

ET L'ENERGIE SOLAIRE ?

(Deuxième partie)

Par Christian PERRIN DE BRICHAMBAUT Président de la Société Météorologique de France

Dans notre dernier numéro, l'auteur a exposé les mérites de l'énergie solaire, «propre» et inépuisable, et a exprimé des souhaits pour une reprise plus sensible des recherches menées dans le domaine d'une utilisation rationnelle de cette énergie. Dans cette perspective, il a évoqué le thème du «solaire thermique». Voir les deux autres volets concernant les types d'utilisation avec les «thermodynamique» et le «photovoltaïque».

Le solaire actif thermodynamique

Ce chapitre concerne l'utilisation du rayonnement solaire pour actionner un moteur, couplé lui-même à une génératrice électrique, à une pompe pour l'exhaure (épuisement des eaux d'infiltration) ou à tout autre système mécanique. Le moteur, à piston ou à turbine, voit cependant son rendement maximum limité par le principe de CARNOT, ce qui implique généralement l'obtention des plus hautes températures possibles à la source chaude, elle-même directement liée à l'absorbeur, par concentration du rayonnement solaire incident. Le simple renforcement n'est en effet pas suffisant pour obtenir des rendements de CARNOT économiquement acceptables pour de telles installations.

Cependant, en zone tropicale sahélienne, de simples «**capteurs plans**» ont permis, avec de l'eau à 70 ou 75° C, de faire fonctionner des pompes permettant l'arrosage de surfaces cultivables. Bien que le rendement final en ait été faible, de l'ordre de 2 à 3% (comme la biomasse la mieux choisie), ces installations ont eu un succès certain au Sahel ou au Mexique grâce à leur simplicité et à leur efficacité : l'eau pompée était d'autant plus abondante que le soleil, provoquant l'évaporation, était lui-même plus ardent. Les capteurs, accolés, formaient la toiture de l'école ou du marché du village, à son centre vital, alors que l'eau jaillissait de la fontaine toute proche pour l'usage de tous.

La technologie très simple utilisée dans ce cas s'est traduite par une bonne fiabilité et une maintenance facile, pour autant que l'ouverture ou la fermeture des vannes aient été assurées régulièrement par un responsable de faible qualification. De nombreuses améliorations technologiques étaient réalisables et envisagées, mais ces pompes, installées par la SOFRETES, n'ont connu qu'un développement temporaire malgré leur intérêt économique et social, par suite de l'avènement du photovoltaïque.

Des «**concentrateurs cylindroparaboliques**», focalisant le rayonnement direct sur un tube absorbeur, permettent d'obtenir des températures de travail de l'ordre de 250° C : les moteurs associés sont alors de conception plus classique, à piston ou à turbine, mais un bon nombre de problèmes particuliers doivent être résolus pour tenir compte des variations rapides et brutales du rayonnement incident en cas de ciel nuageux, provoquant des chocs thermiques qui retentissent à la fois sur la tenue mécanique du tube absorbeur et sur les modalités de gestion du générateur et du stockage thermique associé.

Il s'agit donc, dans ce cas, d'un système plus complexe que dans celui des capteurs plans mais de meilleur rendement thermodynamique; une installation-pilote de ce type fonctionne à Vignola, près d'Ajaccio, depuis plusieurs années et a permis de perfectionner les solutions technologiques mises en oeuvre, de mettre au point les systèmes de gestion et d'automatisation nécessaires, de détailler le comportement dynamique de la centrale et d'apprécier le poids des divers paramètres déterminant son rendement. L'axe du cylindre parabolique est orienté Est-Ouest, et seule l'inclinaison du plan de symétrie est réglable en fonction de la déclinaison du Soleil : l'infrastructure reste donc relativement simple.

Il n'en est évidemment plus de même si l'on veut obtenir un fort taux de concentration du rayonnement solaire direct, au foyer d'un «**paraboloïde de révolution**» : son axe doit en effet suivre le soleil, et l'ensemble formé par le miroir et la chaudière fixée à son foyer doit être automatiquement et avec précision, orienté, en site et en inclinaison, vers le soleil. Dans ce but, divers montages sont possibles : visée par cellules couplées ou pilotage par ordinateur, par exemple, mais les servomoteurs nécessaires impliquent des coûts, financiers et énergétiques, non négligeables.

Une telle solution a été adoptée pour les «**centrales de moyenne puissance du type THEK**» (Thermo-Hélio-Elec-trique kW), de plusieurs dizaines de kW : les études menées à Marseille en ont montré la faisabilité et l'efficacité, après qu'aient été réglés les multiples problèmes posés par le miroir (à facettes), la chaudière, le fluide, le moteur, ou par les mécanismes de pointage. De telles installations, maintenant bien au point, correspondent aux besoins d'un groupe de fermes ou d'un petit village, en procurant à la fois force motrice, électricité et chaleur provenant des condenseurs. Encore faut-il que le climat solaire du lieu en permette un taux d'utilisation suffisant pour répondre aux besoins courants et saisonniers.

