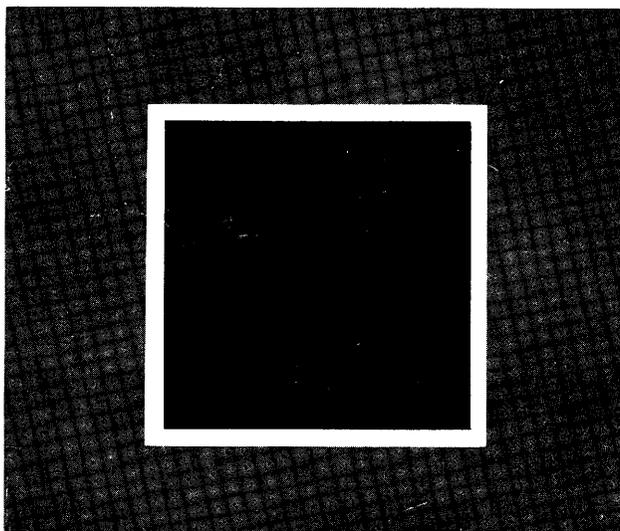


# Résultats du 1<sup>er</sup> programme énergétique de recherche et de développement de la Communauté européenne

J.T. Mc Mullan et A.S. Strub

*Editions du*

**MONITEUR**



Commission des Communautés européennes

# Résultats du 1<sup>er</sup> programme énergétique de recherche et de développement de la Communauté européenne

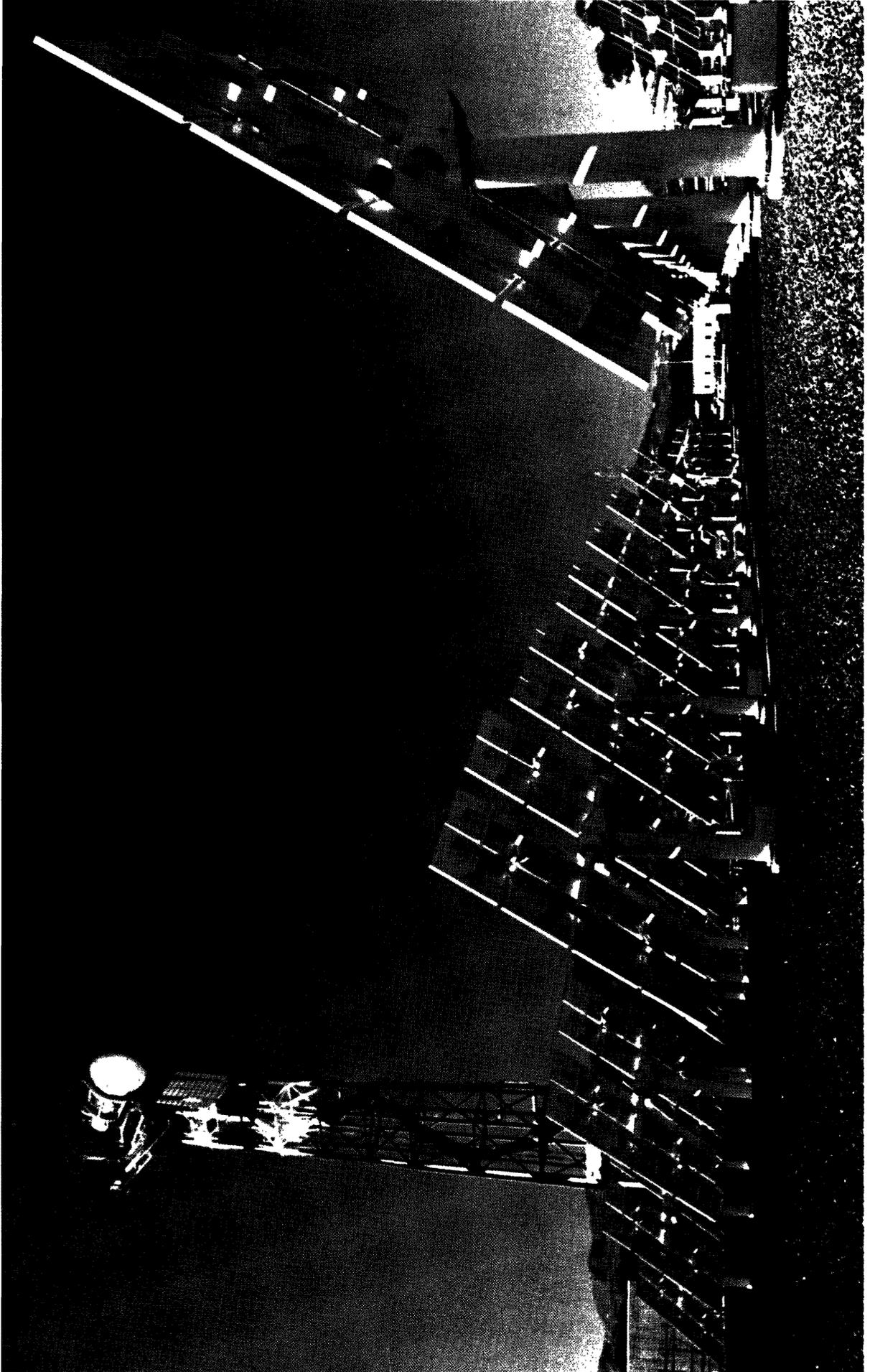
**J.T. Mc Mullan**  
*New University of Ulster*  
*Coleraine, Irlande du Nord*

**A.S. Strub**  
*Commission*  
*des Communautés européennes*

*Editions du*  
**MONITEUR**

17, rue d'Uzès 75002 Paris

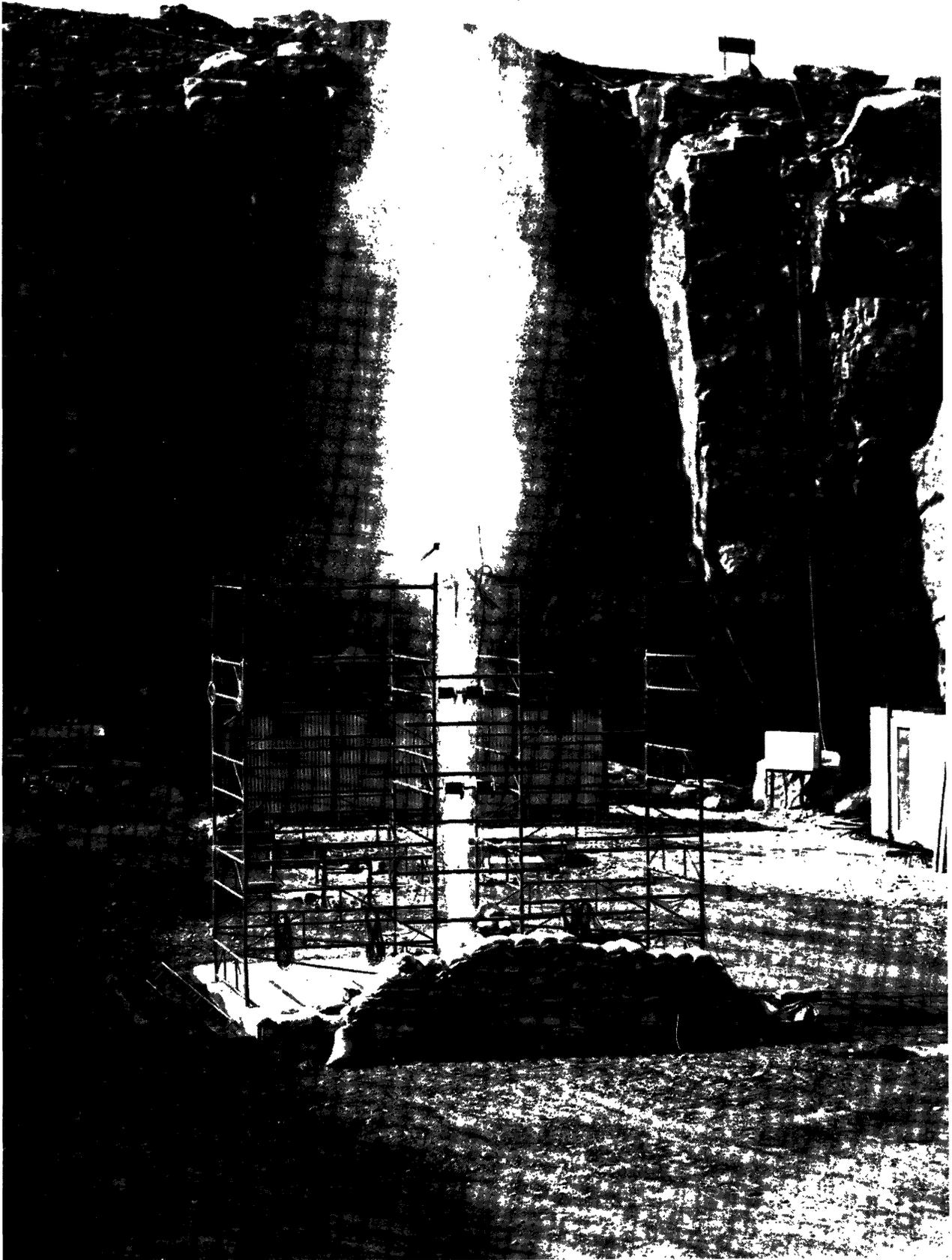
1982



Centrale solaire Eurelios en Sicile (consortium comprenant ENEL/ANSALDO, Italie, CETHEL, France et MBB, République fédérale d'Allemagne).

## SOMMAIRE

PROGRAMME DE R & D DANS LE DOMAINE DE L'ÉNERGIE DE LA COMMUNAUTÉ EUROPÉENNE	5
ÉCONOMIE DE L'ÉNERGIE	7
Economie de l'énergie dans les bâtiments	7
Utilisation des pompes à chaleur	8
Transports urbains	10
Récupération de la chaleur résiduelle	10
Recyclage des matériaux	12
Production d'énergie à partir des déchets	14
Procédés industriels	14
Mise au point de méthodes de stockage de l'énergie secondaire	15
<b>Deuxième programme</b>	15
PRODUCTION ET UTILISATION DE L'HYDROGÈNE	17
Production thermochimique de l'hydrogène	17
Production électrolytique de l'hydrogène	20
Utilisation, stockage et transport de l'hydrogène	20
<b>Deuxième programme</b>	22
ÉNERGIE SOLAIRE	23
Application de l'énergie solaire à l'habitat	24
Centrales électriques solaires thermomécaniques	25
Conversion photovoltaïque	25
Procédés photoélectrochimiques, photochimiques et photobiologiques	28
Energie tirée de la biomasse	29
Données relatives au rayonnement solaire	29
<b>Deuxième programme</b>	32
ÉNERGIE GÉOTHERMIQUE	33
Acquisition et collecte des données géothermiques existantes et nouvelles	33
Méthodes de prospection	34
Utilisation des sources d'eau chaude (basse enthalpie)	36
Utilisation des sources de vapeur (haute enthalpie)	37
Roches chaudes sèches	37
<b>Deuxième programme</b>	38
ANALYSE DE SYSTÈMES ET ÉTUDES DE STRATÉGIES DANS LE DOMAINE DE L'ÉNERGIE	39
<b>Premier programme</b>	41
<b>Deuxième programme</b>	44
CONCLUSIONS	45
ANNEXE I — Conférences et publications découlant du premier programme de R & D dans le domaine de l'énergie	47



Stimulation par explosion au site d'essai des roches chaudes sèches en Cornouailles (Camborne School of Mines, Royaume-Uni).

## LES PROGRAMMES DE R & D DANS LE DOMAINE DE L'ÉNERGIE DE LA COMMUNAUTÉ EUROPÉENNE

La Communauté européenne s'intéresse depuis très longtemps à certains domaines de la recherche énergétique. Des recherches dans le secteur du charbon sont effectuées depuis plus de 25 ans dans le cadre du traité instituant la Communauté européenne du charbon et de l'acier (1953). En ce qui concerne l'énergie nucléaire, la Communauté européenne de l'énergie atomique a été créée en 1958 et, depuis, des recherches sont menées dans de nombreux secteurs, liés à la fois à la fission nucléaire et à la fusion thermonucléaire. Depuis la crise du pétrole de 1973-74, ces activités de recherche sont intensifiées et complétées par des travaux dans d'autres domaines. L'impulsion donnée par la crise de 1973-74 et par les hausses de prix qui ont suivi a stimulé en particulier la prise de conscience de l'importance des sources d'énergie renouvelable et des économies d'énergie. L'une des réactions de la Communauté a été de lancer en 1975 ce que l'on a appelé le premier programme de R & D dans le domaine de l'énergie, d'une durée de quatre ans. Il a été suivi en 1979 par le deuxième programme. Ces deux programmes relèvent de l'action indirecte et visent à encourager les recherches contractuelles dans les domaines des énergies renouvelables et des économies d'énergie, la Commission finançant jusqu'à 50 % du coût total des recherches. La Communauté a également réagi dans le cadre du programme du Centre commun de recherche ainsi qu'en aidant financièrement des projets de démonstration à grande échelle et en étendant le programme relatif à la fusion thermonucléaire dans le projet JET financé séparément.

Pour mesurer la contribution de la C.E.E. à la R & D dans le domaine de l'énergie, il faut noter que, sur des dépenses européennes totales supérieures à 2,5 MioECU par an\*, la part de la Commission est d'environ 10 % (par rapport à 2 % pour la R & D en général). Ainsi, elle représente l'une des forces motrices essentielles des activités européennes de recherche dans le domaine de l'énergie. En fait, dans certains secteurs, la contribution de la Commission est plus importante : 30 % pour la recherche sur la fusion et 40 % pour la production et l'utilisation de l'hydrogène. De même, 70 % du budget total de la recherche communautaire sont consacrés aux questions de l'énergie.

Le premier programme de R & D dans le domaine de l'énergie est à présent achevé et s'est révélé très fructueux. Du fait du stimulus initial apporté par le CREST (« Comité de la recherche scientifique et technique ») et son sous-comité chargé de l'énergie, et grâce à ses travaux et à ceux des Comités consultatifs en matière de gestion de programme (CCMGP), un nombre considérable de contractants indépendants, mais coopératifs, et de projets ont été aidés ; les résultats obtenus doivent profiter à la Communauté européenne dans son ensemble. L'objet du présent document est de donner une image d'ensemble des objectifs et des résultats du programme. Les objectifs du deuxième programme seront également présentés puisqu'ils ont été définis à la lumière de l'expérience acquise lors du premier.

Le premier programme de R & D dans le domaine de l'énergie est divisé en cinq sous-programmes portant sur les économies d'énergie, la production et l'utilisation de l'hydrogène, l'énergie solaire, l'énergie géothermique et l'analyse de systèmes et études de stratégies dans le domaine de l'énergie. Chacun de ces sous-programmes sera traité séparément, mais ils ont tous certaines caractéristiques communes, notamment le système de gestion et de contrôle des programmes ainsi que les mesures prises pour garantir que — dans la plus grande mesure possible, compte tenu de la nécessité de protéger les intérêts de la propriété — les informations relatives aux réalisations accomplies dans le cadre du programme soient diffusées largement dans toute la Communauté. Ainsi, tous les projets doivent prévoir des comptes rendus réguliers sur l'avancement des travaux et un rapport final destiné à la publication. L'état d'avancement est contrôlé par un expert du domaine particulier, qui est responsable devant la Commission. Des réunions des contractants se tiennent régulièrement pour garantir une interaction appropriée des chefs de projets dans des domaines connexes et les projets faisant appel à une collaboration sont activement encouragés. De plus, des conférences internationales doivent être tenues pour favoriser la diffusion des informations dans un public plus large et amener une collaboration ou une interaction entre des groupes de chercheurs plus étendus. La liste complète des conférences organisées dans le cadre du programme de R & D dans le domaine de l'énergie figure à l'annexe I.

Il faut noter que le système de soutien de la R & D par passation de contrats de recherche sur appel de propositions public, utilisé pour le programme, qui est la méthode la plus largement employée par la Commission pour le soutien de la R & D dans le domaine de l'énergie, présente beaucoup d'attraits et d'avantages. Par exemple, il rend accessibles toutes les compétences et connaissances techniques disponibles dans tous les États membres, alors que d'autres méthodes de tutelle plus directe pourraient bien laisser de côté une grande partie de celles-ci. Un autre élément important est la façon dont les travaux

\* MioECU = million d'unités de compte européennes.

Le 28 février 1981, 1 ECU = 41,67 FB = 7,99 DKR = 60,93 DRA = 5,99 FF = 0,70 IRL = 1231 LIT = 2,81 HFL = 0,52 KE = 1,23 US\$.

peuvent être coordonnés et dont une collaboration peut être établie entre des laboratoires ayant des intérêts connexes. Il est fréquent que des propositions similaires émanent d'une ou plusieurs institutions qui ont 50 % de chances de se trouver dans différents Etats membres. Dans ce cas, la collaboration entre les groupes peut être activement encouragée par la Commission. En fait, les travaux sont aidés une fois au lieu de deux, mais les deux centres y participent et les installations sont comprises dans le contrat final afin de garantir une collaboration efficace. Les avantages de cette collaboration sont nettement apparus tout au long du programme.

Les décisions du Conseil approuvant les deux programmes quadriennaux de R & D dans le domaine de l'énergie ont été prises le 22 août 1975 pour le premier programme et le 11 septembre 1979 pour le deuxième. Les programmes avaient auparavant été approuvés par le Parlement européen. Le budget total du premier programme s'est élevé à 59 MioECU et celui du deuxième programme à 105 MioECU. La répartition des crédits entre les 5 sous-programmes est donnée aux tableaux 1 et 2 et l'on peut voir qu'à l'exception de la production et de l'utilisation de l'hydrogène, les crédits affectés au deuxième programme ont été augmentés dans tous les domaines. En ce qui concerne le sous-programme « hydrogène », la diminution du financement vient du fait que l'on a reconnu que l'hydrogène représentera essentiellement une contribution à long terme ; en conséquence, l'accent a plutôt été mis sur l'amélioration des méthodes de production électrolytique et la réalisation d'études sur les applications.

Pour un certain nombre de raisons, l'intensification générale des activités ne se traduit pas toujours par une augmentation du nombre de projets soutenus. Parmi ces raisons, on peut citer l'introduction de projets pilotes, le fait qu'un certain nombre des autres projets sont réalisés à plus grande échelle et que, par conséquent, leur coût augmente et aussi le fait que le processus de sélection n'est pas achevé au moment de la rédaction. Ceci signifie que la deuxième colonne du tableau 2 doit être considérée avec précaution et ne pas être interprétée comme une représentation de la totalité du deuxième programme.

La suite du présent document est consacrée à une discussion des différents sous-programmes. La même présentation sera utilisée pour chacun d'entre eux : une brève introduction, une définition des objectifs du sous-programme et des domaines d'étude ou projets qui le composent, et ensuite une définition des objectifs et des résultats de chacun des projets. Enfin, on trouvera un bref résumé des objectifs de la partie correspondante du deuxième programme. On espère que de cette façon une vue d'ensemble des succès — et des échecs — du premier programme pourra être appréciée.

	Budget (en MioECU)	Nombre de projets
Economie de l'énergie	11,38	117
Production et utilisation de l'hydrogène	13,24	83
Energie solaire	17,50	289
Energie géothermique	13,00	140
Analyse de systèmes/études de stratégies	3,88	54
<b>TOTAUX</b>	<b>59,00</b>	<b>683</b>

**Tableau 1** Dépenses et nombre de projets soutenus dans le cadre du premier programme de R & D dans le domaine de l'énergie.

	Budget (en MioECU)	Nombre de projets (provisoire)
Economie de l'énergie	27	160
Production et utilisation de l'hydrogène	8	35
Energie solaire	46	186
Energie géothermique	18	63
Analyse de systèmes/études de stratégies	6	32
<b>TOTAUX</b>	<b>105</b>	<b>476*</b>

\* Total provisoire, sous réserve d'une modification selon l'évolution de la procédure de sélection.

**Tableau 2.** Dépenses approuvées et nombre de contrats soutenus dans le cadre du deuxième programme de R & D dans le domaine de l'énergie.

## ÉCONOMIES D'ÉNERGIE

Le premier point de la politique communautaire en matière d'énergie est de réduire la consommation spécifique d'énergie, c'est-à-dire d'en diminuer l'utilisation par unité de production ou par habitant, ou par rapport à toute autre base donnée. Il n'existe qu'un moyen de réaliser cet objectif, à savoir les **économies d'énergie**. Tous les autres éléments du programme de R & D dans le domaine de l'énergie visent à trouver les moyens de répondre à la demande ; seul celui-ci vise à la réduire effectivement.

Du point de vue de la R & D, l'**économie d'énergie** est un domaine très difficile. D'une part, la diversité des activités que l'on peut y inclure en fait un domaine extrêmement étendu et, d'autre part, il est fréquent qu'il ne comprenne pas de R & D, à proprement parler, mais plutôt la coordination et l'application de techniques déjà connues. Le succès des économies d'énergie dépend finalement des efforts combinés d'un grand nombre de particuliers libres de choisir et de collaborer ou non à une action d'économie d'énergie.

