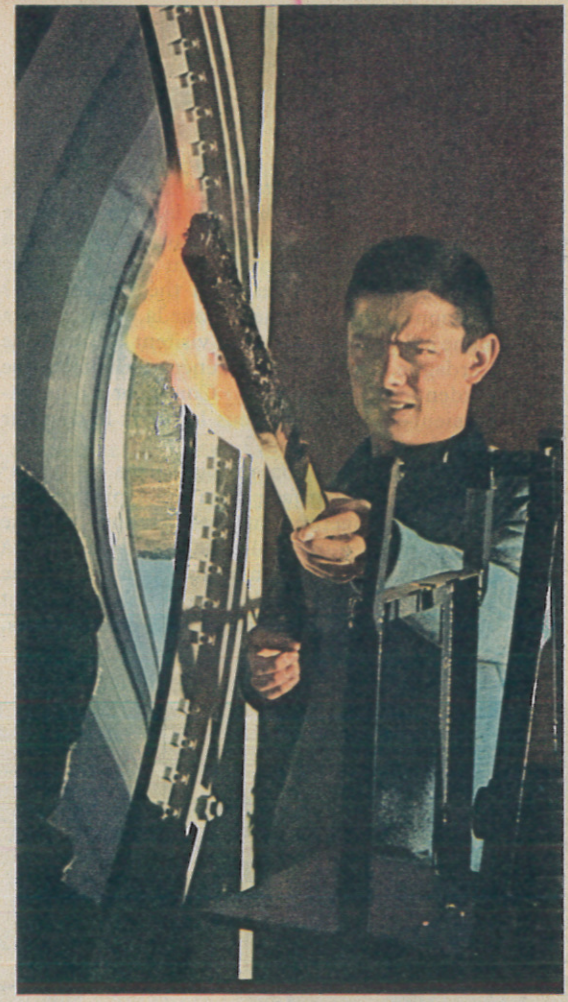


530 1161

# LE PLUS GRAND FOUR SOLAIRE DU MONDE



La Conférence des Nations Unies sur l'Énergie vient de le démontrer: la France est l'un des pays les plus avancés du monde dans le domaine de l'énergie solaire. Nos envoyés spéciaux ont mené une enquête dans les Pyrénées-Orientales, sur les lieux où le Professeur Trombe poursuit, depuis 10 ans, les recherches qui nous valent cette place de premier plan.

VOIR PAGES SUIVANTES



## La France, vedette de la Conférence de Rome

**H**UIT vastes terrasses se succèdent, échelonnées en gradins, sur la paroi en pente douce de l'ample cirque rocheux qui s'arrondit entre Font-Romeu et le village d'Odeillo. Les vestiges d'un théâtre antique ? Un nouvel aménagement pour la culture de la vigne ? Les touristes qui visitent ce coin de Cerdagne dans les Pyrénées-Orientales se perdent en conjectures. Comment soupçonneraient-ils qu'ils ont sous les yeux le chantier d'un four solaire géant ?

Dans trois ans, 62 miroirs plans de 48 m<sup>2</sup> chacun — la surface d'un deux-pièces parisien — s'étageront sur ces gradins comme les fauteuils d'une salle de spectacle, face à l'immense corolle d'un miroir parabolique de 40 m de haut et 54 m de large, soit la hauteur et l'encombrement d'un immeuble de 12 étages.

Le four solaire d'Odeillo-Font-Romeu pourra fournir 1000 kW ; il sera vingt fois plus puissant que le célèbre four de Montlouis qui, à 8 km de distance, dresse ses échafaudages et ses miroirs comme des machines de guerre insolites dans l'enceinte d'une forteresse construite par Vauban. La nouvelle installation rendra à la France le titre de détentrice du plus grand four solaire du monde que lui avait valu, voici dix ans, l'entrée en fonctionnement de l'appareil de Montlouis, détrôné ces derniers mois par celui que les Américains viennent de mettre en service à Alamogordo (Nouveau-Mexique).

