**Zeitschrift:** Ingénieurs et architectes suisses
**Band:** 108 (1982)
**Heft:** 15-16

**Artikel:** L'avènement d'une industrie solaire photovoltaïque en Suisse
**Autor:** Martin, Claude
**DOI:** https://doi.org/10.5169/seals-74671

**Nutzungsbedingungen**
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. 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. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

**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. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

**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. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

**Download PDF:** 06.07.2025

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

# L'avènement d'une industrie solaire photovoltaïque en Suisse

par Claude Martin, Nyon

**Depuis déjà plus d'une année Pasan SA/Nyon, par l'intermédiaire de sa filiale Photonetics SA, fabrique en Suisse des cellules et des panneaux photovoltaïques qui permettent de convertir directement la lumière du soleil en électricité. Pasan, d'autre part, développe et fabrique des systèmes photovoltaïques autonomes destinés à un vaste éventail d'applications (télécommunications, pompage d'eau, conservation d'aliments, protection cathodique, électrification de zones rurales éloignées du réseau de distribution d'électricité), à destination principalement des pays africains et des pays du Moyen-Orient.**
**A ces deux sociétés vient récemment s'ajouter Intersemix SA/Gland, filiale de Semix Inc./USA, qui va fabriquer la matière première pour les cellules solaires: le silicium.**

## 1. Pourquoi l'énergie solaire?

*Le soleil: une ère nouvelle*

La révolution industrielle a commencé avec la machine à vapeur et l'utilisation du charbon. Avec l'accroissement de la demande d'énergie des pays industrialisés, on a bientôt découvert que la nature avait stocké dans le sous-sol d'énormes quantités d'énergie sous la forme de charbon, de pétrole et de gaz.

On a vite constaté que ces énergies pouvaient travailler pour nous, non seulement en remplaçant le travail humain, mais en permettant de développer des puissances considérablement plus grandes que celles que peut exercer l'être humain.

Dans les sociétés évoluées, la quasi totalité du travail physique est assuré par ces énergies et non plus par l'homme lui-même. La société complexe d'aujourd'hui a en fait été construite sur l'exploitation de l'énergie solaire, mais sous les formes très indirectes que sont le charbon, le gaz et le pétrole.

Il a fallu des millions d'années à la nature pour créer cette énergie dont nous faisons encore largement usage et qui représente notre libération du travail manuel. La qualité de la vie est étroitement liée à la disponibilité de ces énergies. De manière plus spécifique, on peut dire que l'énergie consommée et le produit national brut sont étroitement liés. Cela est valable aussi bien pour les pays sous-développés que pour les pays hautement industrialisés. De ce fait, l'énergie restera un élément fondamental du développement de l'humanité.

Pour l'avenir, la réponse est dans les sources d'énergie renouvelables. Il ne faut pas oublier que le soleil fournit approximativement un million d'unités d'énergie sur la terre annuellement.

En ces termes, il est évident qu'on est en présence d'une abondance d'énergie et que, toute proportion gardée, une relativement petite fraction de la surface terrestre permettrait de subvenir à nos besoins. Il y a crise de l'énergie en ce qui concerne les sources traditionnelles mais pas pour toutes les sources d'énergie. Du point de vue historique, il était inévitable que le gaz, le pétrole et le charbon dussent être les premières sources d'énergie à être mises en valeur.

A l'époque de la découverte de ces ressources, la science et la technologie basée sur l'héliotechnique n'étaient tout simplement pas à disposition.

Aujourd'hui, les connaissances scientifiques nécessaires au développement de convertisseurs d'énergie solaire sont largement acquises. Il est remarquable qu'au moment où les sources d'énergie fossile commencent à se tarir, il est possible de commuter sur des sources d'énergie gratuites, par exemple, la conversion directe de l'énergie solaire.

Il y a plusieurs manières de transformer l'énergie solaire en une énergie exploitable. Les usines hydroélectriques en sont un exemple marquant. C'est en effet le soleil qui est à l'origine du cycle de l'eau qui permet de faire tourner des alternateurs. Malheureusement les potentialités de cette source sont déjà presque épuisées. Une autre utilisation déjà relativement répandue consiste à contrôler le captage du rayonnement solaire par des appareils produisant de la chaleur, destinés à la production d'eau chaude ou au chauffage de locaux. Le vent est également le résultat d'une action directe du soleil et son utilisation pour fournir un travail mécanique est connue depuis l'antiquité.

