

L'augmentation du prix des combustibles fossiles au cours des dernières années et la conscience croissante des problèmes de pollution liés à certains procédés de production d'énergie utile ont incité les chercheurs à étudier les moyens d'améliorer le bilan énergétique non seulement des industries et des services, mais encore des ménages. Cette amélioration intéresse entre autres nos pays industrialisés, dans lesquels les bâtiments, notamment d'habitation, participent de façon majeure à la consommation globale d'énergie. Une telle amélioration peut être obtenue, certes, par une réduction de la consommation; mais il y a lieu en outre, dans cette consommation réduite, de substituer, autant que possible, aux énergies fossiles, qui renchérissent, polluent et s'épuisent, des énergies propres et inépuisables, telles que l'énergie solaire, soit rayonnée directement, soit emmagasinée dans le sol.

L'intérêt reconnu aujourd'hui à l'analyse des systèmes pour le traitement des problèmes pratiques suggère de considérer le foyer domestique comme un système énergétique, en interaction bien entendu avec les systèmes plus vastes dans lesquels il s'intègre, mais suffisamment autonome pour qu'une optimisation à son niveau ait un sens.

Un laboratoire de recherche (1), qui a déjà consacré en France un effort soutenu à la conversion photoélectrique de l'énergie solaire, a effectué en Allemagne une étude approfondie sur l'optimisation du système énergétique constitué par un bâtiment d'habitation et son environnement hélio-terrestre.

Une telle optimisation implique que soient prises les mesures suivantes, par ordre de priorité :

- réduction des pertes de chaleur liées au bâtiment lui-même, qui dans nos régions doit être maintenu pendant une partie importante de l'année à une température plus élevée que celle du milieu extérieur;

- récupération de la chaleur encore présente dans les eaux et dans l'air qui doivent être évacués;

- apport d'énergies de remplacement économiquement et écologiquement favorables, ici l'énergie solaire et l'énergie thermique emmagasinée dans le sol;

- développement d'un système énergétique intégré au niveau du bâtiment, combinant au mieux l'emploi des énergies de remplacement avec une dépense réduite en énergies de forme classique.

On peut ne retenir qu'une partie seulement de ces mesures ; l'étude a montré que dans ce cas aussi l'ordre de priorité devait être respecté.

#### Une maison expérimentale

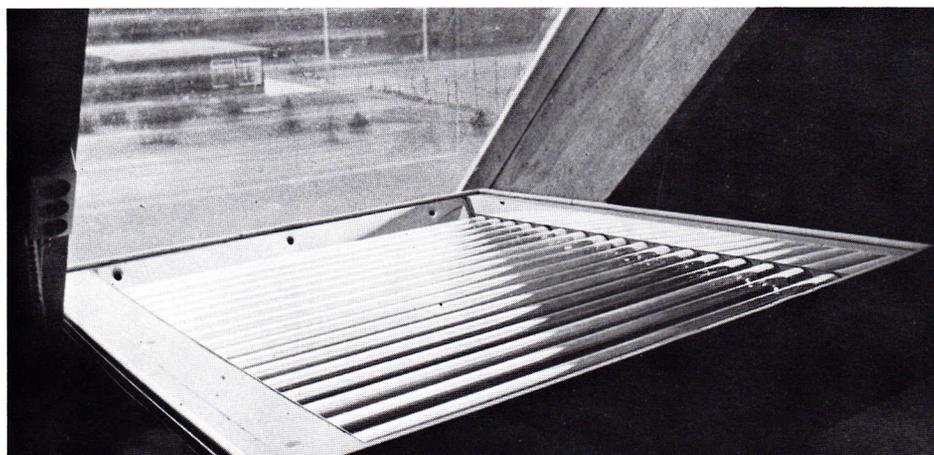
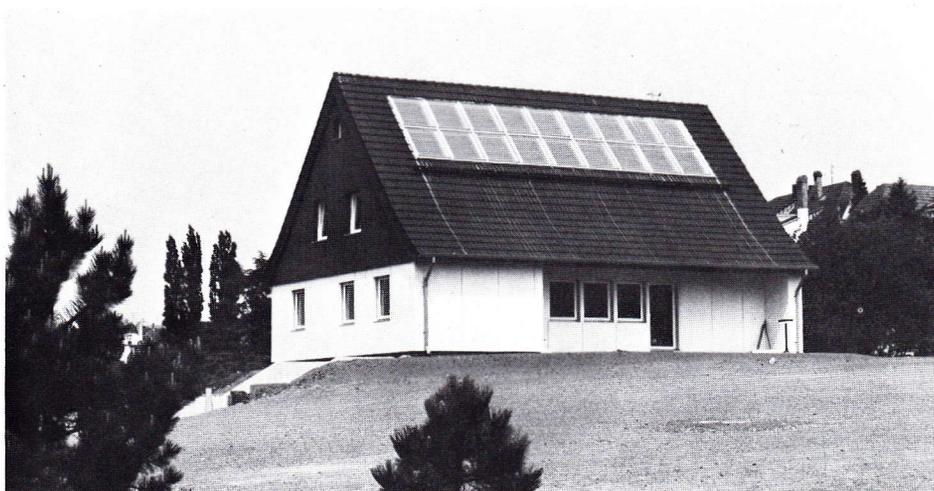
Cette étude s'est matérialisée par la construction sur le terrain même du Laboratoire, d'une maison expérimentale ou « maison solaire », dont les dimensions, l'équipement et la consommation d'énergie correspondent à une famille moyenne de quatre personnes. Elle permet d'expérimenter méthodiquement l'effet de toutes les mesures indiquées précédemment.