Odeillo, Montlouis... Le nom de ces minuscules villages pyrénéens revenait constamment dans les débats de la Conférence des Nations Unies qui, en septembre dernier, a réuni à Rome plus d'un millier de spécialistes interna-

tionaux des nouvelles formes d'énergie. Les recherches effectuées en Cerdagne sont suivies dans le monde entier. Elles plaçant la France au tout premier rang dans le domaine de l'énergie solaire qui, à en juger par le nombre et le volume des communications, a soulevé bien plus d'intérêt à Rome que les énergies éolienne, marémotrice ou géothermique.

Les chercheurs français recueillent aujourd'hui les fruits d'une quinzaine d'années d'efforts. Ils ont été parmi les premiers à s'engager dans la voie d'une exploitation scientifique de l'énergie solaire. L'idée de concentrer les rayons du soleil pour en tirer de la chaleur n'est pourtant pas neuve. Les Égyptiens et les Incas se servaient d'un jeu de glaces pour cuire les aliments destinés aux dieux. En juxtaposant un grand nombre de miroirs plans, Buf-

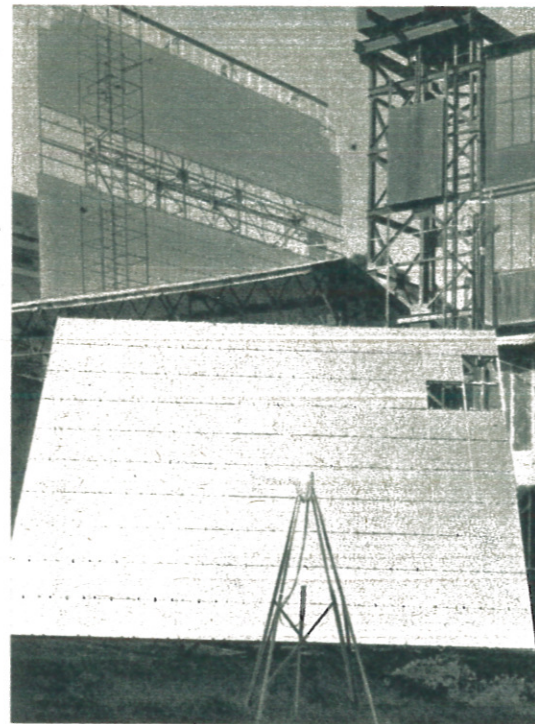
fon réussit à enflammer du charbon. Par un système de lentilles, Lavoisier, lui, faisait fondre le « fer battu »... Dans l'atmosphère très fin de siècle de l'Exposition de 1878, Mouchot présenta à Paris une presse fonctionnant à l'énergie solaire qu'il employa à tirer, au rythme de 500 exemplaires par heure, un journal intitulé, bien entendu, « Le Soleil »...

Il faut attendre le lendemain de la dernière guerre pour que les expériences se dégagent de l'empirisme et les réalisations de l'artisanat. L'aménagement des ressources énergétiques mondiales amène plusieurs grands pays à poser enfin le problème de la captation de l'énergie solaire avec toute la rigueur nécessaire. En France, c'est Félix Trombe, un chimiste spécialiste des terres rares, qui est chargé de faire le bilan des travaux antérieurs. Secondé par deux autres chercheurs, Marc Foëx et Charlotte Henry La Blanchetais, qui depuis lors n'ont jamais quitté leur « patron » il parvient, dès 1946, à installer le premier four solaire français à l'Observatoire de Meudon dans la banlieue parisienne.

**F**élix Trombe ne dispose au début que de très minces crédits. Sa machine est mise au point avec des moyens de fortune : à peu de frais, il fait l'acquisition de quelques-uns de ces miroirs concaves de D.C.A., récupérés en grand nombre par l'armée française en territoire allemand. Aménagé sommairement, le premier appareil permet pourtant à la chimie des hautes températures de se frayer des voies toutes nouvelles. De nombreuses expériences sont réussies : production d'oxyde d'azote, fusion d'oxydes ultra-réfractaires, sublimation du carbone, etc.

