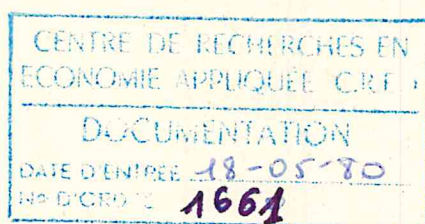


699/4

CENTRE DE RECHERCHES EN
ECONOMIE APPLIQUEE
ALGER.



SITUATION ET PERSPECTIVES DE
L'ENERGIE SOLAIRE.

Smaïl KHENNAS

AVRIL 1980.

EQUIPE ENERGIE.

Valorisation physique
interne des hydrocarbures
Document n°4.

1er av.



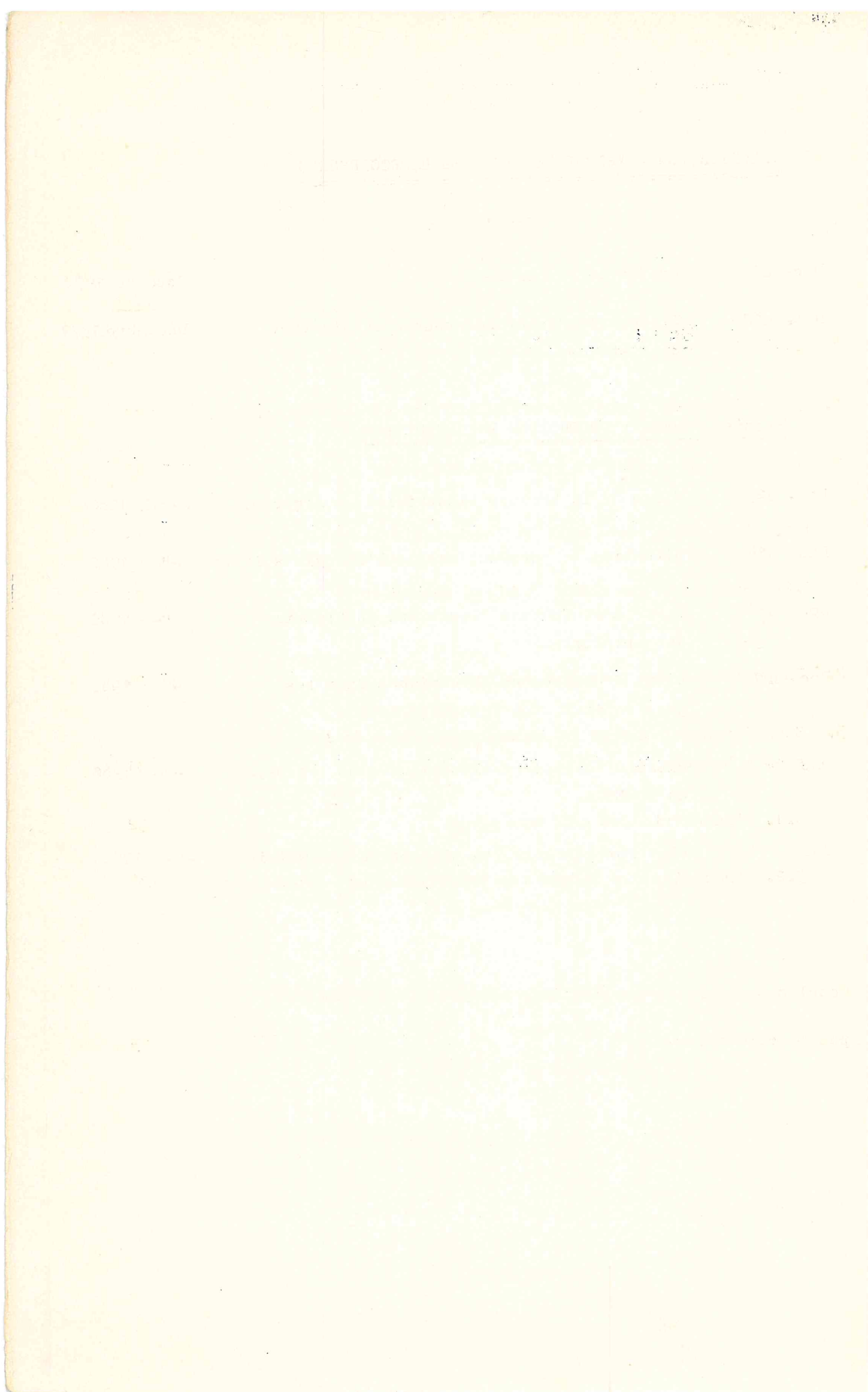
1001

VALORISATION PHYSIQUE INTERNE DES HYDROCARBURES
=====

Doc. n°1	Projet de recherche	Octobre 1979
Doc. n°2	Le secteur des hydrocarbures en Algérie: Statistiques.	Décembre 1979

Première phase : PRODUCTION D'ELECTRICITE

Doc. n°3	Bilan de la branche électricité en Algérie:	Avril 1980
Doc. n°4	Situation et perspectives de l'énergie solaire	-"- 1980
Doc. n°5	Biens d'équipement électrique en Algérie Note préliminaire	-"- 1980
Doc. n°6	Biens d'équipement électriques dans les pays capitalistes industrialisés	-"- 1980
Doc. n°7	Biens d'équipement électrique dans les pays du COMECON.	-"- 1980
Doc. n°8	Electrométallurgie du zinc et de l'aluminium	-"- 1980



P L A N D U R A P P O R T

=====

	<u>Page</u>
INTRODUCTION	5
I. APPLICATIONS SOLAIRES NE NECESSITANT PAS DE CONVERSION	11
1. Croissance du marché et évolution des coûts	15
1.1. Importance du marché et économies d'énergie	15
1.2. Structure des coûts et bilan financier	21
2. La politique des pouvoirs publics	25
3. Stratégies des firmes et industrialisation de la sous - branche	31
3.1. L'industrie des capteurs plans	32
3.2. Stratégies des firmes des principaux pays producteurs	34
Conclusions sur les applications solaires ne nécessitant pas de conversion.	43

	<u>Page</u>
II. CONTEXTE MONDIAL DE LA PRODUCTION D'ELECTRICITE SOLAIRE	45
1. La filière héliophotovoltaïque	48
1.1. Les filières technologiques	49
1.1.1. Filière utilisant le silicium monocristallin	49
1.1.2. Aperçu sur les autres filières	52
1.2. Stratégies de contrôle des moyens de production	54
1.2.1. La pénétration des grandes firmes pétrolières	54
1.2.2. Les groupes industriels de l'électronique et de l'électromécanique	56
1.3. Production et marché	59
1.4. La politique des pouvoirs publics	64
1.4.1. Aux Etats-Unis	65
1.4.2. En France et dans les autres pays européens	67
Conclusion sur la filière héliophotovoltaïque	73
2. La filière héliothermodynamique	75
2.1. Stratégie de contrôle des moyens de production dans l'indus l'industrie thermohélioélectrique	76
2.1.1. Caractéristiques technico-économiques	76
2.1.2. Le contrôle des moyens de production et les orien- tations technologiques	77
2.2. Les pompes solaires, production et marché	87
Conclusion sur la production d'électricité solaire	91

	<u>Page</u>
III. L'ENERGIE SOLAIRE ET LES PAYS DU TIERS-MONDE	93
1. Enjeu et formes de transfert entre le Nord et le Sud	96
1.1. Le marché	96
1.2. Supports de la pénétration de ce marché et rapports Nord-Sud	99
2. Le développement de l'industrie solaire dans les pays du Tiers-Monde	103
2.1. Structures et politique de R. et D. dans les pays du Tiers Monde	
2.2. Structures et politiques de R. et D. en Algérie	111
CONCLUSION	119
Annexe : Mesures incitatives à l'utilisation de l'énergie solaire - exemple du Canada.	123

LISTE DES TABLEAUX

=====

	<u>Page</u>
I/1. Evolution de la consommation française d'énergie du secteur résidentiel par usage depuis 1962	18
I/2. Répartition par secteur de la consommation d'énergie pour les besoins en chauffage et en froid aux USA en 1973	19
I/3. Caractéristiques de deux projets solaires de l'administration américaine	35
I/4. Principaux constructeurs de chauffe-eau solaires en France	36
II/1. Structure des coûts de production de photopiles au silicium monocristallin	53
II/2. Production de photopiles à usage terrestre	60
II/3. Prix du m ³ d'eau pompée par groupe solaire	61
II/4. Prévisions annuelles de vente de panneaux photovoltaïques	63
II/5. Budgets de R.D. sur les photopiles solaires	64
II/6. Projets de centrales à tour dans le monde	86
III/1. Population rurale du Tiers Monde desservie en électricité	96
III/2. Activités de R. et D. dans les énergies non conventionnelles (pays du Tiers Monde)	104
III/3. Recherches en énergie solaire et applications dans les pays arabes	107
III/4. Budgets de R. et D. en énergie solaire dans les pays arabes	109

I N T R O D U C T I O N

IN THE COURT OF THE COMMONS

En l'espace de quelques décennies, les hydrocarbures sont devenus la forme d'énergie principalement consommée dans le monde.

Le contrôle économique de cette source d'énergie par les firmes multinationales a permis un transfert de valeur considérable qui a accru la croissance économique au sein des pays occidentaux mais également leur dépendance énergétique vis-à-vis de quelques pays producteurs-exportateurs du tiers-monde.

Cet approvisionnement énergétique à bas prix et abondant a donné naissance à un modèle de consommation domestique et industriel peu rationnel qui a :

- favorisé le gaspillage, par exemple des tarifs dégressifs étaient consentis en fonction de l'augmentation de la consommation d'énergie,
- accru le développement des forces productives dans le seul secteur des hydrocarbures au détriment des autres sources d'énergie à l'exception de l'électro-nucléaire qui a bénéficié des retombées de la recherche en vue d'application militaires.

du rapport

La modification de forces en faveur des pays de l'O.P.E.P. , qui s'est traduite par le quadruplement du prix des hydrocarbures en 1973, a entraîné une révision des politiques énergétiques de la plupart des pays occidentaux. Les programmes de développement des capacités de production de l'électricité d'origine nucléaire ont été réévalués en hausse. Mais l'opposition croissante à cette forme d'énergie ainsi que la durée limitée des réserves d'uranium économiquement exploitables ont rendu nécessaire la Recherche-Développement en vue de l'utilisation des autres ressources énergétiques. Celles-ci sont connues depuis fort longtemps mais leur exploitation n'était pas rentable tant qu'il existait une source d'énergie génératrice de profits importants.

Le spectre de ces énergies, dont la mise en valeur exige des techniques nouvelles, est relativement large quand bien même les applications à l'échelle industrielle en sont faibles.

Une analyse exhaustive devrait s'intéresser à l'ensemble de ces sources :

schistes bitumineux, sables asphaltiques, gazéification du charbon, énergie solaire, fusion thermonucléaire etc... Nous avons restreint le champ de cette étude en fonction de l'objet de notre recherche qui est la valorisation physique interne des hydrocarbures en Algérie, où la durée limitée dans le temps des ressources fossiles doit inciter le planificateur à :

- privilégier la satisfaction des besoins internes à long terme,
- rechercher l'introduction de nouvelles sources afin de prolonger la durée de vie des réserves d'hydrocarbures.

Cette voie devient un impératif quand on connaît l'inertie qui caractérise le secteur de l'énergie. En 1900, le charbon fournissait 96 % des besoins mondiaux en combustible, et ce n'est qu'en 1967 que la consommation de pétrole dépassait celle du charbon(1)

Quelques décennies peuvent facilement séparer le passage de la démonstration de la faisabilité scientifique à l'application industrielle. L'histoire de la genèse des techniques est suffisamment éloquente pour que la planification énergétique tienne compte d'un horizon temporel long.

La mise en oeuvre de cette planification, afin d'accroître l'indépendance économique, doit s'orienter vers :

- l'exploitation de ressources locales,
- l'utilisation de technologies susceptibles d'être maîtrisées.

Dans l'état actuel des connaissances le soleil et l'uranium constituent en Algérie les principales sources qui peuvent contribuer de manière significative à l'approvisionnement en énergie du marché interne.

(1) M.GRENON: "Pour une politique de l'Energie". Marabout Université 1972. 350 p.

L'intérêt pour l'énergie solaire s'explique par l'importance du flux énergétique qui parvient au sol. La conférence mondiale de l'énergie(1) a estimé que l'énergie théoriquement récupérable correspond à une capacité de production de l'ordre de 50 à 100 TW alors que la moyenne se situe actuellement dans une fourchette de 8 à 10 TW.

Le caractère renouvelable de l'énergie solaire, sa distribution géographique et le faible impact sur l'environnement constituent les autres avantages de l'énergie solaire.

remarquer

Parmi ses principaux inconvénients il faut que l'énergie solaire est aléatoire, dispersée dans l'espace et d'intensité variable selon les zones géographiques, ce qui rend nécessaire des installations de stockage ou le recours à des énergies d'appoint.

L'énergie solaire couvre un domaine très étendu. On distingue :

- les formes indirectes que sont le vent, la houle, les marées, les gradients thermiques des mers, l'hydraulique et la photosynthèse.
- les formes directes qui proviennent du rayonnement solaire instantané et diffus qui peut être utilisé pour la production de chaleur ou d'énergie secondaire comme l'électricité par exemple.

Les perspectives limitées offertes par les formes indirectes, dans le cas de l'Algérie, nous a conduit à ne prendre en considération dans cette étude que les formes directes du rayonnement solaire.

Les différentes filières solaires connaissent des stades de développement inégaux :

(1) Conférence Mondiale de l'Energie: "Perspectives énergétiques mondiales. Horizon 2020 " Ed. Techniques et Economiques 1979.

- L'utilisation de la chaleur solaire est déjà ancienne; grâce au progrès techniques, certaines applications, dans l'habitat notamment, (chauffe-eau solaire) sont déjà rentables et largement diffusées dans certains pays.

- La conversion photovoltaïque, c'est à dire la production directe d'électricité par l'éclairement d'un semi-conducteur, est liée à la recherche spatiale. Les systèmes photovoltaïques permettent de fournir l'électricité aux satellites artificiels.

- La conversion thermodynamique utilise la chaleur solaire pour mettre en mouvement des machines à vapeur et produire du courant par des alternateurs classiques.

Les prototypes de centrales solaires thermodynamiques et les installations photovoltaïques actuellement en fonctionnement montrent que le processus de maturation technologique doit être accéléré pour que l'électrosolaire devienne une industrie rentable.

Dans une première partie, nous allons cerner les possibilités et les limites de l'énergie solaire pour les usages ne nécessitant pas de conversion. L'application la plus répandue et la plus élaborée est l'utilisation de la chaleur à basse température dans le domaine de l'habitat surtout pour la production d'eau chaude sanitaire et le chauffage des locaux.

Notre deuxième partie sera consacrée à la production d'électricité par les filières photovoltaïque et thermodynamique. Le processus de formation de l'industrie solaire et les stratégies de contrôle des moyens de production représenteront un point central de toute notre analyse.

Dans une troisième partie nous essaierons de mettre en relief :

- Les rapports Nord-Sud en liaison avec les stratégies de contrôle et d'appropriation de la production des moyens de production.

- Les politiques et les structures de R et D dans les pays du tiers monde en général, et en Algérie en particulier.

Première Partie :

APPLICATIONS SOLAIRES NE NECESSITANT PAS DE CONVERSION

Dans cette première partie, nous verrons d'abord le développement du marché des chauffe-eau solaires ainsi que l'évolution des coûts.

Un deuxième paragraphe nous permettra de mettre en relief la nature et les formes de la politique des pouvoirs publics afin de favoriser la pénétration de l'énergie solaire dans ce domaine.

Nous terminerons cette partie par l'analyse de la stratégie des firmes et de l'industrialisation de cette "sous-branche".

1. CROISSANCE DU MARCHÉ ET ÉVOLUTION DES COUTS.

1.1. Importance du marché et économies d'énergie.

Sur le plan technique, la compétitivité du chauffe-eau solaire s'explique en grande partie par la possibilité d'utiliser directement la chaleur produite pour un usage qui ne requiert pas des températures élevées (entre 40 et 80° C.).

En outre, les besoins en eau chaude sont répartis tout au long de l'année (à la différence du chauffage).

Le stockage étant relativement limité, les déperditions de chaleur sont peu importantes.

Deux (2) heures de soleil par jour et 1 à 2 m² de capteurs selon les régions sont suffisants pour disposer de 100 l d'eau chaude par jour.

A titre d'illustration nous donnons l'exemple d'une installation, située dans la région de Poitiers, de 4 m² de capteurs avec un ballon de stockage de 200 l et une consommation journalière moyenne de 130 l.

Le bilan (1) qui a été établi montre que, pour une consommation annuelle totale équivalente à 2200 KWh, on aura utilisé 1230 KWh d'énergie solaire et 970 KWh d'énergie d'appoint ce qui correspond à une économie des autres sources d'énergie de 56%.

La plupart des estimations convergent pour souligner l'importance des économies d'énergie réalisées.

Pour une consommation de 300 l d'eau à 50-55° C par jour et une surface de capteurs de 5 m², les économies d'énergie procurées par un chauffe-eau solaire varient de 35% pour le Nord de la France à 70% pour le Sud-Est(1).

(1) Le bilan détaillé est donné dans la revue "que choisir" 79/2.

Il est intéressant d'examiner le bilan dans le cas de l'habitat collectif. Une étude a été effectuée en France dans un immeuble de 80 logements.

La consommation moyenne hebdomadaire par logement est de 800 l à 50° C soit une consommation totale de 64 m³. Pour élever la température de cette eau de 10° à 50° C, il faut 161 000 KWh/an. Afin d'assurer une température de 50° C aux points de puisage les plus élevés, l'eau doit circuler dans une boucle dont les ^{pertes} thermiques s'élèvent à 41000 KWh/an. En incluant les pertes thermiques des réservoirs, l'énergie totale distribuée est de 210 000 KWh/an. En utilisant un capteur à vitrage simple et en fonction de la surface de capteurs, on obtient les chiffres suivants :

Surface de capteurs (m2)	Pourcentage solaire	
	LILLE	MONTPELLIER
50	14,6	25,6
100	22,4	39,1
150	28,4	49,4
200	33,2	56,5
250	36,8	61,6

Source : R.Gilles "Bilans énergétiques d'installations solaires en France".p 635-640 in Energie Solaire conversions et applications CNRS 1978 847 p.

Quand l'énergie solaire n'est pas disponible, l'appoint peut facilement être fourni en ayant recours au gaz naturel dans le cas de l'Algérie.

(1) M. WALLON. Directeur de R et D de TOTAL-CFP " un pétrolier s'intéresse à l'énergie solaire" In Revue de l'Energie - Mars 1979.

Pour d'autres informations on pourra consulter Energie solaire Actualités (Revue hebdomadaire).

Sur le plan économique, l'intérêt que manifestent les industriels pour la mise au point de systèmes solaires de la production de chaleur à basse température (eau chaude sanitaire et chauffage des locaux) s'explique par l'importance du volume d'énergie nécessaire pour la satisfaction de ces usages.

Les statistiques du tableau I.1. donnent une idée du marché potentiel qui est ouvert à l'industrie solaire.

En moyenne entre 1962 et 1975, les besoins en énergie pour la production d'eau chaude sanitaire et le chauffage des habitations représentent plus de 80% de la consommation totale du secteur résidentiel.

En valeur absolue, la consommation annuelle entre 1972 et 1975 est supérieure à 30 M tep. Ce chiffre qui ne représente qu'une fraction (1) de la consommation "basse température" est suffisamment important pour justifier une industrie solaire dans ce domaine.

Cette distribution par usages est sensiblement la même pour la plupart des pays industrialisés. Le tableau I.2. donne pour les Etats Unis la consommation d'énergie pour la production de chaleur et de froid.

Comme, on peut le constater, les besoins en chaleur basse température, notamment pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire, sont les plus importants. Ces deux usages représentent 83% de la consommation totale des 2 secteurs ($DT < 100^{\circ} C$ et $DT > 100^{\circ} C$) (2)

(1) Il convient pour être exhaustif de tenir compte, pour la satisfaction de ces usages de la consommation du secteur tertiaire et de l'industrie.

(2) Pour l'année 1973, la consommation de l'industrie est de $4,84 \cdot 10^{15}$ BTU pour $DT < 100^{\circ} C$ et $12,46 \cdot 10^{15}$ BTU pour $DT > 100^{\circ} C$.

Tableau I/1:-- EVOLUTION DE LA CONSOMMATION FRANCAISE D'ENERGIE DU SECTEUR RESIDENTIEL PAR USAGE DEPUIS 1962.

	1962		1972		1973		1974		1975	
	M. tep	%	M. tep	%	M. tep	%	M tep	%	M. tep	%
Chauffage	11,7	73,6	28,5	72,5	30,0	74,1	28,6	72,2	27,3	69,8
Eau chaude sanitaire	1,5	9,4	4,7	12,0	4,0	9,9	4,2	10,6	4,4	11,2
Cuisine	0,8	5,0	1,6	4,1	2,2	5,4	2,2	5,6	2,3	5,9
Electricité spécifique(a)	1,7	10,7	3,7	9,4	4,3	9,6	4,6	11,6	5,1	13,1
Residences secondaires(b)	0,2	1,3	0,5	0,8	-	-	-	-	-	-
T O T A L	15,9	100,0	39,3	100,0	40,5	100,0	39,6	100,0	39,1	100,0

(a) Eclairage, appareils ménagers, divers secondaires,

(b) La consommation des résidences. peu importante, n'a été calculée à part que pour les années 1962 et 1972.

Source : J.Y. FABERON : "Les économies d'énergie en France Politique et moyens juridiques. Notes et Etudes Documentaires n°4541-42. Décembre 1979 295 p.