En ce qui concerne la Communauté européenne dans son ensemble, la consommation d'énergie dans les secteurs domestique, industriel et des transports en 1978 s'est élevée respectivement à environ 40 %, 40 % et 20 % de la consommation finale totale et pour ce qui est du pétrole, les chiffres correspondants ont été respectivement 40 %, 24 % et 36 %. Il est clair, par conséquent, qu'il n'y a pas un secteur unique qui puisse être choisi comme celui sur lequel concentrer les efforts ; les économies d'énergie doivent être réalisées dans tous les domaines. Malheureusement, le prix avantageux du pétrole au cours des années 60 a eu pour conséquence de nombreuses pratiques industrielles et domestiques rendant à présent une réadaptation difficile.

### Résumé et résultats du premier programme (11,38 MioECU)

Huit domaines d'étude (projets) ont été identifiés dans le premier programme :

1. Les économies d'énergie dans les bâtiments
2. L'utilisation des pompes à chaleur
3. Les transports urbains
4. La récupération de la chaleur résiduelle
5. Le recyclage des matériaux
6. La production d'énergie à partir des déchets
7. Les procédés industriels
8. La mise au point de méthodes de stockage de l'énergie secondaire.

### Projet I : les économies d'énergie dans les bâtiments

- Objectifs :**
- (1) Etudier de nouveaux procédés de fabrication de matières transparentes ayant une faible conductibilité thermique ou opaques aux infra-rouges.
  - (b) Etudier de nouveaux matériaux d'isolation et procédés de fabrication.
  - (c) Entreprendre des études d'optimisation pour examiner les problèmes combinés de l'énergie solaire, de l'infiltration de l'air et des systèmes de chauffage.

- Résultats :**
1. Des travaux ont été effectués dans le domaine du revêtement sélectif du verre à l'oxyde d'étain, à l'oxyde d'indium, à l'or ou à l'argent avec des résultats encourageants, bien qu'il se soit avéré que l'argent s'oxyde rapidement. En particulier, le travail de R & D a démontré la faisabilité d'un revêtement de plastique adaptable à des fenêtres existantes à un coût avantageux (1,5 ECU/m<sup>2</sup>). Ce revêtement permettrait à une fenêtre à vitrage simple de se comporter comme une fenêtre à vitrage double.
  2. Un matériau d'isolation léger, auto-extincteur d'un coût de 40 ECU/m<sup>3</sup>, ainsi qu'un béton léger ayant de bonnes propriétés d'isolation ont été mis au point.
  3. Un catalogue répertoriant les défauts d'isolation types des structures de construction a été dressé par thermographie.

4. Les résultats des études d'optimisation effectuées à ce jour sont marginaux. Ils ont montré que les possibilités d'économiser l'énergie à partir des eaux usées, de l'air extrait et des gaz de fumée sont faibles et ne représentent que 2 % de la consommation totale d'énergie dans les bâtiments existants et 4 % dans les bâtiments nouveaux. Le comportement des bâtiments destinés aux logements sociaux a mieux été quantifié qu'auparavant. Les travaux effectués dans cette branche seront présentés dans un guide destiné aux architectes. Celui-ci leur permettra d'inclure un élément de planification et d'évaluation des conséquences énergétiques des décisions prises à la conception du bâtiment.

## **Projet 2 : utilisation des pompes à chaleur**

### **Objectifs :**

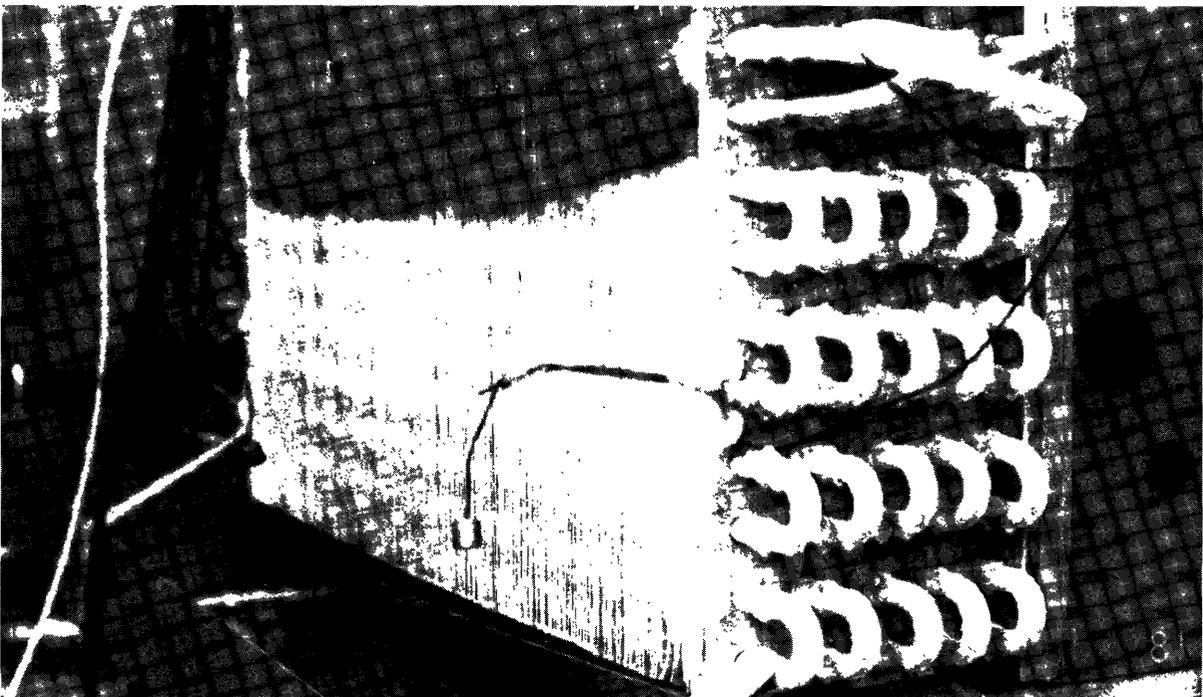
Apparemment, la technologie des pompes à chaleur existe déjà grâce aux travaux des industries de la réfrigération et de la climatisation, mais malheureusement l'éventail des conditions de service auxquelles une pompe à chaleur peut être soumise ainsi que les conditions sans cesse changeantes auxquelles elle doit répondre en font un dispositif relativement difficile à comprendre en détail et rendent également le problème de sa commande très ardu. De plus, l'investissement est encore actuellement relativement élevé par rapport à celui des autres systèmes de chauffage, ce qui fait qu'à moins qu'il puisse être prouvé que cet appareil est vraiment rentable, les consommateurs résistent à l'extension de son utilisation. Pour aborder ces problèmes, le projet de la CE s'est vu attribuer cinq objectifs :

- (a) Etablissement des faits et essais précommerciaux de prototypes.
- (b) Mise au point de pompes à chaleur perfectionnées et avancées, destinées uniquement au chauffage (pas à la climatisation).
- (c) Mise au point de pompes à chaleur industrielles.
- (d) Etude des sources de chaleur.
- (e) Commande des pompes à chaleur.

### **Résultats :**

1. Une étude de conception a montré le degré d'attention qui devrait être apporté à la conception, à l'exécution et au contrôle de qualité pour que les pompes à chaleur atteignent le degré de fiabilité et de performance élevé nécessaire pour assurer une pénétration efficace du marché dans les secteurs domestique et commercial. On estime toutefois que la performance élevée et le faible coût exigés sont réalisables.
2. Une pompe à chaleur mue électriquement et une pompe à chaleur mue par un moteur à gaz ont été installées dans deux immeubles différents à appartements multiples et leur performance a été évaluée. Les deux appareils utilisaient l'air extérieur comme source de chaleur et dans les deux cas la performance a été acceptable. L'unité mue électriquement était tout à fait fiable, mais a montré qu'il faut optimiser le système si l'on veut parvenir au degré de performance requis. La pompe à chaleur entraînée par un moteur à gaz a eu des résultats conformes aux prévisions, mais les essais ont montré que la fiabilité de certains composants devrait être améliorée.
3. Un certain nombre de pompes de chaleur prototypes à cycle à absorption, directement alimentées au gaz ou au fuel oil, ont été construites et essayées. Les problèmes de conception ont été identifiés et résolus, et certains composants — en particulier la pompe de circulation — font l'objet d'études complémentaires.
4. Un certain nombre de pompes à chaleur très avancées ont été réalisées et essayées. L'une d'elles utilise un ensemble turbine-compresseur de petite taille monté sur un même axe et fonctionnant d'après un cycle de Rankine-Rankine. Ce projet s'est révélé prometteur, et a mis en évidence les problèmes que posent des pompes à chaleur de ce type.

5. Une pompe à chaleur industrielle à compression mécanique et à haute température, produisant de la vapeur à 120 °C, a été mise au point. On a constaté qu'avec des compresseurs à pistons, 120 °C paraît être la limite de fonctionnement la plus élevée en raison des problèmes de stabilité de l'huile de lubrification et du fluide de fonctionnement. C'est là un domaine qui exige un travail de mise au point supplémentaire.
6. Une unité fondée sur un mélange de réfrigérants a été construite et essayée, et a révélé que la gamme des températures de condensation et d'évaporation qui en résulte peut apporter des avantages considérables dans certaines conditions industrielles.
7. Des études ont été réalisées sur l'utilisation du sol comme source de chaleur et les modèles mis au point ont permis de faire concorder de façon satisfaisante les valeurs théoriques et expérimentales.
8. Lors d'une étude d'application, il s'est avéré que les eaux d'égout peuvent fournir une source de chaleur valable pour les pompes à chaleur destinées au chauffage urbain ; ce système répond bien aux exigences des moyennes et grandes villes.
9. Dans un certain nombre de contrats, les problèmes du givrage et du dégivrage de l'évaporateur ont été étudiés ; les solutions et résultats obtenus sont intéressants.
10. Des progrès importants ont été accomplis dans le domaine de la commande des pompes à chaleur, et notamment de la séquence marche-arrêt de la pompe, de la mise en service des mécanismes de dégivrage, de parer à des conditions de service extrêmes, d'adapter la capacité de l'unité à la charge, etc. Ces études ont été utiles et ont apporté une contribution essentielle au perfectionnement de la commande des pompes à chaleur domestiques.



Formation de givre sur les serpentins des pompes à chaleur (TNO, Pays-Bas).

### **Projet 3 : transports urbains**

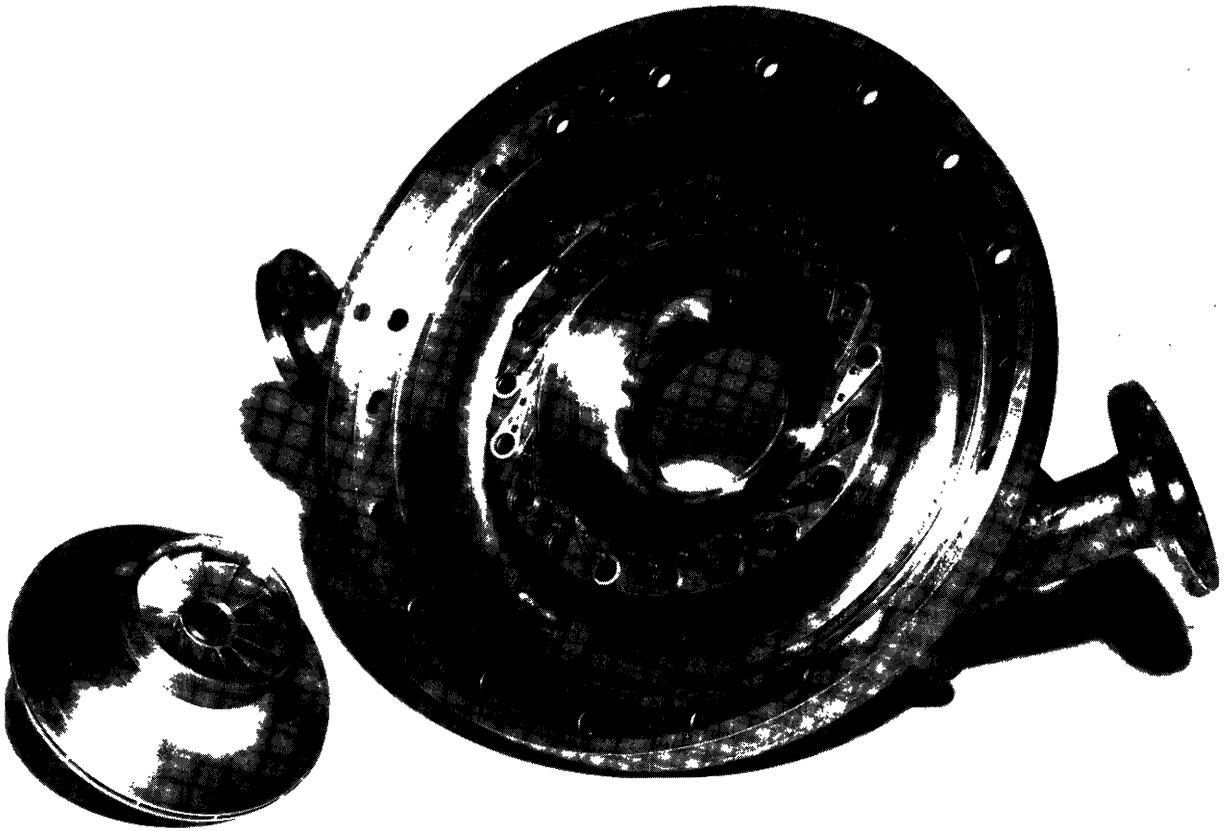
- Objectifs :**
- (a) Amélioration du rendement des moteurs des véhicules automobiles.
  - (b) Mise au point des voitures électriques et à système d'alimentation mixte.

- Résultats :**
1. Des recherches sur l'influence du taux air-carburant, du taux de compression et de lubrifiants améliorés ont révélé que des économies de carburant allant jusqu'à 20 % peuvent être réalisées pour des moteurs à essence dans les conditions de charge partielle rencontrées dans la circulation urbaine.
  2. La performance d'un moteur à essence existant a été améliorée par l'augmentation du taux de compression, l'utilisation de mélanges pauvres air-carburant, le contrôle du réglage de l'allumage et la modification de la géométrie de la chambre de combustion, à tel point que sa consommation de carburant est devenue du même ordre que celle d'un moteur diesel de cylindrée comparable, mais avec une puissance utile deux fois plus élevée.
  3. Des tentatives visant à accroître le rendement des moteurs diesel par l'emploi d'une chambre de combustion spéciale et par l'utilisation de pistons et d'un chemisage céramiques n'ont pas eu les résultats escomptés.
  4. Un certain nombre d'études de scénario tenant compte des contraintes environnementales ont montré que l'on peut réaliser des économies de carburant de presque 20 % en remplaçant les moteurs diesel et à essence actuels par des moteurs à charge stratifiée consommant des mélanges pauvres. Ces moteurs peuvent également utiliser les carburants qui remplaceront probablement l'essence, à savoir l'essence à base de méthanol et l'essence synthétique. Le modèle utilisé ici pourrait aider les autorités qui tentent d'élaborer une politique dans ce domaine.

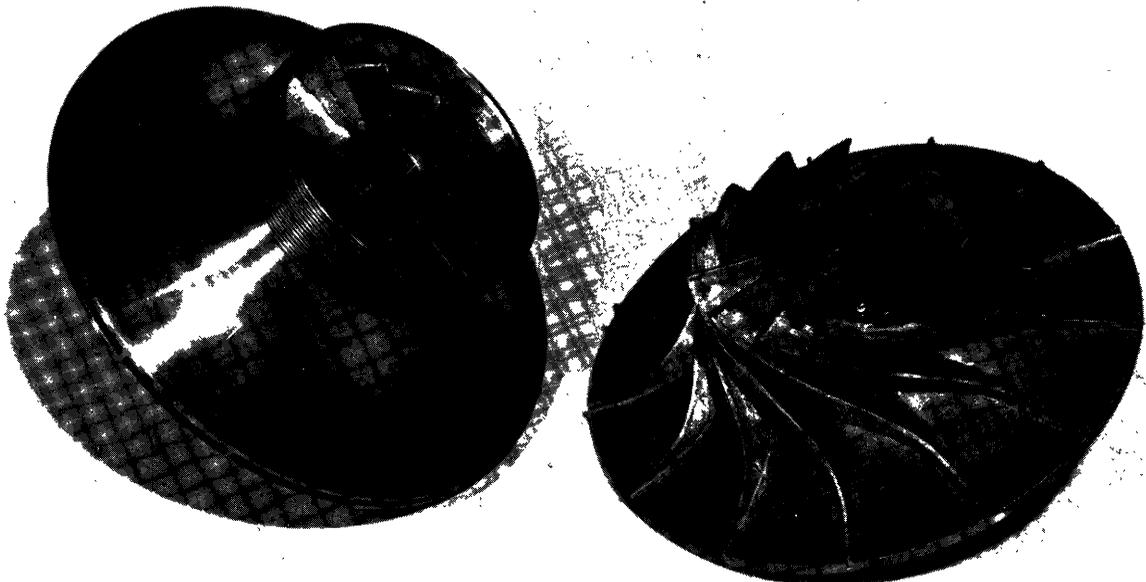
### **Projet 4 : récupération de la chaleur résiduelle**

- Objectifs :**
- (a) La mise au point d'équipements permettant la récupération de la chaleur normalement perdue (eau chaude, gaz de fumée, etc.).
  - (b) La mise au point de méthodes de transport de la chaleur récupérée.
  - (c) La mise au point de systèmes combinés récupération/utilisation.
  - (d) La mise au point de filtres pour les gaz à haute température.

- Résultats :**
1. Des économies d'énergie considérables ont été réalisées dans différents procédés industriels grâce à une nouvelle conception permettant de récupérer et de réutiliser la chaleur perdue. Par exemple, il a été montré que la récupération de 60 % de chaleur utilisable des gaz de fumée d'une fonderie de ferraille pouvait amortir les investissements nécessaires dans un délai d'un an ; qu'une économie d'énergie de 25 % et une augmentation de la productivité de 40 % pourraient être réalisées dans une verrerie grâce à la récupération de la chaleur à partir des gaz de fumée pour le préchauffage de composition verrière sous forme de granulés. D'autres exemples ont été constatés dans les industries alimentaires et les cokeries, mais il a été établi que l'industrie de l'aluminium n'offre que des possibilités limitées.
  2. D'importantes études ont été réalisées sur des caloducs assistés par gravité et des thermosiphons à double phase, pour lesquels on a constaté d'excellentes propriétés de transfert de chaleur et une bonne compatibilité à long terme des différentes options structurelles. Toutefois, la concordance entre les mesures pratiques du transfert de chaleur et les calculs théoriques n'a pas été satisfaisante et nécessite des améliorations.



Moteur à cycle de Rankine : système d'expansion (à gauche : roue de turbine, à droite : volute d'alimentation et tuyère)  
(Fiat, Italie).



Moteur à cycle de Rankine : roue de turbine (à droite : exemple dans lequel le bandage des aubes a été enlevé).

