

Installation solaire active: bilans énergétiques et fonctionnement dynamique

Autor(en): **Delfosse, Antoine / Therre, Jean-Pierre**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Ingénieurs et architectes suisses**

Band (Jahr): **107 (1981)**

Heft 15-16

PDF erstellt am: **18.04.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-74344>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Installation solaire active

Bilans énergétiques et fonctionnement dynamique

par Antoine Delfosse et Jean-Pierre Therre, Lausanne

Depuis quelques années déjà, le principe de l'implantation et la conception de systèmes solaires actifs sont entrés dans les mœurs. L'expérience acquise dans ce domaine sur site réel ou expérimental a permis de mettre en exergue la nécessité impérative de prendre en compte, lors du dimensionnement de telles installations, des critères traduisant leur comportement dynamique, essentiellement lié au caractère stochastique de la météorologie. C'est pourquoi, depuis le début de 1979, le Laboratoire de thermique appliquée de l'Ecole polytechnique fédérale de Lausanne procède, sur mandat de l'Agence internationale de l'énergie (Tâche 1: « Validation »), à une campagne de mesures sur deux installations solaires actives conçues pour le chauffage et la fourniture d'eau chaude sanitaire de villas familiales. La finalité de ces mesures à plus long terme est l'élaboration et la mise au point de modèles simplifiés de simulation dynamique.

1. La maison et l'installation solaire active

En 1976 fut réalisée à proximité de la station aérologique de Payerne (altitude 499 m) une villa familiale de style traditionnel vaudois équipée d'une installation solaire active pour la production d'eau chaude sanitaire et le chauffage [1]¹. Cette maison, d'un volume SIA de 1034 m³, conçue dès le stade du projet pour l'intégration d'un système solaire actif, respecte les bases d'une architecture solaire et bénéficie dans ce sens des mesures constructives suivantes:

- locaux secondaires et garage respectivement au nord-est et au nord,
- locaux jour/nuit au sud-est, sud-ouest,
- vitrage double et de dimensions restreintes au nord-est, nord-ouest,
- double mur: brique terre cuite 10 cm extérieure, isolation laine de verre 8 cm, brique terre cuite 12 cm intérieure,
- isolation laine de verre 10 cm sur dalle d'étage.

Le volume chauffé est de 613 m³ et le coefficient k moyen de l'enveloppe chauffée est de 0,39 W/m² K. Le dispositif de chauffage adopté est un système hybride « chaudière à mazout + solaire » basse température à distribution centrale par le sol. Son dimensionnement a été réalisé pour 3820 degrés-jours annuels (réf. 20 °C) et pour une insolation moyenne de 1800 heures/an. L'installation solaire active proprement dite est constituée des éléments suivants:

- 20 m² de capteurs plans double vitrage (absorbeur non sélectif) intégrés en toiture selon une orientation sud-ouest (azimut 219°) et une incli-

naison de 43°. Cette orientation fut choisie pour optimiser le captage solaire durant la deuxième moitié de la journée, en échappant aux brumes matinales fréquentes dans la région;

- un fluide caloporteur eau + antigel;
 - un stock solaire composé d'un accumulateur de 500 litres pour le chauffage et d'un boiler d'eau chaude sanitaire de 300 litres immergé dans le précédent accumulateur.
- Par ailleurs la dalle de chauffage (chape de béton d'un volume global de 14 m³) joue un rôle important de stockage et doit à ce titre être considérée comme partie intégrante du système solaire;
- une régulation on-off agissant sur la pompe de circulation du circuit solaire en fonction de la température de sortie des capteurs, de la température dans le boiler et de la charge de l'accumulateur;
 - une régulation multivariable, propre au circuit de chauffage, comman-

dant deux vannes de mélange quatre-voies en fonction de la température extérieure, de la charge de l'accumulateur, des températures entrée et sortie du réseau de chauffage par sol et également des paramètres de consigne fixés.

La structure complète de l'installation solaire et des deux réseaux de chauffage et de fourniture d'eau chaude sanitaire est schématisée sur la figure 2.

2. Installation de mesure

Depuis la fin de 1979, cette villa fait l'objet d'une campagne de mesures systématiques dans le but de cerner les paramètres caractéristiques essentiels de sa dynamique thermique et de définir les conditions réelles de fonctionnement de son installation solaire active. Pour ce faire, elle fut équipée d'un ensemble de capteurs de température et de débitmètres disposés au sein de la maison et sur l'installation selon un schéma suffisamment redondant pour permettre une bonne définition des flux énergétiques et de leur répartition à travers le bâtiment en fonction de la charge. L'ensemble des conditions météorologiques (ensoleillement, humidité, température, vent, etc.) sont également mesurées sur place. On trouvera sur la fig. 2, la disposition de ces différents points de mesure, au nombre de soixante, dont l'intégration toutes les 30 secondes et l'enregistrement sur bandes magnétiques toutes les 15 minutes est réalisé, en continu, au moyen d'une chaîne d'acquisition automatique programmée. Les valeurs enregistrées sont régulièrement traitées, analysées et dépouillées grâce aux moyens informatiques du Centre de calcul de l'EPFL.

