



HAL
open science

L'énergie solaire thermodynamique en Afrique : la Société française d'études thermiques et d'énergie solaire, ou Sofretes (1973-1983)

Frédéric Caille

► To cite this version:

Frédéric Caille. L'énergie solaire thermodynamique en Afrique : la Société française d'études thermiques et d'énergie solaire, ou Sofretes (1973-1983). *Afrique Contemporaine*, 2017, L'énergie en Afrique : les faits et les chiffres (261-262), pp.65-84. <10.3917/afco.261.0065>. <halshs-01984546>

HAL Id: halshs-01984546

<https://shs.hal.science/halshs-01984546v1>

Submitted on 18 Jun 2019

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.



HAL Authorization

L'énergie solaire thermodynamique en Afrique

La Société française d'études thermiques et d'énergie solaire, ou Sofretes (1973-1983)

Frédéric Caille

La Sofretes, Société française d'études thermiques et d'énergie solaire, une société d'économie mixte spécialisée dans le pompage solaire thermodynamique, a été créée en octobre 1973 au terme d'une décennie d'expérimentations entre la France et le Sénégal par l'ingénieur français Jean-Pierre Girardier. Devenue leader dans son domaine et propriété majoritaire du Commissariat à l'énergie atomique (CEA), elle a disparu au terme d'une dizaine d'années d'existence. Cet article met en perspective cette aventure singulière avec des éléments d'anthropologie de l'énergie et d'histoire du solaire thermodynamique en Afrique, dont les premiers projets et expériences remontent aux années 1860-1920, avant un renouveau qu'incarneront les professeurs de physique Henri Masson au Sénégal et Abdou Moumouni Dioffo au Niger.

Mots clés : Sénégal – Niger – Énergie – Pompage solaire thermodynamique – Sofretes – CEA



La Société française d'études thermiques et d'énergie solaire (Sofretes) était une PME ou, dirait-on aujourd'hui, une start-up d'économie mixte spécialisée dans le pompage solaire thermodynamique¹. Elle a été créée en octobre 1973 par l'ingénieur français Jean-Pierre Girardier, au terme d'une décennie d'expérimentations entre la France et le Sénégal. L'Agence nationale de valorisation de la recherche (ANVAR) et la société de capital-risque Sofinnova en possédaient à cette date 49 % des parts. Elle a disparu une décennie plus tard, en 1983, rachetée par le Commissariat à l'énergie atomique (CEA).

L'histoire de la Sofretes est le cas exemplaire, et sans beaucoup d'équivalent, d'une « occasion manquée », pour reprendre l'expression de plusieurs

Frédéric Caille est maître de conférences HDR en science politique à la faculté de droit de

l'université Savoie-Mont-Blanc, chercheur au laboratoire Triangle ENS Lyon. Ses travaux actuels

portent sur l'histoire culturelle et l'anthropologie sociale de l'énergie solaire.

des témoins rencontrés, à la fois sociale, technologique, environnementale et, probablement, économique. Son originalité est de toucher à des enjeux énergétiques et climatiques qui concernent aujourd'hui l'avenir de l'humanité. Sa force est de rendre visible l'existence de futurs technologiques alternatifs avortés et certaines des logiques intellectuelles et temporelles qui ont à la fois amorcé et bridé les usages de l'énergie solaire en Afrique.

En effet, cette histoire s'intègre dans celle du solaire thermodynamique de basse ou moyenne température en Afrique, dont on évoquera tout d'abord les premiers projets et expériences développés des années 1860 aux années 1920². Ces travaux pionniers sont souvent ignorés de l'historiographie comme de l'expertise énergétique contemporaines, notamment francophones³. Pourtant, ils révèlent les potentialités techniques réelles et précoces de l'énergie solaire, en particulier pour les pays les mieux ensoleillés, sur la base d'une technologie thermodynamique actuellement en sommeil, mais dont s'empare, vers 1960, une nouvelle génération de chercheurs, à laquelle appartiennent les initiateurs de la Sofretes.

Pour un travail historique et mémoriel

En dehors de la documentation écrite citée dans l'article, notre propos s'appuie sur plus d'une quinzaine d'entretiens filmés avec certains des principaux acteurs de la Sofretes et d'autres témoins, en Afrique notamment. L'enquête et les rencontres de mai 2016 au Sénégal n'auraient pas été possibles sans l'aide précieuse et la grande connaissance du pays de Jean-François Havard, maître de conférences en science politique à Mulhouse, d'Ahmadou Makhtar Kanté, écologue et chercheur indépendant en environnement à Dakar, ainsi que des collègues et personnels rencontrés au Cerer et aux facultés des sciences et techniques et des sciences juridiques et politiques de l'université Cheikh-Anta-Diop, et particulièrement le doyen Mamadou Badji. Jean-Pierre Girardier, dirigeant-fondateur, qui avait bien voulu revenir partager son expérience à Dakar en mai 2016. Nous tenons également à mentionner et remercier pour leur disponibilité et les archives communiquées : Max Clémot et Jean-Paul Durand, ingénieurs au CEA détachés durant cinq ans au sein de la société ; Marc Jacquet-Pierroulet, technicien-monteur ayant travaillé avec Abdou Moumouni au Niger, qui a

1. L'auteur tient à remercier les évaluateurs anonymes et la rédaction d'*Afrique contemporaine* pour leur contribution à l'amélioration des différentes versions et de l'argumentaire du présent texte.
2. Les technologies solaires sont aujourd'hui usuellement réparties en quatre grandes filières à la fois scientifiques et industrielles : le solaire basse température à base de capteurs plan pour eau chaude ou air

chaud (dont la forme la plus courante est le chauffe-eau solaire) ; le solaire basse température pour produire de l'électricité ou de la force mécanique retenu par la Sofretes (actuellement industriellement délaissé) ; le solaire à concentration à haute température pour fournir de l'électricité en réseau avec de grandes centrales (dont le projet Noor au Maroc est aujourd'hui le symbole) ; le solaire photovoltaïque dont les performances et coûts de

fabrication se sont considérablement améliorés depuis les années 1970 (aujourd'hui le mode de production d'électricité le moins cher au kilowatt-heure et une filière industrielle en forte expansion).
3. Cela est moins vrai dans l'historiographie nord-américaine, dont une partie seulement est ici mentionnée (Butti, Perlin, 1981 ; Perlin, 2013).

réalisé le plus grand nombre des installations de village de la Sofretes ; Jean Bliaux, ingénieur au CEA et directeur du Service d'étude sur l'énergie solaire au centre de Cadarache de 1976 à 1985, qui travailla avec et pour la Sofretes ; Georges et Jeanne-Marie Alexandroff, architectes pionniers de l'architecture solaire ou « bioclimatique », premiers architectes conseils de la Sofretes, puis enseignants à l'École d'architecture de Paris. Nous avons également rencontré Alain Liébard, élève de Georges Alexandroff, architecte conseil Sofretes pour son premier emploi, puis créateur de la Fondation énergies pour le monde (Fondem) dans les années 1980. Ce texte n'est qu'un premier aperçu du travail historique et mémoriel en cours sur la société, dont l'entrée dans l'histoire des innovations technologiques françaises a été acceptée début 2017 par la direction du Musée national des arts et métiers à Paris.

De 1950 au début des années 1970, de nouveaux moteurs solaires thermodynamiques sont élaborés et testés en Afrique de l'Ouest, sur un cahier des charges original (petite et moyenne puissance électrique ou mécanique, facilité de construction et de transfert technologique, aide au développement rural), en particulier par les équipes de recherche des professeurs Henri Masson à Dakar et Abdou Moumouni Dioffo à Niamey. Les performances obtenues ouvrirent des perspectives qui dépassèrent celles qu'autorisait alors le solaire photovoltaïque, et c'est selon un arbitrage de raison plus que de principe (le professeur Moumouni Dioffo testant dès 1969 un module photovoltaïque de fabrication française et la Sofretes réalisant elle-même quelques installations du genre vers la fin des années 1970) que le solaire thermodynamique a connu un bref mais remarquable essor.

