**Zeitschrift:** Revue économique et sociale : bulletin de la Société d'Etudes Economiques et Sociales

**Herausgeber:** Société d'Etudes Economiques et Sociales

**Band:** 32 (1974)

**Heft:** 1

**Artikel:** Demain l'énergie solaire?

**Autor:** Glaser, Peter-E.

**DOI:** https://doi.org/10.5169/seals-137247

**Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

**Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

**Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

**Download PDF:** 15.07.2025

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch**

# Demain l'énergie solaire?

Dr Peter-E. Glaser
vice-président, Arthur D. Little Inc./Cambridge/Mass.

## A LA RECHERCHE D'UNE NOUVELLE SOURCE D'ÉNERGIE

L'énergie est un éternel sujet d'enchantement. Sans cesse en quête de nouvelles sources d'énergie, il nous apparaît que l'assurance de disposer en permanence d'énergie est la condition première du maintien de l'activité industrielle. Les problèmes existants de l'offre et de la demande d'énergie à travers le monde révèlent un déséquilibre qui commence à affecter la vie économique des pays industrialisés.

Parmi les différentes sources d'énergie, qu'elles soient non renouvelables comme les pétroles d'origine fossile ou nucléaire, ou inépuisables comme l'énergie marémotrice ou géothermale, aucune n'est plus puissante que l'énergie solaire dont dépend la vie même.

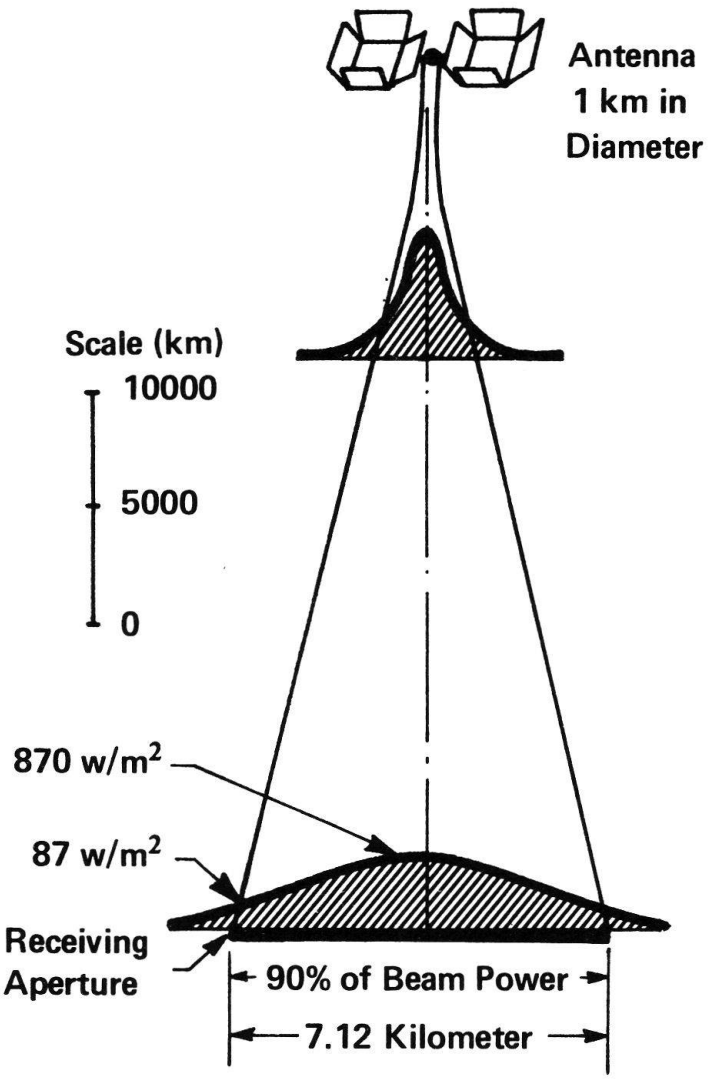
Le soleil doit briller pour que la vie se perpétue. De nombreuses civilisations ont adoré le soleil. Il a aiguisé l'imagination artistique. Il a fait l'objet de recherches scientifiques. Et nous seront toujours frappés d'une crainte respectueuse devant sa splendeur. Mais voilà maintenant que nous voulons maîtriser l'énergie solaire. Pourquoi maintenant? Que s'est-il donc passé qui ait éveillé notre intérêt? Comment va-t-on s'y prendre? Est-ce seulement réalisable? Est-ce une entreprise sensée? C'est à ces questions que nous cherchons à répondre lorsque nous envisageons les applications futures de l'énergie solaire.