La banque de données ainsi constituée depuis 18 mois est exploitée en premier



Fig. 1. — Façades sud-est et sud-ouest.

¹ Les chiffres entre crochets renvoient à la bibliographie en fin d'article.

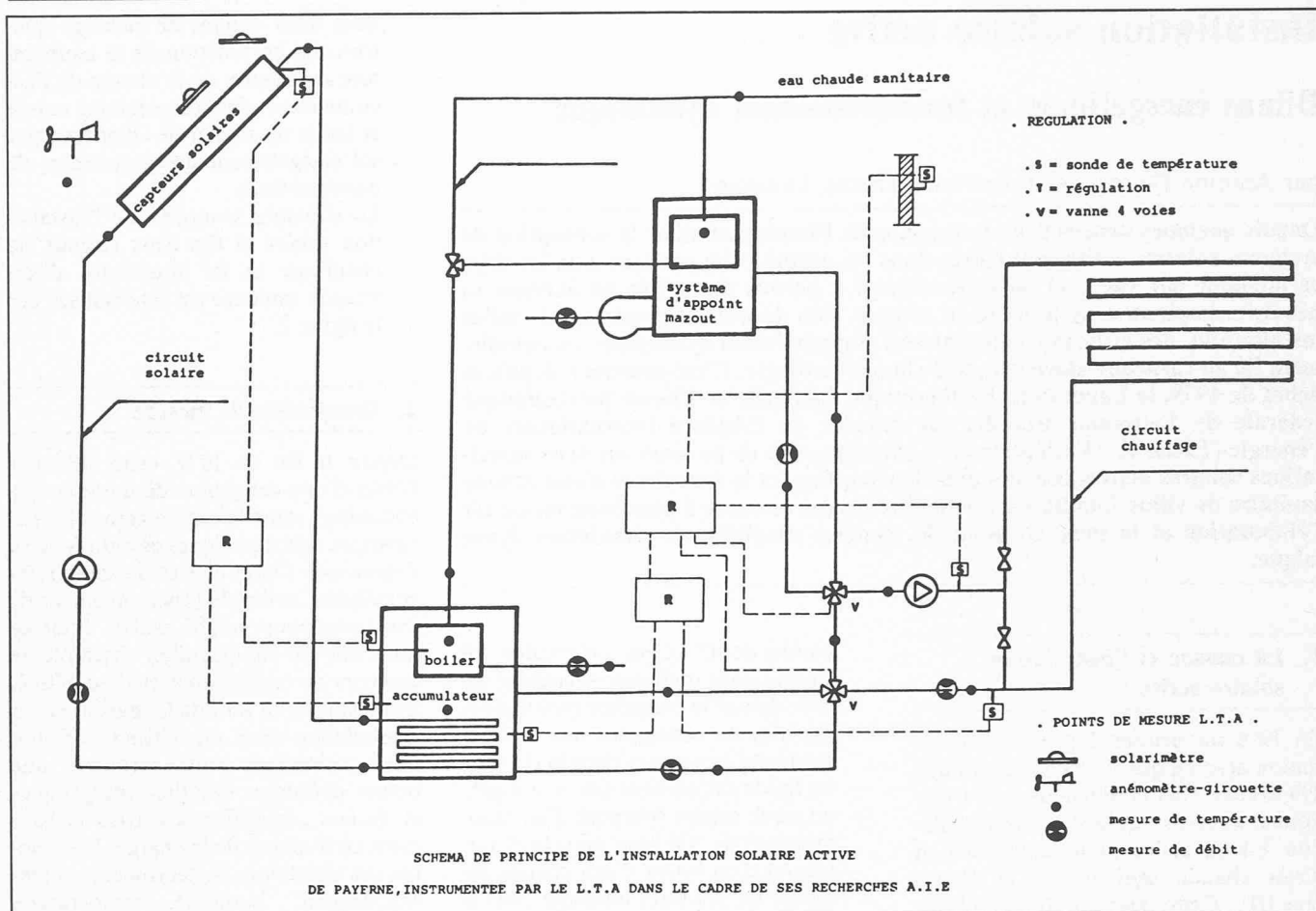


Fig. 2 — Schéma de principe de l'installation.