Née de la rencontre et de la collaboration des deux équipes, la Sofretes a acquis à partir de 1975 une compétence mondiale sans équivalent (voir la carte, p. 79), laquelle culmina avec la grande centrale solaire d'irrigation et de production électrique de Diré, au Mali, la plus puissante au monde alors jamais réalisée, construite sous financement de la coopération française, et dont la maintenance a été abandonnée avec la mise en liquidation de la Sofretes au début des années 1980.

Industrialiser l'Afrique par le soleil : les rêves pionniers (1865-1920)

Le premier des grands fils temporels auquel s'arrima l'histoire de la Sofretes a été celui de l'émergence mondiale par le plaidoyer, l'étude et l'expérimentation, dès la fin du XIX^e siècle, d'un certain nombre « d'alternatives sociotechniques » aux énergies fossiles, se basant notamment sur l'utilisation plus ou moins directe du rayonnement solaire.

Augustin Mouchot, l'initiateur. Un nombre important des usages thermiques et thermodynamiques de l'énergie solaire (c'est-à-dire en termes de distillation,

chauffage d'eau, cuisson, production d'une force mécanique pour pompage, broyage, locomotion, entraînement d'un alternateur électrique, etc.) ont été testés, maîtrisés et développés avant la fin du XIX^e siècle, et plusieurs moteurs solaires à basse température ont été opérationnels aux États-Unis et en Europe entre 1865 et 1875. L'écho international de l'ouvrage *La Chaleur solaire et ses applications industrielles* (1869, puis complété en 1878), rédigé au terme d'une dizaine d'années de recherches par le professeur de mathématiques français Augustin Mouchot (1825-1913), ainsi que celui des démonstrations qu'il réalisa à l'aide du plus grand concentrateur solaire jamais construit, établi au pavillon de l'Algérie durant l'Exposition universelle de Paris en 1878, marquèrent sans aucun doute le début de la diffusion élargie des résultats de ces premiers innovateurs énergétiques (Butti, Perlin, 1981 ; Perlin, 2013).

Dès cette époque, comme l'a écrit Augustin Mouchot lui-même, au terme de trois ans de repérages et d'expérimentations en Algérie, c'était bien aux « régions intertropicales », et en particulier à l'Afrique, que les pionniers des énergies renouvelables destinèrent en priorité leurs innovations, ce continent étant alors considéré comme dépourvu de houille et, au moins pour son immense partie sahélo-saharienne, de quasiment tout autre forme de combustible⁴.

L'Anglais Williams Adams, enthousiasmé par les travaux de Mouchot et leur potentiel dans le sous-continent indien où il résidait, synthétisa dès 1878 également le cœur de la perspective en un titre : *Solar Heat. A Substitute for Fuel in Tropical Countries*⁵.

Dix ans plus tôt, en 1868, John Ericsson, célèbre ingénieur américano-suédois et créateur du premier sous-marin moderne, posait pour sa part un « constat-questionnement » qui vaut encore aujourd'hui : « A great portion of our planet enjoys perpetual sunshine. The field therefore awaiting the application of the solar engine is almost beyond computation while the source of power is boundless. Who can foresee what influence an inexhaustible motive power will exercise on civilization and the capability of the earth to supply the wants of the human race? » (Kryza, 2003)⁶.

Frank Shuman, le développeur. Alors qu'Augustin Mouchot et ses émules défrichaient le potentiel des équipements solaires individuels, et ce que l'on peut appeler les moteurs solaires à moyenne ou basse température telles que

4. Pour plus de détails sur cette continuité du projet de « l'Afrique solaire » et ce type d'argumentation, qui inclut notamment le français Charles Tellier, on se permet de renvoyer à une première esquisse : Caille (2018).

5. « La chaleur solaire : un combustible de substitution pour les régions tropicales » (notre traduction).

6. Ce passage est traduit dans la première édition du livre d'Augustin Mouchot (p. 208). La version originale semble aujourd'hui plus affirmative et explicite : « Remarquons en même temps qu'une grande partie de la surface de la terre est éclairée par un soleil toujours radieux. La sphère d'activité de la machine solaire est aussi grande que la puissance dynamique en est

considérable. Avant de terminer cette relation incomplète, permettez-moi de vous demander qui peut prévoir l'influence qu'une force motrice inépuisable est capable d'exercer sur la civilisation, comme sur l'étendue des ressources que la terre offre au genre humain... »

les pompes dont ont été équipées les « stations de village » de la Sofretes, un nouvel ingénieur américain, Frank Shuman, inaugurait en Égypte, le 12 juillet 1913, à Maadi, près du Caire, la première centrale solaire d'envergure de l'histoire, « The N° 1 Engine Sun », comme l'ont surnommé deux de ses redécouvreurs récents : 300 mètres linéaires de capteurs cylindro-paraboliques de plus de 4 mètres d'ouverture, 41 KW de puissance instantanée, soit 2 000 litres d'eau pompés dans le Nil à la minute⁷.

Au prix de la tonne de charbon dans la zone à l'époque, l'investissement était supposé devoir être intégralement remboursé sur quatre ans et fonctionner ensuite presque gratuitement. L'Allemagne envisagea d'investir dans plusieurs autres grandes centrales solaires, notamment en Afrique du Sud, mais l'installation fut détruite lors de la Première Guerre mondiale et son promoteur mourut. Par ailleurs, le conflit confirma « que le pétrole compt[ait] davantage comme combustible que comme source d'éclairage », et qu'il était « un trésor au pays des merveilles qui dépass[ait] nos espérances les plus folles », comme l'écrivit Winston Churchill, nommé Premier Lord de l'Amirauté britannique en 1911 et promoteur direct d'une « augmentation colossale des dépenses et de la puissance destructrice de la Royal Navy » par l'investissement prioritaire dans « une flotte de navires de guerre rapides équipés de turbines à vapeur [...] fonctionnant au mazout plutôt qu'au charbon » (Mitchell, 2017, p. 88-89 et 98).

Le passage au pétrole : premier épilogue. Comme l'a expliqué l'historien américain Timothy Mitchell, avec la mise en exploitation des gisements du Mexique, puis dans les années 1920 la mise sous contrôle occidental direct ou indirect des ressources de l'ancienne Mésopotamie (l'Iran et l'Irak actuels), une nouvelle forme de système énergétique et politique international s'inventait. Il s'appuyait sur le contrôle de « l'or noir », un combustible fossile que l'on exploitait depuis la fin du XIX^e siècle presque exclusivement pour l'éclairage, si ce n'était dans quelques zones dépourvues de gisements de charbon (Caspienne).

Du point de vue des perspectives d'usage de l'énergie solaire, en Afrique comme d'ailleurs dans le reste du monde, ce tournant a été décisif, car une bonne part des ressources pétrolières (Mexique, Venezuela, Iran, Irak... et aussi Égypte à cette période) ont été localisées dans les régions intertropicales les plus ensoleillées. Or, le nouveau combustible prioritaire n'était non pas *boundless*, sans limites, ainsi que l'on avait pu écrire pour le soleil, mais facilement appropriable, concentré et contrôlable.

