

Zeitschrift: Ingénieurs et architectes suisses
Band: 119 (1993)
Heft: 3

Artikel: Une façade source d'énergie
Autor: Boskovitz, Pierre
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-78016>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 15.03.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Une façade source d'énergie

Par Pierre Boskovitz,
rédacteur

L'énergie photovoltaïque a connu ses premières applications dans la recherche spatiale, puis dans des appareils à faible consommation tels que les montres ou les calculatrices de poche. Aujourd'hui, cette forme d'énergie peut être produite à une échelle plus importante. A côté de quelques installations de grande taille, comme la centrale du Mont-Soleil dans le Jura suisse (560 kW), de nombreuses autres, de puissance plus modeste (3 à 20 kW), ont été réalisées.

L'enveloppe extérieure des immeubles – les toits et les façades – offre une superficie considérable qui constitue un potentiel important de captage de l'énergie solaire, sans nouvelle emprise au sol. Pour cette raison, la Confédération et les cantons soutiennent les réalisations pilotes allant dans le sens de nouvelles solutions à l'intégration de capteurs d'énergie dans l'enveloppe des bâtiments.

C'est ainsi qu'ont déjà été réalisés récemment une façade photovoltaïque de 10 kW à Bienne, où les éléments photovoltaïques ont été substitués aux plaques en pierre naturelle, un bâtiment industriel à Arisdorf (canton de Bâle-Campagne) et un bâtiment administratif à Genève (respectivement 53 et 9,6 kW), où ces éléments ont été intégrés dans le toit.

Façade photovoltaïque intégrée à fonctions multiples

La façade sud-ouest du nouveau bâtiment à six étages abritant les ateliers et les bureaux de l'entreprise de construction métallique *Scheidegger* à Kirchberg, dans le canton de Berne, constitue une première suisse par sa conception. Cette réalisation, qui a déjà obtenu deux prix SOLAR 91¹, est intéressante par deux aspects au moins.

Les premières installations créées pour la mise en valeur de l'énergie solaire étaient en effet surajoutées aux bâtiments existants, avec des effets esthétiques souvent discutables, tandis que le bâtiment industriel construit à Kirchberg montre comment il est possible d'intégrer des panneaux photovoltaïques dans l'enveloppe même du bâtiment, les généra-

teurs photovoltaïques constituant des éléments de la façade.

L'autre aspect qui retient l'attention réside dans le fait que cette façade remplit plusieurs fonctions:

- production d'énergie électrique dont le surplus est injecté dans le réseau électrique communal et rétribué au même tarif que celui en vigueur pour la consommation;
- récupération de chaleur grâce à l'air chauffé par le soleil, entre les éléments de façade et la paroi, qui est ainsi utilisé pour le chauffage du bâtiment;
- protection de l'édifice contre les intempéries,
- protection des locaux contre le rayonnement solaire.

Pour pouvoir intégrer des cellules photovoltaïques dans une façade, il fallait créer des éléments qui répondent à la fois à des critères de dimensions, de stabilité mécanique et thermique, d'étanchéité, de flexibilité des connexions internes et externes et d'esthétique. Une technique répondant à ces exigences a été élaborée² et les éléments sont maintenant produits en usine.

Les panneaux comportant les cellules photovoltaïques sont disposés en bandes horizontales séparées par des espaces, et inclinés afin d'être mieux exposés aux rayons solaires, selon une orientation et un angle d'inclinaison (environ 30°) constants. L'espacement des bandes, l'inclinaison des panneaux et la distance entre ces derniers et la paroi à laquelle ils sont fixés, ont été déterminés de façon à obtenir un rendement optimal sur l'année.

