

## REDUCTION DES PERTES DE CHARGE ENTRE DES CAPTEURS SOLAIRES EN PARALLELE

## REDUCTION OF LOAD LOSSES BETWEEN OF THE SOLAR COLLECTORS IN PARALLEL

T. AJZOUL, H. EZBAKHE, A. EL BOUARDI

Laboratoire de Thermique Energie solaire et environnement

Faculté des Sciences, BP 2121- Tétouan - MAROC.

E-mail : tajzoul@fst.ac.ma

### **Résumé :**

*On présente une méthode de couplage de capteurs solaires en parallèle basée sur l'optimisation de la forme du distributeur et du collecteur, conduisant à une réduction des pertes de charge entre les capteurs solaires. La modélisation des pertes de charge ainsi que leurs superposition par analogie électrique, dans chaque branche de l'installation, sont utilisées pour la construction d'un critère d'optimisation. La résolution du problème et la minimisation du critère d'optimisation est réalisée par la mise en place d'une méthode de type itératif (méthode de gradient). Les résultats sont donnés pour le cas de 3 capteurs en parallèle, mais l'étude peu être étendue au cas d'un nombre élevé de capteurs. On montre, qu'avec les valeurs optimales obtenues, l'amélioration de l'installation est évidente, puisque le critère d'optimisation prend une valeur très faible par rapport à sa valeur initiale, correspondant à l'installation classique.*

**Mots clés :** *Couplage de capteurs solaires / superposition des pertes de charge / optimisation / forme du distributeur / forme du collecteur / méthode de gradient.*

### **Abstract:**

*In this paper, we present a method for coupling solar collectors in parallel based on the optimization of the distributor and of the collector shape, leading to a reduction of load losses between the solar collectors.*

*The modeling of the load losses and their superposition by electrical analogy, in each branch of the installation, are used to obtain an optimization criterion. The resolution of the problem and the minimization of the optimization criterion are carried out by an iterative method (gradient method).*

*The results are given in the case of 3 collectors in parallel, though the study can be extended to the case of a high number of collectors. We show, that with the optimal values obtained, the improvement of the installation is evident, since the optimization criterion takes a very low value as compared to its initial value corresponding to the traditional installation.*

**Key word:** *Coupling solar collectors / superposition of the load losses / optimization / distributor shape / collector shape / gradient method.*

### 1. INTRODUCTION

Les applications de l'énergie solaire exigent de grandes surfaces de captation, donc de plusieurs insolateurs disposés en parallèle ou en série. L'expérience a montré que pour augmenter le rendement d'une installation, les capteurs solaires doivent fonctionner dans les mêmes conditions de pertes de charge et de débit de fluide. Ce qui semble difficile à réaliser dans le cas des capteurs en parallèle.

Dans cette étude, nous présentons une méthode de couplage de capteurs en parallèle, basé sur l'optimisation de la forme du distributeur et du collecteur, conduisant au fonctionnement identique des insolateurs. Le principe de superposition des pertes de charge par analogie électrique est utilisé dans l'optimisation en vue de réduire les pertes de charge dans plusieurs cas d'installations de capteurs solaires.

### 2. PRESENTATION DE L'INSTALLATION

L'installation, proposée pour la réalisation d'un système de chauffage de l'eau, est constituée par N capteurs couplés en parallèle et en boucle de Tickelman. A la différence d'une installation classique [3], le distributeur et le collecteur présentent des rétrécissements et des élargissements (figure 1).

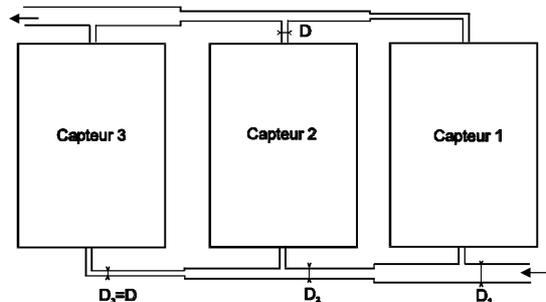


Figure 1 : Installation de capteurs solaires (Cas N=3).

L'arrivée de l'eau froide se fait par le distributeur cylindrique avec rétrécissement de diamètre  $D_1$  à un débit  $Q$ . Ce débit est ensuite réparti entre les  $N$  capteurs par l'intermédiaire des conduites de diamètres  $D_2, D_3, \dots$ . L'eau chaude ainsi obtenue est récupérée par le collecteur (également cylindrique avec élargissements de même forme que le distributeur), et circule vers le système de stockage ou le lieu d'utilisation.

### 3. SUPERPOSITION DES PERTES DE CHARGE ET METHODE D'OPTIMISATION

Lors du mouvement du fluide dans l'installation, se trouve le processus de transformation irréversible de l'énergie mécanique du courant en chaleur, la variation de la pression due à cette transformation est appelée perte de charge. Du fait de la géométrie de l'installation, nous distinguons, en plus des pertes de charge dans les capteurs solaires, deux autres types de pertes de charge [1, 2] :

- Les pertes de charge par frottement ou linéaires dues aux conduites droites de la forme:

$$\Delta H = \xi \frac{\gamma V^2}{2g}$$

V: vitesse moyenne de l'écoulement dans la section de la conduite considérée.

