

Il y a 20 ans...

LE PREMIER INSTITUT UNIVERSITAIRE FRANÇAIS DE L'ÉNERGIE SOLAIRE (I.E.S.U.A.)

par Marcel PERROT
Ancien Directeur de l'I.E.S.U.A.
Président d'honneur de la COMPLES



UR les rives Algériennes de la Méditerranée, hormis les techniques traditionnelles ou plus évoluées relevant des activités agricoles, les utilisations de l'Energie Solaire ne s'étaient traduites, dans les décennies précédant la guerre de 1939-45 que par très peu de tentatives notables et encore moins de réalisations effectives.

Les ensoleillements qui ne cessent de croître, à mesure que de la côte on s'enfonce vers le sud, présentent cependant sur de vastes régions des caractéristiques d'utilisation figurant parmi les meilleures de la planète.

Quoiqu'il en soit, et si l'on excepte les travaux remarquables du grand précurseur français Augustin MOUCHOT, en mission en Algérie, et quelques essais limités de distillation, l'utilisation de l'énergie solaire dans ce pays et les anciens territoires du sud n'avait pas dépassé, à cette époque, le stade des idées et des avant-projets souvent grandioses, mais que l'état des techniques ne permettait pas de mettre pratiquement en œuvre.

En 1941-42, avant le débarquement allié en Afrique du Nord, les travaux du Méditerranée-Niger, liés à des problèmes énergétiques difficiles, avaient suscité un regain d'intérêt pour les utilisations thermodynamiques du rayonnement solaire. Un certain nombre de projets, plus ou moins originaux, se manifestèrent alors, mais les difficultés technologiques étaient aggravées par une intense pénurie en produits industriels de toute nature. Tout demeura, par la force des choses, au stade du papier, et ceci d'autant plus que la rentrée en guerre de l'Afrique du Nord fit passer les projets solaires à l'arrière-plan des préoccupations du moment.

Il fallut attendre 1945 pour que l'Algérie entre dans la voie des recherches nouvelles vers lesquelles l'accroissement continu des besoins mondiaux en énergie avaient poussé de nombreux pays du monde préoccupés de fournir à l'homme de nouvelles sources d'énergie.

Dès 1944, le Conseil Supérieur de la Recherche Appliquée en Algérie s'était inquiété de l'utilisation éventuelle de l'énergie solaire dont les confins du territoire constituent avec le Sahara une réserve inépuisable. Il était évident, cependant, qu'à côté de cette source à haut potentiel thermodynamique n'existait pas d'autre source froide que celle de l'atmosphère jointe au refroidissement par rayonnement que favorise la clarté du ciel.

Devant cette difficulté le Conseil s'orienta vers les opérations thermo-chimiques et décida du projet de la construction d'un grand miroir parabolique en aluminium, de 8,40 m de diamètre, qui fût installé sur les hauteurs d'Alger dans l'enceinte de l'observatoire de Bouzareah, dépendant de la Faculté des Sciences.

L'établissement des caractéristiques de cet appareil, de conception originale et de haute performance, fut confiée à la Commission de l'Energie Solaire, présidée par l'Ingénieur Général des Mines Gaston BETIER qui s'entoura pour la partie scientifique des compétences d'un chimiste, le Professeur GUILLEMONAT, et, pour l'art de l'ingénieur du Directeur de la Production d'Electricité et Gaz d'Algérie, M. FRIXON. Les essais préliminaires, les calculs généraux, le montage et les réglages des diverses pièces de l'instrument, dénommé "HELIODYNE", ainsi que

l'étude des dispositifs de régulation automatique et auxiliaires d'entraînement furent effectués par les soins d'un ingénieur-conseil M. Maurice TOUCHAIS qui eut aussi la charge de suivre l'étude de réalisation entreprise par les Etablissements SAUTER et HARLE de Paris.

En plein cœur du Bassin Méditerranéen et en position naturelle de débouché sur la mer du vaste ensemble présaharien et saharien, l'Université d'Alger avait d'ailleurs une vocation particulière pour le développement des recherches sur l'énergie solaire et ses applications.