Ces caractéristiques en constituaient, selon Timothy Mitchell, les atouts majeurs. Et elles ont probablement en retour obéré les deux grands fondements initiaux de développement de l'énergie solaire : à savoir, d'un côté, la disponibilité d'une source d'énergie dans les régions subtropicales non charbonnières ; et, de l'autre, le projet de l'essor économique et humain de ces mêmes régions, désormais plus ou moins directement divergent de celui de la marchandisation et de la sécurisation du nouveau combustible fossile prioritaire.

Une nouvelle génération pour l'énergie solaire thermodynamique ou l'incubation de la Sofretes (1950-1972)

Pour comprendre et expliquer les « politiques publiques » dans le domaine de l'énergie solaire, a récemment considéré Pierre Teissier, jeune historien des sciences et techniques, au terme d'une analyse précise des recherches françaises en matière de solaire thermique, il faudrait également prendre en compte les « non politiques », c'est-à-dire le choix par les États de ne pas développer certaines technologies disponibles, parfois plus simples et moins coûteuses (Teissier, 2013).

Le constat est posé dès 1960 par le professeur Henri Masson, doyen de la faculté des sciences de Dakar, en conclusion d'une série de deux papiers de synthèse et de prospective sur « l'énergie solaire et ses applications » rédigés pour les *Annales des Mines* : « Où en serions-nous si on avait consacré à la conversion de l'énergie solaire les moyens fournis aux recherches atomiques ? [...] Certains entrevoient d'une manière précise l'application de l'énergie solaire à la vie courante. Où en est sur ce point l'Afrique de l'Ouest si riche en énergie solaire ? » (Masson, 1960).

Henri Masson et le laboratoire solaire du Sénégal. Les réponses et résultats scientifiques, laissait entendre ce physicien français, n'étaient pas séparables des objectifs et des questionnements sociotechniques que l'on se donnait. Cinquante ans après Frank Shuman, en dehors de la découverte fortuite de nouvelles cellules photovoltaïques réalisée aux laboratoires américains de la société Bell en 1953 (Perlin, 1999), rien ou presque n'avait vraiment progressé dans le domaine de l'énergie solaire, et bien rares étaient ceux qui s'y intéressaient, sinon des marginaux et des hétérodoxes, tels, pour la France, outre Henri Masson lui-même, Félix Trombe et Marcel Perrot (Perrot, 1963).

Hétérodoxe s'il en est, le physicien sénégalais (et linguiste et anthropologue) Cheikh Anta Diop était lui aussi de ce petit nombre. Ainsi, dès 1955, dans la version publiée d'*Alerte sous les tropiques*, puis en 1960 dans *Les Fondations économiques et culturelles d'un État d'Afrique noire*, il fut l'un des premiers à signaler la découverte des laboratoires Bell, ainsi qu'à mentionner l'ancienne centrale solaire égyptienne de Frank Shuman, l'importance de la cuisson solaire pour sauver les dernières forêts d'Afrique, et, par-dessus tout, à appeler les jeunes chercheurs du continent à travailler sur toutes les potentialités énergétiques du soleil (Diop, 1974, 1990).

C'est ici que démarra à proprement parler l'histoire de la Sofretes. Comme son homologue sénégalais, le professeur Masson fut de ces rares

7. Un beau travail d'installation artistique et d'exhumation mémorielle a été réalisé en Égypte en 2009 par les artistes suisses Cristina Hemauer et Roman Keller (2008). Il s'agit du seul travail conséquent sur Frank Shuman en dehors des

ouvrages cités de Perlin et Kryza. De manière convergente, les mêmes artistes ont réalisé un excellent documentaire, *A Road not Taken. The Story of The Jimmy Carter White House Solar Installation* (2010, 66 mn), sur l'histoire oubliée des

panneaux solaires thermiques installés sur la Maison Blanche en 1979, puis démontés sous la présidence de Ronald Reagan (en vente sur leur site : <http://www.hemauerkeller.land/en/a-road-not-taken/>).

personnes au niveau mondial à considérer que ce n'était pas une physique dérisoire que celle qui se consacrait au soleil. Et c'est sans complexes face aux mystères de l'atome qu'il travailla sur le recueil de rosée, la distillation, le séchage et la cuisson solaires, ou encore sur la mesure des variations annuelles du rayonnement solaire avec la création de l'Institut de physique météorologique (IPM), entité autonome au sein de l'université de Dakar⁸.

La physique solaire qui se développait alors à Dakar était pratique, expérimentale, orientée vers les besoins simples et concrets des populations rurales d'Afrique. Elle se distinguait de dynamiques de recherche, comme celles du développement du photovoltaïque en Polynésie française dans les années 1980, où le volontarisme et l'impulsion de grands organismes publics ou privés se sont trouvés être premiers (Akrich, 1988)⁹.

Il est même possible de la situer précisément, comme plus tard celle de Jean-Pierre Girardier qui a créé la Sofretes à la suite de sa thèse dirigée par le professeur Masson, du côté de ce courant des Science and Technology Studies (STS) récentes selon lequel, en matière scientifique, « l'impulsion initiale se trouve du côté des techniques ». Dans cette perspective, « au commencement n'est pas le verbe mais l'action » (Conner, 2014), et il est possible de considérer que toute avancée scientifique, dans l'énergie solaire comme dans nombre d'autres progrès, vient de la préoccupation pratique et non des travaux ou recherches théoriques (Pestre, 2015).

En effet, il convient de relever que la conversion thermodynamique de l'énergie solaire, dans les installations de petite ou moyenne puissance au moins, selon une conviction qui a guidé la démarche de Henri Masson et de Jean-Pierre Girardier, appartient de plein droit à ce que la littérature anglosaxonne récente sur l'énergie a désigné sous l'acronyme d'ASET (Affordable/ Appropriate Sustainable Energy Technologies), et que l'on pourrait traduire par TERA (technologies d'énergies renouvelables abordables/appropriables). Le cœur de cette approche consiste à s'efforcer de penser des technologies (et notamment de production énergétique) non pas seulement « renouvelables » et « décarbonées », mais également des technologies qui ne réclament qu'une capacité d'investissement limitée, soient adaptées à des modes de vie et des usages d'intensité énergétique modérée, et qui puissent être assez aisément produites, réparées et techniquement « appropriées » par les populations mondiales les plus énergétiquement défavorisées, c'est-à-dire les populations rurales des pays les moins avancés (Guruswamy, Neville, 2016).

À partir de 1973, en travaillant surtout sur le biogaz, le scientifique indien et pionnier de la recherche et de l'expérimentation sur la pauvreté énergétique Amulya K.N. Reddy, dans une démarche similaire aux travaux solaires réalisés en Afrique de l'Ouest francophone, a choisi de dénommer *rural technologies* les technologies « douces » dont il défend la nécessité. Rejetant l'hégémonie des interprétations macroéconomiques ou macrotechnologiques toujours proposées pour les pays du Sud, il développa une analyse qualifiée de *bottom-up* et de *end-use oriented* des besoins énergétiques (et notamment électriques) des

populations, ainsi qu'une critique serrée des ambivalences des grandes agences d'expertises du domaine (Goldenberg, Reddy, Johansson, Williams, 1988 ; Bhalla, Reddy, 1994)¹⁰.