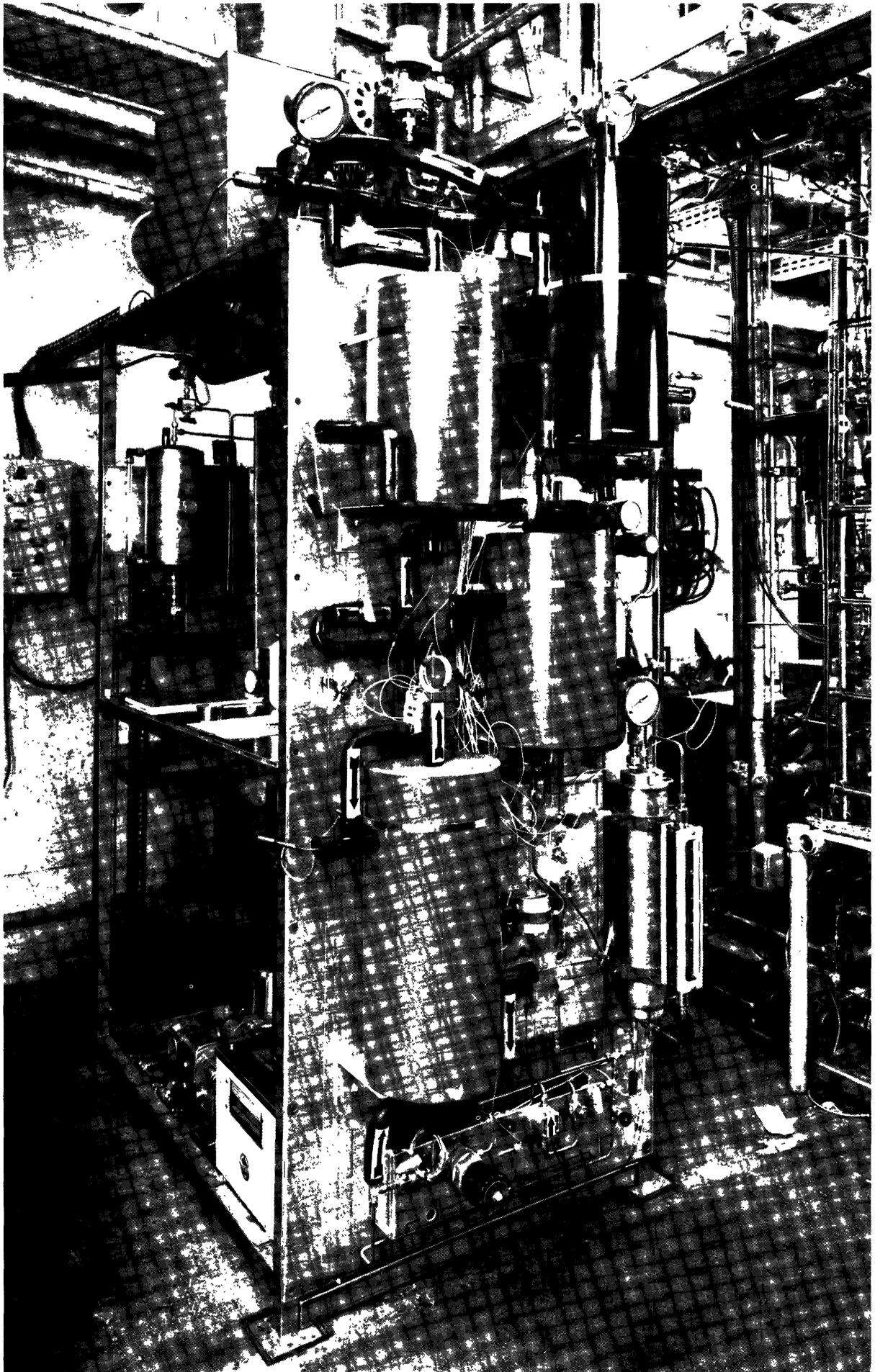
3. Une étude importante sur l'utilisation d'une roue thermique (régénérateur rotatif) dans un séchoir à fibres synthétiques a mis en évidence les difficultés qui surgissent lorsqu'on essaye d'intégrer a posteriori un équipement de ce genre dans des installations existantes. Par exemple, en raison de la configuration ouverte du séchoir existant, il était difficile d'empêcher des fuites incontrôlées excessives et de diriger la vapeur chaude vers les dispositifs de récupération de la chaleur. Il s'est révélé que les travaux de tuyauterie nécessaires à ces applications étaient trop onéreux pour que l'intégration soit rentable.
4. Lorsque la chaleur perdue est rejetée à une température de 250 °C ou plus, il est tentant d'envisager de l'utiliser pour produire de l'électricité directement au moyen d'une turbine à cycle de Rankine. Deux études ont été effectuées sur cette question. Dans la première d'entre elles, du réfrigérant R 11 a servi de fluide de fonctionnement dans une turbine utilisant une chaleur perdue de 250 ° à l'admission. Des rendements de 15 % ont été obtenus, mais de sérieux problèmes de corrosion se sont posés, le fréon R 11 se décomposant à des températures supérieures à 150 °C. L'emploi du perfluorohexane plus stable a éliminé le problème de corrosion et la turbine a bien fonctionné jusqu'à 250 °C ; toutefois la turbine n'ayant pas été conçue pour ce fluide, la puissance utile a été réduite de 95 à 37 kW et le rendement est tombé à 7 %. L'utilisation de perfluorohexane exigerait une turbine beaucoup plus onéreuse et ce fluide est lui-même d'un coût très élevé.

Pour la deuxième étude, on a utilisé les gaz de rejet à 250 °C de fours-tunnels céramiques. Ceci peut constituer une source d'énergie importante, à condition de trouver les utilisations appropriées. Le générateur à cycle de Rankine utilisait du tétrachloroéthylène comme fluide de travail et a bien fonctionné ; toutefois, la puissance (40 kW) et le rendement (11 %) calculés n'ont pas été obtenus, la température des gaz de rejet n'atteignant que 175 °C. On est actuellement en train de remédier à ce défaut. Le temps de remboursement énergétique est estimé à trois ans.

## Projet 5 : recyclage des matériaux

- Objectifs :**
- (a) Procéder à une étude détaillée en vue de déterminer l'utilité des différentes possibilités de recyclage, leur rentabilité sur le plan économique et les possibilités d'utilisation des produits recyclés.
  - (b) Mettre au point des procédés de recyclage appropriés.

- Résultats :**
1. Une installation industrielle d'une capacité de 2 400 tonnes par an a été conçue pour le recyclage de déchets de matières plastiques extraits des ordures urbaines et sa construction doit avoir lieu sous le parrainage de la C.E.E. (projet de démonstration). Il s'agit d'une technique nouvelle selon laquelle les déchets de plastiques non triés sont broyés, lavés et séchés, et transformés ensuite en une matière plastique homogène nouvelle, présentée sous forme de granulés. Ceux-ci sont utilisés comme matière première pour la fabrication d'objets divers par moulage, par injection, extrusion ou soufflage.
  2. On a mis au point une méthode de récupération des fibres de verre à partir des résines durcissables renforcées. Le polymère après broyage est dégradé par voie thermique, les fibres restantes pouvant alors être utilisées par exemple pour renforcer des thermoplastiques recyclées en vue d'améliorer leurs propriétés mécaniques. Il paraît probable que dans une installation d'une capacité de 250 tonnes par an, ayant une production de verre de 100 tonnes par an, le temps de remboursement énergétique serait d'environ 3 ans.



Pompe à chaleur expérimentale fonctionnant avec un mélange de réfrigérants (IFP, France).

## Projet 6 : production d'énergie à partir des déchets

- Objectifs :**
- (a) Etudier des méthodes visant à la combustion de combustibles à faible pouvoir calorifique.
  - (b) Examiner d'autres utilisations des déchets.
- Résultats :**
- 1. L'un des projets visait à l'utilisation de schistes houillers de qualité inférieure à teneur en cendres élevées dans des fours à lit fluidisé. Le procédé apparaît rentable, bien que les investissements soient très importants.
  - 2. La combustion en lit fluidisé de déchets a également été étudiée et jugée attractive. Une étude des déchets pouvant être utilisés comme matières premières a été réalisée. Il est clairement apparu que des températures de combustion plus élevées que celles habituellement enregistrées dans les fours à lit fluidisé pourraient être nécessaires pour améliorer l'utilisation du carbone contenu dans les déchets.
  - 3. Un granulats de très bonne qualité convenant aux matériaux de construction a été mis au point. Il est produit à partir de résidus urbains ou industriels normalement indésirables que l'on élimine actuellement à grands frais. Un avantage essentiel réside dans le fait que ce matériau de construction est produit au moyen de l'énergie résiduelle provenant des déchets eux-mêmes.

## Projet 7 : procédés industriels

- Objectifs :**
- Ce projet ne porte pas sur les économies d'énergie réalisées grâce à la récupération de la chaleur, mais sur celles réalisées grâce à l'amélioration des procédés industriels eux-mêmes, et ses principaux objectifs sont :
- (a) Des analyses énergétiques des procédés industriels en vue de l'amélioration de leur rendement énergétique.
  - (b) L'optimisation des procédés sélectionnés.
- Résultats :**
- 1. Un certain nombre d'analyses énergétiques détaillées, effectuées dans les industries alimentaires, du textile et du papier, ont permis d'identifier des domaines d'amélioration possibles. Par exemple, l'une des études a révélé que lors du raffinage de la pâte à papier, on pouvait économiser des quantités importantes d'électricité (10 %) en modifiant le débit de la pâte et l'alimentation en électricité du raffineur en fonction des conditions d'exploitation du moment et des types de papier en cours de production. Pour une fabrique de papier fin produisant 10 000 tonnes par an, on estime que le temps de remboursement énergétique est compris entre deux et quatre ans.
  - 2. Un programme informatique a été mis au point pour permettre aux sociétés de sélectionner les composants d'un procédé industriel et d'en déterminer l'agencement optimal en vue d'économiser l'énergie. Il est applicable à divers systèmes de fabrication.
  - 3. Plusieurs études sur la combustion et les performances des chaudières ont permis de découvrir des moyens d'améliorer la performance des chaudières, mais ont également mis nettement en évidence les problèmes que posent le contrôle de la combustion.

## Projet 8 : mise au point de méthodes de stockage de l'énergie secondaire

- Objectifs :**
- (a) Etude des méthodes de stockage de la chaleur disponible à basse température.
  - (b) Etude de batteries secondaires avancées pour le stockage de l'électricité.
  - (c) Etude du stockage de l'énergie au moyen d'un volant d'inertie.

- Résultats :**
1. On a dressé un inventaire des matériaux dont le point de fusion se situe entre  $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$  et  $+130\text{ }^{\circ}\text{C}$  et qui se prêtait au stockage de la chaleur disponible à basse température sous forme de chaleur latente. Des recherches expérimentales approfondies ont permis d'identifier une trentaine de matériaux qui répondent aux exigences de qualité nécessaires à des applications pratiques dans des unités de stockage. Les problèmes de cristallisation et de corrosion propres à chacun ont également été étudiés.
  2. Une trentaine de systèmes chimiques de stockage de la chaleur ont été étudiés et il s'est avéré que, pour le stockage d'une énergie de 1 MWh, un volume de  $2\text{ m}^3$  est nécessaire dans le système gaz/solide  $\text{H}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{S}$  alors que  $4,5\text{ m}^3$  sont requis dans le système gaz/liquide  $\text{H}_2\text{O}/\text{H}_2\text{SO}_4$ .
  3. L'étude du stockage au moyen d'un volant d'inertie n'a pas donné de résultats encourageants ; les systèmes utilisant l'énergie éolienne paraissent être l'un des rares domaines d'application prometteurs.
  4. Une technique de production d'électrolytes céramique ( $\beta$ -alumine) en forme de tubes a été mise au point pour les batteries sodium-soufre. Ces tubes se sont bien comportés lors des essais pratiques.
  5. Des accumulateurs lithium-soufre d'une capacité de 100 ampères/heure, utilisant des sels fondus comme électrolytes et ayant des densités d'énergie de 80 Wh/kg et une durée de vie de 400 cycles, ont été mis au point.
  6. On a effectué une évaluation détaillée de l'utilisation éventuelle de batteries pour le stockage d'électricité dans un certain nombre de domaines d'application et on en a conclu que les véhicules électriques représenteront le marché le plus important au cours de ce siècle.
  7. Des recherches préliminaires encourageantes ont été réalisées sur des batteries à composants solides avec électrodes de  $\text{LiAl}$  et  $\text{TiS}_2$  et à électrolytes à polymère solide ou à  $\text{LiAl}_2\text{O}_3$ , ainsi que sur les électrolytes et des électrodes vitreux. Les résultats laissent à penser que des travaux de recherche supplémentaires dans ce domaine seraient bénéfiques.

## Deuxième programme (27 MioECU)

Il est tenu compte dans le deuxième programme de certaines des difficultés de définition rencontrées dans le premier programme, ce qui fait que les domaines d'action du point de vue des utilisateurs finals sont redéfinis comme suit :

- applications domestiques et commerciales
- industrie
- transports,

tandis que deux autres domaines se chevauchant sont définis séparément en raison de leur importance :

- transformation et transport de l'énergie
- stockage de l'énergie secondaire.

De l'avis général, l'allocation des fonds doit être liée d'une certaine manière aux possibilités d'économie d'énergie. Celles-ci dépendent du niveau de la consommation d'énergie, des déperditions d'énergie et du taux de croissance de la consommation. Elles dépendent également, en partie, de la disponibilité des combustibles. Dans le second programme, l'accent a été mis sur d'autres facteurs, tels que l'importance du marché et le temps de remboursement énergétique, et les possibilités d'application et de démonstration ont été prises en compte.

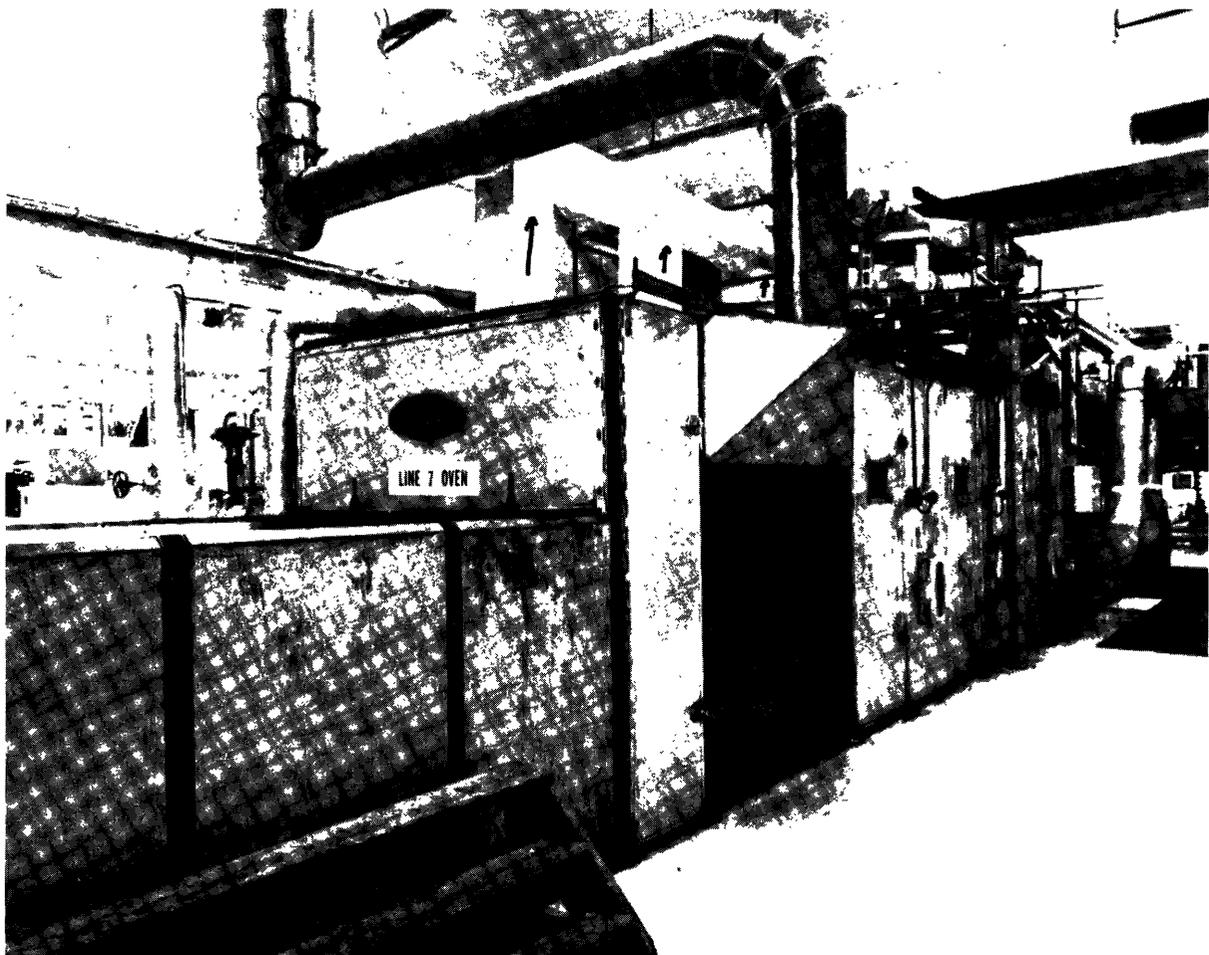
Dans les secteurs domestique et commercial, l'effort de R & D porte, par exemple, sur les systèmes de chauffage et de climatisation, y compris les pompes à chaleur, la mise au point de matériaux d'isolation améliorés et de procédés d'isolation des bâtiments, l'étude du bâtiment en tant que système intégré incluant les facteurs d'occupation afin de mieux en appréhender la performance, le rendement et l'efficacité de matériel consommateur d'énergie, tels que les appareils électriques et le matériel d'éclairage.

Dans le secteur industriel, l'accent est mis sur une diminution des besoins spécifiques des industries grandes consommatrices d'énergie, sur l'utilisation de la chaleur résiduelle comme combustible de substitution et sur la mise au point de techniques de gestion de l'énergie.

Dans le secteur des transports, il est tenu compte de l'amélioration des systèmes de circulation ainsi que de l'amélioration du rendement des moteurs.

Dans le secteur de la transformation et du transport de l'énergie, l'accent est mis sur des travaux visant à la mise au point d'installations de transformation plus efficaces et sur la récupération de chaleur à partir de déchets. La mise au point de technologies favorisant l'utilisation du charbon et de combustibles de qualité inférieure est encouragée dans la mesure où elle ne s'oppose pas aux termes du Traité CECA.

Les travaux sur le stockage de l'énergie sont poursuivis en fonction des résultats obtenus dans le premier programme, avec les mêmes priorités et le même éventail de domaines, et sont coordonnés avec les parties adéquates des programmes relatifs à l'énergie solaire et à l'hydrogène.



Roue thermique appliquée à un four à térylène (IRD & ICI, Royaume-Uni).

## PRODUCTION ET UTILISATION DE L'HYDROGÈNE

L'une des caractéristiques communes à la plupart des sources d'énergie appelées de substitution réside dans le fait qu'une importance accrue sera accordée à l'électricité en tant que principal vecteur d'énergie pour l'utilisateur. Ceci pose un certain nombre de problèmes de distribution du combustible à l'équipement mobile dans des régions éloignées et de stockage de l'énergie ; pour le moment, la seule technique disponible de stockage de grandes quantités d'électricité est représentée par les centrales hydro-électriques de pompage.

Il est par conséquent important de découvrir et de mettre au point des combustibles secondaires appropriés pouvant répondre à ces deux impératifs. L'hydrogène possède un certain nombre de caractéristiques bien connues qui le prédisposent particulièrement à jouer ce rôle. On peut facilement le produire, le stocker et le transporter ; on peut facilement le convertir en électricité, en énergie mécanique ou en chaleur, en ne causant que peu ou pas de pollution, et il représente actuellement une matière première très importante pour les industries chimiques, pétrochimiques et métallurgiques.

De nos jours, l'hydrogène est produit industriellement, soit chimiquement à partir du charbon ou du pétrole, soit électriquement au moyen de l'électrolyse de l'eau. Ces techniques sont établies de longue date, mais, en ce qui concerne l'électrolyse, la conception et la performance des électrolyseurs généralement utilisés peuvent encore être grandement améliorées. Par exemple, ils nécessitent l'application d'un potentiel d'environ 2 volts à une cellule pour une densité de courant de 2 kA/m<sup>2</sup>, par rapport à la valeur théorique de 1,23 volt. Ceci constitue une insuffisance grave qui nécessitera des travaux de R & D pour être surmontée. Il existe également certaines méthodes thermochimiques de production de l'hydrogène à grande échelle utilisant des réactions produites à haute température (plus ou moins 800 °C) qui peuvent présenter un intérêt. Ces méthodes ouvrent la possibilité — même si elle est à moyen ou à long terme — d'utiliser les centrales électriques nucléaires aussi bien pour produire un combustible que de l'électricité. Là encore, la R & D est essentielle.

On s'attend à ce qu'à long terme le rôle de l'hydrogène sur le marché ne soit plus tant celui de matière première que celui de vecteur d'énergie à grande échelle et de facteur de production de combustibles de substitution synthétiques. Ceci entraînera des perturbations importantes du système d'approvisionnement en énergie et un effort de R & D considérable s'impose pour que cette mutation s'opère sans heurts. Il faut toutefois se rappeler que l'utilisation de l'hydrogène en tant que combustible n'est pas tout à fait nouvelle, du fait que le gaz de ville produit à partir du charbon contenait une proportion sensible d'hydrogène (plus ou moins 50 %). Il existe donc bien un précédent et des travaux de R & D sont nécessaires pour améliorer les méthodes de production et de stockage de l'hydrogène et pour élargir la gamme de ses utilisations. C'était là l'objectif du premier programme de R & D qui a surtout porté sur la production de l'hydrogène par électrolyse et par des méthodes thermochimiques.

### Résumé et résultats du premier programme (13,2 millions d'Ecus)

Trois domaines d'étude ont été définis pour le premier programme :

1. Production thermochimique de l'hydrogène ;
2. Production électrolytique de l'hydrogène ;
3. Transport, stockage et utilisation de l'hydrogène.