Repartition par secteur de la consommation d'énergie
pour les besoins en chauffage et en froid : 10¹⁵ BTU/an
Etat, Unis 1975. Tableau I/2/

SECTEURS USAGES	RESIDENTIEL		TERTIAIRE		TOTAL DES 2 SECTEURS	
	DT < 100 %	DT > 100%	DT < 100%	DT > 100%	DT < 100%	DT > 100%
Chauffage	5,48		4,28		10,76	
- eau chaude sanitaire.	1,54		0,61		2,15	
- climatisation	0,22		0,76		1,08	
- réfrigération	0,58		0,28		0,86	
- Cuisine		0,46		0,15		0,61
- Autres		0,16		-		0,16
TOTAL	8,72	0,62	5,93	0,15	14,65	0,77

Source : AMORY. J. LOVINS : "Soft energy paths" Harper Colophon ed. 1979. 231 p.

L'importance de ce marché justifie une industrie solaire même en supposant qu'elle ne couvre qu'une partie de ces besoins.

Selon une étude de Général Electric effectuée en mai 1974, sur 60 M de logements à construire aux Etats Unis d'ici l'an 2000, 40M pourraient être économiquement équipés d'un chauffe eau solaire. Mais du fait de blocages à l'innovation, de l'adaptation des structures industrielles, le marché réel ne serait que de 4M de logements cumulés en l'an 2000. Ce chiffre représenterait néanmoins un marché de plusieurs milliards de dollars par an et une économie d'énergie de 20 centrales de 1000 MWe. (1)

En France des prévisions moyennes estiment que le chauffage des habitations et de l'eau par l'énergie solaire couvriraient 0,5% des besoins totaux soit 1,2 M tep. Ce pourcentage varierait dans une fourchette de 1,5% à 2,5 % en l'an 2000 . (2)

Hormis au Japon et à un degré moindre , en ~~Australie~~ et à Chypre le développement de l'industrie des chauffe-eau solaires est lié au renchérissement des ressources fossiles.

Au Japon, en 1960, il existait déjà 350 000 chauffe-eau solaires, en 1965, le nombre d'appareils s'élevait à 1 million. Actuellement on peut évaluer à quelque 2 millions le nombre de chauffe-eau solaires installés dans ce pays. Il s'agit d'appareils très simples mais avec des rendements relativement faibles. Néanmoins l'économie de ressources fossiles pendant la durée de vie de ces appareils est loin d'être négligeable.

A Chypre, les premiers chauffe-eau solaires ont été installés à titre expérimental en 1953-54. Leur développement est cependant récent mais extrêmement rapide. En 1975, 20% de tous les besoins domestiques de cette île étaient couverts par l'énergie solaire.(3)

(1) Source. R. STOLL " Solar collector manufacturing activity. January through june 1976 " Fédéral Energy Administration.
D'après nos calculs, dans cette statistique, il faut inclure la consommation d'énergie pour le chauffage.

(2) Diverses sources notamment Techniques de l'Energie. Déc. Janv. 1979.

(3) Information ~~puisée~~ dans plusieurs sources : P. SEVETTE " Géographie et économie comparée de l'énergie ". I.E.J.E. PUZ 1976.

Energie Solaire Actualités - Revue de l'Energie 1974.

En Australie, les recherches sur les capteurs-plans sous l'égide de l'Organisation Scientifique du Commonwealth pour l'Industrie et la Recherche, (CSIRO) ont commencé dès 1950. La matérialisation de cette recherche en applications industrielles a été relativement lente. Mais actuellement l'industrie des chauffe-eau solaires à usage individuel et/ou collectif connaît une forte progression.

Le marché du chauffe-eau solaire ne connaîtra un taux de croissance important, notamment dans l'habitat individuel, que si l'utilisateur qui opte pour ce choix réalise un certain bénéfice par rapport à un équipement classique.

1.2. Structure des coûts et bilan financier.

Actuellement, le surcoût d'une installation solaire pour la production d'eau chaude sanitaire est supportable par l'utilisateur d'autant plus que dans quelques pays l'Etat accorde des subventions (1).

Le chauffage des locaux reste trop onéreux et à ce titre exceptionnel. Il s'agit généralement d'opérations de démonstration. Une fabrication plus importante de capteurs plan, même si cette industrie n'a pas encore atteint le stade de la production de masse, ainsi que la spécialisation des firmes se sont traduites par une diminution des coûts, au moins en monnaie constante.

Les différentes estimations que nous avons recueillies entre 1977 et le début de l'année 1980 nous permettent de situer le prix du chauffe-eau solaire dans une fourchette qui varie de 3500 FF à 6200 FF. Cet important écart s'explique en grande partie par la différence de qualité.

(1) Ce point sera examiné au paragraphe suivant : 2 - La politique des pouvoirs publics.

En France, en 1977, une installation comprenant :

- Un ballon de 300 l à serpentin auxiliaire et résistance électrique d'appoint de 3 KW.
- des panneaux solaires de 4 m²
- un circulateur
- un vase d'expansion et les tuyauteries, coûtait 6000 FF (1)

P. Criqui et J. Percebois (2) évaluaient le surcoût d'un chauffe-eau solaire de 200 l, entre 3000 FF et 5000 FF.

Si l'on tient compte d'une consommation annuelle de 4200 KWh, d'une économie d'énergie de 70% (sud de la France) et d'un coût du KWh de 20 c, le gain financier annuel est de :

$$4200 \times 70\% \times 20 = 568 \text{ FF.}$$

Le surcoût de l'installation sera donc amorti entre 5 ans et 8 ans selon le prix de l'installation.

En actualisant à 10% sur 20 ans, le bénéfice total de l'opération varie de 2100 FF pour un surcoût de 3000 FF à 100 FF pour un surcoût de 5000 FF.

Une enquête de la revue "que choisir" effectuée en 1979 et concernant la plupart des fabricants français de chauffe-eau solaires évalue la commercialisation d'un ensemble complet entre 5300 FF et 6200 FF.

Dans la structure des prix d'un appareil, le prix du capteur plan est prépondérant. En France le prix de vente moyen au public était de 1120 FF/m² en 1979.

Même si dans ce pays le chauffe-eau solaire est déjà compétitif par rapport aux appareils classiques, le prix reste relativement élevé et peut s'expliquer par la jeunesse de cette industrie et une commercialisation encore limitée.

A Chypre, où il existe une douzaine de fabricants, le prix de vente à l'exportation du chauffe-eau solaire est inférieur à 4000 FF. Le plus important producteur mais également le plus cher (1), METALCO, installé dans la région de Nicosie en moyenne 8 chauffe-eau par jour.

La structure des prix d'un chauffe-eau solaire commercialisé par METALCO s'établit ainsi au 3 août 1979.

	U.S. \$	%
- un ballon de stockage de 40 gallon (185 l) avec une résistance électrique d'appoint de 3 KW	150,50	24,6
- 2 collecteurs solaires	242,00	40
- un réservoir de stockage de 140 gallon (640 l)	91,50	15
- éléments de raccords, tuyauteries, matériel d'isolation etc....	124,00	20,4
Prix FOB port de Chypre U.S \$	608,00	100

On remarque l'importance des capteurs plans qui représentent environ 40% du prix total de l'installation.

En Australie, des scientifiques du CSIRO ont établi une relation entre l'augmentation annuelle du prix de l'électricité et la période après laquelle le chauffe eau solaire devient rentable. Nous résumons cette corrélation par le tableau suivant :

Augmentation annuelle du prix de l'électricité (%)	Période à l'issue de laquelle le chauffe-eau solaire est rentable (années)
20 %	4 ans
15 %	5 ans
10 %	8 ans
5 %	17 ans

(1) Le représentant à l'exportation explique cette différence de prix avec ses concurrents par la qualité du matériel : structures en acier, réservoirs en aluminium, isolations en polyuréthane...

Quant au chauffage des habitations par l'énergie solaire, le prix actuel des capteurs est encore trop élevé pour que les autres sources d'énergie (fuel, gaz naturel, électricité...) puissent être concurrencées.

En 1977, en France, les surcoûts entraînés par l'installation d'un chauffage solaire dans des maisons individuelles étaient compris entre 30000 FF et 70000 FF.

Dans le cas d'une maison type de 100 m² et en supposant une consommation annuelle de 20 000 KWh y compris la satisfaction des besoins en eau chaude sanitaire, et une économie d'énergie de 60%, l'économie annuelle serait de : $20\ 000 \times 0,60 \times 0,20 \text{ C /KWh} = 2400 \text{ FF}$.

L'investissement initial sera amorti, si l'on retient pas compte de l'actualisation, entre 12 ans et demi (surcoût ^{de 30000 FF}) et 29 ans (surcoût de 70000 FF).

Le consommateur est davantage préoccupé par le court terme et ne procède que rarement à une étude de rentabilité sur une longue période. De plus, en France où le déménagement moyen s'effectue avant 6 ans, l'intérêt de recourir à un équipement solaire est limité par l'investissement initial. Il est certes possible de pallier à cet inconvénient en faisant supporter les frais concurremment par le propriétaire et le locataire.

Les pouvoirs publics peuvent également jouer un rôle non négligeable afin de favoriser la pénétration de cette énergie nouvelle susceptible de prolonger la durée de vie des ressources non renouvelables.

2. LA POLITIQUE DES POUVOIRS PUBLICS.

Dans les pays occidentaux notamment, depuis le renchérissement du prix des hydrocarbures, deux lignes d'action principales en faveur des autres formes d'énergie sont suivies par les pouvoirs publics :

- Utilisation des instruments traditionnels de la politique économique: fiscalité, subventions

- Développement de la Recherche et Développement à partir de fonds et de structures publics.

Aux Etats Unis, un programme d'abattement fiscal, non encore voté, a été mis au point. Il prévoit un abattement de 30 % pour les premiers 2000 \$ dépensés et de 20 % pour le reste jusqu'à concurrence de \$ 10000.

Parallèlement à la législation fédérale, certains Etats ont adopté des mesures pour encourager une pénétration plus rapide de l'énergie solaire.

Les Autorités de San Diego (Californie) ont voté en janvier 1979 un arrêté d'après lequel toute nouvelle construction devrait être obligatoirement équipée d'une installation de production d'eau chaude sanitaire. Cet arrêté concerne d'abord les habitations non raccordées au réseau de gaz naturel. A partir du 1^{er} octobre 1980 toutes les nouvelles constructions devront satisfaire à cet arrêté.

De nombreux Etats ont recours à des incitations fiscales pour encourager la pénétration de l'énergie solaire. On peut distinguer :

a) l'impôt foncier : dix neuf Etats ont adopté des mesures d'exemption de la taxe foncière sur l'équipement. La durée de cette exemption ^{et le montant} varient en fonction des Etats.

- Dans trois Etats (Maryland, Arizona et Montana) l'exemption n'est pas limitée dans le temps.

- Quant au montant de cette taxe, il diffère aussi selon les Etats, par exemple dans le New Jersey et l'Indiana, la réduction est égale à la différence entre la valeur de la propriété avec et sans système solaire...

Le Dakota du Sud et le Nevada ont adopté cette même procédure mais avec un plafond de \$ 2000.

b) l'impôt: neuf Etats permettent aux particuliers et aux entreprises qui installent un système solaire, une déduction de l'impôt. Le pourcentage diffère selon les Etats. Certains Etats y adjoignent un plafond, par exemple dans l'Idaho, il est possible de déduire 25 % de l'impôt sans que ce montant excède \$ 1000 pour les particuliers et \$ 3000 pour les entreprises.

c, Quatre Etats offrent une réduction sur la taxe de vente. Dans le Maine elle n'est accordée que si le matériel est homologué par "l'Office of Energy Resources".

Il est prévu par ailleurs pour l'ensemble des Etats Unis d'équiper en matériel solaire tous les nouveaux bâtiments militaires.

En France pour l'installation de tout chauffe-eau solaire homologué une prime de 1000 FF était octroyée au consommateur par le Commissariat à l'énergie solaire (COMES)(1).

Cette prime a été supprimée le 30 Juin 1979 et remplacée depuis le mois d'août (2) de la même année par un prêt de 3000 FF par logement en immeuble collectif et de 4 000 FF pour une maison individuelle.

(1) Avant la création du COMES en février 1978, cette prime relevait de la Délégation aux Energies Nouvelles.

(2) Decret du 28 Août 1979. Les Ministères de l'Environnement et du Cadre de la vie de l'Industrie, de l'économie et du Budget sont concernés par ce texte.

Il semble que la formule de la prime, même si elle représentait en moyenne 20 % de l'achat (nous avons supposé le prix du chauffe-eau solaire égal à 5000 FF), n'ait par fortement stimulé la demande. Dans une économie où le taux d'inflation est relativement important (en moyenne 10 % par an en France) un prêt qui couvre en grande partie l'investissement initial (80 % pour une maison individuelle) est généralement préféré par le consommateur.

En RFA, pour toutes les réalisations solaires, l'Etat accorde une subvention de 25 %.

En Italie, le taux de la TVA (1) n'est plus que de 1 % pour l'installation d'un chauffe-eau solaire par des particuliers.

Parallèlement à ces mesures d'ordre législatif les Pouvoirs Publics consacrent des fonds importants à la Recherche-Développement dans le bâtiment.

Dans ce secteur, pour l'année 1979, les investissements solaires des principaux pays sont les suivants :

- Etats Unis : \$ 100 M en 5 ans
- R.F.A. : \$ 10 M par an
- Italie : 44 milliards de lires(\$ 56 M) en 5 ans (2)

(1) T.V.A Taxe sur la valeur Ajoutée.

(2) Il s'agit de l'ensemble du programme d'électrification rurale par l'énergie Solaire. Nous ne disposons pas du montant consacré au bâtiment.

- France: 69 MF dont 28 MF pour la E et D.

Cette somme représente 25 % de l'ensemble du budget solaire français.

Une part importante concerne la production d'eau chaude et le chauffage des locaux. Les autres axes de recherche dans le bâtiment portent sur les systèmes passifs tels que isolation, murs adaptés, exposition...

Parmi les pays qui ne bénéficient pas de la rente de situation due à un meilleur ensoleillement, le Canada est un de ceux dont les objectifs sont relativement ambitieux surtout dans le bâtiment. Les pouvoirs Publics ont élaboré un programme cohérent de construction d'une industrie solaire nationale.

En juillet 1978 le Ministère de l'Energie des Mines et des Ressources a rendu public un plan quinquennal de \$ 380 M pour le développement des énergies renouvelables.

Dans le cadre de ce plan les Travaux Publics du Canada sont chargés de la gestion de trois programmes qui intéressent la production de biens d'équipement solaire pour le bâtiment :

- Immeubles à consommation réduite d'énergie : (I.C.R.E.) \$ 0,42 M
- Aide aux fabricants de matériel solaire : (A.F.M.S.) \$ 3,1 M
- Achat et utilisation d'équipement solaire: (A.U.E.S.) \$ 125 M

Le programme I.C.R.E. a pour objectif la mise au point de techniques permettant une meilleure utilisation du chauffage solaire passif c'est à dire la conception d'immeubles ayant un bon rendement énergétique.

Afin de stimuler les bureaux d'étude, des prix (allant jusqu'à \$ 30000) sont décernés. Leur attribution constitue davantage une garantie de crédibilité pour l'octroi de contrats ultérieurs qu'une réelle compensation financière.

Les pouvoirs Publics misent plutôt sur les deux autres programmes pour le lancement d'une industrie solaire compétitive.

Le programme A.F.M.S. vise la réalisation de 3 objectifs principaux :

- stimuler la ~~con~~ception, la fabrication et la commercialisation par les sociétés canadiennes de matériels et installations efficaces et fiables, fonctionnant à l'énergie solaire.
- Arriver à une diminution des prix du matériel solaire
- Favoriser le développement à court terme, d'une industrie solaire canadienne qui puisse fonctionner sans l'aide de l'Etat.

Pour atteindre ces objectifs, la stratégie des Pouvoirs Publics est l'encadrement et la rationalisation de cette industrie afin de limiter le marché aux entreprises les plus compétitives.

Les Pouvoirs Publics procèdent à une sélection (1) des sociétés intéressées par la fabrication de matériel solaire et ayant fait une demande pour l'obtention de subvention.

Sur 152 sociétés ayant émis des propositions, dix firmes (2) ont été finalement retenues pour bénéficier d'un marché global de \$ 2,6 M.

Le programme AUES complète les programmes ICER et AFMS de construction d'une industrie rentable de production d'équipement solaires par l'achat et l'utilisation d'équipement solaires ~~le~~ **le gouvernement fédéral, garantit** aux fabricants un marché initial.

Le financement de ce programme doit s'échelonner sur 5 ans :

1979 - 80	:	\$ 5 M (approuvé)
1980 - 81	:	\$ 10 M (proposé)
1981 - 82	:	\$ 20 M (proposé)
1982 - 83	:	\$ 40 M (proposé)
1983 - 84	:	\$ 50 M (proposé)

(1) Dans notre annexe, sont donnés les critères et la procédure ^{de} sélection.

(2) Ces firmes sont analysées dans le paragraphe 1.3 : Stratégie des firmes et industrialisation de la sous branche.

A l'issue de cette période, la nouvelle industrie solaire devrait être en mesure de produire des équipements pour le chauffage de l'eau et des locaux qui puissent concurrencer les appareils classiques.

Le Gouvernement Fédéral estime que vers 1990, les ventes d'équipements solaires pour la production d'eau chaude sanitaire (chauffe-eau) et le chauffage des locaux devraient se situer entre \$ 400 M et \$ 800 M. Le niveau de l'emploi est évalué à quelque 15 000 travailleurs.

Parmi les pays du Tiers Monde, le Niger est un des rares pays à mener une politique volontariste. En effet, l'installation de chauffe eau solaire est obligatoire dans tous les nouveaux hopitaux, hôtels, écoles et logements de fonction.

Quant aux activités de production, elles ne concernent que quelques pays du Tiers Monde (Niger, Malte, Chypre) ... etc sont limitées au montage ou à la fabrication d'équipement à partir de licences achetées à des firmes occidentales.

A travers la politique des Pouvoirs Publics, nous avons pu cerner la nature et les formes d'intervention des Etats pour favoriser l'émergence d'industries solaires dans leurs pays respectifs. Il nous reste à analyser la politique des firmes et leur champs d'action.

3. STRATEGIE DES FIRMES ET INDUSTRIALISATION DE LA SOUS-BRANCHE.

L'industrialisation de la production des systèmes chauffe eau solaires et des appareils de chauffage peut être repérée à trois niveaux distincts :

- Les firmes qui fabriquent des appareils conventionnels ont étendu leur gamme de produits au créneau solaire.
- Les faibles barrières à l'entrée tant technologiques que financières ont permis la création de petites entreprises spécialisées, notamment dans la production des capteurs plans qui restent la pièce principale d'un ensemble solaire.
- Les grandes firmes qui bénéficient de rentes technologiques (industrie du verre, de l'aluminium...) s'orientent plutôt vers la production de collecteurs qui concentrent le rayonnement solaire. D'une technologie plus complexe, ils sont utilisés pour la production d'électricité (1)

Cette tendance n'exclut pas la recherche et le développement de capteurs plans plus performants.

(1) Voir notre 2ème partie.

3.1. L'INDUSTRIE DES CAPTEURS PLANS.

Dans les systèmes d'énergie solaire étudiés, le **capteur** plan constitue la partie principale. Il est formé d'un assemblage permettant de réaliser l'effet de serre. Cet appareil, comme son nom l'indique, capte les rayons du soleil traversant la vitre, les absorbe et les convertit en chaleur qui est transmise au liquide à chauffer.

Les autres éléments d'une installation solaire tels que échangeurs de chaleurs, tuyaux, ballons de stockage appartiennent à l'industrie classique et bénéficient déjà de l'effet de série.

Le capteur plan représente 30 à 40 % du prix de revient d'un chauffe eau solaire.

Cette technologie est en voie de développement et peut connaître une diminution de coûts notables qui proviendrait :

- d'une production de masse
- de la mise au point de capteurs ayant de meilleurs rendements
- de l'utilisation de matériaux moins chers tels que les matières plastiques.

À travers l'évolution de la production des capteurs plans, on peut saisir l'avance technologique et la domination du marché par les firmes de quelques pays industrialisés.

Production de capteurs plans en France et aux Etats Unis: (m²)

	1974	1975	1976	1977
ETATS UNIS(1)	100 000	100 000	-	-
FRANCE (2)	900	4 000	12 000	50 000

(1) R.P. STOLL: "solar collector manufacturing activity" op. cit

(2) P.CRIQUI et J.PERCEBOIS: "perspectives économiques..." op.cit.

Au cours des prochaines années cette industrie va connaître un fort taux de croissance. En France on estime que des économies de l'ordre de 5M tep grâce à l'énergie solaire (eau chaude sanitaire et chauffage) nécessiteront l'installation de 25 M de m² de capteurs.

Pour atteindre cet objectif, la production devrait être de 1 M de m²/an en 1985 et 2 M de m²/an en 2000.(1)

La production et la commercialisation des capteurs plans à la différence des héliostats, relève surtout des petites et moyennes entreprises.

Aux Etats Unis, environ 140 firmes, la plupart de petite taille, sont concernées par cette industrie.

Il est intéressant cependant de remarquer parmi elles la présence d'EXXON (première firme mondiale par le chiffre d'affaire). La stratégie des grandes firmes de l'énergie est guidée par le contrôle des sources d'énergie et/ ou des moyens de production pour leur exploitation (2)

Par le biais de sa filiale, Daystar Co., Exxon a vendu en 1979. 5000 capteurs plans soit un doublement des ventes par rapport à 1977.

(1) P.J. ANTONY : " Le solaire en France en l'an 2000".
La Recherche n°0101 Juin 1979.

(2) EXXON est davantage impliquée dans l'électrosolaire où le nombre de firmes est plus restreint. (voir notre deuxième partie).

Ces capteurs ont servi à l'équipement de résidences individuelles et collectives pour la production d'eau chaude sanitaire, le chauffage des locaux et accessoirement la climatisation.