Pour illustrer le dilemme actuel soulevé par l'énergie, rappelons une devinette que les enfants aiment bien. La devinette concerne un fermier, une mare et un nénuphar. Le nénuphar double de volume chaque jour; en trente jours, il aura couvert toute la mare, provoquant la mort de tous ses habitants; le fermier ne le veut pas mais, à cause des autres travaux de la ferme, il décide de ne couper le nénuphar que lorsqu'il recouvrira la moitié de la mare. La question est la suivante: quand couvrira-t-il la moitié de la mare? Réponse: le 29e jour, ne laissant au fermier qu'un seul jour pour sauver sa mare.

C'est récemment que l'on a pris conscience du fait que la société aura à affronter une telle devinette; les problèmes posés par la croissance exponentielle sont maintenant débattus. Cette croissance existe depuis l'apparition de l'homme sur la terre, depuis qu'il a appris à utiliser le bois pour faire du feu, jusqu'à sa récente maîtrise de l'énergie solaire.

La consommation d'énergie n'a cessé de croître exponentiellement jusqu'à ce jour; on peut raisonnablement penser qu'il continuera d'en être ainsi dans l'avenir. La consommation d'énergie tend à suivre la courbe du Produit National Brut (PNB) et toute nation aspire à voir son PNB augmenter, ce qui entraîne inévitablement un accroissement d'utilisation de l'énergie mise à sa disposition. A l'échelle mondiale, il apparaît clairement qu'il y a des limites à l'accroissement de la consommation d'énergie, aux ressources disponibles et aux dommages causés à l'environnement.

## MICROWAVE BEAM CHARACTERISTICS




Dans le domaine privé, l'utilisation à discrétion de l'énergie s'applique avant tout aux transports et au confort domestique. La plus grande partie – et de loin – est utilisée pour le chauffage, même si la petite part consacrée au conditionnement d'air provoque une pointe dans la demande d'électricité, ce qui peut entraîner des pannes de courant. La consommation privée d'énergie en trillions de BTU s'est accrue au cours des dix dernières années. C'est aussi le cas de la consommation commerciale et industrielle. Dans les deux cas, la croissance la plus rapide a été observée dans la climatisation.

D'une façon générale, 21% de l'énergie consommée aux Etats-Unis sert aux usages domestiques et commerciaux. Réduire de 1% seulement cette consommation d'énergie équivaudrait à économiser 100 millions de barils de pétrole par an. Ceci, conjugué à d'autres facteurs, est à l'origine de la montée en flèche des importations de pétrole qui déséquilibrent la

## MICROWAVE POWER TRANSMISSION EFFICIENCIES

| | *Efficiency Presently Demonstrated | *Efficiency Expected with Present Technology | *Efficiency Expected with Additional Development |
|---|---|---|---|
| Microwave Power Generation | 76.7*** | 85.0 | 90.0 |
| Transmission Efficiency From Output of Generator to Collector Aperture | 94.0 | 94.0 | 95.0 |
| Collection and Rectification Efficiency (Rectenna) | 64.0 | 75.0 | 90.0 |
| Transmission, Collection and Rectification Efficiency | 60.2 | 70.5 | 85.0 |
| Overall Efficiency | 26.5** | 60.00 | 77.0 |

* Frequency of 2450 MHz (12.2 cm wavelength)

** This value could be immediately increased to 45% if an efficient generator were available at the same power level at which the efficiency of 60.2% was obtained.

*** This efficiency was demonstrated at 3000 MHz and a power level of 300 kW cw.

balance américaine des paiements et font courir le risque de conséquences politiques et économiques indésirables.

Il est peu vraisemblable que les problèmes posés par l'énergie et les problèmes d'environnement qui y sont liés, aillent en diminuant. Bien au contraire, chaque événement important, que ce soient la publication du livre de Rachel Carson « Silent Spring », la fermeture du canal de Suez, les mesures prises par les pays exportateurs de pétrole, ou la promulgation de lois pour la protection de l'environnement, ne fait qu'aggraver la situation; il n'y a donc aucune raison valable d'espérer un changement dans l'avenir.