$\gamma$  : poids spécifique du fluide considéré.

$\xi$  : coefficient de pertes de charge.

- Les pertes de charge locales, dues à diverses singularités (coude, branchement de dérivation, élargissement brusque, rétrécissement brusque ...). On détermine la perte de charge chaque élément de l'installation sous la forme :

$$\Delta H = \frac{\gamma Q^2}{2gS^2} \Phi\left(\frac{D}{D_k}, \frac{Q}{Q_k}\right)$$

$\Phi$  s'exprime en fonction des diamètres  $D, D_k$  et des débits  $Q, Q_k$  de fluide dans les diverses singularités [1]. L'étude de la superposition de ces pertes de charge dans chaque branche de l'installation, permet de déterminer les diamètres  $D_i$  ( $i=1, 2, \dots, N$ ) des différentes conduites pour avoir une répartition uniforme de débit  $Q$  du fluide dans les  $N$  capteurs solaires.

Le principe de superposition des pertes de charge s'applique en utilisant l'analogie entre un circuit électrique et l'installation de production d'eau chaude:

$$\begin{aligned} \Delta V &: \text{différence de potentiel} \rightarrow \Delta H : \text{perte de charge} \\ I &: \text{courant électrique} \rightarrow Q : \text{débit du fluide} \\ R_e &: \text{résistance électrique} \rightarrow R_H : \text{résistance hydraulique} \\ \Delta V = R_e I &\longrightarrow \Delta H = R_H Q^2 \end{aligned}$$

On peut donc appliquer les lois de l'électricité aux circuits séries, parallèles et mixtes. Dans notre cas d'installation solaire, l'analogie électrique permet de d'aboutir à un circuit simple parallèle [3]. Nous savons que dans ce circuit, la différence de potentiel ( pertes de charge) est la même dans chacune des branches en parallèle; elle est la même qu'en circuit unique, et si les résistances électriques (résistances hydrauliques) sont identiques, les courants électriques (débits ) le sont aussi, ce qui correspond à un rendement optimal de l'installation.

Ainsi, nous cherchons le dimensionnement optimal des conduites de connexion qui correspondraient à des pertes de charge identiques :

$$\Delta H_i(x_k) - \Delta H_j(x_k) = 0, \quad j > i, \quad (i, j = 1, 2, \dots, N)$$

$\Delta H_i(x_k)$ : pertes de charge dans la branche  $i$ ;

$x_k$ : paramètres géométriques de l'installation;

$N$ : nombre de capteurs solaires en parallèle.

Du point de vu variation physique des  $x_k$ , la solution du système ne semble pas évidente, on peut tendre vers cette solution en considérant le critère d'optimisation général [4] :

$$\text{Min}_{x_k} \sum_{i < j} (\Delta H_i(x_k) - \Delta H_j(x_k))^2$$

Posons :

$$y_i(x_k) = \alpha N^2 (\Delta H_i - \Delta H c_i - \Delta H l_i)$$

Les trois types de pertes de charge sont relatifs aux pertes de charge dans le capteur solaire  $i$  ( $\Delta H c_i$ ), pertes de charge par frottement ( $\Delta H f_i$ ) et pertes de charge locales, dues à diverses singularités ( $\Delta H l_i$ ).

avec

$$\alpha = \frac{2gS^2}{\gamma Q^2} \quad \text{et} \quad x_k = \frac{S}{S_k} = \left( \frac{D}{D_k} \right)^2$$

Nous écrivons le problème d'optimisation en utilisant un critère quadratique [5] :

$$\text{Min}_{x_k} J(x_k) = \text{Min}_{x_k} \sum_{i < j} (y_i - y_j)^2$$

Où  $J(x_k)$  est le critère d'optimisation.

Ainsi, par exemple pour une installation de trois capteurs ( $N=3$ ), le principe de superposition des pertes de charge donne :

$$\begin{cases} y_1 = x_1^4 + 18x_1^2 + 8x_2^2 - 8x_1x_2 - 2x_2 + 2 \\ y_2 = x_2^4 + 11.4x_1^2 + 9.5x_2^2 - 10x_1x_2 + 0.75 \\ y_3 = 3.15x_1^2 + 0.9x_2^2 - 2x_1x_2 - 0.5x_2 + 1.75 \end{cases}$$

Un raisonnement identique permet d'obtenir l'expression du critère pour un autre cas de nombre de capteurs solaires.

#### 4. ALGORITHME DE RESOLUTION ET RESULTATS

La méthode itérative de résolution est une méthode de gradient [4]. L'initialisation de l'algorithme est choisie en donnant aux paramètres, les valeurs calculées pour une installation classique où il n'existe ni rétrécissement ni élargissement du distributeur et du collecteur.

