

Promesses et Perspectives du Photothermique

A. Chaker

Laboratoire de Physique énergétique, Faculté des Sciences, Université Mentouri, 2500 Constantine. Algérie.

Résumé – *Il est maintenant universellement admis que les ressources d'énergies classiques vont s'épuiser dans environ deux à trois décennies. Si l'on admet qu'il n'existe aucune chance de survie sans énergie et que gérer c'est prévoir, la sagesse commande de rechercher et de développer d'autres sources d'énergie et notamment les énergies douces. Des études ont montré que le recours à l'énergie solaire en tant que technologie énergétique est non seulement possible et économiquement rentable mais s'avère socialement désirable, voire indispensable dans certaines régions (milieu rural, régions éloignées ou isolées).*

La conversion photothermique, consistant en une transformation directe du rayonnement solaire en chaleur, comporte des applications qui permettent d'utiliser localement et à petite échelle le rayonnement solaire, appelées "décentralisées", et des applications, dites "centralisées" qui nécessitant une captation à grande échelle du rayonnement solaire dans le but d'obtenir des puissances énergétiques relativement importantes. Il est évident que toutes ces applications pourraient répondre à un grand nombre de besoins permettant ainsi de limiter le recours systématique aux formes d'énergies classiques.

Abstract – *It is now universally admitted that the conventional energy resources will be depleted in about two to three decades. If we admit that there is no chance to survive without energy and that to manage is to foresee, wisdom orders to search for and to develop other energy sources notably the soft energies. Studies have shown that the recourse to the solar energy as energy technology is not only possible and economically viable but proves to be socially desirable or even indispensable in certain regions (rural environment, distant or isolated regions).*

Photothermal Conversion, consisting in a direct transformation of the solar radiation into heat, includes applications that permit the local and the small scale use of the solar radiation, called "decentralised", and applications, called centralised, requiring a big scale solar radiation harnessing with the aim of getting some relatively important energy powers. It is obvious that all these applications could answer to a large number of needs permitting thus to limit the systematic recourse to the classic energy resources.

Mots clés : Energie solaire – Photothermique – Applications.

1. INTRODUCTION

Les problèmes ne sont souvent jugés dignes de solution que lorsqu'ils ont atteint les dimensions d'une crise. Amorcée au début de la décennie 70 par une poussée de l'inflation, par l'infléchissement de la rentabilité du capital et par la dégradation du système monétaire, elle s'est manifestée avec force entre 1974 et 1979 sous le choc provoqué par les hausses brutales du pétrole. Ce retournement a conduit à mener une étude prévisionnelle des consommations et des sources d'approvisionnement afin de mettre en œuvre une politique énergétique pour les prochaines décennies. Tenant compte d'une part, du taux de croissance de la population mondiale estimé actuellement entre 1,5 à 2 % et de la progression de la demande énergétique mondiale annuelle (entre 1975 et 2000) de l'ordre de 2,5 à 3 % par an, les experts prévoient que les consommations d'énergie en 2025 seraient comprises dans une fourchette de 20 à 22 milliards de tep (approximativement 14 à 17 milliards de tec en 2000). Concernant les pays du Tiers-monde, la consommation totale d'énergie qui était de 1,7 milliards de tonnes équivalent pétrole (tep) est approximativement de 5 milliards de tep en 2000 et dépasserait 10 milliards en 2020. Le Tiers-monde pourrait ainsi concourir à 37% de la demande mondiale en 2000 (25% en 1976) et approcher les 50% peu après 2020. Néanmoins, les consommations par habitant restent très modestes 1,1 tep en 2000, 1,5 tep éventuellement en 2020 alors que l'habitant des pays industrialisés verrait sa consommation actuelle de 5 tep augmenter de 3 à 4 tep en 2020 [1].

2. LA DEMANDE ENERGETIQUE MONDIALE SERA-T-ELLE SATISFAITE LES PROCHAINES DECENNIES ?

S'agissant des prévisions à long terme d'équilibre de l'offre et de la demande mondiale d'énergie primaire, on peut supposer soit que les ressources énergétiques sont plus que suffisantes et il n'y aurait aucun problème d'approvisionnement pour les prochaines décennies, soit considérer au contraire que ces ressources sont en voie d'épuisement rapide et changer à ce moment radicalement de comportement si ce n'est arrêter la croissance. En fait ces deux thèses sont extrêmes et si les ressources énergétiques sont abondantes (dans le cas le plus optimiste), il n'en reste pas moins que diverses contraintes techniques, écologiques, économiques, sociales et politiques viennent limiter les possibilités de couvrir l'approvisionnement énergétique du monde si la croissance des besoins reste soutenue.