Il serait intéressant d'imaginer ce qui serait arrivé si James Watt n'avait pas inventé la machine à vapeur en 1781 et si le charbon ne s'était pas trouvé justement disponible pour alimenter en énergie la Révolution industrielle du 19e siècle. Peut-être aurions-nous alors été contraints d'apprendre plus tôt à maîtriser l'énergie solaire. L'utilisation de l'énergie solaire a été envisagée à plusieurs reprises déjà, à des époques différentes. Nous entrons à nouveau dans l'une de ces périodes mais, pour la première fois, l'énergie solaire ne soulève pas seulement l'intérêt de quelques enthousiastes, mais son potentiel est reconnu au plus haut niveau de prise de décision du gouvernement américain. Cet intérêt s'accroît du fait que le soleil constitue une source d'énergie inépuisable et d'une puissance telle que, si nous pouvions apprendre à la maîtriser, il n'y aurait jamais plus de problèmes de demande d'énergie au niveau mondial.

## L'ÉNERGIE SOLAIRE

Le soleil envoie vers la terre un courant d'énergie constant qui est filtré par l'atmosphère. Par temps clair, le soleil fournit environ 1 $kW/m^2$. Nous utilisons cette énergie et la considérons comme acquise, que ce soit pour sécher l'engrais au Chili, le sel dans l'Utah, ou le poisson sur un grand nombre de côtes.

Des procédés élémentaires d'utilisation de l'énergie solaire ont été mis au point, tels que le four à cuisson solaire qui a d'abord été considéré comme une panacée pour les pays en voie de développement, où ils évitaient l'emploi de la bouse de vache, qui pouvait être utilisée comme engrais dans les champs. D'autres ont pensé à l'utilisation du four solaire pour les loisirs, mais ce produit nouveau n'a pas connu la vogue du hoola-hoop! L'énergie solaire peut servir également à distiller l'eau de mer comme c'est le cas à Symi, l'une des Iles grecques. Sur l'île de Pathmos, la distillerie solaire occupe 100 000 sq. ft. et produit environ 10 000 gallons d'eau douce par jour. L'expérience acquise permet maintenant de concevoir des installations plus résistantes à la force destructrice du vent et aux intempéries.

Nous pouvons concentrer l'énergie solaire pour obtenir des températures très élevées; c'est le cas du four solaire français d'Odeillo. Des miroirs plats placés sur une colline suivent la course du soleil et en dirigent les rayons de façon à produire une chaleur équivalant à 1000 kW. Les miroirs à facettes qui équipent la face arrière du bâtiment du laboratoire peuvent concentrer une chaleur suffisante – à 6000°F – pour fondre environ une tonne de céramique.