Daystar a bénéficié de contrats du " U.S. Département of Housing and Urban Développement" pour installer dans différents sites des systèmes de chauffage et de réfrigération.

EXXON s'attend à ce que la législation sur la conservation de l'énergie adoptée par le Congrès à la fin de l'année 1978, augmente nettement le chiffre d'affaires de sa filiale.

3.2. Stratégie des firmes des principaux pays producteurs :

Généralement, les projets importants, où sont mis en oeuvre des systèmes de régulation et de contrôle, sont réalisés le plus souvent par 2 firmes opérant dans des spécialités différentes. Le déficit financier éventuel de l'opération est couvert par des subventions gouvernementales.

A titre d'exemple nous donnons dans le tableau I.3 les caractéristiques de 2 projets.

Même si de tels regroupements sont fréquents, la formation des associés est ponctuelle et limitée au projet. Il est donc prématuré de conclure, du moins dans le cas des Etats Unis, à une concentration du capital financier et technique.

En France, la formation de cette industrie présente des similitudes avec celle des Etats Unis.

Une cinquantaine de firmes, généralement des petites et moyennes entreprises, fabriquent des capteurs plans. Quelques grandes firmes comme: Pechiney Ugine Kuhlman, Saint Gobain Pont à Mousson parallèlement à la R et D dans les autres filières solaires plus capitalistiques (miroir utilisant la concentration) produisent et commercialisent des capteurs plans.

En outre, on remarque une tendance très nette de la plupart des firmes fabriquant des appareils classiques (chauffage, chauffe-eau...) à se lancer dans la production d'équipements utilisant l'énergie solaire et notamment le chauffe-eau dont la rentabilité est déjà démontrée dans les zones qui bénéficient d'un bon ensoleillement. Dans le Tableau I.4 sont recensés les principaux constructeurs de chauffe-eau solaires en France.

Tab. I/3 : Caractéristiques de 2 projets "solaires" de l'Administration Américaine.

Service des postes des Etats Unis	Service des douanes américaines
- Propriétaire constructeur: service des postes - Entrepreneur : HONEYWELL - Système d'énergie solaire • applications : chauffage: 32%, refroidissement: 32%, eau chaude : 77 % • surface des capteurs plans: 4 140 pi² (385 m²) • Fabri ant.: LENNOX INDUSTRIES INC • Système d'appoint: chaudière à gaz, électricité - Subventions cu D O E (1) \$ 399.000 - Date d'entrée en exploitation : Août 1977	- Propriétaire constructeur: Ministère des finances - Entrepreneur : SOLAR ASSISTANCE INC. - Système d'énergie solaire : • applications chauffage: 70 % • surface des capteurs plans: 1127 pi² (105 m²) - Fabricant: DAYSTAR Co. (filiale d'EXXON). • Système d'appoint: chaudière à mazout - Subvention du D O E : \$ 40572. - Date d'entrée en exploitation: Février 1979

(1) D.O.E : Département of Energy

Source ; Public Works - Canada - Doc n°1

10 Mars 1979.

Tableau 1/4 : Principaux constructeurs de chauffe-eau solaires en France : (1)

(2)

. CEPEM (filiale de la C.G.E), marques Sauter et Thermor, qui propose en système de production d'eau chaude par l'énergie solaire en deux versions: SPECES I, avec capteur Sudinox et SPECES II, avec capteur Solefil.

. CHAFFOTEUX ET MAURY qui, outre la production d'eau chaude individuelle, propose un matériel conçu pour cinq autres utilisations: réchauffage des piscines, chauffage des locaux, production d'eau chaude à moyenne température dans les secteurs agricole, artisanal ou industriel. Deux sortes de capteurs: la tuile solaire, destinée à être intégrée à la toiture, et le panneau solaire.

. GIANOLA, qui commercialise des chauffe-eau mixtes et des brûleurs à mazout et a mis au point un chauffe-eau électro-solaire.

. LEMERCIER, dont l'activité est orientée vers les matériels thermiques en eau chaude sanitaire et chauffage et qui utilise dans ses matériels quatre énergies: gaz, mazout, électricité et solaire. Cette société a mis au point un chauffe-eau électro-solaire.

. PACIFIC, qui avec la collaboration de Sudinox, a mis au point un ensemble chauffe-eau solaire, le Sudipac.

. TOTAL HELIOTHERMIE

. SOCIETE NOUVELLE RADIAL (groupe Techiney Ugine Kuhlmann) qui fabrique des capteurs solaires CR77 (coffre en aluminium profilé, absorbeur en cuivre solaire, couverture en verre clair ("trempé"), isolation en mousse rigide de polyuréthane, joints d'étanchéité en silicone et en butyl-polyisobutylène armé).

. RADIELEC-THIVOLET, fabriquant des chaudières de chauffage central électro-solaire "Solarcumul".

. RHONELEC, qui fabrique à la fois des absorbeurs solaires et des chauffe-eau solaires et électro-solaires.

. SAUNIER DUVAL (Division eau chaude/chauffage), qui a mis au point un chauffe-eau solaire "Saunhelio".

. SOLEFIL, filiale de la Société Européenne de Propulsion (S.E.P.) qui a pris en location-gérance depuis le 1er Juin 1978 les installations de la SOFEE à Pergignan. Cette société propose des ensembles self-hélios.

. SUDINOX (groupe Rosières) qui a mis au point différentes sortes de capteurs: avec absorbeur cuivre ailettes aluminium, avec absorbeur acier, un capteur piscine, un capteur sous tuile et un capteur sous verre ondulé, correspondant à des utilisations différentes: eau chaude sanitaire, piscine, chauffage de serres, chauffage de locaux.

. STIEBEL-ELTRON

(1). Sources : Techniques de l'énergie . Décembre-Janvier 78-79. Rapport des firmes.

(2). CEPEM : Compagnie Européenne pour l'Electroménager.

La présence des firmes de l'énergie est affirmée par le biais de la C.F.P. (8^e compagnie pétrolière mondiale) dont la stratégie peut être comparée à celle d'EXXON.

La CFP, qui participe par ailleurs activement au développement des autres filières solaires(1), commercialise un chauffe-eau solaire qui permet d'obtenir avec une surface de capteurs de 5m² une économie d'énergie qui varie de 35% dans le nord de la France à 70% dans la région du Sud-Est(2).

En outre, par le biais de ses filiales la CFP a formé en 1979 un Groupement d'Intérêts Economiques dénommé TOTAL Heliothermie composé de :

- TOTAL Energie Développement,
- TOTAL Compagnie Française de Distribution,
- TOTALGAZ.
- SOFRETES (filiale du CEA et de la CFP)
- HUTCHINSON MAPA (CFP dispose d'un pourcentage de contrôle de 90,44% par l'intermédiaire de la Compagnie Française du Raffinage).
- Les Fils CHARVET
- COFRETH

Ce CIE doit aboutir à mettre en commun les études expériences des études et réalisations de ses membres afin de développer l'utilisation de l'énergie solaire en France.

Total Héliothermie commercialise déjà 2 types de chauffe-eau solaires et même des expériences et des opérations de démonstrations dans le domaine de la climatisation ainsi que le chauffage de serres.

(1). Voir notre 2^e par "Contexte mondial de la production d'électricité solaire".

(2). Rapport de la firme CFP et le groupe TOTAL en 1978.

Actuellement aussi bien aux Etats Unis qu'en France les éléments composant un chauffe-eau solaire relèvent souvent de firmes différentes. Néanmoins quelques firmes de moyenne ou grande importance proposent des produits solaires totalement intégrés c'est à dire dont les différentes phases sont maîtrisées par la même société.

Une production solaire intégrée ainsi qu'un éventuel bond technologique dans la conception-réalisation des capteurs-plans(1) peuvent favoriser le processus de concentration dans cette industrie. Nous croyons donc utile d'étudier le cas d'une entreprise moyenne ayant opté pour un produit solaire intégré.

STIEBEL ELTRON est une firme d'origine allemande, fondée en 1924, et spécialisée dans l'appareillage électrique. Elle emploie 3600 personnes dans 7 usines dont 5 en RDA et une en Autriche pour la production des équipements solaires. Les chauffe-eau, les appareils de chauffage, les petits appareils ménagers et électroménagers constituent la gamme des produits conventionnels fabriqués par cette société.

STIEBEL ELTRON, par l'intermédiaire de sa filiale française espère occuper, grâce à la production de systèmes solaires intégrés, une part importante du marché français. Actuellement, STIEBEL ELTRON est une des rares sociétés à produire et commercialiser un système complet de chauffage de l'eau sanitaire par voie solaire où les différents éléments sont conçus et réalisés par la même société. L'accumulation technologique antérieure de cette firme dans le domaine de l'électrotechnique a été complétée par la production de capteurs-plans afin de disposer d'un produit solaire intégré.

(1). Dans ce paragraphe nous donnerons quelques éléments sur le développement de nouvelles technologies.

Depuis Mai 1978, STIEBEL ELTRON dispose en Autriche de la plus grande usine d'Europe de capteurs solaires. Le fonctionnement de cette unité à pleine capacité doit permettre la production de :

50.000 capteurs soit 100.000 m²(1).

8.000 capteurs ont été fabriqués en 1978, les prévisions pour l'année 1979 sont de 25.000 capteurs. Grâce à cet investissement de 20M de marks dans le solaire, cette firme dont le chiffre d'affaires annuel est de l'ordre de 3000M de marks estime qu'en 1982 ce chiffre d'affaires sera de 580 M de marks dont 20% reviendrait au solaire.

Parmi les quelques autres pays (Australie, Japon, RFA, Angleterre)... qui produisent des appareils solaires le Canada, comme nous l'avons déjà vu, a amorcé un processus cohérent d'industrialisation de cette branche.

Au Canada, comme d'ailleurs dans les autres pays occidentaux, les pouvoirs publics favorisent la concentration du capital en octroyant des marchés aux entreprises les plus dynamiques. Dans ce pays, seulement 10-firmes de petite et moyenne taille ont pu bénéficier de subventions et de débouchés publics (2).

- Nortex Salar Industries Ltd d'Ottawa (Ontario) fabrique et commercialise des capteurs plans depuis 1978. Cette société a acquis les droits de fabrication de matériel solaire mis au point par la Faculté de génie mécanique de l'Université de Kingston.

- Solartronics Ltd, de Smith Falls (Ontario) n'existe que depuis 1977. Elle fabrique et vend des installations de chauffage solaire. Solartronics développe une nouvelle gamme de capteurs entièrement construits en matière plastique. Le marché accordé à cette firme dans le cadre de programmé "A.F.M.S." vise justement l'élaboration de techniques et procédés pour une production industrielle de ces capteurs.

(1). Source : Techniques de l'énergie - Décembre - Janvier 1979.

(2). Ces renseignements sont extraits d'un document des Travaux Publics du Canada. Bureau des programmes solaires.

- Thermo Solar Inc., de Montréal (Quebec) a été fondée en 1975. Elle est une filiale de la société canadienne Magnetics International Ltd. Elle fabrique des capteurs plans ainsi que des chauffe-eau sanitaires. Cette société espère améliorer sa production grâce à l'automatisation. Son réseau de vente comprend des représentants même à l'extérieur du Canada.

- Temperature Specialities Ltd de DOWNSVIEW (Ontario) fabrique des capteurs solaires depuis 1975, et des appareils de chauffage et de climatisation. Grâce au marché AFMS, elle travaille sur la mise au point de quatre types de capteurs solaires. Vers le milieu de l'année cette société doit construire une unité de production à grande échelle (25000 capteurs) qui doit permettre une baisse des coûts.

- Solar Systems Industries Ltd, de Surrey a été fondée par l'un des pionniers du chauffage solaire au Canada. Elle est actuellement l'un des principaux fabricants de l'Ouest du Canada. Une partie des actions de cette firme appartient à Industrial Process Heat Engineering Ltd de Vancouver qui fournit un personnel d'appoint. Le marché AFMS, dont elle a bénéficié, porte sur l'amélioration des capteurs ainsi que la mise en place d'une usine de fabrication et d'un réseau de distribution.

- Solatherm Energy Systems Ltd de Mississauga (Ontario) est propriétaire de trois filiales spécialisées dans le solaire. Le marché AFMS permettra à cette firme de perfectionner deux produits, un capteur plan et une installation d'eau chaude sanitaire, qu'elle exploite déjà. De plus cette firme s'est engagée à créer une unité de production.

- Electrohome Ltd de Kitchener (Ontario) est un grand producteur de biens de consommation durables. En collaboration avec le Conseil National de la Recherche, l'Université de Waterloo et la firme Giffels Associates, elle a mis au point un dispositif solaire de chauffage des habitations.

- Amherst Renewable Energies Ltd, de Pert (Ontario) possède une expérience de plusieurs années dans la production d'équipement solaire. Cette firme conçoit, fabrique et commercialise des capteurs solaires. Elle s'occupe également de la conception, de l'ingénierie et de la pose d'installations fonctionnant à l'énergie solaire. A travers un programme d'échanges technologiques avec Philips (Pays Bas) elle vise la mise au point et la production de capteurs utilisant les tubes à vide (1). Amherst Renewable Energies a déjà conclu avec Philips Canada un accord de fournitures de pièces pour développer ces capteurs. Selon le marché AFMS, cette société doit réaliser l'infrastructure pour produire les capteurs solaires comportant des tubes à vide.

Les objectifs assignés aux deux autres firmes (E.H. Price Ltd de Winnipeg et Watershed Energy Systems Ltd de Toronto) bénéficiant d'un contrat AFMS, s'inscrivent dans la même logique qui est le perfectionnement de l'équipement solaire et la mise en place de l'outil de production.

Les autres principaux pays producteurs d'équipement solaire (chauffe-eau et appareils de chauffage) sont le Japon, l'Angleterre la RFA, l'Australie... Dans ce dernier pays 70.000 logements sont actuellement équipés de chauffe-eau solaire (2). Quelques unités industrielles ont eu recours à ce système. Les firmes Australiennes ont exporté des chauffe-eau solaires en Indonésie, au Kenya, à Taïwan, Singapour, Fidji et les Barbades. Malte fabrique des chauffe-eau solaires sous licence d'une compagnie Australienne. En RFA les principales firmes concernées par l'industrie solaire, quelque soit la filière, sont regroupées au sein de l'organisation de travail pour l'énergie solaire (ASE). Parmi ces firmes on peut distinguer ERNO qui s'intéresse plus particulièrement au système de stockage et la mise au point de capteurs plus efficaces ainsi que BROWN BOVERI Co (BBC) qui produit en grande série des systèmes complets pour le chauffage de l'eau sanitaire.

(1). Dans ce paragraphe, seront examinées les firmes qui s'intéressent à cette nouvelle technologie.

(2). Revue de l'Energie - Novembre 1979.

L'industrie solaire dans ce domaine reste caractérisée par un nombre relativement important d'entreprises. Néanmoins nous avons pu déceler un processus de concentration du capital impulsé par les pouvoirs publics. Cette tendance risque de s'accroître tout en revêtant des formes différentes si la technologie des capteurs accomplit un saut qualitatif décisif. En effet de grandes firmes de l'électronique développent des capteurs à partir de la technique du vide utilisée pour la fabrication des lampes et des tubes images. De tels capteurs conduisent à une augmentation très sensible du rendement. Une production industrielle et une commercialisation à des prix accessibles permettraient à l'énergie solaire de conquérir le marché du chauffage qui représente une part importante de la consommation domestique. Plusieurs types de capteurs utilisant le tube à vide sont mis au point tant en Europe qu'aux Etats Unis. Dans ce dernier pays on peut noter la présence de firmes comme General Electric, Owens Illinois et Corning Glass, en Europe, THOMSON, par l'intermédiaire d'une grande filiale : la Compagnie^{des} Lampes, et Philips principalement. La Compagnie des Lampes a déjà déposé plusieurs brevets afin de protéger cette nouvelle technologie. Un atelier de production pré-industriel doit être opérationnel depuis la première partie de l'année 1979 (1).

(1). Rapport annuel Thomson Brandt : Exercice 1978.

CONCLUSIONS DE LA PREMIERE PARTIE.

Les faibles barrières à l'entrée tant technologiques que financières combinées à un marché interne et externe prometteurs expliquent le développement rapide de la commercialisation des équipements solaires (chauffage, chauffe-eau notamment) et de la production de la matière de base qui est le capteur plan.

Dans cette industrie où prédomine un nombre important de petites et moyennes entreprises se dessine un double processus de concentration du capital par le marché, sous l'instigation des Pouvoirs Publics, et par la technologie sous l'impulsion des firmes spécialisées dans la production de lampes et de tubes qui espèrent ainsi tirer profit de leurs rentes technologiques. Quant à la stratégie des autres firmes, on peut repérer une tendance pas encore très nette cependant, des firmes de l'aval à remonter vers l'amont. Cette constatation est illustrée par les exemples de Stiebel-Eltron, Sudinox (Rosières)... qui de la fabrication d'appareils classiques (chauffe eau, chauffage...) se sont lancés dans la production et la commercialisation d'équipements solaires intégrés.

Par contre la descente des firmes de l'amont vers l'aval est beaucoup moins évidente. S'agissant de grosses firmes (P.U.K, S.E.P.M...), celles ci préfèrent concentrer la R et D dans les autres filières solaires plus capitalistiques où la concurrence est beaucoup plus restreinte et les profits susceptibles d'être retirés à moyen terme probablement plus importants.

Les firmes de l'énergie (EXXON, CFP) participent à cette industrie par l'intermédiaire de filiales, leur objectif étant le contrôle des moyens de production pour la mise en oeuvre de cette ressource énergétique. Leur intervention va être prépondérante dans les filières électriques où les perspectives de développement de ce marché, à long terme, sont considérables.

Les quelques pays du Tiers Monde, le Niger, Chypre, Malte..., qui encouragent cette application de l'énergie solaire, sont déjà tributaires, pour leur approvisionnement en biens d'équipement solaires, des firmes occidentales.

2° PARTIE : CONTEXTE MONDIAL DE LA PRODUCTION
D'ELECTRICITE SOLAIRE.

INTRODUCTION.

Si la centrale électrosolaire ne connaît pas encore le même stade de maturité que le chauffe-eau solaire, les perspectives de développement, malgré une technologie plus complexe, sont suffisamment importantes pour susciter l'intérêt de nombreuses firmes.

Deux filières principales utilisant des technologies totalement différentes permettent de produire de l'électricité par le biais de l'énergie solaire :

- la voie photovoltaïque dont l'élément de base est le semi-conducteur.
- la voie thermodynamique dont le composant principal est un miroir appelé heliostat dans le cas des centrales électrosolaires.

Les firmes et leurs stratégies seront donc différentes selon que l'on se place dans l'une ou l'autre filière. En outre l'usage électrique, qui reste commun, connaît des domaines d'application qui ne se recoupent pas toujours. En effet, le problème du stockage, économiquement trop onéreux dans la voie photovoltaïque, restreint le champ de cette filière aux faibles puissances.

1. LA FILIERE HELIOPHOTOVOLTAIQUE.

L'énergie obtenue par cette voie provient de l'éclairement par le soleil d'un matériau, généralement un semi-conducteur, convenablement préparé. Ce phénomène physique entraîne la création d'une différence de potentiel qui se traduit par la transformation directe du rayonnement solaire en électricité.

Les avantages de la voie photovoltaïque résultent de l'absence de pièces mécaniques, ce qui facilite l'entretien de l'équipement, tout en lui conférant une très grande longévité. A titre d'exemple, la RTC (1) a réalisé en 1961 une installation composée de 5000 photopiles délivrant une puissance de 100 W, pour le compte d'une Université chilienne ; cette unité qui sert au raffinage du cuivre par électrolyse est toujours en fonctionnement.

Cet atout est loin d'être négligeable quand on sait que l'énergie solaire peut être déjà rentable pour des régions isolées ou trop éloignées du réseau électrique.

D'autre part la faible impact des économies d'échelle permet des constructions de type modulaire combinant différentes gammes de puissance. Mais la production de grandes puissances reste liée, comme nous le soulignons, à la résolution du problème du stockage électrique.

Cette technologie, qui est en voie de développement, nous a incité à examiner, dans une première étape, les différentes filières technologiques et les perspectives de diminution des coûts.

Un deuxième point sera consacré à la stratégie de contrôle des moyens de production et formes de pénétration des firmes dans cette industrie.

Nous terminerons ce premier chapitre par l'analyse de la politique des pouvoirs publics de transferts technologiques, financiers et au profit des grandes firmes. L'objectif des différents Etats est d'assurer à leurs firmes une position de monopole par la technologie et d'encourager les exportations, notamment vers les pays du Tiers Monde, afin de se constituer un marché relativement bien protégé.

(1). R.T.C. Radio-Technique-Comp^{te}lec est une filiale du groupe néerlandais Philips.

1.1. Les filières technologiques : caractéristiques technico-économiques.

De nombreux semi-conducteurs ont été expérimentés. Une publication récente (1) a recensé 228 types de photopiles dont :

- 76 utilisent le silicium.
- 47 des composés comme l'arséniure de gallium.
- 39 des composés de cadmium etc...

Actuellement, seule la filière au silicium monocristallin est commercialisée. Les coûts, même pour cette filière technologiquement beaucoup plus avancée que les autres, restent très élevés mais en diminution rapide. La plupart des experts s'accordent pour dire que dans les prochaines années les coûts dans cette industrie qui relève de l'électronique connaîtront des baisses encore **plus** spectaculaires. Nous signalons que le prix des transistors, pour franchir le seuil de la compétitivité, a été divisé par 100 en une vingtaine d'années et la production multipliée par 100.000 au cours de cette période.

Notre étude sur le silicium monocristallin sera davantage approfondie que celle concernant les autres filières.

1.1.1. Filière utilisant le silicium monocristallin :

Un avantage non négligeable de cette filière est l'abondance du silicium qui vient en deuxième position parmi les éléments se trouvant dans l'écorce terrestre.

