



UN LIBRARY

JUN 15 1961

Distr.
LIMITEE

E/CONF.35/S/84/Summary
6 mai 1961
FRANCAIS/ANGLAIS
ORIGINAL: FRANCAIS



UNITED NATIONS CONFERENCE
ON NEW SOURCES
OF ENERGY

CONFÉRENCE
DES NATIONS UNIES
SUR LES SOURCES NOUVELLES
D'ÉNERGIE

SOLAR ENERGY, WIND POWER AND GEOTHERMAL ENERGY

ÉNERGIE SOLAIRE, ÉNERGIE ÉOLIENNE ET ÉNERGIE GÉOTHERMIQUE

Point de l'ordre du jour / Agenda item :

II.C.1.(b)(i) - Utilisation de l'énergie solaire pour la production d'énergie
mécanique et d'électricité -
Par conversion directe en électricité -
Au moyen de convertisseurs thermo-électriques

Use of solar energy for mechanical power and electricity
production - By direct conversion to electricity -
By means of thermo-electric converters

ORIENTATION DES RECHERCHES TECHNIQUES
DE L'I.E.S.U.A. POUR LA PRODUCTION D'ENERGIE
A PARTIR DU RAYONNEMENT SOLAIRE

Par M. PERROT

Directeur, Institut de l'énergie solaire
Université d'Alger, Algérie

et M. TOUCHAIS

Ingénieur, chargé de recherches
Institut de l'énergie solaire
Université d'Alger, Algérie

TECHNICAL RESEARCH TRENDS AT I. E. S. U. A. FOR
ENERGY PRODUCTION FROM SOLAR RADIATION

By M. PERROT

Director, Institute of Solar Energy
University of Algiers, Algeria

and M. TOUCHAIS

Research Engineer, Institute of Solar Energy
University of Algiers, Algeria

PAPERS HAVE BEEN CONTRIBUTED TO THE UNITED NATIONS CONFERENCE ON NEW SOURCES OF ENERGY BY INVITATION AND ARE FOR DISTRIBUTION AS WORKING PAPERS FOR THAT CONFERENCE. THEY ARE PUBLISHED AS PRESENTED BY THE AUTHORS, AND THE CONTENTS AND THE VIEWS EXPRESSED ARE THOSE OF THE AUTHORS.

LES AUTEURS ONT PRESENTE SUR INVITATION A LA CONFERENCE DES NATIONS UNIES SUR LES SOURCES NOUVELLES D'ENERGIE DES MEMOIRES QUI SERONT DISTRIBUES COMME DOCUMENTS DE TRAVAIL DE LA CONFERENCE. CES MEMOIRES SONT PUBLIES TELS QUE LES AUTEURS LES ONT REDIGES ET LES VUES QU'ILS CONTIENNENT SONT CELLES DES AUTEURS.

NOTES

1. The working languages of the Conference are English and French. All papers contributed are reproduced in one or other of these two languages. Where a paper has been reproduced in both working languages for the convenience of a rapporteur, both language versions are provided as part of the Conference documentation.

2. Where any paper has been contributed in one of the official languages of the UN other than English or French, then it has been made available to the conference in that language. A translation of such papers in either English or French (according to the request of the relevant rapporteur) is provided.

3. Summaries of all papers, as presented by the authors, will be available in both working languages—English and French. Summaries will not include diagrams and photographs and should be read in conjunction with the paper proper, which will bear the same reference number as the summary.

4. Papers and summaries will not be generally available for distribution to other than participants and contributors to the Conference until after the Conference, under publication arrangements to be announced.

1. Les langues de travail de la Conférence sont l'anglais et le français. Tous les mémoires présentés sont reproduits dans l'une ou l'autre de ces deux langues. Lorsqu'un mémoire est reproduit dans les deux langues de travail sur la demande d'un rapporteur, la version anglaise et la version française du mémoire font toutes deux parties de la documentation de la Conférence.

2. Lorsqu'un mémoire est présenté dans une langue officielle de l'ONU autre que l'anglais ou le français, il est publié dans cette langue. Les mémoires appartenant à cette catégorie sont en outre publiés en traduction anglaise ou française (selon la demande du rapporteur chargé du sujet considéré).

3. Des résumés de tous les mémoires, établis par les auteurs eux-mêmes, seront publiés dans les deux langues de travail: anglais et français. Les résumés ne contiendront ni diagrammes ni photographies, et il conviendra de les rapprocher du mémoire lui-même, qui portera le même numéro de référence que le résumé.

