



**HAL**  
open science

## Le solaire passif à l'ombre de la politique énergétique française, 1945-1986

Pierre Teissier

► **To cite this version:**

Pierre Teissier. Le solaire passif à l'ombre de la politique énergétique française, 1945-1986. *Annales historiques de l'électricité*, 2013, Les politiques publiques de l'énergie solaire, 11, pp.11-25. hal-01591134

**HAL Id: hal-01591134**

**<https://hal.science/hal-01591134>**

Submitted on 22 Sep 2017

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# LE SOLAIRE PASSIF À L'OMBRE DE LA POLITIQUE ÉNERGÉTIQUE FRANÇAISE, 1945-1986

*Pierre Teissier*

Pierre Teissier est maître de conférences en histoire des sciences au Centre François-Viète de l'université de Nantes. Il s'intéresse à l'histoire des sciences et techniques de la matière et de l'énergie à l'époque contemporaine, notamment à la pile à combustible, la voiture électrique et l'énergie solaire.

## Résumé

---

L'installation en 1949 du Laboratoire de l'énergie solaire (LES) à Mont-Louis-Odeillo, dans les Pyrénées, est emblématique de l'engagement public pour le solaire passif. Durant les années 1950 sont privilégiés les fours solaires, pour la recherche sur les matériaux, et l'habitat solaire, en phase avec l'entreprise coloniale. Puis la politique nationale bascule, avec la construction à Odeillo d'un four solaire géant, dans le cadre de la « politique de la grandeur ». L'étude s'achève avec le rôle que le LES a joué au moment de la crise énergétique des années 1970 et interroge le modèle français de non-développement de l'énergie solaire.

## Abstract

---

The installation in 1949 of the LES (solar energy laboratory) on Mont Louis-Odeillo in the Pyrenees, was emblematic of public commitment to passive solar power. Throughout the 1950s solar furnaces were supported for research into materials and solar powered homes, moving in phase with colonial policy. Then, with the construction at Odeillo of a giant solar furnace as part of the 'policy of grandeur', policy swung in the opposite direction. The study concludes with the role that the LES played at the time of the energy crisis in the 1970s and questions the French model of not developing solar energy.

La conversion des rayons du soleil en chaleur dans l'atmosphère assure, avec l'effet de serre, la climatisation naturelle de la Terre. Cette conversion du rayonnement solaire en chaleur peut aussi être réalisée par des systèmes artificiels. On parle de « solaire passif » pour désigner toute technique de collecte, emmagasinage et distribution d'énergie thermique d'origine solaire par radiation, conduction et convection naturelles<sup>1</sup>. L'adjectif « passif » se justifie par l'absence du vecteur électrique dans cette technologie. Le solaire passif a donné lieu à de nombreuses utilisations au cours du XX<sup>e</sup> siècle : climatisation des bâtiments, pompage et distillation d'eau, réfrigération et cuisson des aliments, production de très hautes températures, etc. Néanmoins, il reste associé à la tradition, incarnée par la treille méditerranéenne qui, adaptée aux cycles saisonniers, se couvre de feuilles au printemps, protégeant des chaleurs estivales, puis perd son épaisseur végétale en automne, laissant passer la lumière d'hiver. Ce symbolisme archaïque a relégué le solaire passif aux marges de la sphère politique, avide de modernité. Avant la crise énergétique des années 1970, le solaire passif n'est l'objet d'aucune politique publique entendue comme « programme d'action gouvernementale dans un secteur de la société ou un espace géographique »<sup>2</sup>. Il est pourtant, dès le milieu du XX<sup>e</sup> siècle, objet de politique publique si on la conçoit comme « activité directive » (Max Weber) menée par une institution publique. L'installation en 1949-1950 du Laboratoire de l'énergie solaire (LES) à Mont-Louis-Odeillo, dans les Pyrénées, est emblématique de cet engagement public pour le solaire passif, sous la

double tutelle des ministères de l'Éducation nationale et de la Défense nationale.

La présente contribution suit la trajectoire de ce laboratoire public durant une quarantaine d'années (1945-1986) afin de donner une lecture originale de la politique solaire de la France depuis le milieu du XX<sup>e</sup> siècle. Elle analyse quatre moments de l'histoire du LES en articulant les facteurs locaux, propres à Mont-Louis-Odeillo, aux contextes plus globaux, aux échelles nationales et internationales. Les deux premiers moments sont simultanés mais rendent compte de deux programmes de recherche solaire menés en parallèle au LES durant les années 1950 : les fours solaires dans la recherche sur les matériaux, enjeu de la guerre froide ; l'habitat solaire dans l'entreprise coloniale et l'aide au développement. Le troisième moment situe la construction à Odeillo d'un four solaire géant dans la « politique de la grandeur » de la présidence de Charles de Gaulle (1958-1969). Enfin, le quatrième moment interroge le rôle joué par le LES au moment de la crise énergétique des années 1970. Cette analyse en quatre temps, qui montre la coconstruction de la technologie et de la politique solaires, permet d'énoncer trois propositions générales caractérisant la politique solaire dans le monde lors de la deuxième moitié du XX<sup>e</sup> siècle.

### Les fours solaires, instruments pour les matériaux des années 1950

Les rayons solaires peuvent être concentrés et focalisés à l'aide de miroirs réfléchissants et induire des températures élevées à un endroit précis. On parle de cuisinières solaires pour les températures modérées (100 °C) et de fours solaires

1. J. K. Paul (ed.), *Passive Solar Energy Design and Materials*, Park Ridge (NJ), Noyes Data Corporation, 1979, p. V.

2. Yves Mény et Jean-Claude Thoenig, *Politiques publiques*, Paris, PUF, 1989.

pour les hautes températures (3 000 °C). S'il existe une longue tradition scientifique des « miroirs ardents » depuis le XVII<sup>e</sup> siècle, l'intérêt pour les fours solaires est réactivé au XX<sup>e</sup> siècle.

### *Lebeau et Trombe introduisent les fours solaires dans le champ des hautes températures*

La production de hautes températures est un champ de recherche actif en France depuis la fin du XIX<sup>e</sup> siècle lorsqu'Henri Moissan (1852-1907) met au point un four électrique pour la synthèse du diamant et que Henry Le Chatelier (1850-1936) encourage la mesure des hautes températures en métallurgie et en chimie. Une communauté s'institutionnalise après la Première Guerre mondiale à travers la Fondation Edmond-de-Rothschild pour le développement de la recherche scientifique qui finance un Comité des hautes températures. Dirigé par Paul Lebeau (1868-1959), disciple de Moissan, le comité Rothschild regroupe universitaires et industriels, chimistes et physiciens, céramistes et verriers. L'objectif est l'amélioration des fours électriques et leur utilisation en recherche, notamment pour synthétiser des minéraux par voie sèche et tester des matériaux. Repris par le CNRS à la Libération, le Comité des hautes températures rassemble une cinquantaine d'universitaires et d'industriels au cours des années 1950. Les recherches sont à la conjonction de logiques instrumentales – fabriquer des prototypes de fours – et de recherches sur les matériaux. Les réfractaires, solides qui résistent à la chaleur, sont essentiels pour le développement des industries aérospatiales et nucléaires.