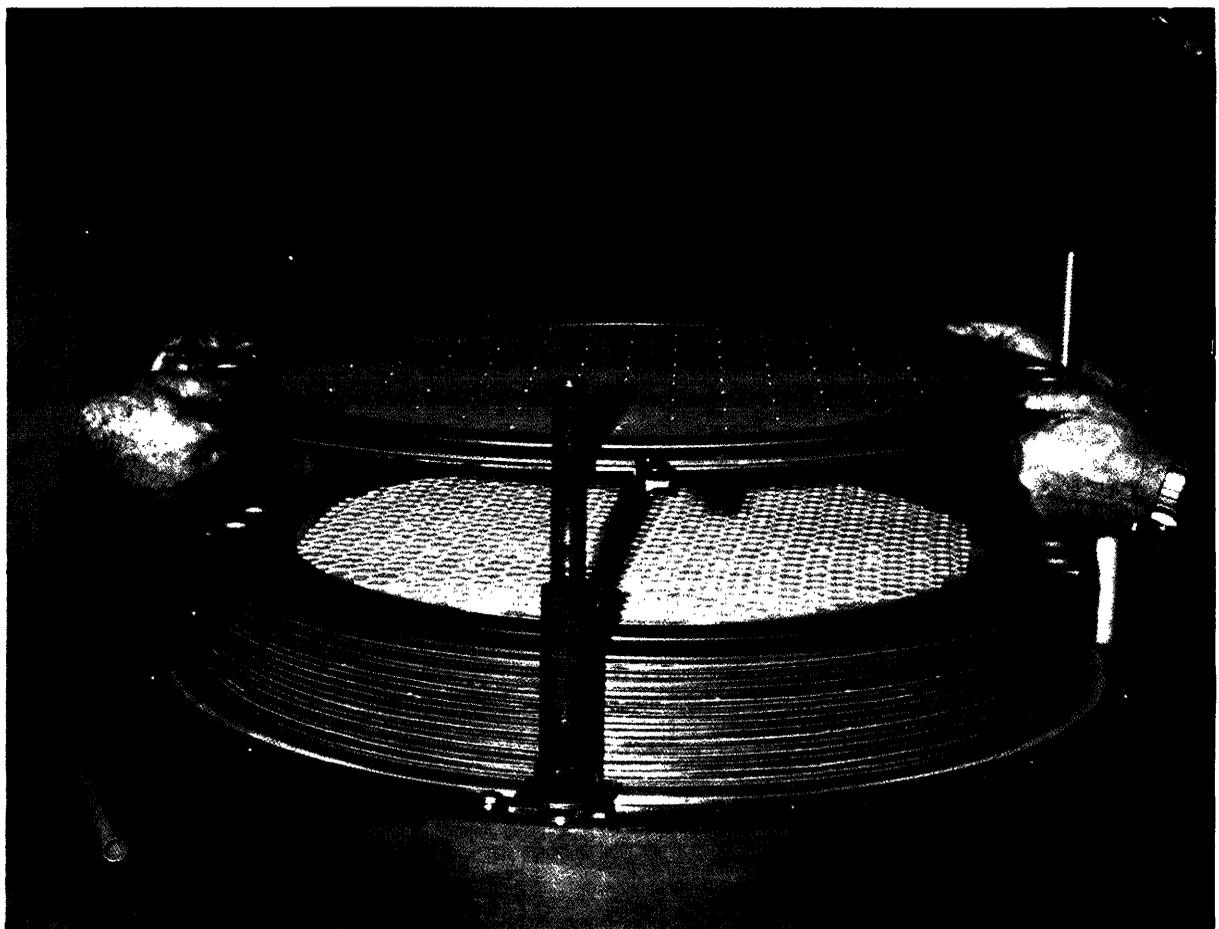
### Projet I : production thermochimique de l'hydrogène

**Objectif :** Etude et mise au point de cette nouvelle méthode de production de l'hydrogène. Ce projet visait particulièrement à élargir et compléter les travaux effectués au Centre commun de recherche d'Ispra dans le cadre du programme « action directe ».

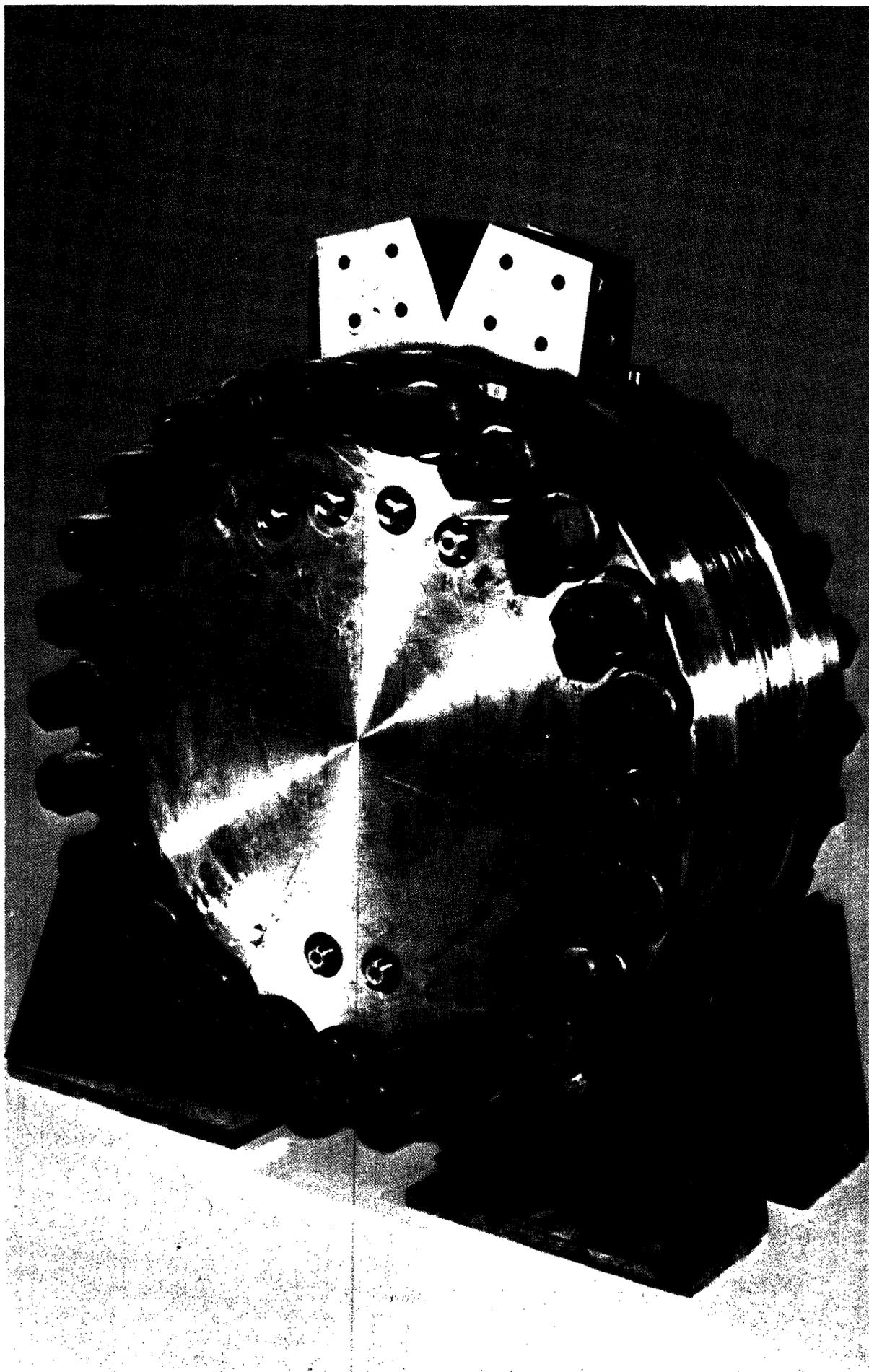
**Résultats :** La méthode est fondée sur une série de réactions chimiques se produisant en cycle fermé de telle façon que les seuls apports nets au cycle soient l'eau et la chaleur et les seuls produits obtenus l'hydrogène, l'oxygène et la chaleur à basse température.



Montage d'électrolyseurs destinés à la production d'hydrogène (SRTI-IFP, France).



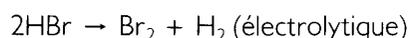
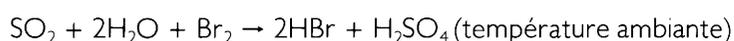
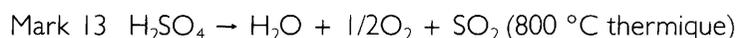
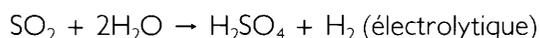
Montage d'une batterie d'électrolyseurs pour un type d'électrolyseur avancé (CERCEM, France)



Electrolyseur destiné à la production d'hydrogène (SRTI-IFP, France).

Cette question avait été explorée par le CCR d'Ispira et, en conséquence, l'action indirecte a été étroitement coordonnée avec les travaux du CCR et des connaissances techniques spécifiques provenant soit d'universités soit de l'industrie sont venues compléter les travaux effectués à Ispira.

Au cours de l'évolution du programme, nombre de méthodes possibles ont été écartées pour différentes raisons — problèmes de matériaux, difficultés technologiques, étapes difficiles de la réaction, etc. Les deux cycles qui paraissent les plus intéressants parmi ceux étudiés sont en fait du type « hybride », dont une étape comprend une réaction électrolytique. Ils ont été appelés Mark 11 et Mark 13 et sont représentés par les équations suivantes :



Le programme d'action indirecte a contribué par un examen des cycles et des réactions électrolytiques possibles, et par des contributions à la synthèse du schéma fonctionnel à mettre en évidence Mark 11 et Mark 13 comme les réactions les meilleures.

Les travaux suivants ont été orientés vers la séparation de phase dans les parties du cycle concernant l'acide sulfurique et  $\text{SO}_2$ , l'oxydation électrolytique du  $\text{SO}_2$ , les études sur la corrosion et la sélection des matériaux, la décomposition de l'acide sulfurique en mettant au point également un projet préliminaire d'une unité de purification destinée à éliminer le  $\text{SO}_2$  du produit obtenu et la conception d'une petite installation Mark 11.

## Projet 2 : production électrolytique d'hydrogène

- Objectifs :**
- (a) Amélioration de la technologie actuelle dans la gamme des températures basses et moyennes (80 à 120 °C).
  - (b) Mise au point d'une électrolyse à températures moyennes (150° à 200° C).
  - (c) Mise au point d'une électrolyse à électrolyte solide à hautes températures (800 - 1 000 °C).
  - (d) Mise au point de nouveaux diaphragmes ou membranes.

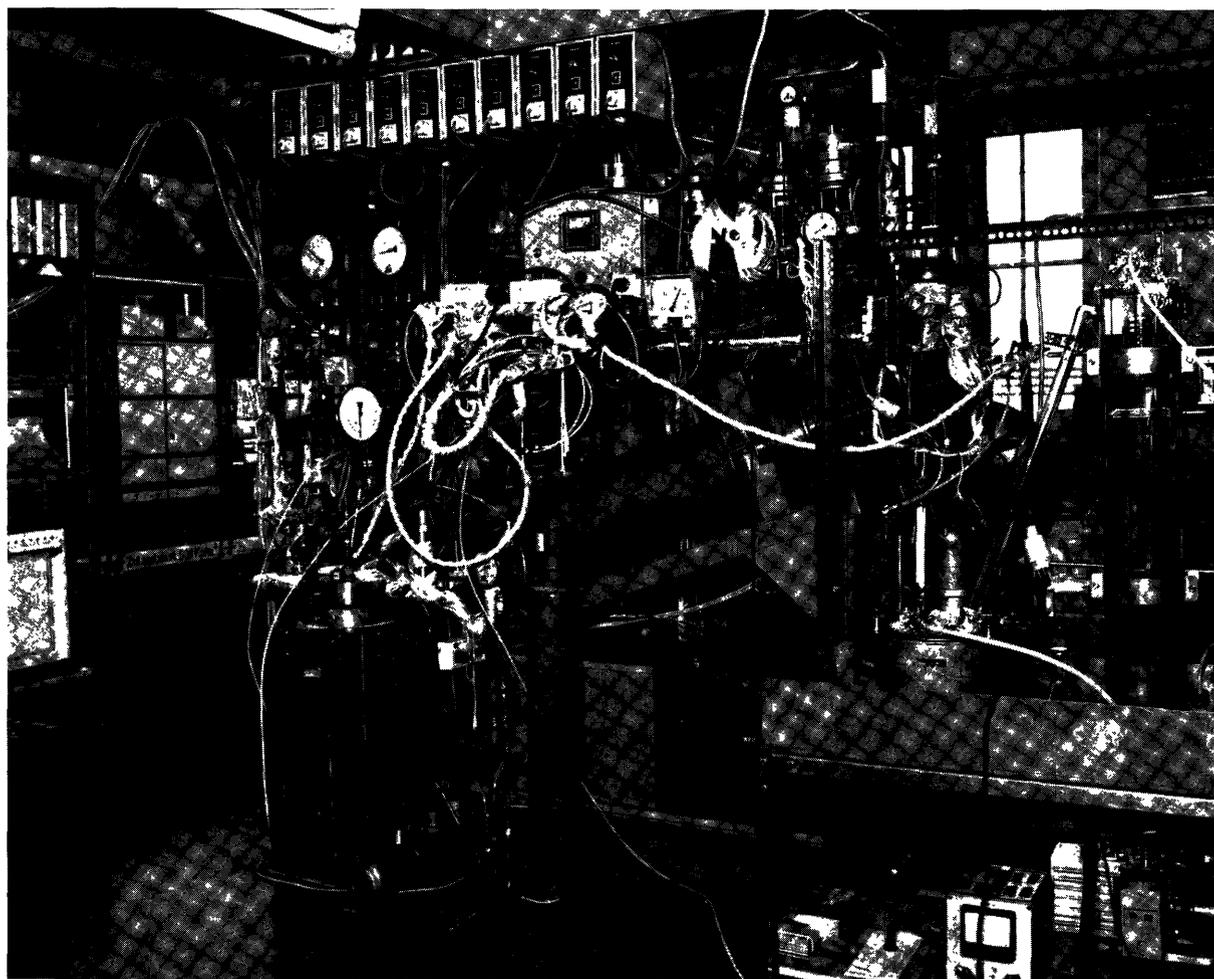
- Résultats :**
- 1. Dans la gamme des basses températures, des tensions totales au niveau de la cellule comprises entre 1,6 et 1,9 volts ont été réalisées à des densités de courant de 10 kA/m<sup>2</sup>. Ceci correspond à une tension comprise entre 1,4 et 1,5 volt aux densités de courant plus faibles (plus ou moins 2 kA/m<sup>2</sup>) des électrolyseurs actuels et doit être comparé aux 1,9 - 2,1 volts qui sont courants de nos jours. Des résultats aussi prometteurs ont été obtenus à des températures moyennes. Ceci représente une amélioration importante et constitue un pas incontestable en direction de la valeur idéale et par conséquent irréalisable de 1,23 volt. Grâce à cette conception récente de la cellule, une épaisseur unitaire de la cellule de 10 mm est réalisable et ceci permet une densité de puissance considérable du fait que 10 kA/m<sup>2</sup> dans une batterie de 1 m de haut et de 1 m de diamètre représenteraient un apport d'énergie électrique d'environ 1,4 MW et un taux de production d'hydrogène d'environ 300 Nm<sup>3</sup>/h. Cette conception garantirait que la batterie de cellules ne représente plus l'élément le plus coûteux de l'installation.

2. De petits électrolyseurs prototypes (d'une puissance de 5 à 10 kW) ont été construits en vue d'appliquer les résultats à une plus grande échelle. On suit également leur fonctionnement à long terme pour vérifier la stabilité des composants mis au point en laboratoire.
3. Les diaphragmes nécessaires à la mise au point pratique de ces électrolyseurs ont été réalisés et essayés et subissent également maintenant des essais à long terme.

### Projet 3 : Utilisation, stockage et transport de l'hydrogène

- Objectifs :**
- (a) Etude du stockage de petites et moyennes quantités d'hydrogène.
  - (b) Etude des applications spécifiques et des marchés futurs.
  - (c) Matériaux.
  - (d) Sécurité.

- Résultats :**
1. Une amélioration des techniques de stockage de l'hydrogène utilisant des hydrures de magnésium a été réalisée et une nouvelle méthode de stockage, fondée sur les cryoadsorbants, a été développée. On n'a pas effectué d'évaluation du stockage souterrain à grande échelle, mais on ne s'attend pas à des problèmes majeurs dans ce domaine.

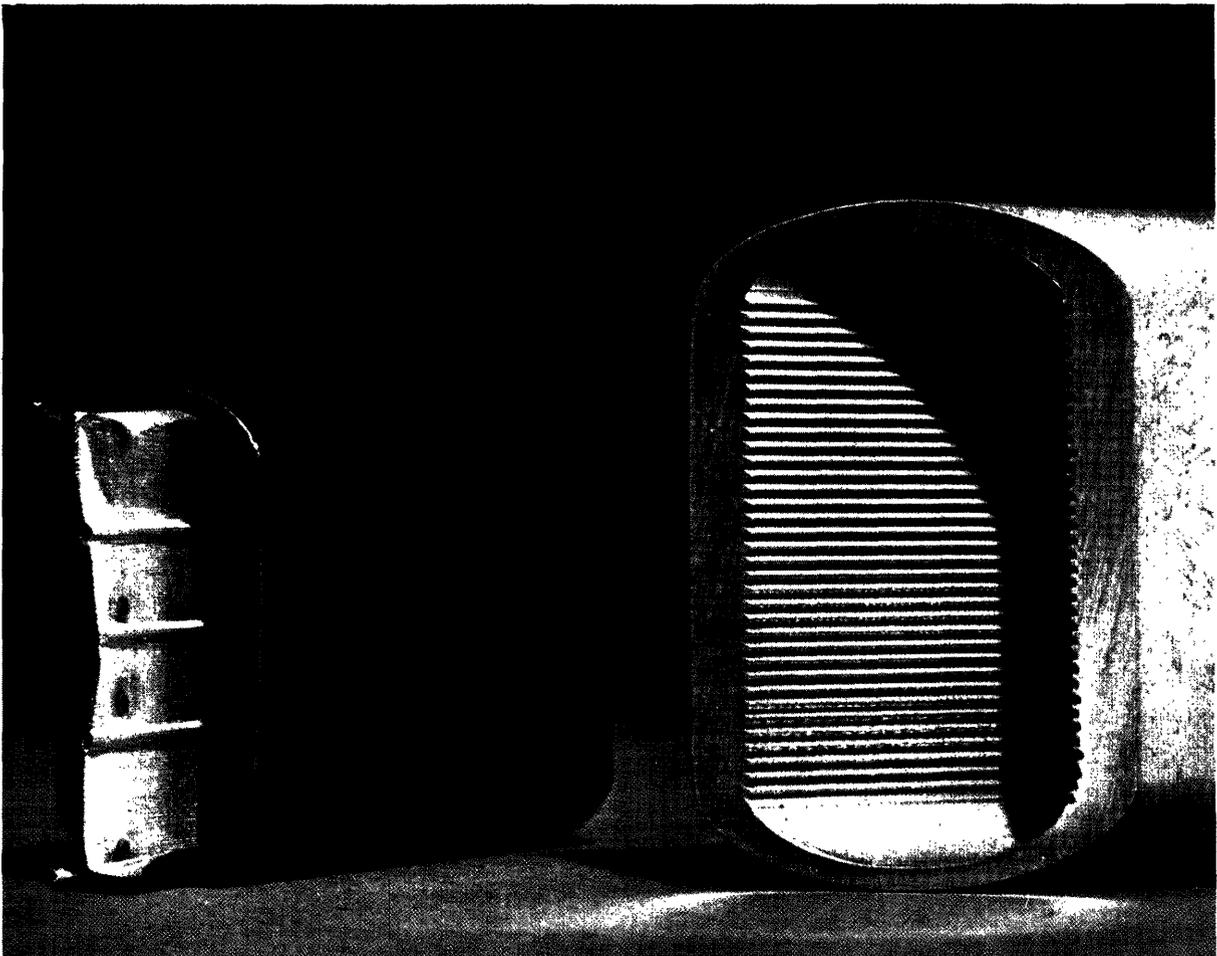


Appareillage pour la décomposition du  $\text{SO}_3$  en vue de la production thermochimique de l'hydrogène (KFA-Jülich, Allemagne fédérale).

2. Des études sur les applications de l'hydrogène et sur l'évaluation du marché ont été effectuées dans les domaines de la conversion du charbon, de l'élaboration de l'acier et d'autres procédés industriels et de la production d'électricité (notamment, la situation des piles à combustibles alimentées à l'hydrogène a été quantifiée). L'évolution probable du marché potentiel de l'hydrogène a été estimée en vue d'évaluer le rythme de mise en œuvre.
3. Le programme relatif aux matériaux a montré que les réseaux de gaz existants ne poseront sans doute pas de problèmes, et plusieurs aciers étudiés sont actuellement optimisés en vue de leur utilisation avec l'hydrogène. Des contre-essais sont actuellement effectués par plusieurs contractants en vue de parvenir à des méthodes d'essai agréées.
4. La plupart des données nécessaires à la compilation d'un manuel de sécurité destiné aux personnes manipulant de l'hydrogène ont été rassemblées ; il faut noter toutefois que les problèmes de sécurité posés par l'hydrogène sont moins nombreux que ceux posés par d'autres combustibles généralement utilisés.

### **Deuxième programme (8 millions d'Ecus)**

Dans le second programme, l'accent a été mis plutôt sur la production électrolytique et les problèmes de l'utilisation, du stockage et du transport que sur la production thermochimique. Les objectifs doivent s'orienter vers les applications, les essais à long terme et le changement d'échelle des projets prometteurs pour obtenir, d'ici à la fin du programme, les résultats les meilleurs par un nombre limité d'essais à échelle relativement grande.



Mise au point d'un caloduc : (a) à mèche ; (b) à cannelures (UKAEA, Harwell, Royaume-Uni).

## L'ÉNERGIE SOLAIRE

La Communauté européenne est située, à l'exclusion du Groënland, entre 35° et 60° de latitude Nord et, par conséquent, la quantité d'énergie solaire disponible varie largement d'après les régions. Ainsi, l'insolation moyenne sur une surface horizontale peut varier (en kWh par m<sup>2</sup> et par jour) de 0,21 dans les Iles Shetland à 2,4 en Sicile en janvier, et de 4,8 dans les Iles Shetland à 8,0 en Sicile au mois de juin. En été, l'insolation en Sicile est donc 40 fois supérieure à la valeur atteinte en hiver aux Iles Shetland. Ces variations considérables dues à la situation géographique et aux saisons donnent lieu à des problèmes, mais ouvrent aussi des possibilités pour l'utilisation de l'énergie solaire dans la Communauté.