Sur la façade, on distingue trois zones:

- la zone des fenêtres: l'espace entre les panneaux laisse passer la lumière et permet aux occupants du bâtiment, qu'ils soient debout ou assis, de garder un contact visuel avec l'extérieur et d'aérer les locaux en ouvrant les fenêtres; les

panneaux servent aussi de parasol, remplacent les stores et contribuent à maintenir un climat tempéré dans le bâtiment;

- la zone des parapets: ici, l'espace entre les panneaux est fermé par des miroirs inclinés en sens inverse, qui renvoient ainsi la lumière sur les cellules photovoltaïques dont ils renforcent l'éclairage;
- la zone à production d'air chaud: dans cette zone, située devant la cage d'escaliers, du verre transparent est intercalé entre les bandes de panneaux, l'alternance des panneaux et du verre constituant un rideau placé devant la paroi du bâtiment, dont il est séparé par un espace. L'effet thermique est encore augmenté par des tôles ondulées fixées au fond de cet espace; celles-ci sont de couleur noire, pour absorber davantage de chaleur, et leurs rainures verticales facilitent la montée de l'air chaud, qui est aspiré en haut du canal par un ventilateur et conduit, par un tuyau, au sous-sol. Ainsi, cet air chaud peut être utilisé pour le chauffage, ou, en été, pour tempérer les masses de béton au sous-sol.

La façade mesure 19 m de large et 24 m de haut, les 282 panneaux utilisés totalisant une superficie de 162 m². La production d'énergie électrique atteint 18 kW, celle d'énergie thermique 12 kW. Vu l'orientation de la façade et des panneaux, le rendement est surtout intéressant dans l'après-midi. Le courant continu de 310 V est converti sur place en courant alternatif pour pouvoir alimenter le réseau. Tous les paramètres de l'installation font l'objet de mesures et d'analyses continues par ordinateur et l'on prévoit la production annuelle de 16 000 kWh de courant électrique et de 10 000 kWh d'énergie thermique. Le rendement moyen de l'installation sur toute l'année devrait être de 30 à 35%. Le prix de l'énergie électrique ainsi produite reste néanmoins dix fois plus élevé que celle fournie par des usines traditionnelles, ce qui montre que de sérieux progrès restent encore à réaliser de ce point de vue. Il est en outre important que les cel-

¹Voir plus loin.

²Voir: M. Posnansky, J.-M. Cottier et F. Scheidegger: «Photovoltaikgeneratoren als Element der Gebäudehülle» in: *Bulletin ASE/UCS* 83 (1992) 10, p. 33-38.

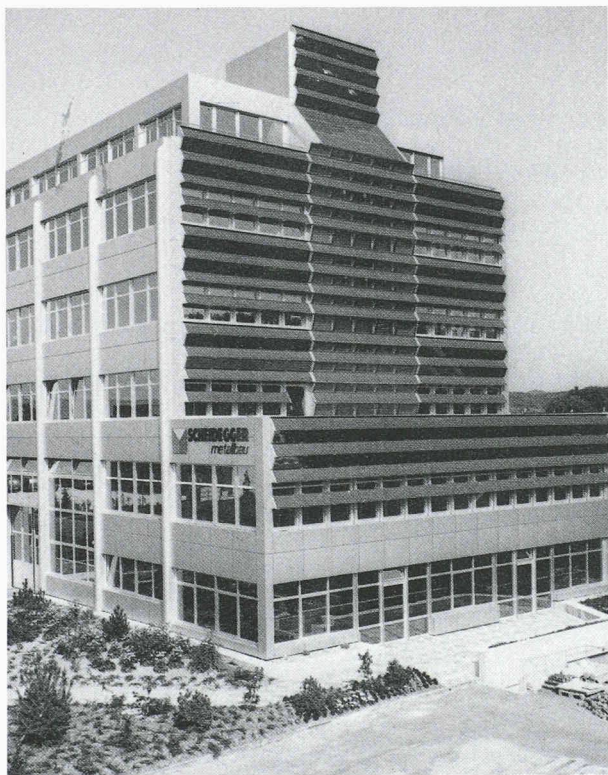
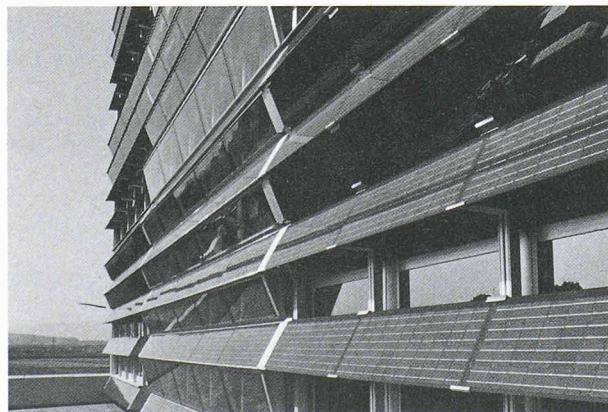


