

**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**

# Performances de l'installation de capteurs solaires Marcinhès

A. Mermoud - D. Pahud - O. Guisan

Groupe de Physique Appliquée et  
Centre Universitaire d'Etude des Problèmes de l'Energie  
Université de Genève  
4, ch. de Conches, 1231 Conches

## Résumé

Les performances d'une installation solaire de 1000 m<sup>2</sup> de capteurs plans, couplés à un stockage saisonnier de chaleur, sont analysées en détail sur une période d'environ un an. Le comportement de l'installation est confronté au modèle journalier G3, ainsi qu'au programme pour PC de simulation et dimensionnement correspondant, dont il constitue une nouvelle validation pour des capteurs plans.

## Abstract

Performances of a 1000 m<sup>2</sup> of flat plate collectors solar plant, coupled to a seasonal heat storage, are analysed in detail over about one year. The system behaviour is compared to the daily G3 model, as well as to the simulation and design corresponding PC-program, from which it gives one more validation for flat plate collectors.

## 1.- Situation et intégration de l'installation solaire

Sous l'impulsion de M. Rey, maître de l'ouvrage, le Centre Industriel et Artisanal Marcinhès, à Meyrin (GE), a été doté d'une conception énergétique originale, intégrant diverses technologies non conventionnelles, dont l'indice énergétique prévisible ne devrait pas dépasser 350 MJ/m<sup>2</sup> · an (dont 150 de combustibles fossiles achetés). Selon les concepteurs, le chauffage devrait être assuré par:

- Le solaire passif, grâce à une enveloppe "double peau" (24%)
- Le solaire actif couplé à un stockage saisonnier (21%)
- Les gains internes (19%)
- Des déchets de bois (6%)
- Le reste étant assuré par l'énergie fossile (gaz ou fuel, 29%).

Une équipe de l'Université de Genève a été mandatée l'Office Fédéral de l'Energie pour évaluer les performances globales de cette réalisation.

Le système de captation solaire actif est constitué de 1063 m<sup>2</sup> (surface d'ouverture) de capteurs plans, équipés de 936 m<sup>2</sup> d'absorbeurs sélectifs de type "Energie Solaire SA". Leur structure en châsses d'aluminium, inclinés à 45°, constitue

la couverture de l'immeuble. Les capteurs sont regroupés en deux champs distincts, désignés respectivement par -CC et -CE dans la suite (cf table 1). Le champ CC est destiné au stockage saisonnier uniquement, alors que le champ CE doit assurer la préparation de l'eau chaude sanitaire en priorité; cependant, le ballon de 5m<sup>3</sup> prévu à cet effet n'était pas encore en service lors de la campagne de mesures, si bien que toute la chaleur produite était utilisée pour le stockage.

Le stockage souterrain (22'000 m<sup>3</sup> de moraine sèche), dont l'échangeur est constitué de 258 forages de 14.5 m disposés selon une maille carrée de 2.3m de côtés, doit fonctionner entre 5 et 35°C. Il peut emmagasiner environ 420 MWh de chaleur, restituée en hiver par une pompe à chaleur à gaz. La température initiale du terrain était de 10°C; durant la campagne de mesures solaires concernée ici, elle s'éleva jusqu'à 29°C en octobre 89, puis de 22° à 32° de mi-mars à fin mai 90.

## 2.- Mesure des paramètres du système solaire

Le champ CC a été mis en service en mai 89, le champ CE à la mi-août. Les mesures ont débuté le 20 juin 89 pour le premier, et dès la mise en service pour le second. Cependant, la distribution très inhomogène du rayonnement observé sur les capteurs nous ont conduits à installer une batterie de 4 pyranomètres respectivement en haut, milieu, quart-bas et bas du chède. Ces instruments ne furent opérationnels qu'à partir du 9 septembre 89, date effective du début des mesures de référence.

Lors de l'étude d'un tel système, la première étape est la mesure de ses paramètres fondamentaux: efficacité optique  $\eta_0$ , facteur de pertes thermiques K, capacité thermique C, propriétés de l'échangeur de chaleur. Ces paramètres seront normalisés ici à la surface d'absorbeurs, choisie comme surface de référence. Exprimés par rapport à la surface d'ouverture, ils devraient être diminués de 9%.