L'énergie solaire se manifeste à la surface de la terre directement, sous forme de chaleur et de lumière, et, indirectement, par ses effets sur l'atmosphère, sous forme d'énergie éolienne et d'énergie de la vague. L'énergie directe des rayons peut, soit produire de la chaleur, soit induire la photosynthèse et donc la formation de la chlorophylle. Ainsi, si l'on considère le soleil en tant que source d'énergie, toute technique fondée sur la conversion photothermique, photoélectrique, photochimique, photoélectrochimique ou photobiologique, sur l'utilisation de l'énergie éolienne, de l'énergie de la vague ou sur l'utilisation directe de la biomasse, qui dépend en dernière analyse de la photosynthèse, mérite d'être étudiée.

Au début du premier programme, un grand nombre de problèmes devaient encore être résolus pour tous les aspects de l'énergie solaire : il a donc été décidé que seuls les domaines dépendant directement du rayonnement solaire seraient examinés. C'est pourquoi si l'énergie éolienne et l'énergie de la vague n'ont pas été incluses directement dans le programme de la CEE, l'utilisation de la biomasse, elle, l'a été.

La priorité a donc été donnée aux domaines où l'information concrète et l'expérience semblaient insuffisantes ; c'est ainsi que les applications de l'énergie solaire dans l'habitat, la production de puissance thermoélectrique et photoélectrique, l'utilisation de la biomasse et les systèmes à plus long terme de conversion photochimique, photoélectrochimique et photobiologique ont été encouragés. De même, le manque manifeste de données fiables sur l'énergie solaire et de méthodes d'essai des collecteurs solaires a été reconnu et défini comme un secteur à développer en particulier.

Ces efforts ont porté leurs fruits au cours du premier programme et ont atteint leurs objectifs en ce qui concerne l'acquisition des connaissances de base. Le deuxième programme a davantage mis l'accent sur les aspects plus pratiques du développement et de la production de systèmes prototypes afin d'en déterminer les difficultés, de démontrer la viabilité de l'énergie solaire et d'encourager sa mise en œuvre rapide. Notons à ce propos la création d'installations pilotes qui peuvent démontrer la viabilité des concepts et techniques à une échelle réaliste, qui est encore inférieure toutefois à celle d'un projet de démonstration. L'énergie éolienne a en outre été introduite dans le deuxième programme.

### Résumé et résultats du premier programme (17,5 MioECU)

Six thèmes d'étude avaient été sélectionnés pour le premier programme de R & D dans le domaine de l'énergie :

1. Applications de l'énergie solaire dans l'habitat.
2. Centrales thermodynamiques fonctionnant à l'énergie solaire.
3. Production d'électricité à partir de la conversion photovoltaïque.
4. Processus photochimiques, photoélectrochimiques et photobiologiques.
5. Énergie tirée de la biomasse.
6. Collecte des données relatives au rayonnement solaire.

## Projet I : applications de l'énergie solaire dans l'habitat

- Objectifs :**
- (a) Essayer et évaluer différents types de collecteurs et développer d'un commun accord des méthodes de mesure des performances.
  - (b) Soutenir la construction de plusieurs maisons solaires dans divers pays membres et recueillir des données sur les maisons solaires existantes afin de coordonner la mesure de leur performance.
  - (c) Développer et valider des modèles afin de simuler et de prévoir la performance des bâtiments solaires.
  - (d) Etudier les possibilités de stockage thermique à basse température pour les bâtiments solaires.
  - (e) Entreprendre des travaux de recherche sur la technologie de la réfrigération solaire.

**Résultats :** Plusieurs réalisations substantielles peuvent être portées à l'actif de ce programme ; elles ont des conséquences importantes pour l'évaluation des systèmes solaires dans la Communauté.

1. Le programme de modélisation de la performance des collecteurs et des systèmes a été presque entièrement réalisé, et un certain nombre de programmes d'analyse très utiles ont été mis au point, encore que tous les résultats n'aient pas été concluants.
2. Des techniques normalisées ont été mises au point et publiées pour l'essai des collecteurs solaires par le biais d'un programme ambitieux auquel ont participé 20 laboratoires.
3. Le programme a été réalisé en ce qui concerne la construction d'installations expérimentales pilotes qui permettent de simuler la charge thermique sur un système de chauffage solaire réel, de sorte que la performance du système solaire et non seulement celle du collecteur peut être évaluée dans des conditions de fonctionnement réalistes.
4. Des données empiriques ont été recueillies à partir de 51 maisons solaires dans toute la Communauté, ce qui permet d'apprécier plus complètement la performance de ces maisons. Les résultats de l'expérience ont été publiés dans « Maisons solaires en Europe » (cf. annexe I).

Il est évident que ces quatre réalisations contribuent chacune à faire mieux comprendre les systèmes solaires et à produire des données et des dispositifs permettant d'améliorer la conception des bâtiments solaires. Elles ont par ailleurs eu le grand avantage d'avoir donné lieu à une coopération très large entre des organismes de recherche des différents Etats membres, et également avec le Centre commun de recherche, et d'avoir permis de normaliser les techniques à utiliser dans toute la Communauté.

5. En ce qui concerne le stockage de l'énergie, les réalisations sont plutôt négatives que positives, c'est-à-dire que les résultats n'ont pas été très encourageants. Le stockage de la chaleur latente paraît donc moins attrayant, tout au moins à court terme. Ainsi, il est apparu que ce stockage, avec des points de fusion d'environ 35 °C, ne permettait pas de réduire le volume de stockage autant qu'on l'espérait. En outre, l'amélioration de l'efficacité que l'on attendait de l'important transfert de chaleur latente à température relativement faible n'a pas été observée en pratique. De ce fait, le meilleur dispositif de stockage thermique à court terme est apparemment un réservoir d'eau bien stratifié. Les options à long terme restent ouvertes et comprennent la chaleur sensible et latente, ainsi que les possibilités de stockage chimique.

6. La réfrigération solaire a fait quelques progrès, surtout par le développement de collecteurs solaires de haute performance basés sur des unités scellées et évacuées. Celles-ci s'imposent pour obtenir les températures élevées nécessaires au fonctionnement du système.

Les recherches sur des combinaisons efficaces absorbant-absorbeur se poursuivent, mais les progrès sont forcément lents dans ce domaine très difficile et qui requiert beaucoup de temps. L'un des résultats intéressants à noter est toutefois la conception d'une machine à cycle de Rankine à piston libre qui fonctionne actuellement en laboratoire et qui produit des résultats encourageants.

## **Projet 2 : centrales thermomécaniques fonctionnant à l'énergie solaire**

**Objectifs :** Examiner la viabilité de la production d'électricité à grande échelle par des moyens thermomécaniques utilisant l'énergie solaire comme source de chaleur.

**Résultats :** La réalisation la plus importante est le développement, la conception et la construction, à Adrano, en Sicile, de la première centrale héliovoltaïque à grande échelle dans le monde, qui sera raccordée à un réseau de distribution existant. L'installation expérimentale est appelée Eurelios et a une capacité électrique de 1 MW. Sa capacité thermique est de 4,8 MW et la surface totale des miroirs est de 6 216 m<sup>2</sup>. Elle est constituée de 252 héliostats de deux conceptions différentes. Le collecteur (fourneau) se trouve à une hauteur de 55 mètres et comprend une chaudière du type tubulaire à cavité, spécialement conçue, qui produit de la vapeur à 512 °C et 64 bars qui entraîne un turbogénérateur. Le système comprend également un réservoir de stockage thermique à sel fondu et eau ayant une capacité d'une demi-heure. La centrale est construite par un consortium industriel composé d'ENEL-ANSALDO, Italie, de CETHEL, France, et de MBB, Allemagne.

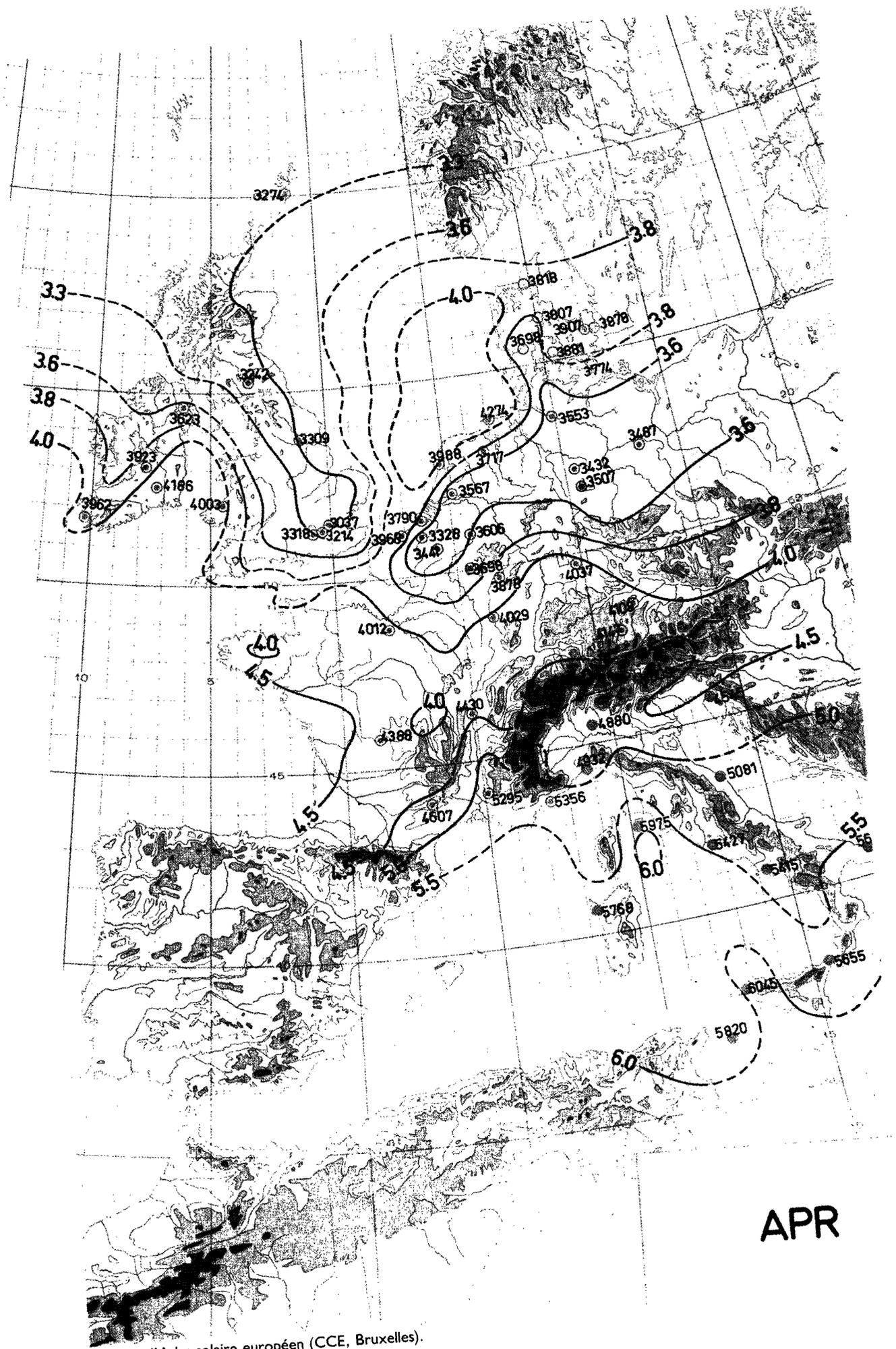
## **Projet 3 : production d'électricité à partir de la conversion photovoltaïque**

**Objectifs :**

- (a) i) Evaluer les cellules solaires nouvelles qui paraissent intéressantes.  
ii) Améliorer les cellules au sulfure de silicium et de cadmium.
- (b) Etudier la faisabilité de nouveaux concepts comme les combinaisons colorant organique/semi-conducteur, les cellules solaires organiques, les déplaceurs de rais ou les systèmes semi-conducteur/électrolyte.
- (c) Développer des techniques nouvelles de préparation de poudre de silicium semi-conducteur (solaire) à partir du sable. Encourager l'application industrielle des nouveaux procédés qui ont fait une large place aux méthodes visant à économiser l'énergie.
- (d) Développer des processus de production continus pour les feuilles minces de silicium, notamment des processus à faible consommation d'énergie.
- (e) Soutenir les efforts faits à l'échelle industrielle pour réduire les coûts par l'amélioration et l'automatisation de la production de panneaux solaires (notamment les concentrateurs de lumière et les installations pilotes).

**Résultats :**

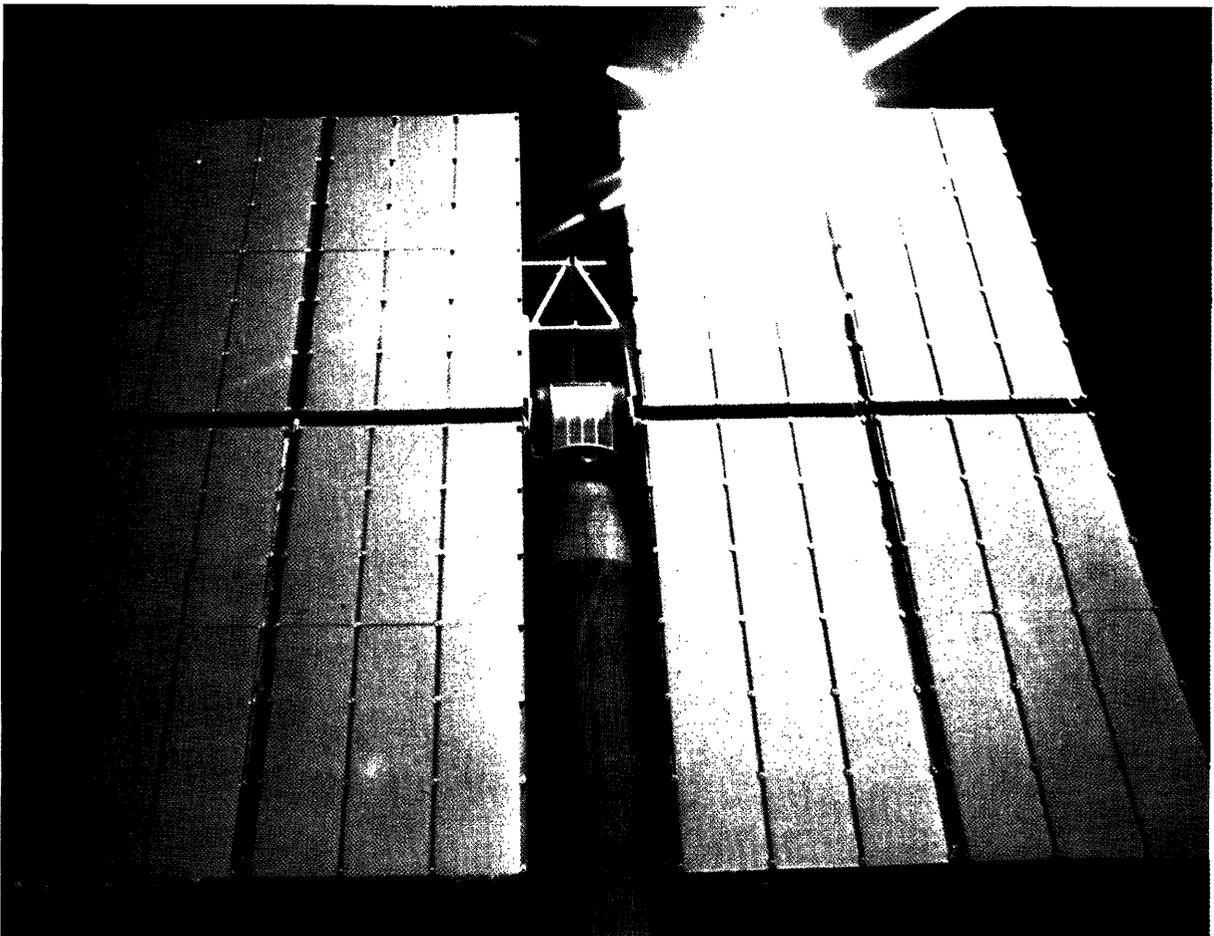
- I. Les chercheurs sont parvenus, par l'application de techniques d'automatisation, à réduire le coût des panneaux photovoltaïques au Si d'un facteur 3 à 4, et il est probable que, même sans percée technologique, une nouvelle réduction d'un facteur 2 sera réalisée dans quelques années.



APR

Carte de l'Atlas solaire européen (CCE, Bruxelles).

2. L'utilisation de techniques de concentration de la lumière permet de réduire le coût de la production d'électricité photovoltaïque d'un facteur 1,5 dans le Nord de l'Europe et 2,5 dans le Sud. Le niveau de concentration utilisable a pu être augmenté par l'introduction du refroidissement actif qui produit un système plus économique ainsi qu'une composante de chaleur dissipée qui peut aussi être utilement exploitée. Toutefois, il semble que les systèmes de concentration ne soient pas économiques en raison du coût de la structure.
3. Du fait de ces deux développements, on considère actuellement que les installations de production d'électricité par conversion photovoltaïque sans stockage peuvent, dans certaines conditions, soutenir la concurrence des générateurs Diesel. L'application la plus intéressante de tels systèmes est le pompage d'eau à grande échelle pour l'irrigation.
4. La production de modules de cellules solaires en Europe a été fortement encouragée et représente actuellement plus de 1 MW par an.
5. Sept systèmes photovoltaïques de petite dimension (5 kW au maximum) ont été construits (2 avec et 5 sans concentration) afin de fournir des données sur la conception et le fonctionnement des systèmes pour toute une gamme d'applications et d'environnements.
6. Aucun autre type de cellule n'est encore parvenu à un stade de développement suffisant pour concurrencer vraiment le silicium monocristallin, encore que certains progrès aient été réalisés, surtout en ce qui concerne le sulfure de cadmium et le silicium amorphe.



Héliostat de la centrale solaire Eurélios (voir page 2).

7. Sous l'égide du Centre commun de recherche d'Ispra, un petit groupe international d'experts a élaboré une spécification qui établit des procédures normalisées de mesure du rendement de la conversion photovoltaïque. Celle-ci pourrait fournir une base commune d'évaluation des performances qui éliminera les disparités observées dans le passé.
8. Des études de conception ont été réalisées sur des systèmes de puissance photovoltaïque de grande dimension (0,5-1 MW) avec stockage et connexion au réseau. Ce programme a été inclus en préparation des unités de production à plus grande échelle prévues pour les phases ultérieures.

#### **Projet 4 : processus photochimiques, photoélectrochimiques et photobiologiques**

- Objectifs :**
- (a) Etudier les processus de photoconversion.
  - (b) Améliorer la production d'hydrogène, fondée sur la connaissance de la photosynthèse, en construisant des cellules vivantes.

**Résultats :** On a tenté de réaliser ces objectifs grâce à un programme de recherche fondamentale sur les processus photochimiques, photobiologiques et photoélectrochimiques endothermiques liés à l'utilisation de l'énergie solaire.

1. Les scientifiques commencent à comprendre le fonctionnement de la membrane thylakoïde comme convertisseur d'énergie. Ainsi, on sait que le premier composé réduit à reconnaître dans la membrane est une protéine de sulfure de fer qui contient plus d'énergie que la réduction de l'hydrogène. Si les scientifiques parviennent à comprendre intégralement comment cette membrane de chloroplaste convertit l'énergie solaire en énergie chimique, ils devraient pouvoir concevoir des systèmes artificiels analogues.
2. Des études effectuées sur les cyanobactéries (algues bleu-vert) et les algues vertes, qui sont capables de produire de l'hydrogène et de l'oxygène par décomposition de l'eau, et sur d'autres bactéries photosynthétiques capables de produire des quantités importantes d'hydrogène ou d'ammoniaque à partir de la lumière et de substrats organiques ou inorganiques simples ont permis d'envisager la possibilité de produire de l'hydrogène à partir de déchets industriels en utilisant le soleil comme source d'énergie. D'autres études connexes visent à étudier les processus qui interviennent.
3. Un système a été construit qui utilise la membrane de chloroplaste pour produire un courant par une cellule photogalvanique. Il ne faut cependant pas oublier à quelle échelle ce système a été réalisé, afin de bien voir à quel point il est éloigné de la réalité industrielle. Un potentiel de courant ouvert de 220 mV a été produit dans une cellule avec des électrodes de platine. On a obtenu ainsi un courant de 800  $\mu\text{A}$  et une densité de courant de 16  $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ . La cellule peut être modifiée pour produire de l'hydrogène et de l'oxygène au lieu d'électricité.