S'il est prématuré de se prononcer sur les coûts futurs des autres filières, par contre dans le cas des cellules photovoltaïques à partir du silicium monocristallin, on peut déjà avancer certains ordres de grandeur.

Pour constituer un système commercialisable, ces cellules doivent être assemblées en panneaux. L'analyse des coûts doit donc prendre en considération les différentes étapes qui sont nécessaires pour fabriquer un panneau solaire.

(1).E.BUCHER : "Applied physics" 1978" in revue de l'Energie Mars 1979.

Actuellement la structure des coûts pour obtenir un panneau se présente ainsi : (1).

- Elaboration du matériau : 40%
- Technologie de la photopile 30%
- Assemblage en panneaux 30%

Une amélioration de la technologie dans les différentes phases devrait se traduire par des diminutions sensibles des coûts.

a) L'élaboration du matériau

Cette étape, essentiellement chimique, résulte des opérations suivantes :

La silice est réduite pour donner un silicium impur. Des distillations et une réduction par l'hydrogène donnent un silicium polycristallin pur qui est ensuite fondu et tiré pour donner un lingot de monocristal de diamètre de 50 à 100 mm.

Le rendement de cette étape peut être amélioré en ayant recours à plusieurs méthodes notamment :

- l'accroissement du diamètre des lingots.
- l'emploi de scies plus fines et multiples pour diminuer les pertes au sciage.
- l'utilisation de nouveaux procédés de tirage.

Il semble que les diminutions proviendront surtout de l'amélioration du tirage. Dans cette perspective MOBIL-TYCO(2) travaille depuis 1971 sur la mise au point de nouveaux procédés de tirage du silicium sous forme de rubans. Cette technique a l'avantage d'éviter certaines phases indispensables à l'obtention du silicium monocristallin et de diminuer les pertes. Le procédé sur lequel a également travaillé la firme américaine Westinghouse a été repris et définitivement mis au point par le Japan Solar Energy Co qui fabrique actuellement des rubans de silicium de trois largeurs différentes.

(1). M. RODOT et A. DUPAS. "Les filières de photopiles et leur avenir" Revue de l'énergie Mars 1979.

(2). MOBIL-TYCO : filiale de Mobil-Oil et Tyco Laboratories.

b) La technologie de la photopile.

Cette phase relève de l'électronique, les travaux se déroulent dans le cadre de plusieurs laboratoires tant privés que publics. En France, on peut citer la RTC, le Centre de Recherches Nucléaires du CNRS à Strasbourg., aux Etats Unis, la plupart des Universités et des firmes de l'électronique.

Les recherches en vue de la diminution des coûts s'orientent vers deux directions :

- la formation des contacts.
- la formation des jonctions (1).

c) La technologie d'encapsulation.

Cette phase constitue l'ultime étape avant l'obtention d'un panneau solaire. Des plaques de verre, des résines silicoépiques ainsi que des feuilles d'aluminium sont les principaux matériaux utilisés.

Bien qu'il soit difficile dans toute technologie en voie de maturation de planifier une diminution des coûts, nous donnons des ordres de grandeur de certaines prévisions.

Selon M.RODOT et A. Dupas, chercheurs du CNRS français, les diminutions de coûts vers les années 1985 pouvaient se situer dans une fourchette de :

10 à 20 pour l'élaboration du matériau.

5 à 10 pour la technologie de la photopile, et au maximum de 2 pour l'encapsulation .

Des coûts de 15F/Watt crête, vers 1985, sont avancés. La structure des coûts serait également modifiée, les deux premières étapes pourraient représenter moins de 50% du coût total d'un panneau solaire.

(1). Pour les détails techniques on peut se référer à P.KOLODKINE: "La conquête de l'énergie solaire" ED. La Farandole 1960-181 P.

Les objectifs de l'administration américaine sont encore plus ambitieux. Le Département de l'Energie (D.O.E) prévoit que le watt-crête fourni par un panneau solaire reviendrait à \$0,50 en 1986. Dans le tableau II.1, nous donnons l'évolution des coûts du projet de réseaux de silicium à faible prix de revient (1). Cette étude est menée par le jet propulsion laboratory de l'Institut de Technologie de Californie qui a passé un contrat avec le Secrétariat d'Etat Américain à l'Energie.

Dans ce tableau, on remarque que la distribution des coûts d'un panneau solaire est assez proche de celle que nous avons donnée soit 37% pour l'élaboration du matériau, 35% pour la fabrication de la photopile et 28% pour les matériaux d'encapsulation et l'assemblage.

Pour que l'objectif fixé par le DOE en 1986 (\$0,50/W ~~fixé~~) soit atteint, le coût de chaque phase doit être respectivement divisé par un facteur de l'ordre de 26, 31 et 32. Le DOE par rapport aux prévisions des chercheurs du CNRS prévoit une baisse des coûts encore plus importante y compris pour l'assemblage des photopiles.

112. Aperçu sur les autres filières :

Il est prématuré de se prononcer sur les coûts de ces filières qui sont encore en développement.

D'une manière générale, les filières à haut rendement comme celles qui utilisent l'arséniure de gallium (Ga As) sont d'un coût très élevé alors que les filières dont les coûts pourraient être bas (ex du sulfure de cadmium...) ne procurent que de faibles rendements.

La firme IBM a pu atteindre avec le Ga As des rendements en laboratoire de 22% (2) c'est à dire nettement supérieurs à ceux obtenus par le silicium monocristallin, mais les cellules au Ga As sont 10 fois plus chères.

(1). Ce projet est connu sous ses initiales anglaises : L.S.S.A. c'est à dire LOW-COST SILICON ARRAY PROJECT.

(2). M.RODOT et A.DUPAS: "Les filières de photopiles et leur avenir" op.cit.

Taureau II/1. Structure des coûts de production de photopiles au silicium monocristallin (\$/crêtes) "Dollars constants 1975".

	1976	1978	1980	1982	1984	1986
- Silicium polycristallin.						
- Découpage	2,01 } 37%	1,16	0,76	0,28	0,14	0,06
	4,18 }	2,50	1,43	0,67	0,23	0,10
- Fabrication de la cellule.	5,97 (35%)	1,87	1,01	0,58	0,34	0,19
- Matériaux d'encapsulation.	0,78 }	0,22	0,12	0,09	0,07	0,03
	3,99 }	1,25	0,68	0,38	0,22	0,12
- Module assemblé et encapsulé						
Prix Prévisions	16,93	7,00	4,00	2,00	1,00	0,50

Source : Jet propulsion Laboratory - L.S.S.A. Projet, in Soft Energy Notes, July 1979.

Les principales filières à coûts peu élevés et faibles rendements utilisent le sulfate de cuivre ou le sulfure de cadmium comme semi-conducteurs. Des productions en laboratoire pilote existent aux Etats Unis.

Une autre voie de recherche consiste à recourir à un système de concentration qui aurait pour effet de diminuer la surface des photopiles. Le recours à ce procédé nécessite l'emploi de photopiles adaptées à la concentration dont le coût est beaucoup plus élevé.

D'autre part vient se greffer un facteur commercial. En effet les firmes qui fabriquent les systèmes de concentration (lentilles ~~miroirs~~) sont généralement différentes de celles qui fabriquent les photopiles. L'utilisation de la concentration se traduira donc par une diminution du volume de vente de ces dernières firmes en admettant un prix plus élevé des cellules photovoltaïques. Un industriel préférera vendre N photopiles à un prix plutôt que N/30 photopiles (facteur de concentration de 30) à un prix trois fois plus élevé :

1.2. Stratégies de contrôle des moyens de production.

En fonction des branches, on peut réperer deux stratégies différentes de construction d'une industrie "photovoltaïque".

- La politique des firmes pétrolières est axée sur le contrôle du marché de l'énergie commerciale et de l'appropriation des rentes aux différents niveaux du proces de production et de la circulation. Dans le cas de l'énergie solaire, a défaut de pouvoir contrôler le source d'énergie primaire, la maîtrise des moyens de production leur permettra de perpétuer leur domination dans le secteur de l'énergie.

- Les firmes de l'électronique et de l'électromécanique espèrent tirer profit de leurs rentes technologiques en étendant leurs activités à la production et à la commercialisation d'éléments ou d'ensembles solaires photovoltaïques.

12.1. La pénétration des grandes firmes pétrolières.

Les plus grandes firmes pétrolières participent activement à la Recherche Développement dans ce domaine.

La pénétration de ces firmes dans cette industrie a lieu par :

- l'achat de petites et moyennes entreprises hautement spécialisées dans l'électronique.
- La création de filiales qui vont acquérir des procédés et/ou tisser des accords de coopération avec les firmes de l'électronique.

La première forme est prédominante comme nous allons le voir à travers les différents cas :

- EXXON (première firme mondiale en 1976) par l'intermédiaire de sa filiale Solar Power a créé en février 1979, en association avec le groupe THOMSON-CSF, la Société des Applications de l'Hélioénergie (SAHEL) plus particulièrement intéressée par la production d'ensembles pour l'irrigation et les télécommunications.

- MOBIL-OIL a constitué avec TYCO Laboratories une filiale commune MOBIL-TYCO qui a été la première à mettre au point un nouveau procédé de tirage du silicium (1) dont l'application à l'échelle industrielle peut fortement diminuer le coût total d'un panneau photovoltaïque.

- SHELL-OIL contrôle la majorité des actions de la firme américaine Solar Energy Systems.

- ATLANTIC-RICHFIELD a acquis Solar Technology International donnant ainsi naissance à ARCO Solar.

En France la CFI a pris le contrôle à 90% depuis 1976 de Photon-Power Inc petite firme américaine spécialisée dans l'électronique. Elle développe actuellement un nouveau procédé de fabrication de photopiles en sulfure de cadmium. Son objectif est d'atteindre un coût du KWH qui soit compétitif avec les sources d'énergie classiques pour les applications ne nécessitant que de faibles puissances.

Une usine pilote est en construction à El-Paso pour la fabrication de panneaux solaires devant être testés aux Etats Unis et en Europe.

(1). Voir 1.1.1. : "filiales utilisant le silicium monocristallin".

122. Les groupes industriels de l'électronique et de l'électromécanique.

Le premier producteur mondial de photopiles est une firme américaine, SOLAREX Corporation.

En 1978 une filiale commune (50/50), France Photon a été créée en association avec le groupe français LEROY-SOMER dont la filiale la plus importante, Pompes GUINARD, a déjà procédé à l'installation de nombreux systèmes solaires de pompage de l'eau en Afrique et au Moyen Orient.

Cette association est intéressante à analyser puisqu'elle réunit le premier producteur^{mondial} de photopiles et le plus important fabricant européen de moteurs électriques de petites et moyennes puissances.

La concentration du capital opérée par ces deux groupes est un indicateur de la formation d'un marché oligolistique dont l'offre sera de plus en plus caractérisée par des produits solaires intégrés. Par le biais de cette filiale, le groupe LEROY-SOMER aura accès à la technologie de la photopile qui constitue l'amont d'un système de pompage ou d'autres applications. SOLAREX pourra s'appuyer sur le réseau du groupe LEROY-SOMER et disposer par la même de nouveaux débouchés pour sa production.

Les panneaux photovoltaïques fabriqués à Angoulême par France-Photon utilisent des cellules achetées aux U.A. à SOLAREX, mais dans le courant de l'année 1980 les cellules seront fabriquées au sein de l'unité d'Angoulême grâce à une licence de SOLAREX.

Le deuxième producteur mondial et le premier producteur européen est la Radio Technique Compèlec qui est la filiale française du groupe néerlandais Philips. 90% de la production de la RTC est exportée. Cette firme va doubler la capacité de production de son usine de Caen.

A côté de la RTC et SOLAREX qui dominent actuellement le marché mondial de la conversion photovoltaïque, la plupart des autres firmes de l'électronique et quelque fois de l'électromécanique s'intéressent à cette filière.

On peut notamment relever :

a) en France : la CGE qui est présente dans cette industrie grâce à ses deux filiales, la CIPEL et la SAFT (1). Les associations réalisées par la CGE éclairent la stratégie de cette firme qui s'oriente vers la fabrication de produits solaires intégrés. En 1978, la CGE a passé un accord avec Rhône-Poulenc pour l'élaboration et la fabrication de matériaux à base de silicium. En 1979, elle s'est associée avec Sensor Technology (filiale de Dyneer) qui est le quatrième producteur mondial de photopiles, en vue de la fabrication de cellules au silicium monocristallin et ultérieurement au silicium polycristallin.

La CGE qui dispose d'une accumulation technologique dans la production des autres éléments d'un système photovoltaïque (générateurs...) s'oriente donc vers la production et l'exportation de produits intégrés.

Cette tendance est confirmée par la bonne position des deux filiales de la CGE, la CIPEL et la SAFT, avec notamment la commande par la Syrie d'une station mixte solaire-aérogénérateur(2). Pour occuper une part importante de ce marché solaire, entre 1979 et 1983, le groupe CGE envisage d'investir 300 MF dans les différentes filières de l'énergie solaire dont 35% (105MF) seraient consacrés à la conversion photovoltaïque. Le chiffre d'affaires escompté en 1985 est de l'ordre de 1,5 milliard de francs pour un effectif d'environ 6000 personnes (3).

La CGE mène une politique active de Recherche et Développement afin de :

- résoudre les problèmes de stockage avec notamment l'élaboration d'accumulateurs au sodium-soufre.

(1). CIPEL : Compagnie Industrielle des Piles Electriques. CGE détient 95% du capital.

(2). SAFT : Société des Accumulateurs Fixes et de Traction. Le groupe CGE contrôle 73% du capital.

(3). Rapport de la firme CGE. Exercice 1978.

- maîtriser les techniques d'encapsulation qui représentent un fort pourcentage du coût total d'un système solaire. Des procédés de fabrication automatisables mettant en oeuvre des plastiques très spécifiques sont à l'étude.

b) Aux Etats Unis.

-SPECTROLAB est une des 5 ou 6 sociétés américaines qui fabriquent et commercialisent ^{des} cellules solaires. Elle est entièrement contrôlée par une importante firme de l'aérospatiale, Hughes Aircraft Corporation.

- BELL Laboratories est à l'origine des applications spatiales des cellules solaire.

- Texas Instruments a reçu une subvention du D.O.E. pour la conception et la fabrication de cellules photovoltaïques.

- MOTOROLA envisage de démarrer une chaîne de production en France et déclare produire massivement des photopiles à partir de 1985. La conception de la plus grande réalisation dans le monde, qui doit être implantée à l'aéroport international de Phoenix, a été achevée en février 1979-MOTOROLA s'attend à se voir confier la construction et l'installation de tout le système. Nous remarquons que cet ensemble utilisera plus de 14000 concentrateurs solaires (1).

Cette firme prévoit des potentialités de vente élevées, tant sur le marché interne qu'externe, de ce nouveaux procédé. Nous pensons que la commercialisation des systèmes qui utilisent la concentration n'occupera qu'une faible part du marché sauf si les plus grandes firmes de l'électronique étendent leurs activités à la production de concentrateurs. Deux raisons peuvent inciter à cette extension :

- une meilleure rentabilité qui reste à démontrer.
- la nécessité d'occuper tous les créneaux technologiques importants de la conversion photovoltaïque.

- Parmi les autres firmes importantes on peut citer General Electric, Westinghouse, IBM, RCA...

(1). MOTOROLA : Annual Report 1978.

1.3. Production et marché.

Actuellement la quasi-totalité de la production de photopiles est monopolisée par un nombre restreint de firmes localisées aux Etats Unis (SOLAREX, filiales d'Exxon et de SHELL, **Sensor technology** filiale de Dyneer et SEEC-TROLAB), en France (RTC et France Photon) et à un degré moindre en RFA et au Japon.

La production de photopiles à usage terrestre, insignifiante avant 1974, qui correspond au quadruplement du prix des hydrocarbures, connaît un taux de croissance très élevé. Néanmoins en valeur absolue la production reste modeste comme le montre le tableau II/2.

La stratégie commerciale ^{des} deux principaux producteurs est différente.

En effet, la rentabilité des photopiles ne peut être assurée que dans des régions ensoleillées et faiblement dotées en infrastructure énergétique de transport.

a) La France dont le réseau de distribution est très dense, exporte 90 % de sa production qui est surtout orientée en fonction des besoins du Tiers Monde.

Parmi les multiples débouchés, alimentation de récepteurs de télévision éducative, balises..., l'usage le plus important reste le pompage de l'eau.

Pour de faibles puissances, l'alimentation de moteurs électriques par la conversion photovoltaïque pour le pompage de l'eau peut concurrencer le diesel.

A l'aide du tableau II/3, on peut établir une comparaison avec le diesel. Pour une puissance inférieure à 1 KW et pour un prix du carburant de l'ordre 1,50 F/Litre, les coûts sont sensiblement égaux pour les deux sources d'énergie soit entre 0,25 F et 4 F/m³ selon les profondeurs.

Il est prévu pour 1982 l'équilibre des prix pour des puissances allant jusqu'à 5 KW, et vers 1985 jusqu'à 10 KW.

Tab. II/2. PRODUCTION DE PHOTOPILES A USAGE TERRESTRE :
(K W Crête)

	1974	1975	1976	1977	1978	1979	74/79	
FRANCE	10	15	40	80	150	400	40	
ETATS UNIS	10	30	150	600	1200	2000	200	
MONDE	20	50	200	700	1500	-		

(1) dont SOLAREX : 800 KW

Sources: Sciences et Avenir Information des sociétés.

Tab 2/3: Prix du m³ d'eau pompée par groupe solaire y compris amortissement du forage et du réservoir de distribution - Prix des cellules: 5000F KW crête.

(1) H.M.T.	PUISSANCE									
	600W	900W	1300W	1800W	2600W	3900W	5200W	6600W	8400W	10600W
5	0,27	0,24	0,20	0,19	0,19	0,16	0,15	0,16	0,15	0,13
10	0,71	0,47	0,40	0,36	0,35	0,36	0,33	0,31	0,31	0,30
15	1,39	1,02	0,77	0,72	0,63	0,58	0,53	0,51	0,49	0,47
20	1,99	1,66	1,13	0,97	0,92	0,77	0,72	0,67	0,63	0,60
25	2,77	2,03	1,44	1,27	1,06	0,91	0,90	0,84	0,82	0,74
30	3,24	2,44	2,14	1,62	1,29	1,20	1,11	1,02	0,94	0,88
40	4,47	4,14	2,71	2,28	1,91	1,62	1,48	1,39	1,27	1,21
50	-	4,96	3,21	3,05	2,45	2,04	1,96	1,78	1,61	1,44
60	-	-	4,52	3,75	3,23	2,78	2,47	2,25	2,14	2,03
70	-	-	-	4,52	4,08	3,26	3,07	2,59	2,52	2,24
80	-	-	-	-	5,53	4,42	3,82	3,17	3,00	2,84

Source: Techniques de l'Energie n° 21-22 Dec.-Janv. 78-79 (1) HMT: hauteur manométrique

b) Aux Etats Unis, du fait de l'étendue du territoire et d'un meilleur ensoleillement, le marché intérieur potentiel est beaucoup plus vaste. La production actuelle est donc destinée en priorité à la satisfaction des besoins internes.

Cette orientation n'exclut pas une ouverture sur le marché extérieur comme l'atteste la filiale de SOLAREX dont le débouché est constitué par les pays d'Afrique et du Moyen Orient où les capacités d'absorption sont loin d'être négligeables.

Une étude de la BDM Corporation of Medean pour le compte de l'administration fédérale de l'énergie, estime que l'utilisation de systèmes photovoltaïques par le Département Américain de la Défense, permettrait d'obtenir de l'électricité, dans les régions éloignées, à des coûts moins élevés que celle produite à partir de sources fossiles.

Des achats importants du D.O.D devraient conduire à une production de masse qui entrainerait une diminution du coût du KWh solaire et une meilleure compétitivité avec les autres sources et notamment l'énergie nucléaire.

Dans le tableau II/4, nous donnons les prévisions annuelles de ventes de systèmes photovoltaïques en fonction de différents niveaux de prix.

Dans un système photovoltaïque où le watt crête coûte \$ 1 correspond un prix du KWh de 10 cents; pour un coût de 10 à 30 cents par watt crête, le KWh se situerait dans une fourchette de 3 à 5 cents. Ces coûts se rapprochent sensiblement de l'électricité produite dans des centrales thermiques classiques ou nucléaires.

Le processus de concentration de l'offre est soutenu par les pouvoirs Publics dont l'aide profite davantage aux grandes firmes.

Tableau II/4. PREVISIONS ANNUELLES DE VENTE DES PANNEAUX PHOTOVOLTAIQUES
EN FONCTION DE DIFFERENTS NIVEAUX DE PRIX.

Previsions annuelles de vente : (megawatt)	Prix des panneaux photovoltaïques en \$ par watt crête				
	10	3	1	0,5	0,1-0,3
- Texas Instruments	0,4	2,6	30	100	20.000
- MOTOROLA	1,5	20-30	-	-	-
- R.G.A.	0,8	13	200	2.000	100.000
- Intertechnology corporation	0,5	13	126	270	-
- Westinghouse	-	-	-	-	96.000
- Prévisions du D.O.E.	1	8	75	500	5.000
- Marché du Département de la Défense	10	75	100	-	-

Sources : ERDA-BDM Corporation-Intertechnology Co.etc...
in Soft Energy Notes. July 1979

1.4. La politique des Pouvoirs Publics:

La production de l'électricité par la conversion photovoltaïque n'ayant pas encore atteint le seuil de rentabilité, une partie des fonds publics est destinée directement ou indirectement aux grandes firmes afin qu'elles continuent à développer cette industrie.

La politique des Etats se traduit par un important budget public consacré à la R et D, la création de structures spécifiques à l'énergie solaire, l'octroi de subventions et de garanties aux entreprises qui investissent dans ce domaine.