Des travaux menés par différentes Conférences Mondiales de l'énergie[2] s'appuyant sur les productions mondiales d'énergie entre 1972 et 2000 et sur les projections de cette dernière pour 2020 (tableau 1) ont conduit aux conclusions suivantes :

- * Limites de l'offre pétrolière dans les prochaines décennies en raison d'une part d'une production trop forte par rapport aux réserves récupérables ; la deuxième limite étant une mauvaise répartition des réserves. Les réserves de l'OPEP étant estimées approximativement à 68% du total mondial.
- * Les réserves et ressources de charbon et de lignite sont abondantes, 636 milliards de tec techniquement exploitables et près de 10125,26 milliards de tec de ressources géologiquement exploitables (2000 m de profondeur), mais extrêmement concentrées (USA, URSS, Chine) qui représentent 61% des réserves exploitables (et 88% des ressources totales) dont une grande partie mal située géographiquement (Sibérie). La production mondiale de charbon et de lignite est de 5780 millions de tec en 2000 et atteindra 8846 millions de tec en 2020. Notons par ailleurs, la difficulté de trouver à cette source d'autres débouchés que le secteur sidérurgique et surtout le secteur des centrales électriques. Dans les pays du Tiers - monde, le charbon ne semble promis qu'à un rôle accessoire à cause de ses réserves très réduites.
- * Les réserves mondiales de gaz naturel sont estimées à près de 71306 milliards de m³ (source Oil and Gas journal). Quant à la production de l'ordre de 3,6 milliards de tep en 2000 pourrait redescendre à 2,8 en 2020. Dans les pays du Tiers - monde le gaz naturel qui occupe 9% du marché en 2000 serait de 11% en 2020.

Tableau 1: Projections de la production mondiale d'énergie primaire (en millions de tep)

	2000		2020	
	%		%	
Pétrole	4425		2410	
Gaz naturel	3245	50	2840	27
Gaz et pétrole	90		900	
Non conventionnel				
Charbon	3860	37	5890	57
Nucléaire	2000		7120	
Hydraulique	770	13	1270	16
Energies renouvelables	1270		2270	
Offre potentielle	15660	100	22700	100

- * Quant au nucléaire dont les réserves mondiales (uranium et thorium) estimées globalement à 7500.10^3 sont très dispersées ne peut émerger que très progressivement.
- * Concernant les énergies renouvelables il y a lieu de remarquer une progression sensible en valeur absolue mais non en part relative dans le bilan global et il est évident que l'acceptation étatique du financement d'un programme de recherche-développement permettrait d'augmenter sans aucun doute la part de la contribution de ces énergies dans l'approvisionnement énergétique mondial, notamment dans certains sites géographiques.

Tableau 2: Estimation approximative des périodes d'épuisement des réserves mondiales

Réserves mondiales	Année d'épuisement	
	<i>Dans le meilleur des cas</i>	<i>Dans le pire des cas</i>
Charbon : 10 125 milliards de tonnes	2500	2 100
Pétrole : 300 milliards de tonnes	2100	2015
Gaz naturel : 71 306 milliards de m ³	2030	2015
Uranium + Thorium : $7 500.10^3$ de tonnes	2010	beaucoup plus (surrégénérateur)

Ainsi la sensibilisation actuelle aux problèmes énergétiques tend à placer au premier plan de l'actualité ces sources d'énergie et notamment l'énergie solaire qui jusqu'alors ne faisaient pas partie des préoccupations courantes.