Fig. 1 et 2. – Façade photovoltaïque du nouveau bâtiment de l'entreprise Scheidegger à Kirchberg (BE), vue générale et détail



lules puissent être refroidies, car leur rendement diminue avec l'élévation de leur température. Pour cette raison, des systèmes de refroidissement des panneaux ont été mis au point. Certes, la quantité d'énergie thermique récupérée est environ le double de celle de l'énergie électrique produite, mais, comme la chaleur ainsi obtenue n'est que partiellement utilisable, le taux de rendement de l'énergie thermique reste comparable à celle de l'énergie électrique. La construction de façades photovol-

taïques requiert des connaissances poussées des matériaux de construction et de la physique du bâtiment ainsi que la maîtrise d'une technologie de grande précision. L'expérience dans le domaine de la construction en métal et en verre peut contribuer à la solution des problèmes posés par ce nouvel élément.

La réalisation de cette façade est le fruit d'une étroite collaboration entre les architectes *Thomas Hostettler et associés* à Bienne; des spécialistes de la mise en valeur de l'énergie solaire, soit la *Communauté de travail AZ 90*, réunissant *Atlantis Energie SA* à Berne (conception, étude et direction) et *Zetter Solar, SA pour installations solaires et du bâtiment* à Soleure (installations photovoltaïques); ainsi que le maître de l'ouvrage, lui-même constructeur de façades métalliques et intervenant à ce titre.

Se montant à environ 1,1 million de francs, les travaux de recherche et de développement de même que la réalisation de ce projet ont bénéficié de subventions de la part du canton de Berne (Frs 400 000) et de l'Office fédéral de l'énergie (Frs 300 000). Pour apprécier ces dépenses à leur juste valeur, il faut également tenir compte des éléments dont cette façade a permis de faire l'économie (revêtement de façade traditionnel, stores, etc.) et du fait que les résultats des travaux de recherche et de développement, tout comme l'expérience acquise, sont des investissements qui permettraient, par la suite, la réalisation d'un objet similaire pour un prix inférieur d'un tiers.

Pour une Suisse moins dépendante des sources d'énergie traditionnelles

En Suisse, la consommation annuelle d'énergie, toutes sources confondues, est de 230 TWh. La part de l'énergie électrique est de 48 TWh.

Cette consommation d'énergie électrique augmente régulièrement de plus de 2% par année et, si cette tendance persiste, elle atteindra, d'ici la fin du siècle les 60 TWh. La consommation des ménages en représente 29% et, en 1991, elle s'élevait à 2000 kWh par personne.

L'énergie du rayonnement solaire nous est dispensée en abondance: la Terre reçoit chaque *heure* plus d'énergie (174 000 TWh) que toute l'humanité n'en consomme par *année* (100 000 TWh ou environ 8000 Mtep en 1989)! Le rayonnement solaire apporte en Suisse 1100 kWh par mètre carré et par année, soit 200 fois la consommation totale actuelle d'énergie qui s'élève à 5,5 kWh par mètre carré et par année.

Des 41 300 km² du territoire, environ 200 km² sont bâtis. De cette superficie, 30 km² seraient favorablement exposés pour capter au moins une partie des 30 TWh d'énergie solaire qu'ils reçoivent chaque année. Si on parvenait à en capter, par des installations photovoltaïques, ne serait-ce que 10%, soit 3 TWh par année, cela suffirait déjà à couvrir 6% de la consommation actuelle d'énergie électrique.

Si l'on compte en moyenne 1000 heures d'ensoleillement par année à une irradiance de 1000 W/m² (équivalent de 2000 heures d'ensoleillement par année à intensité variable), 1 kW de puissance installée sous forme photovoltaïque produit environ 1 MWh par année. Pour produire les 3 TWh par an mentionnés, cela nécessiterait une puissance installée de 3 GW. Plus modestement, le programme *Energie 2000* prévoit, pour l'an 2000, une puissance installée de 50 MW.