Depuis plusieurs années déjà notre laboratoire Universitaire, avec celui du Professeur SAVORNIN, avait des sections de recherches dans ce domaine. Au vu des perspectives ainsi ouvertes, l'idée de la création, au sein de l'Université, d'un Institut spécialisé de l'énergie solaire prenait corps et, sous l'impulsion attentive du Recteur CAPDECOMME, franchissait rapidement toutes les étapes nécessaires.

Demandée en avril 1959 par l'Assemblée de la Faculté des Sciences, la création de l'Institut fut proposée en juin par une délibération du Conseil d'Université et approuvée en août par un décret Ministériel. Il approuvait également le règlement statutaire signalant que l'INSTITUT DE L'ENERGIE SOLAIRE DE L'UNIVERSITE D'ALGER (I.E.S.U.A.) avait pour objet :

1) de développer les travaux de recherches dans le domaine de l'Energie Solaire, tant sur le plan de la recherche fondamentale que sur celui des applications pratiques ;

2) d'aider à propager les connaissances théoriques et pratiques dans ce domaine.

Dès octobre 1959 un arrêté nous en confiait la direction *, mais les tâches d'organisation et de mise en place qui avaient déjà été entreprises permettaient, sans interruption, de poursuivre et de développer les recherches antérieures et de mettre en route celles qui relevaient de secteurs non encore prospectés.

Cet institut qui, en 1962, comprenait une centaine de chercheurs, techniciens, ingénieurs et autres administratifs, groupait également, autour de nous, une vingtaine de professeurs des facultés dirigeant les diverses unités créées au sein de **dix sections** * principales de recherches, dans les domaines de la physique, la chimie et des sciences naturelles.

Dans le même temps d'importants services généraux et techniques étaient définis ainsi que les implantations successives des stations solaires (Facultés, Bouzareah et Sahara).

Le premier du genre dans l'Université française, l'I.E.S.U.A. devait également en être le dernier, son retour en Métropole n'ayant pas été prévu en 1962 bien que la relève des recherches dans le cadre de la physique ait été assurée par le LABORATOIRE D'HELIOTECHNIQUE que nous avons pu faire créer à la Faculté des Sciences de Marseille.

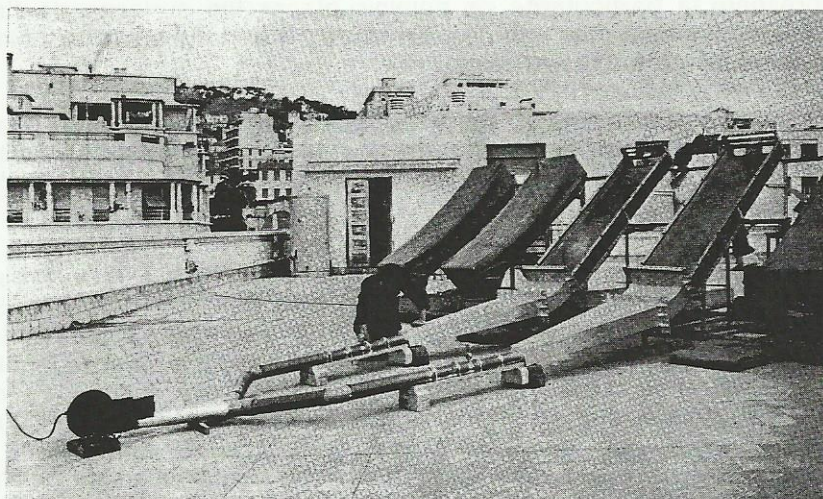
Les diverses sections de l'I.E.S.U.A. et leurs unités répondaient aux nécessités de développer les recherches techniques dans la voie des principaux procédés de conversion pratique de l'énergie solaire, c'est-à-dire les procédés indirects utilisant, en particulier, la conversion thermique pour le chauffage et la distillation des fluides, la chimie à haute température, ou l'obtention d'électricité par voies thermoélastique, thermoélectrique ou thermoïonique. Ces procédés requérant évidemment une étude poussée des moyens de captation du rayonnement solaire.

(*) Le Professeur DAVID, directeur actuel de la "Revue Internationale d'Héliotechnique", étant nommé par la suite Directeur Adjoint.

