

Objektyp: **Miscellaneous**

Zeitschrift: **Ingénieurs et architectes suisses**

Band (Jahr): **124 (1998)**

Heft 20

PDF erstellt am: **21.07.2024**

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.

Crain, adulé, apprivoisé ou analysé, le soleil a depuis toujours fait l'objet d'une attention poussée. Toute vie sur Terre en dépend. Si Aristote prétendait que le disque solaire était parfait et sans défaut, les premières taches solaires furent observées bien avant le début de notre ère. Avec l'avènement du télescope, puis l'apparition d'autres appareils de mesure, des générations d'astrophysiciens ont tenté de mieux connaître cette étoile. Depuis une vingtaine d'années, l'astre du jour fait l'objet d'enregistrements quotidiens de données, par le biais de satellites qui relèvent notamment l'énergie irradiée vers la Terre. Sa structure physique est aujourd'hui élucidée; en revanche, une compréhension complète de l'activité magnétique n'est pas encore acquise, pas plus que n'est clairement établie l'influence de cette activité sur le rayonnement solaire dont dépend si fortement la Terre et son climat. A l'Institut d'astronomie de l'Ecole polytechnique de Zurich, une équipe de chercheurs s'est appuyée sur l'étude des taches solaires pour élaborer un historique de l'évolution du rayonnement solaire sur plus de cent ans et établir une corrélation entre les variations de notre climat depuis 1880 et celles de la luminosité du soleil.

Petite période glaciaire et taches solaires

Si une baisse importante du rayonnement solaire n'est pas à craindre au cours des prochains millénaires – la durée de vie du soleil est encore estimée à cinq milliards d'années –, la Terre a déjà connu des changements climatiques importants, telles les grandes glaciations de la préhistoire par exemple. Des traces de variations climatiques plus modestes sont en outre attestées par les écrits dont nous disposons, sur des époques plus proches de nous. Ainsi, l'Europe occidentale a connu, aux XVII^e et XVIII^e siècles, une période froide, appelée le petit âge glaciaire, durant laquelle une extension de la banquise arctique et des glaciers de montagne a été constatée; la température d'alors était d'environ un degré inférieure à celle d'aujourd'hui. Si plusieurs causes sont évoquées (diminution de la chaleur transportée par le *Gulf stream*, regain d'activité volcanique, etc.), une explication semble rallier les astrophysiciens: la diminution de l'activité solaire. Les documents historiques de la deuxième moitié du XVII^e siècle ne mentionnent en effet presque aucune trace de taches solaires durant plusieurs décennies, soit de 1645 à 1715. Or ces taches sont le signe le plus visible d'une activité solaire. Des réchauffements de la planète ont également été observés aux XI^e et XII^e siècles, époque à laquelle l'Angleterre aurait cultivé de la vigne.

Observation du soleil

L'existence des taches solaires a été remarquée dès l'Antiquité. Bien qu'Aristote ait affirmé que le soleil était sans tache et qu'il soit à l'origine d'une école de pensée qui aura du mal à se défaire de cette idée, un

de ses élèves observe déjà des ombres sur l'astre du jour, au IV^e siècle avant J.-C. Les Chinois relèvent également de tels phénomènes avant notre ère. Ce n'est toutefois qu'avec Galilée et la fabrication des premiers télescopes, au début du XVII^e, qu'on y reconnaît un phénomène réellement solaire, et, il faut attendre les travaux de George Ellery Hale, en 1908, pour la mise en évidence du champ magnétique intense lié aux taches solaires.

Pour mieux comprendre l'origine de ces taches, une brève incursion dans la structure solaire s'impose. Au cœur du soleil règne une température et une densité très élevées (160 fois la densité de l'eau, 15 millions de degrés), maintenues par des réactions de fusion nucléaire. L'hydrogène y est transformé en hélium, ce qui libère une énergie colossale, sous forme de rayonnement sans cesse absorbé et réémis. Ces rayons traversent la zone radiative et perdent ainsi de l'énergie jusqu'à émettre principalement dans des longueurs d'onde visibles, au niveau de la photosphère, zone de surface du soleil. La température et la densité diminuent du centre vers la périphérie et à proximité de la photosphère, la température a suffisamment baissé pour que l'hydrogène et l'hélium ne soient plus complètement ionisés. Chauffés par cette énergie, les gaz amorcent alors d'amples mouvements vers le haut, se refroidissant et se détendant jusqu'à atteindre une température inférieure à celle de l'environnement. Les gaz amorcent alors une redescende, durant laquelle ils se réchauffent à nouveau.

La zone de convection s'étend sur le dernier tiers de la sphère solaire jusqu'à la photosphère. Cette dernière a une épaisseur approximative de 300 km et une température de 6000 degrés. Vue au télescope, la surface solaire offre une particularité: elle présente l'aspect d'un réseau très irrégulier, composé de granules d'environ un millier de kilomètres qui se renouvellent toutes les huit à dix minutes, sous l'effet de la convection. Cette granulation couvre uniformément toute la surface du soleil. Un autre phénomène d'importance considérable a été mis en évidence dans les années soixante: la supergranulation, dont les «cellules» sont quelque trente fois plus larges que les granules et dont la durée de vie est supérieure à dix heures.

