

**CISBAT'91**

**Conférence Internationale**  
**Energie Solaire et Bâtiment**

**Lausanne 10 - 11 octobre 1991**



**Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne**  
**Laboratoire d'Energie Solaire et de Physique du Bâtiment**

**En collaboration avec ENET un service de l'Office Fédéral de l'Energie**

STOCKAGE SAISONNIER DE CHALEUR DE 20'000 m<sup>3</sup> ALIMENTE  
PAR DES CAPTEURS SOLAIRES

D. PAHUD<sup>1</sup>, O. GUISAN<sup>1</sup>, B. LACHAL<sup>1</sup>, B. MATTHEY<sup>2</sup>, A. MERMOUD<sup>1</sup>.

1. *Groupe de Physique Appliquée*  
Université de Genève  
Case postale 81  
CH 1231 CONCHES / GE

2. *Ingénieur-Conseil SA*  
CH 2205 MONTEZILLON / NE

RESUME

Cette étude traite un stockage saisonnier de chaleur diffusif construit sous un bâtiment industriel et opérant à basse température (5-35°C). Nous présentons ses caractéristiques ainsi que les résultats obtenus durant les 2 premières années de fonctionnement (2 cycles charge-décharge). Une modélisation du stockage est entreprise sur la base d'une solution analytique de l'équation de la chaleur (modèle Double Puits). De bons accords sont obtenus avec le modèle suédois DST.

ABSTRACT

This study deals with a diffusive seasonal heat storage built under an industrial building, and operating at low temperature (between 5-35°C). We present its characteristics, including the results obtained during the first two years of operation (2 inject/extract cycles). Also presented is a modeling approach based upon an analytical solution of the heat conduction equation (double well model). The results tally well with the Swedish DST model.

1. INTRODUCTION

Le centre industriel et artisanal Marcinhès (75000m<sup>3</sup>), situé près de Genève à Meyrin, a été construit sur des bases entièrement privées. La conception énergétique, réalisée par B. Matthey et C.-A. Roulet [1,2,3], met en oeuvre 950m<sup>2</sup> de capteurs solaires (chauffage et eau chaude sanitaire), un stockage saisonnier de chaleur de type diffusif, utilisant 20'000m<sup>3</sup> de terre sous le bâtiment, avec, comme échangeur de chaleur 258 forages verticaux de 15m et espacés de 2,3m; une pompe à chaleur à gaz de 215kW, trois chaudières auxiliaires totalisant 650kW (gaz/mazout et bois), ainsi que 3800m<sup>2</sup> de façades double-peau couvrant les 4 faces de l'édifice. Avec une surface chauffée de 18000m<sup>2</sup>, la consommation annuelle en combustible fossile ne devrait pas dépasser 150MJ/m<sup>2</sup> an.

Le stockage est alimenté par les capteurs solaires. En période de chauffage, la pompe à chaleur soutire de l'énergie au stockage,

lorsque les gains des capteurs sont nuls ou ne suffisent pas à satisfaire la demande de chaleur. Le stockage, et par conséquent les capteurs solaires fonctionnent à basse température (typiquement 5-35°C pour le stockage).

Le bâtiment est mesuré en détail par le Groupe de Physique Appliquée de l'Université de Genève. Les mesures ont débuté en mai 1989. Les capteurs solaires font preuve de bon fonctionnement [4]. La pompe à chaleur, quant à elle, n'a pas fonctionné la plupart du premier hiver de marche en raison d'un problème de commande. En conséquence, les capteurs solaires ont dû être partiellement couverts en été 1990 pour éviter de les faire surchauffer. En effet, les tubes en polyéthylène de l'échangeur souterrain sont protégés pour que leur température ne dépasse pas 50°C. Cependant, le coefficient de performance de la pompe à chaleur à gaz est satisfaisant puisqu'il se situe entre 1,7 et 1,9. Nous nous concentrons maintenant sur le stockage saisonnier.

## 2. LE STOCKAGE SOUTERRAIN

Il est isolé uniquement sur sa face supérieure. Les caractéristiques principales sont résumées dans le tableau 1.

Volume	20'000 m <sup>3</sup>
Surface	1400 m <sup>2</sup> (40x35)
Isolation supérieure	5 cm foamglass
Nature du sol	moraine de fond
Nombre de forages	258
Diamètre forage	114 mm
Profondeur forage	15 m
Espacement des forages	2.3 m (mailles carrées)
Echangeur de chaleur	4 tubes formant 2 U
Diamètre des tubes	32 mm
Matériau des tubes	polyéthylène
Contact tubes-sol	sable fin + dispositif permettant l'injection d'eau en tête de forage
Longueur totale des forages	3880 m
Longueur totale des tubes	15'500 m
Connections entre tubes	en séries de 13 forages + stratification radiale du centre à la périphérie
Fluide caloporteur	eau (réseau)
Puissance d'injection max.	200 W/m de forage
Puissance d'extraction max.	25 W/m de forage
Plage de température	~5-35°C
Energie annuelle stockée	~400 MWh

Tableau 1: Caractéristiques du stockage souterrain de l'immeuble Marcinhès.

