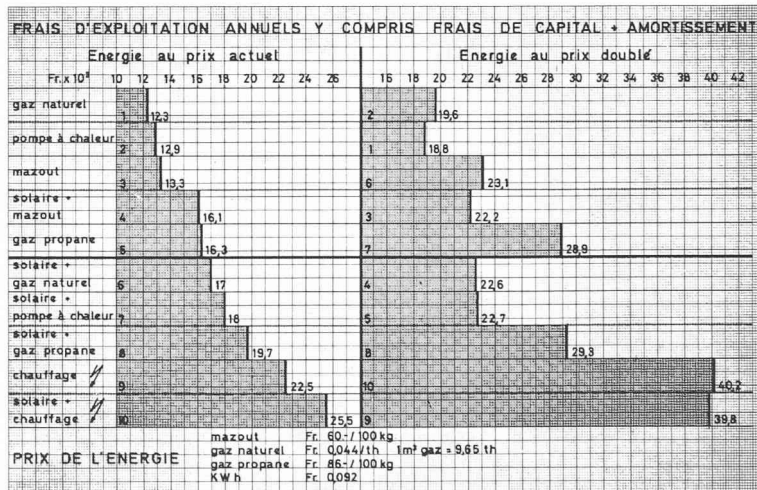


Fig. 5. — Comparaison des frais d'exploitation annuels (y compris frais de capital et amortissement).

de sol à basse température, comportant des tuyaux de polyéthylène noyés dans la chape.

— Ventilation :

Tous les vestiaires ainsi que les douches sont ventilés par de l'air frais pulsé et par un système d'évacuation de l'air vicié. L'air frais est filtré et préchauffé dans un monobloc.

Une installation identique est prévue pour la cuisine et la buvette.

Il est à noter que ces installations ne seront en service que lors de la présence de personnes dans les locaux.

8. Investissements

Le diagramme de la figure 4 montre les coûts d'installation des divers systèmes envisagés.

On constate que le système le plus économique à l'investissement serait celui assurant la production de chaleur par des chaudières électriques, alors que le système demandant l'investissement le plus élevé est celui recourant à la combinai-

son de panneaux solaires et d'une pompe à chaleur.

9. Frais d'exploitation

Le diagramme de la figure 5 comporte deux parties : celle de gauche montre les coûts d'exploitation basés sur le prix de l'énergie de l'été 1979, alors que celle de droite représente les coûts basés sur un prix de l'énergie doublé par rapport à 1979.

Le taux d'intérêt pour le capital investi a été admis de 5 %.

La durée d'amortissement des différents éléments et systèmes a été fixée de la façon suivante :

- Accumulateur à eau chaude en acier inox, pompe à chaleur et constructions : 25 ans.
- Chaudières à mazout et au gaz, citernes et brûleurs : 20 ans.
- Installation de chauffage, robinetterie et tuyauterie : 20 ans.
- Chaudières électriques : 15 ans.
- Capteurs solaires : 10 ans.

L'analyse des coûts d'exploitation nous montre que le système actuellement le plus économique à l'exploitation est le chauffage au gaz naturel, suivi de près par la pompe à chaleur. Le chauffage électrique et le système jumelé solaire/pompe à chaleur sont les plus onéreux. Si nous considérons les frais d'exploitation avec un prix de l'énergie doublé, nous observons une inversion pour la première place entre la pompe à chaleur et le chauffage au gaz, alors que trois solutions avec l'énergie solaire appuyée par une autre source figurent parmi les cinq premières.

10. Installation avec pompe à chaleur

La figure 6 montre de façon simplifiée le principe de l'installation utilisant la pompe à chaleur.

L'accumulateur d'eau chaude sanitaire à 40°C sera chargé pendant la nuit. C'est pour cette raison que la pompe à chaleur fonctionne pendant ce temps à une température de départ constante de 50°C.

Une fois l'eau chaude préparée, la température de sortie de la pompe à chaleur est réglée en fonction des conditions atmosphériques. Ce programme de réglage de la température de départ permet d'obtenir un meilleur coefficient de performance moyen, avec un rendement thermique satisfaisant de l'installation pendant la saison de chauffage.

11. Conclusions

Le choix du système optimum n'était pas aisé. Nous étions d'avis qu'il convenait d'éliminer le chauffage à mazout, la production de chaleur à proximité immédiate des terrains de sport comportant un risque de pollution.

Nous avons proposé d'éliminer le chauffage électrique, à cause des frais d'exploitation trop élevés qu'il implique.

Il a également fallu renoncer au gaz naturel, car l'amenée du gaz n'est actuellement pas assurée et il n'était pas certain que la maison Bobst SA choisisse dans un proche avenir de conduire le gaz naturel vers le centre sportif.

L'installation de chauffage au gaz propane n'a pas été retenue.