Mieux vaut quelques heures d'énergie par jour à un coût abordable que la promesse à plusieurs décennies de mégawatts continus à un prix dépassant les capacités du plus grand nombre ; mieux vaut une énergie déconcentrée et discontinue mais largement répartie que des îlots élitistes et urbains bien desservis au milieu d'un océan de misère ; mieux vaut une technologie simple mais à soi qu'une science complexe achetée à d'autres : tels peuvent être schématiquement résumés les grands axes d'un credo que Reddy défendra internationalement des années durant, et dont on peut considérer que l'équipe Masson-Girardier, bien qu'en des termes moins directement politiques, a partagé les grandes lignes. Jean-Pierre Girardier l'a dit à sa manière en 1979 dans un livre d'entretien : « Je ne sais pas si dans l'état actuel des techniques l'énergie solaire prendra une place importante dans nos pays. Par contre, je suis convaincu qu'après une phase plus ou moins longue de mise au point des produits et d'adaptation de la technologie, l'énergie solaire pourra être utilisée largement dans les pays du tiers-monde ensoleillés. Elle permettra d'aborder le problème de la dispersion des populations sous un jour nouveau en dispersant l'énergie et en faisant l'économie de réseau de distribution coûteux [...], (avec) la possibilité pour ces pays de se doter de leur propre industrie solaire, et de maîtriser ainsi leur énergie » (Girardier, Renau, 1979, p. 119-120).

Le projet de la Sofretes, exprimé ainsi au terme de près de deux décennies de travail, était on le voit, au sens fort, comme ceux qu'a défendu Amulya K.N. Reddy, « socio-technique ». En termes concrets, et dans les mots de Henri Masson à Jean-Pierre Girardier, sa préoccupation initiale était de parvenir à la réalisation d'un moteur-pompe solaire le plus simple possible, basé sur le seul « principe de Carnot », ou « seconde loi de la thermodynamique », selon lequel, à partir du différentiel de température, entre la source froide de l'eau (si abondante dans le sous-sol du Sénégal) et la source chaude du soleil (si généreux dans son ciel), devait pouvoir naître (mécaniquement et inépuisablement) la force de travail nécessaire à la montée de la première vers le second¹¹.

Le doctorat de physique de Jean-Pierre Girardier, soutenu à Dakar en 1963, en a établi la faisabilité pratique à partir de simples « capteurs » ou « collecteurs plans », non orientables mais de conception et de positionnement, en toiture notamment, aisés (Girardier, 1963). Les deux concepteurs brevetèrent le procédé l'année suivante et conclurent, à nouveau dans les *Annales des Mines*,

8. L'IPM est devenu ensuite, au début des années 1980, le Cerer (Centre d'études et de recherche sur les énergies renouvelables).

9. L'auteur explique que ce programme est même engagé indépendamment de toute autre visée que la valorisation du

savoir-faire du CEA sur un territoire où ses activités (militaires) nuisent à sa réputation.

10. L'ouvrage *Energy Poverty. Global Challenges and Local Solutions* lui est significativement dédié (Halff, Sovacool, Rozhon, 2014), alors qu'il est étrangement absent de la

littérature francophone. On se permet à nouveau, pour un premier approfondissement, de renvoyer à notre communication récente (Caille, 2017).

11. Le point a été souvent raconté par Jean-Pierre Girardier (Girardier, Renau, 1979 ; Girardier, 1995).



Institut de physique météo
de DAKAR



LES

Apprendre !

PROTOTYPES



L'équipe de Dakar au début des années 60/70
Masson / Guennea / JPG

Réalisés à l'institut de
Physique météorologique de DAKAR
sous la direction de Monsieur le
Professeur MASSON

Album personnel de Jean-Pierre Girardier (en haut à droite avec le professeur Masson).

sur la base du modèle Secra financé avec l'aide de la coopération française (8 l/mn à 13 mètres), que « ce type de moteur à insolateur plan [pouvait] ouvrir une voie nouvelle dans l'utilisation de l'énergie solaire » (Girardier, Masson, 1964).

Plusieurs autres installations expérimentales ont été réalisées à l'IPM de Dakar jusqu'au début des années 1970, dont Segal, première pompe vraiment opérationnelle, qui affichait un rendement de 5 à 6 m³/h pour 80 m² de capteurs, et qui a été testée journalièrement jusqu'en 1972¹², préparant l'installation pionnière en village réalisée près de Niamey en collaboration avec le physicien nigérien Abdou Moumouni Dioffo.

Abdou Moumouni Dioffo et le laboratoire solaire nigérien. Abdou Moumouni Dioffo (1929-1991), premier Africain francophone agrégé de physique, docteur d'État spécialisé en énergie solaire sous la direction de Félix Trombe en 1967, fut le concepteur de quelques-uns des premiers collecteurs

solaires cylindro-paraboliques modernes, et sans doute le précurseur originaire le plus important du continent en la matière¹³.

Sa contribution directe à l'incubation de la Sofretes marqua la convergence des projets solaires thermodynamiques de la période. Comme pour l'équipe Masson-Girardier, avec laquelle la collaboration s'est établie dès la fin des années 1960, les questions d'éducation technique, de recherche scientifique, et même de petites capacités industrielles autonomes dans le domaine de l'énergie solaire en Afrique étaient prioritaires pour le physicien nigérien¹⁴.

Il les évoqua d'ailleurs dès 1964 dans un diagnostic remarquable sur « l'énergie solaire dans les pays africains », un long texte dont de nombreux éléments ont encore du sens aujourd'hui : le potentiel sans équivalent de l'Afrique en matière d'énergie solaire ; les intérêts non totalement congruents en matière de recherche solaire entre pays développés et pays moins avancés ; les priorités propres aux campagnes et milieux ruraux (et notamment aux campagnes sahéliennes, la question urbaine étant différente) ; l'importance de privilégier des formes de production déconcentrées et non « un réseau de distribution exagérément développé si l'on envisageait la solution de l'électrification du pays par les voies classiques » ; l'intérêt de la *low technology*, pour reprendre le terme d'aujourd'hui, de la plupart des dispositifs de conversion thermique ou thermodynamique de l'énergie solaire pour les petites et moyennes puissances, « en commençant bien entendu par les plus simples et plus généralement ceux susceptibles d'être construits sur place, au besoin dans une première phase, à partir de produits bruts ou semi-finis importés » (Moumouni, 1964b, réédité dans Caille-Badji, 2018).

Il concluait qu'au final : « 1 – Les pays africains disposent sous la forme de l'énergie du rayonnement solaire d'importantes ressources restées jusqu'ici inexploitées et auxquelles ni les dirigeants politiques, ni l'opinion publique ne semblent accorder l'intérêt qu'on pourrait attendre. Ceci soit par ignorance, soit qu'on se laisse trop facilement convaincre qu'il s'agit soi-disant de "rêves" de savants sans réalité immédiate. 2 – Il est possible, dès aujourd'hui, d'entreprendre l'utilisation pratique de l'énergie solaire dans les pays africains [...] » (Moumouni, 1964).

Ici se termina l'incubation intellectuelle et pratique de la Sofretes. La première pompe Masson-Girardier en situation de village fut installée dès 1969 à Bossey-Bangou avec les capteurs et la logistique du laboratoire d'Abdou Moumouni, où travaillait alors Marc Jacquet-Pierroulet comme volontaire, qui est devenu en 1973 le premier technicien-monteur de la société.

12. Lors d'une première visite au Cerer, en mai 2015, nous avons pu voir les carnets de relevés. L'installation n'a disparu qu'en 2008.