### 3. DESCRIPTION DES MESURES DU STOCK

Les mesures de température sont effectuées par des résistances platines (PT-100) assurant une précision de l'ordre de 0.1°C.

Rappelons que les quantités suivantes sont mesurées en permanence par la chaîne d'acquisition implantée dans le bâtiment (Moyennes horaires sur la base de 1 mesure par minute):

- Les flux de chaleur totaux injectés et extraits du stock (1 débitmètre + 2 sondes de température).
- Les flux de chaleur pour une série complète de 13 forages ainsi que le premier et le deuxième de ces forages en partant du centre (1 débitmètre et 4 points de mesure de température).
- la température de la cave au-dessus du stockage.

En ce qui concerne les températures du stockage lui-même, elles sont relevées à la main une fois par semaine à l'aide d'un dispositif portable. Ce sont:

- 5 profils verticaux de température effectués jusqu'à une profondeur de 19m à l'aide de 10 PT-100 judicieusement placées (0.5, 1, 2, 6, 10, 13, 14, 15, 16.5 et 19m). Ces profils sont situés au centre des mailles formées par les forages de l'échangeur souterrain. Le 1<sup>er</sup> profil donne une idée des températures au centre du stockage; le 2<sup>e</sup>, à mi-rayon, de la température moyenne, et les 3 derniers, en périphérie, des gradients qui apparaissent sur les bords du stock. Les PT-100 sont montées sur un tube plastique (articulé, diamètre 30mm) rempli de glycérine pour assurer un bon contact thermique tout en évitant un brassage vertical.
- 3 mesures de température à l'interface stockage-dalle inférieure du bâtiment placées au centre du stockage.

### 4. RESULTATS DES MESURES

La figure 1 montre comment les profils de température diffèrent durant les périodes de charge et de décharge du stock. Les profils 4 et 5 (en traitillé) sont en bordure du stockage et pointent en surface vers la température extérieure.

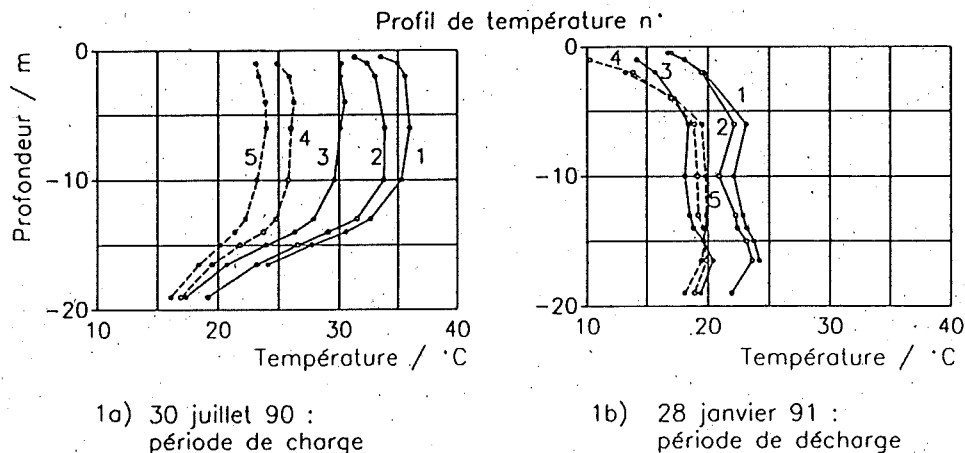


Fig. 1: Profils verticaux de température à divers endroits du stock pour une même date.