Le four de Meudon était d'un maniement difficile. Il s'agissait d'un appareil à réception directe, c'est-à-dire que le miroir était directement braqué sur le soleil et pivotait sur lui-même pour le suivre dans sa course. Les rayons parallèles qui le frappaient étaient renvoyés et convergeaient au foyer où une température de près de 3 000° C était atteinte. Mais ce foyer se déplaçait constamment au cours de la journée. De plus, le rayonnement convergent attaquait les substances de bas en haut, ce qui ajoutait encore à la difficulté des fusions.

Avec un tel engin, le travail se révèle bientôt épuisant. C'est à la main, la tête plongée dans la fournaise des miroirs, qu'il faut effectuer les opérations de réglage et de guidage. Malgré leurs lunettes teintées de noir, les



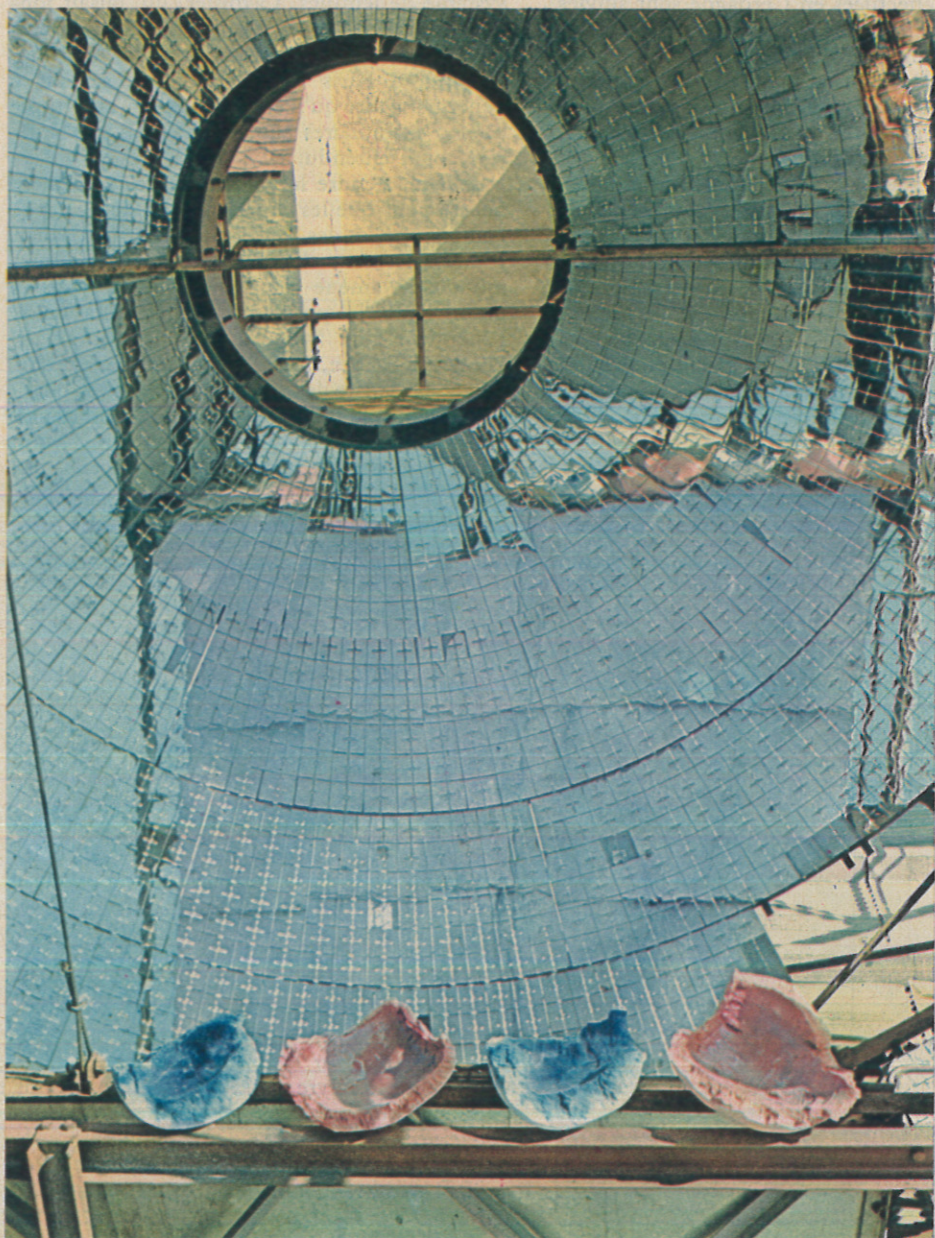
### Le théâtre du soleil...