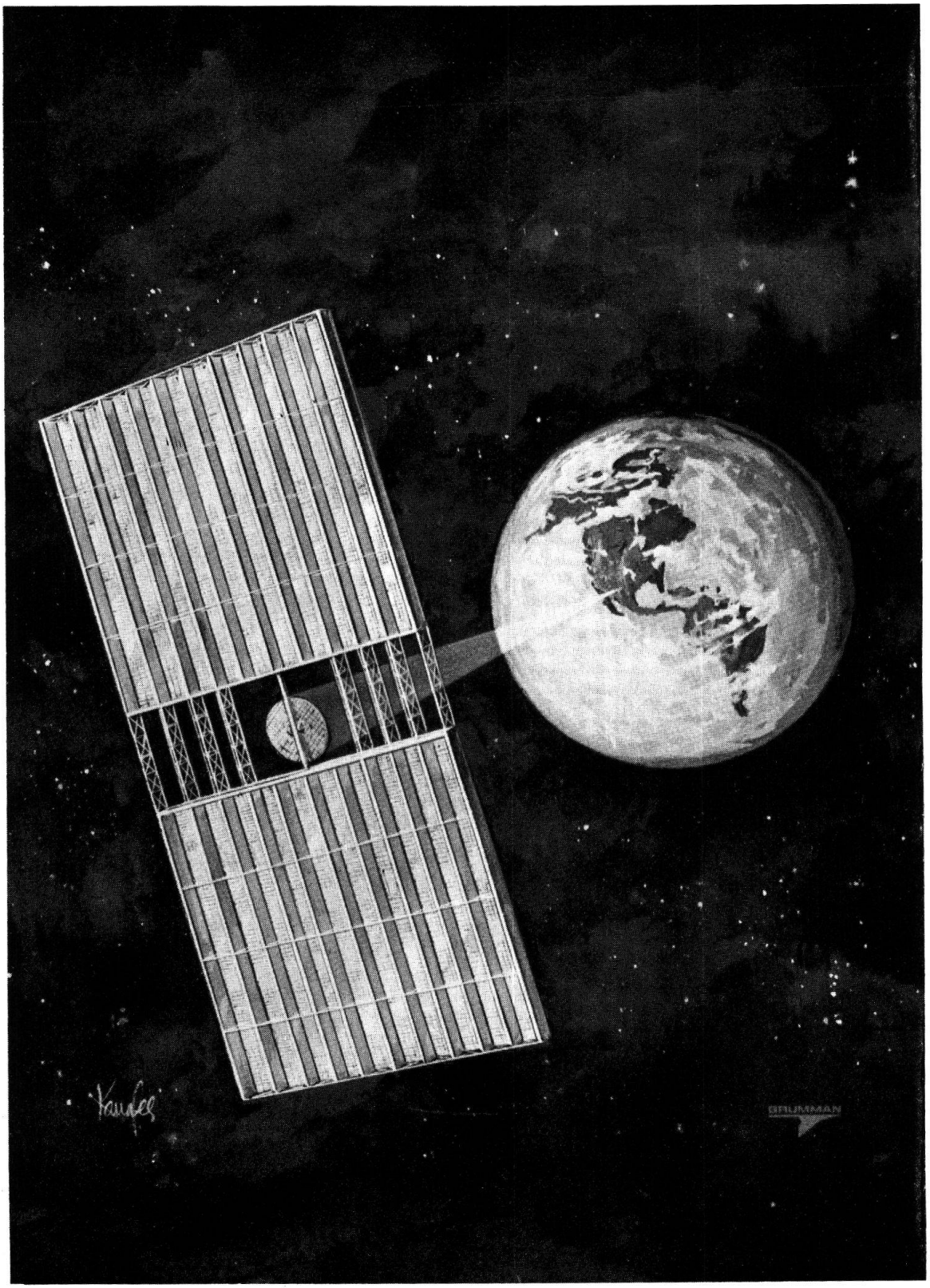
On prête à l'énergie du soleil l'origine des pétroles fossiles accumulés au cours de millions de jours ensoleillés. Il existe des moyens d'accélérer ce lent processus, pour produire des fuels gazeux, liquides ou solides à partir de substances organiques qui peuvent être soit produites à dessein, soit des déchets générés par la société de consommation.

La possibilité de transformer en force l'énergie solaire a toujours été tentante. Une machine à vapeur alimentée par l'énergie solaire fut l'attraction-vedette de l'Exposition mondiale de 1878 à Paris. Un miroir concentrait les rayons solaires sur une chaudière pour produire de la vapeur actionnant le moteur d'une presse à imprimer qui sortait un journal intitulé « Le Soleil ». Le concept a plu; des usines furent construites sur ce principe en Californie en 1901, puis en Egypte en 1913 pour actionner des pompes d'irrigation.

A la conférence des Nations Unies sur les « Nouvelles Sources d'Energie », Rome 1961, un concentrateur de rayons solaires fut présenté; en produisant de la vapeur, il actionnait des petites turbines destinées à concurrencer le moteur diesel.

## RÉALISATIONS ACTUELLES

Le défi le plus important en matière de conversion d'énergie solaire est de trouver le moyen de produire de l'électricité. Plusieurs types d'approches ont été examinés, parmi lesquels la puissance du vent, les différences de température des mers chaudes, les fuels à base de matières organiques et les collecteurs d'énergie solaire pour l'alimentation de moteurs, et la conversion directe de l'énergie solaire par des cellules à effet photovoltaïque. Par exemple, en URSS, une centrale d'énergie qui utilise des miroirs tournants, est capable de produire 1500 kW.


Kaufer
GRUMMAN

Actuellement, on étudie activement la production d'énergie solaire en grande quantité. Une telle production repose sur la focalisation des radiations solaires sur des surfaces capables de les absorber et de produire des températures élevées. La chaleur est ensuite transmise à des chaudières par des conduits ou par la circulation de fluides, pour produire de la vapeur. On envisage la possibilité de couvrir de vastes espaces dans le désert du sud-ouest américain de tels équipements pour produire des quantités significatives d'énergie.