L'analyse du budget R et D. des principaux pays qui développent cette filière reflète le marché photovoltaïque actuel. En effet, les deux pays qui assurent actuellement la quasi totalité de la production (France, USA) lui consacrent les budgets en R et D les plus importants comme le montre le tableau II/5.

Tableau II/ 5. Budgets de R et D sur les photopiles solaires(1)
(Estimation en MF).

	1974	75	76	77	78	78/74
EU	15	40	95	275	475	31
FR	3	5	18	30	60	20
RFA	2,5	3	3	18?	35?	14?
JAPON	4	5,5	7,2	5,5	7,2	1,8

A partir de 1974, le renchérissement du prix des hydrocarbures a contraint la plupart des grands pays importateurs à un processus d'intensité variable de restructuration de leur consommation énergétique.

(1) Source: "Sciences et Avenir " n°388 Juin 1979.

1.4.1. Aux Etats Unis:

a) Le programme et les structures publics:

A partir de 1975, l'Energy Research and Development Administration (E.R.D.A) a entamé le premier programme photovoltaïque en vue d'élaborer une industrie couvrant les différents domaines de la conversion photovoltaïque (photopiles générateurs...).

L'ERDA cherche à atteindre dans un délai de 10 ans (1976-1986) un coût de production du KWh qui serait seulement deux à trois fois plus élevé que celui obtenu à partir des sources classiques.

En octobre 1977, la création du D.O.E entraîne la disparition de l'E.R.D.A. Le nouveau Ministère américain de l'énergie est désormais chargé de définir la politique énergétique et de mettre en oeuvre les moyens susceptibles de réaliser les objectifs fixés par le Gouvernement.

Le D.O.E prolonge et accentue le programme solaire de l'E.R.D.A. En 1978 le Ministère de l'Energie crée l'Institut de Recherches sur l'Energie Solaire à Golden dans le Colorado.

La loi Mac Cormack votée et signée en 1978 vise une production de 2000 MW crête en 1988 à un coût de 5 FF/Watt. En 1977 le prix du watt crête s'échelonnait entre 80 FF et 120 FF.

Parallèlement à cet important effort en R et D, le Département de l'Energie utilise d'autres moyens pour promouvoir l'industrie solaire aux Etats Unis.

b) Les autres instruments de transfert au profit des grandes firmes

Les subventions et la garantie de débouchés constituent les principales formes auxquelles à recours le D.O.E pour financer l'industrie solaire privée.

C'est dans ce cadre que Union Carbide a bénéficié en 1979 d'un contrat de \$ 6M pour la réalisation d'une usine pilote destinée à la fabrication du silicium pur qui est un matériau indispensable pour l'obtention de cellules solaires. Cette unité qui doit entrer en service en 1980 aura une capacité de 100 t / an.

Quant à la technologie utilisée, il est seulement spécifié qu'il s'agit d'une nouvelle méthode de fabrication du silicium polycristallin par pyrolyse. Cette voie devrait permettre un abaissement des coûts.

Texas Instruments (Dallas) a reçu une subvention de \$ 14,5 M pour la mise au point d'un nouveau système photovoltaïque. Selon cette firme qui possède une grande expérience dans les semi-conducteurs, la production en série pourrait commencer vers 1985.(1)

Texas Instruments ne remboursera le Trésor Américain que si cette opération est rentable.

L'objectif à long terme de cette firme est la production d'électricité par la conversion photovoltaïque, pour l'alimentation d'habitations individuelles, à coût de 5 à 10 cents/KWh (0,20 à 0,40 DA/KWh).

La canalisation de l'aide ou des actions de l'Etat au profit des grandes firmes est confirmée par les transferts opérés par les autres institutions publiques.

Environ 90 % des contrats (\$8,7 M) octroyés par la "National Science Foundation" ont bénéficié aux 25 plus grandes compagnies alors que 5 petites firmes et 5 firmes inconnues ont reçu 10 % (\$1,1 M) des contrats.(2)

(1) Energie Solaire Actualités : n° de sept. à Oct 1979

(2) UNCTAD: "Energy supplies for developing countries". TD/B/C.E/31 Déc.78

- En ce qui concerne l'autre forme d'aide aux grandes firmes l'ERDA, par la création d'un marché du silicium monocristallin, devait garantir l'écoulement d'une partie de la production des photopiles à des prix décroissants.

Les prix et productions proposés par cet organisme devraient passer de 45 KW crête à \$ 20 / Watt en 1975, à 4 MW crête à 1 dollar le watt en 1983.

Le Département Américain de la Défense peut également contribuer à garantir des débouchés à l'industrie privée (1).

Le Congrès a récemment voté une loi qui oblige le Gouvernement à acheter l'équivalent de \$ 1,5 milliards de cellules photovoltaïques afin d'encourager des firmes comme Westinghouse, Solarex (2), etc...

1.4.2. En France et dans les autres pays européens.

La même tendance est observée en Europe mais avec des programmes moins ambitieux que ceux des Etats Unis qui peuvent s'expliquer par des politiques plus autonomes et une situation géographique moins favorable que celle des Etats Unis.

a) La France est le pays européen dont le programme est le plus important (voir tableau II/4)

La Recherche-Développement sur la conversion photovoltaïque était gérée, jusqu'à la création du COMES en 1978, par un comité sur les photopiles solaires relevant de la DGRST.

Le budget français en R et D évalué à 18 MF en 1976 se décompose en :

- fonds publics pour 13 MF soit 70 %
- fonds privés pour 5 MF soit 30 %

.. Afin de maintenir la position française dans la production mondiale, le COMES mène une politique multiforme :

(1) L'évaluation de ce marché figure dans le tableau II.3

(2) Argeval and J.Stansell: "Whose solar power. "Carthscan.UNEP.Juillet.79

- Les subventions en faveur de la R et D sont passées de 6,5 MF en 1977 à 9 MF en 1978,

- Le COMES garantit l'écoulement de 30 % de la production de la R.T.C,

- Pour faciliter la pénétration des marchés extérieurs pas les firmes implantées en France, Le COMES finance des opérations de démonstration parmi lesquelles on relève :

- Un ensemble de pompes, réfrigération éclairage, TV sur plusieurs atolls: 2,2 KW

- Une radio balise de navigation à Haïti : 570 W

- Une pompe solaire à N'Takat 920 W

- Une station hertzienne à Nouméa 620 W

- 300 centres de réception de télévision au Niger 10,5 KW

- Un générateur solaire pour l'hôpital de San(Mali) 9,8 KW

Cette dernière installation a été financée conjointement par le Ministère français de la coopération et le COMES.

L'alimentation de cet hôpital par un groupe électrogène entraînait des difficultés d'approvisionnement en pièces détachées et en carburant.

Le générateur photovoltaïque d'une puissance crête de 9,8 KW donne une production moyenne de 21 KWh / jour. Il se décompose en un générateur d'électricité de 8 900 W et d'un générateur pompe de 900 W indépendant de la production d'électricité.

Un système de stockage assure à ce centre hospitalier une autonomie énergétique totale.

Cette unité d'un coût de 1,4 MF a été réalisée selon la formule clés en mains par la société Pompes Guinard qui est une filiale de LEROY-SOMER.

Les photopiles ont été fournies par la RTC.

Pour la période 1980-85, le COMES en collaboration avec le Ministère de l'énergie; a été chargé de préparer un plan de développement quinquennal (1980-85) doté d'un budget de 500 MF, également réparti entre la recherche et les investissements industriels. Ce plan est articulé autour de trois objectifs;

- préparer avec les industriels un programme de développement couvrant cette période,
- promouvoir les applications photovoltaïques dans les administrations françaises et dans les programmes d'aide à l'équipement pour les pays du Tiers-Monde,
- poursuivre les achats ^{groupés} auprès des industriels.

Une telle politique devrait permettre une nette diminution des panneaux photovoltaïques (7 à 10 F par watt en 1985 selon les prévisions) afin de maintenir la compétitivité des industries françaises.

b) Les autres pays européens.

Les budgets consacrés au solaire, actuellement faibles, vont connaître de très fortes augmentations.

Si les prévisions faites pour la présente décennie sont confirmées, ces pays pourront s'assurer une maîtrise de la technologie à des coûts relativement bas et entamer une politique d'exportation vers les pays du Tiers Monde.

c) En RFA, sous l'égide du Ministère de l'Industrie et de la Technologie (BFMT) a été lancé un programme septennal de 160 M de marks (1) portant

(1) Jusqu'en 1976 les aides publiques allemandes pour la conversion photo-

voltaïque étaient limitées à 6 M de marks par an.

Source: Christian Vauge. D'adjoint des programmes du COMES. Energie solaire les photopiles "Sciences et Avenir n° 388 Juin 1979.

uniquement sur les panneaux solaires. Ce budget, qui vient en complément des fonds attribués pour la R et D, sera financé à 80 % par le Gouvernement fédéral.

Ce plan couvre l'ensemble de la Filière en associant Wacker qui est un producteur de silicium et AEG-Telefunken, firme spécialisée dans l'électronique. A ce jour, cette société a produit 5 5000 cellules solaires à base de silicium polycristallin (1)

En Italie, un programme triennal 1978-81 de 44 milliards de lires (environ 225 MF) dont les 2/3 (150 MF) effectivement consacrés à la filière photovoltaïque, a été confié à l'ENI qui sera chargée de la promotion d'un important programme d'électrification rurale par photopiles.

De son côté, l'homologue italien du CEA, a reçu pour la même période 1978-81 un budget total de 90 milliards de lires (460 MF) pour la construction d'un centre de recherches surtout orienté vers la filière photovoltaïque.

On peut estimer la dotation annuelle de centre à 90 MF environ.

Ainsi, pendant cette période triennal, l'allocation moyenne annuelle destinée à couvrir l'ensemble du programme photovoltaïque est de 140 MF .

Dans le cadre de la communauté économique européenne (CEE), un premier plan quadriennal de recherche et développement doté de 18,7 millions d'unités de compte (MUC) a été achevé en juillet 1979.

Ce programme couvre six axes de recherche dont l'un portant sur la conversion photovoltaïque (2).

(1) Energie Solaire Actualités : 5 Octobre 1979.

(2) Nous n'avons pas pu déterminer le montant alloué à ce domaine.

Un deuxième plan, s'étalant sur quatre ans (juillet 1979-Juillet 1983) est en cours. Sur les 58 MUC consacrés à ce plan, 23 MUC (presque 40 %) iront à la filière photovoltaïque.

Parallèlement à ce programme, la CEE finance certaines opérations de démonstration. Par exemple des contrats ont été passés avec deux firmes françaises (dont SERI Renault) pour la fabrication de générateurs photovoltaïques pour l'alimentation électrique de maisons (1)

La production d'électricité d'origine photovoltaïque est, au stade technologique actuel, d'une meilleure rentabilité pour les unités de petite puissance c'est à dire inférieures au Mégawatt. Néanmoins, il convient de signaler un projet, encore futuriste, de production d'électricité grâce à un satellite de conversion photovoltaïque qui transformerait en orbite l'énergie solaire avant de la remettre vers la terre.

Sur le plan théorique un tel projet(2) ne présente pas de difficultés majeures, par contre les problèmes d'ordre technologique nécessitent des progrès importants de l'industrie aérospatiale notamment, pour qu'une telle entreprise devienne réalisable. En effet, une telle centrale d'une puissance de 5000 MW peserait 10000 t.

Actuellement, la charge utile des fusées est de quelque 30 tonnes. Plus de 330 lancements seront donc nécessaires pour acheminer cette masse qui sera assemblée dans l'espace.

Le courant produit par les photopiles sera transformé en micro ondes et reçu par la terre grâce à une antenne géante.

(1) Sur le plan financier, les sommes allouées restent modestes.

(2) Il est également connu sous l'appellation de projet "GLASER" du nom du chercheur américain qui en est l'auteur, Signalons que Peter Glaser est directeur de recherches de la firme Arthur D. Little.

Des pressions sont exercées sur le Congrès par les grandes firmes de l'industrie aérospatiale (Boeing, Martin Marietta) et de l'électromécanique (Général Electric, Westinghouse) afin d'obtenir 60 milliards de dollars qui serviraient à financer cette entreprise (1).

Les crédits alloués à ces recherches sont passés en 1979 à la suite d'interventions au Congrès de \$ 15,6 M à \$ 25 M.

(1) A. Agarwal and I. STANSELL: "Whose solar power". op. cit

CONCLUSION.

Le niveau de la production électrique par la conversion photovoltaïque est encore extrêmement bas, mais les prévisions de diminution des coûts laissent augurer un développement important de l'offre et de la demande des équipements correspondants.

Dès à présent, on peut repérer les différents partenaires de cette industrie et l'enjeu du contrôle des moyens de production.

Afin de perpétuer leur contrôle, direct ou indirect des sources d'énergie les grandes firmes pétrolières, notamment les Majors ont pu franchir la barrière technologique, grâce à l'achat ou l'association avec des firmes très qualifiées dans le domaine de l'électronique.

Les perspectives d'un marché de l'industrie photovoltaïque en extension rapide ont incité les grandes firmes de l'électronique et de l'électromécanique à investir dans cette filière afin de tirer profit des rentes technologiques.

La concentration du capital tout en favorisant la formation d'un marché oligopolistique n'empêche pas une concurrence qui se manifeste :

- sur le plan technologique par le développement de plusieurs filières et une tendance vers la fabrication de produits solaires intégrés.
- sur le plan commercial par une pénétration, sous des formes multiples (démonstration, aide financière...) du marché de pays du Tiers Monde.

Les Etats des pays développés sont ainsi amenés à soutenir ces firmes afin de prolonger la durée de vie des ressources fossiles et de promouvoir les exportations vers les pays du Tiers-Monde.

Cette action des pouvoirs publics est davantage prononcée dans les pays de l'Europe occidentale où le marché solaire photovoltaïque est plus restreint qu'aux Etats-Unis.

2 - LA FILIERE HELIOTHERMODYNAMIQUE.

La production d'électricité par la voie thermodynamique utilise l'énergie thermique obtenue grâce au rayonnement solaire.

Le système thermique d'une centrale solaire comprendra :

- un ou plusieurs récepteurs de rayonnement
- une machine thermodynamique indispensable à la conversion de l'énergie thermique en énergie électrique.

L'intérêt des firmes pour cette nouvelle forme de production d'énergie sera fonction des technologies requises c'est à dire l'industrie du verre pour la réception du rayonnement solaire, l'industrie thermique pour la conversion de ce rayonnement.

Deux grandes sous-filières peuvent être distinguées :

- le cycle moyenne et haute température destiné à une production d'électricité susceptible d'être couplée sur le réseau
- le cycle basse température (moins de 80°C) dont l'application principale est le pompage de l'eau. Les capteurs utilisés ne nécessitent pas un système de concentration. Leur technologie est par conséquent relativement accessible

Le pompage de l'eau ne constitue pas une application spécifiquement électrique de la filière héliothermodynamique. En fonction de la puissance et de l'installation, l'énergie sera de type mécanique ou électrique.

Ces deux sous-filières recouvrent deux marchés qui ne sont complémentaires que dans le cas de la production hélioélectrique à moyenne et haute température. En effet, les débouchés de cette dernière concernent les pays du Tiers Monde mais également les pays développés.

Alors que pour le pompage de l'eau par la voie solaire, le Tiers-Monde sera plutôt perçu comme un débouché devant absorber l'essentiel de la production des firmes des pays capitalistes avancés.

2.1. Stratégie de contrôle des moyens de production dans l'industrie thermohélioélectrique.

2.1.1. Caractéristiques technico-économiques.

Les surfaces collectrices sont constituées par des héliostats (miroirs de 10 à 50 m²) qui peuvent suivre la course du soleil grâce un système de guidage électronique.

Deux voies de concentration sont possibles et donnent lieu à deux types de centrales :

- centrale thermique à récepteurs distribués : chaque récepteur chauffe une partie du fluide. L'ensemble est collecté et converti dans une installation thermique centrale. Des températures de l'ordre de 500° à 550° C peuvent être atteintes. Actuellement la gamme de puissance varie de quelques KWe à quelques centaines de KWe (1).

- centrale thermique à tour : un champ de miroirs légèrement focalisants (2) et orientables concentre le rayonnement sur un récepteur unique placé en haut d'une tour.

Ce type de centrale permet d'obtenir des puissances plus importantes. Même avec une plus grande maturation de la technologie et une baisse des coûts, il semble admis qu'un module de 100 MWe représentera le palier maximum. En effet, au delà d'un certain nombre de miroirs, le rendement tend à décroître car l'ajustement des héliostats éloignés du récepteur devient imprécis.

Même s'il s'agit de petites puissances, la technologie des centrales thermohélioélectrique n'est pas pour autant aisément maîtrisable. Les différents éléments d'une centrale, le système optique (héliostats) et le système thermique (chaudière, stockage, machine thermique) doivent être encore développés avant d'envisager leur diffusion massive. En outre, une optimisation de ces composants est indispensable pour réaliser le meilleur rendement.

(1) Une puissance thermique de 10 MW semble constituer un maximum. Si on estime le rendement à 20% cela correspond à 2 MWe.

(2) Pour les développements techniques on pourra se référer à la Recherche n° 84 décembre 1977 : "Les centrales solaires" p.1038 - 1048.

Les unités déjà réalisées ou en projet montrent une prédominance des centrales à tour dont les puissances sont relativement plus importantes. La gamme inférieure au MWe pourrait être satisfaite par les centrales à récepteurs distribués avec un marché principalement constitué par les pays du Tiers - Monde.

En fonction des puissances la satisfaction des usages diffère :

- de 50 à 100 KWe, la fonction principale est le pompage de l'eau. Pour une durée de fonctionnement de 5 h l'énergie produite est de 250 KWh à 500 KWh.

- des centrales de l'ordre de 300 KWe pourraient alimenter de petits centres de 5000 à 10 000 habitants en concourant à la satisfaction des besoins en éclairage domestique et pour le pompage de l'eau.

- des centrales de 600 KWe peuvent être utilisées à la fois pour les usages industriels, l'éclairage public et les usages domestiques (1)

2.1.2. Le contrôle des moyens de production et les orientations technologiques .

2.1.2.1. En France et dans les autres pays européens.

En France, le développement de ce type de centrales est assuré conjointement par des institutions publiques de recherche (CNRS-CEA, laboratoire d'héliophysique de Marseille...) et des firmes privées notamment Pechiney - Ugine - Kuhlmann (p.u.k.), Bertin et Cie et Renault Moteurs. Développement (B.M.D.)

P.U.K, une des principales firmes de l'industrie de l'aluminium s'intéresse plus particulièrement à la mise au point de capteurs à partir de ce métal.

(1) Revue de l'Energie n° 313 Mars 1979 : "La production de chaleur et d'électricité d'origine solaire à moyenne puissance 100 à 1000 KWc" p. 218 - 233.

Bertin et Cie. travaille sur le développement des capteurs, mais surtout sur la mise au point des éléments thermiques tels que chaudière, turbine etc...

Ces travaux sont menés dans le cadre du projet ThermoElectroKilo-Watt (THEK).

- Deux prototypes de très faible puissance ont été réalisés par le CNRS à l'Université de Provence à Marseille.

- Avec le soutien financier de la Délégation Générale à la Recherche Scientifique et Technique, une centrale d'expérimentation de 300 KWe va être réalisée en Corse par un groupement constitué ^{des} trois firmes citées (Bertin, PUK, RMD) et du CEA. une première tranche de 100 KWe doit être achevée au courant de l'année 1980. Cette centrale doit permettre aux différents partenaires de tester leur matériel respectif et de procéder à l'optimisation des différents éléments de la centrale.

A la suite du conseil des Ministres français du 20 Juin 1979, le développement et l'industrialisation des collecteurs solaires du programme THEK bénéficieront d'une enveloppe de 160 MF pour la période 1979-82 dont 85 MF seront fournis par le COMES et 60 MF par EDF.(1).

Pour des unités de plus grande puissance, il devient indispensable de recourir à des centrales à tour dont le principe a été conçu dès 1970 par l'équipe de Hildebrandt de l'Université de Houston.

La technologie mise en oeuvre pour la fabrication de centrales à tour est relativement complexe et couvre plusieurs activités industrielles.

Cette industrie est monopolisée par quelques grandes firmes occidentales. Dans le cas de l'Europe, la formation de groupements de firmes de branches différentes, mais en rapport avec l'énergie solaire, permet :

Revue de l'énergie Octobre 1979.

- l'accélération de la Recherche Développement grâce à un soutien financier plus important et une division du travail fondée sur l'accumulation technologique antérieure de chaque partenaire

- l'orientation, déjà constatée dans les autres filières, vers la fabrication de produits solaires intégrés.

Les pays importateurs, notamment ceux du Tiers Monde, seraient ainsi contraints d'avoir recours à cet ensemble marchandise

L'analyse des projets encours et des firmes qui ont investi dans l'énergie solaire va nous permettre de mieux apprécier cette tendance.

En Europe, le programme solaire français est le plus avancé dans la plupart des domaines, notamment pour la production d'électricité. Dès 1976, le four solaire d'Odeillo qui dispose d'un champ de miroirs se voit adjoindre une installation thermique pour la production d'électricité.

Ce projet a été conduit par le CNRS qui a fait appel à l'industrie et notamment Fives-cail Babcock. En novembre 1976, cette première centrale à tour d'une puissance de 64 KWe a été couplée sur le réseau ce qui a permis de livrer à EDF sa production électrique.

En outre cette expérience a permis, pour la première fois dans le monde, d'étudier les conditions pratiques d'exploitation des différents éléments d'une centrale héliothermodynamique reliée au réseau.

La conception et la construction des centrales héliothermiques à tour sont menées dans le cadre du CETHEL (1) qui est un Groupement d'Interêts Economiques (GIE).

Les firmes qui constituent le CETHEL représentent les principales activités industrielles ou d'études indispensables à la réalisation de ce type de centrales. En effet ce GIE réunit :

- Saint-Gobain-Pont à Mousson (SGPM) pour la production des hélios-tats. SGPM possède plusieurs décennies d'expérience dans l'industrie verrière.