(*) A savoir : captation de l'énergie solaire (champs de miroirs, surfaces sélectives, filtration du rayonnement) - transformations thermomécaniques (moteur à air chaud, foyer héliodynamique) - hélioélectricité (par voies : photoélectrique, thermoélectrique, photoélectronique) - chauffage solaire (conditionnement, distillation) - synthèses chimiques (utilisation de l'ultra-violet, craquage thermique) - préparations minérales à hautes températures (carbone de bore) - génie chimique (évaporation, cristallisation) - applications biologiques (algues) - photobiologie végétale - photobiologie cellulaire.

Tout en signalant au passage les résultats les plus importants obtenus dans l'ensemble de ces sections, j'aimerais attirer l'attention sur les idées de base qui, à l'époque, présidaient aux efforts entrepris et qui ont été ultérieurement précisées et développées, dans nos équipes au Laboratoire d'Héliotechnique de Marseille et à sa station solaire.

Bien que nous ne négligions aucun secteur de la recherche, nous pensions déjà, à l'I.E.S.U.A., que le véritable problème de l'utilisation de l'Energie Solaire était celui de la conversion de grandes quantités de rayonnement en chaleur, soit à la température d'usage, soit à la température maximum supportable par les matériaux utilisés dans les organes de conversion. C'est ainsi que nous avons entrepris l'étude poussée de l'utilisation des échangeurs à exposition directe (ou insolateurs plats, à air ou à eau) pour dégager, d'une part, les **procédés industriels de construction** et, d'autre part, les méthodes de **normalisation des essais**.



(IESUA) Faculté des Sciences
(Essais comparés d'insolateurs.)

Les résultats de ce travail ont été utilisés dans les applications au chauffage des eaux ménagères, au séchage agricole et aux cheminées solaires dont le principe avait été signalé par Louis BERNARD, en 1920, et qui devait trouver son emploi, à l'I.E.S.U.A., dans le réchauffement de thermogénérateurs et dans le conditionnement d'une **maison solaire saharienne**, construite à Biskra en collaboration avec la direction centrale des P.T.T.

Dans le cadre des conversions à haute température, l'Institut a porté ses efforts sur l'étude détaillée des différentes parties des **chaudières solaires**, lesquelles à ce moment-là n'étaient pas encore en fabrication, bien que l'on ait connu, dans le passé, les réalisations de MOUCHOT à l'Exposition Universelle de Paris, en 1878, celle de Maadi, en Egypte, et certaines autres dont le principe reposait, pour toutes, sur les idées simples que peuvent rencontrer des pionniers.

Dans cette optique, l'étude des procédés de construction des surfaces réfléchissantes et l'organisation des **foyers solaires** adaptés aux nécessités industrielles, étaient une de nos grandes préoccupations. C'est ainsi que la perspective de réalisation d'une **Cité Solaire Saharienne** a conduit à la mise au point de techniques d'obtention de miroirs paraboloides à partir de tôles réfléchissantes planes déformées par élasticité. Cela répond au problème général de réalisation de **grands champs de miroirs** que requière l'implantation de ce que l'on nomme actuellement "Centrales Solaires", pour lesquels les distances des miroirs au "foyer" sont de plusieurs décamètres, voire d'hectomètres. Cela met en jeu des surfaces captatrices réfléchissantes dont les grands rayons de courbure peuvent s'obtenir à partir de la déformation de surfaces planes fournies à assez bas prix par l'industrie.

La méthode de contrôle optique mise au point à cette occasion par l'I.E.S.U.A. a permis de tester la qualité optique des miroirs ainsi obtenus, avec une précision angulaire de $1/1000^{\circ}$ de radian.

Ajoutons à ces travaux l'étude approfondie des mouvements "héliostatiques" des miroirs qui a débouché sur des résultats originaux susceptibles d'être employés dans l'avenir.

Notons, en passant, qu'il y a vingt ans nous étions orientés vers la réalisation de "Centrales à Tours" et que nos idées sur ce point se sont de beaucoup modifiées.