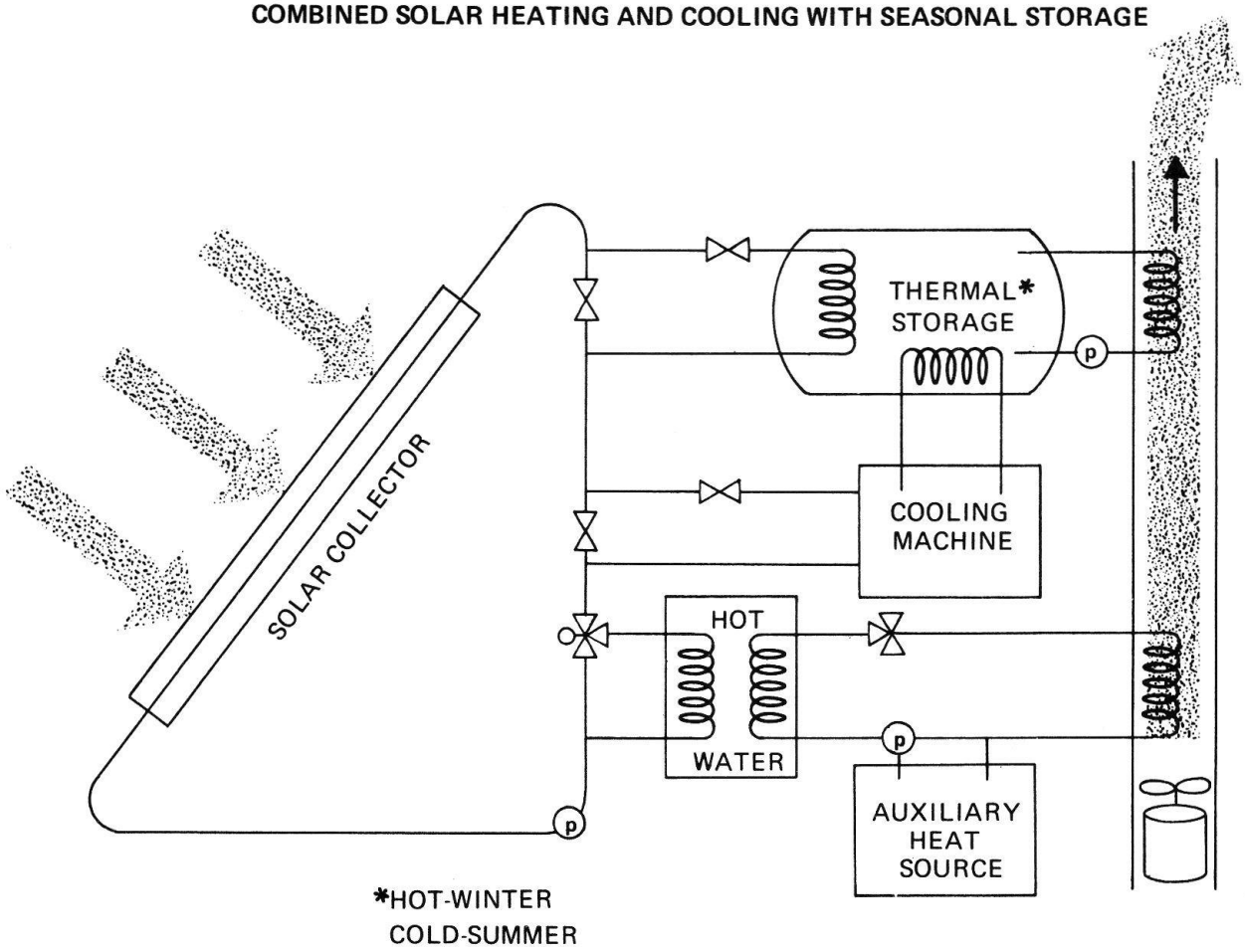
L'énergie électrique peut être obtenue en utilisant les différences de température de l'eau des océans chauffés par le soleil; par exemple, on pourrait installer des centrales d'énergie dans le Gulf Stream où l'on disposerait à la fois d'une énorme quantité d'eau chaude et d'eaux froides en profondeur pour réaliser le cycle thermodynamique. Une centrale de ce type pourrait être conçue pour produire 500 MW, et un nombre important de ces unités de production d'énergie électrique pourrait être installé sur l'océan par la suite. Le principe de la conversion directe de l'énergie solaire peut être utilisé dans une centrale couvrant une large surface de cellules solaires pour produire de l'électricité en période de rayonnement solaire. Pendant la période d'ombre, un système de batteries permettrait de stocker cette énergie.