Finalement, on arrive aux cellules solaires, qui font appel au phénomène photovoltaïque, c'est-à-dire à la conversion directe de la lumière en électricité sans aucun élément en mouvement.

Afin d'en comprendre le principe physique fondamental, l'observation de l'effet photovoltaïque exige qu'au moins deux conditions élémentaires soient satisfaites.

La première est relativement triviale, à savoir que la lumière doit être absorbée par le matériau considéré.

Par absorption, on entend ici que les photons incidents entrent en collision avec des électrons, en leur transmettant leur énergie. L'électron qui a ainsi absorbé un photon devient un électron excité. Dans cet état d'excitation apparaît dans son voisinage immédiat une paire de charges élémentaires positive/négative.

La charge négative est représentée par l'électron excité lui-même, alors que la charge positive correspond en fait à la place où cet électron se trouvait précédemment, c'est-à-dire un «trou».

Comme on a pu le constater, cet état d'excitation ne subsiste qu'un très court instant. Par comparaison, cette durée est de l'ordre d'un millionième de seconde pour les semi-conducteurs, alors que pour les métaux, il n'est que d'un trillionième. Si l'on ne s'occupe pas de ces électrons excités, ils quitteront bien entendu cet état; autrement dit, ils vont se recombiner. Lors de cette recombinaison les électrons retransfèrent leur énergie d'excitation à la structure atomique avoisinante. Cela a pour effet d'élever la température du matériau, ce qui explique la raison pour laquelle la plupart des matériaux s'échauffent sous l'action du soleil, effet que l'on peut facilement observer. En d'autres termes, l'absorption de la lumière, ou plus précisément de photons, aboutit à un phénomène auquel l'être humain est habitué depuis longtemps: la chaleur.

Reprenant l'explication précédente, on constate que si rien n'est entrepris à l'égard d'un électron excité pendant un millionième de seconde, correspondant à l'absorption d'un photon, son énergie d'excitation se transforme en chaleur. Par ailleurs, si nous pouvions créer une force capable de séparer les charges positive et négative apparaissant pendant cette excitation, il serait possible de capter ces charges au moyen d'électrodes métalliques et produire ainsi de l'électricité.

La question est donc de savoir comment créer une telle force. En fait, la nature y a déjà pourvu dans la mesure où toute jonction est déjà environnée d'un champ électrique. On sait déjà par ailleurs depuis longtemps que lorsque des matériaux différents sont en contact, il apparaît un champ électrique à l'interface. Cela résulte d'un échange de charge qui apparaît au moment du contact, ce qui aboutit naturellement à la création d'un champ électrique interne. Le champ électrique propre à la jonction, lorsque celle-ci est éclairée, assurera la séparation des charges à l'interface, ce qui n'est en fait rien d'autre que l'effet photovoltaïque.

## 2. Informations générales

*Le silicium* (fig. 1 et 2)

Bien que le silicium soit l'une des matières les plus abondantes sur la terre (environ 25% de la surface de la terre est constituée de silicium) cette matière n'existe pas pure à l'état naturel. Un processus de réduction est nécessaire pour produire du silicium propre à la fabrication de cellules solaires. L'approche habituelle — réduction et raffinage du silicium — n'offre pas d'abaissements de coût potentiels, même pour la production des grandes quantités demandées par l'industrie photovoltaïque dans le futur. C'est pourquoi Intersemix a choisi une approche révolutionnaire. Dans ce concept, un processus original *Split* (Simultaneously Present Large Impurities Technology) est utilisé afin d'obtenir des réductions du coût du kilogramme de silicium de 70 dollars US actuellement à environ 5 dollars.

Un autre processus original UCP (Ubiquitous Crystallization Process) permet d'utiliser du silicium contenant des impuretés d'un ordre de grandeur supérieur en quantité à celles contenues dans du silicium de qualité semi-conducteur mono-cristallin. Il est en outre très économique et permet d'obtenir des lingots de forme rectangulaire dont les cellules qui en résultent fournissent un meilleur rendement par unité de surface de panneau que les wafers circulaires résultants de la méthode appliquée jusqu'alors pour la production de cellules solaires.