Ces mouvements convectifs des gaz solaires ont des effets importants sur le magnétisme du soleil et sur la structure de la chromosphère et la couronne, situées au-dessus de la photosphère. Dans la chromosphère on observe des jets fins de gaz dirigés vers l'extérieur, les spicules, qui semblent se situer à la périphérie des réseaux de supergranulation. La couronne, un million de fois moins brillante que le disque atteint cependant des températures très élevées, non encore élucidées aujourd'hui. Du soleil s'échappent des particules ionisées, principalement des électrons, constitutifs du vent solaire.

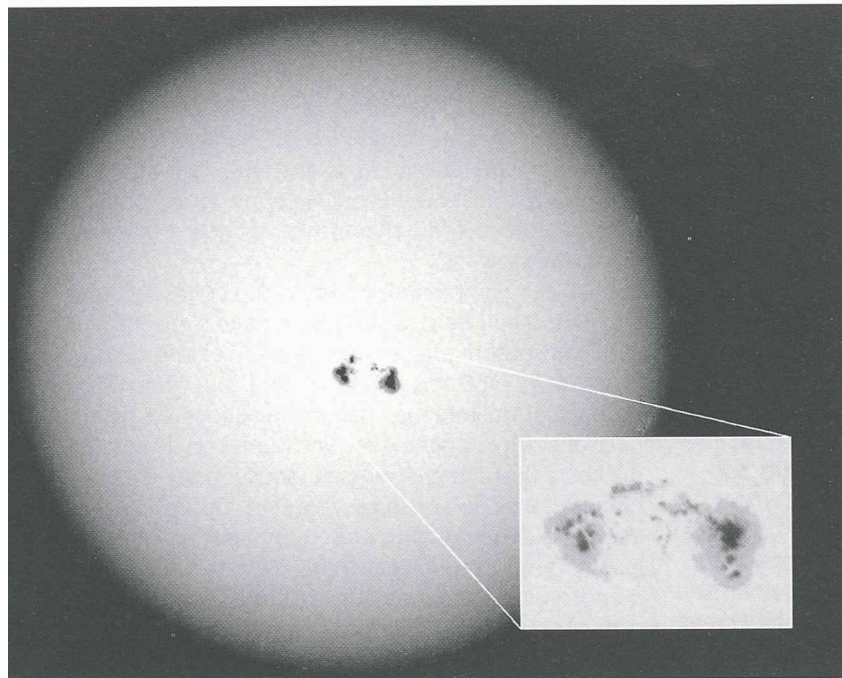


Photo du soleil prise le 26 novembre 1996: bien que l'activité solaire traverse un minimum à ce moment là, on peut distinguer clairement, au centre du soleil, un groupe de taches. (Photo prise par MDI (Michelson Doppler Imager), embarqué sur SOHO (SOlar and Heliospheric Observatory)).

Le soleil entretient un champ magnétique intense, complexe et variable, concentré dans ce qu'on appelle les tubes de flux, dont les taches solaires sont une des manifestations. Suivant leur grosseur, ces tubes de flux forment, au niveau de la photosphère, des taches sombres, les *taches solaires* ou des zones brillantes, les *facules*, toutes deux caractéristiques d'une région active. Les taches solaires sont des régions de température moindre, ce qui explique leur plus faible luminosité. Leur durée de vie est très variable, d'une heure à quelques mois. Leur taille aussi diffère, d'un rayon de 1000 km, à plusieurs fois le diamètre de la terre (environ 100 000 km). Même en période de forte activité, moins d'un pour cent de la surface solaire est couverte par ces taches. Ces dernières ont une forte tendance à apparaître par paires ou par larges groupes aux formes très complexes. Le cycle d'apparition et de disparition des taches suit une certaine périodicité: entre deux minima d'activité solaire s'écoulent en moyenne onze ans. La longueur du cycle peut cependant varier de huit à quinze ans, ce qui en modifie aussi l'amplitude. Ainsi, les périodes courtes présentent une amplitude plus forte, liée à une activité solaire plus marquée. Situées autour des groupes de taches apparaissent les facules, qui malheureusement ont été moins bien observées et répertoriées que les taches, à cause de leur contraste plus faible.

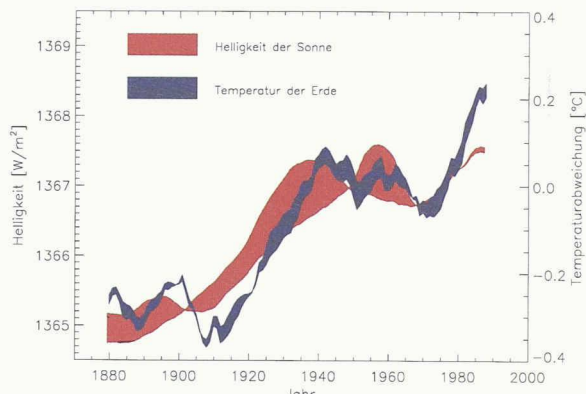
Influence des taches sur le climat terrestre

Les irrégularités de l'activité solaire, c'est à dire la variation des taches et facules, induisent des différences de luminosité. Elles sont minimes et très difficilement mesurables depuis la terre à cause de la perturbation provoquée par l'atmosphère terrestre. Mais grâce aux observations faites par satellites, une corrélation directe entre taches, facules et luminosité a pu être établie. Les taches semblent provoquer des variations de luminosité sur un temps court (quelques jours), en revanche les facules, en compensant l'influence négative des taches, semblent déterminantes sur un cycle de onze ans. C'est pourquoi, durant une période d'activité maximale, la luminosité totale est plus élevée – et ce malgré un plus grand nombre de taches – que pendant un minimum.