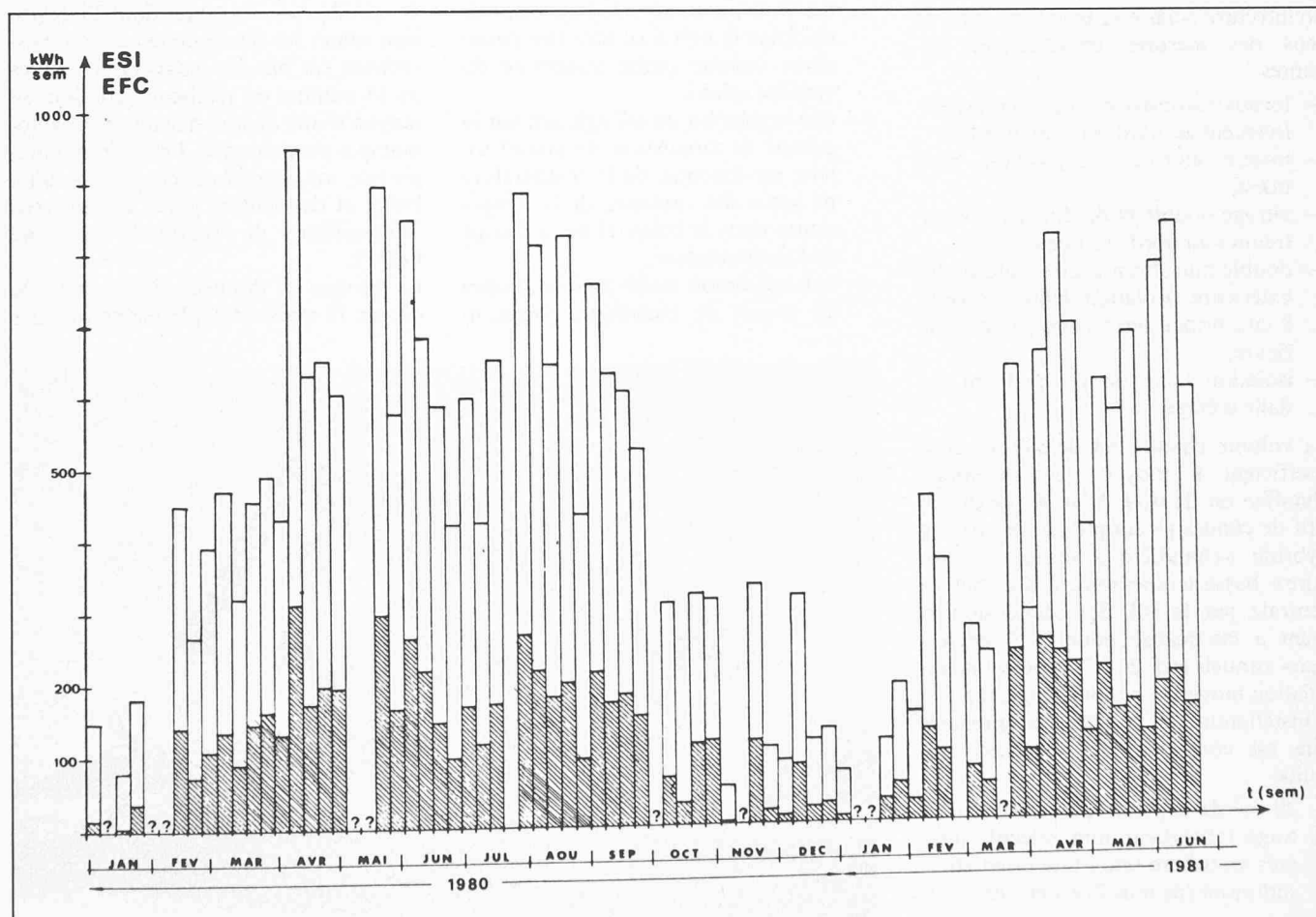


Fig. 3. — Evolution des valeurs et du rapport de l'énergie fournie par les capteurs (EFC) à leur sortie, sur l'énergie solaire incidente dans leur plan (ESI) par semaine.

lieu pour l'établissement, en fonction des conditions météorologiques et des impératifs de confort, des bilans énergétiques journaliers de la villa et de son installation solaire active. Les méthodes de traitement numérique et graphique développées au LTA permettent également l'étude systématique de toutes les grandeurs élémentaires relevées et de leur évolution temporelle. De ce fait, il est possible de cerner et de corrélérer les conditions de fonctionnement dynamique de l'installation et de chacun de ses sous-ensembles constitutifs. Parmi les phénomènes thermiques qui sont ainsi abordés, citons:

- le rendement des collecteurs solaires en conditions réelles,
- la dynamique du stockage thermique sensible et de ses conditions de stratification,
- le chauffage par dalle, etc.