La zircone (ZrO<sub>2</sub>), avec une température de fusion de 2 700 °C, devient un matériau-phare, abondamment soutenu par les financements du Commissariat à l'énergie atomique (CEA), établi en 1945. Lebeau, qui reste la figure dominante de la communauté jusqu'à sa retraite en 1956, est rejoint par d'autres chercheurs influents tels Georges Chaudron (1891-1976), Félix Trombe (1906-1985) et Marc Foëx (1910-1991).

Trombe et Foëx ont effectué leur thèse dans les années 1930 sur la chimie des terres rares au laboratoire de Georges Urbain (1872-1938) à l'École de chimie de Paris. Remarqués pour leur aptitude expérimentale, ils ont fabriqué des fours électriques pour la synthèse et la purification des métaux et oxydes solides<sup>3</sup>. Après le décès du maître et l'épisode de la guerre, le laboratoire Urbain, devenu propriété du CNRS, est délocalisé sur le campus CNRS de Meudon-Bellevue, au sud-ouest de Paris. Trombe est nommé directeur du Laboratoire des terres rares, Foëx, sous-directeur. Dans le même temps, Lebeau prépare une publication collective qui paraîtra sous le titre *Les hautes températures et leurs utilisations en chimie* en 1950. Soucieux de présenter un état de l'art complet, l'ouvrage comprend un chapitre sur les fours solaires que Trombe accepte de rédiger<sup>4</sup>. Ce travail bibliographique pousse Trombe et Foëx à se lancer en 1946 dans la construction d'un four solaire avec une doctorante, Charlotte Henry La Blanchetais. Avec peu de moyens et beaucoup d'ingéniosité, le trio récupère un petit bâtiment de l'Observatoire de Meudon, prêté par le directeur, Lucien d'Azambuja (1884-1970), et y installe, avec l'aide des astronomes

3. Archives CNRS, dossier Marc Foëx (AN 20070296 art. 202) ; Charlotte Henry La Blanchetais, « Félix Trombe, 1906-1985 », *Encyclopaedia Universalis*, en ligne.

4. Félix Trombe, « Les installations de Mont-Louis et le four solaire de 1 000 kW d'Odeillo-Font-Romeu », *Applications thermiques de l'énergie solaire dans le domaine de la recherche et de l'industrie*, Paris, Éditions CNRS, 1961, p. 87-127, p. 89.

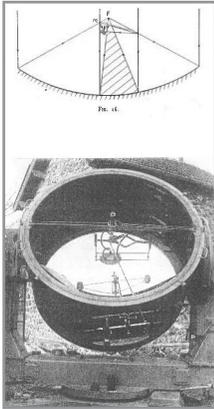


Figure 1

parisiens, un miroir parabolique orientable, vestige de la défense antiaérienne allemande (Fig. 1)<sup>5</sup>. Ce miroir de deux mètres d'envergure focalise les rayons solaires sur une tache focale de 0,6 cm<sup>2</sup>, située à une distance focale de 85 cm devant lui. D'une puissance thermique

de 2 kW, le four permet, dès août 1946, de faire fondre un certain nombre de réfractaires, oxydes (ThO<sub>2</sub>, MgO, ZrO<sub>2</sub>, CeO<sub>2</sub>, CaO, BeO, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, La<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiO<sub>2</sub>) et métaux (Co, Cr), dont les températures de fusion oscillent entre 1 800 °C et 2 800 °C<sup>6</sup>. Ces premiers tests convainquent Félix Trombe des avantages du four solaire sur l'électrique : énergie moins chère, températures plus élevées, grande pureté en l'absence de creuset et chocs thermiques, favorisant certaines réactions originales.

### Les « sorciers du soleil » et le CNRS à Mont-Louis<sup>7</sup>

En plus d'être excellent chimiste, Trombe est un spéléologue de renom. Il dirige en 1946-1947 la première exploration du gouffre de la Henne-Morte,

dans les Pyrénées, avec l'aide logistique de l'armée<sup>8</sup>. C'est à cette occasion qu'il se lie avec le général Jean-Paul Bergeron. En charge du Comité d'action scientifique de l'armée, Bergeron se rend à Bellevue en 1949 et comprend l'intérêt du four solaire pour tester la résistance aux chocs thermiques des matériaux militaires. Convaincue, sa hiérarchie propose aux chercheurs du CNRS de quitter la région parisienne, trop peu ensoleillée, pour s'installer soit dans le fort Cimiez, au-dessus de Nice, soit dans la citadelle Vauban de Mont-Louis, dans la commune d'Odeillo-Via<sup>9</sup>. À ensoleillement équivalent, Trombe choisit la deuxième option pour des raisons personnelles, étant lui-même originaire des Pyrénées (Fig. 2). Alors que l'ensoleillement annuel de la région parisienne avoisine les 1 750 heures, celui d'Odeillo est supérieur à 2 750 heures. Durant l'année universitaire 1949-1950, la citadelle est rénovée par la direction générale des Poudres tandis que le CNRS dépense 250 millions de francs pour construire le laboratoire et 100 millions pour l'équiper<sup>10</sup>. Le Laboratoire de recherches sur l'utilisation de l'énergie solaire (LES) est inauguré en 1950 avec deux ministères de tutelle, l'Éducation nationale et la Défense nationale. Centre de recherche du CNRS, il dépend de la section chimie minérale. Trombe en est directeur, Foëx directeur adjoint, et Henry La Blanchetais régis-

5. « Curriculum Vitae de Félix Trombe », *Actes des Journées Félix Trombe*, 1988 ; Félix Trombe, « Les fours solaires », dans P. Lebeau (dir.), *Les hautes températures et leurs utilisations en chimie*, Paris, Masson, 1950, p. 158-197.

6. Félix Trombe, Marc Foëx, Charlotte Henry La Blanchetais, « Four solaire pour la réalisation de très hautes températures », *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, 223 (1946), p. 317-319.