L'activité magnétique du soleil a également été mise en évidence par les radio-isotopes du carbone 14 et du béryllium 10. Ceux-ci sont en effet des sous-produits de la réaction de rayons cosmiques énergétiques avec la haute atmosphère. Or le vent solaire, modulé par l'activité magnétique solaire, protège la terre des rayons cosmiques qui pourraient la frapper et détermine directement le taux de production de radio-isotopes. Les données récoltées sur quelques siècles, à partir des deux isotopes de carbone et de béryllium, confirme certaines observations comme la baisse d'activité magnétique pendant le minimum de Maunder (petite période glaciaire).

Bien que des mesures continues de la luminosité du soleil existent depuis 1978, prises à partir de satellites, ce laps de temps ne suffit pas à établir des corrélations nettes avec l'évolution du climat terrestre au sol. Pour établir une corrélation à plus long terme entre la luminosité solaire et le climat sur Terre, l'Institut d'astronomie de l'EPFZ a entrepris de construire un modèle retraçant ce qu'a dû être la luminosité du soleil au cours du dernier siècle. L'étude se base principalement sur les taches et les facules, dont on retrouve un inventaire régulier jusqu'au milieu du siècle dernier, bien que les taches soient répertoriées avec une plus grande précision que les facules. Les données ont été soigneusement contrôlées et le modèle s'appuie sur l'hypothèse que les variations des structures magnétiques à la surface du soleil sont seules responsables des changements de luminosité, ce que les observations les plus récentes confirment. Cela n'exclut pas que, sur des périodes plus longues (supérieures à vingt ans), d'autres phénomènes entrent en jeu. De plus, une corrélation constante entre champ magnétique solaire et luminosité ayant pu être observée sur les deux derniers cycles, l'hypothèse de la constance de ce rapport a été extrapolée aux périodes précédentes.

L'équipe de chercheurs autour du professeur Stenflo a, dans un premier temps, analysé l'influence des taches et des facules séparément, l'influence des



Luminosité du soleil en rapport avec le climat terrestre. La température relevée est la température globale de la Terre avec comme référence la température de 1950 (échelle de droite). La luminosité du soleil, telle qu'elle a été calculée par l'Institut d'astronomie, apparaît en rouge (échelle de gauche). Les courbes ont été lissées sur onze ans pour souligner l'évolution sur le long terme.

taches étant proportionnelle à leur surface. Pour faire le calcul sur les cent vingt dernières années, les données de plusieurs observatoires ont dû être rassemblées et combinées. La reconstruction de l'historique des facules et de leur influence est quant à elle nettement plus difficile à effectuer. D'une part il a été établi que, sur une courte période, les facules suivent assez précisément le nombre des taches; d'autre part, un indice a été trouvé qui décrit l'évolution de ces phénomènes sur une longue période.

L'historique de la luminosité solaire depuis 1880 a été reconstitué par superposition des variables à court et long terme. Le résultat montre une concordance étonnante entre les courbes des températures terrestres (une température globale a été définie qui tient compte des données recueillies par des stations climatiques distribuées sur toute la terre) et celles de la luminosité du soleil jusqu'au milieu des années 70. De là a été construite l'hypothèse qu'une baisse de l'activité solaire influence directement la température de notre planète, sur cette échelle de temps. Les variations de la luminosité sur plus d'un siècle demeurent cependant très modestes: elles s'évaluent en pour mille de l'intensité totale. Après 1975, d'autres phénomènes doivent être évoqués pour expliquer le réchauffement terrestre constaté: l'intervention des gaz à effet de serre ou d'autres phénomènes naturels. Cela étant, et bien que la compréhension du climat soit loin d'être complète, une corrélation entre variation de la température et changement d'activité solaire est très vraisemblable.

Le soleil reste un important objet d'observation, comme le prouvent les nombreuses missions lancées

Recherches astronomiques en Suisse – deux exemples

L'Institut d'astronomie de l'EPFZ

Cet institut, qui a été fondé en 1980, assure l'enseignement de l'astronomie, tant à l'EPFZ qu'à l'Université de Zurich. Il est dirigé par le professeur Stenflo.

L'Institut s'intéresse prioritairement aux recherches sur la physique du soleil et des étoiles, à la radio-astronomie, à l'astrophysique des plasmas, et à l'instrumentation astronomique.

Les principales observations sont réalisées hors de Suisse, sur les télescopes les plus puissants, au sol ou dans l'espace. A titre d'exemple, mentionnons la participation de l'Institut à des programmes de recherche: dans le cadre de la mission du Télescope Hubble, de celle de SOHO (*Solar and Heliospheric Observatory*), avec l'ESO (*European Southern Observatory*), sur les installations des îles Canaries, etc. L'Institut possède également une station de radio-astronomie près d'Aarau, et une tour solaire à Zurich, destinée à des tests optiques de nouveaux instruments et à l'enseignement. Le groupe de recherche a notamment développé des instruments très spécifiques pour la mesure précise de la polarimétrie vectorielle, actuellement adoptés par les spécialistes.

Marcel Fligge, Institut d'astronomie, EPFZ

L'Observatoire de Genève

L'Observatoire de Genève et l'Institut d'astronomie de Lausanne forment, ensemble, le centre de recherche le plus important de Suisse. Leurs centres d'intérêt touchent à la physique stellaire et à la dynamique des galaxies. Des méthodes d'observation très raffinées sur les vitesses radiales d'une sélection d'étoiles a permis de prouver, en 1995, l'existence d'une planète autour de l'étoile 51 Pegasi. Cette mise en évidence due à Michel Mayor et Didier Queloz a fait du bruit dans le monde de l'astronomie.