13. Un intéressant documentaire du réalisateur nigérien Malam Saguirou, où interviennent plusieurs témoins de

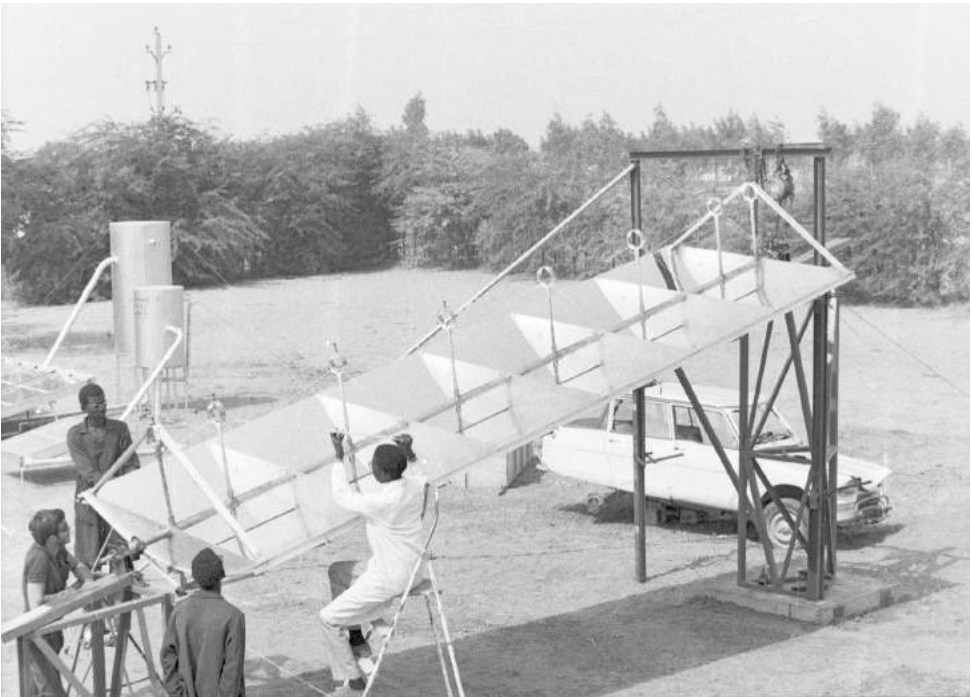
la Sofretes, *Solaire made in Africa. L'œuvre du Pr. Abdou Moumouni Dioffo* (Dangarama, France-Niger, 60 mn), est sorti en mars 2017.

14. Outre son ouvrage sur l'éducation (Moumouni, 1964a), voir son compte-rendu

de la « Conférence de Nairobi sur l'éducation scientifique et technique dans ses rapports avec le développement en Afrique » (Moumouni, 1969, réédité dans Caille, 2018b).



La première pompe de village de la Sofretes, 66 m² de capteurs, 8 m³/h pour une profondeur de 12 à 20 m, à Bossey Bangou, près de Niamey, en 1969.



Abdou Moumouni Dioffo (au centre), à Niamey, vers 1971, devant l'un de ses premiers réflecteurs cylindro-paraboliques. À l'arrière-plan, les premiers chauffe-eaux solaires que commercialisera ensuite l'Onersol et dont certains sont toujours fonctionnels.

Photo de Marc Jacquet-Pierroulet, Niamey, Niger, vers 1971.

Le fonctionnement des premières pompes de village, puis des stations de pompage et de génération électrique de moyennes puissances, quelques années plus tard, a validé le diagnostic sociotechnique porté : les moteurs solaires thermodynamiques, pour le pompage ou la génération d'électricité, ainsi que les utilisations thermiques de l'énergie solaire (chauffe-eau, séchoirs, distillateurs), se présentaient dès le milieu des années 1960 comme des alternatives énergétiques fonctionnelles.

Dix ans plus tard, la Sofretes a pu même défendre internationalement le principe selon lequel, passé une soixantaine de kilomètres d'éloignement du réseau électrique, les stations solaires thermodynamiques appuyées sur le principe Masson-Girardier étaient moins coûteuses que tout autre forme d'irrigation (Girardier, Clémot, 1976 ; voir l'image).

Cependant, au Niger, la brève phase de développement industriel de l'Office nigérien de l'énergie solaire (Onersol), jusqu'au début des années 1980, la seule en Afrique dans le domaine (environ 8 000 chauffe-eaux solaires thermiques dont certains toujours fonctionnels aujourd'hui ont été réalisés), n'est

Annals of Arid Zone—15 (3), 146-154, 1976

Design and Performance of A Simple Solar Pump for Lift Irrigation Purposes

M. P. GIRARDIER AND MAX G. CLEMOT*

Societe Francaise d' Etudes Thermiques et d' Energie Solaire,
SOFRETES, FRANCE

ABSTRACT

This paper describes the performance studies carried out on a number of low temperature solar engines (LTS engines) ranging from 1 kw to 30 kw designed and developed by the Association Promethee, which includes the French Atomic Energy Commission (CEA) and Sofretes. These engines meant for pumping water will automatically pump water from any depth without any consumption of any kind of energy except that from the sun. As soon as the sun rises, the motor starts and the water flows until evening. The operating principle of these engines is opposite to that of a refrigerator. Water is heated in a battery of flat plate collectors and gives its heat through a heat exchanger to a low boiling point liquid like butane. The butane at a high pressure activate the piston of a engine and this butane at low pressure after going through the condenser (cooled by the pumped water of the well) is pumped back by the re-injection pump. The hydraulic pump coupled to the engine, lifts the water from the well. Calculations have shown that in the Sahel a 50 kw solar-energy station used for irrigation is competitive with electricity from the power grid as soon as the distance from the thermal power plant is over 60 kilometres.

Résumé de l'article paru en 1976 dans la revue indienne de référence et toujours existante, *Annals of Arid Zone*, qui présente les grands principes de fonctionnement des stations de village Sofretes.

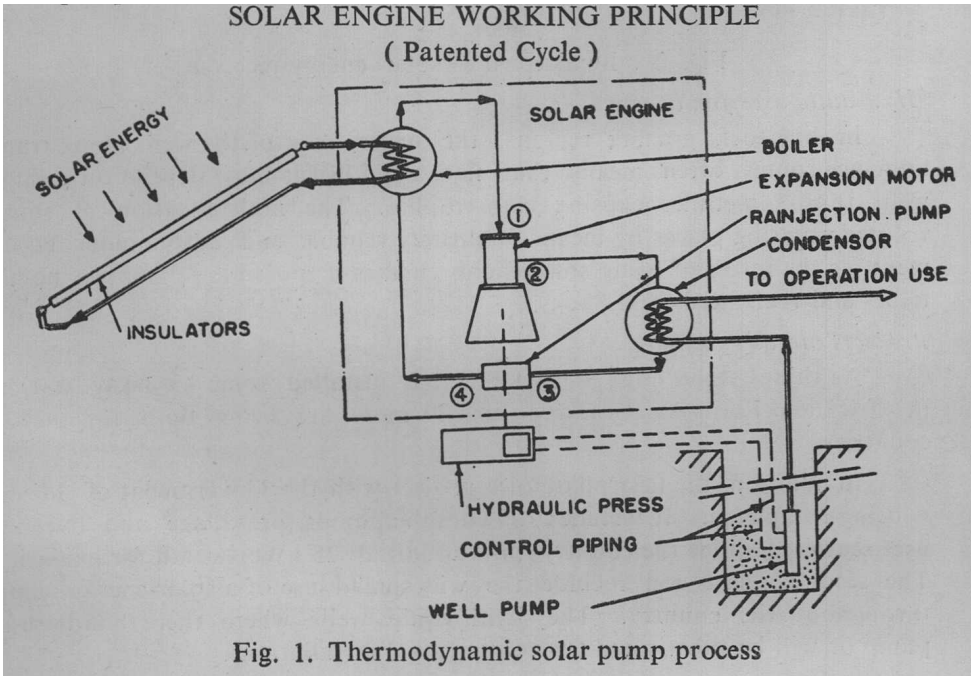


Schéma explicatif des pompes Sofretes (extrait du même article).

pas parvenue à s'enraciner. Malgré les expérimentations réussies et les avancées théoriques, le programme solaire d'Abdou Moumouni Dioffo est resté lettre morte. En 2010, l'ingénieur héliotechnicien Albert-Michel Wright, son successeur à la tête de l'Onersol, en tira cette conclusion amère : « Nous n'avons pas été capables de créer la moindre filière féconde de développement technologique autonome et indépendante. C'était pourtant là le rêve que nous caressions de matérialiser dans le domaine des EnR (énergies renouvelables), convaincus que la présence et l'abondance d'un soleil si ardent sous nos latitudes devaient nous inciter à orienter prioritairement nos efforts vers la domestication de cette ressource à portée de main ! » (Wright, 2010a, 2010b, réédités dans Caille-Badji, 2018).