*La cellule solaire* (fig. 3)

La cellule solaire se présente sous la forme d'une mince tranche de silicium qui, après avoir subi différents traitements de dopage et de métallisation, a

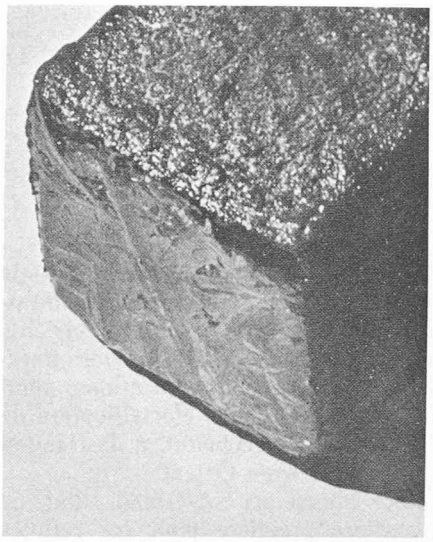


*Fig. 1. — Silicium.*

la propriété, une fois exposée au soleil, de transformer instantanément les rayons lumineux directs ou diffus en courant électrique.

Le phénomène appelé «effet photovoltaïque» est le résultat du bombardement de photons (lumière) sur la structure de la cellule, qui crée une différence de potentiel aux bornes de celle-ci: les électrons, mis en mouvement, produisent alors un courant électrique dont l'intensité est proportionnelle à la surface de la cellule et à l'importance du rayonnement lumineux.

Le rendement actuel des cellules atteint 16 à 18% en laboratoire; toutefois, pour des raisons évidentes de limitation des coûts, les cellules produites de façon industrielle et économique ont un rendement de 8 à 12%, soit une *puissance moyenne exploitable de 60 à 120 watts par m² de panneaux exposés en plein soleil.* La méthode de fabrication de cellules solaires appliquée en Suisse comprend la formation de jonctions, la métallisation des wafers et l'application de revêtements antiréflectifs, etc.

La méthode considérée devrait permettre un abaissement considérable des coûts de fabrication des cellules solaires. En particulier, des interconnexions en aluminium remplaçant les matériaux nobles amèneront une réduction substantielle des coûts de métallisation.

*Pasan SA*, toujours par l'intermédiaire de sa filiale *Photonetics*, produit d'ores et déjà des panneaux à partir de ses propres cellules solaires. Chaque cellule produit une tension d'environ 0,5 V et un courant dépendant de la dimension de la cellule. Pour ces raisons, les cellules sont donc connectées en différentes configurations parallèle/série, afin de produire les tensions et les courants requis pour des applications spécifiques. La fabrication de ces panneaux inclut les interconnexions et l'encapsulation des cellules sous une plaque de verre. Les panneaux ainsi créés résisteront à des conditions climatiques extrêmes (déserts, haute montagne, etc.).

*Les systèmes photovoltaïques* (fig. 4)

Par un assemblage judicieux de cellules sous forme de panneaux normalisés, l'on constitue un générateur solaire capable de fournir différentes tensions et courants. L'énergie ainsi disponible peut être utilisée directement ou stockée dans une batterie d'accumulateurs pour servir d'alimentation permanente.

La combinaison adéquate des panneaux, des batteries, de la régulation, de l'électronique de gestion et des interfaces entre ces générateurs et leurs applications conduisent à la conception de systèmes solaires photovoltaïques «à la carte» en fonction de la quantité d'électricité nécessaire et des différentes