4. Les mémoires et les résumés ne pourront en général être distribués à des personnes autres que les participants et les auteurs qu'après la Conférence et selon des modalités de publication qui seront annoncées ultérieurement.

M. PERROT, Directeur
M. TOUCHAIS, Ingénieur - Chargé de Recherches.

Institut de l'Energie Solaire de l'Université d'Alger

ORIENTATION DES RECHERCHES TECHNIQUES DE L' I.E.S.U.A.

POUR LA PRODUCTION D'ENERGIE A PARTIR DU RAYONNEMENT SOLAIRE

R E S U M E

L'I.E.S.U.A. se propose d'étudier tous les procédés de production d'énergie à partir du Rayonnement Solaire, mais il désire mettre l'accent sur les procédés immédiats de transformation industrielle. Dans l'état actuel de la technique, seuls les procédés thermiques peuvent être valablement envisagés. Il s'agit donc de collecter des quantités importantes d'énergie solaire et de les concentrer suffisamment pour obtenir des températures à caractère industriel.

Si un tel résultat peut être obtenu par des moyens compétitifs dans certaines conditions, les techniciens spécialistes : thermiciens, thermodynamiciens, ingénieurs chimistes, etc. peuvent se charger de trouver selon leurs méthodes propres, l'utilisation industrielle de l'énergie thermique ainsi mise à leur disposition.

Mais avant de se consacrer entièrement à ce problème majeur, l'I.E.S. croit nécessaire de procéder à une analyse systématique des phénomènes dont le concours pourra être requis ultérieurement.

Les Auteurs exposent dans une première partie quelques principes directeurs de leurs recherches. Ils observent en particulier que, contrairement à ce que l'on croit communément, l'énergie solaire est une énergie très chère, qui est surtout abondante pour une transformation industrielle dans les zones arides et plus spécialement au SAHARA. Par ailleurs, les problèmes de stockage ne se posent vraiment que pour les petites puissances ou encore lorsque on utilise des températures relativement basses ; sinon c'est un problème de puissance de complément qui se pose et qui peut être heureusement résolu au SAHARA au moyen des énergies fossiles.

Les Auteurs observent enfin que la source froide que requiert toute trans-

formation thermodynamique de l'énergie solaire, ne peut se trouver au SAHARA que dans l'air ambiant ; il en résulte le grand intérêt des systèmes qui peuvent faire mouvoir de grandes masses d'air sans intervention d'autre énergie que l'énergie solaire.

Le programme des travaux de l'Institut de l'Energie Solaire se comprend dès lors aisément : étude de la radiation solaire, étude des insolateurs et plus particulièrement des cheminées solaires, étude des générateurs thermoélectriques, tout d'abord des générateurs à exposition directe, c'est à dire des insolateurs thermoélectriques, ensuite à circulation des fluides, ce qui entraîne l'étude du système des miroirs et des chaudières.

Dans une seconde partie, les Auteurs examinent rapidement les procédés de captation avec concentration du rayonnement solaire qui sont à l'étude et qui comportent pour des températures inférieures à 300°C, des collecteurs orientables formés d'éléments de miroirs paraboloides et fonctionnant par focalisation multiple. Ces collecteurs sont destinés à chauffer des liquides thermophores.

Pour des températures supérieures à 300°C, les projets se résument dans l'utilisation de deux procédés nouveaux qui envisagent l'emploi d'éléments de miroirs paraboloides déformables distribués sur de grandes surfaces.

Ces miroirs sont constitués de simples tôles planes d'aluminium brillantes et aluminées et convenablement déformées. Une bonne focalisation a été obtenue avec une tôle d'aluminium de 16/10 mm d'épaisseur, à une distance de 9 m.

Dans une troisième partie, les Auteurs examinent les conditions techniques de réalisation des générateurs thermoélectriques destinés à fonctionner au SAHARA. Deux conditions sont fondamentales.

- a) les générateurs thermoélectriques doivent être organisés pour être refroidis par circulation d'air. Or cet air peut atteindre en certaines circonstances des températures relativement élevées : 40 ou 45°C.
- b) le salissement des systèmes de captation ou des couvertures transparentes des insolateurs peuvent amener d'importantes réductions de l'énergie incidente et des frais élevés d'exploitation pour le nettoyage. Les surfaces qui ont été traitées pour être sélectives perdent leurs propriétés sous la poussière.