3. L'ATTRAIT SOLAIRE EST-IL FONDE ?

Une première raison : l'abondance. La puissance fantastique que reçoit la terre en permanence du soleil est de 173 millions de gigawatts soit à peu près 10 000 fois la puissance installée sous toutes les formes d'énergie par l'homme sur la surface de la terre ou encore cinq fois plus la totalité des réserves terrestres en combustibles fossiles et nucléaires présents sur la terre depuis des milliards d'années. L'énergie solaire est donc une source inépuisable et l'idée est tentante de puiser à cet énorme réservoir toute l'énergie nécessaire aux activités humaines. La nature le fait déjà en ce qui la concerne puisque de près ou de loin tous les êtres vivants tirent leur énergie de la source solaire. Elle présente en outre les immenses avantages d'être une énergie non polluante, gratuite à la source et de pouvoir être utilisée sous des formes diverses pour des applications multiples aussi bien à grande échelle qu'à une échelle individuelle, à haute comme à basse température comme nous le verrons par la suite. En parallèle l'énergie solaire présente l'inconvénient d'être dispersée dans le temps et dans l'espace mais en fait, cette dispersion peut n'être pas perçue exclusivement comme telle, au contraire de cette dispersion peut découler justement un avantage. En effet, la production d'énergie de grande puissance ne se fait réellement sentir que pour des applications grosses consommatrices d'énergie, essentiellement les applications industrielles. Un grand nombre d'utilisateurs de l'énergie sont en revanche sont des utilisateurs individuels, et il semble alors paradoxal de centraliser la production d'énergie pour être ensuite contraint, grâce à un réseau complexe de transport et de distribution fort coûteux, d'assurer l'approvisionnement de consommateurs finals de capacité individuellement réduite. Pour le second gros inconvénient que semble poser l'énergie solaire et qui concerne son intermittence il s'agit peut être là d'un faux problème, puisqu'il suffit de prévoir des équipements d'appoint et de stockage pour contrebalancer ces fluctuations. Cela suppose bien sûr que l'on accepte de voir dans l'énergie solaire une source parmi d'autres énergies sans chercher à en faire la source exclusive et par conséquent accepter le pluralisme énergétique et partant le pluralisme technologique. Ainsi il très clair que le développement et l'exploitation de l'énergie solaire ne se posera pas en terme de concurrence mais bien en complémentarité avec les énergies classiques notamment dans les régions arides ou isolées et en milieu rural, où les besoins en énergie (éclairage, pompage de l'eau, irrigation etc.) sont disséminés sur de vastes étendues dépourvues de réseaux de distribution d'électricité.

4. COMMENT UTILISER L'ENERGIE SOLAIRE ?

L'énergie solaire [3, 4, 5], peut être exploitée sous deux formes principales : la conversion photothermique qui consiste en une transformation directe du rayonnement solaire et la conversion photovoltaïque pour la production d'électricité, nous traiterons dans le cadre de ce travail seulement la première voie de conversion. Nous verrons quelles sont actuellement les possibilités techniques des installations utilisant ce procédé? Quels en sont les avantages et les inconvénients au niveau socio-économique? et quelles sont les perspectives.

L'effet photothermique ou plus prosaïquement " l'effet de serre optimisé" comme le décrit Charles Genaudeau est l'histoire de deux couleurs qui ne figurent pas dans l'arc-en-ciel : le Noir et le Blanc, la première absorbe la totalité de la lumière alors que la seconde la réfléchit.

Lorsque le rayonnement de la lumière du soleil (photons ou grains de lumière) franchit un obstacle transparent (verre ou plastique) et qu'il arrive sur une surface enfermée dans un caisson et si cette dernière a les propriétés physiques d'un corps noir, il est entièrement absorbé. La surface ou "absorbeur" s'échauffe et réémet dans les grandes longueurs d'onde $2 < \lambda < 10 \mu\text{m}$. Ce rayonnement ne peut ressortir et se trouve piégé dans le caisson - Le transparent - Le transparent, alors devient un "corps blanc".

On peut augmenter l'énergie captée par l'utilisation d'un double vitrage et/ou de surfaces sélectives (dépôts de multicouches soigneusement choisis) qui présentent un intérêt surtout pour les surfaces captatrices à haute température, ou encore des structures cellulaires antirayonnantes. Par ailleurs une isolation arrière et latérale est primordiale afin de limiter les pertes par transmission vers l'extérieur. On peut également placer l'absorbeur sous vide.

La conversion thermique est actuellement la plus facile à réaliser et à mettre en œuvre, donc la plus répandue. Elle est réalisée suivant deux types de procédés ; soit les capteurs plans soit les capteurs à concentration. Quant aux utilisations nous serons étonnés de découvrir dans ce qui suit, toutes les potentialités que nous offre le soleil et qui touchent à tous les besoins des hommes sur la terre.

