

Méthodes simplifiées de calcul des performances des centrales solaires

1 Principe des méthodes

Dans l'étude de la conversion thermique par capteurs solaires, on est amené à privilégier les phénomènes de seuils (démarrage, transition entre régimes de fonctionnement...) et de non linéarité du rendement en fonction de l'éclairement. Le gisement solaire est donc bien caractérisé par la courbe de fréquences cumulées.

Pour des capteurs d'un type donné caractérisé par leur facteur optique τ et leur conductance thermique vers l'extérieur U , la régulation étant choisie (valeurs du différentiel, débit massique \dot{m}), la quantité de chaleur qu'on peut récupérer, au mieux, ne dépend que de la température d'entrée (T_e) du fluide caloporteur dans les capteurs. Nous l'appellerons "Energie disponible au niveau de température T_e " et nous la noterons $Q(T_e)$.

La manière la plus simple de la calculer est d'admettre que pendant chaque tranche horaire, le régime stationnaire correspondant à l'éclairement moyen horaire et à la température extérieure est établi : arrêt, régime stationnaire d'impulsions ou régime permanent sans arrêt de la pompe. C'est une fonction affine de la surface de la CFC située sous le seuil.

On appelle énergie utilisable la surface comprise entre la courbe elle-même et le seuil de fonctionnement. Elle peut elle aussi être déterminée analytiquement sur la base des formulations des CFC, pour fournir les courbes d'utilisabilité présentées ci-après.

2 Courbes d'utilisabilité

Si la valeur de seuil réduite d'une installation solaire vaut y_s , l'énergie solaire utilisable est donnée par :

$$g(y_s) = \int_{y_s}^1 f(t) dt \quad (10)$$

Il est ainsi possible d'exprimer g sous la forme :

$$g(y) = g_0(y) + A_1 g_1(y) + A_2 g_2(y) + A_3 g_3(y) + A_4 g_4(y) + A_5 g_5(y) + A_6 g_6(y) + A_7 g_7(y) + A_8 g_8(y)$$

avec

$$g_0 = 0,5 (1-y)^2 (1-y)$$

$$g_1 = (2y + 1) (1-y)^2 (5/6)^{0,5}$$

$$g_2 = y^2 (1-y)^2 (105/2)^{0,5}$$

$$g_3 = (1-y)^2 (1 + 2y - 42y^2 + 84y^3) (1/10)^{0,5}$$

$$g_4 = y^2 (1-y)^2 (1 - 4y + 4y^2) (1155/2)^{0,5}$$

$$g_5 = (1-y)^2 (1 + 2y - 207y^2 + 1404y^3 - 2970y^4 + 1980y^5) (13/420)^{0,5}$$

$$g_6 = y^2 (1-y)^2 (18 - 176y + 605y^2 - 858y^3 + 429y^4) (35/4)^{0,5}$$

$$g_7 = (1-y)^2 (1 + 2y - 627y^2 + 8404y^3 - 41470y^4 + 94380y^5 - 100100y^6 + 40040y^7) / 210 (595)^{0,5}$$

$$g_8 = y^2 (1-y)^2 (30 - 520y + 3445y^2 - 11154y^3 + 18837y^4 - 15912y^5 + 5304y^6) (10,45)^{0,5}$$

Cette courbe, dite d'utilisabilité (figure 1), se lit très facilement : l'énergie quotidienne H utilisable à Ajaccio au dessus du seuil de 200 W/m^2 , sur un plan horizontal, est égale à 4500 Wh/m^2 en juillet et 600 Wh/m^2 en janvier. Ces valeurs chutent à 1010 Wh/m^2 pour le seuil de 500 W/m^2 en juillet et à 0 en janvier.

On peut ainsi, pour différents seuils, déterminer l'énergie disponible au cours de l'année (figure 2).

Le calcul de la production des capteurs se fait en multipliant cette énergie par le facteur optique τ , et en soustrayant les pertes thermiques, égales au produit de l'écart ($T_e - T_{ext}$) par U et par le nombre d'heures de fonctionnement. Le seuil variant en fonction de T_{ext} , il faut commencer par déterminer la puissance de seuil pour

chaque mois, en prenant comme valeur de la température extérieure T_{ext} la moyenne diurne, les capteurs solaires ne fonctionnant pas la nuit.

Connaissant les courbes d'utilisabilité, il est possible de déterminer l'énergie disponible au niveau de température T_e recherché.