Le besoin en énergie de chauffage est réduit par renforcement de l'isolation thermique des murs, sols et toits, par diminution des pertes dues à l'aération incontrôlée et par emploi de fenêtres à faible transmission thermique. Cette réduction ramène

(1) Laboratoire Philips à Aix la Chapelle, avec le soutien du Ministère pour la Recherche et la Technologie de la R.F.A.

## Utilisation domestique des énergies solaire et terrestre

C. Ducot, Laboratoire d'Électronique et de Physique appliquée.



1 - La maison expérimentale d'Aix-la-Chapelle (R.F.A.).

2 - L'un des 18 panneaux de collecteurs, rabattu ici vers l'intérieur.

la consommation d'énergie pour le chauffage à environ 8,3 MWh par an (à savoir 6,3 pour compenser les pertes par conduction et 2 pour compenser les pertes par l'aération), soit environ, à dimensions égales, six fois moins que pour une maison ordinaire et trois fois moins que pour une maison dite « à protection thermique totale » de type connu.

Le besoin restant en énergie de chauffage, soit 8,3 MWh/an, peut être couvert par l'énergie solaire directe et/ou par la chaleur reçue du soleil et emmagasinée dans le sol. A cet effet, on a disposé sur une surface de 20 m<sup>2</sup> du toit de la maison solaire un réseau de 324 collecteurs groupés et 18 panneaux qui transforment l'énergie solaire incidente en chaleur « à basse température » (jusqu'à 95 °C). Cette énergie est stockée dans un réservoir contenant 42 m<sup>3</sup> d'eau. L'énergie ainsi emmagasinée pendant la période médiane chaude de l'année, soit 10 à 12 MWh, suffit à assurer tout le chauffage de la maison.

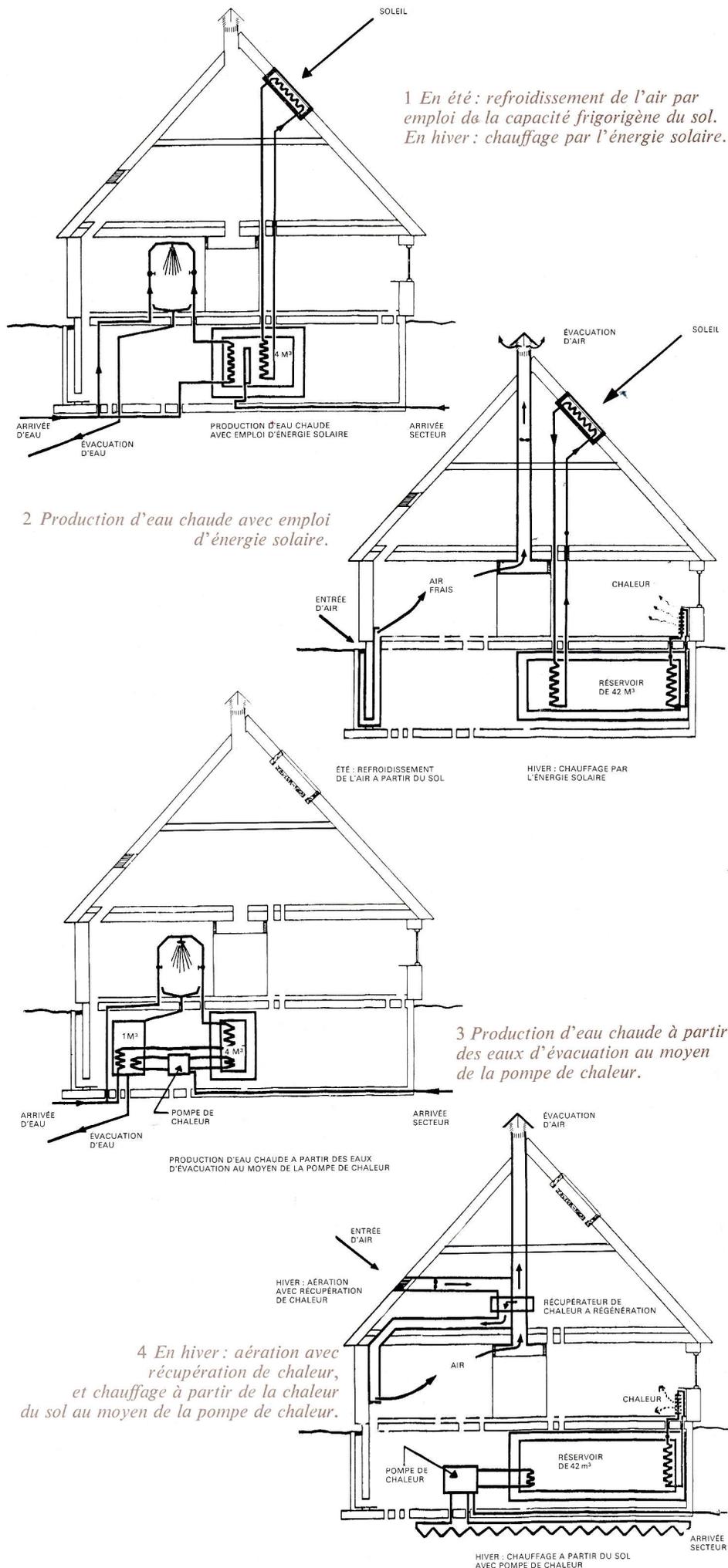
Cet accumulateur « annuel » de chaleur a été choisi pour permettre d'étudier le comportement des collecteurs solaires en fonction d'un stockage à longue durée. On peut envisager des solutions plus économiques, mettant en œuvre d'autres principes pour l'accumulation de chaleur, si cette accumulation porte sur une période plus courte que l'année.