La détermination expérimentale des paramètres  $\eta_0$  et K est issue d'un ajustement linéaire sur le diagramme d'efficacités horaires, enregistrées au milieu de la journée lorsque les effets d'incidence (transmission ou ombrages) sont minimums [4]; dans ce diagramme, chaque point tient compte de la variation d'énergie interne emmagasinée dans le circuit au cours de l'heure. Le facteur de pertes ainsi déterminé inclut les pertes de la tuyauterie de la boucle solaire. D'après l'estimation de ces pertes additionnelles (par calcul selon les matériaux, car inaccessible à la mesure directe), le facteur de pertes du capteur seul devrait avoisiner 3.2 à 3.8 W/m<sup>2</sup>K. Nous avons envisagé une dépendance linéaire du facteur de pertes selon la différence de température entre capteurs et ambiant, mais celle-ci n'est pas significative dans la plage de températures rencontrées lors de cette campagne.

D'une manière plus directe, le facteur de pertes de la boucle peut être mesuré de nuit, en échauffant les capteurs grâce à la la chaleur du stock. La mesure de la chaleur nécessaire fournit directement le facteur K. De plus, laissant tourner la pompe après avoir stoppé l'alimentation, la constante de temps de la décroissance exponentielle en température fournit le rapport C/K, donc la capacité thermique de la boucle.



### 3.- Données journalières et simulations

Les données journalières d'un système solaire sont traditionnellement exprimées par le diagramme d'entrée/sortie (fig 1), où, pour une température de fonctionnement donnée, elles s'alignent assez bien sur une droite. Nous pouvons tenter un ajustement bi-linéaire sur ces données, mais les paramètres régissant cette distribution ne peuvent être reliés directement aux paramètres fondamentaux du système.

C'est pourquoi nous avons développé le modèle G3 qui, moyennant quelques hypothèses raisonnables, et à partir de la résolution analytique du comportement du système, calcule l'énergie quotidiennement fournie par un système solaire à partir de l'énergie journalière incidente sur les capteurs et la température d'utilisation [4]. Notons que ce modèle est le reflet du comportement purement thermique de l'installation: tous les effets optiques (corrections dues aux angles d'incidence, ombrages, etc...) doivent être inclus dans le calcul de l'ensoleillement "effectif" journalier (noté  $H_{eff}$ ) atteignant réellement les absorbeurs.

Renormalisant les axes du précédent diagramme à l'aide des pertes du système évaluées selon la philosophie du modèle G3, les données journalières sont alors regroupées sur une trajectoire unique, donnée par le modèle G3, qui ne dépend plus que du paramètre  $C/K \cdot L$  (et d'ailleurs très faiblement). Il est alors remarquable que les données de n'importe quel système solaire bien géré (c'est-à-dire avec une régulation optimale), suivent un comportement identique sur ce diagramme. La figure 3 montre la comparaison directe entre les données mesurées et le modèle G3 de base, calculé avec la température réelle de fonctionnement des capteurs (moyennée sur chaque journée).