L'utilisation du système d'équations classiques pour étudier le fonctionnement théorique des générateurs thermoélectriques, conduit à une assez grande complexité analytique, et les Auteurs observent que dans le cas de l'emploi des matériaux thermoélectriques actuellement sur le marché dont les rendements sont faibles, il est possible de négliger certains termes et de simplifier ainsi l'appareil mathématique. Ils observent d'autre part que les pertes d'un insolateur thermoélectrique par la couverture transparente, peuvent être mis généralement sous forme parabolique en fonction de l'écart de températures entre l'armature chaude et le milieu ambiant. Ils font intervenir alors les rapports suivants :

- rapport de forme $\gamma = \frac{h}{s}$, h étant la hauteur du barreau de section s,
- le rapport $k = \frac{R_f}{R_i}$ de la résistance thermique R_f du radiateur à celle R_i du barreau,

- le rapport de concentration $C = \frac{S_i}{S}$ ou rapport de la surface insolée en contact thermique avec l'armature chaude à la section s du barreau,
- enfin le rapport $\sigma = \frac{S_r}{S}$ de la surface du radiateur à celle du barreau.

Dans ces conditions, la température de l'armature froide s'exprime simplement en fonction de celle de l'armature chaude et de la température ambiante. On a

$$T_c - T_f = \frac{T_c - T_a}{1 + k} .$$

Les formules qui donnent la valeur des différentes grandeurs sont établies facilement, même dans le seul cas qui est examiné et qui correspond au refroidissement du radiateur par l'air. On a en particulier

$$P_u = A s \sigma \frac{(T_c - T_a)^{2,25}}{4 \tau} \sqrt[4]{\frac{k^5}{(1 + k)^9}} ,$$

formule dans laquelle :

P_u est la puissance utilisable,

A le coefficient de transfert de chaleur par convection,

T_c température de l'armature chaude, en $^{\circ}\text{C}$,

T_a température ambiante, en $^{\circ}\text{C}$,

$\tau = \frac{\alpha^2}{\rho \chi}$ température caractéristique du matériau, en $^{\circ}\text{K}$.

Le chauffage de l'armature chaude peut être réalisé, soit par circulation d'un fluide au préalable chauffé au moyen du soleil, soit par exposition directe au soleil.

Le chauffage par circulation d'un fluide est le plus rationnel car il permet de faire fonctionner la pile thermoélectrique à températures constantes. On montre qu'il existe une valeur optima du rapport k , soit $k = 1,25$. Le dimensionnement de la pile se fait alors aisément en partant de cette condition, et on constate que son rendement global peut atteindre des valeurs relativement élevées. Ainsi, il a été calculé que le rendement global pouvait atteindre 3 % pour des barreaux en bismuth-tellure d'origine américaine et fonctionnant à 200°C . Le calcul montre que la hauteur du barreau est très faible, soit de l'ordre de 2 mm .

Dans le cas du chauffage par insolation directe, les calculs sont beaucoup moins faciles et il faut faire intervenir des simplifications numériques. Des conditions de puissance maxima sont alors établies et qui dépendent du rapport de concentration C . On constate que l'on est conduit à des hauteurs relativement grandes du barreau, à moins d'adopter des concentrations élevées, et à des puissances relativement faibles. Mais alors que dans le cas de la circulation d'un fluide chauffé au moyen du soleil les variations diurnes de la radiation ne se traduisent que par une variation du nombre des générateurs en parallèle, dans le cas du chauffage par insolation directe, les variations de l'énergie incidente

se traduisent par des variations beaucoup plus grandes de la tension aux bornes et de la puissance fournie. Les conditions de rendement maximum ne peuvent être satisfaites que pour une valeur déterminée de la radiation. Il en résulte, en dernière analyse, que le mode de chauffage par insolation directe est actuellement onéreux et doit être abandonné.

