CONSIDERATIONS ECONOMIQUES SUR L'ENERGIE SOLAIRE

Il est apparu utile et opportun de soulever dans le cadre de la Commission Socio Economique du COMPLES, que dirige le Professeur G.NEBBIA de l'Université de Bari, les problèmes économiques qui se posent déjà dans l'utilisation de l'Energie Solaire.
L'analyse ci-dessous qui sera suivie d'autres exposés dans les prochains bulletins et feuilles de liaison du COMPLES est destinée à instaurer un large débat sur cet important sujet.

I - Exposé de M. G.NEBBIA

L'analyse thermo-économique du problème des sources d'énergie nous offre pour la comparaison parmi les différentes formes d'énergie une base commune, celle du contenu exergétique, c'est à dire de la quantité d'énergie mécanique qu'une machine parfaite peut produire, utilisant l'énergie considérée.

La valeur exergétique de la chaleur est donnée, comme on sait, par

$$\text{Exergie} = \text{Chaleur} \ \frac{\Delta T}{\Delta T + T_0} \qquad (1)$$

Dans le présent article, nous considérons comme valeur exergétique de la partie thermique du rayonnement solaire, celle qui est utilisée dans les insolateurs solaires pour le chauffage d'eau, la distillation des eaux saumâtres, la production de vapeur, etc ...

Il va sans dire que la recherche scientifique solaire n'a pas nécessairement besoin de prendre en considération les facteurs économiques. Mais par ailleurs, il peut être intéressant d'identifier quels types d'insolateurs solaires assurent l'utilisation la plus convenable, au point de vue de l'économie de cette source d'énergie, pour les besoins de l'homme.

Je me propose de présenter mes reflexions sur la direction dans laquelle il est plus avantageux de réunir les efforts de l'héliotechnique afin de produire de l'énergie au prix de revient le plus bas.

En particulier il faut savoir s'il vaut mieux construire des insolateurs très simples et peu chers, mais propres à donner seulement de la chaleur à basse température (moins de 120° C), ou des insolateurs plus compliqués et plus chers, pour obtenir de la chaleur aux températures supérieures à 200°C.

La question a été traitée lors de la réunion du COMPLES, à Marseille, en 1966, et dans un article récent du même auteur (*).

Dans la situation actuelle de l'héliotechnique il est possible d'atteindre des températures jusqu'à 120°C avec des insolateurs plans, utilisant l'effet de serre, sans orientation, qui sont en mesure de capter le rayonnement solaire total, tant direct que diffusé, ce qui est possible avec un isolement de la partie postérieure de l'insolateur et avec un système de couverture permettant de réduire les pertes par convection et rayonnement.

Mais si on veut obtenir avec l'énergie solaire de la chaleur à des températures supérieures à 150° C, il faut concentrer le rayonnement solaire par des systèmes beaucoup plus compliqués (et beaucoup plus chers) au fur et à mesure qu'on veut obtenir des températures plus élevées.

En d'autres mots, la valeur exergétique de la chaleur obtenue par le rayonnement solaire augmente, mais également le coût des insolateurs et les frais d'exploitation. Pour arriver à une analyse quantitative de ces considérations, admettons que le prix de revient de l'exergie solaire soit donné par une expression de la forme :

$$C_{ex} = (C_p\ t + C_m) \frac{1}{R_s(d+f) \dfrac{\Delta T}{\Delta T + T_0}} \qquad (2)$$

....

(*) *G'NEBBIA, Innovazioni tecnologiche e loro convenienza economica , Quaderni di Merceologia (Bologna),5,(1),15-34 (1966).*

où :

C_{ex}	est le prix de revient de l'exergie en F/kcal (ex)
C_p	est le coût de l'insolateur, en F/m^2
t	est le taux d'amortissement, en an^{-1}
C_m	indique les frais d'exploitation et d'entretien, en $F/m^2.an$
R_s	est l'intensité du rayonnement solaire total, en kcal (therm)/m^2.an; supposons que R_s est égal à $1{,}0 \times 10^6$ kcal (therm)/m^2.an
d	est la fraction du rayonnement direct
f	est la fraction du rayonnement diffus ; $(d + f) = 1$

$\Delta T = T - T_0$ où T est la température absolue à laquelle la chaleur est disponible dans l'insolateur $T_0 = 293\,°K$.

Le coût de l'insolateur est fonction de la différence de température ΔT; dans l'article cité (*) J'ai proposé de remplacer $(C_p\, t + C_m)$ par

$$(C_p\, t + C_m)(a\, \Delta T^2 + b) \tag{3}$$

comme une expression valable entre 20 et 500°C.

Conformément à l'expérience disponible je propose pour cette fonction la forme suivante :

$$a\, \Delta T^2 + b = 0{,}0001\, \Delta T^2 + 1{,}0 \tag{4}$$

Il est possible que cette fonction ait des formes différentes, mais je crois que la (4) est suffisamment correcte. Le tableau 1 porte la valeur numérique obtenue pour les équations (3) et (4).