*Fig. 2. — Wafer.*

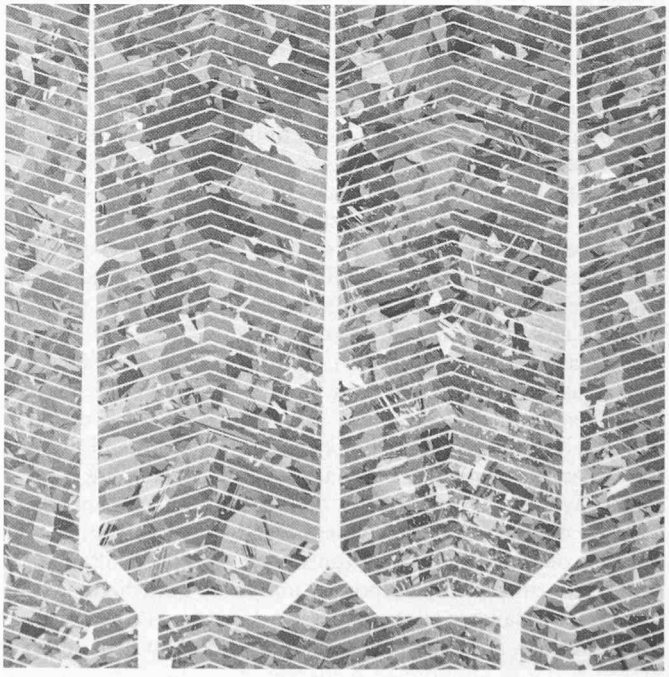


*Fig. 3. — Cellule photovoltaïque.*

conditions climatiques du lieu d'installation.
Cette souplesse permet également en tout temps d'agrandir l'installation. De tels systèmes sont aujourd'hui opérationnels dans le monde entier.
L'investissement peut être amorti à long terme grâce à la durée de vie, la faible maintenance et l'absence de frais d'exploitation de ce type d'installation.

*Régulation — Contrôle* (fig. 5)

Le régulateur solaire assure la gestion du stockage de l'énergie dans les accumulateurs en protégeant ceux-ci contre la surcharge ou la décharge profonde. Il contrôle le transfert de l'énergie vers l'utilisateur.
Les équipements électroniques sont protégés des intempéries dans un local technique, une cabine ou un boîtier étanche. Un onduleur peut assurer la fourniture d'énergie en courant alternatif.

*Batteries d'accumulateurs*

Elles emmagasinent l'énergie produite par les capteurs photovoltaïques. Une faible autodécharge et une maintenance négligeable caractérisent ce type d'accumulateurs qui doivent souvent fonctionner en site isolé.

*Générateurs électrosolaires* (fig. 6)

Un système de générateurs électrosolaires se compose de panneaux et de batteries d'accumulateurs associés à un dispositif de contrôle de charge qui constituent ainsi une source d'alimentation électrique indépendante.
Constitués de cellules mono ou semi-cristallines, ces panneaux résistent aux différences de températures, à la pluie, aux chocs, au sable, à l'humidité, au vent, à la corrosion...
Ils peuvent être groupés et montés au sol, sur des mâts, plans inclinés, toitures, façades, grâce à un système de fixation pratique et selon une organisation déter-