Mais dans le cadre des études effectuées pour le compte de l'Agence internationale de l'énergie, la finalité première de cette banque de données est son utilisation pour la validation de logiciels de simulation dynamique de systèmes solaires. Retenons que ces informations revêtent un intérêt tout particulier pour les chercheurs et les milieux professionnels qui ne disposaient pas jusqu'à présent de données complètes et continues sur des installations solaires actives en conditions d'utilisation et de charge réelles.

TABEAU 1 — Répartition selon les sources de la consommation d'énergie. Les valeurs du mois de mars 1981 sont représentées dans le diagramme des flux de la figure 5.

Mois	Charge thermique mensuelle en						Couverture solaire totale (%)	Mazout con- sommé (litres)	Electricité domes- tique con- sommée (kWh)
	Eau chaude sanitaire dont couverte par			Chauffage dont couverte par					
	Totale (kWh)	Accu. solaire	Chau- dière	Totale (kWh)	Accu. solaire	Chau- dière			
Janvier 80	ii	ii	ii	2276	0	2276	ii	nn	ii
Février 80	276	120	156	1033	194	839	24	nn	448,7
Mars 80	266	105	161	655	301	354	44	nn	390,0
Avril 80	294	155	140	579	511	68	76	nn	402,5
Mai 80	303	205	98	542	542	÷ 0	88	30	426,4
Juin 80	250	230	20	78	78	÷ 0	94	18,5	396,4
Juillet 80	175	160	15	53	53	÷ 0	93	15,5	415,5
•Août 80	ii	ii	ii	6	6	÷ 0	(92)	ii	ii
Septembre 80	ii	ii	ii	119	119	÷ 0	(75)	4	381,6
Octobre 80	235	113	122	367	81	286	32	73	422,0
Novembre 80	242	76	166	1397	88	1309	10	253	461,8
Décembre 80	245	94	151	2117	21	2096	5	358	441,1
Janvier 81	312	102	210	2255	25	2230	5	391	491,4
Février 81	190	77	113	1763	171	1592	13	249	340,7
Mars 81	231	107	124	1086	276	810	29	159	441,5
Avril 81	233	189	44	386	386	÷ 0	93	24	384,2
Mai 81	224	128	96	153	153	÷ 0	75	14	320,4
Juin 81	231	231	÷ 0	÷ 0	÷ 0	÷ 0	100	0	323,7

Nota: ii = mesures insuffisantes en nombre
nn = mesures non encore effectuées

3. Evaluation dynamique et performances

A la suite du dépouillement mois par mois de toutes les données disponibles jusqu'à ce jour, quelques résultats caractéristiques succincts sont présentés sur

les diagrammes 3 et 4 ainsi que sur les tableaux 1 et 2. Ces valeurs sont exprimées pour des mois complets, les bilans faiblement incomplets ayant été extrapolés. En effet, malgré un suivi et un contrôle quasi quotidien effectué par les chercheurs et surtout par le propriétaire, quelques pertes d'information ont dû