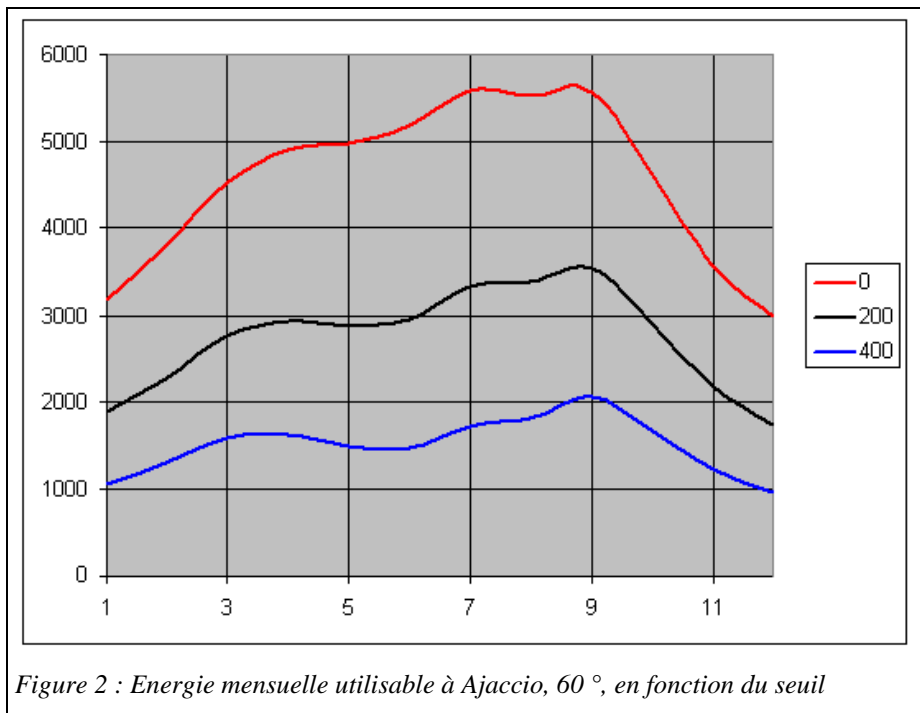
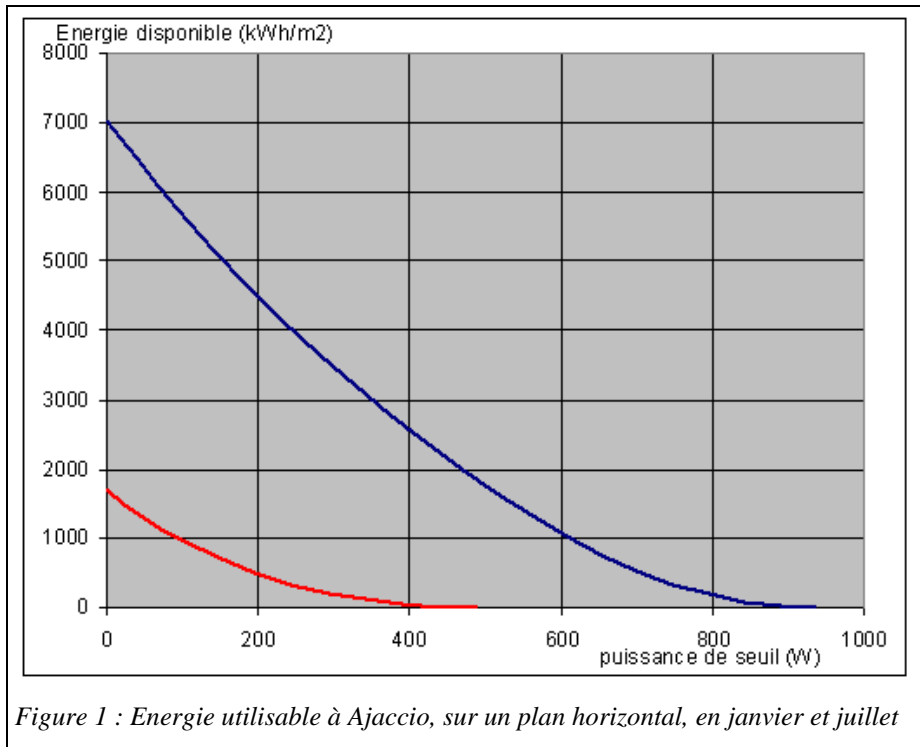
Cette énergie est en effet égale à la somme de plusieurs termes :

- l'énergie utilisable telle que donnée par les courbes de la figure 1, multipliée par le facteur optique τ des capteurs solaires
- l'énergie de seuil, multipliée par le nombre d'heures au dessus du seuil et par le facteur optique τ des capteurs solaires
- les pertes thermiques, comptées négativement, multipliées par le nombre d'heures au dessus du seuil

Les deux premiers termes correspondent à l'ensemble de l'ensoleillement reçu par les capteurs, réduit du facteur optique, et le troisième aux pertes thermiques. Il se trouve que la somme des deux derniers est nulle, de telle sorte que la seule prise en compte du premier suffit.

Dans une centrale électrosolaire, toute la puissance thermique sortant du champ de capteurs n'est toutefois pas convertie en électricité, du fait de :

- la nécessité de stocker cette énergie lorsqu'elle est disponible, en attendant que la chaleur stockée soit suffisante pour que la centrale électrique fonctionne de manière stabilisée, ce qui induit certaines pertes de stockage ;
- la capacité de stockage, qui est nécessairement limitée, de telle sorte qu'à certaines périodes comme en été, la chaleur solaire peut se révéler excédentaire, ce qui induit des pertes spécifiques supplémentaires à cette



période.

On peut considérer un rendement constant de stockage pour le premier de ces termes, et fonction de l'ensoleillement reçu et du volume de stockage pour le second. Les méthodes simplifiées se révélant incapables de calculer l'influence de ces pertes, elles incluent souvent des termes correctifs basés sur des logiciels de simulation horaire qui permettent de les estimer avec une précision acceptable.

BIBLIOGRAPHIE

ADNOT, J., BOURGES, B., CAMPANA, D., et GICQUEL, R. Utilisation des courbes de fréquences cumulées de l'irradiation solaire pour le calcul des installations solaires. In : Climatologie solaire. Ed. CNRS, Paris, 1979.

BOURGES B., European simplified methods for active solar system design, ISBN: 0792317165, Kluwer academic publishers, Dordrecht, The Netherlands, 1991.

KLEIN, BECKMAN et DUFFIE, "A design procedure for solar heating systems" Solar Energy, vol. 18, p. 113, 1976.

SWANSON et BOEHM, "Calculation of long term solar collector heating system performance" Solar Energy, vol. 19, p.129, 1977.