La Sofretes : réussites et mémoire solaire douloureuse

La Sofretes est une fenêtre ouverte sur l'histoire de nos chemins énergétiques. Comme l'expliquent aujourd'hui encore plusieurs des collaborateurs de la société, en ce qui concerne notamment les stations de village : « Nous voulions faire la "2 CV du solaire", quelque chose de simple, peu cher, facile à réparer et à s'approprier pour les populations africaines¹⁵. »

En une brève décennie d'existence, la Sofretes a été proche de remplir ce programme. Elle réalisa près de soixante-dix installations de pompage solaire et de production électrique thermodynamiques dans le monde, dont plus

d'une quarantaine en Afrique subsaharienne. Son directeur-créateur Jean-Pierre Girardier a été invité et auditionné par des scientifiques chinois (durant près d'une semaine) et américains (à Stanford)¹⁶, tandis qu'à deux reprises, à San Luis de la Paz au Mexique en 1975 (25 KW), dans le cadre d'un grand contrat d'État pour ce même pays comprenant plus de vingt installations, puis, quelques années plus tard, à Diré au Mali en 1980 (75 KW), épaulée par le CEA, la petite société livra la plus puissante centrale solaire alors existante sur la planète.

Ces réalisations ambitieuses, effectuées dans un calendrier serré, d'après certains des témoignages, n'ont pas été sans concurrencer le projet originel de la « 2 CV du solaire », c'est-à-dire celui du transfert technologique en direction de l'Afrique et de la standardisation d'une *low technology* du pompage solaire thermodynamique. Pour Jean-Pierre Girardier, le retrait en mars 1978 du principal partenaire-développeur industriel, Renault, entré au capital en juin 1975 par le biais de la maison-mère Mengin (le CEA a été autorisé à racheter les parts), et son faible investissement sur le développement technologique des pompes de petite puissance, expliqua aussi les difficultés à atteindre l'équilibre financier et une diffusion de plus grande ampleur. Quant à Max Clémot, l'un des deux ingénieurs du CEA détaché à la Sofretes, c'est pour lui au début de l'année 1978 que se serait joué l'avenir de la société, avec l'abandon forcé du plus grand contrat projeté, comprenant une première phase de dix stations solaires de 25, 50 et 100 KW pour un montant de plus de 112 millions d'euros, et stoppé peu avant sa signature par la révolution islamique et le changement de régime en Iran¹⁷.

Petites causes techniques et grands effets sociaux, grandes logiques géopolitiques et micro-conséquences concrètes : il n'y a sans doute pas de réponse univoque à la question d'une non-émergence technologique, laquelle renvoie aussi à des choix et des réorientations de politiques industrielles, non seulement françaises mais internationales. D'autres pistes explicatives sur la fin de la Sofretes ont pu être avancées.

La première, mieux connue aujourd'hui, et qui a concerné et concerne encore tout autant les installations de biogaz ou photovoltaïques, a tenu aux difficultés liées à l'équipement énergétique de zones rurales isolées, dans lesquelles l'appropriation des matériels par les communautés, la formation des responsables des équipements et la maintenance demandaient un accompagnement suivi et spécifique¹⁸. Les principaux témoins reconnaissent que, soucieux

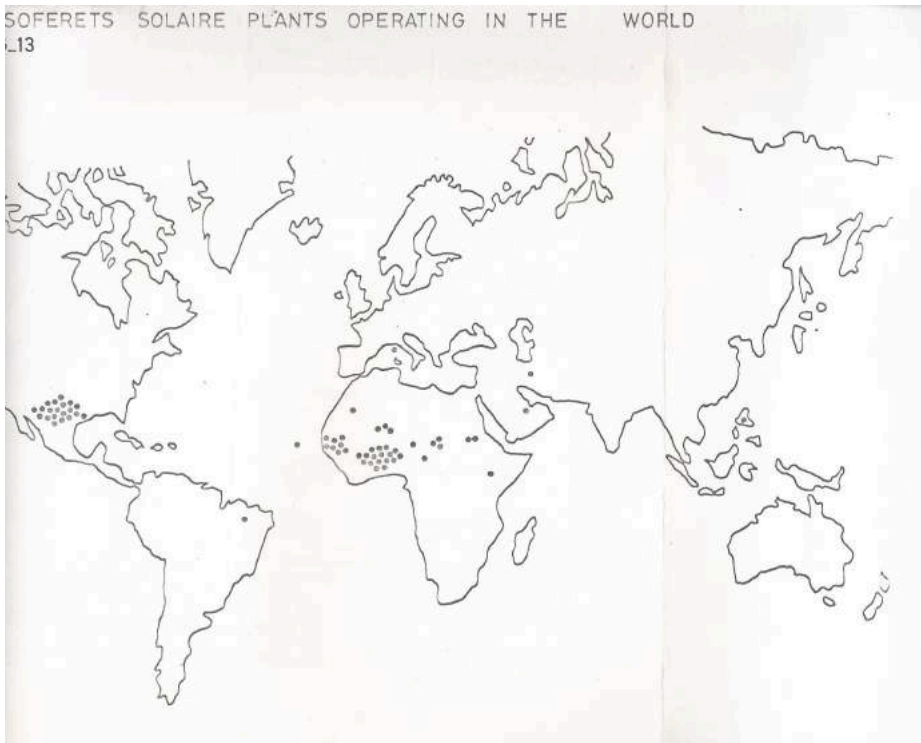
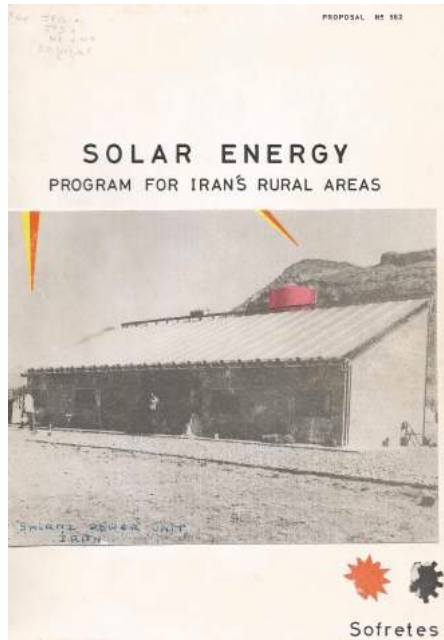
15. Entretiens (2015-2017) avec Jean-Pierre Girardier et Marc Jacquet-Pierroulet, et « mémoire interne » rédigé par Jean-Paul Durand (en collaboration avec Max-Georges Clémot et Jean-Pierre Girardier), « Brève histoire de la Sofretes. "Jeanne" solaire des années 1970 », 2010.

16. Un rapport pour le compte du Département américain de l'énergie

souligna en 1979 l'excellence et la position monopolistique de la Sofretes au niveau mondial en matière de pompage solaire thermodynamique : « The most commercially advanced solar products designed for Third World applications are the irrigation systems developed by the French consortium Sofretes » (Hashworth, 1979).

17. Document interne « Sofretes Solar Energy Program for Iran's Rural Areas », février 1978. Voir la photographie, p. 77.