Ces valeurs indiquent que les frais annuels amortis et les frais d'exploitation et d'entretien d'un insolateur qui donne de la chaleur à 500° C sont à peu près 15 fois les frais correspondant à l'obtention de la chaleur à 100° C : conclusion qui semble raisonnable si on considère la complexité du système de captation du rayonnement et du système d'orientation des miroirs, la précision optique nécessaire, le travail necessaire pour la correction de l'orientation, pour le nettoyage des miroirs, etc ...

Dans le cas des insolateurs sans concentration il est possible d'utiliser le rayonnement solaire total $(d + f) = 1$; dans celui des dispositifs avec concentration, f devient pratiquement zéro. R_s d est fonction de ΔT ; il en résulte généralement, dans les pays chauds, que $d = 0{,}6 - 0{,}9$.

Une valeur $R_s\, d = 0{,}8\, R_s = 800.000$ kcal (therm)/m2.an peut être considérée comme acceptable, quoique optimiste.

Le prix de revient de l'exergie peut être considéré, selon qu'il s'agit d'insolateur avec ou sans concentration :

Pour des températures inférieures à 150°C :

$$C_{ex} = (C_p\, t + C_m)(0{,}0001\, \Delta T^2 + 1{,}0)\, \frac{1}{1.000.000\, \dfrac{\Delta T}{\Delta T + T_0}} \tag{5a}$$

Pour des températures supérieures à 150° C :

$$C_{ex} = (C_p\, t + C_m)(0{,}0001\, \Delta T^2 + 1{,}0)\, \frac{1}{800.000\, \dfrac{\Delta T}{\Delta T + T_0}} \tag{5b}$$

Si on veut remplacer les symboles par des nombres, par exemple :

C_p	300 F/m^2
t	0,10 an^{-1}
C_m	0,20 C_p an^{-1}

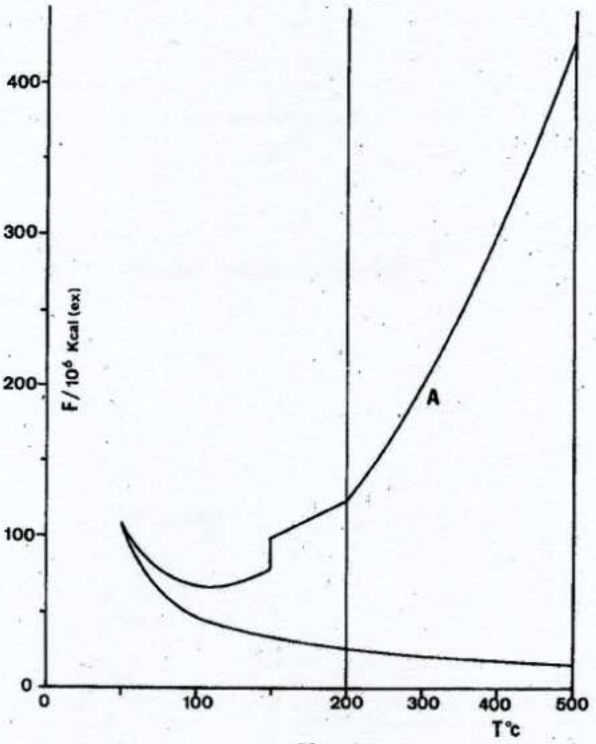

fig. 1

TABLEAU I

Fonction $(C_p\,t + C_m)(a\,\Delta T^2 + b)$ (3)

Si on pose :

$C_p = 300$ F/m^2 ; $a = 0{,}10$ an^{-1} ; $C_m = 0{,}20\,C_p$; $a = 10^{-4}$; $b = 1$

T C	ΔT	$(a\,\Delta T^2 + b) =$ $0{,}0001\,\Delta T^2 + 1{,}0$	$(C_p\,t + C_m)(a\,\Delta T^2 + b) =$ $90\ (0{,}0001\,\Delta T^2 + 1{,}0)$ F/m^2. an
50	30	1,1	99
100	80	1,6	145
120	100	2,0	180
150	130	2,7	245
200	180	4,2	380
250	230	6,3	570
300	280	8,8	790
400	380	15,5	1500
500	480	24,0	2150

On obtient les résultats de la figure 1, où la courbe A indique le prix de revient de l'exergie solaire et la courbe B indique le prix de revient de l'exergie correspondant à la chaleur obtenue par un combustible fossile, dont le prix est 10 F/10^6 kcal(therm).

Toutes les considérations qui précèdent n'envisagent pas le coût de l'équipement pour l'utilisation de la chaleur obtenue dans les insolateurs; elles envisagent seulement le prix de revient de l'éxergie correspondant à la chaleur disponible dans les insolateurs mêmes.

Les résultats du graphique 1 indiquent que généralement le prix de revient de l'exergie solaire est plus grand que celui de l'exergie obtenue par des combustibles fossiles.

Néanmoins, si on veut obtenir l'énergie par le rayonnement solaire, il est plus avantageux, du point de vue thermoéconomique, d'utiliser des insolateurs sans concentration, qui permettent d'obtenir de la chaleur à température de 100 - 150°C.