Car, comme tous les systèmes à concentration qui n'utilisent que le rayonnement direct, ce type de centrale exige, pour être à la fois efficace et rentable, des climats abondamment ensoleillés (forte fraction d'insolation), au ciel bien bleu (faible trouble atmosphérique) et, si possible, peu venteux (afin d'améliorer la tenue des miroirs et de réduire la puissance nécessaire à l'orientation de l'ensemble mobile). Cette remarque est naturellement encore plus justifiée pour les grosses centrales hélioélectriques du type THEM (MW), parmi lesquelles figurent en particulier EURHELIOS, en Sicile, et THEMIS, édifiée dans les Pyrénées.

Dans ce dernier cas, il s'agit de «centrales à tour» : la chaudière est fixe, en haut d'une tour, et un vaste champ de miroirs, plans ou très légèrement concaves et orientés individuellement, réfléchit le rayonnement direct vers ce foyer. Cette conception correspond bien aux latitudes moyennes, mais les conditions de fort ensoleillement y sont plutôt rares. Bien que répondant à ce critère, le site retenu pour THEMIS s'est avéré mal adapté par suite des forts vents qui ont sérieusement endommagé les héliostats, pourtant largement calculés. Dans le cas d'EURHELIOS, si la durée d'insolation était aussi excellente, ce sont les fréquentes et brutales occultations du soleil par de petits cumulus qui ont provoqué d'énormes et fréquents chocs thermiques perturbant le fonctionnement de la chaudière et des systèmes de régulation et réduisant fortement le rendement espéré.

Ainsi, les réalisations satisfaisantes de grandes centrales solaires hélioélectriques restent exceptionnelles, au moins dans nos régions tempérées, et les orientations actuelles vont plus dans le sens du couplage de plusieurs centrales de moyenne puissance (par exemple du type THEK) dans les cas où la puissance demandée est importante, et surtout si l'on peut utiliser l'énergie fournie à la fois pour la production de force motrice et d'électricité, mais aussi de chaleur à moyenne température : c'est là une forme du concept d'«énergie totale», qui peut modifier considérablement l'évaluation du rendement et de la rentabilité d'un système solaire. On doit cependant noter l'opposition de principe qui se manifeste entre l'idée même de «centrale», thermique ou électrique, et la caractéristique essentielle du rayonnement solaire, à savoir sa disponibilité pour des usages répartis, individuels et de faibles puissances.

Le solaire photovoltaïque

A côté des effets photochimiques ou photosynthétiques du rayonnement solaire, qui ne seront pas approfondis ici, il faut noter l'effet photoélectrique, découvert depuis plusieurs décennies mais dont les développements récents ont permis la fabrication industrielle des «photopiles» de divers types, transformant directement ce rayonnement en électricité.

Les «**cellules photoélectriques**», largement utilisées en photographie, faisaient appel à des composés chimiques, comme le sulfure de cadmium, et à d'éventuels filtres optiques complémentaires permettant une mesure de l'éclairement lumineux, poursuite de réponses spectrales correspondant à la sensibilité du récepteur : oeil ou pellicule photographique. Mais il ne s'agissait pas de produire de l'électricité, jusqu'à l'avènement des «**photopiles au silicium**» : ces dernières ont donné lieu à de nombreuses études et recherches, puis à un développement industriel se traduisant actuellement par deux filières principales : le silicium (mono ou poly cristallin et le silicium amorphe.

Nécessitant d'abord la fabrication de monocristaux de grandes dimensions, sciées en plaques très fines, les premières photopiles au silicium monocristallin ont peu à peu été constituées de cellules polycristallines réalisées à l'aide de cristaux plus petits et moins coûteux à obtenir; elles sont maintenant généralisées pour de multiples applications.

Exposées au rayonnement solaire, leur rendement, exprimé comme rapport de l'énergie électrique développée à l'énergie solaire incidente, reste de l'ordre de 10%; bien entendu, ce rendement dépend de la composition spectrale du rayonnement



Les aurores polaires sont dues à la présence de particules chargées d'électricité, émises par le Soleil au cours des éruptions chromosphériques, et agissant sur les gaz raréfiés de la très haute atmosphère. Ces particules sont canalisées par le champ magnétique terrestre, c'est la raison pour laquelle les aurores polaires sont le plus fréquemment observées dans les régions voisines des pôles magnétiques. Des mesures ont montré que l'altitude de la limite inférieure des aurores polaires est d'environ 100 km (elle a parfois atteint 60 km), alors que la limite supérieure est située entre 100 et 400 km (elle a parfois atteint 1 000 km).