Nous avons, en outre, attiré l'attention dans nos publications sur l'étude indispensable de l'organisation du "**Foyer Thermique**" (appelé encore "Four Solaire" en thermochimie), en ce que l'ouverture doit être aussi petite que possible afin d'en diminuer les pertes, et sur celle de divers paramètres : distribution du rayonnement, facteurs de forme, effet pelliculaire, orientation de l'ouverture, effets du vent, incidence de la variabilité de la radiation solaire, etc. Nous progressons sur la voie du perfectionnement que nous avons ultérieurement développée et qui consiste, en divisant le champ de miroirs en un certain nombre de secteurs et en séparant légèrement les foyers optiques correspondants, à obtenir autant d'ouvertures dont la section totale est plus petite que celle de l'ouverture unique. Ceci présente la particularité de pouvoir placer les surfaces de l'enceinte qui absorbent le rayonnement plus loin des ouvertures que dans les foyers classiques et d'en réduire ainsi les pertes thermiques.

L'avance prise par l'I.E.S.U.A., dans ce domaine de recherches qui furent poursuivies, sans discontinuité, au laboratoire de Marseille, laisse souhaiter que, dans un temps rapproché, son actualisation s'impose, dans la version industrielle de l'"Héliotechnique moderne".

C'est à la même époque qu'ayant participé à ATHENES à la création de la COOPERATION MEDITERRANEENNE POUR L'ENERGIE SOLAIRE (COMPLES), nous avons eu à installer le secrétariat général de cette association internationale à l'I.E.S.U.A. et que, dans le cadre des actions concertées internationales que préconisait sa Charte, nous avons commencé à entreprendre avec notre collègue le Pr FRANCIA les travaux sur les "**structures sélectives alvéolaires**" que nous avons largement poussés dans nos laboratoires d'Alger et de Marseille*. On sait l'utilisation pratique qui en a été faite dans la première réalisation de la **chaudière solaire de Marseille** et dans les versions Génoises qui ont suivi, la dernière étant maintenant fabriquée industriellement. On ne sait pas suffisamment le parti que l'on pourrait tirer de l'emploi de ces cellules, tout au moins dans le domaine de la conversion solaire, à moyenne température, opérée sans concentration du rayonnement.

Complétant, sans vouloir le moins du monde être exhaustif, ce que nous venons de dire des recherches techniques sur les insolateurs, les miroirs et les foyers, nous devons ajouter les résultats obtenus dans le cadre des conversions indirectes par voie thermoélectrique et thermoionique et dans celui des conversions directes.

A la suite de recherches antérieures sur les propriétés photoélectriques et thermoélectriques d'un type particulier, nous avons, d'une part, abordé des recherches sur les **photopiles** utilisées **sous concentration** du rayonnement et signalé, en tant que spécialistes des couches minces, la possibilité de réaliser par cette technique des piles doubles superposées dont la première couche utilise une partie du spectre solaire et la deuxième la partie transmise par la première couche : nous signalions un rendement théorique de 38 %**. Nous avons, d'autre part, mis en route le projet technique d'un **générateur thermoélectrique** à exposition directe et à convection, entrepris avec la collaboration d'une société spécialisée, dispositif destiné à l'alimentation de récepteurs radio sans surveillance au Sahara.

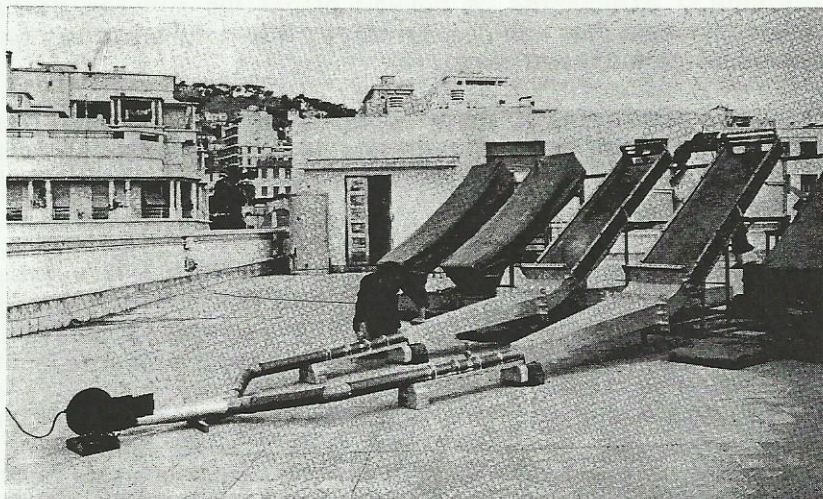
Ces derniers travaux ont été repris et étendus, par la suite, à Marseille ; ils montrent l'intérêt de tels générateurs employés dans un des étages de température intermédiaire d'un complexe industriel solaire où est utilisée avec le maximum de rendement, par des cycles thermodynamiques en cascade, l'énergie solaire incidente, ce qui est préférable à une marche en parallèle de cette énergie avec d'autres sources naturelles.