L'objectif d'*Energie 2000* est, en effet, de couvrir 0,5% de la consommation actuelle d'énergie électrique par des sources non conventionnelles et un cinquième de ce pourcentage par des installations photovoltaïques (0,1% de 50 TWh correspond à 50 GWh, soit à la production annuelle de 50 MW de puissance photovoltaïque installée). Comme les sources d'énergie traditionnelles ne sont pas inépuisables, il convient de préparer l'avenir et d'élaborer les techniques qui permettront, à terme, de mettre en valeur des sources d'énergie renouvelables. D'autre part, l'énergie solaire est «démocratique» en ce sens que sa production doit être décentralisée, autrement dit, il faut la capter sur le lieu même où elle sera consommée.

L'énergie en chiffres

Unités de mesure

Rappelons qu'il convient de distinguer entre *puissance installée* d'une part et *énergie* (produite ou consommée) d'autre part. La puissance installée est mesurée en kW ou MW (1 MW = 10³ kW).

L'énergie produite/consommée peut être mesurée en kWh, MWh, GWh ou TWh:

$$\begin{aligned}1 \text{ MWh} &= 10^3 \text{ kWh} \\1 \text{ GWh} &= 10^3 \text{ MWh} = 10^6 \text{ kWh} \\1 \text{ TWh} &= 10^3 \text{ GWh} = 10^6 \text{ MWh} = 10^9 \text{ kWh}\end{aligned}$$

L'OCDE, dans ses statistiques concernant l'énergie, utilise comme unités la tonne équivalent pétrole (tep) et ses multiples (Mtep, Gtep). 1 Mtep équivaut à environ 11,6 TWh.

L'unité SI de l'énergie est le Joule. 1 kWh = 3,6 MJ et 1 Mtep est environ 41,9 PJ (1 PetaJoule = 10¹⁵ Joule).

Quant à l'ancienne unité de mesure qu'était la calorie, souvenons-nous qu'une calorie représente 4,185 joules.

Energie	kWh	tep	MJ	kcal
1 kWh	1	85,9×10 ⁻⁶	3,6	860
1 tep	11 628	1	41 862	10×10 ⁶
1 MJ	277,8×10 ⁻³	23,8×10 ⁻⁶	1	238,9
1 kcal	1,16×10 ⁻³	0,1×10 ⁻⁶	4,185×10 ⁻³	1

Données suisses

(données moyennes approximatives)

Superficie: 41 293 km²

Population: 6 500 000 habitants

Consommation annuelle d'énergie, toutes sources confondues: 230 TWh (1991); par m² du territoire: 5,5 kWh

Consommation annuelle d'énergie électrique: 48 TWh (1991) + 2% par an. (Cette consommation annuelle suisse correspond à 0,4% de la consommation mondiale qui était de 11 633 TWh pour 1990.) Part des ménages: 14 TWh (29%)

Consommation annuelle d'énergie électrique des ménages par habitant: 2000 kWh

Puissance du rayonnement solaire à la surface de la Terre: 1000 W/m²

Ensoleillement: la durée moyenne de l'ensoleillement en Suisse est de 2000 h/an; compte tenu du fait qu'il est d'intensité variable, on choisit une durée équivalente qui correspond à une irradiance fixe de 1000 W/m²; celle-ci varie, selon les lieux, entre 800 et 1400 h/an; prenant encore une valeur moyenne, on retiendra 1000 h/an d'ensoleillement à 1000 W/m².

Energie solaire reçue: 1000 kWh/m²/an

Puissance des modules photovoltaïques commercialisés (selon les technologies, le rendement est variable de 5 à 18%, donc: entre 50 et 180 W/m²): 100 W/m² (10% de rendement)

Energie électrique produite par des modules photovoltaïques (variable entre 40 et 250 kWh/m²/an): 100 kWh/m²/année

Rapport entre puissance installée et énergie reçue: 1 kW de puissance installée (de 6 à 20 m², en moyenne 10 m² de cellules) produit 1 MWh d'énergie par année

Comptant 2,4 personnes en moyenne par ménage, la consommation annuelle d'électricité par ménage s'approche des 5000 kWh. Pour couvrir ce besoin par une installation photovoltaïque, celle-ci devrait mesurer 50 m² et avoir une puissance de 5 kW.