(1) CETHEL signifie construction de centrales héliothermiques.

- Fives-Cail-Babcock pour la chaudronnerie lourde et le système thermique tels que échangeurs, chaudières.

- Heurtey qui est l'un des premiers groupes européens d'ingénierie dont les connaissances, dans le domaine thermique notamment, sont très approfondies.

- SERI-Renault Engineering pour l'ingénierie industrielle.

Le CETHEL participe à l'ensemble des programmes sur les centrales à tour aussi bien en France que dans les autres pays européens.

a) Le programme français.

A partir de 1975, le CNRS avec le concours d'EDF démarre le programme THEM (ThermoHelioElectrique Megawatt) en vue de la construction d'une centrale à tour de moyenne puissance destinée à être couplée au réseau EDF. Le CNRS, en demandant le concours de l'industrie, offre à celle-ci la possibilité d'occuper une position de monopole pour la production et la commercialisation interne et externe de centrales thermohélioélectriques.

Dans une brochure concernant le projet THEM publiée par le CNRS et EDF on peut lire que ce programme est "une étape ~~préliminaire~~ principalement destinée à maîtriser les problèmes posés par le système optique et la gestion d'ensemble d'une centrale. Les solutions retenues pour le système thermique et le stockage visent plus à assurer la simplicité de la centrale et la souplesse de son utilisation sur un réseau autonome qu'à atteindre de très hautes performances au niveau du rendement. Par ses caractéristiques THEMIS correspond aux besoins d'une ville isolée en pays ensoleillé. Il jouera également pour cette raison le rôle de prototype de démonstration pour l'exportation(1).

La centrale d'Odeillo marque le premier jalon de ce processus de maîtrise des instruments de travail pour la captation de l'énergie solaire et sa transformation en électricité.

(1) C'est nous qui soulignons.

En Septembre 1977, après de nombreux débats, un projet nommé THEMIS (THEM simplifié) était annoncé par le gouvernement. Cette centrale de 2 MW_e doit être implantée à Targassonne non loin d'Odeillo. Ce projet sera réalisé par le CETHEL en association avec le CNRS et EDF.

La réalisation de cette centrale connaît quelque retard dû à des optiques différentes de ses partenaires :

- Le CETHEL (groupe d'industriels privés) s'attendait à un financement substantiel de la part des pouvoirs publics.

- Le COMES, dont les fonds sont limités, en prenant en charge totalement THEMIS, ne sera plus en mesure d'assurer le financement des autres filières technologiques. Cette éventualité paraît peu probable car il est fondé de grands espoirs sur la voie photovoltaïque; de plus le Directeur actuel du COMES a exercé les fonctions de Directeur Scientifique de la RTC qui est le premier producteur européen de photopiles.

Une clause du COMES prévoit l'abandon du projet si le budget initial de 80 MF était dépassé à moins que le CNRS, ou EDF comblent la différence.

- A la suite de multiples pressions, en Juin 1978, le Gouvernement confirmé le projet THEMIS dont le coût s'élèvera à 160 MF, EDF s'étant engagée à y contribuer pour 60 MF (1).

La capacité de THEMIS n'excédera pas 2 MW_e alors que dans l'avant projet préliminaire sa puissance devait être de 10 MW_e (2). Il semble malgré la puissance relativement élevée susceptible d'être atteinte par les centrales à tour (vraisemblablement jusqu'à 100 MW_e), que la politique du CETHEL, dans cette première étape au moins, soit surtout axée sur l'exportation de centrales " clés en mains" vers les pays du Tiers Monde.

(1) Il semblerait que 100 MF seulement seront consacrés à THEMIS; le reliquat servira à financer d'autres projets relevant de la filière thermodynamique.

(2) Document interne CNRS.

Le CETHEL est engagé, en France, sur un deuxième projet de centrale à tour dénommé INTI 800.

Cette centrale d'une capacité de 800 KWe utilisera une technologie moins complexe que celle de THEMIS.

L'objectif des promoteurs d'INTI est de démontrer la fiabilité d'une centrale qui conviendrait davantage aux besoins des pays sous-développés.

Cette centrale est conçue pour un pays isolé où l'entretien et la réparation seraient possibles malgré une infrastructure industrielle peu importante.

Les techniques utilisées auront déjà fait leurs preuves. A ce titre la centrale d'Oleillo constitue un banc d'essai pour le choix des équipements d'INTI 800.

Selon le CETHEL, le coût de production d'une centrale à tour du type INTI 800 serait de l'ordre de 1,50 F/KWh (1) dans un pays comme l'Arabie Saoudite. Dans ce calcul, il est supposé que l'ensemble du matériel est importé.

Pour des régions éloignées du réseau de distribution électrique et des centres d'approvisionnement des produits raffinés, la compétitivité des centrales héliothermodynamiques paraît assurée. Le projet a déjà bénéficié d'une subvention de la DGRST en Octobre 1977.

b) Le programme de la CEE :

En Octobre 1975, la Direction de la Recherche de la Science et de l'Education de la CEE a lancé une étude de faisabilité pour la réalisation d'une centrale à tour expérimentale.

En 1977 la planification des différentes étapes a été arrêtée.

(1) Techniques de l'énergie Mai 1978.

Première Partie :

APPLICATIONS SOLAIRES NE NECESSITANT PAS DE CONVERSION

The first of these is the fact that the
government has been unable to
obtain the necessary funds to
carry out its policy.

The second is the fact that the
government has been unable to
obtain the necessary funds to
carry out its policy.

The third is the fact that the
government has been unable to
obtain the necessary funds to
carry out its policy.

The fourth is the fact that the
government has been unable to
obtain the necessary funds to
carry out its policy.

The fifth is the fact that the
government has been unable to
obtain the necessary funds to
carry out its policy.

The sixth is the fact that the
government has been unable to
obtain the necessary funds to
carry out its policy.

The seventh is the fact that the
government has been unable to
obtain the necessary funds to
carry out its policy.

The eighth is the fact that the
government has been unable to
obtain the necessary funds to
carry out its policy.

The ninth is the fact that the
government has been unable to
obtain the necessary funds to
carry out its policy.

The tenth is the fact that the
government has been unable to
obtain the necessary funds to
carry out its policy.

Par rapport aux autres utilisations notamment la production électrique, l'exploitation de l'énergie solaire à basse température (quelques dizaines de degrés) ne nécessite pas une technologie complexe.

L'exposition directe au rayonnement solaire, de produits agricoles pour le séchage par exemple, constitue la forme la plus simple de captation de l'énergie solaire.

Mais, afin d'augmenter les rendements et d'étendre le champ des applications, le recours à des collecteurs ou capteurs solaires est indispensable. Ceux-ci constituent d'ailleurs l'élément de base des installations solaires.

Il s'agit d'un capteur plan dépourvu par conséquent de systèmes de concentration tels que lentilles ou miroirs. Cette distinction est importante car les miroirs utilisés pour la production électrique nécessitent une concentration et sont d'une technologie beaucoup plus délicate (1).

La production d'eau chaude sanitaire, le chauffage de locaux, la climatisation, la réfrigération, la désalination sont les principales applications ne nécessitant pas de conversion.

Même si toutes ces utilisations présentent un intérêt certain pour les pays du Tiers Monde notre étude sera limitée à la production d'eau chaude sanitaire, par le biais des chauffe-eau solaires et accessoirement au chauffage des locaux.

Ce choix peut se justifier par deux points :

- La technologie du chauffe-eau solaire, même si elle est encore susceptible d'améliorations, est déjà suffisamment au point pour permettre une production et une commercialisation relativement importantes. La stratégie des firmes pourra ainsi être mieux cernée.

- La maîtrise de l'industrie des capteurs plan est la condition nécessaire pour prétendre à une certaine indépendance technologique. Ces capteurs sont utilisés pour les autres applications. Un point important de notre analyse portera sur la formation de cette industrie.

Dans cette première partie, nous verrons d'abord le développement du marché des chauffe-eau solaires ainsi que l'évolution des coûts.

Un deuxième paragraphe nous permettra de mettre en relief la nature et les formes de la politique des pouvoirs publics afin de favoriser la pénétration de l'énergie solaire dans ce domaine.

Nous terminerons cette partie par l'analyse de la stratégie des firmes et de l'industrialisation de cette "sous-branche".

Cette centrale sera réalisée par un consortium international regroupant :

- Le CETHEL (France) pour la fourniture d'une partie des héliostats, le stockage thermique (de faible capacité) et l'essentiel de l'installation électrique.

Les héliostats, qui représentent une part importante du coût total d'une centrale à tour, seront les mêmes que ceux développés à partir des centrales françaises INTI 800 et THEMIS.

On comprend ainsi davantage l'intérêt du CETHEL à la réalisation de ces installations qui auront pour effet d'accroître sa maîtrise technologique.

- Messerschmitt-Bolkow-Blohm GmbH (RFA) pour la fabrication de la moitié du champ d'héliostats.

- ENEL (entreprise nationale de l'électricité) et ANSALDO pour le compte de l'Italie.

Cette centrale d'une capacité de 1 MWe sera implantée dans la région de Catane (Sicile)..

Elle sera financée à parts égales par la CEE et les trois pays (France, Italie, RFA) ayant délégué des industriels.

Le coût de ce projet est estimé à 40 MF(1).

c) Les autres projets européens.

En Espagne deux centrales sont programmées :

- Un premier projet, d'une puissance de 1 MWe, CESA 1 (Central Electrica Solar de Almería) a été approuvé par le conseil des Ministres en Juin 1977. Sa réalisation incombera au centre d'études de l'énergie qui est un organisme relevant du Ministère espagnol de l'Industrie.

- Le second projet d'une puissance de 0,5 MWe sera financé par l'Agence Internationale pour l'Energie (A.I.E.).

(1) Science et Vie, N° hors série "L'énergie", 1979.

On remarque que les principales centrales sont localisées dans le Sud de l'Europe où un meilleur ensoleillement permet d'obtenir des rendements plus élevés que dans le Nord Européen.

2.1.2.2. Aux Etats Unis.

Une centrale à tour héliothermique réalisée pour le compte de l'ERDA (actuellement D.O.E.) d'une puissance d'1 MW_e (5 MW_{th}) est en fonctionnement depuis 1978. Cette centrale située à Albuquerque servira à tester les différents équipements et surtout les héliostats conçus par la firme Martin Marietta.

- Une deuxième centrale de 10 MW_e est en construction à Barstow dans l'Etat de Californie. La production de cette unité, qui sera la plus importante dans le monde, suffira pour couvrir les besoins d'une agglomération de 8000 à 10 000 habitants.

Ce projet, financé par le D. .E., a mis en concours de grandes firmes américaines des industries électronique (Honeywell) et de l'aérospatiale telles que Martin Marietta (constructeur des fusées Saturn), Boeing et Mac Donnell Douglas .

Honeywell, spécialisé dans l'informatique, était intéressée par la partie électronique. En effet, le déplacement du champ d'héliostats pour poursuivre le soleil sera réglé par ordinateur.

Les firmes de l'aérospatiale sont davantage concernées par la production d'héliostats dont le coût, pour cette centrale, représente quelque 60% des dépenses totales.

Le projet, retenu en Octobre, est celui de Mac Donnell ^{Barru} Douglas. Le coût de cette centrale est de l'ordre de 120 à 130 M\$. Le prix du KW installé serait de 10 000 \$ (1). Si l'on faisait abstraction des avantages de l'énergie solaire (absence de réseau) ce coût serait excessif par rapport au KW installé à partir des sources classiques.

(1) Science et vie n° Hors série "énergie" 1979.

Cette centrale expérimentale représente une première étape pour la conception et la réalisation de grandes unités commerciales d'une puissance de 100 MWe. Le programme que s'est ainsi assigné le D.O.E. pour les années 1985 s'appuiera sur l'expérience technologique de la centrale de Barstow.

Une deuxième voie est développée par l'Electric Power Research Institute (EPRI) pour la mise en service de centrales à tour d'une puissance de 100 MWe à partir d'une filière haute température utilisant les cycles thermodynamiques des turbines à gaz. Les héliostats sont actuellement développés par la firme de l'aérospatiale BOEING.

Parmi les autres pays qui s'intéressent aux centrales à tour il convient de relever :

- le Japon, où un projet de construction d'une centrale de 1 MWe localisé à Shikoku Island est conduit par Mitsubishi

- l'URSS où n'existe pas de projet immédiat de construction de centrales. Mais il semble d'après les études de l'Institut Krjijanovski de Moscou que les Soviétiques s'orientent vers des unités de très grande puissance.

Dans le tableau II/6 nous avons regroupé les principales caractéristiques des différentes centrales à tour déjà réalisées, en construction ou à l'état de projet.

PROJETS DE CENTRALES A TOUR DANS LE MONDE

NOM DU PROJET	Puissance électrique (Kwe) et mise en service	Localisation	Organismes responsables	Système optique	Observations
Pilot Plant (U.S.A)	10 000 1981	Barstow (Californie)	D.O.E Mac Donnell Douglas	1760 hélios de 38 m ² S: 66880 m ²	
Albuquerque (U.S.A)	1 000	Albuquerque		surface unitaire = 36 m ²	
Themis (France)	2 000 1981	Targasonne (P.O.)	C.N.R.S. E.D.F.	350 hélios de 50 m ² S: 17500 m ²	CETHEL architecte industriel associé
Enfi 800 (France)	800			S: 7400 m ²	
Projet Européen	1 000 1980	Sicile (Italie)	CEE CETHEL M.B.B. ENEL ANSALDO	146 hélios de 26 m ² (M.B.B.) + 70 hélios de 50 m ² (CETHEL)	
SSPS - A Agence Internationale de l'énergie	500	Almería (Espagne)	A.I.E DFVLR	150 hélios de 40 m ²	SNAM-PROGETTI (ENI) chargée de la concep- tion préliminaire
CESA 1 (Espagne)	1 000	Almería (Espagne)	Centro de estudios de la Energia	250 hélios de 36 m ² S: 9900 m ²	
Projet Japonais	1 000	Shikoku Island	Mitsu. Bishi	850 hélios de 16 m ² S: 13600 m ²	

Sources:

- Revue de l'énergie Mars 79
- Techniques de l'énergie Mai 78
- La Recherche Décembre 77

2.2. Les pompes solaires : production et marché.

Dans cette sous filière le collecteur est un capteur plan fixe. Le pompage de l'eau étant l'application principale, on se retrouve en présence d'une technologie solaire **totale**ment différente de la voie photovoltaïque. A ce stade, il est prématuré de se prononcer sur la compétitivité respective de chaque technologie.

Néanmoins on peut faire un parallèle intéressant quant à la stratégie de développement.

a) Actuellement on peut relever une seule firme importante la société d'Etudes Thermiques et d'Energie solaire (SOFRETES) qui a déjà procédé à de nombreuses installations dans plusieurs pays du Tiers Monde.

A l'origine le capital était reparti entre les établissements Pierre MENGIN (51%) le CEA (20%), le groupe TOTAL (20%) et Renault-Moteurs Industriels (1).

En 1978, le CEA achète les participations de MENGIN et Renault et devient l'actionnaire principal.

Le coût relativement relevé, entre 100 000 F et 200 000 F par KW installé (2), peut expliquer la nouvelle distribution du capital de la SOFRETES où l'institution publique est majoritaire.

Commissariat à l'énergie atomique (CEA)	: 71%
C.F.P.	: 25%
ANVAR	: 2%
SOFINNOVA	: 2%

(1) P.AUDIBERT : "Les énergies du soleil". Ed. SEUIL 1978 - 316 p.

(2) La Recherche : "Les centrales solaires" Décembre 1977 p.1038-1048.

La SOFRETES a déjà installé au moins 60 pompes solaires dans plus de 25 pays, notamment Abu Dhabi, le Brésil, le Cameroun, la Haute Volta, le Kenya, Madagascar, la Mauritanie, le Niger, le Mali...

Le principe de fonctionnement est simple. Le rayonnement solaire est collecté dans un capteur plan traversé par des tuyaux où circule de l'eau en circuit fermé. Cette eau chauffée à une température d'environ 70° C transmet sa chaleur à un fluide plus volatil par l'intermédiaire d'un échangeur. A cette température, le fluide (propane ou fréon) se vaporise et entraîne un petit moteur à piston (énergie mécanique) ou une turbine à gaz. Dans ce cas la turbine fait tourner un alternateur qui fabrique du courant électrique.

Les caractéristiques des pompes SOFRETES sont résumées dans le tableau ci dessous :

	Surfaces des capteurs	Puissance du Moteur	Niveau de l'eau souterraine	Débit d'eau
- Pompe de petite puissance	80 m ²	Environ 1KW moteur à piston	20à30m	20à30m ³
- Pompe de moyenne puissance (type Sanluiz de la Paz)	1500 m ²	30 KW, turbine à gaz fabriquant de l'électricité pour la pompe.	25à45m	900m ³

La plupart des unités installées ont une capacité de 1 KW. La SOFRETES a construit quelques unités de plus grande capacité dont les fonctions ne se limitent plus au simple pompage.

- Au Mexique, à San Luiz depuis 1975 une station de 30KW permet l'irrigation de 25 hectares de cultures industrielles et la distribution d'eau aux 15 000 habitants de cette ville

Au Mali à Diré une unité de 75 KW fonctionne depuis 1979. L'énergie solaire est captée et transformée en énergie thermique grâce à un champ de capteurs plans de 3000 m².

Cette station doit constituer un centre de vie à partir duquel se développera la communauté rurale.

Cette petite centrale solaire permet :

- le pompage de 8500 m³ d'eau par jour pour l'irrigation ainsi que la possibilité de tirer 600 m³ d'eau potable pour les besoins du village,
- l'alimentation d'un groupe frigorifique et la fourniture d'une petite quantité d'électricité (5 KWh) en fin de journée pour l'éclairage domestique.

La production journalière moyenne totale est de l'ordre de 450 KWh(1) Cette centrale d'un coût de 8,5 MF a été réalisée en collaboration avec le Ministère français de la coopération dans le cadre du programme Sahel Energies Nouvelles.

La politique d'exportation de la SOFRETES semble connaître quelque succès puisque 20 pompes solaires de 1 KW ont été installées au Mexique malgré les découvertes importantes d'hydrocarbures dans ce pays. Selon la SOFRETES, le marché potentiel pour ces petites unités se chiffrerait à quelques milliers.

L'Arabie Saoudite a commandé une centrale solaire d'une puissance de 240 KW dont la production serait réservée à l'irrigation le contrat a été passé par l'intermédiaire de TOTAL Moyen Orient S.A.

Un accord a été conclu entre le Gouvernement Sénégalais d'une part, et la SOFRETES et Thermo Electron d'autre part pour la réalisation d'un projet de pompage solaire destiné à l'irrigation de la région de Bakel. L'investissement d'un montant de \$ 1,25 M sera financé par l'Agence Internationale de Développement (A.I.D.) et le Fonds Français à la Coopération (1).

(1) Techniques de l'énergie : Mai 1978 - Sept. Oct. 1978.

b) Dans les autres pays occidentaux, la production et la commercialisation ne connaissent pas encore le même stade de développement qu'en France.

Néanmoins plusieurs firmes s'intéressent à ce créneau représenté par la production de petites unités solaires utilisant des capteurs plans.

La firme Ouest allemande MAN corporation (Maschinenfabrik Augsburg Nürnberg) développe de petites unités qui peuvent être dimensionnées en fonction des besoins du client

Une autre firme allemande Dornier, en collaboration avec la centre National de la Recherche égyptien a mis au point plusieurs types d'unités de capacité de 10 KW.

Messerschmidt-Bolkov-Blohm (RFA) en collaboration avec Bharat Heavy Electricals (Société appartenant à l'Etat indien) et l'institut indien de Technologie de Madras, a conçu une petite centrale de 10 KW pour la satisfaction des besoins des zones rurales de ce pays.

CONCLUSION.

De l'analyse de la stratégie des différentes firmes et des contraintes technico-économiques inhérentes à chaque système (conversion photovoltaïque, héliothermodynamique) une frontière peut être délimitée.

Les coûts encore très élevés de la conversion photovoltaïque limitent ses applications actuelles à quelques usages spécifiques ne nécessitant que de faibles puissances tels que l'alimentation des faisceaux hertziens, les réémetteurs de télévision, le balisage lumineux des aéroports.

Le pompage de l'eau dont le marché est potentiellement important représente une frontière commune où s'affrontent les deux filières.

Le nombre de réalisations, pour cette application qui a atteint le premier stade de l'industrialisation, est également partagé entre les deux technologies.

Néanmoins, même pour le pompage de l'eau, nous retrouvons cette dichotomie. En effet, pour les stations de petite puissance (moins d'1KW), la conversion photovoltaïque, où l'entretien est beaucoup plus simple du fait de l'absence de pièces mobiles, semble préférée à l'autre voie.

Pour les unités de plus grande puissance, l'utilisation de l'autre filière est quasi exclusive.

La production d'électricité sur une grande échelle, constitue le domaine privilégié de la voie héliothermodynamique.

L'analyse des projets des pays européens disposant d'un programme conséquent de Recherche et Développement en énergie solaire permet de conclure que le développement de cette industrie solaire vise davantage le marché des pays du Tiers Monde.

La densité du réseau, l'ensoleillement relativement plus faible, la superficie plus importante nécessitée par ces centrales représentent les freins majeurs au développement de l'électricité d'origine solaire.