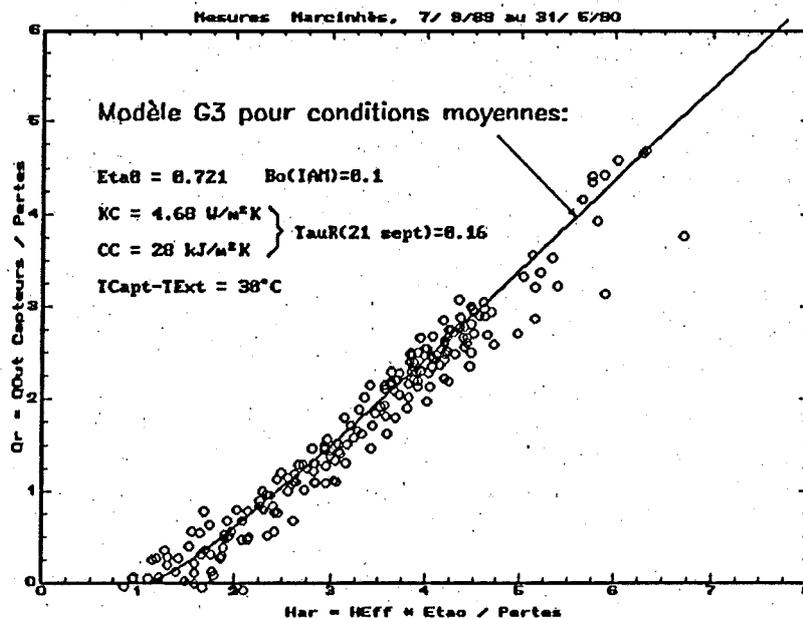


Fig 2.- Diagramme d'entrée/sortie généralisé et modèle G3

où les pertes =  $K \cdot \Delta T_L \cdot L \cdot 2/\pi$

( $\Delta T_L$  = diff. moyenne de température capteurs - ambiante durant le fonctionnement)

L = Longueur du jour sur le plan des capteurs)

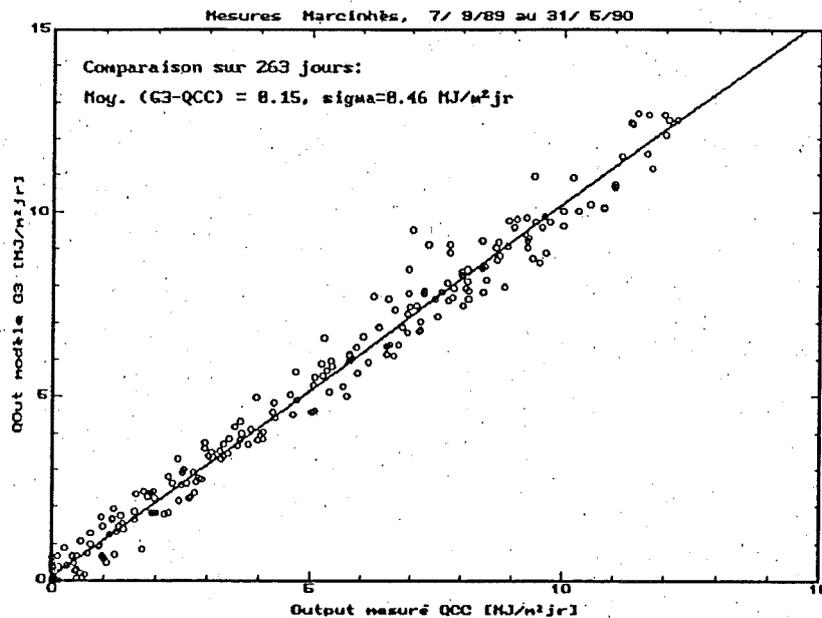


Fig 3.- Comparaison du modèle de base G3 avec les données

Enfin, le modèle G3 a été intégré dans un programme PC convivial, incluant un générateur d'ensoleillement, et différents systèmes complets tenant compte des besoins de l'utilisateur, avec utilisation directe de la chaleur ou stockages par ballons (non saisonniers) selon diverses philosophies. Avec les températures moyennes mensuelles mesurées pour le plan de capteurs, les prédictions de ce programme approchent les données avec une erreur inférieure à 0.15 MJ/m<sup>2</sup>jour, soit moins de 3 minutes de soleil!

Le programme G3 est surtout destiné au dimensionnement de systèmes. En guise d'exemple, nous l'avons utilisé pour effectuer une étude de sensibilité aux paramètres, en définissant des "élasticités" comme le rapport de la variation de l'énergie annuelle produite pour une variation donnée d'un paramètre (exprimée en %/%), sauf pour les angles ou températures, pour lesquels on normalisera à une variation d'un degré. Les résultats apparaissent sur la table 2; ils fournissent une bonne intuition de l'importance relative des paramètres. Ils indiquent en particulier que le plus sensible est l'efficacité optique, que l'effet du facteur de pertes ou de la capacité thermique augmente rapidement avec la température, ou encore que l'orientation a peu d'importance.

#### 4.- Conclusions

En conclusion, on peut affirmer que le modèle G3, de même que son intégration en un programme complet, fonctionne avec une excellente précision y compris pour un système de capteurs plans. La qualité des résultats obtenus dans la pratique du dimensionnement d'un système ne dépend pratiquement que de la précision des paramètres du champ et de la connaissance du comportement de l'utilisateur. On trouvera sur la fig. 4 le bilan mensuel et annuel de l'installation.