(*) Recherches héliotechniques - Index analytique - Par MM. PERROT et SAUZE (1976) - Estrel (route de Grasse, Villeneuve-Loubet).

(**) "La Houille d'or", par M. PERROT - Editions Fayard - Paris (1963), page 93.

Tout en signalant au passage les résultats les plus importants obtenus dans l'ensemble de ces sections, j'aimerais attirer l'attention sur les idées de base qui, à l'époque, présidaient aux efforts entrepris et qui ont été ultérieurement précisées et développées, dans nos équipes au Laboratoire d'Héliotechnique de Marseille et à sa station solaire.

Bien que nous ne négligions aucun secteur de la recherche, nous pensions déjà, à l'I.E.S.U.A., que le véritable problème de l'utilisation de l'Energie Solaire était celui de la conversion de grandes quantités de rayonnement en chaleur, soit à la température d'usage, soit à la température maximum supportable par les matériaux utilisés dans les organes de conversion. C'est ainsi que nous avons entrepris l'étude poussée de l'utilisation des échangeurs à exposition directe (ou insolateurs plats, à air ou à eau) pour dégager, d'une part, les **procédés industriels de construction** et, d'autre part, les méthodes de **normalisation des essais**.



(IESUA) Faculté des Sciences
(Essais comparés d'insolateurs.)

Les résultats de ce travail ont été utilisés dans les applications au chauffage des eaux ménagères, au séchage agricole et aux cheminées solaires dont le principe avait été signalé par Louis BERNARD, en 1920, et qui devait trouver son emploi, à l'I.E.S.U.A., dans le réchauffement de thermogénérateurs et dans le conditionnement d'une **maison solaire saharienne**, construite à Biskra en collaboration avec la direction centrale des P.T.T.

Dans le cadre des conversions à haute température, l'Institut a porté ses efforts sur l'étude détaillée des différentes parties des **chaudières solaires**, lesquelles à ce moment-là n'étaient pas encore en fabrication, bien que l'on ait connu, dans le passé, les réalisations de MOUCHOT à l'Exposition Universelle de Paris, en 1878, celle de Maadi, en Egypte, et certaines autres dont le principe reposait, pour toutes, sur les idées simples que peuvent rencontrer des pionniers.

Dans cette optique, l'étude des procédés de construction des surfaces réfléchissantes et l'organisation des **foyers solaires** adaptés aux nécessités industrielles, étaient une de nos grandes préoccupations. C'est ainsi que la perspective de réalisation d'une **Cité Solaire Saharienne** a conduit à la mise au point de techniques d'obtention de miroirs paraboloides à partir de tôles réfléchissantes planes déformées par élasticité. Cela répond au problème général de réalisation de **grands champs de miroirs** que requière l'implantation de ce que l'on nomme actuellement "Centrales Solaires", pour lesquels les distances des miroirs au "foyer" sont de plusieurs décamètres, voire d'hectomètres. Cela met en jeu des surfaces captatrices réfléchissantes dont les grands rayons de courbure peuvent s'obtenir à partir de la déformation de surfaces planes fournies à assez bas prix par l'industrie.

La méthode de contrôle optique mise au point à cette occasion par l'I.E.S.U.A. a permis de tester la qualité optique des miroirs ainsi obtenus, avec une précision angulaire de $1/1000^{\circ}$ de radian.