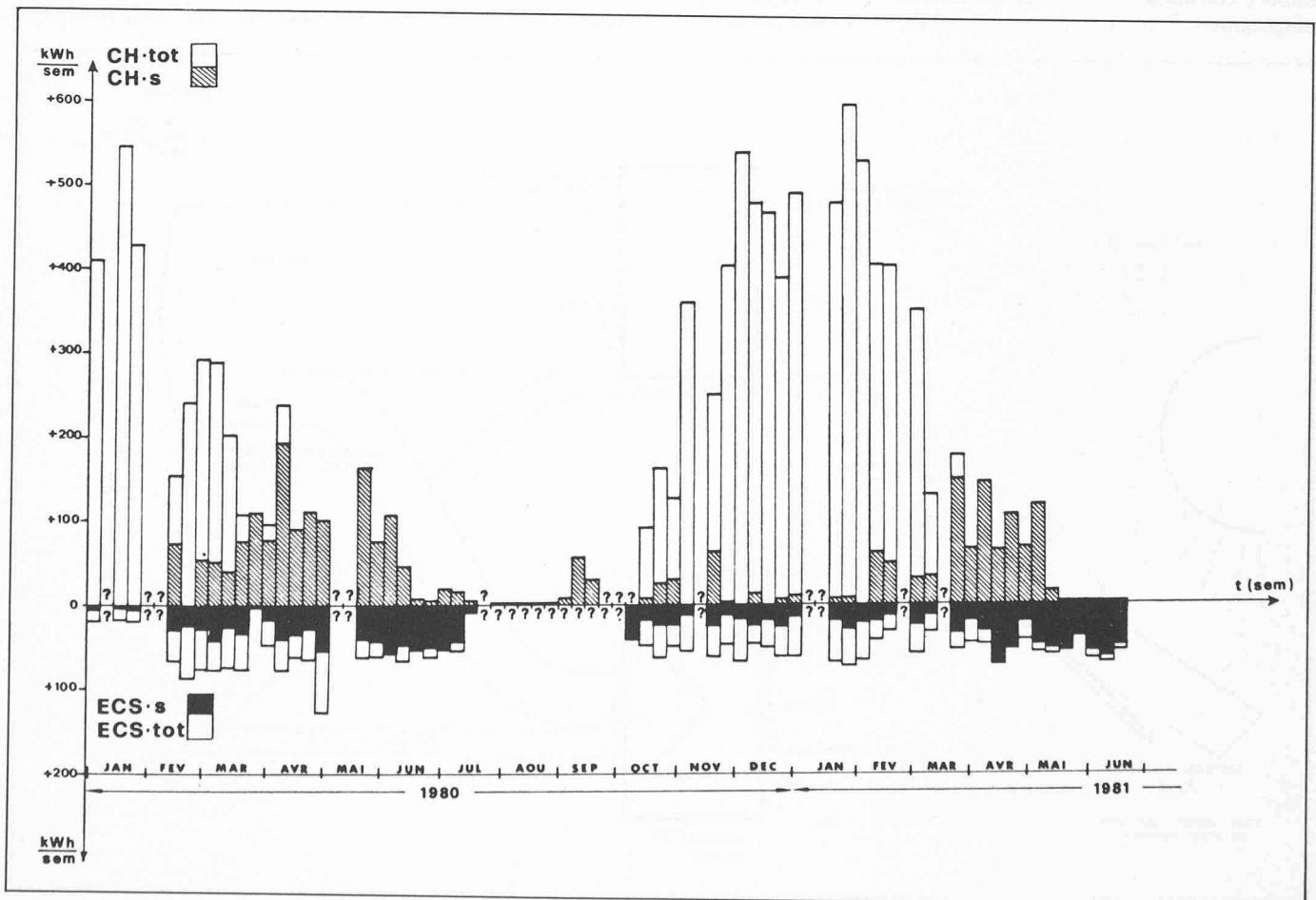


Fig. 4. — Evolution de la couverture solaire des besoins en chauffage (vers le haut) et en eau chaude sanitaire (vers le bas) pas semaine.

TABLEAU 2 — Flux et pertes de la partie solaire de l'installation.

Mois	Temp. ext. moyenne	Degrés-jour (réf.: 18 degrés)	kWh incidents dans le plan des capteurs (sur 20 m ²)	kWh transmis au fluide caloporteur	Temp. moy. des capteurs en fonctionnement	kWh perdus dans les tuyaux d'amenée	Energie solaire fournie au stock (kWh)	Temp. moyenne au milieu du stock	Pertes thermiques du stock (kWh)	Energie utile (kWh)
Janvier 80	—	—	422	86	26	19	67	16,4	47	20
Février 80	—	—	1335	452	39	72	380	20,5	68	313
Mars 80	—	—	1537	565	36	80	485	18,0	80	405
Avril 80	6,9	333	2491	924	44	127	797	22,6	131	665
Mai 80	11,7	194	2963	1099	51	169	930	28,6	183	747
Juin 80	13,6	132	1981	566	46	138	427	33,8	118	309
Juillet 80	14,0	126	2121	648	48	147	501	35,3	286	215
Août 80	18,5	36	3077	856	78	181	675	61,0	—	—
Septembre 80	15,0	88	2767	851	69	114	737	51,0	—	—
Octobre 80	6,7	350	1185	407	42	3	404	23,9	256	149
Novembre 80	2,6	465	675	201	37	0	201	20,5	90	110
Décembre 80	-1,5	605	706	152	37	9	143	21,7	28	115
Janvier 81	-2,7	642	732	176	33	9	167	18,8	40	126
Février 81	-1,9	542	1372	389	38	24	365	22,0	117	248
Mars 81	5,9	375	1515	512	40	7	505	21,8	121	383
Avril 81	9,9	244	2482	793	49	27	765	31,6	188	577
Mai 81	12,6	170	2509	668	52	37	631	37,8	350	281
Juin 81	17,0	66	3098	714	73	95	619	56,9	350	269
Erreur sur les valeurs mesurées:			10%	10%			10%			10%