18. La bibliographie anglo-saxonne (dont les travaux d'A.K.N. Reddy) est abondante et explicite sur ces points. Voir les ouvrages collectifs cités en bibliographie.



Implantations des installations Sofretes dans le monde début 1978 et première page du document Sofretes présentant le programme iranien prévoyant dix stations solaires de 25, 50 et 100 KW pour un montant de plus de 112 millions d'euros. Il a été arrêté peu avant sa signature par la révolution islamique et le changement de régime. Archives personnelles des membres de la Sofretes.

d'abord de proposer une solution technique, ils étaient peu préparés à la gestion des dimensions sociales des équipements¹⁹.

La fiabilité technologique continue parfois d'être proposée comme une autre piste explicative importante. Elle est fermement rejetée par les témoins, notamment les ingénieurs et le responsable du Service d'études énergétiques du CEA à partir de 1976, et aucune évaluation du moment n'a apporté d'éléments en ce sens. Liée à une analyse ou prospective strictement et immédiatement économique (et non sociotechnique) du coût de ce type de services, elle a surtout servi la thèse des défenseurs de la seule technologie photovoltaïque, soucieux de se défaire de toute concurrence industrielle potentielle.

Malgré une production réduite et l'absence des réductions autorisées par une construction en série, les pompes solaires Sofretes sont en effet données en 1978 dans une équivalence de coût à vingt ans (investissement/fonctionnement) avec les pompes diesel, sur les petites puissances (4 m³/h), dans un ouvrage qui détaille précisément et positivement les activités de la société et s'appuie sur les rapports réalisés pour le compte du ministère de la Coopération (Audibert, 1978, p. 59). « Les choix technologiques qui avaient été faits pour ces pompes (Sofretes) étaient à l'époque réellement intéressants et susceptibles de conduire à une excellente fiabilité », lit-on encore en 1981 dans l'un des derniers rapports réalisé pour le même ministère. Même si, à cette date, l'évaluateur considère que « la promotion précipitée de ces pompes avant mise au point totale a brisé les espoirs que l'on pouvait placer sur [elles] » et qu'« elles ne sont plus économiques aujourd'hui » (SEMA Énergies, p. 111)²⁰.

D'un autre côté, comme le considérait de manière pragmatique un journaliste du *Monde* en mars 1980, alors que se renforçaient les incertitudes sur l'avenir de la Sofretes, « il n'existe pas une seule PMI capable de supporter financièrement un réseau de grande exportation ». Et de se demander, non sans raison peut-être : « Est-il anormal qu'une industrie pilote, dans un "secteur d'avenir", selon les propos mêmes des pouvoirs publics, soit déficitaire pendant plusieurs années ? Est-on en train d'abandonner la filière thermodynamique ? Existe-t-il une politique solaire ? » (Dethomas, 1980).

Épilogue : pour une « anthropologie de l'énergie » entre enquête, restitution et sensibilisation critique

L'histoire du solaire thermodynamique en Afrique et de la Sofretes ne prétend pas proposer une voie technologique pour le présent. Tous les témoins rencontrés reconnaissent que, pour les petites puissances isolées au moins, les équipements solaires photovoltaïques sont incontestablement sans équivalent

19. Ainsi, par exemple, pour l'une des premières pompes de village installée au Niger, qui, en ôtant leur principal travail aux femmes, entraîna le rejet de l'équipement par les responsables de la communauté

et le « sacrifice d'une chèvre noire » sur le puits. La formation à la maintenance fut plus facilement résolue et nous avons rencontré plusieurs des anciens « gardiens » des pompes.

20. Le rapport, assez complet, a été réalisé après la disparition de la Sofretes.

de performance et de coût aujourd'hui. Est-ce à dire que rien ne peut émerger de ces aventures lointaines ? Il nous semble au contraire que deux pistes de réflexion méritent d'être proposées.

La plus générale renvoie aux fondements même d'une « anthropologie de l'énergie », et à ce qu'écrivait sans détours l'anthropologue Laura Nader, il y a presque quarante ans, dans la revue de l'American Institute of Physics : « The energy problem is not a technological problem. It's a social problem » (Nader, 1981, 2010).

En effet, l'histoire de la Sofretes et du solaire thermodynamique en Afrique permet de s'en convaincre : une technologie de pompage et de production électrique solaire, même imparfaite, était disponible il y a près de quarante ans, mais elle fut délaissée, ou insuffisamment soutenue, et les populations rurales sahéliennes demeurent encore, deux générations plus tard, parmi les plus énergétiquement déshéritées de la planète.

Constat scientifique, constat politique : on rejoint ici celui aujourd'hui souvent répété dans les « humanités énergétiques » anglo-saxonnes (et parfaitement quantitativement démontré en terme de publications) : les grands experts et agences mondiales ne prêtent qu'une attention très limitée, sinon dérisoire, aux énergies vertes et renouvelables, aux faibles ou moyennes puissances de production, aux équipements « hors réseau » (Tomei, Gent, 2015 ; Sovacool, Drupady, 2012 ; Halff, Sovacool, Rozhon, 2014). En 2014, encore, selon les chiffres de l'Agence internationale de l'énergie, la « pauvreté énergétique », dans l'une ou l'autre de ses dimensions (cuisine, éclairage, santé, eau, force mécanique, etc.), concerne entre 1,7 et 3 milliards de personnes, soit à l'échelle globale *the other third*, et, dans tous les pays de l'Afrique subsaharienne (sauf Afrique du Sud et Ghana), plus de la moitié de la population au moins, et parfois près des deux tiers, vit sans accès à l'électricité (Brew-Hammond, Serwaa Mensah, Amponsah, 2014).

Il est donc urgent, pour les recherches universitaires et préoccupées du devenir des populations africaines, au-delà des seules sciences de l'ingénieur ou des études économiques, de documenter et d'analyser empiriquement les réussites et les échecs en matière énergétique des dernières décennies, au Sahel et ailleurs.

Il est vrai, et il s'agit d'un autre axe de réflexion, que de manière plus pratique et pragmatique encore, dans le cas du Sénégal, les recherches menées sur la Sofretes ont permis de prendre conscience, du point de vue de nos interlocuteurs comme du nôtre, des possibilités qu'ouvrent des recherches participatives d'anthropologie culturelle et d'histoire sociale sur l'énergie, et plus particulièrement sur les énergies renouvelables. Une exposition photographique et deux journées d'études sur « Histoire et droit de l'énergie solaire en perspectives comparées France-Sénégal », avec le témoignage exceptionnel de Jean-Pierre Girardier, ont ainsi conduit à commencer de vérifier et concrétiser le potentiel de sensibilisation et de débat qu'ouvrent des travaux généalogiques sur l'énergie en Afrique²¹.

En effet, comment ignorer que, à rebours de l'option explorée par la Sofretes dans les années 1970, le Sénégal a fait récemment le choix de grandes centrales solaires photovoltaïques, appuyées sur des partenariats publics/privés, et où la dépendance aux combustibles fossiles risque fortement de se trouver transférée vers celles de la garantie trentenaire du prix de rachat de l'électricité produite et de la maîtrise-maintenance technologique des équipements...

Les retours sur l'histoire des pionniers du solaire africain permettrait ainsi une mise en perspective de ces évolutions et un dépassement de lectures trop simples, sinon simplistes, des possibilités et impossibilités technologiques dans le domaine énergétique. « Un jour, si nous n'y prenons garde, on nous vendra le soleil », disait en 1972 à ses collaborateurs, sous le soleil nigérien où il concevait sans doute les premiers réflecteurs solaires parabocylindriques modernes, le professeur Abdou Moumouni Dioffo²².