La température moyenne du stockage peut être assimilée à la moyenne des températures dans le profil n°2. Même si ces deux valeurs diffèrent de quelques degrés, leur évolution sera tout à fait similaire. La figure 2a montre l'évolution de cette température en fonction du temps, tandis que la figure 2b la montre en fonction du bilan cumulé de chaleur injectée et extraite du stockage (chaleur injectée (+), chaleur extraite (-)). La première montée en température de la figure 2b s'est faite avec des pertes quasi-nulles; l'inverse de la pente donne une capacité thermique de 13-14 MWh/°C, ce qui, avec un volume d'environ 20'000m<sup>3</sup>, donne une capacité thermique volumique comprise entre 2,3 et 2,5 MJ/m<sup>3</sup>°C. Cette valeur est légèrement inférieure à la valeur nominale (2,7 MJ/m<sup>3</sup>°C) mais elle s'est avérée plus adéquate pour simuler le stockage. Les pertes du stock peuvent être évaluées sur la figure 2b par le fait que la température du stockage retourne à la même valeur après 1 cycle. Par exemple, lors du 2<sup>ème</sup> cycle, le stock perd 270 MWh pour retourner à 21°C. Le tableau 2 fait le bilan des 2 premiers cycles de fonctionnement. Les basses valeurs de l'efficacité énergétique des cycles sont dues au non fonctionnement de la pompe à chaleur à gaz (environ 5 mois le 1<sup>er</sup> cycle et 2 mois le 2<sup>e</sup>).

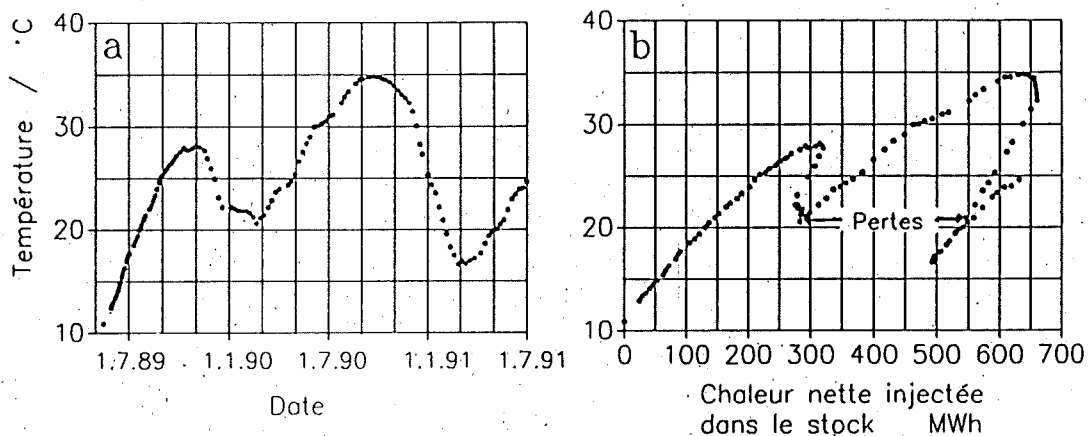


Fig.2: Température moyenne du stockage (profil n°2) en fonction du temps (a) et de la chaleur nette injectée (b).

Energies en MWh	Chaleur injectée Qi	Chaleur extraite Qe	Pertes	Variation d'énergie interne	Efficacité énergétique Qe/Qi
mai 89 - fév. 90	350	-70	-150	-130	20 %
fév. 90 - mars 91	410	-190	-270	50	46 %

Tableau 2: Bilan du stockage durant les 2 premiers cycles (1989-1991).

## 5. MODELES

Nous avons d'abord développé le modèle du "Simple Puits". Nous considérons un échangeur vertical individuel et le milieu qui l'entoure comme une cellule cylindrique. Sans tenir compte des extrémités haut et bas nous résolvons l'équation de la chaleur en imposant des pertes latérales nulles. Tenant compte des conditions initiales, nous obtenons une solution analytique à 1 dimension spatiale, le rayon, pour une température ou un flux sur l'échangeur qui peut évoluer dans le temps. Ce modèle est décrit en détail dans [5]. En donnant en entrée les énergies journalières stockées que l'on répartit équitablement sur chaque échangeur, le modèle calcule l'évolution de la température moyenne d'un stockage sans pertes. Ceci est bien vérifié pour le premier mois de charge en mai 1989 [6].

Le modèle du "Double Puits" considère une deuxième cellule beaucoup plus grande dans laquelle le stockage lui-même diffuse ses pertes. L'intérieur de la cellule est caractérisé par la température moyenne du stockage et l'extérieur est suffisamment éloigné pour que l'énergie diffusée n'en sorte pas. Les pertes sous le stockage sont prises en compte en accroissant de manière adéquate la surface latérale du stockage. Les pertes par le haut sont évaluées par un simple coefficient de transfert thermique. Nous pouvons corriger maintenant le flux de chaleur entrant dans le "Simple Puits" et itérer le procédé. Le modèle du "Double Puits" permet de calculer l'évolution de la température moyenne du stock sur la base des énergies journalières injectées et extraites du stock.