7. L'expression « sorciers du soleil » est employée par les paysans d'Odeillo dans les années 1950, d'après Daniel Behrman, *Solar Energy: the Awakening Science*, Boston, Little, Brown and Company, 1976, p. 38.

8. Félix Trombe, *Le Mystère de la Henne-Morte*, Paris, Susse, 1948, p. 48.

9. « Entretien avec Paul Caro », par Bernadette Bensaude-Vincent et José Gomes, 20 juin 2002, *Sciences: histoire orale*, <https://sho.spip.espci.fr/spip.php?article56>

10. AN 990001 art. 64, *Rapport sur l'activité générale du CNRS*, mai 1950 – oct. 1951, p. 7-11 ; AN 20070296 art. 202, Dossier CNRS M. Foëx, *Rapport annuel individuel*, 1950-1951.

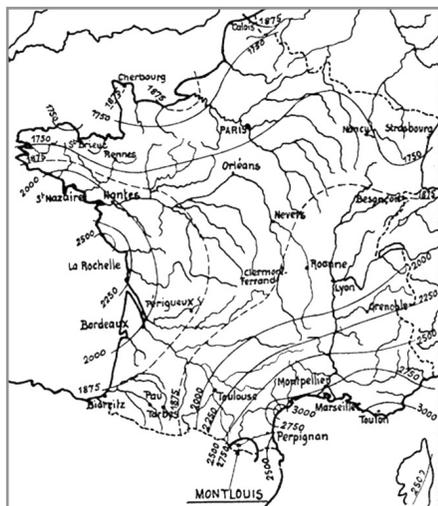


Figure 2

seur. Le nom est raccourci en 1957 pour Laboratoire de l'énergie solaire, l'année où la commune prend le nom, encore en vigueur actuellement, de Font-Romeu-Odeillo-Via.

Le programme du LES s'inscrit dans la culture des hautes températures, de fabrication de prototypes et de leur utilisation en chimie. D'abord, quatre fours solaires de 2 kW sont installés dans la citadelle. Puis, le trio voit plus grand et se lance dans la construction d'un four solaire de douze mètres de diamètre, d'une puissance de 75 kW, avec une tache focale étendue où les températures dépassent les 3 000 °C. Le four est opérationnel en 1954 (Fig. 3). Alors que les petits fours sont utilisés pour faire fondre les réfractaires, purifier les minerais et traiter les matériaux, le four de 75 kW est conçu comme un appareil « semi-industriel » de test de matériaux dans des conditions extrêmes mais contrôlées<sup>11</sup>. Des héliostats mobiles réfléchissent

les rayons du soleil vers le miroir principal, fixe. Les techniciens et ingénieurs CNRS automatisent les héliostats pour qu'ils suivent la trajectoire du soleil dans la journée tels des « tournesols mécaniques », selon le mot du journaliste du *New York Times*, Thomas F. Brady. Le LES a désormais les moyens d'acheter des miroirs de bonne qualité à la société Saint-Gobain, qui les fabrique par dépôt de fines couches d'argent sur le verre.

Trois facteurs extérieurs soutiennent la croissance régulière du LES sur la décennie 1950. Premièrement, la prospérité économique des Trente Glorieuses en France permet au CNRS une croissance de 7 % en effectifs et budget<sup>12</sup>. Deuxièmement, le directeur du CNRS, Gaston Dupouy (1900-1985), est particulièrement favorable aux centres provinciaux d'avant-garde : catalyse à Lyon, chimie métallurgique à Vitry-sur-Seine, magnétisme à Grenoble, neurophysiologie à Marseille, optique électronique à Toulouse, substances naturelles à Gif-sur-Yvette. L'énergie solaire lui plaît d'autant plus que ses recherches en microscopie l'ont sensibilisé aux grands instruments entre science et industrie. Troisièmement, le CEA, les militaires et l'industrie aéronautique utilisent Mont-Louis comme centre



Figure 3

11. AN 990001 art. 64, *Rapport sur l'activité générale du CNRS*, oct. 1950 – oct. 1951 ; AN 990001 art. 64, *Rapport sur l'activité générale du CNRS*, oct. 1953 – oct. 1954.

12. Jean-François Picard, *La République des savants : la recherche française et le CNRS*, Paris, Flammarion, 1990.

d'essais de matériaux stratégiques.

Le LES devient ainsi un centre internationalement reconnu et le four solaire de 75 kW, le plus grand du monde, est connu de toute la communauté internationale des hautes températures<sup>13</sup>. Le plus fort contingent civil de fours solaires se trouve aux États-Unis, avec 80 % des 30 unités en opération dans le monde<sup>14</sup>. Pourtant, le financement fédéral y est faible car le solaire relève plus d'un engagement privé que d'un enjeu de la guerre froide. Farrington Daniels (1889-1972) organise en septembre 1953 un premier colloque national sur l'énergie solaire à l'université du Wisconsin, à Madison. En 1954, industriels, banquiers et chercheurs fondent l'Association for Applied Solar Energy (AASE) à Phoenix<sup>15</sup>. Elle structure la communauté américaine en organisant une série de conférences savantes, à partir du World Symposium on Applied Solar Energy de 1955 à Phoenix, en éditant un journal spécialisé à partir de 1957, *Journal of Solar Energy Science and Engineering*, et en vulgarisant le thème dans une publication grand public, *Sun at Work*, à partir de 1956.

### L'habitat solaire dans les rapports de domination Nord-Sud

Si la technologie passive des fours solaires est soutenue par des logiques de

recherche et développement des matériaux propres aux pays du Nord, le solaire passif emprunte une seconde voie au cours de la décennie 1950 à travers le développement des zones du Sud. La question est formulée une première fois à Beyrouth, en 1948, lors de la troisième conférence générale de l'Unesco<sup>16</sup>. La délégation indienne propose d'entreprendre une enquête mondiale sur les sources d'énergie bon marché, qui conduit à établir en 1951 un programme Unesco des zones arides. Piloté au départ par un conseil représentant sept pays (Égypte, États-Unis, France, Inde, Israël, Mexique et Royaume-Uni), le programme vise, avec l'aide des bureaux régionaux de coopération scientifique, à développer les potentialités des zones arides et semi-arides par la coopération internationale et le soutien aux projets innovants<sup>17</sup>. Un premier symposium est organisé en 1952 à Ankara sur l'hydrologie, puis un second en 1953 à Montpellier sur l'écologie végétale. Un troisième rassemble à New Delhi, en octobre 1954, une assemblée multidisciplinaire pour échanger sur « les énergies éoliennes et solaires ». Le vent et le soleil y sont présentés comme des solutions pour les « régions non industrialisées », sans réseau électrique, ni énergie fossile<sup>18</sup>. Le symposium trace ainsi une ligne de démarcation entre pays riches du Nord, pour lesquels l'énergie solaire

13. John A. Duffie and Harry Z. Tabor, "The International Solar Energy Society: The First 25 Years, 1955 to 1980," dans Karl W. Böer (dir.), *The Fifty-Year History of the International Solar Energy Society and its National Sections*, vol. 1, Boulder, American Solar Energy Society, 2005, p. 1-64.