21. Voir les photographies et contributions en ce sens dans les actes (Caille-Badji, 2018). Détails et compléments sur : <https://afrisol.hypotheses.org>.

22. Entretien avec Marc Jacquet-Pierroulet, volontaire français au laboratoire d'Abdou Moumouni Dioffo à Niamey de 1969 à 1972, puis monteur-installateur pour la Sofretes jusqu'à la fin de la société.

Bibliographie

Akrich, M. (1988), « La recherche pour l'innovation ou l'innovation pour la recherche ? Le développement du photovoltaïque en Polynésie », *Culture technique*, n° 18, p. 318-329.

Audibert, P. (1978), *Les Énergies du soleil*, Paris, Seuil.

Bhalla, A.S., Reddy, A.K.N. (1994), *The Technological Transformation of Rural India*, Londres, Intermediate Technology Publications.

Brew-Hammond, A., Serwaa Mensah, G., Amponsah, O. (2014), "Energy Poverty in Sub-Saharan Africa. Poverty Amidst Abundance", in A. Half, B.K. Sovacool, J. Rozon, *Energy Poverty. Global Challenges and Local Solutions*, Oxford, Oxford University Press, p. 296-315.

Butti, K., Perlin, J. (1980), *A Golden Thread. 2500 Years of Solar Architecture and Technology*, Londres, Cheshire Books.

Caille, F. (2017), « Sortir des pensées (et des carburants) fossiles ? Éduquer aux énergies et à l'ESS », « Forum international de l'économie citoyenne et solidaire. Engagement "Citoyenneté et développement". Comment former à l'ESS ? », Marrakech, 22 mai, <https://forumess2017.sciencesconf.org>.

Caille, F. (2018), « L'Afrique solaire ou le récit oublié. Représentations sociales et expérimentations en matière d'énergie solaire en Afrique (xix^e-xx^e siècles) », « Développement durable, représentations sociales et innovations sociales », 6^e séminaire international « Réseau, développement durable et lien social » (2DLIS), université Gaston-Berger, Saint-Louis-du-Sénégal, 14-15 mai 2015, Paris, L'Harmattan, à paraître.

Conner, C.D. (2014), *Histoire populaire des sciences*, Paris, Seuil, « Points Sciences ».

Dethomas, B. (1980), « La France a-t-elle une politique solaire ? », *Le Monde*, 7 mars.

Diop, C.A. (1974), *Les Fondements économiques et culturels d'un état fédéral d'Afrique noire*, Paris, Présence africaine.

Diop, C.A. (1990), *Alerte sous les tropiques. Articles 1946-1960. Culture et développement en Afrique noire*, Paris, Présence africaine.

Girardier, J.-P. (1963), « Les pompes solaires », université de Dakar, <http://www.sist.sn/gsd/collect/butravau/index/assoc/HASH0f5.dir/THS-4658.pdf>.

Girardier, J.-P. (1995), « Les pompes solaires thermodynamiques et leur histoire », in A. Herléa, *L'Énergie solaire en France*, Paris, Éditions du Comité des travaux historiques et scientifiques, p. 127-143.

Girardier, J.-P., Clénot, M. (1976), "Design and Performance of a Simple Solar Pump for Lift Irrigation Purposes", *Annals of Arid Zone*, vol. XV, n° 3, p. 146-154.

Girardier, J.-P., Masson, H. (1964), « Les moteurs solaires à collecteurs plans », *Annales des Mines*, septembre, Paris, Imprimerie nationale.

Girardier, J.-P., Renau, J.-P. (1979), *L'homme qui croit au soleil (un pionnier de l'énergie solaire)*, Paris, Éditions du Cerf.

Goldenberg, J., Reddy, A., Johansson, T.B., Williams, R.H. (1988), *Energy for a Sustainable World*, New York, John Wiley & Sons.

Guruswamy, L.D., Neville, E. (2016), *International Energy and Poverty. The Emerging Contours*, Londres, Routledge.

Half, A., Sovacool, B.K., Rozhon, J. (2014), *Energy Poverty. Global Challenges and Local Solutions*, Oxford, Oxford University Press.

Hashworth, J.H. (1979), *Renewable Energy Sources for The World's Poor. A Review of Current Development Assistance Programs*, Golden, Solar Energy Research Institute/US Department of Energy.

Hemauer, C., Keller, R. (2008), "SUN 1913. What Happened to the N° 1 Sun Engine?", <http://www.sun1913.info/?p=6>.

Kryza, F.T. (2003), *The Power of Light the Epic Story of Man's Quest to Harness the Sun*, New York, Londres, McGraw-Hill.

Masson, H. (1960), « L'énergie solaire et ses applications », *Annales des Mines*, mars et avril, Paris, Imprimerie nationale.

Mitchell, T. (2017), *Carbon Democracy. Le pouvoir politique à l'ère du pétrole*, Paris, La Découverte.

Moumouni, A. (1964a), *L'Éducation en Afrique*, Paris, Maspero.

Moumouni, A. (1964b), « L'énergie solaire dans les pays africains », *Présence africaine*, p. 96-126, réédition dans **Caille-Badji**, 2018, <https://scienceetbiencommun.pressbooks.pub/soleilpourtous/chapter/lenergie-solaire-dans-les-pays-africains/>.

Moumouni, A. (1969), « La conférence de Nairobi sur l'éducation scientifique et technique dans ses rapports avec le développement en Afrique », *Présence africaine*, n° 69, p. 178-187, réédition dans **Caille**, 2018b, <https://scienceetbiencommun.pressbooks.pub/abdoumoumouni/chapter/la-conference-de-nairobi-sur-%E2%80%89l'education-scientifique-et-technique-dans-ses-rapports-avec-le-developpement-en-afrique%E2%80%89/>.

Nader, L. (1981), "Barriers to Thinking New About Energy", *Physics Today*, vol. XXXIV, n° 9, p. 9 et 99.

Nader, L. (2010), *The Energy Reader*, Hoboken, Wiley-Blackwell.

Perlin, J. (1999), *From Space to Earth. The Story of Solar Electricity*, Ann Arbor, Aatec Publications.

Perlin, J. (2013), *Let it Shine. The 6 000-Year Story of Solar Energy*, Novato, New World Library.

Perrot, M. (1963), *La Houille d'or ou l'énergie solaire*, Paris, Fayard.

Pestre, D. (2015), *Histoire des sciences et des savoirs*, 3 vol., Paris, Seuil.

SEMA Énergies (1981), « Énergies renouvelables au Sahel. Évaluation des projets », dossiers « Technologies et développement », ministère de la Coopération et du Développement, Agence française pour la maîtrise de l'énergie.

Sovacool, B.K., Drupady, I.M. (2012), *Energy Access, Poverty and Development. The Governance of Small-Scale Renewable Energy in Developing Asia*, Farnham, Ashgate.

Teissier, P. (2013), « Le solaire passif à l'ombre de la politique énergétique française (1945-1986) », *Les Politiques publiques de l'énergie solaire*, n° 11, p. 9-25.

Tomei, J., Gent, D. (2015), *Equity and the Energy Trilemma. Delivering Sustainable Energy Access in Low Income Communities*, Londres, IIED.

Wright, A.-M. (2010a), « Les énergies renouvelables dans l'espace ouest-africain », *Cri de Cigogne*, 10 septembre, <http://www.cridecigogne.org/content/les-energies-renouvelables-dans-l-espace-ouest-africain>.

Wright, A.-M. (2010b), « Pr Albert Wright rend hommage au Pr Abdou Moumouni Dioffo », *Cri de Cigogne*, 10 septembre, <http://www.cridecigogne.org/content/pr-albert-wright-rend-hommage-au-pr-abdou-moumouni-dioffo>.