5. LES APPLICATIONS THERMIQUES POSSIBLES DE L'ENERGIE SOLAIRE.

En dehors de la traditionnelle utilisation de l'énergie solaire pour le séchage des produits agricoles, pour la production de sels par évaporation et la culture en serres, il est possible de trouver des applications à basse température (chauffage de l'eau, climatisation des habitations, dessalement de l'eau, réfrigération solaire etc.) et qui répondraient à un grand nombre de besoins ne nécessitant pas une puissance énergétique élevée et des applications à température relativement plus élevée (cuiseurs et fours solaires) nécessitant par conséquent une concentration du rayonnement [6].

5.1. Chauffage des piscines.

C'est l'application la plus simple de l'énergie solaire thermique active. Dans ces systèmes, la piscine elle-même forme le système de stockage. Le plus souvent l'eau de la piscine circule directement dans les collecteurs, qui parfois sont des collecteurs nus.

5.2. L'eau chaude solaire

La production d'eau chaude sanitaire est actuellement l'application la plus répandue de l'énergie solaire thermique. L'installation classique comprend essentiellement un groupe de capteurs plans, une capacité de stockage et généralement un dispositif de régulation et une source d'appoint.

Sous sa forme la plus simple, le chauffe-eau consiste en un bac très plat d'une contenance de 200 litres couvert par une plaque de verre et incliné de façon à capter au mieux les rayons solaires. L'eau peut être prélevée au fur et à mesure dans un bac ou stockée dans un réservoir calorifugé. De tels dispositifs dénommés chauffe-eau directs, d'une simplicité élémentaire et d'un prix de revient très bas (10 € environ) présentent l'inconvénient de geler la nuit. Afin d'éviter ce risque de gel, une méthode ingénieuse consiste à réaliser "un chauffe-eau indirect" où un liquide à bas point de congélation circule dans un serpentin traversant le réservoir de l'eau à chauffer. La quantité de liquide est très réduite, ce qui lui permet du fait de sa très faible inertie de réagir à de très brèves insulations. Le collecteur d'énergie solaire est constitué par des panneaux captants composés par exemple de feuilles d'aluminium d'épaisseur 1,5 mm noircies et recouvertes d'une plaque de verre de 3 mm d'épaisseur placées à une distance de 8 à 15 mm des feuilles. Le collecteur est orienté est-ouest ou sud et incliné de 10° de plus que la latitude géographique où il est installé.

Le fluide chauffé dans l'insolateur peut circuler par thermosiphon, dans ce cas le réservoir doit être nécessairement placé au-dessus du collecteur afin d'éviter l'inversion du cycle thermique pendant la nuit. Dans les grandes installations une pompe de circulation est indispensable. Sur le circuit d'eau chaude on installe un système d'expansion et une purge automatique.

Le rendement global d'un tel système peut atteindre 70% par beau temps contre 30% par temps couvert dans ce cas il faut prévoir un chauffage d'appoint. Si l'on veut pouvoir consommer en moyenne 200 litres par jour d'eau sanitaire à 60°C il faut prévoir 3 à 4 m² d'insolateur. Compte tenu des économies faites au niveau du combustible, les installations les plus perfectionnées sont amorties en 5 ou 6 ans. Le coût d'investissement d'un chauffe-eau solaire est de l'ordre de 1000 €, soit le double d'un chauffe-eau électrique. Si on compte exagérément que l'amortissement se fasse en 10 ans, le prix du m³ est de 2,56 € contre 6 € pour celle obtenue par l'énergie électrique.

5.3. Le chauffage solaire des habitations.

Le chauffage des locaux peut se faire avec des capteurs à air ou à eau. Dans les deux cas, le fluide circule dans des capteurs installés sur les toits et les façades des maisons ; à leur contact, il se charge en calories qui seront redistribuées dans le logement. Les deux techniques sont relativement voisines, à une caractéristique près toutefois ; pour la seconde voie il est possible de stocker de l'énergie sous forme d'eau chaude dans des réservoirs de plusieurs mètres cubes, ce système permet de s'affranchir en partie du caractère intermittent de l'énergie solaire. Il n'est évidemment pas possible d'envisager de stocker de l'air chaud, par contre le système original de Trombe-Michel tourne la difficulté. Le dispositif adopté revient à implanter des serres sur les façades verticales exposées au soleil. Les rayons solaires traversent le vitrage et sont absorbés par la surface réceptrice (le mur en béton). L'air chauffé entre la vitre et le mur constituant une colonne de densité plus faible que celle de l'air de la pièce à chauffer, tend à monter et à pénétrer dans la pièce par une ouverture supérieure tandis que l'air de la pièce plus frais sort par une ouverture inférieure. Un tel système fonctionne sans aucune intervention mécanique et peut d'ailleurs continuer à fonctionner longtemps après le coucher du soleil, dans la mesure où le mur en béton joue le rôle d'un accumulateur de chaleur, (un mur de 30 à 40 cm stocke près de la moitié des calories reçues, l'autre moitié étant transmise à l'air). Pour une maison où le système d'isolation est moyen il faut respecter la norme $S/V = 0,1$, S étant la surface de serres.