14. Jean Smith Jensen (éd.), *A directory of world activities and bibliography of significant literature*, Phoenix, Association for Applied Solar Energy, 1959, p. 3-21.

15. Harvey Strum, "The Association for Applied Solar Energy/Solar Energy Society, 1954-1970" *Technology and Culture*, 26, 3 (1985), p. 571-578.

16. Vladimir A. Kouzminov, *Unesco Energy Programme. Historical Review*, Paris, Unesco, 1978, p. 1-6.

17. B. T. Dickson (ed.), *Guide Book to Research Data for Arid Zone Development*, Paris, Unesco, 1957, p. 12.

18. Daniels, par exemple, exprime clairement cette idée lors de son intervention : « *The purpose of this conference, I assume, is to inquire into the possibilities of using solar energy directly in non-agricultural ways to do our work and to advance our material civilization in the non-industrialized areas, particularly in the arid and semi-arid regions of the world* ». Farrington Daniels, « Utilization of Solar Energy », dans *Wind and Solar Energy, Proceedings of the New Delhi Symposium, October 22-25, 1954*, Paris, Unesco, 1956, p. 129-135.

constituerait une œuvre de bienfaisance envers les pays pauvres du Sud, qui n'ont pas d'autre solution. Parmi la vingtaine d'experts présents à New Delhi, trois sont Français : Félix Trombe, Henri Masson qui mène, à l'Institut des hautes études de Dakar, un programme de pompage solaire, et Charles Beau, haut fonctionnaire, président-fondateur de la société d'économie mixte Énergie des mers. Dans son intérêt pour l'énergie solaire, la France fait exception parmi les pays riches en raison de son empire colonial en Afrique.

### *Le soutien de la France au solaire passif dans les colonies d'Afrique*

Les territoires sous domination française au Maghreb et en Afrique de l'Ouest constituent un réservoir de soleil important. Durant la décennie 1950, la France a établi deux centres de recherche solaire en Afrique : à Dakar, l'institut dirigé par Masson ; à Alger, la station solaire de Bouzaréah et l'Institut de l'énergie solaire, dirigés par Marcel Perrot (1908-2006). Le premier fabrique des machines thermiques qui convertissent le rayonnement solaire en travail mécanique de pompage de l'eau<sup>19</sup>. Le second s'intéresse à la technologie solaire passive, que Marcel Perrot nomme héliotechnique<sup>20</sup>. Le projet remonte à la pénurie de charbon liée à la Seconde Guerre mondiale qui pousse le Conseil supérieur de la recherche appliquée en Algérie (CSRAA) vers le solaire. Un ingénieur des Arts et Métiers, Maurice Touchais, est nommé pour installer un « héliodyne » à Bouzaréah, dans la banlieue ouest d'Alger. Un héliodyne est un miroir qui concentre le rayonnement

solaire pour produire de très hautes températures, sans héliostats contrairement aux fours d'Odeillo. L'idée est de faire réagir l'oxygène et l'azote atmosphériques à haute température pour produire de l'acide azotique et, ainsi, développer l'industrie des engrais en Algérie. Le prototype semi-industriel est achevé au milieu des années 1950 : avec un poids de 40 tonnes, une envergure de huit mètres de diamètre et une puissance thermique utile de 30 kW, l'héliodyne de Bouzaréah est le plus grand du monde à l'époque. L'institut algérois reçoit le soutien de la métropole tout au long de la décennie.

### *Le « mur Trombe » et les maisons prototypes d'Odeillo*

En métropole aussi, le LSE reçoit des crédits coloniaux. Les gouvernements généraux en Algérie et au Maroc ont financé en 1949 et 1950 une partie de la rénovation de la forteresse de Mont-Louis. Les institutions coloniales poussent, au même titre que l'armée française, vers les applications solaires dans le bâtiment<sup>21</sup>. Le LES lance donc rapidement, en même temps que les fours solaires, un second programme en habitat solaire avec pour objectif affiché par le Rapport d'activité du CNRS de 1952 « *de résoudre certains problèmes très actuels concernant l'équipement industriel des territoires désertés* ». L'engagement du LES dans les colonies va jusqu'à l'installation, à la demande du Comité d'action scientifique de l'armée, d'une maison climatisée par refroidissement nocturne à Colomb-Béchar, dans le désert algérien. À Mont-Louis, trois résultats intéressants ont été obtenus en

19. Jean-Pierre Girardier, « Les pompes solaires thermodynamiques et leur histoire », dans Alexandre Herléa (dir.), *L'énergie solaire en France*, Paris, Éditions du CTHS, 1995, p. 127-143.

20. Sur Marcel Perrot, voir la notice du groupe italien de recherche en énergie solaire. [www.gses.it/pub/perrot.php](http://www.gses.it/pub/perrot.php)

21. AN 990001 art. 64 and 65. *Rapport sur l'activité générale du CNRS, mai 1950 – oct. 1951*, on 11. *Rapport sur l'activité générale du CNRS, oct. 1957 – oct. 1958*, on 107.

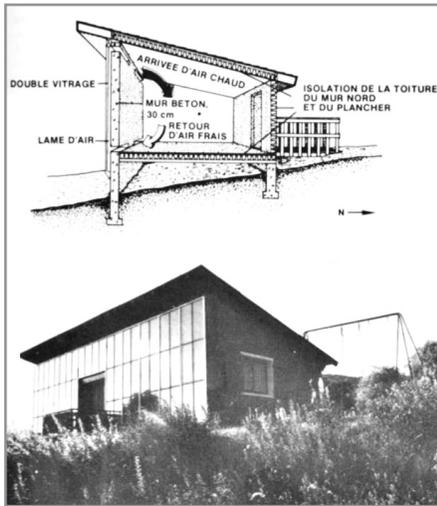


Figure 4

quelques années seulement : la réfrigération de 90 kg de glace par jour, à un coût de revient de sept francs le kilogramme, soit 30 à 40 % au-dessus du prix du marché électrique ; le chauffage solaire des locaux de la citadelle, à un coût équivalent de 75 centimes le kilowattheure électrique ; et la construction de maisons prototypes équipées des fameux « murs Trombe ».