Bernard Nicolet, Observatoire de Genève



Ciel austral: la voie lactée Sud et l'observatoire de La Silla au Chili (Photo: Noël Cramer, Observatoire de Genève)

Caractéristiques du soleil

Etoile la plus proche de la terre, le soleil est formé de gaz incandescents, dont trois quarts d'hydrogène et un quart d'hélium, avec des traces de métaux lourds

Rayon: 700 000 km, soit 105 fois le rayon de la Terre

Masse: $2 \cdot 10^{30}$ kg, soit 333 000 fois la masse de la Terre

Température centrale: 15 millions de degrés dus aux réactions de fusion nucléaire qui transforment l'hydrogène en hélium

Température de surface: 6000 degrés

Rayonnement total (luminosité): $4 \cdot 10^{23}$ kW

Constante solaire (énergie mesurée sur la Terre): 1365 W/m^2

ces dernières années. Parmi elles, l'Observatoire Solaire et Héliosphérique (SOHO) est un des projets les plus ambitieux de l'ASE (Agence spatiale européenne) et de la NASA pour les années 1990. Il a été conçu pour étudier la structure interne du soleil, son atmosphère externe étendue ainsi que l'origine du vent solaire, grâce à une observation continue du soleil, à environ un million et demi de kilomètres de la Terre.

Remerciements

Nous tenons à remercier chaleureusement M. Marcel Fligge de l'Institut d'astronomie de Zurich, pour sa relecture attentive du texte, ses conseils et corrections. Notre gratitude va également à M. Bernard Nicolet, de l'Observatoire de Genève pour ses remarques et à Noël Cramer pour les photos mises à disposition.

Références bibliographiques

PHILLIPS, KENNETH J.H.: «Guide to the sun», Cambridge University Press, 1992

FOSSAT, ERIC; SOUFFRIN, PIERRE: «Le soleil, étoile variable», *La recherche*, N° 90, juin 1978, vol. 9, pp. 526-535
Dossier soleil, encyclopédie Hachette



La Croix du Sud, avec Alpha et Beta du Centaure, juin 1996, La Silla, Chili (Photo: Noël Cramer, Observatoire de Genève)

FLIGGE, M.; SOLANKI, S.K.: *Solar Physics*, 173, p. 427-439

FLIGGE, M.; SOLANKI, S.K.: document en préparation pour la revue *Spektrum der Wissenschaft*

BALIUNAS, SALLIE; SOON, WILLIE: «The sun-climate connection», *Sky and Telescope*, décembre 1996, pp. 38-41

Energie solaire passive: plus de vingt-cinq ans de développement



La TOITURE SOLAIRE AS sur une piscine dans les Grisons (photo Energie solaire SA)

Pionnière du solaire thermique en Suisse, Energie solaire SA fête son 25^e anniversaire: histoire d'un développement qui a nécessité persévérance et inventivité.

S'il y a vingt-cinq ans, il était déjà beaucoup question du solaire, cette «mode» relevait cependant de raisons quelque peu différentes d'aujourd'hui: il y avait la peur panique de manquer de pétrole (souvenez-vous: le premier choc pétrolier, les dimanches sans voitures...).

Sept ans plus tard, deuxième choc pétrolier et nouvel enthousiasme pour le solaire. Cette fois, c'est plus sérieux: les autorités suivent le mouvement, lancent des programmes de subventions (je pense à la France, à l'Espagne, aux USA, bien plus qu'à la Suisse).

Chacune de ces deux poussées de fièvre solaire a vu

naître nombre d'entreprises et de bureaux «spécialisés». Bien peu ont survécu, victimes du changement de mode, de la disparition des subventions ou simplement désillusionnés: le marché solaire n'était pas la poule aux œufs d'or qu'ils avaient cru trouver.

La fin des années 80 voit une nouvelle vague d'intérêt pour le solaire, plus sérieuse que les deux précédentes, semble-t-il, parce que motivée par une prise de conscience des problèmes liés à l'environnement et au développement durable.

Fondée en décembre 1973, par un petit groupe d'ingénieurs, d'architectes et d'universitaires vaudois, *Energie solaire SA* est, sinon la première, tout au moins l'une des plus anciennes sociétés suisses exclusivement axée sur l'exploitation de l'énergie solaire. Elle fait partie des pionniers, de ceux qui ont perduré. Avec des hauts, avec des bas, elle a suivi la ligne qu'elle s'était fixée:

- le solaire thermique (parce que le plus rentable),
- la technologie de pointe (parce que la plus performante),
- la fabrication industrielle (parce que la plus fiable).

Il a fallu près de huit ans pour concevoir et réaliser un produit performant et fiable ainsi que les équipements de fabrication spécifiques; puis, ensuite, une bonne décennie pour que le marché prenne de l'ampleur.

Energie solaire SA a donc développé son absorbeur solaire, dans un premier temps, avec des fonds privés suisses, puis dès 1975, avec les moyens et la collaboration technique de la société française *Saint-Gobain-Pont-à-Mousson* puis de sa filiale, *Saunier Duval*. Cette participation fut essentielle: une petite société suisse n'aurait jamais pu financer seule les recherches, les développements, les nombreux tests et la conception de machines uniques. Plus de cinq millions de francs ont été ainsi investis avant que le premier absorbeur de série ne soit produit, en 1980.