Energie 2000

Objectif: couvrir 0,5% de la consommation actuelle d'énergie électrique par de nouvelles sources d'énergie, dont un cinquième, soit 0,1%, grâce au photovoltaïque (0,5% de 50 TWh = 250 GWh / 0,1% de 50 TWh = 50 GWh)

Puissance installée correspondante: 50 MW

Puissance installée effective: 3 MW (fin 1991)

Puissance à installer d'ici l'an 2000: 47 MW

Puissance totale des cellules photovoltaïques produites dans le monde (a doublé en 5 ans): 53 MW (1991)

Durée de vie moyenne des installations photovoltaïques: 25-30 ans

Energie finale thermique nécessaire à la fabrication des cellules photovoltaïques (énergie grise): 20 000 kWh (ou 72 GJ) thermique par kW électrique installé (exemple du Mont-Soleil: 11 GWh = 40 TJ thermique)

Temps de remboursement énergétique des cellules photovoltaïques (temps nécessaire pour qu'une cellule photovoltaïque fournisse l'équivalent de l'énergie finale thermique dépensée pour sa fabrication): par exemple: 6,6 ans pour l'installation du Mont-Soleil

Facteur de rentabilisation énergétique (rapport entre la durée de vie de l'installation et son temps de remboursement énergétique): environ 4

Prix de 1 m² de cellules photovoltaïques installées, de 100 W de puissance, produisant annuellement 100 kWh d'énergie: 1500 à 2000 frs

Prix de revient de l'énergie photovoltaïque: -80 à 1.20 fr/kWh

Prix du courant électrique du réseau: -20 fr/kWh

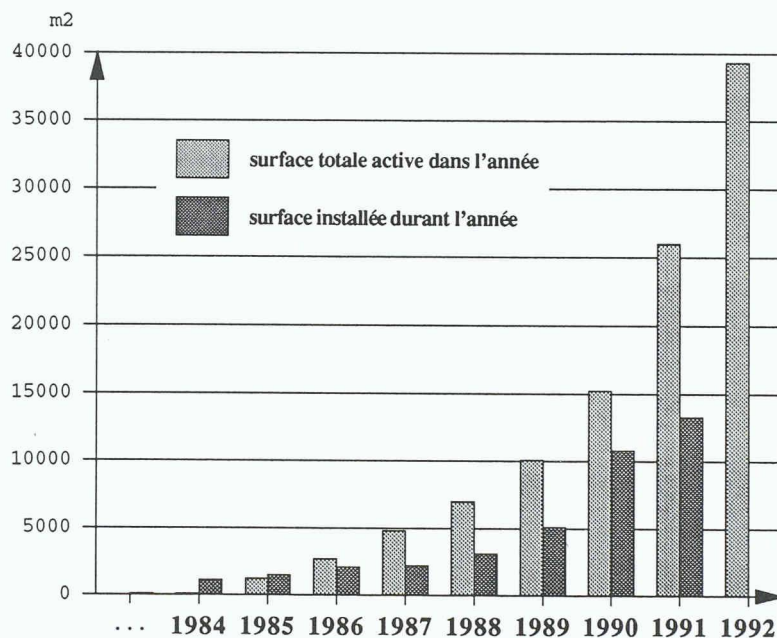


Fig. 3. – Surface photovoltaïque installée en Suisse (SOFAS)

Puissance active et énergie électrique produite des installations photovoltaïques en Suisse. Les valeurs de puissance et d'énergie sont des estimations basées sur une irradiance de 1 kW/m², un rendement moyen de 10% et une production d'électricité photovoltaïque de 1 kWh/W/an ou de 100 kWh/m²/an.