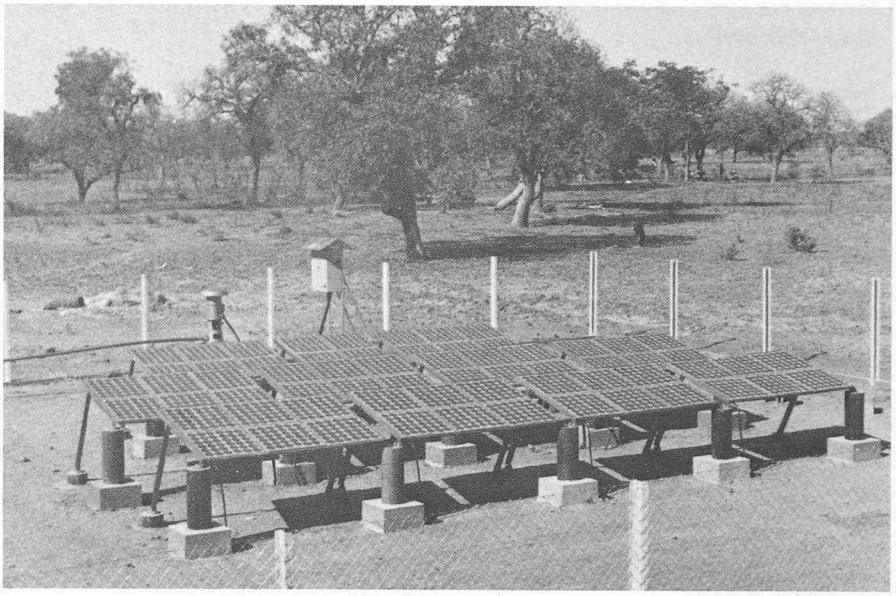


*Fig. 4. — Station de pompage.*
*Cette application de l'énergie solaire est très intéressante pour les pays fortement ensoleillés qui parallèlement ont un grand besoin d'eau difficile à satisfaire. Ici encore, la décentralisation d'une telle installation de captage permet de construire un pompage sur des points d'eau intéressants. Les coûts d'exploitations modestes de telles installations permettent d'obtenir de l'eau à un prix de Fr. —.20 à —.60/m³ pompé. Dans de telles stations de pompage, l'énergie nécessaire peut être convertie de deux façons différentes.*
*A: Pour des pompes à moteur électriques, au moyen de cellules solaires photovoltaïques.*
*B: Pour des pompes à entraînement mécanique, au moyen de capteurs thermiques et de turbines à vapeur.*

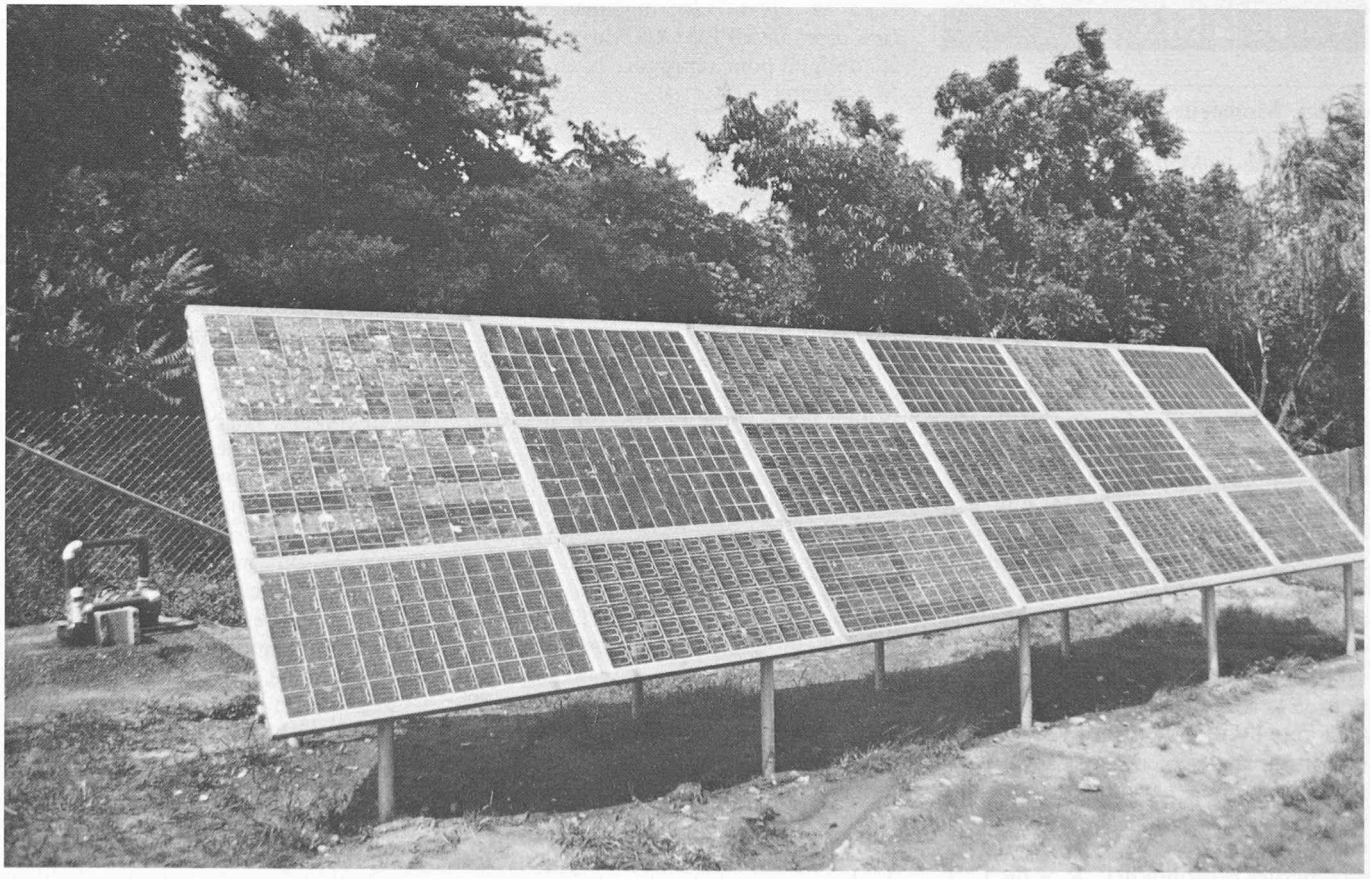
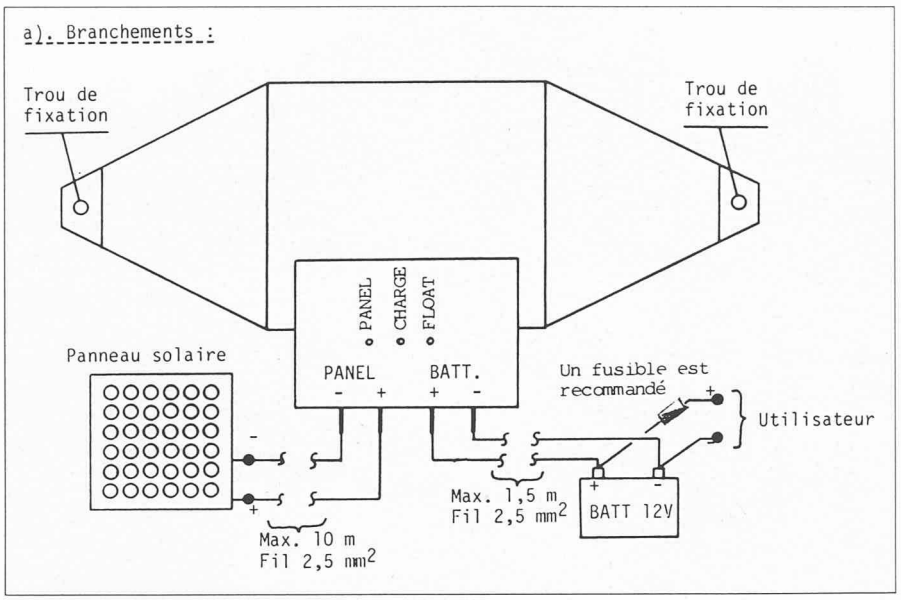