## **Projet 5 : l'énergie tirée de la biomasse**

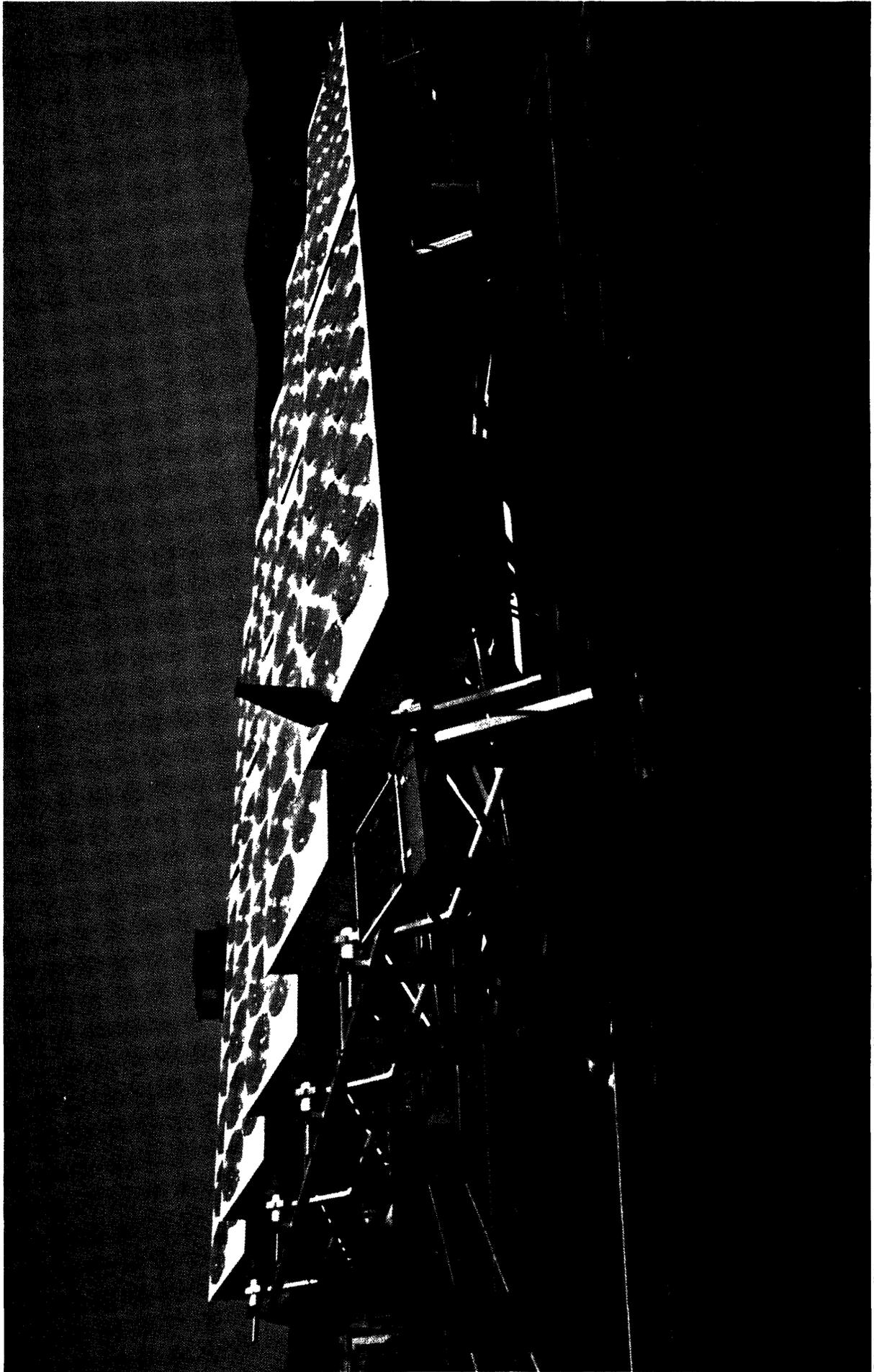
- Objectifs :**
- (a) Sélectionner et promouvoir les cultures énergétiques les plus appropriées pour les diverses régions européennes.
  - (b) Adapter et évaluer les technologies de récolte, de séchage, de transport et d'utilisation des cultures énergétiques.

- Résultats :**
- 1. Les moyens les plus intéressants de produire de l'énergie à partir de la biomasse ont été déterminés, et les spécialistes estiment que les sources d'énergie tirées de la biomasse pourraient couvrir jusqu'à 10 % de la demande d'énergie de la CEE d'ici l'an 2000.
  - 2. La quantité de ressources disponibles a été estimée (cf. « Valorisation énergétique de la biomasse en Europe, W. Palz et P. Chartier, Editions du Moniteur, Paris, 1982).
  - 3. Un certain nombre de dispositifs de petite dimension ont été construits pour étudier les caractéristiques de fonctionnement chimiques et autres des digesteurs de méthane anaérobies.
  - 4. Des unités de gazéification directe à des températures de l'ordre de 1 000 °C ont été construites pour étudier les possibilités de ce système, et notamment une installation de gazéification d'une puissance d'environ 1 MW.
  - 5. Un certain nombre d'études intéressantes sur les cultures dérobées, la sylviculture et la culture des algues ont été réalisées. Ainsi, le système de culture forestière à rotation rapide a été pratiqué sur divers types de sols tourbeux en Irlande avec un succès tel qu'il est à présent devenu un projet de démonstration CEE.

## **Projet 6 : collecte des données relatives au rayonnement solaire**

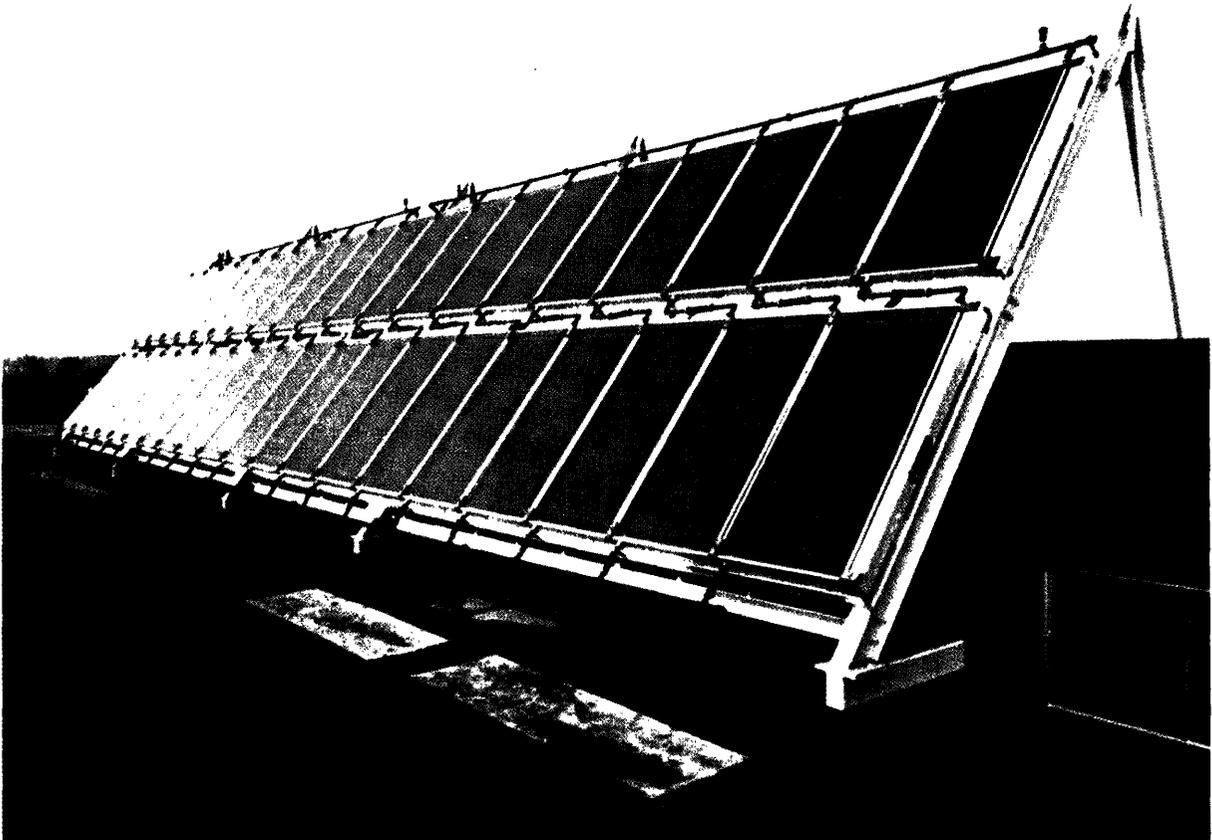
- Objectifs :**
- (a) Coopérer avec les centres de données nationaux.
  - (b) Produire des années de référence pour la simulation des composants et systèmes solaires.
  - (c) Préparer et publier des atlas du rayonnement solaire dans la Communauté.
  - (d) Effectuer des recherches sur des équipements de mesure nouveaux.

- Résultats :**
- 1. En ce qui concerne le premier objectif, les centres de données nationaux sont parvenus à des résultats très proches quant à l'étalonnage et à la comparaison des pyréliomètres. Les problèmes que posent les pyranomètres ont été déterminés, et le deuxième programme étendra la comparaison à ceux-ci.



Générateur d'électricité photovoltaïque de 1 kW à Florence (MONTEDISON/ANSALDO/GALILEO/SGS-ATES, Italie).

2. Une technique a été mise au point pour produire une série de données expérimentales constituant une année de référence et comprenant au moins la température mesurée par thermomètre sec, le rayonnement global diffus et direct à incidence normale et la vitesse du vent, l'humidité, la couverture de nuages, le type de nuages et la direction du vent étant inclus si possible. Une année de référence est un ensemble constitué par le plus grand nombre possible des données météorologiques citées ci-dessus, combinées en séries de relevés simultanés pris à des intervalles d'une heure (8 760 séries de données) et choisies de façon à ce que chaque mois de la série de données soit représentatif de l'endroit étudié.
3. Un atlas de la Communauté européenne, indiquant l'insolation sur surface horizontale dans tous les pays, a été établi sur la base de données recueillies dans 56 stations sélectionnées dans toute la Communauté. Des totaux journaliers du rayonnement global et de la durée d'ensoleillement au cours de la période 1966-1975 ont été dressés. Ces données ont été converties en un format commun et soumises à des procédures de contrôle de qualité. Des tables des totaux mensuels y sont présentées ainsi que des cartes indiquant les isolignes du rayonnement global. L'atlas est destiné à servir de manuel pratique aux architectes et aux ingénieurs spécialisés en énergie solaire, et il a remporté un grand succès.
4. Il s'est avéré que si les données horaires conviennent à la plupart des objectifs, certains projets exigent des données recueillies à des intervalles plus courts (de 6 à 10 minutes) ; des mesures de ce type ont été entreprises ainsi que leur évaluation statistique.
5. L'étude statistique des valeurs horaires du rayonnement global sur surface horizontale a permis de rationaliser le concept des courbes de fréquence cumulatives et leur utilisation dans la prévision de la performance des collecteurs thermiques solaires.



Installation expérimentale solaire pilote (Bracknell, Royaume-Uni).

6. Des méthodes ont été développées pour utiliser les images transmises par satellite pour la prévision des niveaux de rayonnement solaire.
7. Des progrès ont été réalisés dans l'extension du réseau de mesure.

## **Le deuxième programme (46 MioECU)**

Pour le deuxième programme, les objectifs fondamentaux du premier programme, c'est-à-dire les six projets existants, ont été retenus, et deux nouveaux, l'énergie éolienne et l'énergie solaire dans l'agriculture et l'industrie sont venus s'y ajouter. Apparemment donc, les mêmes activités se poursuivent, mais les priorités ont changé. Ainsi, l'accent n'est plus mis sur les travaux exploratoires, mais sur le développement et la construction de systèmes prototypes visant à cerner leurs problèmes, à accroître la crédibilité de l'énergie solaire et à encourager sa mise en œuvre rapide. Ces prototypes doivent, d'une manière générale, avoir désormais une dimension minimale pour être crédibles comme puissantes sources d'énergie de l'avenir et doivent permettre d'éprouver non seulement les composants solaires, mais aussi les autres éléments nécessaires à la mise en œuvre d'un système complet. L'industrie européenne sera encouragée à se spécialiser et à coopérer efficacement dans le secteur de l'énergie solaire.

Les objectifs à atteindre sont les suivants :

1. Poursuivre les recherches sur des techniques rentables de stockage thermique, développer et essayer des modèles de systèmes de chauffage solaire, éprouver des collecteurs et des systèmes, poursuivre les recherches sur les méthodes de réfrigération solaire et intégrer les concepts solaires dans la construction des bâtiments.
2. Achever et mettre en service la centrale hélio-électrique de 1 MW Eurelios.
3. Poursuivre les travaux sur les agencements de collecteurs solaires afin de réduire les coûts et d'augmenter leur durée de vie ; concevoir et développer une famille de systèmes de génération d'électricité par conversion photovoltaïque dans toute la Communauté, représentant une puissance totale de 1,3 MW ; examiner le fonctionnement et l'application de tels systèmes sous différents climats européens.
4. Poursuivre les recherches de base visant à approfondir les mécanismes des processus photochimiques, photoélectrochimiques et photobiologiques. Les objectifs fondamentaux sont les mêmes que ceux du premier programme.
5. Lancer un petit nombre de projets pilotes sur la production de carburant synthétique, notamment le méthanol à partir du bois ; certaines activités sont par ailleurs prévues en ce qui concerne la production d'éthanol, de biogaz et certains systèmes d'exploitation de la biomasse.
6. Poursuivre les travaux d'élaboration d'atlas solaires et de recueils de données sur le rayonnement solaire dans la Communauté européenne pour définir des méthodes conceptuelles simples, étendre ces banques de données et développer des instruments de mesure.
7. En ce qui concerne l'énergie éolienne, il est envisagé d'entreprendre des travaux portant sur l'évaluation des sites et l'estimation du potentiel en général dans la Communauté européenne, ainsi que des recherches sur les générateurs éoliens pour des opérations offshore, des essais dans différentes conditions climatiques, la combinaison de générateurs éoliens et de systèmes photovoltaïques, des installations de production de biomasse, etc.
8. Évaluer les besoins d'énergie et les applications possibles de l'énergie solaire dans l'agriculture et l'industrie, développer des modèles de systèmes et contrôler des systèmes perfectionnés comme les serres, les systèmes de séchage et les générateurs de vapeur.

## L'ÉNERGIE GÉOTHERMIQUE

Il s'est confirmé que l'énergie géothermique pourrait contribuer d'une manière significative à l'approvisionnement en énergie de la Communauté à partir de sources indigènes. Toutefois, sa contribution potentielle est limitée par les trois facteurs suivants :

1. La plupart des ressources géothermiques européennes disponibles sont à basse température.
2. La source de chaleur doit être associée à une circulation d'eau afin de permettre le transfert de la chaleur à la surface.
3. Le coût des forages profonds est élevé, si bien que l'exploitation de l'énergie géothermique n'est économique qu'en certains sites privilégiés où existent des réservoirs géothermiques à des profondeurs raisonnables ; il faut en outre qu'il y ait à proximité un marché suffisant pour la chaleur produite.

La deuxième limitation pourrait être levée s'il était possible de fracturer des roches chaudes sèches et d'y faire circuler de l'eau à partir de la surface. Dans ce cas, le potentiel d'application de l'énergie géothermique dans la Communauté serait beaucoup plus important, mais des travaux importants restent à réaliser après les résultats très encourageants obtenus au cours de la première phase du programme. L'exploitation des roches chaudes sèches en tant que source géothermique utile doit être considérée comme un objectif à long terme.

L'utilisation de l'énergie géothermique s'est limitée dans le passé à deux pays dans la Communauté, l'Italie et la France. En Italie, des gisements de vapeur ont été exploités pour produire 350 MWe d'électricité (423 MWe de capacité installée) et en France, les sources d'eau chaude du Bassin parisien et du Bassin d'Aquitaine ont permis de produire 26 MWt pour le chauffage des bâtiments.

Les objectifs visés par l'effort de R & D de la Communauté consistaient, à partir de ces prémisses, à déterminer les possibilités futures de développement de ces applications et à améliorer les techniques d'exploration et d'exploitation.

### Résumé et résultat du premier programme (13 Mio d'ECU)

Cinq projets ont été retenus pour le premier programme de R & D :

1. Compiler et acquérir des données géothermiques existantes et nouvelles.
2. Améliorer les méthodes d'exploration.
3. Exploiter les sources d'eau chaude (basse enthalpie).
4. Exploiter les sources de vapeur (haute enthalpie).
5. Développer les techniques de stimulation pour l'exploitation des roches chaudes sèches.

### Projet I : acquisition des données géothermiques existantes et collecte de données nouvelles

- Objectifs :**
- (a) Réunir et comparer toutes les informations utiles dans les neuf Etats membres de la Communauté européenne (distribution des températures du sous-sol, gradients de température, flux de chaleur, etc.).
  - (b) Déterminer les zones à potentialité aquifère et évaluer le potentiel énergétique des réservoirs sélectionnés.

**Résultats :** Certaines des expériences, positives, mais aussi négatives, du premier programme peuvent être illustrées par les trois exemples suivants :

1. L'édition d'un atlas des températures du sous-sol dans l'ensemble de la Communauté européenne. Cette initiative a encouragé les projets nationaux de collecte des informations sur les gradients de température du sous-sol et

les flux thermiques ; il s'agit d'un instrument de travail extrêmement utile qui relie la répartition des températures aux facteurs géologiques. Il faut toutefois bien admettre que les données sont d'une qualité souvent variable, car elles proviennent d'activités d'exploration pétrolière qui n'ont pas pour objet d'étudier la conduction thermique dans les formations géologiques. Quoiqu'il en soit, l'atlas constitue la base de données la plus complète à ce jour mise à la disposition de la profession géothermique en Europe.

2. Des progrès importants ont été réalisés au cours du programme communautaire dans le domaine de l'instrumentation de fond de puits. Il s'agit d'un domaine critique, étant donné qu'en l'absence de données appropriées et précises sur les flux géothermiques dans le trou de forage proprement dit, il est quasiment impossible de définir avec précision un gisement géothermique.

Deux projets méritent une mention particulière. Il s'agit tout d'abord de la sonde de flux basée sur une méthode de mesure tout à fait nouvelle, qui fait appel à des techniques de microsoudure et de thermopiles dérivées des stimulateurs cardiaques. Il s'agit d'un progrès technologique important ; le prototype a passé avec succès la phase probatoire d'essais et de développements et connaît actuellement une évaluation sur champ très poussée.

L'autre réalisation importante est une sonde permettant de mesurer les débits diphasiques ainsi que les pressions et les températures d'un mélange d'eau et de vapeur dans des conditions de fond correspondant à des températures de 250 °C et des pressions de 250 bars. Il s'agit d'un instrument électronique robuste et souple, qui sera extrêmement utile dans les réservoirs à haute enthalpie dont le contrôle dépendait jusqu'ici de dispositifs mécaniques moins satisfaisants. Il connaît actuellement une phase de perfectionnement portant ses performances à 400 bars et 300-350 °C.

3. Etant donné que les opérations pétrolières et minières se déroulent souvent dans des zones d'intérêt géothermique, il a paru logique d'étudier la possibilité de recueillir par la même occasion des données d'ordre géothermique. Malheureusement, il s'est avéré qu'il était difficile de modifier ces programmes de recherches minières ou pétrolières ; par ailleurs, lorsque des fonds de la Communauté pour la recherche y ont été affectés, la qualité des données obtenues n'a souvent pas été à la mesure de l'investissement. L'expérience a toutefois été utile et a mis en lumière la nécessité de modifier parfois les programmes d'exploration et de forage. Elle a également contribué à constituer une base d'études détaillées ultérieures de réservoirs au Royaume-Uni, dans le Nord de l'Italie, aux Pays-Bas, dans le Nord de l'Allemagne et au Danemark.

## **Projet 2 : méthodes de prospection**

**Objectifs :** Améliorer l'évaluation indirecte des indices géothermiques à partir de mesures de surface et de subsurface.

**Résultats :** Les méthodes de prospection ont fait appel à une série de techniques géophysiques et géochimiques ainsi qu'à des études géophysiques intégrées.

Il faut sans doute reconnaître que les efforts visant à établir l'une ou l'autre technique comme un indicateur optimal d'une ressource géothermique ont été vains, mais qu'en revanche toutes les techniques possibles doivent être appliquées et utilisées de manière aussi redondante que complémentaire. Il n'est pas niabile que certains projets ont, individuellement, produit des résultats intéressants ; ainsi, dans les sondages électromagnétiques, la détermination d'une corrélation claire entre les couches conductrices profondes et la circulation de fluides chauds dont on connaissait déjà l'existence dans les champs phlégréens (Naples - Région de Pozzuoli), ou le développement d'un nouveau géothermomètre Na/Li pour lequel deux



Séparateur du type cycle sur le site MO2 à Mofete, sur le gisement géothermique haute enthalpie des champs phlégréens (AGIP, Italie).

corrélations distinctes avec la température ont pu être établies pour les eaux douces et les saumures.

Un succès plus important est toutefois à mettre à l'actif des études d'exploration intégrées détaillées qui ont combiné plusieurs techniques géophysiques ou géochimiques. Ainsi, au Mont-Dore, dans le Massif Central en France, l'application combinée de sondages électriques et électromagnétiques, de mesures magnétotelluriques à haute et basse fréquence, de mesures de gravité et de profils de sismique, réfraction à faible profondeur et sismologiques en profondeur a permis de déterminer la présence d'une caldera qui ne ressortait pas de manière évidente de la topographie. Des travaux sur le terrain et des datations ont permis de reconstituer le scénario volcanologique, et notamment les événements postérieurs à la formation de la caldera qui déterminent largement les processus de convection hydrothermale. Des géothermomètres ( $\text{SiO}_2$ , Na/K et Ca) ont permis d'évaluer avec une assez bonne précision les températures d'équilibre des eaux de source à 150-160 °C au Nord-Ouest du site dans les roches de socle granitiques. Ces résultats ont été confirmés par des observations hydrogéologiques, les caractéristiques des flux thermiques régionaux et des sondages électromagnétiques qui ont révélé des horizons conducteurs profonds. Ces études ont permis de conclure que l'existence d'un réservoir (de vapeur) à haute enthalpie au Mont-Dore doit être considérée comme peu probable, mais on envisage de creuser un puits d'exploration, à impact scientifique, pour conclure cette approche pluridisciplinaire et vérifier la validité du modèle conceptuel déduite de l'exploration de subsurface.