Dès lors, et jusqu'en 1984, *Energie solaire SA* s'est chargée de la production des absorbeurs, le partenaire français s'occupant de la fabrication des capteurs et de la commercialisation.

En 1985, cependant, *Energie solaire SA* se retrouve seule, *Saunier Duval* ayant définitivement renoncé à son activité solaire, car le marché français, en stagnation, voire en régression, ne correspondait pas aux espoirs qu'avaient fait naître des études de marché par trop optimistes.

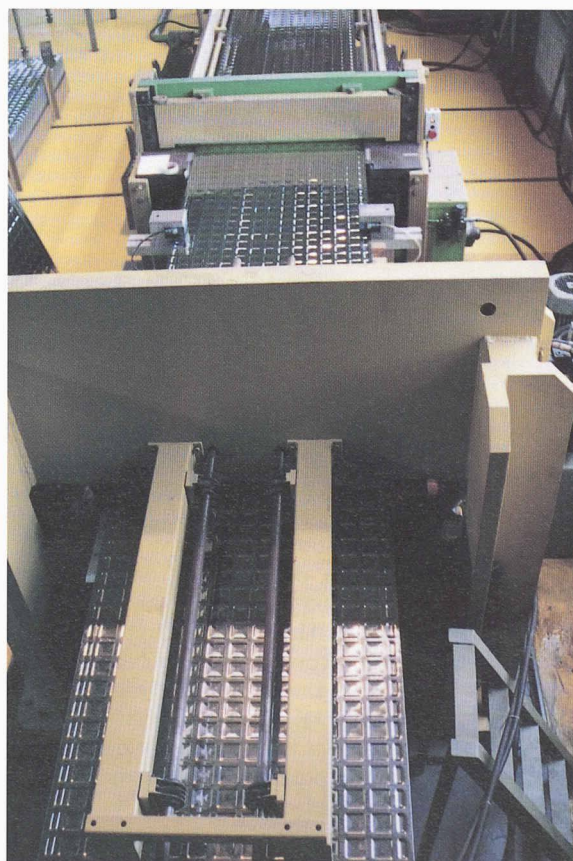
Passablement endettée, presque sans client propre, sans aucun moyen pour développer seule son marché, *Energie solaire SA* va traverser quelques années noires. En 1988, cependant, grâce à une augmentation de capital entièrement souscrite par le groupe *Granit* et grâce à un cautionnement de *Sodeval SA*, elle s'installe en Valais, à Sierre, où 1989 marquera un nouveau départ de la société.

Dans son usine de Sierre, sur une ligne largement automatisée, *Energie solaire SA*, entreprise à vocation

industrielle, fabrique des absorbeurs en acier inoxydable avec un traitement sélectif au chrome noir, qu'elle vend à des fabricants de capteurs. L'absorbeur d'*Energie solaire SA* étant un produit très performant, les fabricants qui l'utilisent peuvent offrir les meilleurs capteurs plans du marché, comme le prouvent les tests officiels de l'ITR¹.

Energie solaire SA a, en outre, développé deux nouvelles utilisations de l'absorbeur: le capteur sans vitrage et le plafond rayonnant. Le premier a notamment permis de réaliser la *TOITURE SOLAIRE AS*, une solution économique, esthétique, combinant couverture et capteur solaire en un système qui a reçu, en 1995, le prix de l'Académie suisse des sciences techniques. De surcroît, en tant qu'échangeur de chaleur, l'absorbeur trouve des applications non solaires, en particulier pour le chauffage et le refroidissement des locaux. Les premières années du redémarrage ont été particulièrement pénibles, mais ont débouché sur une période plus favorable. *Energie solaire SA* a maintenant les moyens d'investir tant dans l'ouverture de nouveaux marchés que dans le développement tech-

¹ L'École d'ingénieurs de Rapperswil/SG (ITR) abrite un institut, mandaté par l'Office fédéral de l'énergie, qui réalise des tests sur des systèmes ou installations solaires.



Ligne de fabrication des absorbeurs (photo Energie solaire SA)

nique, grâce à un chiffre d'affaires et un *cash-flow* en constante progression.

L'entreprise a des projets en Allemagne, en Autriche, en Espagne et vient de mettre au point une nouvelle couche sélective qui absorbe 95 % du rayonnement solaire, mais limite à 5 % les déperditions par rayon-

nement thermique. Les capteurs solaires vitrés et sans vitrages verront ainsi leur performances améliorées. Une manière de démontrer, qu'après un quart de siècle, *Energie solaire SA* entend toujours rester à la pointe dans le solaire thermique.

Jean-Pierre Rossy, Energie solaire SA, Sierre

Energie photovoltaïque: des perfectionnements techniques continus

Développées depuis trente ans, les techniques permettant de convertir le rayonnement solaire en électricité ne cessent de se perfectionner. De nouvelles percées laissent entrevoir la possibilité d'une baisse importante du coût de l'énergie ainsi produite.