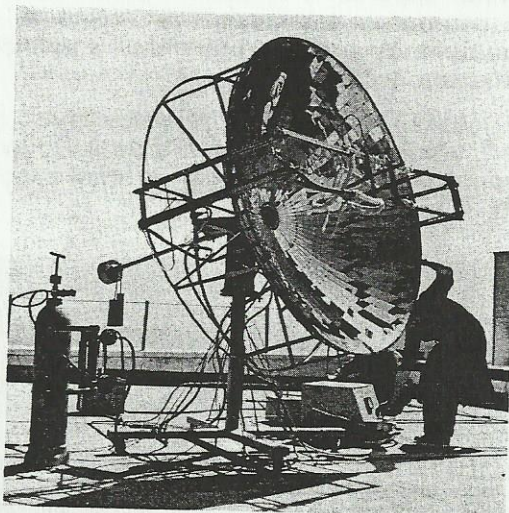
Ajoutons à ces travaux l'étude approfondie des mouvements "héliostatiques" des miroirs qui a débouché sur des résultats originaux susceptibles d'être employés dans l'avenir.

Dans le domaine de la thermoïonique, mentionnons la mise en œuvre originale d'une technique de fabrication de **diodes solaires** à vapeurs métalliques, travaux exécutés dans le cadre d'une convention d'étude passée avec le Comité d'Action Scientifique de la Défense Nationale.

Placées aux foyers de miroirs paraboliques fournissant un taux de concentration de 10.000, ces lampes, dont certaines étaient à vapeur de césium et à électrodes de tungstène, fonctionnaient à une température de l'ordre de 2.200 °K et débitaient un courant d'environ 1 Ampère pour un rendement de 3 % que des améliorations ultérieures devaient porter, sans grosse difficulté, à plus de 5 %.

De telles études techniques originales, qui ont été poursuivies ailleurs, n'ont pas encore pu passer dans la phase d'application à laquelle rien n'empêche qu'elles accèdent un jour.

En ce qui concerne la photochimie, citons les expériences faites à l'I.E.S.U.A. sur l'emploi de l'ultra-violet à haute concentration pour la transformation des hydrocarbures en divers autres produits utilisables et notamment en insecticides dont l'utilisation dans le sud algérien intéressait l'O.C.R.S. Citons enfin les transformations photobiologiques avec la germination en culture sans sol, utilisant, en particulier, les mousses synthétiques, et la culture contrôlée d'algues monocellulaires à valeur nutritive élevées en climat Méditerranéen et Saharien.



(Fabrication du Gamma-Hexane.)
(I.E.S.U.A) Faculté des Sciences

Toutes ces recherches devaient recevoir des versions à plus grande échelle, au stade des applications immédiates, dans nos stations solaires extérieures et dont la plus proche était celle de la Bouzareah.

La **Station Solaire de la Bouzareah***, située à quelques kilomètres à l'ouest d'Alger, à l'altitude de 345 m, répond aux coordonnées de 36°48 de latitude Nord et à une longitude de 8°42 Est du méridien de Paris (3°01 Est de Greenwich).

Les raisons de son implantation en ce lieu résidaient principalement dans l'existence d'espaces libres de plusieurs hectares sur le territoire dépendant de l'Université.

La station groupait les installations expérimentales solaires, de nature et de dimensions diverses : miroirs de grande taille utilisés pour les fusions minérales ou les photolyses organiques, des réacteurs de photochimie solaire (production préindustrielle de gamma-hexane), de dessalement de l'eau de mer, de cultures d'algues, des bacs et une serre saharienne à cultures hydroponiques sur sable stérile expérimentés en vue de leur extension à notre **station solaire de Ouargla**.

(*) Dont le responsable était notre collègue JUSTON-COUMAT, président actuel du G.R.E.S.A. (COMPLES).

nécessité de longues études et a été l'occasion de notables progrès ; il en est ainsi de certains usinages et formages de l'aluminium utilisé.