### **Projet 3 : utilisation des sources d'eau chaude (basse enthalpie)**

**Objectifs :** Etudier tous les aspects théoriques et pratiques de l'exploitation de l'énergie géothermique à basse enthalpie, notamment dans les domaines du chauffage urbain, des procédés industriels et des applications agricoles.

**Résultats :** Du fait que les sources à basse enthalpie sont les plus répandues dans tous les Etats membres, ce domaine occupe dans le programme une place plus large que les sources de vapeur. Le projet englobait la modélisation théorique du comportement des réservoirs géothermiques, la vérification expérimentale, à échelle industrielle de ces modèles et l'étude des problèmes d'exploitation et de gestion des réservoirs. Il convient de noter que les technologies dérivées du pétrole et des eaux souterraines peuvent être appliquées, avec discernement cependant, aux problèmes de basse enthalpie, étant donné que les caractéristiques de gisement (réservoirs sédimentaires) sont les mêmes dans les trois cas.

Un certain nombre de réalisations peuvent être portées à l'actif du projet :

1. Deux contrats portaient sur la conception et l'espacement des deux puits (doublet) utilisés pour extraire le fluide géothermique et le réinjecter après prélèvement de sa chaleur. L'objectif consistait à maximaliser la durée de vie du doublet. Un certain nombre de facteurs tels que la conductibilité thermique des roches de couverture de l'aquifère, ou les effets des modifications de viscosité dues à la température et à la pression ont été étudiés, et il est apparu qu'il était possible d'améliorer la durée de vie du doublet, au prix toutefois d'une réduction de la production de chaleur. Les effets de l'interaction (ou du court-circuit) entre le puits d'injection et le puits d'extraction du doublet ont été analysés, et il a été démontré que des mesures appropriées permettraient d'accroître la durée de vie du système d'exploitation par une circulation d'eau récupérant de façon optimale les calories en place dans la roche. L'influence des défauts d'homogénéité du réservoir a été étudiée, et l'accent doit être mis à présent sur la caractérisation expérimentale de la structure du réservoir pour parvenir à un dimensionnement fiable du système d'exploitation.

2. Quant à l'utilisation, un progrès important a été réalisé en ce qui concerne la combinaison, à première vue attrayante, de sources géothermiques à basse température et de pompes à chaleur. Cette formule a été étudiée à Creil, en France, et il s'est avéré qu'il était possible de faire passer la production de chaleur de 40 à 64 % de la demande. Cependant, l'économie du système est beaucoup moins attrayante, l'amortissement de l'investissement étant de trente ans, si l'on admet un taux d'actualisation de 9 %. Ce résultat est donc incertain, et les possibilités d'application combinée des pompes à chaleur géothermique doivent être examinées avec soin avant tout développement à grande échelle.
3. Le développement d'un convecteur à base température se prêtant à la substitution dans les bâtiments existants offre des perspectives beaucoup plus intéressantes. Ce système permet d'utiliser de l'eau à des températures aussi basses que 50 °C pour le chauffage des locaux ; après une période de mise au point fructueuse, ce prototype est soumis à des essais très poussés sur un échantillon de 30 logements.

### **Projet 4 : utilisation des sources de vapeur**

**Objectifs :** Développer les connaissances de base sur l'exploitation des champs de haute enthalpie, la gestion des réservoirs et les technologies connexes.

- Résultats :**
1. Des formules de boue et de ciment ont été essayées pour des applications à haute température et à haute pression. Ainsi, un ciment API a été mis au point pour être utilisé dans des puits jusqu'à 275 °C et 500 bars.
  2. La sonde industrielle prototype de fond de puits évoquée ci-dessus a été mise au point et a subi avec succès des essais sur le terrain, avec une marge d'erreur inférieure à 1 % pour la pression et à 0,25 % pour la température.
  3. La stimulation des puits secs à Travale, en Italie, consistant à appliquer à la formation candidate des séquences d'injection d'eau cyclique, procédé analogue à la fatigue, a abouti à des résultats controversés. Les spécialistes ont pu augmenter la perméabilité et l'injectivité, mais le mécanisme générateur est sujet à caution. Il est possible que ces améliorations soient dues simplement au nettoyage du trou de forage plutôt qu'à la fracturation de la roche proprement dite.
  4. Des études fondamentales de laboratoire ont été effectuées sur les transferts de chaleur et de masse dans des systèmes diphasiques étudiant la vaporisation in situ consécutive à la réinjection des condensats d'exploitation. Un résultat intéressant a été obtenu en ce qui concerne l'étude paramétrique de la propagation du front de vaporisation.

### **Projet 5 : roches chaudes sèches**

**Objectifs :** Etude de faisabilité de la récupération de chaleur et de la production de puissance à partir des roches chaudes sèches.

L'exploitation des roches chaudes sèches doit être considérée uniquement comme une possibilité à long terme. Si les travaux menés actuellement à faible profondeur sont couronnés de succès et si le système peut prétendre un jour à la viabilité économique, il est certain que le potentiel énergétique de la Communauté à cet égard est considérable. Le principe à la base du système est le concept expérimenté à Los Alamos qui consiste à faire circuler de l'eau à travers une liaison établie à grande profondeur entre deux puits par fracturation de roches cristallines quasi imperméables. Il s'agit donc d'un échangeur de chaleur destiné à récupérer la chaleur des roches jusqu'à des profondeurs de 5 à 6 km.

Des expériences effectuées à une profondeur de 3 000 m au Nouveau Mexique (Valles Caldera) ont montré les nombreux problèmes qui sont posés. Ainsi, une surface de 5 km<sup>2</sup> serait nécessaire pour obtenir une capacité de 50 MWt, ce qui ne peut être obtenu par une seule fissure. Une liaison multiple est donc nécessaire pour relier deux puits. De nombreuses autres difficultés ont surgi en ce qui concerne les techniques de fracturation et les effets de canalisation, qui par l'introduction de cheminements préférentiels réduiraient considérablement la surface d'échange thermique, etc.

Le projet de la Communauté européenne avait pour objet d'étudier la stimulation des roches cristallines à faible profondeur, la liaison de deux puits par une fracture unique et ensuite par des fractures multiples, la mise au point de techniques fiables de cartographie de fractures, les essais de circulation de fluide dans le but d'évaluer l'impédance du circuit et l'efficacité de récupération de chaleur, et finalement l'évaluation de l'impact de ces expériences à faible profondeur avant tout passage à des opérations à plus grande profondeur.

#### Résultats :

1. La « Camborne School of Mines », en Cornouailles (Royaume-Uni), a relié avec succès trois puits en réactivant des fissures existantes qui avaient depuis longtemps été observées dans des carrières et galeries de mines dans les granites de Cornouailles. Le processus de liaison combinait un explosif à faible pouvoir torisant au fond du puits (300 m) pour créer un réseau radial de fissures, soit à une échelle métrique des longueurs atteignant jusqu'à 10 fois le rayon du trou de forage, avec une pressurisation hydraulique destinée à propager ces fissures jusqu'à intersecter les fractures existantes et relier ainsi entre eux les forages.

Cette tentative a été couronnée de succès, et trois puits ont été reliés par au moins trois fractures dont on pense qu'il s'agissait en fait de fractures préexistantes réouvertes par la stimulation. Les fractures sont restées ouvertes, donc autosoutenues, et sont, en outre, verticales, contrairement à ce qu'on pourrait déduire de l'état des contraintes mécaniques à ces profondeurs. Ceci tendrait à prouver que l'état de la fracturation existante (les fissures agissent en effet comme autant de plans de faiblesse) importe autant que le champ actuel des contraintes. Le concept de liaison polyfractures semble ainsi prévaloir dans ce type de roches de socle rigides et préfracturées.

2. L'Institut Français du Pétrole a entrepris des expériences à haute température (200 °C) et à haute pression (200 bars) de lixiviation de roches cristallines prélevées sur des échantillons de roches d'origines diverses. Les solutions hydro-alcooliques de soude paraissent être les agents de lixiviation les plus efficaces pour dissoudre les matériaux tout en limitant par une bonne solubilité les effets de précipitation. Ces travaux sont intéressants, car s'il s'avère qu'il est possible de procéder à des fracturations en profondeur, la lixiviation chimique représenterait un moyen intéressant d'améliorer, tout en assurant leur auto-soutènement, la conductivité des fractures.

### **Le deuxième programme (18 MioECU)**

Se fondant sur l'expérience acquise grâce au premier programme, le deuxième programme s'infléchit dans une direction légèrement différente. L'un de ses aspects importants reste l'évaluation aussi précise que possible des ressources totales et des réserves récupérables des Etats de la Communauté. L'exploration se poursuit sur une base essentiellement régionale. Les régions des Etats membres qui méritent des études plus détaillées ont été déterminées et ces études sont en cours, l'objectif final étant le forage d'un puits d'exploration. Les recherches se poursuivent en ce qui concerne l'exploration détaillée, les études de faisabilité et les aspects économiques de l'énergie géothermique, mais les recherches fondamentales continueront à fournir la base scientifique de ces projets.

Dans cette optique nouvelle, le nombre de domaines étudiés a été ramené à quatre suivant une classification légèrement différente :

- Explorations géologiques, géophysiques et géochimiques intégrées dans des régions sélectionnées.
- Problèmes liés à l'exploitation des ressources hydrothermiques naturelles au niveau du sous-sol.
- Problèmes liés à l'utilisation des ressources hydrothermiques naturelles en surface.
- Roches chaudes sèches.

## **ANALYSE DE SYSTÈMES ÉNERGÉTIQUES ET ÉTUDES DE STRATÉGIES**

L'approvisionnement en énergie d'un système économique aussi diversifié que la Communauté européenne est une tâche extrêmement complexe qui exige la prise d'une multitude de décisions d'ordre pratique, mais aussi politique. Assurer pour l'avenir un approvisionnement adéquat en énergie, compte tenu de nombreuses incertitudes qui subsistent à propos des disponibilités de combustible, du comportement des consommateurs et de la politique d'approvisionnement, est une tâche encore plus difficile, et les décisions prises aujourd'hui auront des conséquences d'une portée incalculable.

Pour pouvoir choisir d'une manière judicieuse entre les diverses options possibles, il est essentiel d'aborder ce système très complexe de façon pratique pour pouvoir évaluer les conséquences de certaines décisions hypothétiques.

C'est le rôle de l'Analyse de Systèmes Energétiques telle que nous l'entendons. Un très grand nombre de facteurs doivent être pris en considération dans l'exploration de la demande future d'énergie et des possibilités d'approvisionnement, leurs interrelations sont en effet très complexes et varient en outre en fonction du temps. Si l'on ajoute à cela le fait que des périodes de crise peuvent aggraver ou exagérer certains des facteurs, il s'avère que les modèles mathématiques sont un instrument essentiel permettant de décrire l'évolution du système, et que l'utilisation d'ordinateurs s'impose pour traiter la quantité énorme de données qui entrent en jeu. En principe, de tels modèles devraient tenir compte de facteurs physiques, techniques, économiques, sociologiques et psychologiques, puisque tous contribuent à déterminer le comportement final du système. En pratique, cependant, seule une partie de chaque groupe de facteurs peut être retenue, et d'autres aspects doivent être simplement approchés, ou même écartés.

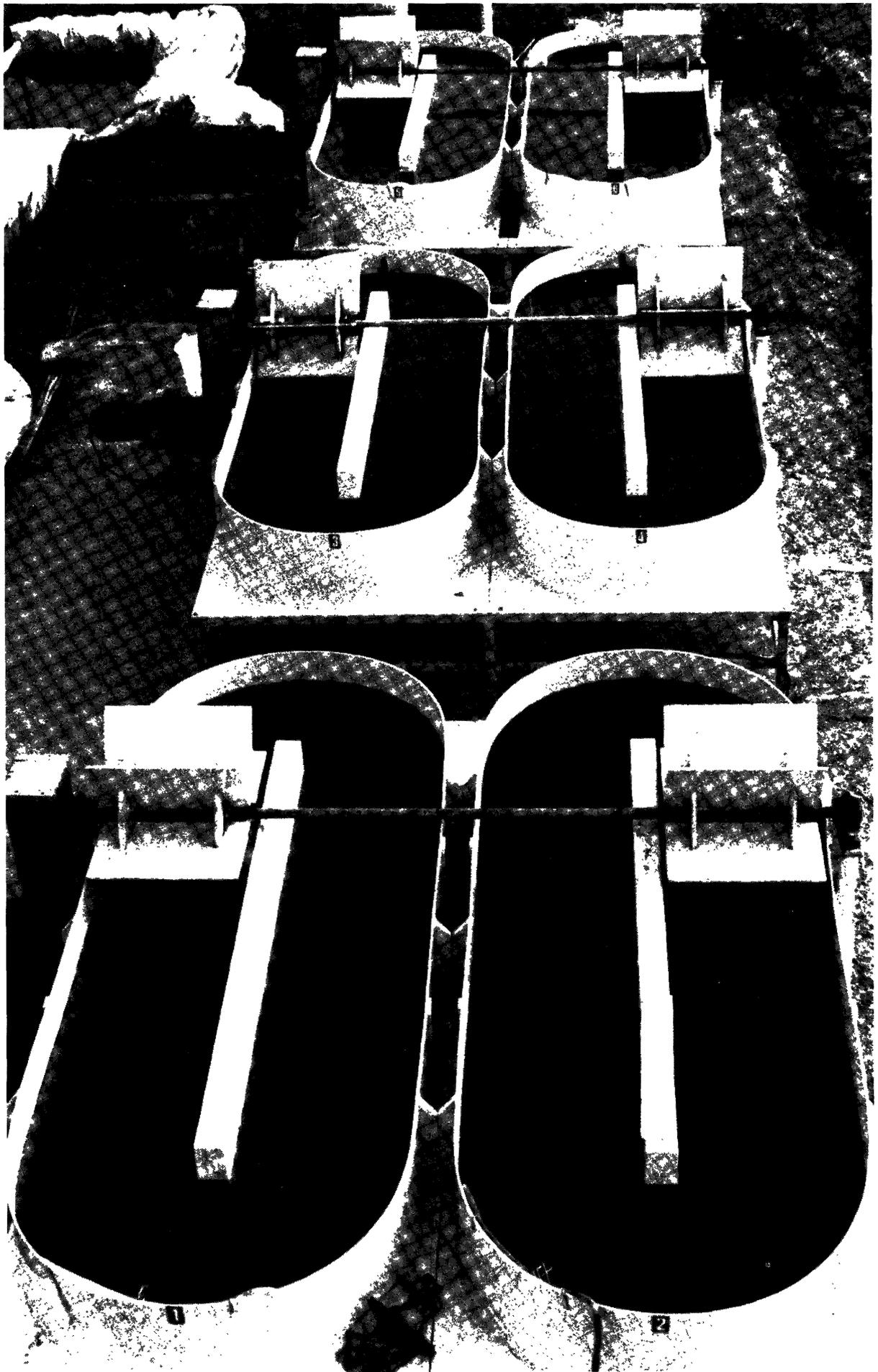
Le sous-programme d'Analyses de Systèmes Energétiques de la Communauté européenne a été élaboré afin de permettre de traiter les problèmes énergétiques à moyen et à long terme sur une base scientifique au niveau de la Communauté. La Communauté y est considérée comme un groupe d'économies nationales où les interactions économiques sont très poussées plutôt que comme un ensemble économique ou une série d'entités indépendantes. Le modèle de la Communauté est donc un modèle multinational constitué à partir de modèles nationaux avec des interactions très fortes et la représentation du reste du monde. Les liens avec lui sont simplifiés, encore que la Communauté représente une unité géographique et économique de dimensions suffisantes pour que cette comparaison à l'échelon mondial soit significative.

Si le premier objectif du sous-programme consiste à s'efforcer de clarifier le système de l'offre et de la demande d'énergie de la Communauté européenne, deux autres utilisations sont également envisagées : en effet, le système peut aider à définir une politique énergétique à long terme et contribuer à déterminer les domaines prioritaires de R & D et à développer une stratégie de R & D dans le domaine de l'énergie.

Compte tenu de ces objectifs, la décision d'élaborer un modèle du système énergétique de la Communauté européenne a été prise à un moment où de telles modélisations en étaient encore à leur début. Considérant alors que la Communauté ne disposait dans ce domaine que d'une expérience assez limitée et inégalement répartie, les responsables ont estimé qu'il fallait encourager résolument la création d'un groupe européen d'experts, peu nombreux mais étroitement unis. Ce groupe devait être constitué de petits sous-groupes nationaux auxquels la Commission apporterait son concours en participant aux travaux de développement des programmes informatiques, de validation des données et de représentation du système global. Les travaux seraient répartis entre les différents sous-groupes, la coordination étant assurée par le CCMGP. Les responsables ont également décidé de se fonder dans toute la mesure du possible sur l'expérience existant au niveau national.

La modélisation d'un système énergétique présente deux aspects, l'offre et la demande. Idéalement, l'ensemble du système devrait être traité comme un tout, mais on peut admettre que l'offre et la demande sont séparées et que l'offre peut toujours être adaptée à la demande plutôt que le contraire. En ce qui concerne la modélisation de l'offre, on a choisi une méthode technique plutôt qu'économique, qui donne une image réaliste du système de fourniture d'énergie. En d'autres termes, c'est un mode d'analyse de système classique qui introduit des paramètres fondamentalement technologiques pour l'analyse des possibilités d'approvisionnement et celle de la pénétration des nouvelles technologies. Le seul paramètre économique qui apparaisse ici est le coût, qui déterminera le caractère compétitif d'une technologie donnée.

Il convient à cet égard de clarifier un certain nombre de définitions. En termes d'analyse énergétique, il importe de faire une distinction très nette entre, par exemple, le combustible consommé par une centrale électrique, l'électricité et la chaleur utilisable qu'elle produit et la contribution utile finalement obtenue par le consommateur. Nous avons donc adopté les définitions suivantes :



Culture d'algues en Calabre (GSUF, Allemagne Fédérale).

Energie primaire : le contenu énergétique du combustible initial ou d'une autre source d'énergie.  
Energie finale : le contenu énergétique du combustible ou d'une autre forme d'énergie après les processus de conversion tels que le raffinage du pétrole ou la production d'électricité.  
Energie utile : le contenu énergétique de l'application utile de l'énergie. Il peut s'agir du besoin de chaleur, du nombre de kilomètres parcourus par an ou de la production de tonnes de ciment dans les secteurs industriels à haute consommation d'énergie.

Cela étant posé, on peut définir des facteurs de conversion pour exprimer les relations qui existent entre les quantités correspondantes de différentes catégories. C'est précisément à cela que servent les modèles d'approvisionnement en énergie qui définissent les caractéristiques technologiques des industries d'approvisionnement, de conversion et de distribution pour en déduire les besoins d'énergie primaire à partir d'une demande d'énergie utile et finale.

L'autre partie du modèle énergétique est la demande en énergie. Cet aspect peut être abordé soit par des méthodes économétriques, avec un horizon maximal d'une dizaine d'années, soit par des méthodes de scénario, moins limitées dans le temps. Les modèles économétriques se fondent essentiellement sur l'expérience historique et les tendances récentes pour établir le futur probable. La validité de ces méthodes est donc limitée au court ou au moyen terme. Les hypothèses faites dans les méthodes de scénario concernent la situation les attitudes, les politiques, les technologies, etc., qui pourront être réunies à un moment donné, et sont alors traduites en besoins d'énergie utile et finale. Si ces modèles ont un horizon temporel moins limité, il est aussi évident que leur valeur dépend essentiellement de la qualité des hypothèses sur lesquelles ils se fondent. Les deux méthodes sont appliquées dans le programme de la Communauté européenne.