Le photovoltaïque est une application de l'énergie solaire qui produit directement de l'électricité de façon élégante, silencieuse et sans mouvement mécanique. En arrachant des électrons aux couches semi-conductrices qui composent la cellule photovoltaïque, la lumière solaire génère une tension électrique de l'ordre de 0,5 V. Initialement développée pour les besoins de la conquête spatiale il y a trente ans, cette technologie, encore jeune, progresse continuellement vers les applications terrestres les plus variées. Elle permet notamment la production d'électricité dans des sites isolés où un approvisionnement électrique traditionnel est impossible ou d'un coût prohibitif. De nombreuses applications concernent aussi les secteurs professionnel, domestique ou de loisirs et pour les habitants des pays en voie de développement, c'est souvent un moyen approprié de satisfaire une demande énergétique. Dans les pays industrialisés, enfin, des applications photovoltaïques couplées au réseau électrique gagnent progressivement en importance.

Lorsque la densité de population est forte, comme dans les pays d'Europe centrale, ces systèmes s'intègrent à l'environnement construit, soit aux toits et façades des bâtiments, soit aux infrastructures, routières et ferroviaires en particulier. La Suisse jouit d'une tradition exemplaire en matière d'intégration de tels systèmes au bâtiment et compte aujourd'hui la plus forte densité mondiale, par habitant, de modules incorporés. De nouveaux produits industriels ont ainsi été introduits sur le marché, qui rencontrent l'intérêt bien au delà des frontières du pays.

Chacune des applications photovoltaïques évoquées a un potentiel de marché énorme et se trouve en phase de développement. Dans les zones en voie de développement, deux milliards de personnes vivent en effet sans électricité. Quant aux pays industrialisés, leurs surfaces disponibles en infrastructures construites y permettent une contribution significative à la production d'électricité. Une étude détaillée du potentiel photovoltaïque dans les bâtiments en Suisse a ainsi montré récemment que les toits présentant des conditions favorables à une telle production totalisent à eux seuls plus de 100 km² de surfaces disponibles.

Les limites du photovoltaïque ne se situent donc pas, et ce pour très longtemps encore, dans son potentiel d'applications et sa contribution possible à l'alimentation du

réseau électrique. L'obstacle réside dans un coût de l'énergie produite qui demeure élevé, malgré la fiabilité des systèmes existants et leur état technologique avancé. Il n'y a guère que pour les applications en site isolé, que ce critère n'est en général pas déterminant, puisque le service fourni répond à un besoin qui ne peut souvent pas être obtenu d'une façon plus économique. Dans les pays en voie de développement, les problèmes sont avant tout liés aux possibilités de financer une petite installation énergétique qui requiert un investissement initial important. C'est là que des agences monétaires multilatérales telle que la Banque Mondiale ou de nouvelles organisations spécifiques ont récemment reconnu leur rôle.

Pour les applications couplées au réseau électrique dans les pays industrialisés, la situation se présente différemment: malgré une baisse sensible des coûts (de 25 % en moyenne sur les cinq dernières années), le prix du kWh photovoltaïque se situe encore autour de un franc suisse. Il n'en existe pas moins un marché réel pour ces applications et, grâce à de nouveaux modèles de financement introduits par certaines entreprises électriques, de plus en plus de clients ont obtenu la possibilité d'acheter de l'énergie photovoltaïque ou provenant d'autres sources renouvelables au prix du marché. Bien que limitée à une fraction de personnes qui sont près de faire le pas, cette option a séduit plus que 20 000 clients à travers toute la Suisse à ce jour.

Cela étant, la pression du marché ne suffira pas à permettre au photovoltaïque de développer tout son potentiel. C'est pourquoi sur le plan technologique, les progrès doivent persister et les coûts baisser grâce à des systèmes plus efficaces. Aujourd'hui dominées par le silicium sous forme cristalline, les prochaines générations de cellules photovoltaïques seront très probablement des couches minces. Là encore, la Suisse participe aux développements les plus avancés: Dans les laboratoires de nos universités et écoles polytechniques, on travaille sur les pistes les plus prometteuses et un intérêt du côté industriel se dégage progressivement. Si l'ultime défi demeure le transfert des prototypes vers des produits et systèmes industriels, la Suisse peut s'appuyer sur l'expertise qu'elle a acquise tant au niveau de la recherche que dans les applications du photovoltaïque et il s'agira, durant ces prochaines années, de continuer à participer à un développement qui bénéficie d'une dynamique internationale croissante.

Stefan Nowak, NET Nowak

Energie & Technologie SA, 1717 St. Ursen

Chef du programme photovoltaïque de l'Office fédéral de l'énergie (OFEN)

Notes de lecture

Quand on percevait nos grands tunnels ferroviaires

Si les projets de transversales alpines font beaucoup parler d'elles, c'est moins pour des raisons techniques que pour des questions de gros sous.

Rappelons-nous que les grands tunnels liés à la position géographique de la Suisse ont d'abord été percés et mis en service grâce au travail d'ingénieurs et de travailleurs (dont beaucoup d'étrangers).

Ce qui appartient aujourd'hui tant au patrimoine qu'à l'équipement de notre pays n'a pas été réalisé dans la facilité, comme nous le rappelle cet ouvrage édité par la *Gesellschaft für Ingenieurbauplastik*. Il retrace l'histoire de chacun des trois grands tunnels alpins actuels avant d'en examiner les différents aspects techniques, allant de la géologie aux finitions, en passant par les méthodes employées ou la ventilation, sans oublier les inévitables incidents ou accidents survenus au cours des travaux.

Une riche iconographie en rend la lecture particulièrement attrayante. Un *must* pour l'ingénieur !