*Fig. 6. — Panneau de cellules photovoltaïques.*



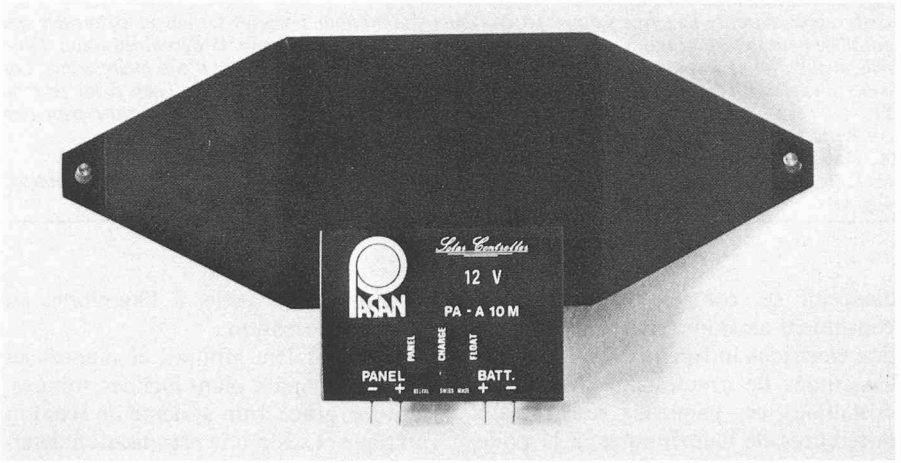




*Fig. 5. — Régulateur.*
*Caractéristiques techniques:*

| | |
|---|---|
| *Tension nominale* | *12 V* |
| *Courant max. panneau* | *10 A* |
| *Température de fonctionnement* | *−10 à +40 °C* |
| *Tension max. à vide (entrée et sortie)* | *26 V* |
| *Courant de « Floating »* | *100 mA typ.* |
| *Seuil de régulation* | *14,1 V +/− 0,3 V* |
| *Consommation sous 12 V entrée* | *20 mA max.* |
| *Consommation « Standby » sur batterie 12 V* | *1 mA max.* |

minée qui fixera le courant et la tension de service.