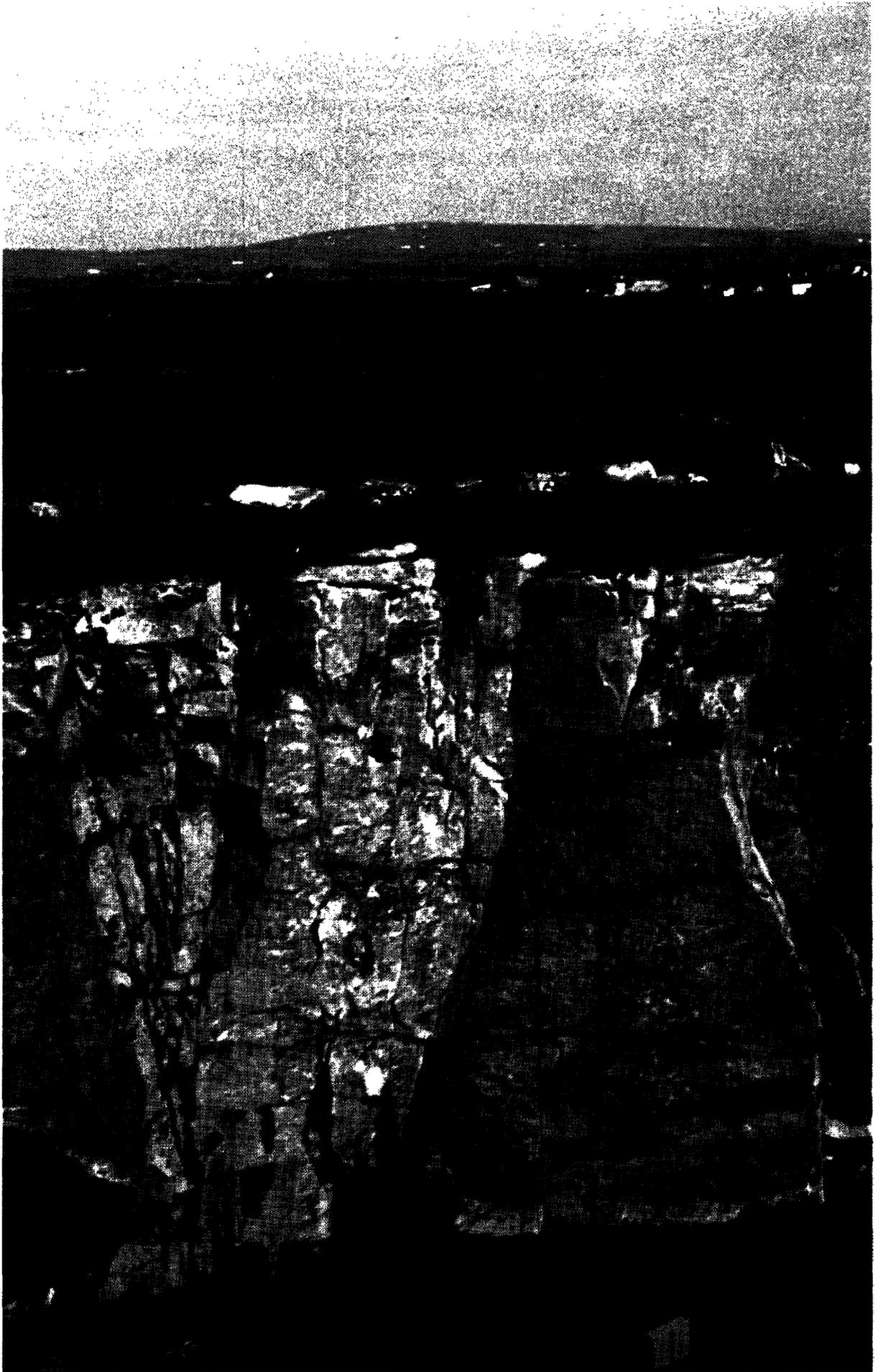
## **Résumé et résultats du premier programme (3,88 MioECU)**

**Objectif :** Mieux comprendre le système global de l'offre et de la demande d'énergie dans la Communauté et contribuer ainsi à formuler des politiques plus rationnelles en matière d'énergie et en matière de recherche, de développement et de démonstration dans ce domaine.

- Pour atteindre cet objectif, la Communauté s'est assigné trois tâches :
1. Effectuer une analyse des systèmes énergétiques nationaux et communautaire.
  2. Développer des instruments adéquats (ou adapter les instruments existants), c'est-à-dire les modèles mathématiques servant à décrire ces systèmes.
  3. Démontrer que les instruments sont adéquats, c'est-à-dire entreprendre des études de cas expérimentales.

**Résultats :**

1. Un groupe européen actif d'experts est à présent constitué.
2. Un modèle de flux d'énergie de programmation linéaire EFOM a été construit ; il développe, pour un pays donné, l'infrastructure optimale d'approvisionnement en énergie qui permet de satisfaire les besoins en respectant divers critères, notamment un coût minimal. Les besoins comprennent des facteurs tels que le transport, la production de produits à consommation élevée d'énergie comme l'acier, le ciment, le papier, etc. Ce modèle permet de traduire la demande de tels services (énergie utile) d'abord en consommation d'énergies finales (dans laquelle les matériaux comme le ciment et l'acier sont traduits en leurs équivalents et besoins en énergie, par exemple en tonnes de charbon, etc.) et ensuite en demande d'énergie primaire qui doit être satisfaite pour la fourniture de combustible.  
L'intérêt de ce modèle réside dans le fait que, si les besoins d'énergie d'une communauté sont définis (même en tonnes de ciment), la composition optimale des combustibles nécessaires pour répondre à ces besoins peut être déterminée quelles que soient les contraintes de conversion envisagées.

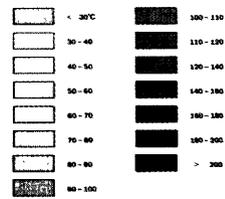


Carrière de la Camborne School of Mines indiquant la fissuration importante du granit.

Commission of the European Communities  
Directorate General for Research, Science and Education

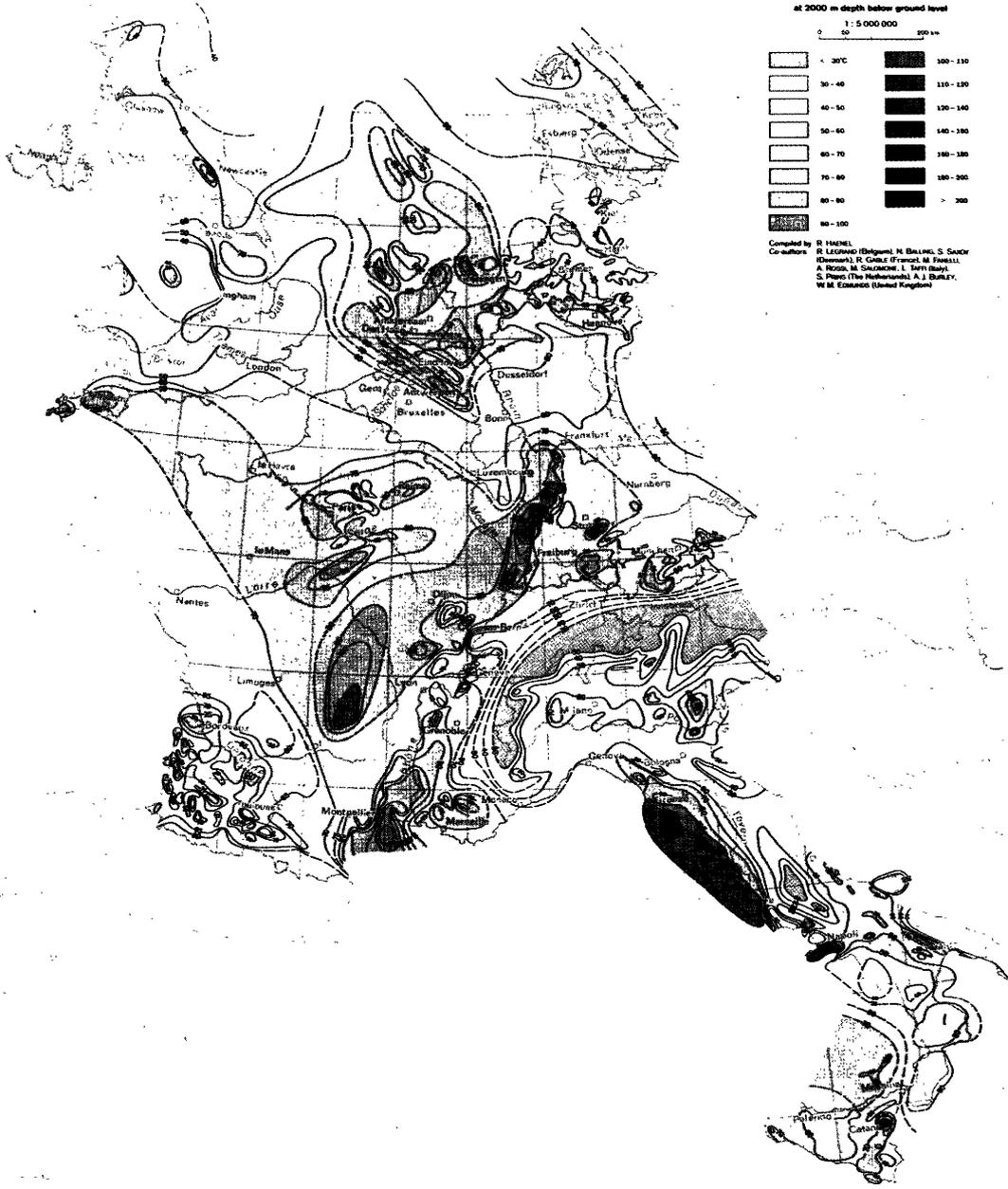
**MAP  
OF  
TEMPERATURE DISTRIBUTION  
in the  
EUROPEAN COMMUNITY  
at 2000 m depth below ground level**

1 : 5 000 000



Compiled by  
Co-authors

R. YANDEL  
R. LEONARD (Belgium), N. BILLING, S. SANDY  
(Denmark), R. GIBBLE (France), M. FINELLI  
(Italy), M. CAUCONNE, I. JEFFREY,  
S. DEWES (The Netherlands), A. J. BURLEY,  
W. M. ECKHART (United Kingdom)



Carte de l'atlas des températures de sous-sol de la Communauté européenne (CCE, Bruxelles).

3. Le modèle MEDEE qui est fondé sur un scénario et vise à prévoir la demande d'énergie finale à partir de certains facteurs sociaux, technologiques et autres, a été mis au point et testé. Il simule l'évolution de différents facteurs (établis historiquement) qui déterminent la demande d'énergie et calcule la demande correspondante d'énergie utile ou finale tous les cinq ans. Les programmes sont terminés et ont été appliqués à la plupart des pays de la Communauté européenne.
4. Des modèles économétriques de projection de la demande d'énergie à court et à moyen terme ont été mis au point et testés ; ils se composent des trois éléments ci-après :

EURECA, un modèle macro-économique dans lequel l'énergie est intégrée dans une fonction de production type Cobb-Douglass. Ce modèle a été mis au point sous forme d'une série de modèles nationaux avec un bloc de liaison pour tenir compte des interactions entre les économies des Etats membres.

EXPLOR, qui prend en considération les diverses composantes du P.I.B., calculées dans EURECA, et détermine l'activité économique sectorielle.

EDM, qui à partir de l'activité économique des secteurs économiques et des prix de l'énergie détermine la demande en énergies finales sur la base d'équations de demandes estimées avec des valeurs historiques. En fait, deux versions différentes d'EDM sont utilisées avec deux fonctions de comportement différentes.

Les divers modèles économétriques développés dans le cadre de ce sous-programme fonctionnent, mais certaines difficultés, dues aux solutions de continuité dans les tendances historiques, ont été décelées grâce aux études de cas expérimentales. Il a notamment fallu réestimer certaines équations pour les faire mieux correspondre aux données récentes. Il s'agit d'une procédure difficile pour les petits pays, parce que les statistiques économiques ne sont pas toutes disponibles sous la même forme.

## **Le deuxième programme (6 millions d'ECUS)**

Le deuxième programme avait pour objectifs de rendre les modèles totalement opérationnels, en remédiant aux disparités des données évoquées ci-dessus, et d'entreprendre des recherches sur de nouveaux modèles. Ces deux activités sont actuellement en cours et les résultats essentiels sont, en ce qui concerne la demande, la révision des équations et l'adaptation des données, et en ce qui concerne l'offre, l'harmonisation des données entre les pays. Ainsi, la voie est à présent ouverte pour achever les essais du modèle multinational et terminer les études de cas expérimentales.

Dans les nouveaux domaines de recherche, les travaux entrepris englobent le développement d'un nouvel instrument permettant de mieux évaluer les relations entre l'évolution à moyen terme et les besoins spécifiques d'énergie des principaux secteurs des économies européennes, des études exploratoires visant à déterminer les priorités dans le domaine de R & D en matière énergétique et des études de modélisation de l'énergie à l'échelon mondial à réaliser en coopération.

## CONCLUSIONS

Il ressort de sections précédentes que le premier programme de R et D dans le domaine de l'énergie a permis de remporter de nombreux succès sur bien des aspects de l'évolution des techniques et équipements nouveaux, de mieux connaître les systèmes énergétiques et les processus qu'ils impliquent et de fixer des objectifs définitifs pour les activités futures de R & D. Il convient en particulier de souligner le nouveau climat européen de R & D qui s'est instauré grâce à la coopération étroite entre laboratoires universitaires et industriels dans tous les Etats membres. Il est d'ailleurs significatif que cette coopération se soit développée dans une mesure qui excède largement les contrats et engagements financiers proprement dits des programmes de R & D de la Communauté. Ces programmes et les contacts auxquels ils ont donné lieu ont en effet encouragé la coopération dans des domaines qui sortent même du cadre des programmes. Une certaine forme de coordination indirecte de la recherche dans la Communauté a également été créée par la publicité donnée aux programmes et ses effets sur les différents programmes nationaux.

Le succès du premier programme apparaît dans les rapports de l'équipe chargée de l'évaluation de la recherche concernant l'énergie (EERE) qui a reçu de la Commission mandat d'examiner et d'évaluer les résultats du programme de R & D dans le domaine de l'énergie. Son rapport sur les sous-programmes « Economie de l'énergie » et « Energie solaire » (rapport EUR 6902 EN, 1980) a déjà été publié et il nous paraît utile, pour terminer le présent rapport, de citer un extrait de la conclusion de ce document :

« Les sous-programmes "Economie de l'énergie" et "Energie solaire" du premier programme de R & D dans le domaine de l'énergie peuvent être qualifiés de très réussis, compte tenu de leur nouveauté et du cadre dans lequel ils se sont déroulés. En outre, une grande partie des recommandations formulées par l'EERE ont également été faites — ou sont en train de l'être — indépendamment par la Commission.

...  
...

Il est trop tôt pour évaluer leur impact réel ou potentiel sur la situation énergétique de l'Europe. Les premiers résultats arrivent encore, et même lorsqu'ils font état d'applications à court terme, la probabilité et la rapidité de leur pénétration sur le marché restent à démontrer. D'autres résultats, bien que très prometteurs, ont trait à des perspectives à plus long terme dont l'application pratique prendra plusieurs années. Cependant, des exemples précis de résultats qui devraient porter leurs fruits sur le plan des économies d'énergie ou de l'utilisation des sources renouvelables ont été présentés.

La coopération européenne est un aspect important du programme et, aux yeux de l'EERE, un objectif en soi. De bons exemples de coopération ont été définis dans le cadre du sous-programme « Economie de l'énergie » comme du sous-programme "Energie solaire". Les réunions périodiques entre contractants s'occupant de thèmes apparentés constituent un moyen très efficace de stimuler la collaboration internationale et la coordination des efforts. Ce moyen et d'autres devraient rehausser les aspects internationaux du programme de l'énergie.

La collaboration avec les industries, les établissements de recherche et les universités a été réalisée dans plusieurs cas et devrait être poursuivie activement vu son importance pour la diffusion et la mise en œuvre des résultats. »

Le deuxième rapport EERE, consacré aux trois autres sous-programmes, est terminé et en cours de publication. On sait déjà que ses conclusions sont tout aussi positives et constructives.

## ANNEXE I

### Conférences et publications relatives au premier programme de R & D dans le domaine de l'énergie

<b>Conférences</b>	<b>Actes publiés par :</b>
1. First Photovoltaic Solar Energy Conference, Luxembourg, Sept. 1977	D. Reidel, Dordrecht (1978) EUR 5913 EN ISBN 90-277-0889-4
2. Seminar on Geothermal Energy Brussels, Dec. 1977	EEC, DG XIII, Luxembourg (1978) EUR 5920 EN
3. Workshop on Concentrators for Solar Energy Applications, Louvain, Belgium, Sept. 1978	
4. Hydrogen as an Energy Vector Brussels, October 1978	EEC, DG XIII, Luxembourg (1978) EUR 6085 EN
5. Solar Energy for Development Varese, March 1979  L'Energie solaire au Service du Développement Varese, Mars 1979	Martinus Nijhoff, The Hague (1979) EUR 6377 EN, FR ISBN 90-247-2239 Technique et Documentation, 11, rue Lavoisier, Paris (1980) ISBN 2-85206-047-4
6. Second E.C. Photovoltaic Solar Energy Conference, Berlin, April 1979	D. Reidel, Dordrecht (1979) EUR 6376 EN ISBN 90-277-1021-X
7. New Ways to save Energy Brussels, October 1979	D. Reidel, Dordrecht (1980) EUR 6660 EN ISBN 90-277-1078-3
8. Energy Systems Analysis Dublin, October 1979	D. Reidel, Dordrecht (1980) EUR 6763 EN ISBN 90-277-1111-9
9. Hydrogen as an Energy Vector Brussels, February 1980	D. Reidel, Dordrecht (1980) EUR 6783 EN ISBN 90-277-1124-0
10. Advances in European Geothermal Research, Strasbourg, March 1980	D. Reidel, Dordrecht (1980) EUR 6862 EN ISBN 90-277-1138-0
11. Non-Technical Obstacles to the Use of Solar Energy, Brussels, May 1980	Harwood Academic Publishers, Chur (1980) EUR 7003 EN
12. Third E.C. Photovoltaic Solar Energy Conference, Cannes, October 1980	D. Reidel, Dordrecht (1981) EUR 7089 EN ISBN 90-277-1230-1
13. Energy from Biomass Brighton, November 1980	Applied Science Publishers Ltd. London (1981) EUR 7091 EN ISBN 0-85334-970-3
14. Workshop on Medium Sized Photovoltaic Systems, Sophia Antipolis, 1980	D. Reidel, Dordrecht (1981) EUR 7090 EN ISBN 90-277-1279-4

## Autres publications

1. Energy Research and Development Programme Status Report, Martinus Nijhoff. The Hague (1977) ISBN 90-247-2059-1.
2. Energy Research and Development Programme, Second Status Report (1975-79) Martinus Nijhoff, The Hague (1979) ISBN 90-247-2220-9.
3. Energy Models for the European Community, A. Strub (Ed.) IPC Science and Technology Press Ltd. Guildford (1979) ISBN 0-86103-011-7.
4. Crucial Choices for the Energy Transition. CEC, EUR 6610 EN (1980).
5. Atlas of Subsurface Temperatures in the European Community, Th Schäfer GmbH, Tivolistrasse 4, D.3000 Hannover, EUR 6578 EN.
6. European Solar Radiation Atlas, W. Palz (Ed.), W. Grösschen Verlag, Dortmund (1980) ISBN 3-8057-0063-7 EUR 6577 DA, DE, EN, FR, IT, NL.
7. La biomasse : ressources et perspectives d'avenir dans la communauté européenne, W. Palz et P. Chartier. Editions du Moniteur, Paris (1982).  
Energy from Biomass in Europe, W. Palz and P. Chartier (Eds.), Applied Science Publishers, Barking (1980), ISBN 0-85334-934-7.
8. L'Énergie Solaire au Service du Développement, Technique and Documentation, 11, rue Lavoisier, Paris (1980), ISBN 2-85206-047-4.
9. Solar Houses in Europe, W. Palz and T.C. Steemers (Eds.) Pergamon, Oxford (1981) ISBN 0-08-026744-2.
10. Passive Solar Architecture in Europe, Results of the First European Passive Solar Competition, Ralph Lebens (Ed.) Architectural Press, London (July 1981).

Publié par :

**CEP Edition (Éditions du Moniteur)**  
17, rue d'Uzès, 75002 Paris

pour la Commission des Communautés européennes, Direction générale Marché de l'Information et Innovation, Luxembourg.  
EUR 7320 EN, FR

© CECA, CEE, CEEA, Bruxelles-Luxembourg, 1982.

**ISBN 2-287-11066-4**

« Toute représentation ou reproduction, intégrale ou partielle, faite sans le consentement de l'auteur, ou de ses ayants-droit, ou ayants-cause, est illicite (loi du 11 mars 1957, alinéa 1<sup>er</sup> de l'article 40). Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait une contrefaçon sanctionnée par les articles 425 et suivants du Code pénal. La loi du 11 mars 1957 n'autorise, aux termes des alinéas 2 et 3 de l'article 41, que les copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective d'une part, et, d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans un but d'exemple et d'illustration. »

#### AVERTISSEMENT

La Commission des Communautés européennes et ses services ne sont pas responsables de l'emploi qui serait fait des informations contenues dans le présent ouvrage.

Imprimerie Alençonnaise, rue Edouard-Belin, 61002 ALENÇON  
N° d'ordre : 97888 - Dépôt légal : 2<sup>e</sup> trimestre 1982

Économies de l'énergie, production et utilisation de l'hydrogène, énergie solaire, énergie géothermique, analyse des systèmes et études de stratégies dans le domaine de l'énergie, tels sont les cinq sous-programmes sur lesquels ont porté les études de recherche et développement du «premier programme énergétique de la Communauté européenne».

Pour chacun d'eux, on trouvera dans ce document une brève introduction, une définition des domaines d'études et des projets, les résultats obtenus, ainsi que les objectifs du «deuxième programme».

Ainsi pourront être appréciés les travaux réalisés par les experts européens et les perspectives d'avenir dans le domaine des énergies renouvelables et des économies d'énergie.

---

AUTRE LIVRE DE LA COMMISSION DES COMMUNAUTÉS EUROPÉENNES

La Biomasse : ressources et perspectives d'avenir dans la Communauté européenne.

W. Palz et Ph. Chartier - Editions du Moniteur