Le bilan énergétique prévisionnel français pour l'an 2000 confirme cette tendance. La consommation énergétique totale s'élèvera à 350 MTEP dont 15,6 MTEP (4,4%) à 17,6 MTEP (5%) seront couverts par l'énergie solaire au sens large. La structure des différentes formes d'énergie solaire se décompose ainsi (1):

Formes d'énergie	Production en M.T.E.P.	% Production à la consommation totale (350 MTEP)	% par rapport à la production totale solaire	
- Biomasse	10 à 12	2,9 à 3,5	64	68
- Habitat solaire	5,3	1,5	34	30
- Electrosolaire	0,25	0,07	1,6	1,4
- Energie éolienne	0,05	0,02	0,4	0,3
TOTAL	15,6 à 17,6	4,3 à 4,9	100	100

La centrale française THEMIS initialement prévue pour une capacité de 10 MWe a été ramenée à 2 MWe. L'autre projet de centrale à tour de plus faible capacité, INTI800, ainsi que les centrales à collecteurs distribués (projets THEK) qui conviendraient davantage aux besoins des pays sous-développés viennent renforcer nos conclusions.

A la différence des pays de l'Europe occidentale, les Etats-Unis et même l'URSS s'orientent vers des unités de grande puissance destinées prioritairement au marché interne. Aux Etats Unis, une centrale de 10MWe est en construction à Barstow (Californie). Une des critiques adressées au D.O.E est d'avoir alloué des sommes trop importantes aux systèmes centralisés.

Dans ce pays, la rente de situation (meilleur ensoleillement) ainsi que l'étendue du territoire permettent d'assurer une meilleure rentabilité à l'énergie solaire. Il est évident que l'option en faveur des grandes centrales n'exclut pas une politique ultérieure d'exportations. La technologie reste fondamentalement la même, aussi il paraît peu probable que le passage de grandes unités à des unités de petite taille pose des problèmes à une industrie qui bénéficie déjà de rentes technologiques dans ce domaine.

(1). Ce tableau a été construit à partir de statistiques extraites de la Recherche : "Le solaire en France en l'an 2000" P.J. Antony. N°101 - Juin 79.

Troisième partie

L'ENERGIE SOLAIRE ET LES PAYS DU TIERS-MONDE

L'énergie solaire est actuellement présentée comme la panacée pour les pays du Tiers-Monde à cause de leur situation géographique privilégiée.

Notre analyse montre que les différents usages de l'énergie solaire, thermiques (chauffe-eau) mais surtout électriques (héliothermodynamique et héliophotovoltaïque) requièrent une maîtrise de plusieurs technologies dont certaines sont encore en cours de développement.

Nous avons également pu mettre en relief le processus de monopolisation des moyens de production par les grandes firmes des pays capitalistes avancés.

Par rapport à ce double mouvement complémentaire de complexification de la technologie et de son appropriation par un nombre restreint de grandes firmes, nous nous limitons dans cette partie à l'étude :

- des rapports Nord-Sud dans le domaine de l'industrie solaire,
- des politiques et structures de R et D dans les pays du Tiers-Monde et plus particulièrement en Algérie, afin d'avoir une vue générale du degré de maîtrise de la technologie solaire par ces pays.

1. ENJEU ET FORMES DE TRANSFERT ENTRE LE NORD ET LE SUD.

1.1. Le marché :

Les unités solaires déjà vendues aux pays du Tiers-Monde ainsi que les nombreuses opérations de démonstration prouvent que ce marché fait déjà l'objet d'une concurrence assez vive entre les firmes des pays industrialisés, notamment celles de l'Europe.

En effet dans ce continent, la densité du réseau et un ensoleillement moins important qu'aux Etats-Unis restreignent les capacités d'absorption à court et moyen terme du marché interne. Aussi, la stratégie des firmes européennes est-elle orientée prioritairement vers les débouchés offerts par les pays du Sud où la faiblesse de l'infrastructure énergétique joue en faveur d'un système de production décentralisée.

Le tableau III/1 donne pour les pays du Tiers-Monde le niveau de l'électrification rurale.

Tab.III/1 Population rurale du Tiers-Monde(en millions)desservie en électricité.

	Population	Population Rurale	Population rurale desservie par l'électricité.
Amérique Latine	282	140 (50%)	32 (23 %)
Asie(y compris la Chine)	934	700 (75%)	105 (15 %)
Afrique	182	165 (91%)	7 (4 %)
Total Tiers Monde.	1398	1005 72%	144 14 %

Au cours des prochaines années, les programmes d'électrification rurale élaborés dans beaucoup de pays du Tiers Monde se traduiront par une augmentation de la production. L'I.I.A.S.A.(1) estime qu'entre 1973 et 2000 la consommation électrique sera multipliée par six, en Afrique et par cinq en Extrême Orient (Pakistan et Inde compris) et en Amérique Latine.

La demande de Pompes pour l'irrigation est également appelée à connaître une forte hausse. En Inde plus de 10 millions de Pompes doivent être installées dans les deux à trois prochaines décades (2)

Il est actuellement difficile de déterminer la part du marché qui reviendrait à l'industrie solaire. A titre d'exemple, nous donnons une estimation du marché des pays de l'Afrique de l'Ouest pour la période 1980 2000 (3)

- Centrales solaires pour la distribution d'électricité	KW
• puissance comprise entre 100 et 1000 KW -----	15 000
• puissance inférieure à 100 KW -----	60 000
(photovoltaïque surtout)	
- Pompes et stations de pompage solaire -----	21 500
- Télécommunications -----	1 500

En Inde d'après une étude de la Central Electronic Ltd, entre 1982 et 1985, il sera possible d'installer chaque année des panneaux de photopiles d'une puissance de 100 W dans un million de foyers ruraux (100 MW / an).

(1) I.I.A.S.A: International Institute for Applied Systems Analysis. (Autriche)

(2) "Whose Solar Power". Earthscan. UNEP. Op.Cit

(3) Sciences et Avenir...

Malgré le coût élevé du panneau de photopiles, la compétitivité de la conversion photovoltaïque serait assurée du fait de l'insuffisance du réseau de distribution.

Dans ce même pays, le Président de la société Internationale d'Energie Solaire estime que lorsque le coût des cellules photovoltaïques tombera à \$ 500 / KW crête, la parité sera atteinte avec les sources classiques pour l'alimentation d'un village distant de 10 à 20 km de la centrale électrique (1)

(1) Agarwal and Stansell: " Whose Solar Power". op.cit

1.2. Supports de la pénétration de ce marché et rapports Nord-Sud.

Jusqu'à présent dans notre analyse le Tiers-Monde est perçu comme un marché où s'affrontent les firmes transnationales. La conquête de ces marchés est soutenue ou parfois initiée par les pouvoirs Publics des pays industrialisés comme l'attestent les nombreuses opérations de démonstration du COMES français dans les pays d'Afrique.

Aux Etats Unis, le marché externe n'est pas actuellement considéré comme prioritaire car le marché domestique est suffisamment large pour permettre un développement de l'industrie solaire. Cependant le D.O.E dispose d'un groupe de travail pour la commercialisation externe (International Solar commercialisation Working Group) dont l'objectif est à la fois la promotion des exportations et une réduction des coûts à la suite de ventes massives en dehors des Etats Unis.

En fonction du niveau de développement relatif des pays du Tiers Monde le contenu et les formes de transfert différent :

a) Avec les pays du Tiers-Monde les plus avancés technologiquement (Inde, Egypte) la coopération est cantonnée dans des créneaux bien délimités. La possibilité est offerte à l'industrie locale de fabriquer une partie importante des biens d'équipement. Cette stratégie est surtout développée par les firmes Ouest-allemandes.

- Ces dernières collaborent avec l'Egypte pour la conception et la production d'unités de 10 KW appartenant à la filière héliothermodynamique. L'industrie égyptienne bénéficiera d'une aide financière pour la fabrication de biens d'équipements.

- Un programme conjoint de MBB (RFA) et de la compagnie d'Etat indienne Bharat Heavy Electricals Ltd doit déboucher sur la production d'unités héliothermodynamiques de 10 KW de puissance.

Dans ce projet, le Ministère Ouest Allemand de la Recherche et de la Technologie a investi \$ 1,3 M (2,5 M D.M) et BMFT, la compagnie indienne, \$ 1 M.

Les capteurs plans, le système de stockage et le bâtiment seront financés et construits par l'Inde; MBB fournira le générateur. Cette forme de coopération permet à l'Inde d'acquérir les éléments, de l'ensemble qu'elle ne domine pas tandis que la firme allemande peut tester son matériel dans un espace géographique représentatif du marché des pays du Tiers-Monde.

b) Avec les pays moins avancés du Tiers-Monde, la coopération revêt la forme de transfert d'ensembles marchandises et/ou de réalisations d'entreprises conjointes limitées aux procès de production banalisés, et dont le capital est souvent contrôlé par les firmes occidentales.

Ces relations sont généralement accompagnées d'un transfert financier Nord-Sud (1) afin que l'opération soit supportable par ces pays du Tiers Monde.

Au Sénégal, la société Industrielle des Applications Solaires (SINAES), qui compte parmi ses actionnaires la SOFRETES, a bénéficié d'un prêt de 500 000 uc.(2) (2,9 MF) afin de financer un atelier de fabrication de capteurs utilisés pour les chauffe-eau solaires et les stations thermodynamiques destinées à fournir l'énergie pour l'irrigation de zones rurales isolées.

(1) Cette analyse n'est pas valable pour les pays de l'OPEP.

(2) Cette somme fait partie d'un prêt global de 1 607 000 uc (9,7 MF) accordé par la Banque Européenne d'Investissement à deux Etats ACP; Madagascar et le Sénégal. Industrie et Travaux d'Outre Mer. Janv.1980.

c) Par le biais de contrats avec des centres de recherches publics ou des firmes de pays occidentaux, les pays de l'OPEP à excédent contribuent au financement à la formation de l'industrie solaire au profit de ces firmes.

- Le Centre Saoudien de Consultation et de Recherche Technologique a accordé une subvention de recherche de \$ 5,5 M à l'Université de Sydney

- Un plan quinquennal de \$ 100 M pour l'énergie solaire, a été élaboré par la commission paritaire sur la coopération Economique qui regroupe les Etats Unis et l'Arabie Saoudite. Son financement est distribué de manière égale entre les deux pays.

Dans le cadre de ce programme, le Gouvernement des Etats Unis a invité 148 compagnies, dont quatre étrangères à ce pays, à soumissionner pour la construction du plus grand complexe mondial d'énergie solaire destiné à l'alimentation de deux villages saoudiens.

- L'institut Arabe Saoudien a investi \$ 850 000 pour ^{la} climatisation d'un édifice public situé à Washington.

- L'Institut Koweïtien de la Recherche Scientifique est étroitement lié aux Universités américaines qui bénéficient d'une partie des contrats de recherches alloués par cet organisme.

Cette analyse laisse apparaître que le ~~Tiers~~ Monde tend à devenir un champ d'expériences, dans une première étape, et ultérieurement un marché contrôlé par quelques grandes firmes.

Dans cette industrie solaire en voie de maturation, les produits actuellement fabriqués par quelques pays sous-développés risquent de devenir obsolètes du fait d'un progrès technologique non intégré par ces pays. On peut citer l'exemple du Niger qui s'est consacré à la production de capteurs plans pour l'équipement de chauffe-eau solaires et de pompes solaires et dont l'effort risque d'être annihilé par le développement de capteurs plus efficaces en France et dans d'autres pays industrialisés.

Les problèmes classiques de transfert technologique et/ou de ventes de biens d'équipement se retrouvent dans le cas de l'industrie solaire.

En général, les produits sont mis au point dans des conditions qui correspondent aux pays d'origine des firmes occidentales et expérimentés dans des zones tropicales.

Des cellules photovoltaïques testées en Afrique par un Institut de Recherche ont vu leur capacité diminuer car le support en caoutchouc des cellules se décomposait sous l'effet de la chaleur.

Au Mexique, les pompes installées par la SOfRETES n'ont pas donné les résultats escomptés. Le Mexique dépend d'une technologie étrangère qu'il ne maîtrise pas. En outre, la longue durée de vie de ces installations ne s'est pas vérifiée puisqu'après 5 années d'exploitation, sur 13 pompes, une seule est encore opérationnelle.(1)

Dans ce contexte, on peut se poser la question de savoir si la mise en oeuvre de l'énergie solaire est une entreprise dont sont déjà exclus les pays sous-développés, ou si les moyens d'un développement relativement autonome de cette industrie peuvent être encore mis en place au sein d'un pays ou d'un espace régional du Tiers-Monde.

(1) " Whose Solar Power". Earthscan. UNEP. op.cit.

2 - LE DEVELOPPEMENT DE L'INDUSTRIE SOLAIRE DANS LES PAYS DU TIERS-MONDE.

La recherche sur l'énergie solaire dans les pays du Tiers-Monde a été entamée depuis plusieurs années sous la conduite de pays occidentaux qui pouvaient disposer ainsi de conditions d'expérimentation particulièrement favorables.

L'existence de cette infrastructure constitue un atout qui est loin d'être négligeable pour le développement de cette industrie.

Dans ce chapitre nous essaierons de mettre en relief les structures de R et D dans certains pays du Tiers-Monde et plus particulièrement en Algérie.

2.1. Structures et politiques de R et D dans les pays du Tiers-Monde.

La plupart des pays sous développés ont engagé des programmes de recherches dans les différents domaines de l'énergie solaire comme le montre le tableau III.2.

La possibilité de maîtriser assez facilement certaines applications de l'énergie solaire (chauffe-eau solaires, séchage des récoltes..) explique le nombre élevé de pays concernés.

Néanmoins le démarrage de la R. et D. et son intensité varient en fonction de l'histoire de ces pays et de leur dotation en ressources énergétiques.

a) Dans les pays africains au Sud du Sahara l'énergie solaire est activement développée sous le contrôle d'Instituts de recherches et de firmes occidentaux.

- Au Niger, l'Office National de l'Energie Solaire (ONERSOL) a été créé en 1965. Des études et des expérimentations ont abouti à la mise au point de chauffe-eau et de distillateurs, une ^{unité de} production de capteurs plans fonctionne dans ce pays, mais le verre est importé.

Tab III/2: Activités de R+D. dans les énergies non conventionnelles.

applications Pays	chauffage solaire	climatisation	séchage	pompage de l'eau	conversion thermo-dynamique	conversion photovoltaïque	énergie éolienne	énergie des mers	énergie géothermique.
Argentine	x		x			x	xx		
Barbades			xxx			x	xx		
Bolivie			x			x			
Bresil	x								
Tchad					x				
Chili	x		x						
Chine	x		x						
Costa Rica	x		xx				xx		
Cuba									
Equateur	x			x	x		x		
Egypte	x								x
Salvador			x						
Guatemala	x								
Inde	x			x	x	x	x		
Iran	x		x		x	x			
Iraq	x								
Jamaïque	x		x						
Jordanie	x								
Koweït	x				x	x			
Malawi	x		xx		x	x			
Malaisie		x			x				
Mali		x							
Ile Maurice		x							
Niger		x							
Nigeria	x			x	x				
Oman					x		x		
Pakistan	x	x	xx			x	x		
Perou	xx		xx				x		
Philippines	x		x						x
Qatar					x				
Arabie Saoudite	x		x	x	x	x			
Senegal	x				x				
Sri Lanka	x		x	x					
Soudan			x						
Thaïlande			x	x			x		
Nombre de pays concernés	22	5	20	6	12	9	11		2

Source: United Nations: "Research in non-conventional sources of energy" January 1978. (E/C/18/56)

Un projet de four solaire pour le traitement des matériaux de construction, la climatisation, la conversion thermoélectrique et photovoltaïque, et le pompage constituent les principaux axes de recherche de l'ONERSOL. Le Ministère des Postes et Télécommunications envisage, dans les zones rurales, d'équiper le réseau téléphonique de panneaux solaires.

L'ONERSOL, sous l'égide de l'UNESCO, a organisé des cours en héliotechnique qui ont réuni des centres de recherches de l'Afrique de l'Ouest francophone ainsi que le C.S.T.N (1) d'Alger.

- Au Sénégal, l'Institut de Physique météorologique de la Faculté des Sciences de Dakar a été créé en 1955.

La Recherche Développement concerne :

- les chauffe-eau, séchoirs et pompes grâce à la Société Industrielle des Applications de l'Energie Solaire créée en 1976.

- les moteurs solaires à basse température pour le pompage de l'eau. Cet équipement est développé par la SOFRETES.

- les distillateurs et les capteurs à concentration.

- Au Mali, où le potentiel énergétique est faible, l'exploitation des énergies renouvelables se concrétise à partir de 1968 par la création de deux centres d'activités :

- le centre Pédagogique Supérieur de l'Ecole Normale Supérieure de Bamako qui est l'œuvre de l'UNESCO. Le Centre a pour vocation la formation de spécialistes dans les disciplines scientifiques et littéraires.

- le Laboratoire National d'Energie Solaire qui est rattaché au Ministère de l'Hydraulique et de l'Energie. Ce laboratoire a pour objet la mise au point de produits à partir des énergies renouvelables (chauffe-eau, séchoir de denrées alimentaires, pompe solaire, distillateur...) et leurs utilisations par la population.

(1) CSTN : Centre des Sciences et de la Technologie Nucléaire.

La plupart des hôpitaux et maternités sont équipés de chauffe-eau solaires. Une unité de distillation de 5000 l par jour est projetée.

Quelques unités de pompage de l'eau à partir des filières thermodynamique (pompes SOFRETES) et photovoltaïque sont en service.

Un important projet intitulé "Mali Renewel Energy Project" centré sur le milieu rural a été signé avec les USA.

Au cours de la réunion, en Octobre 1978 du quatrième sommet des chefs d'Etat de la communauté d'Afrique de l'Ouest (CEAO) il a été décidé la création d'un centre régional d'énergie solaire. Le projet a reçu un million de dollars de l'UNESCO alors que la contribution des pays arabes devait s'élever à \$ 5 M (1).

Au Rwanda, le centre d'Etudes et d'Applications de l'Energie (CEAR), rattaché à l'Université Nationale, regroupe quelques chercheurs.

Dans le domaine de l'énergie solaire les activités de ce centre consistent en la fabrication et l'installation de capteurs plans pour le chauffage de l'eau, la mise au point de distillateurs et de séchoirs. Cette dernière application est importante pour ce pays qui exporte surtout des produits agricoles (Café, Thé..) qui doivent être séchés.

b) Dans les pays arabes, hormis quelques exceptions, la R. et D. est impulsée par l'extérieur. (2)

Au sein des Universités arabes la recherche sur l'énergie solaire existe depuis fort longtemps, mais l'intérêt des décideurs pour cette forme d'énergie est récent.

A l'échelle du monde arabe, lors de la Première Conférence Arabe de l'Energie, le Secrétariat Général de l'OPAEP a demandé que soit établi un bilan sur l'énergie solaire.

Parmi les principales applications (tableau III/3) on relève le chauffage de l'eau, la climatisation, la désalination, les serres solaires...

(1) AGE COP LIAISON Déc. 78 n°44.

(2) Se reporter à nos précédents développements : 1.2.a)

Les technologies plus complexes telles que la conversion photovoltaïque et thermodynamique, les fours solaires ne sont développés que dans quelques pays et le plus souvent dans de petits laboratoires.

L'industrie solaire dans le monde arabe est limitée à la production de chauffe-eau solaires dans trois unités, une en Tunisie et deux en Jordanie(1)

Dans ce dernier pays, un système de très grande taille d'évaporation solaire est en construction pour récupérer les dépôts de potasse près de la Mer Morte; ce projet est entrepris par une Compagnie Califormienne (Jacobs Engineering) et coûtera plus de \$ 400 M. Les travaux devront être achevés en 1982 (2).

De nombreux projets importants sont planifiés dans les pays du Moyen Orient.

Les investissements des pays arabes dans le solaire restent faibles (tableau III/4). Les fonds destinés à l'énergie solaire sont intégrés dans les budgets des universités ou des institutions publiques.

Sur un budget estimé à \$ 25 M, la part de l'Arabie Saoudite (\$ 15 M) s'élève à près de 60%.

Les budgets de cinq pays (l'Arabie Saoudite, le Koweït, la Libye, l'Egypte et l'Algérie) dont quatre appartiennent à l'OPEP, représentent presque 95 % de l'allocation totale.

Parmi les propositions qui sont avancées pour développer l'énergie solaire au sein de cet ensemble, la création d'une Commission Arabe de l'Energie Solaire sous l'égide de l'OPAEP semble rencontrer un écho favorable.

c) En Amérique Latine et en Asie les pays les plus avancés sont l'Inde, l'Argentine et le Brésil.

L'Inde dispose d'un programme assez complet dans le domaine de l'énergie solaire. Le département de la Science et de la Technologie a alloué \$ 6,26 M pour la R et D pour une durée de cinq ans.

Plus de 30 instituts ont des activités de recherche dans le domaine de l'énergie solaire.

(1) OAPEC - May 1979.

(2) Agarwal and Stansell "Whose Solar Power?"

Table Budgets de R et D en énergie solaire dans les pays arabes
y compris le financement externe (Estimations)

	U.S.A. (dollars)		R.-F.-A. (million DM)		France (million FF)		Canada (dollars)		Danemark (US dollars)		Budget Annuel (estimation)
	Part U.S.A.	Part locale	Part RFA	Part locale	Part Française	Part locale	Part Canada	Part locale	Part Danemark	Part locale	
Algérie											1 000 000
Bahrein											75 000
Djibouti											6 000 000
Egypte	150 000	200 000	18,8	11,6	4,58	418	110 000	90 000			150 000
Irak											650 000
Jordanie											2 000 000
Koweït			2,3	1,0							50 000
Liban											1 500 000
Libye											
Mauritanie											
Maroc											
Oman											
Qatar											
Arabie Saoudi	50.000 000	50.000 000				23					15 000 000
Somalie											
Soudan					0,22				50 000		150 000
Syrie											20 000
Tunisie											130 000
Emirats											
Yemen Nord											
Yemen Sud											

Source: O APEC - May 1979

Les principales applications déjà commercialisées ou en voie de l'être concernent :

- les capteurs plans pour le chauffage de l'eau et la distillation
- le pompage de l'eau,
- le séchage des récoltes,
- les cellules photovoltaïques etc...

Les investissements dans l'industrie solaire relèvent aussi bien des secteurs privé que public.