L'investissement requis pour la production d'eau chaude par l'énergie solaire

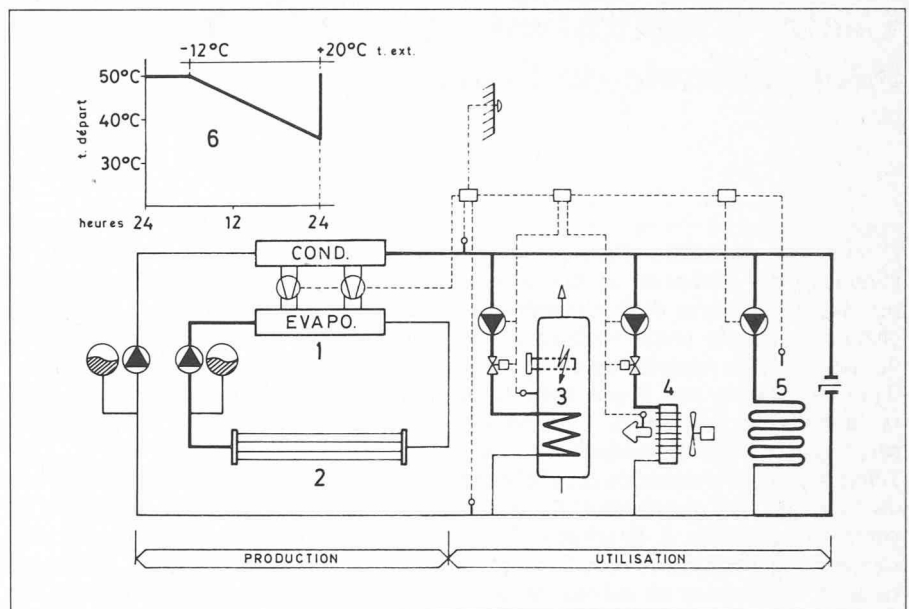


Fig. 6. — Schéma de principe simplifié de l'installation avec pompe à chaleur

1. Pompe à chaleur 30 kW (puissance absorbée par les compresseurs)
2. Capteurs terrestres
3. Accumulateur d'eau chaude : 6 m³/40°C
4. Circuit des batteries de ventilation vestiaires/restaurant-buvette
5. Circuit de chauffage par le sol à basse température des deux bâtiments
6. Programme de réglage de la température de départ

s'avère trop élevé par rapport aux gains réalisés sur les frais d'exploitation.

L'idée de la pompe à chaleur est séduisante : le système lui-même est connu et appliqué depuis fort longtemps. De même, le captage de la chaleur dans le terrain ne pose-t-il pas de problème majeur, à condition de respecter certaines limitations, pour ne pas geler le terrain en hiver par les serpentins-capteurs.

Ce dernier point conduit toutefois à prévoir une très grande surface de captage, avec une puissance captée inférieure à 30 W/m². De cette façon, on évite en toute circonstance la formation d'un bloc de glace recouvrant la totalité de la surface touchée par les serpentins. Il va de soi que nous ne soutenons du terrain que la chaleur propre et que nous faisons abstraction du gain supplémentaire de chaleur latente pouvant être récupérée par la formation de la glace.

Il est essentiel de ne considérer la surface de captage intéressant les serpentins enterrés que comme un panneau solaire, source de chaleur, et non comme un accumulateur.

En conséquence, notre principe de captage consiste à ne pas demander au sol plus d'énergie que ne lui en apporte le soleil.

Ce procédé est déjà éprouvé sur une centaine d'installations à l'étranger, dont la plus ancienne fonctionne depuis dix ans, sans perturbation et sans qu'elle ait gelé le sol. Il n'a surgi aucun problème d'exploitation, ce qui prouve la validité de la technique appliquée.

Si les principes utilisés ne sont pas nouveaux et ont été expérimentés depuis plusieurs années, la taille et la complexité de l'installation du centre sportif de Mex sont exceptionnelles. Une évaluation des installations, portant sur la technique de liaison et de réglage du circuit capteurs terrestres — pompe à chaleur — utilisateurs, sur les chiffres de consommation, sur le rendement thermique et sur le fonctionnement pratique, nous permettra d'une part d'améliorer la gestion de l'installation et d'autre part de tirer des renseignements utiles pour de futurs projets. Ces derniers, même s'ils concernent des applications différentes, pourront tirer parti des principes de base développés pour l'installation du centre sportif de Mex.

Adresse de l'auteur :

Kurt Scheidegger, ingénieur SICC
Directeur technique Boulaz SA
Rue Saint-Louis 4, 1110 Morges

Bibliographie

Techniques et pratique du bureau

Par Elisabeth Rieben. — Un vol. broché, format 16 × 22 cm, 184 pages, illustré. Editions Payot, Lausanne. Prix : Fr. 18.-.

Ce nouvel ouvrage de la collection « Manuels d'enseignement commercial », abondamment illustré, décrit par le menu les divers domaines d'activité d'un bureau d'entreprise ou d'administration : courrier, télécommunication, reproduction de documents, classement, fichier. Il comprend la présentation de toute la gamme des moyens techniques actuellement dispo-

nibles pour l'accomplissement de ces diverses tâches.

Manuel d'enseignement, il donne aux jeunes qui se forment dans la branche commerciale un enseignement complet et moderne.

Ouvrage synthétique et pratique, c'est un guide pour toute personne, cadre, secrétaire ou apprenti, qui a pour tâche d'organiser et d'exécuter un travail

administratif, rationnellement et avec un équipement adéquat.

Au sommaire : Le papier — Les enveloppes — Les machines à écrire — La reproduction de documents — Les télécommunications — Le courrier — Les formules — L'enregistrement de la parole — Le classement — Les fichiers — Le contrôle des délais — L'organisation du poste de travail.