L'utilisation à grande échelle de l'énergie solaire sur la terre est soumise à l'influence des conditions atmosphériques et de l'alternance du jour et de la nuit. Tout système de conversion de l'énergie solaire sera soumis aux effets érosifs intenses de l'environnement terrestre; c'est ainsi que l'exploitation opérationnelle de systèmes de conversion de l'énergie solaire à partir de la terre, sera limitée à certaines régions géographiques favorables; elle demande de vastes espaces de terrain et l'utilisation de procédés de conservation de l'énergie pour compenser les périodes où le rayonnement solaire fait défaut.

## UNE NOUVELLE SOLUTION: LE SATELLITE

Théoriquement, la conversion de l'énergie solaire devrait être effectuée là où cette énergie est continuellement disponible et où les effets érosifs de l'environnement sont nuls. C'est dans l'espace, sur une orbite solaire, que sont réunies les conditions les plus favorables pour une telle conversion. L'énergie solaire y est pratiquement disponible vingt-quatre heures sur vingt-quatre pour une orbite synchrone autour de la terre. La mise au point d'un système économique de transport terre-orbite basé sur le principe d'une navette spatiale actuellement à l'étude, permet d'envisager la conversion de l'énergie solaire par l'intermédiaire d'une centrale satellisée sur orbite synchrone, le stade final de la conversion étant seul réalisé sur terre. A partir du satellite maintenu sur orbite à 22,300 miles de la terre, deux collecteurs disposés symétriquement assurent la conversion directe de l'énergie solaire en énergie électrique par effet photovoltaïque. Cette électricité est transmise à des générateurs d'hyperfréquences incorporés à une antenne d'émission placée entre les deux collecteurs. La position du satellite est déterminée de façon à ce que les collecteurs soient toujours face au soleil, tandis que l'antenne dirige les faisceaux hyperfréquences sur une antenne réceptrice située sur terre, où l'énergie hyperfréquence est définitivement convertie en électricité. Le faisceau hyperfréquence permet une transmission dans n'importe quelles conditions atmosphériques, de sorte qu'une utilisation maximum peut être faite de l'énergie solaire disponible pratiquement 24 heures sur 24. Par rapport aux autres méthodes de conversion de l'énergie solaire, ce système est au moins six fois plus performant qu'une centrale implantée dans les déserts du sud-ouest, et quinze fois plus performant que dans

COMBINED SOLAR HEATING AND COOLING WITH SEASONAL STORAGE




le cas de régions moins favorisées. Le très grand rendement de la transformation du faisceau hyperfréquence en courant continu dans l'antenne de réception (75% déjà atteint; 90% dans le futur) amène la perte par production de chaleur à n'être qu'une fraction minime de celle résultant de toute autre méthode de conversion thermodynamique. Une centrale solaire satellite pourrait être conçue pour produire sur terre de 1500 à 20000 MW. Cette énergie électrique pourrait être transmise à n'importe quelle région du globe, en installant l'antenne réceptrice soit sur terre, soit sur des plates-formes marines près des centres de grande consommation, à un coût compétitif par rapport aux autres méthodes modernes de production d'énergie et sans risque de dégradation de l'environnement.

## L'ÉNERGIE SOLAIRE ET L'HABITAT

Il n'est pas nécessaire d'attendre que soit développée la technologie évoquée ci-dessus. Il existe un potentiel immédiat d'utilisation de l'énergie solaire pour satisfaire certains de nos besoins quotidiens. C'est ainsi qu'une méthode rudimentaire de chauffage de l'eau pourvoit aux

besoins domestiques en Nouvelle-Guinée; une méthode plus perfectionnée rend les mêmes services en Inde; tandis qu'en Australie, on utilise un chauffe-eau placé sur le toit d'une maison, complété par un appoint électrique pendant les périodes sans soleil. De telles méthodes de chauffage de l'eau sont largement utilisées en Australie sur des bâtiments privés ou publics, tels qu'écoles et hôpitaux. Au Japon, elles sont produites par millions et vont du simple réservoir en plastique qui ne coûte que 10 dollars à des modèles plus élaborés équipés de systèmes de régulation qui en accroissent l'efficacité.

Aux Etats-Unis, la lumière du soleil est presque partout disponible pour assurer le chauffage. Une vingtaine de maisons ont été construites en divers endroits pour capter le rayonnement solaire. Un collecteur d'énergie solaire peut être installé sur le toit d'un bâtiment pour chauffer de l'air ou de l'eau. La chaleur en excès peut être stockée dans un réservoir d'eau, dans des pierres, ou, plus efficacement, dans des sels eutectiques, pour être ensuite distribuée à l'intérieur du bâtiment en période d'ombre. Des maisons de ce type ont été construites par MIT à Lexington, Mass., par Thomson à Washington, D.C., et par Loef à Denver, Colorado.