Toutes les particularités de fonctionnement des générateurs thermoélectriques peuvent être étudiées commodément au moyen d'une analogie électrique moyennant certaines hypothèses simplificatrices que l'on est en droit de faire lorsqu'il s'agit de semi-conducteurs dont les rendements internes sont faibles, ce qui est le cas. Toutefois, il n'est pas possible de représenter avec assez de précision sur le circuit analogique, les phénomènes réels de transfert de chaleur, aussi paraît-il intéressant d'étudier sur un prototype réel les véritables performances calculées par ailleurs. Bien que le générateur à exposition directe ne puisse être considéré comme la solution définitive des générateurs thermoélectriques, il a pour lui l'avantage d'être très rustique, aussi l'Institut de l'Énergie Solaire de l'Université d'Alger a construit un prototype qui tient compte des sujétions sahariennes rappelées plus haut. Les surfaces réceptrices du rayonnement solaire ne sont donc pas des surfaces sélectives. Le générateur est constitué par une surface de préchauffage relativement importante avec une légère circulation d'air qui vient apporter de la chaleur à l'armature chaude concurrentement au rayonnement solaire. Le générateur comporte également une surface de post-chauffage et une cheminée pour accélérer le tirage de l'air de refroidissement ; ce dernier étant très sec, il est prévu la possibilité de l'humidifier pour le refroidir.

Afin que la construction du prototype ne se confine pas dans la solution de problèmes gratuits, il a été conçu pour une destination précise à l'alimentation d'un poste météorologique automatique à émission radio-électrique. Il a été nécessaire alors, pour compenser les variations de tension dues aux variations du rayonnement solaire, d'interposer entre le générateur et l'utilisation un convertisseur continu-continu servant à la fois de régulateur de tension, d'adaptation d'indépendance et de stockage de l'énergie.

En conclusion, les Auteurs attirent l'attention sur le problème fondamental de ces générateurs qui réside dans le radiateur d'évacuation de la chaleur. Des essais sont actuellement en cours pour augmenter la surface relative σ du radiateur.

TECHNICAL RESEARCH TRENDS AT I.E.S.U.A. FOR
ENERGY PRODUCTION FROM SOLAR RADIATION

by

M. PERROT, DIRECTOR

and

M. TOUCHAIS, RESEARCH ENGINEER

Institute of Solar Energy, University of Algiers

SUMMARY

The I.E.S.U.A. proposes to study all methods of producing energy from solar radiation, but it desires to emphasize direct industrial conversion processes. In the present state of the art, only thermal processes may be validly envisaged. What is to be done, then, is to collect large amounts of solar energy and to concentrate them sufficiently to give industrial temperatures.

If such a result is attainable by competitive means under certain conditions, the specialized engineers - heat engineers, specialists in thermodynamics, chemical engineers, etc. - may undertake to find, according to their own methods, the industrial utilization of the thermal energy thus placed at their disposition.

But before devoting itself completely to this major problem, the I.E.U.S.A. believes it essential to proceed to a systematic analysis of the phenomena that may later be used.

In the first part of this paper, the authors give several principles that have guided their research. They note, in particular, that, contrary to the general belief, solar energy is a very costly form of energy, which is abundant for industrial conversion primarily in arid regions, and more particularly in the Sahara. There are, however, really no storage problems, except for low-power applications, or when relatively low temperatures are employed; but there is a problem of auxiliary power, which can be satisfactorily solved with fossil fuels, in the Sahara.

The authors note, finally, that the heat sink required for every thermodynamic transformation of solar energy can be found in the Sahara only in the atmosphere. This fact is responsible for the great interest that attaches to systems capable of moving large masses of air without using any energy other than solar.

The research programme of the Institute of Solar Energy can thus be readily understood : study of solar radiation, study of solar collectors, with special reference to solar chimneys, study of thermoelectric generators, primarily of the direct-exposure type, that is, thermoelectric solar collectors to be followed by the study of fluid-circulation generators, which involves the study of systems of mirrors and boilers.

In the second part of the paper, the authors rapidly examine the systems of collecting and concentrating solar energy now under study, which consist, for temperatures under 300°C , of orientable collectors formed of paraboloidal mirror elements, and operate by multiple focusing. These collectors are designed to heat liquid heat-transfer agents.

For temperatures over 300°C , the projects boil down to the utilization of two new processes employing elements of deformable paraboloidal mirrors distributed over large surfaces.

These mirrors have been built of simple flat sheets of polished aluminium or aluminized sheet metal, appropriately deformed. A good focus at a distance of 9 m was obtained with aluminium sheet 1.6 mm thick.