être constatées. Les causes essentielles en sont des pannes répétitives de l'appareil d'enregistrement et une usure anormale du mécanisme de certains débitmètres. Toutefois la fraction horaire enregistrée sur l'ensemble de la période de mesure considérée est de 76,3%. Sur les diagrammes 3 et 4 apparaissent sous

forme d'histogrammes les valeurs hebdomadaires suivantes:

- l'énergie solaire incidente dans le plan du capteur (ESI),
- l'énergie fournie par le capteur au fluide caloporteur (EFC),
- l'énergie fournie à l'eau chaude sanitaire par le boiler solaire (ECS.s),

- l'énergie totale fournie à l'eau chaude sanitaire par le solaire et la chaudière à mazout (ECS.tot),
- l'énergie fournie au chauffage par l'accumulateur solaire (CH.s),
- l'énergie totale fournie au chauffage par l'accumulateur solaire et la chaudière à mazout (CH.tot).

Le premier diagramme traduit en quelque sorte l'efficacité du capteur solaire et le deuxième représente la couverture solaire relative pour chacune des deux charges thermiques de l'habitat, c'est-à-dire le chauffage et la fourniture d'eau chaude sanitaire.

La répartition mensuelle explicite des apports respectifs dus à la chaudière et au stock solaire pour chacune des deux charges se retrouve sur le tableau 1. Le détail des flux d'énergie pour le mois de mars 1981 est représenté pour exemple sur la figure 5. Ces valeurs permettent d'estimer la couverture solaire mensuelle totale comme étant le rapport de l'énergie fournie d'origine solaire à l'énergie totale fournie. Il apparaît que la charge en eau chaude sanitaire reste relativement constante au cours de l'année, hormis une faible variation saisonnière, et que la charge de chauffage est particulièrement évolutive sous l'effet des conditions climatiques. On notera également l'importance relative de la consommation d'électricité domestique (cuisinière, machine à laver) qui, par dévaluation exergetique, intervient dans le bilan thermique global de l'habitat et n'est certainement pas sans influence