*Pasan SA* a mis au point un programme d'ordinateur permettant de définir et d'analyser au mieux les performances d'un système électrosolaire. Le bilan énergétique sur 25 mois du système proposé est simulé avec précision afin d'en prouver la fiabilité et de trouver la meilleure combinaison « batteries d'accumulateurs — puissance du système » correspondant à l'application considérée.

Adresse de l'auteur:
Claude Martin
Pasan SA
Levratte 20
1260 Nyon

# Vie de la SIA

## Merci, Monsieur Métraux!

M. Auguste-F. Métraux, ingénieur électricien, membre d'honneur de la SIA depuis 1971, désire pour raison d'âge se retirer cet été de la Commission centrale des normes (CCN). C'est à son initiative qu'on doit la fondation de cette commission en 1963. C'est grâce à la CCN que l'édition des normes SIA a pu se poursuivre sous une direction, un contrôle et une coordination efficaces. Membre depuis 1963 et président de cette commission durant sa première décennie d'existence, M. Métraux y a consacré une partie essentielle de son travail et y a en particulier défendu, à l'occasion de l'introduction des procédures de consultation officielles, une élaboration « ouverte » des normes. Durant dix-neuf ans, il a mis à la disposition de la SIA et du travail des normes, ainsi que du monde professionnel et de la collectivité en général, ses connaissances techniques exceptionnelles. Dans sa séance du 25 mai, la Commission centrale des normes a rendu hommage aux mérites exceptionnels de ce membre sortant.

C'est M. *Jules Peter*, ingénieur électricien diplômé EPF/SIA à Meggen, qui a été désigné pour reprendre la charge de M. Métraux.

## L'ingénieur forestier indépendant

### Possibilités et limites de son activité

*Bienne, 8-9 décembre 1982*

La SIA et la Société forestière suisse organisent en commun un cours destiné aux jeunes ingénieurs forestiers, en particulier aux nouveaux diplômés de l'EPFZ. Il s'agit de leur fournir des bases décisionnelles pour leur future carrière professionnelle et de les aider à exploiter pleinement le domaine d'activités possible. En outre, on leur présentera les risques que comporte une activité indépendante et les principes de l'organisation interne des entreprises.

Le nombre des participants est limité à 20. Le cours sera donné en français et en allemand, les 8 et 9 décembre 1982, à l'Ecole suisse du bois à Bienne.

Finance de cours (sans logement): 150 fr.

Renseignements et organisation:
M. C. Gilgen, ingénieur forestier dipl. EPFZ/SIA, Gartenstrasse 81, 4052 Bâle.

## GII: visites d'entreprises

### Viscosuisse SA à Emmenbrücke

Le succès des visites d'entreprises organisées par le Groupe des ingénieurs de l'industrie (GII) de la SIA s'est particulièrement avéré en décembre 1981. L'inscription de plus d'une centaine de membres, parfois avec leur conjoint, obligea le secrétariat à répartir les visites sur deux jours. Que Viscosuisse SA, qui a reçu les visiteurs le matin et pour midi, veuille bien trouver ici l'expression de leur gratitude.

Un intéressant exposé de M. J. Kemp, directeur, sur le rôle de l'ingénieur dans cette entreprise, fut suivi de la projection d'un film. En complément, les explications de M. K. Frei, directeur du marketing, ont permis de mieux comprendre la fabrication des fibres synthétiques « Nylsuisse » à partir d'acide adipique et d'hexaméthylène-diamine dérivés du pétrole, et « Tersuisse » en polyesters à base de glycol et de téréphtalate de diméthyle. De nombreux échantillons, de la matière première jusqu'au fil final, furent montrés en outre dans la salle de réunion où des vitrines d'exposition présentaient de belles lingeries confectionnées avec ces fils synthétiques.