Le prix de revient d'une serre à double vitrage est de l'ordre de 30 €/m². Si on prend comme taux d'amortissement de la serre 12% par an le coût du kwh solaire sera 2 à 3 fois moins que le kwh électrique.

5.4. La distillation solaire

Si les besoins en douce sont faibles (quelques m³ par jour), la distillation solaire directe apparaît comme une solution intéressante en particulier lorsqu'une main d'œuvre locale n'est pas disponible. Elle est pratique, présente de nombreux avantages et s'adapte à des régions éloignées ou isolées. Actuellement la proportion des installations de distillations est très faible de l'ordre de 3 à 4 %. Néanmoins il est évident qu'un tel procédé est appelé à jouer un rôle important dans toute stratégie de gestion de l'eau dans les zones arides ou isolées. Un distillateur solaire est essentiellement constitué par un bac noirci contenant l'eau à distiller, recouvert par une surface transparente qui assure la transmission du rayonnement solaire et sert de surface de condensation. Le

rayonnement incident transmette chauffe l'eau, une partie de celle-ci s'évapore et la vapeur dégagée vient se condenser sur la face intérieure de la couverture et s'écoule dans des gouttières prévues à cet effet.

La production d'eau douce varie évidemment avec l'importance de l'ensoleillement, elle oscille entre 5 à 7 litres par m² et par jour selon le type de distillateur ; soit une production annuelle de 1,5 à 2,5 m³/m². Le prix de revient de l'eau distillée est lié au capital investi. Le coût en matériaux et main d'oeuvre du distillateur est estimé aux environs de 11 €/m² la durée de service prévue étant en général de 20 ans minimum, le coût unitaire du m³ d'eau distillée s'établit entre 0,80 et 1,60 à 1,85 €. Ces chiffres comparés avec ceux correspondant à d'autres méthodes d'obtention d'eau douce s'avèrent compétitifs dans certaines zones éloignées ou dans les zones arides où le prix de l'eau transportée atteint les 5 à 7 ou même 10 € les 1000 litres. Il est évident que la distillation solaire ne peut prétendre concurrencer des installations industrielles où les rendements d'échelle interviennent considérablement dans l'abaissement du prix de revient unitaire mais peut, par contre devenir intéressante quand il s'agit de répondre à des besoins locaux géographiquement dispersés et d'importance moyenne.

Des analyses de coût ont montré que pour des capacités de production inférieures à 85m³ par jour, le prix de revient de l'eau de distillation solaire est inférieur à celui obtenu avec n'importe quel autre procédé.

5.5. La réfrigération solaire

L'existence d'une bonne corrélation entre l'ensoleillement et le besoin en froid et en faveur de l'utilisation de l'énergie solaire dans les pays fortement ensoleillés. Lorsqu'il s'agit de répondre à des besoins quantitativement limités et géographiquement dispersés, des réfrigérateurs solaires à absorption sont utilisés. Des insolateurs chauffent une solution ammoniacale concentrée. L'ammoniac qui s'en dégage se rend dans un condenseur où il se liquéfie sous sa propre pression, puis il passe dans un évaporateur où il se vaporise en empruntant de la chaleur au milieu à refroidir. La vapeur d'ammoniac est de nouveau absorbée dans l'eau et un nouveau cycle recommence. Avec une surface captante de 18m², on peut d'après R. Peyturaux obtenir 20.000 à 30.000 kg de glace par an, pour une insolation de 4 heures par jour seulement. Un autre prototype de réfrigération solaire actuellement expérimenté à Rabat, à adsorption utilisant le couple charbon actif-méthanol (22 kg), une surface captante de 1 m² un condenseur et un évaporateur de surfaces respectives 10m² et 1m² et une chambre froide de 100 l produit 5 kg de glace par jour.