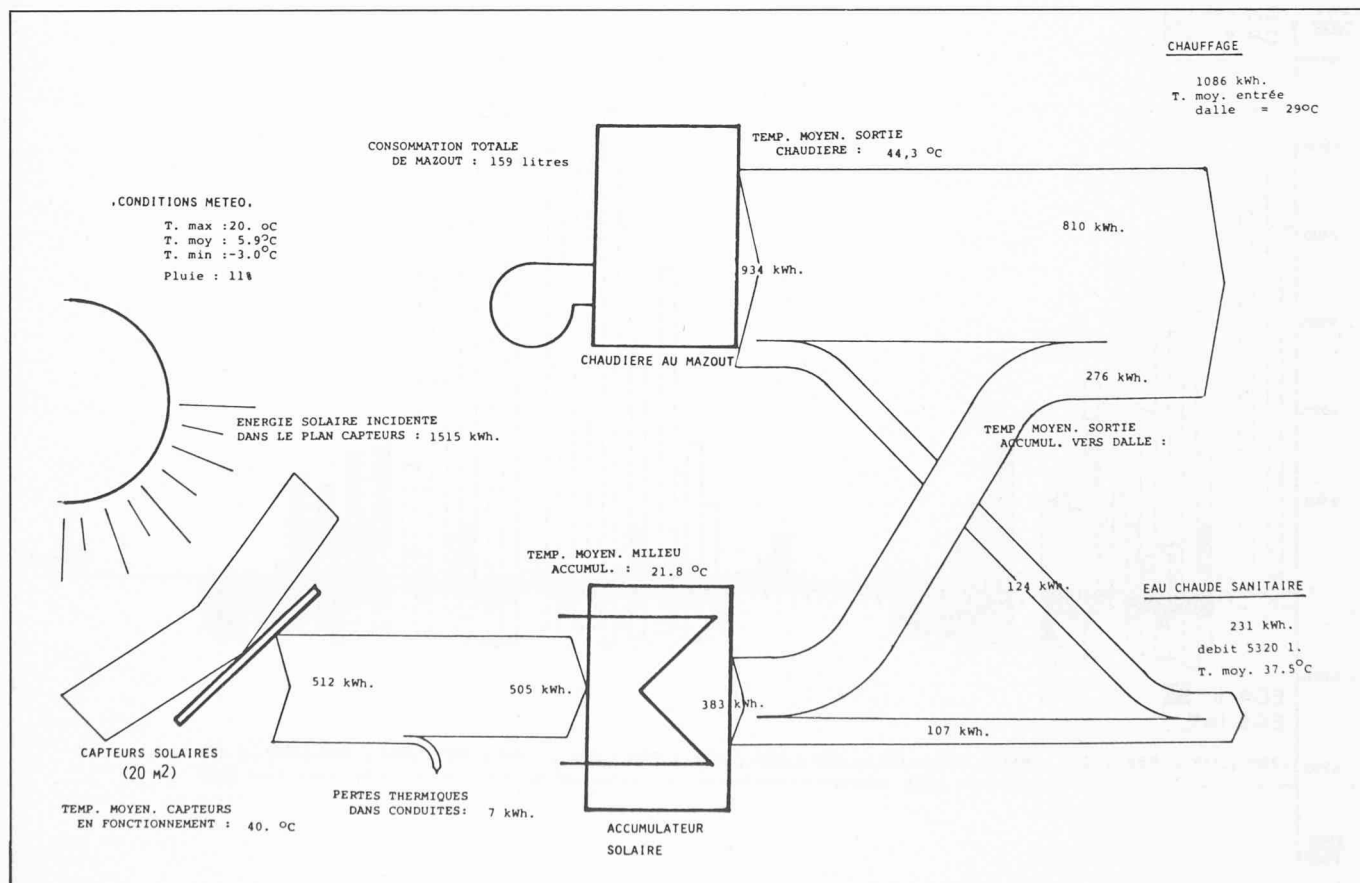


Fig. 5. — Diagramme des flux d'énergie pour le mois de mars 1981.

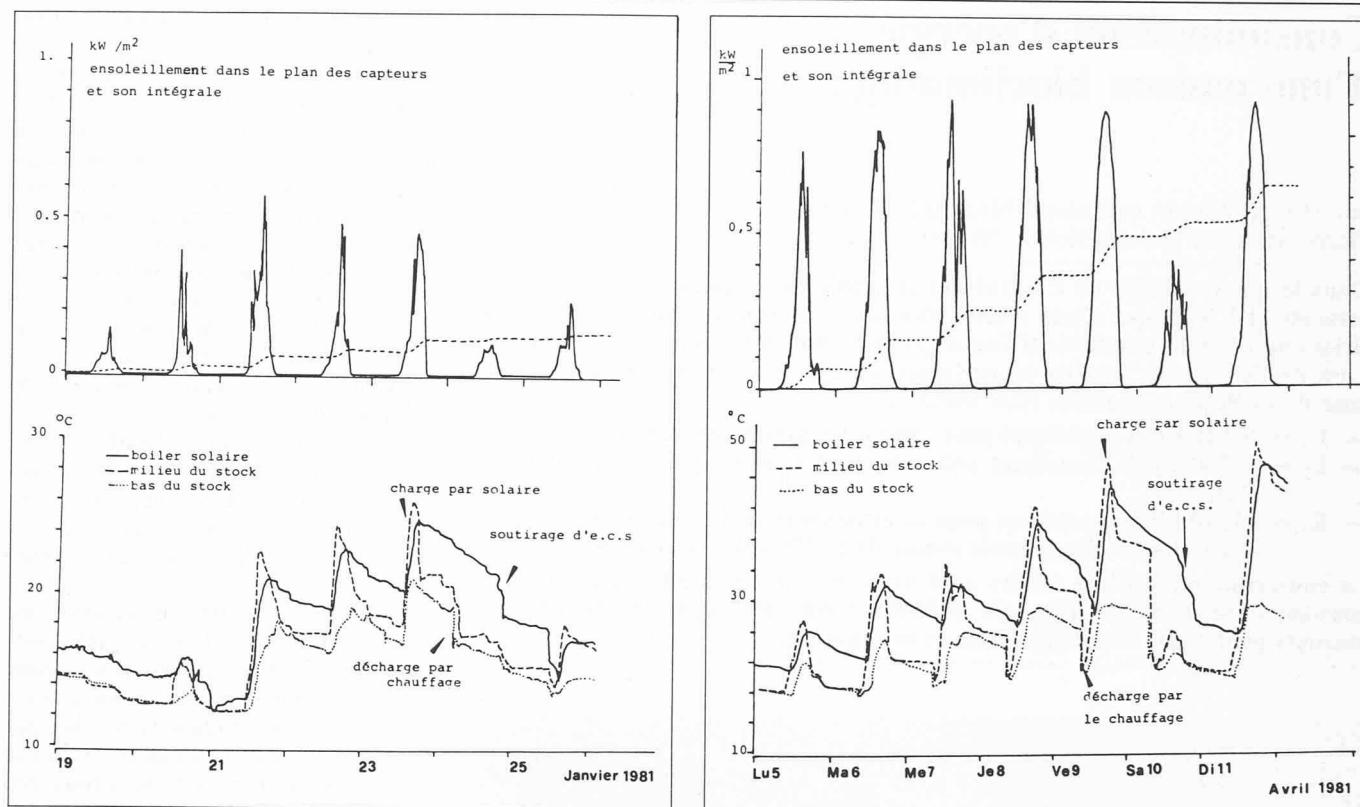


Fig. 6 et 7. — Evolution de l'ensoleillement et des températures mesurées dans le stock solaire pour 2 semaines différentes en janvier et en avril 1981. Remarquer les échelles de températures différentes.