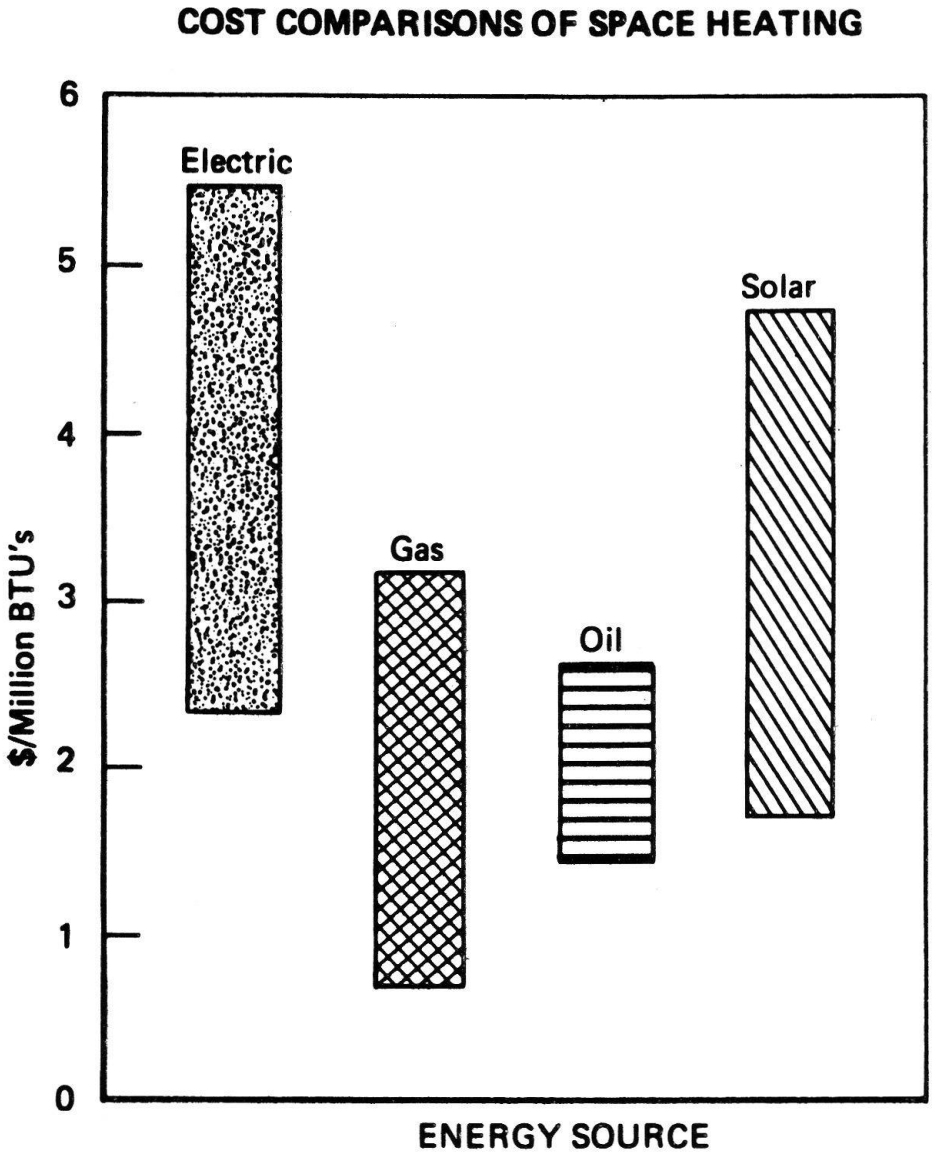
Il est possible de concevoir des collecteurs solaires adaptés à l'architecture. Hay & Yellott ont mis au point un système applicable aux régions désertiques où les nuits sont particulièrement froides. Le toit, portant une réserve d'eau, est protégé du rayonnement solaire durant la journée par des panneaux isolants mobiles. L'isolation est supprimée la nuit afin d'abaisser la température de l'eau et d'assurer un refroidissement le jour suivant. Une maison construite en Australie utilise l'eau chaude produite par un collecteur solaire pour alimenter en énergie un système de réfrigération par absorption pour sa climatisation. Une telle utilisation de l'énergie solaire peut éviter les pointes de consommation d'énergie puisque, plus le soleil brille, mieux le système de refroidissement fonctionne.