« Historische Alpendurchstiche in der Schweiz - Gotthard - Simplon - Lötschberg », un vol. broché 23x20,5 cm, 128 pages avec de nombreuses illustrations. Édité par la *Gesellschaft für Ingenieurbauplastik*, Zurich, 1996

Quand des Vaudois s'arrachaient à la glèbe

L'héritage de Ramuz ne nous donne guère du Vaudois l'image d'un être dynamique, vivant la tête dans les étoiles. Et pourtant, des enfants de ce canton ont figuré en excellente place parmi les pionniers de l'aviation en Suisse.

– Edmond Audemars, natif du Brassus, fut le premier pilote breveté suisse, puis effectua successivement le premier vol Paris-Berlin, en août 1912, et le premier Berlin-Paris, l'année suivante, avant de battre le record du monde d'altitude en 1915.

– René Grandjean, originaire de Bellerive près d'Avenches, construisit le premier avion suisse à avoir volé, le 10 mai 1910 à Avenches, aux mains d'Ernest Failloubaz, natif de cette même ville.

– Avenches a encore vu le premier meeting d'aviation de Suisse, en octobre 1910, prélude à la création d'un aérodrome où s'installèrent une école de pilotage et une fabrique d'avions.

Ces précurseurs ont ouvert la voie à des générations de pilotes vaudois, dont deux des plus illustres : Francis Liardon, premier Suisse champion du monde de vol de virtuosité, en 1959 à Coventry, et l'astrophysicien Claude Nicollier, Dr h.c. de l'EPFL, membre d'honneur de la SIA, seul astronaute suisse.

Dans le domaine des aérodromes, l'histoire est moins prestigieuse depuis les premiers vols dans le ciel vaudois. Pour les quatre terrains civils subsistant dans ce canton – La Blécherette à Lausanne, Bex, La Côte et Yverdon –, combien de champs d'aviation, voire d'aérodromes

(Montreux-Rennaz), ont disparu ? De projets d'aéroports prometteurs, il ne reste que des plans jaunis : Ecublens et Etagnières (ex-futurs aéroports lausannois), Noville.

Certes, Lausanne conserve son aéroport historique, avec charge à ses sauveteurs d'en assurer non seulement la survie, mais la vie. Mais la comparaison avec le Valais, Fribourg ou Neuchâtel est douloureuse : ici, pas d'appuis de la part des collectivités publiques, comme cela est le cas pour Sion, Ecuvillens ou La Chaux-de-Fonds.

Un ouvrage récemment paru, faisant suite à celui consacré en 1990 à l'histoire de La Blécherette, survole (si l'on peut dire !) l'histoire de l'aviation dans le canton de Vaud. Peut-on lui reprocher de faire plus de place à l'enthousiasme qu'à la rigueur, quand on parcourt ces témoignages magnifiques et nostalgiques d'un temps où « les Vaudois se sentaient des ailes », comme l'écrit l'auteur ? L'histoire de l'aviation n'a jamais eu un parcours linéaire, pas plus dans le canton de Vaud qu'ailleurs. Ne boudons donc pas le plaisir de revivre des épisodes trop souvent oubliés.

CORNAZ, PHILIPPE : « L'aviation vaudoise », un vol. relié 22,5x28,5 cm, 248 pages avec de nombreuses illustrations. Édité par l'auteur, Ch. de la Perrause 15, 1052 Le Mont-sur-Lausanne, 1997. Prix Fr. 79.–

Quand la Suisse déployait ses ailes

L'histoire de la technique nous offre des comparaisons intéressantes. Il n'y a pas si longtemps que notre compagnie aérienne – qui se dit nationale – *Swissair* cherchait son salut dans le repli de ses vols intercontinentaux de Genève à Zurich. Il fait bon se souvenir notamment des pionniers grâce auxquels cette compagnie existe aujourd'hui et remercier le ciel qu'ils aient été au service d'une idée d'avant-garde plutôt que d'actionnaires exigeants. *Swissair* est née en 1931 de la fusion de deux petites compagnies aériennes privées fondées et animées par deux pionniers aussi dissemblables que complémentaires : Walter Mittelholzer (1894-1937) et Balz Zimmermann (1895-1937). C'est grâce au dynamisme qu'ils ont insufflé à l'entreprise commune qu'elle a survécu à leur disparition presque simultanée et atteint à la veille du conflit mondial de 1939 une position européenne justifiant sa survie, puis son développement jusqu'à nos jours. A méditer par les gestionnaires...

D'autres pionniers, pilotes tout comme Mittelholzer et Zimmermann, ont marqué l'essor de l'aviation suisse, notamment dans la conception et la construction d'avions renommés sur le plan international, comme par exemple les frères genevois Dufaux Armand¹ (1883-1941) et Henri (1879-1980) ou le Juras-

¹Heureuse époque, où un artiste-peintre comme Armand Dufaux ne dédaignait pas se consacrer en pionnier à la technique de pointe de l'époque, payant de sa personne pour piloter le premier avion – un Dufaux – à survoler le lac Léman dans toute sa longueur (80 km en 1 h 18), le 28 août 1910 !

sien Alfred Comte (1895-1965). Oskar Bider (1891-1919), figure légendaire à l'origine de l'aviation militaire suisse après avoir attiré l'attention de l'Europe par plusieurs vols spectaculaires entre capitales européennes avant 1914, complète cette brochette de pionniers.