(au même titre que les apports difficilement quantifiables, dus aux feux de bois dans la cheminée).

Le tableau 2 retrace le détail des flux et pertes d'énergie depuis les capteurs jusqu'à la part utile extraite du stock solaire (accumulateur + boiler ECS). Indépendamment des renseignements apportés sur les conditions réelles de fonctionnement du capteur et du stock, on remarquera l'importance des pertes thermiques dans les conduites et surtout au niveau du stock. Cette dernière perte est assez élevée pendant la période estivale où l'on ne bénéficie pas de la capacité de stockage de la dalle de chauffage puisqu'il n'y a pas de circulation. Toutefois son influence sur la fraction de la couverture solaire est plus défavorable en hiver.

Dynamique de l'accumulateur solaire

Les deux points de mesure de température situés au bas et au milieu de l'accumulateur de 500 litres d'eau et celui mesurant la température à l'intérieur du préchauffeur d'eau chaude sanitaire de 300 litres («boiler solaire») incorporé dans la partie supérieure de l'accumulateur permettent de suivre de près le degré de stratification et les constantes de temps de cette partie du système.

Les figures 6 et 7 représentent ces trois températures et l'ensoleillement dans le plan des capteurs pour les semaines du 19 au 25 janvier 1981 et du 5 au 11 avril 1981.

On observe que la stratification se maintient bien: les courbes n'ont pas ten-

dance à se rapprocher en l'absence de sous-tirage. On voit aussi que l'utilisation du stock solaire pour alimenter le réseau de chauffage par le sol n'affecte presque pas l'évolution de la température du réservoir d'eau chaude sanitaire. Par contre il se confirme que les pertes par manque d'isolation sont importantes: la constante de temps du boiler solaire est de 2 à 3 jours soit une perte au bout d'une journée sans soutirage de 30% de l'énergie stockée.

Fonctionnement de la chaudière

Le volume de mazout consommé et l'énergie totale fournie par la chaudière permettent d'évaluer l'efficacité de cette dernière. Elle varie de 1 à près de 7 kWh utiles par litre de mazout brûlé, selon les mois.

Des mesures sur le régime de fonctionnement (nombre d'enclenchements et durée) montrent qu'en décembre 1980 le brûleur s'allume environ 4 fois par heure pendant 12 heures par jour pour une durée moyenne de 3 minutes (de 2 à 6 minutes). A la fin du mois de mars le brûleur ne s'allume qu'une fois le matin et une fois le soir pour 7 à 8 minutes consécutives.

Ces chiffres montrent un surdimensionnement de la chaudière pour la présente installation.

4. Conclusion

Le but de cette étude n'était pas de porter un jugement de valeur sur une instal-

Bibliographie

- [1] G. BESTE, P. MERMIER: *Villa chauffée à l'énergie solaire*, Payerne. Ingénieurs et architectes suisses 16/79, 105^e année, pp. 183 à 185.
- [2] G. BESTE, C. CALATAYUD, A. DELFOSSE, P. MERMIER, J. R. MULLER, M. O. NILSSON, D. SCHNEITER, J. P. THERRE: *Performances d'une villa chauffée à l'énergie solaire*. Séminaire technique: Economie d'énergie et énergies nouvelles dans le bâtiment, formation universitaire continue des ingénieurs et des architectes, Genève, 31 octobre 1980.

lation ou des composants particuliers, mais de mettre à disposition des résultats mesurés en conditions réelles permettant de saisir l'importance de différents facteurs généralement mal connus tels que l'efficacité des capteurs, du stockage, les pertes, ainsi que l'influence sur les performances du comportement dynamique (les études sur ce dernier aspect sont encore en cours et doivent être publiées d'ici à la fin de cette année). Les conclusions que chacun peut retirer devraient permettre de faciliter la conception des nouvelles installations solaires.

Adresse des auteurs

Antoine Delfosse et Jean-Pierre Therre
Laboratoire de thermique appliquée
EPFL-Département de mécanique
1015 Lausanne