Dans trois ans, 62 miroirs plans (prototype ci-dessus) s'étageront sur ces huit terrasses (à gauche). Ils renverront le feu du ciel sur un miroir parabolique haut comme un immeuble de douze étages (54 mètres).



## Céramiques réfractaires

Ces céramiques colorées sont faites d'oxydes ultra-réfractaires fondus dans le grand four de Montlouis



## Le feu de 3 500 glaces

Vue d'ensemble du grand appareil de Montlouis : le grand paraboloïde et le four monté sur sa plate-forme





## La chimie du soleil naît dans les Pyrénées

chercheurs risquent de se brûler les yeux.

— Il y avait un inconvénient encore plus grave, nous dit Félix Trombe, le ciel souvent couvert de la région parisienne imposait à nos travaux un rythme discontinu... Il était indispensable de quitter Meudon...

Le Dieu soleil a des voies mystérieuses. Du temps où il était président du Spéléo-Club de Paris et dirigeait des explorations dans les gouffres des Pyrénées, Félix Trombe s'était lié d'amitié avec le général Bergeron, alors commandant de la région militaire de Toulouse. Or, en 1949, le général Bergeron est nommé Président du Comité d'Action Scientifique de Défense Nationale. Il visite les installations de Meudon, mesure à leur juste valeur les travaux qui s'y effectuent et obtient que des crédits de la Défense Nationale s'ajoutent à ceux que la Recherche scientifique alloue déjà au Laboratoire de l'énergie solaire.

L'intervention du général est déterminante : l'équipe de Félix Trombe lui doit d'avoir pu s'installer en 1949 dans la forteresse de Montlouis qu'elle partage depuis avec une unité de parachutistes à bérets rouges. Elle bénéficie là d'un climat bien plus propice aux recherches solaires que celui de Meudon. Avec la Haute Provence, la Cerdagne est l'une des régions les plus claires de France : 2 750 heures d'ensoleillement par an, soit presque 200 jours « ouvrables » pour un four solaire.

Il faut environ trois ans à Félix Trombe pour monter sa machine. Tirant la leçon de Meudon, il réalise un appareil à foyer fixe : à Montlouis, le rayonnement solaire est d'abord reçu par un miroir plan, appelé orienteur ou héliostat, chargé de le diriger sur le miroir parabolique qui le rend convergent.

L'orienteur de Montlouis fait penser à un sunlight démesuré. Sa surface réfléchissante de 135 m<sup>2</sup> respandit au soleil de l'éclat presque insoutenable des 500 glaces de 50 cm de côté qui la composent. D'un mouvement presque imperceptible, la voici qui se déplace de droite à gauche, pivotant autour d'un axe vertical; maintenant elle bascule en arrière. Les vieilles murailles et les toits d'ardoise taillée qu'elle reflète paraissent s'y engloutir et glisser lentement dans ses profondeurs...

Dès que le four entre en fonctionnement, l'héliostat se déplace ainsi de façon à toujours renvoyer le faisceau des rayons solaires dans une direction horizontale et parallèle à l'axe du miroir parabolique. Tous les mouvements

de l'appareil sont guidés automatiquement : l'équipe de Montlouis a mis au point un dispositif à la fois souple et économique de contrôle par cellules photo-électriques qui commandent des vérins fonctionnant sous pression d'huile. A peine un nuage voile le soleil, une sonnerie avertit les chercheurs que l'orienteur a cessé de traquer le soleil.