Le principe du mur Trombe est simple (Fig. 4). Trombe a eu l'idée de poser des vitres à quelques centimètres du mur sud des maisons afin de piéger le rayonnement solaire par effet de serre entre la vitre et le mur. L'air froid de la maison entre dans la partie vitrée par un trou percé en bas du mur. Il se réchauffe derrière la vitre, s'élève à mesure qu'il s'échauffe, puis retourne dans la maison par un trou percé en haut du mur. Un courant naturel de convection

s'établit entre l'intérieur de la maison plus froid et le volume vitré chauffé par le soleil. Le mur, en ciment noir, absorbe la chaleur durant la journée puis la restitue par rayonnement la nuit, chauffant ainsi l'intérieur de la maison. Félix Trombe obtient un premier brevet en France en 1958<sup>22</sup>. Entre-temps, quelques maisons solaires ont été construites à Odeillo pour montrer la viabilité du système de climatisation. Par la suite, Félix Trombe collabore avec un architecte, Jacques Michel, pour construire une maison plus performante, achevée au début de la décennie 1970. Un nouveau brevet est obtenu en 1972, qui protège les améliorations depuis 1958. Le mur Trombe devient, en raison de sa simplicité et de son efficacité, un classique de l'architecture solaire<sup>23</sup>. Les économies de chauffage sont proches de deux tiers à Odeillo et de moitié dans des territoires moins favorables comme la région parisienne, pour un prix d'équipement modeste. En dépit de ces résultats encourageants, les pouvoirs publics ne mettent en place aucune incitation en faveur de la climatisation solaire de l'habitat, ni au cours des années 1960, ni au moment de la crise énergétique des années 1970. Lancé par la dynamique coloniale, l'habitat solaire ne fait pas recette en métropole alors que l'empire s'effrite.

### Le gigantisme solaire des années 1960 dans la politique de la « grandeur »

Ainsi, au cours de la décennie 1950, le LSE développe deux programmes solaires aux enjeux géopolitiques divergents. Les

22. Brevet FR1152129 (A) : « Dispositifs pour la climatisation naturelle des maisons », inventeur : Félix Trombe, demandeur : CNRS, informations de publication : 1958-02-12, date de priorité : 1956-03-01.

23. « The most significant of the current examples of the indirect heat transfer approach are the Odeillo house by Michel and Trombe and the Atascadero house by Harold Hay », T.E Johnson and T.C. Johnson, « Performance of Passively Heated Buildings », *Journal of Architectural Education*, 30, 3 (1977), p. 16-20. Un livre généraliste comme celui de J.K. Paul (ed.), *Passive Solar Energy Design and Materials*, Park Ridge (NJ), Noyes Data Corporation, 1979, consacre quarante pages au mur Trombe, soit 10 % de l'ouvrage.

fours à haute température intéressent militaires et industriels pour tester des matériaux stratégiques de la guerre froide, dans une compétition Est-Ouest, tandis que l'habitat à température ambiante intéresse coloniaux du Nord et politiciens du Sud pour l'administration de zones arides, dans un rapport de domination Nord-Sud. Pour les chercheurs, ingénieurs et techniciens d'Odeillo, ces deux programmes relèvent d'une même pratique interdisciplinaire de recherche techno-scientifique, à dominante instrumentale, articulant savoirs et savoir-faire chimiques, optiques, automatiques, thermiques et architecturaux. Pour preuve, le LSE organise en juin 1958 une conférence internationale majeure qui rassemble une cinquantaine de participants et auditeurs sur « les applications thermiques de l'énergie solaire dans le domaine de la recherche et de l'industrie »<sup>24</sup>. Y sont débattues, par sessions thématiques, des applications solaires aussi variées que machines et moteurs, fours, cuisinières, chauffage et distillation de l'eau, réfrigération, chauffage de l'air, climatisation des maisons. Le LSE s'y illustre avec quatorze communications couvrant l'ensemble des thèmes. Cet éclectisme se réduit à la fin des années 1950 car le LES se recentre sur un projet-phare : la réalisation d'un four solaire géant, de puissance thermique équivalente à 1 000 kW.

### *Le « four aux mille soleils » dans la politique gaullienne (1958-1969)*

Sitôt le four à 75 kW opérationnel, Félix Trombe et son équipe se tournent vers

l'échelle supérieure, qui permettrait de fabriquer des matériaux plus purs et moins chers que les procédés industriels électriques et de simuler des chocs thermiques semblables, par leurs effets, aux explosions nucléaires. Trombe parvient à convaincre la direction du CNRS d'acquiescer un vaste terrain à Odeillo, à une dizaine de kilomètres de la citadelle de Mont-Louis, pour construire le four géant. Mais le projet rencontre des circonstances défavorables : départ de Gaston Dupouy de la direction du CNRS, remplacé par Jean Coulomb (1904-1999), géophysicien moins enthousiaste que son prédécesseur pour les grands instruments ; affaiblissement de l'intérêt colonial à partir de l'indépendance des protectorats français de Tunisie et du Maroc en 1956 ; inflexion de la politique énergétique vers l'importation de pétrole à partir de la fin de la décennie 1950<sup>25</sup>.

La guerre de libération algérienne provoque une crise de régime en métropole, ce qui conduit Charles de Gaulle (1890-1970) au pouvoir en juin 1958. La Cinquième République est mise en place. En accord avec la majorité des Français, le gouvernement soutient l'« Algérie française » jusqu'au début de l'année 1961<sup>26</sup>. De Gaulle utilise alors son capital symbolique pour faire basculer l'opinion, durant l'année 1961, en faveur de l'autodétermination de l'Algérie. En août encore, à la conférence de l'ONU sur les nouvelles sources d'énergie qui se tient à Rome, Perrot et Touchais qualifient le Sahara de « grande ressource française d'énergie solaire »<sup>27</sup>. Le choix de l'indépendance

24. CNRS, *Applications thermiques de l'énergie solaire dans le domaine de la recherche et de l'industrie, Mont-Louis, 23 au 28 juin 1958*, Paris, CNRS, 1961.

25. Louis Puisseux, « Les bifurcations de la politique énergétique française depuis la guerre », *Annales. Économies, sociétés, civilisations*, 37, 4 (1982), p. 609-620, p. 611-612.

26. Raoul Girardet, *L'idée coloniale en France de 1871 à 1962*, Paris, Hachette, 1972, p. 400-402.

27. Marcel Perrot et Maurice Touchais, « Orientation des recherches techniques de l'IESUA pour la production d'énergie à partir de rayonnement solaire », dans *New Sources of Energy, Proceedings of the Rome Conference, 21-31 August 1961*, New York, UN Publications, 1964, p. 185-203, p. 185.