La luminance des aurores polaires est très variable; elle est souvent comparable à celle de nuages éclairés par la pleine Lune, mais elle peut parfois être nettement supérieure.

Les aurores polaires sont, dans la majorité des cas, blanches avec une teinte verdâtre ou jaune verdâtre. Il arrive parfois qu'elles soient jaune verdâtre dans toute leur étendue, à l'exception de franges inférieures rouges.

(Atlas International des Nuages de l'OMM, 1975)
Doc Météo France

incident, de la température de la cellule des systèmes électriques associés (utilisation, stockage, régulation) et de quelques autres paramètres physicochimiques liés aux procédés de fabrication, tandis que la stabilité de leurs performances est surtout associée à leur protection contre la corrosion atmosphérique, à leur encapsulage.

Réalisées sous forme de «modules» de dimensions variables développant unitairement une tension de 1,5 V, l'assemblage des panneaux de modules associés en série et en parallèle permet aisément d'obtenir des tensions de 6 ou 12 V et des ampérages adaptés aux besoins. Généralement de tels modules servent à charger des «batteries d'accumulateurs», qui ont par ailleurs donné lieu à de nombreux perfectionnements afin de mieux les adapter à ce type d'utilisation, caractérisée par des charges et décharges fréquentes et temporaires. Qu'il s'agisse de vastes panneaux assurant l'alimentation électrique des satellites artificiels, toujours équipés de cellules de ce type, ou de modules solaires pour les bateaux de plaisance, les refuges de montagne, les voitures solaires, la télévision de campagne ou les pompes solaires, la fiabilité et l'efficacité des installations photovoltaïques dépend en grande part des accu-

ulateurs électriques et des systèmes de régulation associés à ces panneaux et modules.

Malgré une baisse continue des coûts, le prix du kWh photoélectrique est encore assez élevé, mais il est souvent compétitif, même dans nos climats tempérés, vis-à-vis du kWh délivré par le réseau de distribution de l'EDF, au moins dans tous les cas où les puissances moyennes consommées restent faibles et lorsque le lieu de consommation est éloigné de plus de 1 ou 2 km des câbles de distribution. D'où l'emploi de plus en plus répandu des photopiles pour les relais hertziens, en montagne surtout, pour les bornes d'appel de sécurité le long des autoroutes, pour les téléphones isolés, les alimentations mobiles des caravanes, les stations météorologiques automatiques, les bouées de navigations maritimes, ..., et même pour des bornes lumineuses de signalisation, en sortie d'école, par exemple, compte-tenu du prix des travaux nécessaires à la pose d'un câble pour la traversée d'une rue.

L'entretien reste réduit à sa plus simple expression et la maintenance est pratiquement inexistante, entraînant des coûts minimes de fonctionnement qui doivent cependant tenir compte du remplacement des panneaux et modules trop souvent volés ou détruits par vandalisme : en France, sauf pour des installations incaccessibles ou protégées, 5 à 15% des modules de petites dimensions installés dans la nature disparaissent chaque année... Par contre, pour des installations domestiques d'éclairage ou d'alimentation de moteurs et groupes frigorifiques, ce problème ne se pose pas, et le développement récent d'«onduleurs» de hautes performances permet d'utiliser les appareils électroménagers du commerce, sans faire appel à des réalisations particulières fonctionnant sous basse tension continue, de même que les équipements automobiles restent robustes et parfaitement adaptés à l'électricité solaire, mais souvent gourmands et de faible rendement.

Aux USA, selon les aides apportées par les Etats et les conditions de vente du kWh à la compagnie d'électricité locale, selon les conditions climatiques locales aussi, des particuliers ont investi dans des installations photovoltaïques couplées au réseau de distribution, auquel ils revendent leurs kWh excédentaires et dans lequel ils peuvent puiser pour parer à leurs déficits temporaires de production; cet investissement apparaît de plus en plus comme effectivement rentable dans de nombreux cas. Et les compagnies d'électricité elles-mêmes construisent maintenant de grosses «centrales électriques photovoltaïques», lorsque le climat s'y prête, en les associant aux autres types de centrales de production classiques, surtout durant l'été où la consommation des climatiseurs dépasse celle du chauffage d'hiver...