In the third part, the authors discuss the technical conditions for the developments of thermoelectric generators to operate in the Sahara. Two conditions are fundamental.

a) Thermoelectric generators must be designed to be cooled by air circulation. But this air may under certain circumstances reach the relatively high temperatures of 40 or 50°C .

b) Dirt on the collector systems or transparent covers of solar collectors may cause large decreases in the incident energy and involve high operating expense

The use of the system of classical equations for studying the theoretical operation of thermoelectric generators results in great analytic complexity, and the authors note that where the low-efficiency thermoelectric materials now on the market are used, certain terms may be neglected, thus simplifying the mathematical apparatus. They also note that the losses of a thermoelectric generator due to the transparent covering may in general be expressed in the parabolic form as a function of the temperature drop between the hot armature and the atmosphere. They now introduce the following ratios :

form factor $\gamma = h/S$, h being the height of the bar of section s ;

the ratio $k = R_f/R_i$ of the thermal resistance R_f of the radiator to R_i , that of the bar;

the concentration ratio $C = S_i/S$, or the ratio of the insolated surface in thermal contact with the hot armature to the section s of the bar;

finally, the ratio $\sigma = S_r/s$ of the radiator surface to the bar surface.

Under these conditions, the temperature of the cold armature is expressed simply, as a function of the hot armature temperature and the ambient temperature. We have

$$T_c - T_f = \frac{T_c - T_a}{1 - k}$$

The formulae giving the values of the various quantities are easily established, even in the only case examined, which corresponds to air cooling of the radiator. We have, in particular :

$$P_u = A s \sigma \frac{(T_c - T_a)^{2.25}}{1 - k} \sqrt[4]{k^5 / (1 - k)^9}$$

where

P_u is the useful power;

A the convective heat-transfer coefficient;

T_c the hot-armature temperature, in $^{\circ}C$;

T_a the ambient temperature, in $^{\circ}C$;

$\tau = \frac{\alpha_2}{\rho X}$ the characteristic temperature of the material, in $^{\circ}K$.

The hot armature may be heated either by circulation of a fluid itself first heated by the sun, or by direct exposure to the sun.

Fluid-circulation heating is more rational, since it permits operation of the thermoelectric pile at constant temperatures. The authors show that there is an optimum value of the ratio k , namely $k = 1.25$. The pile is then easily dimensioned, starting out from this condition, and the authors find that its global efficiency may attain relatively high levels. Thus they calculate that the global efficiency may reach 3% for bars of bismuth telluride from the United States operating at $200^{\circ}C$. Calculation shows the height of the bar to be very low, of the order of 2 mm.

In the case of heating by direct insolation, the calculations are much less easy and numerical simplifications must be applied. Conditions for maximum power are then established. They depend on the concentration ratio C . The authors note that a relatively high bar results, unless elevated concentrations are adopted; and that the power will be relatively low. But in the case of circulation of a fluid heated by the sun, the diurnal variations of the radiation will only cause changes equivalent to those due to varying the number of generators in parallel, while in the case of heating by direct insolation, the variations of the incident energy

will lead to much greater fluctuations of the voltage across the terminals and of the power output. The conditions of maximum efficiency can be satisfied only by a certain value of the radiation. The result, in the last analysis, is that the method of heating by direct insolation is disadvantageous today, and should be abandoned.

All the details of operation of thermoelectric generators may be studied conveniently by means of an electrical analog, applying certain simplifying hypotheses which are justified in the case of semiconductors of low internal efficiency, as is, in fact, the case. But the real heat-transfer phenomena cannot be represented with sufficient precision on the analog circuit, so that it is of interest to study on a real prototype the true performances already calculated. Although the direct-exposure generator cannot be considered the definitive solution for the thermoelectric generator, it does have the advantage of being very rude and unsophisticated. The Institute of Solar Energy of the University of Algiers has therefore built a prototype that takes account of the above restrictive conditions of the Sahara. The surfaces for receiving the solar radiation are thus nonselective. The generator consists of a relatively large preheating surface with a gentle circulation of air, which delivers heat to the hot armature ~~ensemble~~ concurrently with the solar radiation. The generator also has an after-heating surface and a chimney to accelerate the draught of cooling air. Since this air is very dry, the possibility of humidifying it to cool it is also envisaged.

To prevent the design of the prototype from being restricted to the solution of unmotivated problems, it was conceived for a precise destination to feed an automatic meteorological station with radio and line transmission of data. It was necessary in this case, to compensate the voltage fluctuations due to the variations in solar radiation, to interpose between the generator and the load a D.C.-D.C. converter serving at the time as a voltage regulator, an independent adapter, and an energy accumulator.

In conclusion, the authors call attention to the fundamental problem of these generators, which lies in the heat-removal radiator. Experiments are now in progress with a view to increasing the specific surface of the radiator.