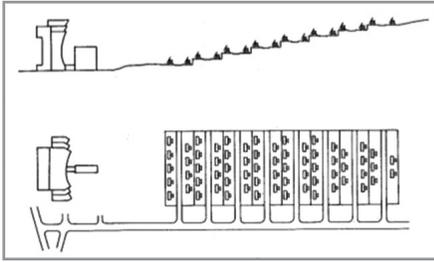


Figure 5

par les Algériens est ratifié en mars 1962 par les accords d'Évian. La rhétorique de la « grandeur » de la France et de la « troisième voie » entre les deux blocs de la guerre froide réoriente les aspirations nationales vers la modernisation du pays, dont la science devient un élément central. Ainsi, le Premier ministre, Michel Debré (1912-1996), orchestre la reconfiguration de la recherche publique. La prédominance académique est réduite par la création de trois nouvelles institutions au tournant des années 1960 : le Centre national d'études spatiales (Cnes) pour mener un programme aérospatial indépendant à Toulouse ; la délégation ministérielle pour l'Armement (DMA) pour adapter les armes conventionnelles aux stratégies de guerre froide ; et la délégation générale à la Recherche scientifique et technique (DGRST) pour coordonner la recherche publique à l'exception du spatial (Cnes), du militaire (DMA) et du nucléaire (CEA)<sup>28</sup>.

Avec sa notoriété internationale et l'importance des matériaux dans la guerre froide, le LES tire profit de la réorganisation nationale de la recherche publique. Félix Trombe est un excellent porte-parole. Au dernier échelon de directeur de recherche CNRS, chercheur réputé

sur les matériaux et les terres rares, il a été choisi par de Gaulle pour siéger au premier « conseil des douze sages », entre 1958 et 1960, qui donne au Président son avis sur la politique publique de la recherche. Il dispose donc d'une position d'expert scientifique à la présidence de la République à un moment clé et sait l'utiliser. Les travaux de construction du four géant d'Odeillo débutent à l'automne 1961. Ils nécessitent l'action conjuguée de trois ministères (Éducation, Défense, Travaux publics) et d'une quinzaine de contractants privés, sous la direction d'Henri Vicariot (1910-1986), polytechnicien, ingénieur en chef de l'Aéroport de Paris (ADP)<sup>29</sup>. Après huit ans de travaux de terrassement, de construction, d'équipement et de mise au point, on découvre dans la vallée pyrénéenne d'Odeillo un bâtiment de huit étages portant le miroir principal, parabole brillante de 40 mètres de haut et 50 mètres de large, formée de 12 000 morceaux de verres taillés et incurvés (Fig. 5). Le miroir principal reçoit la lumière réfléchie par 63 héliostats plats de 45 m<sup>2</sup> (6 mètres de haut sur 7,5 mètres de large) disposés sur huit terrasses transversales et la focalise 18 mètres devant lui sur une tache focale de 0,2 m<sup>2</sup>. La mise au point des asservissements mécaniques nécessite un lent et subtil réglage assuré par les employés de Saint-Gobain Techniques nouvelles, de Thomson Automatismes, et les techniciens du LES dirigés par l'ingénieur A. Le Phat Vinh. La première plaque d'aluminium est fondue à 3 000 °C dans la tache focale le 31 janvier 1969. Le four solaire est alors en capacité de traiter entre cent et mille kilogrammes de réactifs en une fois.

Félix Trombe annonçait en 1966 que

28. Vincent Duclert et Alain Chatriot (éd.), *Le gouvernement de la recherche. Histoire d'un engagement politique, de Pierre Mendès France à Charles de Gaulle (1953-1969)*, Paris, La Découverte, 2006.

29. « Le Four solaire de 1000 kW du CNRS à Odeillo-Font Romeu (séance 1<sup>er</sup> mars 1966) », *Annales de l'Institut technique du bâtiment et des travaux publics*, 228 (1966), p. 1387-1414.

le four solaire à 1 000 kW « restera[it] parmi les réalisations audacieuses de notre période moderne ». Plus grand four solaire du monde, sa longévité est étonnante puisqu'il continue de fonctionner aujourd'hui, près de quarante-cinq ans après sa première fusion. Centre d'essais matériaux et instrument de recherche, le four à 1 000 kW n'est pas devenu, comme l'annonçaient Trombe et les siens, une usine de traitement rentable. Les contrats ont représenté 10 % du budget du laboratoire hors salaires dans la décennie 1970, très loin des dépenses occasionnées par la construction, de l'ordre de dix millions de francs. Au-delà de la prouesse technique et de l'échec économique, le four solaire géant remplit une fonction géopolitique. Opérationnel trois mois avant le retrait du général de Gaulle du pouvoir, en avril 1969, il s'inscrit dans la politique gaullienne (1958-1969) des grandes réalisations techniques : la confection d'une bombe atomique, achevée en 1960, la fabrication, avec les Britanniques, du Concorde, premier avion supersonique civil à transporter des voyageurs à partir de mars 1969, le lancement en 1964 d'un programme spatial européen (Esro) dominé par le Cnes, etc. Le succès médiatique outre-Atlantique est important puisque le *New York Times* couvre régulièrement, entre 1954 et 1970, l'installation du four géant. Odeillo reçoit la visite de nombreux professionnels, chercheurs, industriels et administrateurs, venus de l'Ouest, de l'Est et du Sud. Le département américain de la Défense dispose d'une voix au comité de direction du LSE et finance de nombreux contrats<sup>30</sup>. Les principaux contractants

français sont la DMA et le CEA pour le militaire, la Société européenne de propulsion pour l'aéronautique, Ceraver, UGINE Kuhlmann et la Compagnie générale d'électricité pour les matériaux.