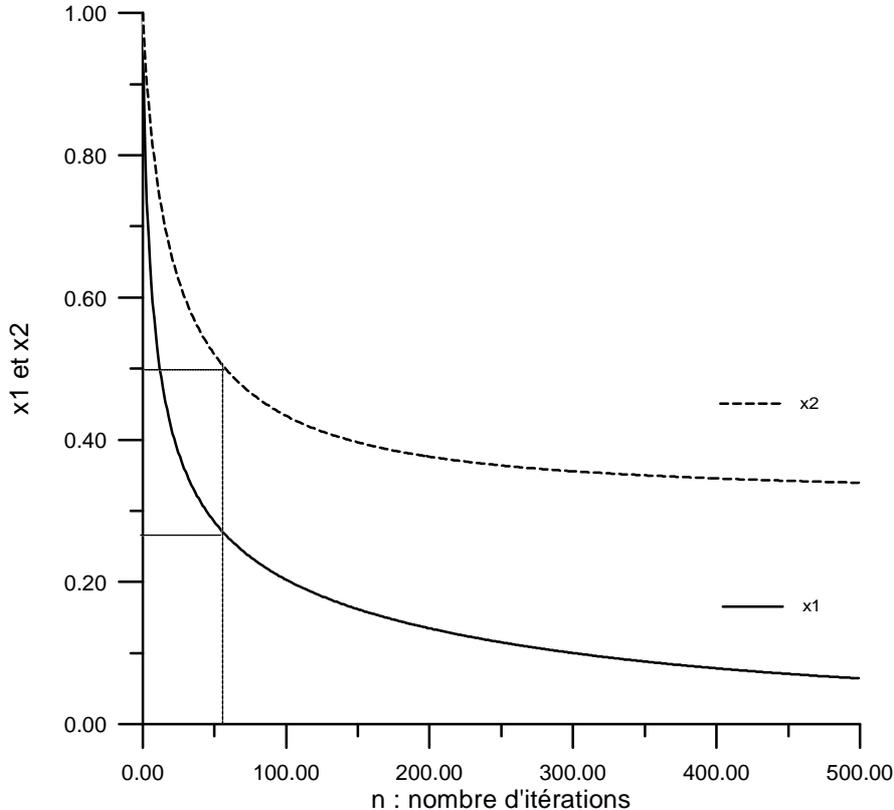


Figure 4 : Evolution de la taille des conduites en fonction du nombre d'itérations.

La procédure d'optimisation, basée sur la minimisation du critère  $J$ , conduit aux résultats donnés pour le cas de l'installation à 3 capteurs en parallèle. Ainsi dans la figure 2, l'évolution de la taille des conduites de connexion est illustrée en fonction du nombre d'itérations. Les valeurs optimales concernant le cas de l'installation à 3 capteurs sont données par le tableau 1.

Paramètres d'optimisation	valeurs d'initialisation	1% de $J$	valeurs optimales
$x_1$	1	0.27	0.064
$x_2$	1	0.50	0.339
$J$	373	3.74	0.446
Nombre d'itérations: $n$	0	58	500

**Tableau 1 : Résultats d'optimisation (Cas d'une installation à 3 capteurs).**

Avec les valeurs optimales obtenues, l'amélioration de l'installation est évidente puisque le critère d'optimisation prend une valeur très faible par rapport à sa valeur initiale ; correspondant à l'installation classique.

## 5. CONCLUSION

Dans le but d'augmenter le rendement des installations de capteurs solaires, nous avons proposé un couplage de capteurs en parallèle, à l'aide d'un distributeur et d'un collecteur présentant des rétrécissements et des élargissements. La méthode d'optimisation utilisée a permis, non seulement d'avoir une répartition presque uniforme du débit dans les capteurs, mais aussi de minimiser les pertes de charge entre les capteurs solaires et les pertes de charge globales dans l'installation, ce qui a pour effet d'augmenter le rendement de l'installation et d'économiser d'avantage l'énergie nécessaire pour la circulation du fluide caloporteur.

Les valeurs optimales résultant de l'étude, peuvent aussi aider à la conception d'une installation où le distributeur et le collecteur sont de forme conique.

## BIBLIOGRAPHIE

- [1] I. EIDEL'CIK, Mémento des pertes de charge, Editions Eyrolles, PARIS 1969.
- [2] B. NEKRASSOV, Cours d'hydraulique, Editions MIR, 1967.
- [3] T AJZOUL, Analyse et optimisation des systèmes mécaniques et thermiques, DESA, Energétique et Mécanique, Faculté des Sciences, Tétouan 1998.
- [4] A. ALJ et R. FAURE, Guide de la recherche opérationnelle, Masson 1990.
- [5] AJZOUL.T, C. CHAUSSAVOINE, P. FORGES, Optimisation des échanges thermiques dans un réacteur solide-gaz, Revue générale de thermique n° 382, P.515, octobre 1993.