En Argentine, le programme sur l'énergie solaire se déroule, dans un cadre interne par le biais du "Centro Nacional de Estudios Géo-Heliofisicos", et en coopération avec d'autres pays, sous l'égide de l'Organisation des Etats Américains.

Les principaux projets comprennent le chauffage de l'eau sanitaire, la climatisation, le séchage des récoltes, les cellules photovoltaïques

Une centrale héliothermodynamique de puissance relativement importante doit être construite dans ce pays.

Au Brésil plusieurs institutions s'intéressent à l'énergie solaire; le séchage des récoltes et l'utilisation de la biomasse semblent être les voies privilégiées.

Une étude exhaustive doit tenir compte des structures et programmes de recherches dans d'autres pays.

2.2. Structures et politiques de R et D en Algérie.

Au niveau des décideurs, l'intérêt pour les énergies nouvelles est récent. La nouvelle structure du Ministère de l'Energie et des Industries Pétrochimiques comprend une sous-direction des énergies nouvelles qui a pour objet le développement des énergies solaire, géothermique et nucléaire.

Les principales filières sur l'énergie solaire sont développées dans les centres de recherches et Universités relevant du MESRS (1) et à un degré moindre au sein de quelques Sociétés Nationales

a) Les structures du MESRS.

. La formation spécifiquement consacrée à l'énergie solaire n'a démarré que récemment à l'Université des Sciences et de la Technologie d'Alger (USTA) avec l'organisation d'un Magister en énergie solaire qui regroupe actuellement une quinzaine d'étudiants répartis entre les filières thermodynamique, photovoltaïque et photochimique.

. La recherche se déroule dans le cadre des centres relevant de l'ONRS (2) ainsi que dans les Universités :

. La station d'Energie solaire de Bouzaréah (Alger) représente l'infrastructure la plus importante. Ce centre est doté d'un four solaire d'une puissance thermique de 50KW ; conçu à l'origine pour l'expérimentation de la fusion des matériaux réfractaires. La concentration du rayonnement solaire a permis d'atteindre des températures de l'ordre de 3500°C. Une convention a été passée entre l'ONRS et la SNMETAL pour réaliser une centrale solaire héliothermodynamique à partir de ce four solaire.

A la Station d'Energie Solaire sont poursuivis d'autres travaux concernant :

- la mesure du rayonnement solaire.
- les capteurs plans et les chauffe-eau solaires. Deux chauffe-eau ont été réalisés avec des matériaux locaux.
- Les concentrateurs cylindro-paraboliques dont l'utilisation permet d'atteindre une gamme de température moyenne qui autorise de nombreuses applications et notamment la possibilité de produire de l'électricité.

(1). Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherches Scientifiques

(2). Organisme National de la Recherche Scientifique.

La recherche sur la conversion photovoltaïque se déroule au CSTN (Laboratoire des Cristaux et Couches Minces) et à l'USTA. Un séminaire sur la conversion photovoltaïque (1) organisé par le CSTN a permis de réunir des utilisateurs de l'énergie solaire et des chercheurs travaillant dans ce domaine. Des indications techniques ont été données sur la réalisation de la première cellule photovoltaïque au silicium monocristallin. Ce travail a été réalisé par l'USTA qui a eu recours au matériel de l'atelier semi-conducteurs du complexe Electronique Grand Public de Sidi-Bel-Abbès. L'équipement de cette usine pourrait éventuellement servir à une fabrication industrielle de photopiles.

Actuellement les principales utilisations auraient trait au pompage de l'eau, à l'alimentation des faisceaux hertziens et surtout à la protection cathodique du réseau principal de transport des hydrocarbures. En effet, la corrosion coûte excessivement cher à la SONATRACH. Un système de protection cathodique alimenté par l'énergie solaire peut constituer une solution plus efficace que le recours au diesel ou à des batteries. SONATRACH-Engineering et Développement, en collaboration avec le CSTN a noué des contacts avec une firme américaine (ARCO solar) pour des opérations de démonstration. L'équipement serait fourni gratuitement par la Société Américaine.

- L'Université de Annaba a élaboré un important programme de recherche sur les énergies non conventionnelles. Les principaux domaines relevant de l'énergie solaire concernent : (2)

- le chauffage à basse température (chauffe-eau solaire).
- le dessalement de l'eau,
- la production de froid et le conditionnement,
- la conservation et le séchage.
- Les miroirs paraboliques à haute température,
- l'habitat,
- un village totalement solaire,
- la thermochimie,
- Les cuisinières solaires.

(1). Séminaire sur la conversion photovoltaïque. El Golea, 26-27 Mars 1980.

(2). Université de Annaba : "Rapport d'activités en énergie solaire" 1977-78.
116 p.

Une partie importante de ce programme (chauffe-eau solaire, dessalement, cuisinière solaire, miroir parabolique) a fait l'objet de réalisations au sein de cette Université. Il convient de souligner la collaboration de l'Université avec les centres industriels de la région. Dans ce cadre, des plans de chauffe-eau solaires ont été fournis à Réal-Sider (filiale SNS) pour d'éventuelles installations dans les nouvelles constructions. Des études concrètes de village solaire ont déjà été réalisées telles le village solaire pastoral à Sidi Brahim (Saïda), un projet pour un village du Sud...

Le projet du village agricole de Sidi Brahim a été établi en collaboration avec Réal-Sider et la SOFRETES. D'après cette étude la quasi-totalité des besoins de ce village (2 hameaux de 26 familles chacun) pourra être satisfaite par la filière thermodynamique basse température. Les capteurs plans constituent la base de cet équipement solaire.

Une fabrication industrielle des capteurs -plans peut être envisagée sans qu'il n'y ait de problèmes majeurs. Les matériaux d'un capteur (différents types d'acier, isolants synthétiques, aluminium...) sont disponibles sur le marché ou en mesure d'être rapidement produits par l'industrie algérienne. Il reste à déterminer la structure industrielle au sein de laquelle seront montés et développés ces capteurs-plans.

A l'EPAU et au CRAU(1) sont menées des recherches sur l'habitat solaire intégré. Ces centres s'intéressent à l'intégration des différentes fonctions solaires (captage-stockage-distribution régulation)(2) dans une composition architecturale appropriée susceptible d'entraîner des économies d'énergie.

Dans l'habitat individuel et collectif, des systèmes solaires actifs (chauffe-eau, climatisation...) doivent compléter cette architecture. L'ONRS, en collaboration avec l'Université des Nations Unies (UNU), travaille actuellement sur la conception et la réalisation d'un village solaire intégré algérien(3). Ce projet réunit du côté algérien une équipe multidisciplinaire qui émane du secteur de l'enseignement et de la recherche (USTA, CSTN, CRAU..) de sociétés nationales (SONELGAZ) et de l'administration centrale (Ministère du plan).

(1). EPAU : Ecole Polytechnique d'Architecture et d'Urbanisme .

CRAU : Centre de Recherches sur l'Architecture et l'Urbanisme.

(2). J. Denis et Lotz Henri : "La maison solaire en Algérie". Sciences Sociales Panorama. N°2. Déc. 1979. ONRS.

(3). B. OULD HENIA : "Le village solaire intégré". Sciences Panorama n°1. Sept. 79. Autres documents fournis par l'U.N.U (Tokyo).

Une partie importante des équipements doit être mise au point par les centres spécialisés de l'O.N.R.S.

- la Station d'Energie Solaire de Bouzaréah devra développer :
 - . les capteurs-plans,
 - . les concentrateurs,
 - . les distillateurs,
 - . les systèmes de production de chaleur entre 200 et 300°C,
 - . les réfrigérateurs...

- Le C.S.T.N. sera chargé de la mise au point des cellules photovoltaïques.

- Le C.E.R.A.G.(1) interviendra pour le plan général d'aménagement rural du périmètre de mise en valeur.

Une étude des besoins énergétiques de ce village qui doit comprendre environ 1.500 habitants pour un périmètre irrigué de 1.400ha, a donné les résultats suivants :

.Besoins domestiques (par habitant et par an)

- cuisson : 3,25 GJ (Gigajoules = 10^9 Joules)
- chauffage 1,63 GJ
- éclairage 0,15 GJ
- Total 5,03 GJ

. Besoins pour l'activité (par habitant et par an).

- pompage de l'eau : 2,42 GJ
- travail agricole : 2,16 GJ

Total 4,58 GJ

Hormis le travail mécanique agricole (2,16GJ), les techniques solaires actuellement disponibles peuvent satisfaire cette demande d'énergie. Néanmoins pour la cuisson, les habitudes sociales constituent une barrière à l'introduction des cuisinières solaires.

L'utilisation de l'énergie solaire portera donc sur le chauffage, l'éclairage et le pompage de l'eau soit 4,2 GJ ou 44% des besoins totaux. On remarque que l'énergie électrique (éclairage) ne représente que 3% des besoins domestiques.

(1). CERAG : Centre des Etudes et de Recherches Agronomiques.

L'étude du choix du site ayant déjà été faite, au cours de cette année, le dossier définitif de réalisation de ce village doit être achevé afin d'être inscrit au budget d'équipement. Trois prototypes de maisons seront expérimentés avant le lancement des travaux à l'échelle du village.

Les autres centres de recherche sous la tutelle du Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique sont : - le CUREP (Centre Universitaire de Recherche d'Etudes et de Réalisation) qui a déjà organisé un séminaire en Juin 1978 sur l'énergie solaire (1). Des études se poursuivent actuellement sur le chauffage solaire.

- A Oran, l'USTO et l'ENSEP (Ecole Normale Supérieure d'Etudes Polytechniques) s'intéressent à l'énergie solaire.
- Le Centre Universitaire de Batna en relation avec la station d'Energie Solaire étudie un projet sur les fours solaires. Mais les moyens humains de ce centre sont très limités.

b) Les autres structures :

La participation de quelques sociétés nationales à la formation d'une industrie solaire en Algérie, quand bien même limitée, est devenue une réalité. La SONELEC pour la production de photopiles, SN METAL pour la partie thermique d'un système thermodynamique et Réal-Sider pour les capteurs-plans pourraient constituer les noyaux de la future industrie solaire.

- la SONEGAS, dont l'activité principale est la production et la distribution de l'électricité avait déjà envisagé un programme de chauffage de maisons solaires avec la participation du CRAU et de la Direction Nationale des Coopératives. Une villa solaire devait être construite à Ouargla pour tester le matériel et mesurer les économies d'énergie réalisées.

Avec l'ONRS une action avait été programmée en vue de l'acquisition d'une centrale de 10KW, l'achat de pompes solaires de 1 à 2KW, le chauffage, et la production d'eau chaude et la climatisation (2).

Ce programme n'a pas connu de réalisation concrète. SONEGAS a avancé le coût excessif de certaines installations; notamment dans le cas de la maison solaire de Ouargla. Il semble que l'absence d'une politique énergétique clairement définie aussi bien à la SONEGAS qu'au sein des autres organismes, ait constitué le frein majeur au démarrage de ce programme.

(1). Voir cahiers de la Recherche-"Spécial Energie Solaire" Dec.1978. et Juin 1979: "Un problème de chauffage solaire avec stockage d'énergie".

(2). SONEGAS - Echo° N°3. 1977.

La Recherche Développement au sein de cette société a été relancée avec la création récente de la Direction des Techniques Nouvelles (D.T.N) qui a entrepris des études sur les filières thermodynamique et photovoltaïque.

La SONELGAZ compte acquérir une centrale héliothermodynamique d'une puissance de 500 KWe à 1 MWe. Des contacts ont été noués avec un Ingénieur conseil suisse spécialisé.

La mesure du rayonnement solaire est indispensable pour optimiser le matériel utilisé. Les différents centres de recherches et les Universités ont entamé des travaux partiels dans ce domaine. Mais c'est à l'Office National de la Météorologie (ONM) que doit revenir l'établissement d'une carte du rayonnement solaire en Algérie. Actuellement l'ONM dispose de 7 centres de mesure ce qui est insuffisant pour une couverture qualitative et quantitative de l'Algérie. L'ONM a programmé de nouveaux centres ainsi qu'une amélioration de l'équipement des anciennes stations.

Les utilisateurs des services de l'ONM (SONATRACH, SONELGAZ...) estiment que ces prestations leur reviennent trop cher. L'ONM justifie ces coûts par l'importance de l'investissement (ballons, appareils de mesure etc)... qui est nécessaire pour ses relevées météorologiques

c) La coopération :

Des relations de type commercial sont entretenues entre les compagnies privées (SOFRETES, LEROY-SOMER, ARCO SOLAR) et les opérateurs nationaux intéressés par l'énergie solaire, EDF a assuré pour le compte de la SONELGAZ des stages ponctuels sur les techniques d'utilisation de l'énergie solaire.

A un niveau gouvernemental, la deuxième Commission Scientifique Mixte franco-algérienne réunie à Alger en Mars 1976 a arrêté le principe d'une coopération sur tous les aspects des énergies nouvelles.

Une structure administrative articulée sur la Délégation aux Energies Nouvelles (COMES depuis 1978) et l'ONRS devait être mise en place.

Les Sociétés Nationales, entreprises, et Groupements Professionnels qui participent à ce programme ont la charge de l'exécution de ces opérations dans le cadre d'accords et de contrats conclus entre les différents partenaires (1).

(1) Centre Culturel Français. bulletin signalétique. Energie Solaire n°18 Mai 1978.

Les principaux aspects de ce projet de recherche comprennent :

- L'évaluation du rayonnement : des équipements transportables conçus par le CEA (commissariat à l'Energie Atomique) pourront être mis en oeuvre sous la responsabilité de l'ONRS.

- La conversion thermique appliquée à l'habitat notamment la production d'eau chaude sanitaire, le chauffage des locaux, la climatisation, la distillation....

Des groupements d'études régionaux sont déjà intervenus sur des projets étudiés par la DNC et la SONEGAS.

- La conversion thermodynamique : une équipe mixte ONRS-CNRS a entamé des recherches sur la production de vapeur à partir de la concentration à haute température du rayonnement direct.

- La conversion directe : un programme de recherches sur la conception et l'utilisation de cellules photovoltaïques a été élaboré par le CSTN et des équipes d'universitaires français.

Au niveau de l'enseignement, des laboratoires doivent être équipés en Algérie.. Des Algériens pourront bénéficier d'une formation post-universitaire en France dans le domaine de l'énergie solaire.

Un protocole d'accord scientifique a été mis au point avec le Gouvernement Indien. L'expérience accumulée par ce pays dans la maîtrise des énergies nouvelles ainsi que l'appartenance commune des deux pays au mouvement des "non Alignés" peuvent favoriser un transfert technologique au profit de l'Algérie.

La Recherche en Algérie couvre un spectre assez large mais ne concerne encore qu'un nombre limité de chercheurs répartis entre plusieurs structures.

L'interpénétration entre les différentes structures, même relevant d'une même tutelle, reste extrêmement faibles. Une division du travail doit être organisée en rationalisant les recherches communes qui sont développées au sein de structures différentes.

C'est ainsi que la SONEGAS mène des études qui se recoupent avec celles de la station d'Energie Solaire pour la filière héliothermodynamique et du CSTN pour la filière photovoltaïque.

La Station d'Energie Solaire, l'Université d'Annaba, le CUREP, la SONEGAS et Réal-Sider sont concernés par la mise au point et la fabrication des capteurs - plans et des chauffe-eau solaires.

Le CRAU et l'Université d'Annaba ont élaboré, chacun à leur niveau, des projets de construction de villages solaires intégrés.

La coordination de toutes ces structures et l'élaboration d'un programme national de R et D pourraient être assurées par l'ONRS en liaison avec la sous-direction des énergies nouvelles.

C O N C L U S I O N

CONCLUSION

L'énergie solaire est entrée dans une phase où la Recherche Développement va rapidement se concrétiser par la mise au point d'applications industrielles.

L'intérêt que portent les firmes aux différentes filières de l'énergie solaire est très inégal.

Les petites et moyennes entreprises s'intéressent aux filières dont la technologie est relativement accessible comme la production d'eau chaude sanitaire ou le chauffage des locaux.

Les grandes firmes de l'énergie (EXXON, CFP...) de l'électronique (Philips, Général Electric, Texas Instruments...) de l'électromécanique (CGE, Westinghouse..) occupent les créneaux les plus capitalistiques à travers la production électrique. Dans ce domaine (filières thermodynamique et photovoltaïque) la concurrence limitée laisse déjà apparaître un marché de type oligopolistique.

La stratégie de pénétration des différents groupes de firmes est variable :

- Les grandes firmes de l'énergie ont pu accéder à la technologie par le rachat de petites firmes très spécialisées en électronique.

- Quant aux grandes firmes de l'électronique et de l'électromécanique leur accumulation technologique leur permet de passer sans difficulté à la production de cellules photovoltaïques.

Dans toutes les filières et plus particulièrement pour les moyens de production électrique, les firmes s'orientent vers la production et la circulation d'ensembles marchandises. Elles accroissent ainsi leur emprise sur l'ensemble du procès et restreignent par la même les possibilités pour les pays du Tiers-Monde de fabriquer une partie des biens d'équipements solaires.

La maturation de l'industrie solaire est accompagnée d'un processus de concentration du capital qui est soutenu par les pouvoirs publics qui consacrent un budget important à la R. et D., octroient les marchés accordent les subventions stimulent les exportations etc...

Les marchés des pays du Tiers Monde sont déjà considérées par les grandes firmes comme des débouchés potentiels. Les quelques pays du Tiers - Monde (Egypte, Niger, Mexique...) qui se sont lancés dans l'industrie solaire ont recours à un transfert technologique en provenance des pays industrialisés.

Cette tendance risque de s'accroître si aucune action n'est entreprise en vue de l'organisation d'une division internationale du travail au sein des pays du Tiers - Monde.

L'Inde qui possède une expérience dans les filières solaires les plus importantes est en mesure de procéder à un transfert technologique dans le cadre d'un programme cohérent doté de moyens financiers conséquents.

Une coopération sélective peut être établie avec des pays les plus avancés du COMECON tels l'URSS ou certains pays occidentaux comme l'Autriche qui se propose de fournir gratuitement la technologie d'une petite centrale solaire qu'elle a mise au point.

Il reste à définir et à analyser cet espace économique.

Dans ce contexte mondial la R. et D. en Algérie, malgré l'existence d'une infrastructure, est encore faible. Une coordination des différentes structures et une politique en faveur des sources alternatives sont nécessaires pour assurer un approvisionnement énergétique à long terme relativement indépendant.

- 123 -

ANNEXE :

MESURES INCITATIVES A L'UTILISATION DE L'ENERGIE SOLAIRE

EXEMPLE DU CANADA

Déduction d'impôt sur le revenu

Tout comme le crédit d'impôt, la déduction d'impôt sur le revenu ne prend effet qu'à la fin de l'année et a en plus comme désavantage de favoriser les gens ayant un revenu très élevé et par le fait même de défavoriser la classe moyenne de la population.

Prêts à taux réduits

Contrairement à une diminution d'impôt qui ne prend effet qu'à la fin de l'année, la réduction du taux d'intérêt s'applique au moment même de l'achat du système solaire et peut, par conséquent, avoir un effet d'entraînement plus grand.

Du fait que le gouvernement peut emprunter à des coûts moindres que les consommateurs ou les manufacturiers, le coût d'un tel programme peut être moindre que la valeur nette obtenue par les bénéficiaires. Le gouvernement pourrait garantir aux acheteurs éventuels l'obtention d'un prêt.

Révision des lois municipales

Les citoyens devraient pouvoir installer un système de chauffage solaire sur une structure existante avec un minimum de problèmes au niveau du permis de construction ou toutes autres autorisations. Le gouvernement provincial devrait inciter les municipalités à ne pas calculer, dans leurs évaluations foncières, le coût d'immobilisation du système solaire, et ainsi augmenter les taxes municipales et scolaires. Ces accords devraient précéder tout programme d'incitation à l'utilisation de l'énergie solaire.

MESURES INDIRECTES D'INCITATION

Achats par le gouvernement d'équipements solaires

Une telle option est une méthode efficace et à un coût relativement bas pour stimuler le marché en général et la production locale de tels équipements en particulier. L'efficacité de tels programmes peut être maximisée s'il y a :

- 1° Une connaissance des coûts effectifs de cette technologie. Ceci serait de nature à réduire les coûts de chauffage ou de climatisation.
- 2° Un vaste programme d'information susceptible de faire tous profiter de l'expérience acquise par le gouvernement.

Le principal inconvénient de cette mesure est qu'il crée un marché plus ou moins artificiel qui serait de nature à causer des problèmes aux manufacturiers si le gouvernement s'en retirait subitement.

Assurance gouvernementale

Dans le contexte actuel, c'est-à-dire avec le peu d'installations existantes, il apparaît difficile pour le consommateur de pouvoir assurer, au même titre qu'un système de chauffage conventionnel, son système de chauffage solaire. Dans une telle situation le gouvernement pourrait garantir, auprès des assureurs, les risques additionnels et cela jusqu'à ce qu'il y ait assez de cas pour pouvoir établir le niveau de risque occasionné par l'addition du capteur solaire.

Normalisation des produits

L'obligation pour les manufacturiers de se conformer à une norme de qualité minimale est indispensable au développement de l'industrie de l'équipement solaire. C'est un des seuls moyens à la disposition du gouvernement pour maintenir un certain niveau de fiabilité dans l'équipement vendu et de conserver la crédibilité auprès des entrepreneurs et des consommateurs de cette industrie naissante.

Zonage et droit au soleil

Il ressort que le gouvernement doit assurer aux acheteurs éventuels de système solaire le droit à la lumière directe du soleil qui représente 90% de l'énergie totale que peut recevoir un collecteur solaire. Ceci pourra se faire de différentes façons: soit en promulguant une loi donnant droit au citoyen à la lumière, soit en délimitant certaines régions particulièrement propices à l'utilisation d'une telle forme d'énergie.

Source : Energies et Ressources Québec 2ème trimestre 1979.