### *Photopiles de l'espace et fours solaires pour les matériaux stratégiques*

Quand Daniels annonce, au symposium de Phoenix en 1955, l'ouverture d'une « décennie solaire », il est piètre prophète en son pays. Le budget solaire de la National Science Foundation est bloqué à cent mille dollars par an entre 1950 et 1970, ce qui, cumulé sur vingt ans, est inférieur au coût du four géant d'Odeillo. L'AASE est près de la banqueroute jusqu'aux années 1970. L'Unesco cesse sa politique de publication pour le solaire dans la décennie 1960 après qu'elle a été conquise par la rhétorique « *des atomes pour la paix* » du président Dwight Eisenhower. La seule action du programme des zones arides est l'établissement du Power Engineering Research Institute à Bhopal et à Bangalore. Aucune conférence internationale sur l'énergie solaire ne rassemble plus de cent personnes entre 1955 (Phoenix) et 1970 (Melbourne)<sup>31</sup>. En Europe, le champ se structure autour des pays méditerranéens avec la formation, à la suite d'un séminaire de l'Otan de 1961, de la Coopération méditerranéenne pour l'énergie solaire (Comples). Mais son audience reste faible. Dans le même temps, Marcel Perrot et son équipe ont quitté Alger pour la rive nord de la Méditerranée où ils installent le Laboratoire d'héliotechnique, en 1964, à l'université

30. Dr. Walton (Georgia Institute of Technology) est membre du comité de direction en tant que délégué pour l'armée états-unienne pour les recherches matériaux et mécaniques. AN 850001, art. 14. *Rapport d'activité du Laboratoire de l'énergie solaire, 1967-1972*, Paris, CNRS, 1972, p. 8. « The United States has contracted with the French to use the Odeillo facility to subject radomes to thermal shock », dans John H. Douglas, « Solar Furnace: Image of a Thousand Suns », *Science News*, 109, 15 (1976), p. 235-236.

31. Duffie and Tabor, « The International Solar Energy Society », (note 13), p. 27, p. 37.

de Marseille.

L'énergie solaire est surtout financée pour ses rôles dans la guerre froide. Les photopiles solaires sont industrialisées pour la conquête spatiale. L'US Signal Corps, qui doit pourvoir à l'alimentation électrique des satellites américains, lance en 1955 un programme photovoltaïque, qui s'accélère après le succès soviétique du Spoutnik, premier satellite artificiel en 1957. En France, le Cnes charge, en 1962, la Société anonyme de télécommunications (SAT) d'industrialiser les photopiles mises au point par l'équipe de Michel Rodot au laboratoire CNRS de Bellevue<sup>32</sup>. De même, l'engagement public de la France à Odeillo soutient surtout les matériaux stratégiques pour les industries militaires, nucléaires et aéronautiques, alors en plein essor. Par son gigantisme, le programme solaire français des années 1960 s'apparente à une « hubris technologique »<sup>33</sup>. La démesure vient du couplage d'objectifs instrumentaux et industriels, qui devait faire du four géant un centre d'essai et une usine de production. L'armée américaine, qui avait copié les travaux de Mont-Louis pour fabriquer un four semi-industriel de 30 kW à Natick à la fin des années 1950, ne se lance pas dans l'échelle industrielle. Elle loue en revanche le four solaire géant ponctuellement, ce qui lui revient beaucoup moins cher.

### Le solaire passif à l'ombre de la crise énergétique des années 1970

La décennie 1970 est profondément marquée par une crise pétrolière mon-

diale. Les chocs pétroliers de 1973 et de 1980 décuplent le prix du baril, de trois à trente dollars. La France est sévèrement touchée dans la mesure où, en 1972, le pétrole (importé) représente les deux tiers de sa consommation énergétique. Alors que l'inflation oscille autour de 10 % sur la décennie 1973-1983, la question énergétique devient un enjeu politique majeur.

#### *Les centrales électrosolaires Thek et Themis*

Au tournant de 1970, le pays est doté d'une Association française pour l'étude et le développement des applications de l'énergie solaire (Afedes), dirigée par Robert Delsol, inspecteur général de Gaz de France. Son rôle est éditorial avec la publication des *Cahiers de l'Afedes*, dont le comité de rédaction est présidé par Trombe. Les laboratoires français de recherche (Perrot, Rodot, Trombe, Cnes, SAT, Saint-Gobain, Pechiney, etc.) mènent des programmes indépendants. La situation change en 1975 lorsque le gouvernement de Jacques Chirac crée une délégation aux Énergies nouvelles sous la direction de Jean-Claude Colli. Dans le même temps, le CNRS crée un Programme interdisciplinaire pour le développement de l'énergie solaire (Pirdes), sous la direction de Robert Chabbal, directeur scientifique de la physique au CNRS<sup>34</sup>.

Le Pirdes, qui se veut interdisciplinaire, est dominé par les physiciens. Ses principaux thèmes de recherche sont la conversion photovoltaïque, l'habitat solaire, la production de fuel solaire et la conversion électrosolaire. Celle-ci

32. Michel Rodot, « Les photopiles solaires : du laboratoire au seuil de la diffusion massive », dans Alexandre Herléa (dir.), *L'énergie solaire en France, op.cit.*, p. 85-106.

33. Matthias Heymann, « Signs of Hubris: The Shaping of Wind Technology Styles in Germany, Denmark, and the United States, 1940-1990 », *Technology and Culture*, 39, 4 (1998), p. 641-670.

34. Denis Guthleben, ce volume et « Coup de soleil au CNRS... la genèse du Pirdes », *La Revue pour l'histoire du CNRS*, n° 17 (2007), p. 36-39.

intéresse particulièrement Électricité de France (EDF) et deux centrales électrosolaires sont prévues pour la fin de la décennie 1970<sup>35</sup>. Avant même que les chantiers ne débutent, le Commissariat à l'énergie solaire (Comes) est créé en mars 1979, par le gouvernement de Raymond Barre, et placé sous la direction d'Henry Durand, ingénieur des Mines. Sur le modèle du CEA, le Comes dépend du ministère de l'Industrie et dispose d'un budget de 100 millions de francs pour remplir ses deux principales missions : coordonner, à la suite du Pirdes, le solaire public ; financer des recherches pour 40 % du budget et des applications pour 50 %. Les deux thématiques prioritaires sont la biomasse et le photovoltaïque tandis que l'habitat solaire est mal identifié<sup>36</sup>. Les deux projets de centrales électrosolaires sont poursuivis. Le premier prototype, dont l'acronyme Thek signifie Thermo-Helio-Electric-Kilowatt, doit fournir au réseau électrique d'EDF une puissance moyenne de l'ordre de 100 kW. Il est construit près de Marseille grâce à l'action conjuguée de plusieurs laboratoires universitaires (astronomie, héliophysique, héliotechnique) et de sociétés privées (Bertin Technologies et Cethel)<sup>37</sup>. Plus grand, le second prototype, dont l'acronyme Themis (déesse grecque de la justice) signifie Thermo-Helio-Electric-Megawatt, doit fournir au réseau EDF une puissance de 2,5 MW près d'Odeillo. En s'inspirant des travaux de V.A. Baum de l'Institut énergétique de Moscou, Félix Trombe et les siens ont fabriqué une centrale électrosolaire de 64 kW opérationnelle à partir de 1976. Themis, construite