Les autres besoins énergétiques de la maison, soit 6,9 MWh/an ordinairement couverts par l'électricité, peuvent se diviser en deux parties : 4 MWh/an pour le chauffage de l'eau d'usage, et 2,9 MWh/an pour le séchage du linge, le réfrigérateur, le congélateur, l'éclairage, le récepteur de télévision... La première partie peut être ramenée au quart de sa valeur, soit 1 MWh/an, par récupération de la chaleur encore présente dans les eaux d'évacuation. La seconde partie restant inchangée, les 6,9 MWh/an de consommation électrique non liés au chauffage des lieux se trouvent réduits à 3,9 MWh/an, soit presque de moitié.

### Des collecteurs efficaces d'énergie solaire

Les collecteurs solaires sont constitués par des cylindres horizontaux disposés sur la partie équipée (20 m<sup>2</sup>) d'un toit orienté vers le sud sous une inclinaison de 48°. Chaque collecteur comporte une paroi extérieure cylindrique dont la partie tournée vers le ciel, portant une couche d'oxyde d'indium, est transparente à 85 % à la lumière solaire et réfléchit à 90 % la chaleur rerayonnée, et dont la partie opposée est couverte d'un miroir réfléchissant vers l'intérieur du cylindre. Le vide a été fait dans celui-ci, qui contient en outre deux tuyaux cylindriques plus petits, d'axes parallèles à celui du premier, enduits extérieurement d'une couche noire absorbante et dans lesquels circule l'eau destinée à transporter l'énergie thermique vers le réservoir de stockage.

Cette disposition permet de collecter encore très efficacement l'énergie solaire sous forme thermique, même lorsque le ciel est couvert et lorsque l'eau qui circule dans les tuyaux est à température relativement élevée. Le tableau suivant montre les résultats de mesures expérimentales faites avec une température de l'eau supérieure de 50 °C à la température extérieure :



Conditions climatiques	Rayonnement incident (W/m <sup>2</sup> )	Rendement en %	
		Collecteur plat sélectif	Collecteur choisi
Ciel clair sans nuages	800	53	61
Ciel légèrement nuageux	600	46	58
Ciel légèrement couvert	300	17	45
Ciel totalement couvert	150	0	20

De tels collecteurs peuvent d'ailleurs être utilisés aussi avantageusement sous les climats d'Europe centrale pour fournir de l'eau chaude que sous les climats méridionaux pour actionner des réfrigérateurs.

### Utiliser la chaleur emmagasinée dans le sol

La maison expérimentale fait usage de l'énergie emmagasinée dans le sol sous forme thermique à des fins de chauffage et de réfrigération.