Pour réduire la résistance au vent et aux déformations du berceau support du réflecteur, les fermes constituant les charpentes ont été haubannées par des tirants mis en précontrainte et attachés à un mât central. La monture équatoriale de la corolle réfléchissante est entraînée par des réducteurs des axes horaires et de déclinaison, mus chacun par un moteur permettant, soit de ramener en régulation accélérée l'appareil incliné de l'une de ses positions extrêmes à la position de moindre résistance au vent, soit d'opérer le fonctionnement en régulation normale. Ces sujétions très sévères de la concentration ont imposé une régulation très étroite que permet la synchronisation sur l'horloge de l'Observatoire, la réduction des pertes d'ouverture des fous exigeant d'ailleurs une précision angulaire meilleure que la 1/2 minute d'arc.

Cet instrument, dont le poids total est de 40 tonnes en ordre de marche, est protégé des intempéries par un hangar, roulant sur des rails Nord-Sud, et qui s'efface vers le nord lors de l'emploi au soleil.

Il devait permettre à notre Institut, auquel il avait été dévolu, un programme étendu de recherches techniques qui soient adaptées aux caractéristiques uniques au monde de cet instrument. Il nous a montré que le problème de la conversion thermique de l'Energie Solaire était, avant tout, celui de l'ingénieur, au niveau de la réalisation industrielle.

C'est une des tâches difficiles que s'est assignée l'I.E.S.U.A. que de hausser à ce niveau l'exploitation de l'Héliodyne de la station solaire de la Bouzareah. C'est pourquoi il nous est parfois pénible de constater dans l'abondante littérature française que nous a valu, dans ces dernières années, l'intérêt renouvelé pour l'énergie solaire, énergie dite nouvelle, le manque d'information sur les efforts déployés en France par notre institut d'Alger et notre laboratoire de Marseille pour que soient connues leurs mises au point techniques qu'ils cherchaient, sans gros succès à l'époque, à faire transférer au plan des réalisations industrielles. C'est dans le but, d'ailleurs rempli, de divulguer au maximum les recherches de ses sections, que l'I.E.S.U.A. avait édité un bulletin d'information et entrepris de publier celui de la COMPLES dont elle abritait le secrétariat international.

Afin de garantir le caractère technique de ses travaux, l'I.E.S.U.A. s'était entourée des avis d'un Comité d'ingénieurs qui étaient en contact avec ceux de l'Institut et les Directeurs de recherches dont le Conseil se réunissait hebdomadairement.

Aidé matériellement, sur le plan régional, par l'Association pour la Recherche et le Développement de l'Energie Solaire en Algérie (A.R.E.S.A.), dont le président était M. Gaston BETIER, et nationalement par diverses instances officielles comme l'O.C.R.S., le C.N.R.S. * et la D.G.R.S.T., l'Institut dont le fonctionnement dépendait du Ministère Français de l'Education Nationale, devait rendre compte de son activité devant un Conseil d'Administration et de Perfectionnement présidé par le Recteur d'Académie et auquel participaient les Directeurs Généraux intéressés du Gouvernement Général de l'Algérie.

Cet Institut qui, en France, fut à l'époque un des deux pôles d'activité en matière de recherches sur l'utilisation de l'Energie Solaire, outre la formation à laquelle il préparait ses chercheurs et techniciens, délivrait pour la première fois dans notre pays un enseignement théorique et pratique sanctionné par un **certificat d'études supérieures d'Energie Solaire** inscrit sur la liste des certificats de la Licence ès Sciences.

Par son action, dense et persévérante, et le rôle décisif qu'il a joué dans la création de la COMPLES et son développement, l'I.E.S.U.A. apparaît, vingt ans après, comme un des grands centres de formation de cette nouvelle science dont il a forgé et proposé le mot : **l'Héliotechnique**. Après 1962, par le rapatriement de ses principaux collaborateurs, il devait léguer, de fait, au Laboratoire d'Héliotechnique de la Faculté des Sciences de Marseille la charge de poursuivre la tâche qu'il avait entreprise.

(*) Nous sommes heureux de mentionner ici l'aide bienveillante et particulièrement clairvoyante que nous avons reçue du professeur J. COULOMB, alors Directeur Général du C.N.R.S., aide qu'il a maintenue à notre retour d'Algérie.