Dans la grande cour de la forteresse, le miroir parabolique, faisant face à l'héliostat, reflète le bleu du ciel dans sa surface réfléchissante de 90 m<sup>2</sup>. La construction d'une glace courbe d'aussi grandes dimensions aurait posé des problèmes quasi insolubles, si l'on avait tenu à ce qu'elle soit d'un seul tenant. Buffon avait surmonté ces difficultés en juxtaposant une grande quantité de miroirs plans à l'intérieur d'une surface parabolique. Mais ce procédé ne donne qu'un foyer flou, les rayons étant dispersés sur un trop grand espace. La solution adoptée par Félix Trombe est bien plus ingénieuse : son paraboloïde est composé d'une mosaïque de 3 500 petits miroirs, initialement plans, de moins de 2 mm d'épaisseur. Des glaces aussi minces conservent toute leur élasticité; courbées sous la contrainte de vis, elles se transforment en autant de petites miroirs paraboliques qui renvoient une image du soleil à leur foyer commun. Les 3 500 glaces ainsi courbées fournissent une énergie égale à celle qu'aurait donnée 20 000 ou 25 000 glaces planes...

Il a fallu presque un an pour régler la courbure de cette multitude de petits miroirs. On opérait de nuit à la lumière artificielle, car de jour, les chercheurs auraient risqué d'être aveuglés ou rôtis par le feu du ciel.

Le four proprement dit est placé entre deux feux, à 6 mètres du grand miroir parabolique, exactement à son foyer, là où la convergence des rayons solaires élève la température à plus de 3 000° C... C'est une cuve métallique refroidie par circulation d'eau que l'on abrite dans une espèce de mirador. Toute cette structure se dresse au milieu d'une vaste plate-forme de bois, que les « focales incidentes » du grand miroir ont calcinée par endroits.

La mise en service du four de Montlouis est reléguée aujourd'hui parmi les tâches routinières. Tous les efforts se concentrent sur la grandiose machine d'Odeillo. Déjà, dans une cour intérieure à l'abri des curieux, l'on peut voir le prototype des 62 miroirs plans qui tapisseront les parois du cirque de Font-Romeu.

Des techniciens grimpés sur des échelles règlent avec minutie la position des petits miroirs. Il leur faudra des années de patience...

Ces orienteurs de petites dimensions sont la véritable arme secrète de Félix Trombe :

— Notre idée de départ — nous dit son collaborateur de toujours, M. Foëx — a été de remplacer l'orienteur unique par un grand nombre d'orienteurs de petites dimensions et d'un faible prix de revient...

L'avantage est considérable. En effet, pour renvoyer constamment le rayonnement solaire sur une surface de quelque 2 000 m<sup>2</sup>, il aurait



Le Prof. Félix Trombe, pionnier français des recherches solaires. 1946 : il crée le premier four solaire à Meudon. 1952 : il achève le four géant de Montlouis. Maintenant il fait construire à Odeillo la plus grande installation du monde.

fallu, si l'on disposait d'un seul héliostat, que cet appareil eût des proportions monstrueuses : 70 m de large et 49 m de haut... La mise en place des glaces, leur entretien, le réglage et le guidage auraient soulevé d'énormes difficultés, sans compter que l'immense surface plane se serait offerte comme une voile au « Carcanet », ce furieux vent de Cerdagne. Le seul mérite de cet appareil aurait été de réfléchir une nappe solaire parallèle et sans aucune discontinuité. Or le même résultat peut être obtenu par une série de petits appareils disposés en quinconces sur des terrasses successives.. Quant au paraboloïde d'Odeillo, il ne sera, selon l'expression de Félix Trombe, que l'« extrapolation » de celui de Montlouis. En raison même de son gigantisme, il bénéficiera cependant de nombreux perfectionnements. Ainsi, par exemple, à Montlouis, la charpente a pour seul rôle de supporter la sur-

face réfléchissante. A Odeillo, elle abritera un vaste bâtiment qui permettra d'aménager sans frais supplémentaires le laboratoire et les installations annexes du four.

L'intérêt à la fois scientifique et industriel des fours solaires justifie la coûteuse, mais passionnante aventure d'Odeillo.