Le petit ouvrage édité par le *Verein für wirtschaftshistorische Studien*, 46^e d'une série consacrée aux pionniers suisses de l'économie et de la technique, rappelle fort opportunément en retraçant brièvement la carrière de ces pionniers que c'est la technique qui conduit à la réussite économique, et non le contraire. En ce sens, il a conservé toute son actualité une décennie après sa parution.

« Sechs Schweizer Flugpioniere », un vol. broché 17x24 cm, 100 pages, richement illustré, édité par le *Verein für wirtschaftshistorische Studien*, Zurich, 1987 (épuisé)

Quand les ailes suisses ont découvert les océans

Le 67^e volume de cette collection constitue la suite logique de celui rappelé ci-dessus. Si l'aviation militaire y est représentée par Theodor Real (1881-1971), c'est l'extension du réseau aérien suisse qui y constitue l'essentiel du propos.

Les personnages clés en sont Arnold Isler (1882-1941), directeur de l'Office fédéral de l'air de 1920 à sa mort, Eduard Amstutz (1903-1985), professeur de statique et de construction d'avions à l'EPFZ, puis président de la direction du Laboratoire fédéral d'essais des matériaux², Walter Bechtold (1906-1986), président de la direction de Swissair de 1950 à 1971 (après avoir été rédacteur économique de la *Neue Zürcher Zeitung*, puis directeur du III^e arrondissement des CFF de 1945 à 1950!), et Jakob Ackeret (1898-1981), professeur d'aérodynamique et de mécanique des fluides à l'EPFZ de 1931 à 1967.

Si Arnold Isler a défini le cadre juridique et administratif de l'aviation suisse moderne, c'est au professeur Amstutz, délégué du Conseil fédéral à l'aviation, que revient le mérite d'avoir prévu l'essor de l'aviation civile après la deuxième guerre mondiale et d'avoir convaincu le Conseil fédéral que la Suisse y aurait sa place. Tant ses connaissances en matière aéronautique que ses relations internationales lui ont permis dès 1945 d'annoncer l'arrivée des premiers long-courriers transatlantiques en Suisse³. Il avait compris que ces avions auraient une capacité de transport multiple de celle d'un paquebot⁴, la fréquence des vols étant un atout majeur.

C'est donc grâce à lui que Swissair a inauguré le 2 mai 1947 sa ligne Genève-New York. En 1950, la nécessaire acquisition d'avions modernes à cabine pressurisée avec l'aide de la Confédération a certes fait taire les partisans d'un réseau aérien purement continental, censé relier notre pays aux grands aéroports européens, mais a mis la compagnie dans une situation

financière critique, certains parlementaires demandant même sa liquidation. Grâce à l'identité de vues entre Walter Bechtold et Eduard Amstutz (membre du conseil d'administration de Swissair depuis 1947), l'option intercontinentale l'a emporté. On connaît la suite : aujourd'hui, des avions suisses nous relient aux cinq continents. C'est également à ces deux hommes qu'il a appartenu de conduire Swissair dans l'âge de l'avion à réaction, sur la proposition d'un jeune ingénieur transfuge de la Fabrique fédérale d'avions d'Emmen, Armin Baltensweiler, qui devait accéder à la tête de la compagnie.

Il appartenait à Jakob Ackeret de poursuivre à Zurich l'œuvre de Ludwig Prandtl, avec lequel il avait collaboré pendant plus de cinq ans dans « la Mecque » de l'aérodynamique qu'était le centre de recherche de Göttingue, en Allemagne. Mentionnons sa thèse sur la cavitation (il a été chef du laboratoire des machines hydrauliques chez Escher Wyss SA), puis ses travaux en vue du vol supersonique. C'est ainsi qu'il a construit en 1934, à l'EPFZ, la première soufflerie supersonique en circuit fermé du monde. On lui doit la définition du critère essentiel pour l'étude des écoulements supersoniques qu'est le nombre de Mach (sa modestie lui a fait attribuer le nom du physicien autrichien, plutôt que le sien ; qui sait aujourd'hui qui est le père du nombre de Mach ?).

Parmi les personnalités que j'ai eu le privilège de compter comme professeurs à l'EPFZ, Eduard Amstutz et Jakob Ackeret m'ont très profondément marqué ; ils restent également vivants dans le souvenir de mes condisciples. Il n'allait pas de soi qu'ils choisissent de rester en Suisse, plutôt que de connaître de plus lucratives carrières outre-Atlantique ; c'est également dans cet esprit qu'est rentré des Etats-Unis pour les rejoindre Manfred Rauscher, professeur de statique et de construction d'avions.

« Schweizer Wegbereiter des Luftverkehrs », un vol. broché 17x24 cm, 94 pages, richement illustré, édité par le *Verein für wirtschaftshistorische Studien*, Zurich, 1998. Prix : Fr. 22.-

Jean-Pierre Weibel

²Fonction dans laquelle il a planifié et réalisé la modernisation ainsi que le transfert de cette institution vers son emplacement actuel à Dübendorf.

³Premier atterrissage d'un avion de TWA à Genève : 6 avril 1946 ; ni l'aérodrome mixte militaire-civil de Dübendorf, ni les marais de Kloten ne s'y prêtaient alors...

⁴En une heure, un Boeing 747 de 350 passagers volant à 800 km/h offre une capacité horaire de 280 000 km.passagers, contre 200 000 pour un paquebot emmenant 4000 passagers à 50 km/h. Ajoutons à ces chiffres l'effectif de l'équipage du second, et l'on comprendra qu'il n'y a pas seulement la différence de vitesse qui a condamné les navires.