Figure 6

à Targassonne dans la plaine au-dessous d'Odeillo, est une réalisation conjointe du LES et d'EDF. Le demi-cercle des deux cents héliostats de cinquante mètres carrés chacun focalise la lumière solaire sur une tour de quatre-vingts mètres dans laquelle circule un fluide calorifique de sels fondus, chauffé par le rayonnement lumineux (Fig. 6). À leur tour, les sels fondus chauffent de l'eau, qui actionne des turbines à la façon d'une centrale thermique classique. Le mouvement des turbines produit de l'électricité. Le savoir-faire acquis par le LES depuis trente ans dans le développement des fours solaires est crucial pour le réglage de l'ensemble des héliostats de Themis. La centrale est mise en opération en 1983, un an après la disparition du Comes, intégré à une nouvelle entité, l'Agence française pour la maîtrise de l'énergie (1982). Themis est rapidement stoppée par EDF, au moment du contre-choc pétrolier de 1986, qui ramène le prix du baril à dix dollars. Elle aura fonctionné pendant trois ans, de manière intermittente, et aura coûté, pour

35. Jean Deflandre, « Faire face à la crise du pétrole : l'énergie solaire au CNRS », interview de Girolamo Ramunni, *La Revue pour l'histoire du CNRS*, 4 (2001).

36. Les investissements du Comes se répartissent comme suit : biomasse (32 %), photovoltaïque (30 %), thermodynamique (19 %), basse température (15 %), météorologie et vent (4 %). *Rapport d'activité* du Comes, 1980.

37. G. Peri, J. Desautel, B. Imbert, M. Audibert, R. Pasquetti, J.-P. Batistelli, « Solar thermal conversion installations in the medium power range – The Thek project », *Revue internationale d'héliotechnique*, 2 (1978), p. 27-31.

sa construction, 230 millions de francs.

### Conclusion

La trajectoire du Laboratoire de l'énergie solaire du CNRS montre que le solaire passif a été constamment soutenu par des financements publics depuis la fin des années 1940 en France. Ceci ne suffit pas à faire une politique publique puisque le soutien s'opère pour des finalités autres. Durant les années 1950, le besoin en matériaux stratégiques pour les industries nucléaires, aéronautiques et militaires, justifie le développement des fours solaires. À la décennie suivante, le projet démesuré du « four aux mille soleils » s'inscrit dans la politique de grandeur voulue par de Gaulle, en quête d'une troisième voie pour la France dans l'équilibre Est-Ouest. Les recherches sur l'habitat solaire prennent place dans un équilibre Nord-Sud à travers les rapports de domination du colonialisme et du développement. Elles ne donnent lieu à aucune politique en métropole, ni par les collectivités locales, ni par les gouvernements. La crise énergétique des années 1970 ne met pas plus en avant la climatisation solaire. Le mur Trombe, en dépit des économies d'énergie qu'il permet, ne

bénéficie d'aucune incitation publique pour une large commercialisation. Ce qui intéresse les administrateurs de l'État au milieu des années 1970, c'est l'électrification du solaire passif pour construire des centrales solaires, reliées au réseau EDF. L'expertise du LES dans la gestion des héliostats des fours solaires est alors cruciale pour le réglage de la centrale électrosolaire Themis. Une fois opérationnelle, EDF ne l'exploite que pendant trois ans. Des maisons solaires de Mont-Louis à la centrale EDF Themis se trouve résumée, en un raccourci saisissant, la politique énergétique hexagonale depuis les années 1950. De manière récurrente, on y choisit la haute plutôt que la basse technologie, l'électrique plutôt que le thermique, le global plutôt que le local. La politique récente de rachat par EDF de l'électricité produite par les panneaux photovoltaïques de particuliers et de sociétés, sous couvert de production locale, renforce la puissance du réseau électrique et subventionne un instrument de haute technologie, qui participe à la conquête spatiale et aux télécommunications par satellites. Les semi-conducteurs seraient même porteurs pour le photovoltaïque d'une « révolution solaire » comme ils l'ont été pour le numérique<sup>38</sup>.

Typographie des applications de l'énergie solaire				
Échelle de température	purification et synthèse	climatisation	travail	électricité
0-100 °C	eau	maisons et équipements solaires (réfrigération, chauffage, etc.)	pompage eau	photopiles
500 °C				centrale électro-solaire
2000-3500°C	matériaux et molécules			

Figure 7

38. T. Bradford, *Solar Revolution. The Economic Transformation of the Global Energy Industry*, Cambridge (Mass.), The MIT Press, 2006.

Par comparaison, le solaire passif, véhiculant un symbolisme archaïque, ne convainc pas les politiques. Sa simplicité, son faible coût, son efficacité énergétique semblent jouer contre lui à moins que ce ne soit l'autonomisation énergétique des habitations qui inquiète les tenants d'un réseau électrique centralisé.

L'analyse précédente permet d'élargir le cas de Mont-Louis-Odeillo et d'énoncer trois propositions générales caractérisant la politique solaire dans la deuxième moitié du XX<sup>e</sup> siècle. Première proposition : la périodisation à l'œuvre dans l'histoire de la politique solaire dépend grandement du sens que l'on donne à « politique publique » et à « énergie solaire ». La question des politiques publiques concerne non seulement l'intervention des États mais aussi leur absence d'intervention (alors que des technologies sont disponibles) ainsi que l'intervention d'institutions régionales (AASE) ou internationales (Unesco, Comptes). L'énergie solaire

recouvre un champ hétérogène (Fig. 7) en termes techniques (passif versus électrique, température ambiante versus hautes températures) et symboliques (tradition versus modernité). Deuxième proposition : à l'instar de la France, les pays industrialisés ont eu tendance, par leurs politiques énergétiques, à favoriser la haute technologie sur la basse technologie : le nucléaire plus que le solaire ; le photovoltaïque plus que le solaire passif. La haute technologie correspond mieux à l'impératif de « modernité » après lequel courent les politiques. Les pays riches, en revanche, conseillent la basse technologie aux pays pauvres. Troisième proposition : dans le cas de la France, l'électrification des territoires et la centralisation du réseau par EDF depuis 1945 ont poussé à valoriser l'unicité technique des solutions, en particulier le « tout électrique » à partir des années 1980, à dévaloriser les particularités locales (milieu, climat, architecture, matériaux, etc.), et à défavoriser l'architecture solaire, qui, entre autres, permet une gestion plus autonome par les usagers des bâtiments qu'ils occupent.