Années	Surface photovoltaïque installée durant l'année (m ²)	Surface photovoltaïque totale active dans l'année (m ²)	Puissance totale active (MW)	Energie électrique produite dans l'année	
				(GWh)	(TJ)
Avant 1984	100	0	0,00	0,00	0,00
1984	1100	100	0,01	0,01	0,04
1985	1500	1200	0,12	0,12	0,43
1986	2100	2700	0,27	0,27	0,97
1987	2200	4800	0,48	0,48	1,73
1988	3100	7000	0,70	0,70	2,52
1989	5100	10100	1,01	1,01	3,64
1990	10800	15200	1,52	1,52	5,47
1991	13300	26000	2,60	2,60	9,36
1992	?	39300	3,93	3,93	14,15

SOLAR 91

SOLAR 91 désigne la première attribution d'un prix pour récompenser les meilleures installations solaires suisses. Le but fixé pour le 700^e anniversaire de la Confédération était la réalisation de 700 installations solaires sans emprise sur des surfaces vertes. Pour l'an 2000, chacune des 3029 communes suisses devrait en avoir au moins une. L'appel du comité d'organisation a reçu un écho favorable et a soulevé l'intérêt au-delà même des frontières. Avec 789 projets, l'objectif fixé pour 1991 a été dépassé.

Ce prix solaire récompense des initiateurs ou des objets répartis en cinq catégories: communes, entreprises, propriétaires, personnalités et institutions, installations bien intégrées.

DEMOSITE

Signalons enfin que la Suisse participe au programme «Photovoltaic in buildings» de l'Agence internationale de l'énergie. Dans ce cadre et avec le soutien de l'Office fédéral de l'énergie, le Laboratoire d'énergie solaire et de physique du bâtiment (LESO-PB) de l'EPFL a réalisé, sous le nom de DEMOSITE, un centre international d'exposition et de démonstration d'éléments de construction photovoltaïques. Ce centre a pour but de faire connaître les possibilités architecturales de cette nouvelle technologie à ses utilisateurs potentiels et se compose d'une dizaine de pavillons mesurant 6 m sur 3. Les éléments photovoltaïques y sont intégrés soit dans la toiture, soit dans la façade. Ceux-ci sont fournis par leurs fabricants, le suivi expérimental étant assuré par le laboratoire LESO-PB.



Fig. 4. – DEMOSITE: un centre international d'exposition et de démonstration d'éléments de construction photovoltaïques à l'EPFL (Photo D. Notter, Cheseaux-Noréaz)

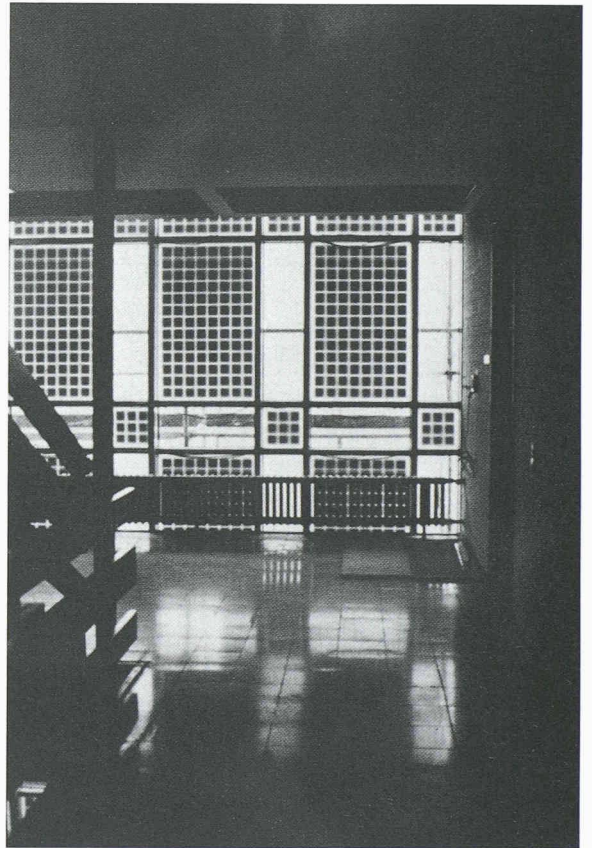
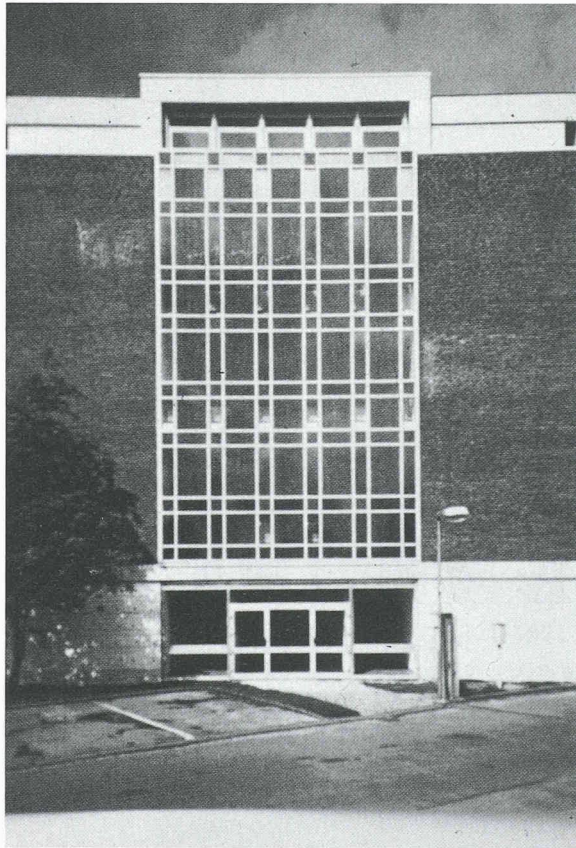