Paramètre	Valeur de base	Elasticité à TCapt=40°C	Elasticité à TCapt=60°C
Efficacité optique E <sub>tao</sub>	0.72	1.43	2.0
Facteur de pertes KC	4.7 W/m <sup>2</sup> K	-0.43	-0.85
Capacité thermique CC	27 KJ/m <sup>2</sup> K	-0.05	-0.11
Facteur d'échange global KS	20 W/m <sup>2</sup> K	0.31	-----
Orientation (azimuth)	46°	0.37%/°	0.43%/°
Inclinaison capteurs	45°	0.27%/°	0.26%/°
Température capteurs	-----	-2.0 % / °C	-2.3 % / °C

Table 2.- Elasticités des paramètres du champ de capteurs Marcinhès

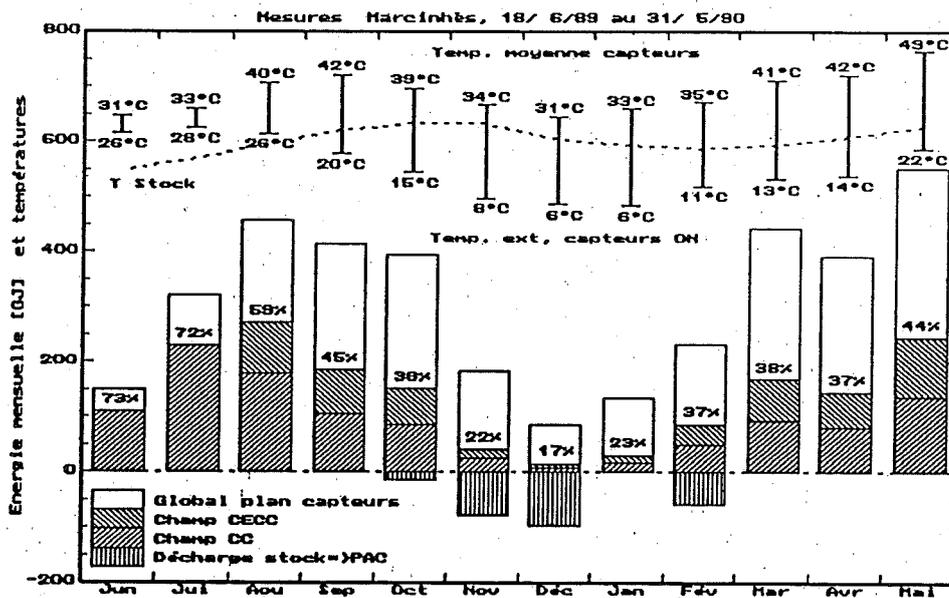


Fig 4.- Bilans mensuels du fonctionnement de l'installation solaire  
Du 20/6/89 au 31/5/90, le champ CC a fourni 2117 MJ/m<sup>2</sup> utiles, pour une température moyenne capteurs de 39°C (Text = 19.9 °C pendant le fonctionnement), soit un rendement de 47.2%.

#### Références

- [1] D. Pahud, O. Guisan, B. Lachal, B. Matthey, A. Mermoud: Etude d'un stockage saisonnier de chaleur de 20'000 m<sup>3</sup> alimenté par des capteurs solaires. Cisbat '91, poster P8.
- [2] A. Mermoud, D. Pahud, O. Guisan, B. Lachal: Etude du Centre Industriel et Artisanal de Marcinhès à Meyrin (GE). Rapport partiel. Groupe de physique Appliquée et Centre Universitaire pour l'Etude des Problèmes de l'énergie, Univ. de Genève., sept 1991.
- [3] B. Lachal, O. Guisan, A. Mermoud, O. Rudaz : Le programme G3 pour PC: description, validation et mode d'emploi. GAP, Univ. de Genève, mai 1988.
- [4] O. Guisan, B. Lachal, A. Mermoud: Universal Daily Input/Output Diagrams for Thermal Solar Collection Subsystems, part I and II. International Journal of Solar Energy, vol. 8, 1990.