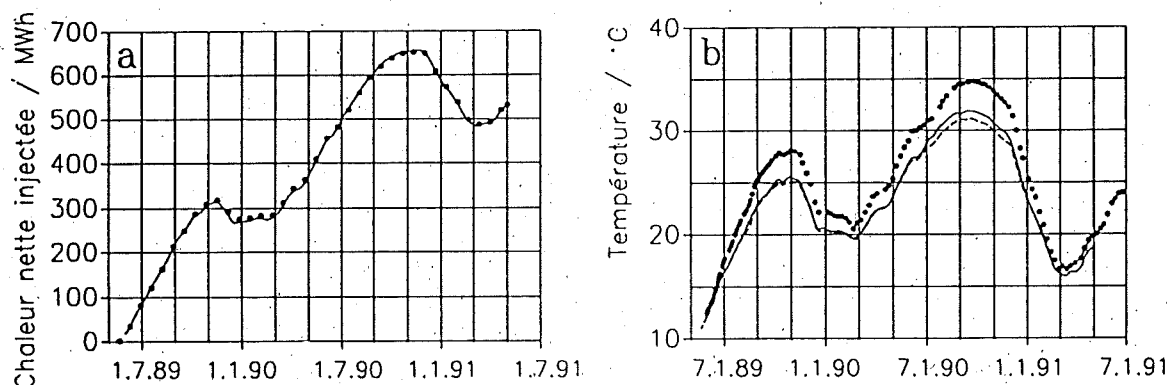


Fig.3 (a): calculs des énergies injectées et extraites cumulées avec DST (—) et comparaison avec les mesures (•••).  
(b): calcul de la température moyenne du stock avec DST (—) et avec le Double Puits (---). La moyenne des températures dans le profil n°2 est également montrée (•••).

Il est difficile de caler un modèle en ne se basant que sur la température moyenne. Celle-ci est difficile à évaluer sur la base de mesures locales dans le stock. Il est préférable de simuler le flux de chaleur total injecté et extrait du stock connaissant la température et le débit du fluide caloporteur. En effet celui-ci traverse et "voit" le stock en entier. Actuellement le modèle du "Double Puits" n'est pas encore prêt pour une telle tâche. Les

paramètres ont été calés à l'aide du modèle suédois DST [7]. La simulation des énergies injectées et extraites sont confrontées aux mesures sur la figure 3a et font preuve de bonne précision. La figure 3b permet de comparer la température moyenne calculée une fois avec DST, une fois avec le "Double Puits" (paramètres compatibles à DST) et enfin avec la température moyenne du profil n°2 tout seul.

## 6. CONCLUSION

Les mesures montrent que le système solaire, le stockage souterrain et la pompe à chaleur à gaz se comportent comme prévu. Le modèle suédois DST s'applique particulièrement bien au stockage saisonnier de l'immeuble Marcinhès, et constitue un outil de référence, en plus des mesures, pour valider et tester le modèle du "Double Puits" qui présente déjà des résultats tout à fait satisfaisants.

## REMERCIEMENTS

Ce travail est supporté par l'Office Fédéral de l'Energie. Nous tenons également à remercier le propriétaire de l'immeuble, M. Rey, pour sa disponibilité et les facilités offertes nécessaires à un tel projet.

## REFERENCES

- [1] B. Matthey, C. Roulet (1987), A Passive Solar Industrial Building Combined with a 20'000 m<sup>3</sup> Seasonal Storage at Meyrin (Geneva) ICBM 87, vol. IV, Presses Polytechniques Romandes, p. 197-203.
- [2] C. Roulet, B. Matthey (1986), Centre industriel et artisanal Marcinhès, Meyrin-Genève. Energie Solaire CH, Fév. 86, p. 37-39.
- [3] B. Matthey (1988), Accumulateur saisonnier de chaleur solaire de 20'000 m<sup>3</sup> par sondes verticales sous un bâtiment industriel à Meyrin-Genève. Jigastock 1988, volume 2, p. 561-565.
- [4] A. Mermoud, D. Pahud, O. Guisan (1991), Performances de l'installation de capteurs solaires à Marcinhès. Cisbat'91, poster P7.
- [5] D. Pahud (1989), Stockage souterrain de chaleur: calcul de diffusion, mesures et comparaisons. Travail de Diplôme - Section Physique - Université de Genève.
- [6] O. Guisan, B. Lachal, B. Matthey, A. Mermoud, D. Pahud (1990), Stockage saisonnier de 20'000m<sup>3</sup> sous un immeuble industriel à Meyrin-Genève, Journées d'information de l'OFEN, 18-19 oct. 90, Berne.
- [7] G. Hellström (1989), Duct Ground Heat Storage Model, Manual for Computer Code, Department of Mathematical Physics, University of Lund, Sweden.