Fig. 5 et 6. – Façade photovoltaïque du bâtiment des services industriels d'Aix-la-Chapelle, Allemagne, vues de l'extérieur et de l'intérieur (arch. G. Feinhals)

L'Office fédéral de l'énergie, dans le cadre de son programme d'action *Energie 2000*, encourage et soutient la mise en valeur de sources d'énergie renouvelables, dont les installations photovoltaïques et, en particulier, leur intégration dans l'enveloppe des bâtiments. La subvention de la Confédération peut atteindre 30% du coût des installations pilotes ou de démonstration et, pour les bâtiments scolaires, elle est de 5000 francs par kilowatt de puissance photovoltaïque installée. L'Office contribue ainsi à la réalisation du but qu'il s'est fixé avec un montant de 2 à 3 millions de francs par année.

Dans le seul canton de Berne, 212 installations photovoltaïques représentent actuellement une puissance installée de 646 kW. Pour l'ensemble de la Suisse, toutefois, la puissance photovoltaïque totale aujourd'hui installée n'est que de 3 MW et les 50 MW

prévus correspondent environ à la puissance additionnée de toutes les cellules photovoltaïques produites dans le monde en 1991 (53 MW) – un chiffre qui, rappelons-le, n'égale jamais que 5% de la capacité d'une usine électrique d'importance.

Notons enfin que la production d'électricité par des installations photovoltaïques peut être évaluée de plusieurs points de vue: énergétique, économique ou écologique. Or, du point de vue d'un bilan *énergétique* global, il

faut également tenir compte de l'énergie dite grise, c'est-à-dire de l'énergie finale thermique³ nécessaire à la fabrication et à l'installation des panneaux photovoltaïques. Le temps de remboursement énergétique des installations photovoltaïques est ainsi de 5 à 10 ans (6,6 ans pour l'installation du Mont-Soleil, par exemple) et, si l'on estime leur durée de vie à 25-30 ans, leur facteur de rentabilisation énergétique est de l'ordre de grandeur de 3 à 5^{4,5}.

³Pour calculer l'énergie finale thermique, suivant en cela les études faites dans ce domaine par l'Université technique de Munich, on estime la part de l'énergie électrique de 50 à 90% de l'énergie totale et on multiplie cette valeur par 2,6, pour prendre en compte le rendement de la production de l'énergie électrique à partir de l'énergie thermique. 1 kWh électrique correspond ainsi à 2,6 kWh thermique.

⁴La *Statistique globale suisse de l'énergie* et la *Statistique suisse de l'électricité*, communiquées par l'Office fédéral de l'énergie (OFEN) et, pour la première, par le Comité national suisse du Conseil mondial de l'énergie, sont publiées chaque année dans le *Bulletin ASE/UCS*.

⁵Nous remercions M. Christophe de Reyff, adjoint scientifique de l'Office fédéral de l'énergie, Berne, pour ses précieuses informations.