Les Romains allumaient le feu sacré de la Vestale en concentrant les rayons du soleil au moyen d'un vase en or. Peut-être avaient-ils l'intuition que la chaleur solaire est l'unique chaleur pure. Tous les autres procédés, y compris l'arc électrique, qui, seul, donne des températures du même ordre, supposent l'apport de calories par des substances intermédiaires (paroi de four, charbon d'arc électrique) qui exercent des influences chimiques sur les substances à traiter.

Les traitements en milieu oxydant, c'est-à-dire dans l'air, comptent parmi les opérations les plus simples qu'il soit possible de réaliser avec des fours solaires. Or ce sont précisément les traitements les plus difficiles à effectuer dans les fours électriques, surtout lorsque la température dépasse 2 000° C.

Grâce au four solaire, des produits éminemment réfractaires, notamment des oxydes, ont pu être fondus et purifiés. Parmi eux, le corindon, le spinelle de magnésium, le zirconate de calcium, l'oxyde de zirconium... Ce dernier produit surtout retient l'attention des chercheurs de Montlouis à cause de l'abondance de ses minerais et parce qu'il est l'un des plus réfractaires qui soient.

Outre l'étude des substances réfractaires aux très hautes températures, le four solaire permet seul l'examen d'un certain nombre de processus chimiques, tels, par exemple, que la dissociation. A la différence du four classique qui provoque l'échauffement de la masse du produit, il permet de former de hautes températures à la surface du corps étudié...

— Et le traitement des métaux ?

— Divers minerais, répond Félix Trombe, peuvent être traités dans nos fours. Mais nous tendons à nous spécialiser dans les productions qui peuvent s'adapter au caractère intermittent de la présence du soleil.

— Les applications pratiques de tout cela ?

— Depuis neuf ans, nous avons fondu ou fritté à Montlouis une dizaine de tonnes d'oxydes réfractaires. Ces produits reçoivent aujourd'hui une large utilisation, dans l'industrie, surtout pour la fabrication des creusets et des fours...



# LE PLUS GRAND FOUR SOLAIRE DU MONDE

(suite de la page 79)

— Vous travaillez aussi pour la Défense Nationale ?

Félix Trombe répond seulement qu'il n'entre pas dans ses intentions de faire griller nos ennemis comme Archimède qui, au moyen de ses « miroirs ardents », avait incendié les galères romaines devant Syracuse... Ce n'est pourtant un secret pour personne que les oxydes réfractaires sont largement utilisés, notamment en astronautique et dans le domaine de l'énergie nucléaire.

— Une dernière question, Monsieur le Professeur, pourquoi a-t-il été nécessaire d'entreprendre la construction d'Odeillo, le four de Montlouis n'était-il pas un instrument de recherche suffisant ?

— C'est une question de rendement : avec Odeillo, nous entrons dans la phase semi-industrielle. Les quantités d'oxydes réfractaires fondues ou frittées avec une installation de 1000 kW devraient atteindre 2 ou 3 tonnes par jour, soit 2 ou 3 kg par kW et par jour, alors qu'un four de 50 kW comme celui de Montlouis ne produit guère plus de 1 kg par kW et par jour, soit un rendement deux ou trois fois plus faible. Un appareil comme celui d'Odeillo, placé dans une zone très ensoleillée, devrait fournir à peu près 1000 tonnes par an. Évidemment, nous serons un peu limités ici, car notre climat, malgré tout, ne vaut pas celui du Sahara.

Odeillo sera en même temps un appareil expérimental et une usine pilote. Les recherches qui s'y effectuent pourront, comme l'ont déjà fait celles de Montlouis, profiter à l'industrie française. Mais ce sont surtout les pays en voie de développement d'Afrique et d'Asie qui en tireront parti. Riches en minerais et pauvres énergie, la plupart d'entre eux bénéficient d'un ensoleillement considérable. Il est certain, et la récente Conférence de Rome en a témoigné, que le four solaire pourrait représenter pour eux la solution idéale pour accéder au progrès.

Le four d'Odeillo était primitivement destiné à Colomb-Béchar. Mais le destin a voulu que l'héliochimie, ou chimie du soleil, s'enracine dans les Pyrénées où elle est née il y a dix ans, comme l'électrochimie naquit dans les Alpes au siècle dernier.