Pour cela on a installé sous le sol de la cave, qui a une surface de 150 m<sup>2</sup>, un échangeur de chaleur comportant 120 m de tube en matière plastique. Une pompe de chaleur, dont le facteur de puissance est voisin de 3, peut, en dépendant seulement 1,2 kW de puissance électrique et en extrayant des calories du sol à 7 °C, fournir 3,5 kW sous forme thermique au réservoir d'eau chaude à 50°C. C'est cette même pompe qui sert à récupérer la chaleur des eaux d'évacuation.

Dans les conditions locales de l'expérience (Aix-la-Chapelle), tout le chauffage de la maison peut être assuré par cette source. Pendant l'été, l'air frais nécessaire au rafraîchissement de la maison est obtenu par aspiration à travers les conduits d'une paroi échangeuse de 65 m<sup>2</sup> doublant une partie du mur de la cave; il est ainsi refroidi à 18 °C et assure dans la maison une température inférieure à 24 °C.

### Le système central de distribution d'énergie

A l'exception de la centrale de climatisation à régénérateur (« Econovent »), qui est de type classique et se trouve à l'étage sous les combles, le système de distribution d'énergie est concentré à la cave, où il comporte :

- le réservoir de 42 m<sup>3</sup> pour stockage de chaleur de longue durée, protégé par 25 cm de matière isolante, fonctionnant entre 5 °C et 95 °C et mis en rapport avec le collecteur solaire par un échangeur de 12 kW;
- le réservoir de chauffage et d'eau chaude, de 4 m<sup>3</sup>, protégé par 25 cm de matière isolante, fonctionnant entre 45 °C et 55 °C, relié au collecteur solaire et à un chauffe-eau électrique par un échangeur de 4 kW, et pouvant fournir 28 kW sous forme d'eau chaude;
- le réservoir de récupération de la chaleur des eaux d'évacuation, de 1 m<sup>3</sup>, protégé par 10 cm de matière isolante et muni d'un échangeur de 7 kW pour préchauffage de l'eau fraîche;
- la pompe de chaleur (1,2-3,5 kW);
- le réfrigérateur-congélateur (0,5 kW).

La centrale de climatisation permet d'introduire ou d'évacuer de 300 à 600 m<sup>3</sup>/h. La récupération de chaleur sur l'air évacué se fait à 90 %.

Les quatre figures schématiques ci-contre indiquent divers modes d'utilisation possibles avec le système décrit :

### Expérimentation et analyse du système

La variété des modes possibles d'utilisation assure une grande souplesse dans l'expérimentation. Les combinaisons jugées intéressantes des diverses formes d'énergie entrant en jeu et des divers composants du système peuvent être étudiées en détail et donner lieu à l'élaboration de « stratégies » optimales.

Cette étude est facilitée par l'emploi d'un équipement informatique comportant deux mini-ordinateurs programmables, et servant à la fois :

- à simuler les habitudes domestiques d'une famille moyenne de quatre personnes;
- à enregistrer les résultats de mesures concernant les diverses consommations d'énergie et les pertes à travers certains éléments de la construction;
- à enregistrer les rendements de la récupération de chaleur sur l'air et l'eau évacués;
- à enregistrer, en fonction de la température de travail et des conditions climatiques, les variations du rendement des collecteurs solaires, les températures et les profils de température dans les réservoirs et dans le sol.

Toutes ces données constituent une base réaliste pour les analyses des composants et du système et pour la mise à l'épreuve des modèles de simulation. Des bilans intermédiaires sont produits périodiquement, et une évaluation annuelle est prévue en fonction des données enregistrées. L'objectif de cette analyse est de permettre le développement et le projet de systèmes domestiques intégrés, l'optimisation des sous-systèmes et des composants, et l'estimation de la possibilité technique et économique d'utilisation en fonction des divers climats et des divers domaines d'application.

### Quelques résultats

On peut retenir, parmi les premiers résultats obtenus, que dans les conditions locales, et sur une année :

- l'énergie recueillie par les collecteurs solaires et emmagasinée dans le réservoir d'eau de 42 m<sup>3</sup>, soit 10 à 12 MWh/an, non seulement suffit à chauffer la maison, mais peut encore fournir de l'eau chaude pour les usages domestiques;
- l'énergie empruntée (ou fournie) au sol, avec l'aide des échangeurs souterrains et de la pompe de chaleur (qui consomme 1,2 kW de puissance électrique) suffit à assurer le chauffage et le refroidissement de toute la maison;
- les récupérateurs de chaleur ont permis de réduire la consommation domestique d'énergie (autre que de chauffage) de 6,9 à 3,9 MWh/an, et même à 2,9 si l'eau chaude est produite à partir de l'énergie solaire.

C.D.

N.B. Le présent article est l'adaptation d'informations récemment publiées ou communiquées à la presse par le Dr H Hörster et ses collaborateurs du Laboratoire de Recherche Philips, Aix la Chapelle.