Dans le cas d'un collecteur plat classique, l'énergie solaire est absorbée sur une surface noire et la chaleur qui en résulte est transportée par un fluide tel que l'air ou l'eau. Le collecteur est isolé de l'environnement immédiat par une double couverture en verre ou en plastique, réduisant ainsi les pertes de rayonnement. Des revêtements absorbants sélectifs ont été mis au point pour absorber un maximum de radiations solaires, tout en n'émettant qu'un très faible rayonnement; ainsi, des températures de plusieurs centaines de degrés peuvent être atteintes.

Des collecteurs d'énergie solaire peuvent être combinés à un système de conservation de la chaleur pour assurer un chauffage en hiver et un rafraîchissement en été, une source d'énergie auxiliaire fournissant la chaleur en l'absence d'ensoleillement.

L'eau est un procédé très simple de conservation de la chaleur; cependant, les sels eutectiques, actuellement à l'étude, ont un meilleur rendement, offrant une capacité de stockage égale pour un volume cinq fois inférieur à celui de l'eau. Il sera toujours nécessaire d'avoir une source d'énergie complémentaire, étant donné que le coût minimum pour un système solaire de climatisation est atteint lorsque 50% seulement de l'énergie utilisée est d'origine solaire; ceci dépend, bien sûr, de l'emplacement choisi et est essentiellement dû à l'investissement que représente le collecteur d'énergie solaire. En matière de chauffage, le coût de l'énergie solaire est déjà compétitif par rapport à l'énergie électrique. L'augmentation attendue des coûts du gaz et du pétrole d'une part, la combinaison avantageuse chauffage/rafraîchissement d'autre part, rendront son coût de fonctionnement plus avantageux encore.

On peut évaluer le potentiel d'énergie solaire si l'on modifie le collecteur d'énergie en vue d'utiliser les cellules solaires à la fois pour produire de l'électricité à usage domestique ou




**Source:** NSF/NASA Solar Energy Panel, December, 1972

commercial et assurer la climatisation. Une maison avec cellules solaires incorporées au collecteur d'énergie est en cours de construction à l'Université de Delaware. L'électricité produite peut être stockée dans des batteries, et lorsqu'un nombre suffisant de maisons sera équipé ainsi, une meilleure répartition de la consommation d'électricité deviendra possible. Cette solution conduirait à une utilisation plus rationnelle des sources d'énergie électrique.

Toute discussion sur l'énergie solaire utilisée en climatisation serait incomplète sans une bonne compréhension des inter-relations qui existent avec la conception même de la maison, qu'elle soit de type résidentiel ou à usage collectif, commercial ou industriel. La construction des murs, l'isolement thermique, la réalisation de la toiture et des ouvertures, le choix des

peintures et de l'emplacement, entraîneront une utilisation optimale du système de conversion de l'énergie solaire et, ce qui est important, une économie de l'énergie produite par des sources auxiliaires.

Si l'utilisation de l'énergie solaire pour la climatisation des bâtiments présente un tel intérêt, on peut se demander pourquoi ce procédé n'est pas déjà en usage? Il existe quantité de freins spécifiques à l'introduction de ce procédé. Son introduction dans l'industrie du bâtiment suit un cheminement complexe: d'abord en raison de la multiplicité des éléments qui le composent, de la complexité de l'industrie de la construction, et enfin des considérations relatives au choix d'une source d'énergie auxiliaire.

Malgré cette complexité qui justifie qu'aucune société isolée ne pourra prendre une place de leader dans ce vaste secteur industriel, il y a un grand nombre de possibilités qui favorisent une mise en œuvre rapide. Une étude récente sur l'énergie solaire réalisée par NSF/NASA prévoit que 10% des bâtiments qui seront construits d'ici 1985 seront équipés de systèmes de climatisation par énergie solaire, ce qui représente un marché de 1 milliard de dollars pour les dix prochaines années.

## LE PARI

Pour gagner le pari de ce marché en création, il faut regrouper les sociétés capables d'innover dans ce domaine et de satisfaire les besoins du marché. Alors seulement, une nouvelle industrie de la climatisation par énergie solaire peut être créée qui, d'une part, serait rentable pour ceux qui y participent et, d'autre part, apporterait une solution à court terme à l'escalade continue de la consommation d'énergie dans le monde.

Arthur D. Little prend l'initiative d'agir en tant que catalyseur pour aider au développement de cette industrie en réunissant en un seul projet les sociétés qui sont à même de faire de l'industrie de la climatisation par énergie solaire une réalité.