Toutes les installations thermiques que nous venons de décrire ne nécessitent pas la concentration du rayonnement solaire. Pour des températures relativement élevées on utilise des capteurs à concentration basés sur le phénomène optique de la réflexion. Deux techniques peuvent être employées, la focalisation ponctuelle et la concentration linéaire. Dans le premier cas on peut utiliser, soit un champ de miroirs plans qui reçoit le rayonnement solaire et le réfléchit sur un miroir parabolique fixe (système utilisé pour le four d'Odeillon), il permet d'obtenir des températures très élevées jusqu'à 3500°C, soit un grand nombre de miroirs plans ou paraboliques qui renvoient en permanence l'image du soleil au sommet d'une tour de 20 à 100 mètres de hauteur (système à tour), soit des systèmes à collecteurs distribués, le réflecteur est formé d'un assemblage de miroirs plans dont l'enveloppe est un paraboloïde de révolution (le capteur Teck). Concernant la concentration linéaire le système de focalisation utilise des bandes de miroirs plans ou cylindro paraboliques qui concentrent le rayonnement solaire sur un tube jouant le rôle de chaudière et permettent d'obtenir des températures comprises entre 100 et 250 °C. Nous allons décrire succinctement dans ce qui suit deux applications thermiques à concentration.

5.6. La cuisinière solaire

Le principe de la cuisinière solaire requiert une certaine concentration du rayonnement solaire puisqu'il est nécessaire d'atteindre des températures comprises entre 100 et 300°C. Des réflecteurs paraboliques constitués de plaques d'aluminium peuvent être utilisés, les aliments sont placés au foyer.

Le critère qui doit guider la mise au point de tels dispositifs, est bien sûr la recherche de cuisinières susceptibles d'être construites sur place, dans les pays pauvres et ensoleillés avec des matériaux à moindre coût. Actuellement le coût est plutôt élevé, de l'ordre de 50 € dont les 2/3 pour l'achat des miroirs. Une production en série de ces appareils pourrait faire baisser substantiellement le prix. Un autre dispositif constitué de 12 miroirs circulaires en verre argenté recouverts au dos d'une feuille de cuivre et montés sur châssis de fer, revient à 15 € environ.

5.7. Le four solaire

63 miroirs plans de 45 m² chacun, orientés grâce à un dispositif optique et électronique pour suivre en permanence le soleil, réfléchissent la lumière sur un grand miroir concave (parabolique), fixe avec une tour située au foyer. Ce miroir courbe est composé de 9500 glaces argentées occupant une surface totale de 2500 m². La température au foyer peut atteindre 3500 °C. La technologie des fours solaires est très coûteuse, donc réservée à des emplois spécifiques, tels que la fusion de l'aluminium à 2050 °C pour obtenir du corindon ou celle du quartz en vue de l'obtention du verre de silice très pur. L'avantage de cette technologie réside dans l'obtention de produits de qualité nettement supérieure à celle obtenue au four électrique.

6. CONCLUSION

L'expérience a montré qu'il n'existe aucune source d'énergie susceptible de s'imposer une fois pour toutes sur tous les plans (sécurité d'approvisionnement, sauvegarde de l'environnement, rentabilité économique, acceptabilité sociale etc.). En conséquence au lieu de s'efforcer à rechercher une source énergétique optimale, il vaut mieux chercher un système énergétique satisfaisant où diverses sources co-existent en fonction des contraintes. L'énergie solaire a sa place dans cette perspective. Elle peut répondre très rapidement à un grand nombre de besoins "décentralisés", n'exigeant pas de fortes puissances notamment, le chauffage de l'eau et des habitations, la climatisation, la production d'eau douce etc.

L'énergie solaire a la vocation de satisfaire les besoins en zones rurales et en régions isolées qui sont forts importants globalement et souvent négligés dans la mesure où il s'agit de besoins différenciés et géographiquement dispersés. Il s'agira en général d'assurer un approvisionnement minimum en eau, des moyens simples de chauffage et de conservation des aliments et de médicaments. En outre la technologie solaire est fiable, elle ne nécessite pas de délais importants de mise en route ni de compétence hautement spécialisée.

REFERENCES

- [1] Etudes prospectives de l'OCDE
- [2] http://WWW.X-environnement.org/manifestations/rd_04_2001.html.
- [3] WWW.iea.org
- [4] WWW.can.ren.ca
- [5] WWW.Soltherm.org
- [6] Proceeding of 8th International Symposium of solar thermal concentrating Technology, Germany, 6-11 october, vol. 2,3, 1997.