Mais les cellules ou silicium cristallin restent encore relativement chères et les efforts des laboratoires de recherche, comme ceux des industriels, tendent actuellement à réduire le prix du kWh produit, dans des conditions normalisées. C'est dans ce sens que, à côté des études portant sur de nouveaux matériaux semi-conducteurs ou sur l'empilement de cellules de caractéristiques complémentaires, la réalisation de «photopiles au silicium amorphe» a commencé depuis déjà plusieurs années, car se traduisant par de plus grandes possibilités d'industrialisation et une meilleure souplesse d'adaptation de forme et de surface. Bien que de rendement moindre (7% en moyenne, en espérant passer à 12% d'ici peu), et de stabilité dans le temps non encore parfaitement maîtrisée, ces photopiles sont particulièrement destinées, aujourd'hui, aux alimentations de faibles puissances : les caquelettes solaires de poche en sont un exemple flagrant, qui pourrait être étendu à de nombreux appareils de

mesure ou portatifs grâce à la sensibilité spectrale de cette forme de silicium, souvent bien adaptée à un fonctionnement sous éclairage artificiel.

Conclusion d'ordre très général...

Les possibilités d'emploi de l'énergie solaire restent très méconnues des pouvoirs publics, en France, alors que d'autres pays, chaque année plus nombreux, encouragent son développement, aussi bien pour des raisons associées à la protection de l'environnement ou au principe de l'autonomie énergétique des installations isolées, que dans des buts économiques de création d'emplois et de développement industriel et commercial à moyen terme.

Il est certain que tous les climats du globe ne permettent pas les mêmes possibilités d'exploitation de l'énergie solaire, de même que les différences socioculturelles entre les peuples se traduisent par des besoins énergétiques divers, plus ou moins satisfaits par leurs ressources économiques existantes.

Mais il est également certain que le soleil peut être plus rationnellement exploité qu'aujourd'hui, pour mieux assurer le confort de chacun au moindre coût. D'où les deux axes de recherche actuels : économies d'énergie fossile, d'une part, et création de nouvelles ressources énergétiques, d'autre part.

La première voie est maintenant bien «débroussaillée», surtout par les architectes, les ingénieurs et les thermiciens. La deuxième, par contre, commence seulement à être éclaircie mais ne semble pas bien comprise par les hommes politiques ni par les économistes, même dans les pays en développement disposant de ressources solaires importantes et dont la balance commerciale est fortement grevée par les importations de pétrole.

Car le rayonnement solaire, à la fois diffus et capricieux, a aussi pour caractéristique d'être disponible pour tous, en tout lieu, sans nuire à l'environnement atmosphérique et en étant éternellement renouvelable. Et les recherches, comme les investissements, dans les domaines couverts par l'utilisation de l'énergie solaire sont encore restés, jusqu'à ce jour, totalement négligeables devant ceux consacrés, depuis quinze ans et, a fortiori, depuis le début du siècle, au charbon, au pétrole ou à l'atome.

Comme dernière remarque, ne paraît-il pas raisonnable - et même rationnel - d'utiliser l'énergie solaire pour lutter d'abord contre les habituelles conséquences des excès de soleil, en particulier dans les pays en développement pauvres en ressources énergétiques :

- contre la chaleur : réfrigération et climatisation solaires,
- contre la sécheresse : pompage de l'eau et distillation solaires, puisque le fonctionnement de ces systèmes solaires sera d'autant mieux assuré que l'ensoleillement sera plus fort?

Enfin, si cet exposé, très incomplet, vous engage à en savoir plus, si vous souhaitez connaître les multiples domaines d'application de l'énergie solaire et préciser les techniques, les technologies, les méthodes, les procédés et les matériaux utilisables selon les emplois envisagés, voici quelques sources de documentation :

-l'«Agence Française pour la Maîtrise de l'Energie» (AFME), peut vous fournir gratuitement documentation, avis et conseils, et même listes d'adresses de fournisseurs, en particulier pour ce qui concerne votre logement et les économies d'énergie;

- l'Association (loi de 1901) «Coopération française pour l'étude et le développement de l'énergie solaire» (COFEDES), dispose de nombreux documents et cahiers techniques consacrés à divers domaines d'application de l'énergie solaire;*

COFEDES : liste des documents disponibles sur demande. Tarifs réduits pour commandes groupées.

- la revue «Bâtiment-Energie», surtout destinée aux hommes de l'art architectural, dont le dernier numéro (n° 57 de août-septembre 1989) est justement consacré à l'architecture climatique;

- la revue «Systèmes Solaires», directement liée au Comité d'Action pour le Solaire (CAS), couvrant les multiples utilisations des énergies renouvelables, en France et dans le monde entier, et surtout destinée à l'information du grand public;

- bien entendu, diverses revues étrangères, dont en particulier «Solar Energy», à la fois scientifique et technique, publiée par l'ISES (International Solar Energy Society);

- et enfin, le centre de documentation et la bibliothèque de notre MN pour l'évaluation et la climatologie des ressources en énergie solaire, ainsi que le centre de documentation de l'Institut Français de l'Energie» (IFE), pour tout ce qui concerne leurs aspects techniques et économiques.

A votre disposition pour tout renseignement complémentaire; et bon soleil!...
(décembre 1989)