HAL
open science

L'énergie solaire : trajectoires sociotechniques et objets muséographiques [n°13 de : Cahiers d'histoire du Cnam]

Frédéric Caille

▶ **To cite this version:**

Frédéric Caille. L'énergie solaire : trajectoires sociotechniques et objets muséographiques [n°13 de : Cahiers d'histoire du Cnam]. Cahiers d'histoire du Cnam, vol.13 (NS 2020/1), pp.202, 2020, L'énergie solaire : trajectoires sociotechniques et objets muséographiques. halshs-03191815

HAL Id: halshs-03191815

https://shs.hal.science/halshs-03191815v1

Submitted on 23 Apr 2021

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 cnam

Cahiers d'histoire du Cnam

vol. 13

Dossier

L'énergie solaire : trajectoires sociotechniques et objets muséographiques

Coordonné par Frédéric Caille

2020
(nouvelle série)

Cahiers d'histoire du Cnam

vol. 13

Dossier

L'énergie solaire : trajectoires sociotechniques et objets muséographiques

Coordonné par Frédéric Caille

2020
(nouvelle série)

Cahiers d'histoire du Cnam. Vol. 13, 2020 (nouvelle série)
Dossier « **L'énergie solaire : trajectoires sociotechniques et objets muséographiques** », coordonné par **Frédéric Caille**.

Les *Cahiers d'histoire du Cnam* sont une revue à comité de lecture inscrite dans le champ de l'histoire des sciences et des techniques. Elle investit des questions de sociohistoire des institutions et pratiques scientifiques et techniques, avec une vocation pluridisciplinaire (notamment histoire, sociologie, anthropologie, sciences de l'information-communication, et sciences de gestion).

La revue publie des articles de recherche évalués en double aveugle (articles longs et articles de synthèse), sous forme de dossier thématique ou en varia. Elle offre également des ressources documentaires diverses : entretiens et témoignages, encadrés informatifs, notules et enquêtes menées par des acteurs.

Un comité de lecture *ad hoc* est constitué à chaque numéro.
La liste complète des lecteurs est publiée sur la page Web de la revue :
[URL : http://technique-societe.cnam.fr/les-cahiers-d-histoire-du-cnam-696687.kjsp]

Fondateurs (première série, 1992)
Claudine Fontanon, André Grelon

Les 5 premiers numéros de l'ancienne série (1992–1996) sont disponibles intégralement sur le site Web du Conservatoire numérique du Cnam [URL : http://cnum.cnam.fr]

Direction de la publication
Olivier Faron, *administrateur général du Conservatoire national des arts et métiers*

Rédacteur en chef
Loïc Petitgirard

Comité de rédaction
Andrée Bergeron, Marco Bertilorenzi, Jean-Claude Bouly, Serge Chambaud, Lise Cloître, Renaud d'Enfert, Claudine Fontanon, Virginie Fonteneau, Hélène Gispert, Irina Gouzévitch, André Grelon, Pierre Lamard, Alain Michel, Cédric Neumann, Bilel Ousmane, Camille Paloque-Bergès, Loïc Petitgirard, Catherine Radtka, Laurent Rollet, Ferruccio Ricciardi, Jean-Claude Ruano-Borbalan, Stéphane Lefebvre, Henri Zimnovitch

Comité de lecture du numéro
Andrée Bergeron, Michel Cotte, Romain Debref, Lionel Dufaux, Emmanuelle Gallo, André Grelon, Muriel Guedj, Claire Le Renard, Loïc Petitgirard, Catherine Radtka, Laurent Rollet, Pierre Teissier, Alexis Vrignon, Marie-Christine Zelem

Secrétariat de rédaction
Camille Paloque-Bergès, avec la collaboration de **Bilel Osmane et de Fanny Essiyé**
Laboratoire HT2S-Cnam, Case 1LAB10,
2 rue Conté, 75 003 Paris
Mél : camille. paloque_berges@cnam.fr

Maquettage
Françoise Derenne, *sur un gabarit original créé par la Direction de la Communication du Cnam*

Impression
Service de la reprographie du Cnam

Crédits, mentions juridiques et dépôt légal :
©Cnam
ISSN 1240-2745

Illustrations photographiques :
Archives du Cnam ou *tous droits réservés*

Sommaire

Dossier

L'énergie solaire :
trajectoires sociotechniques et objets muséographiques 7

Introduction au dossier
L''énergie solaire : trajectoires sociotechniques et objets muséographiques
Frédéric Caille 9

L'énergie solaire au Musée ?
Éléments d'une lecture énergopolitique du projet muséal Sofretes
Frédéric Caille 21

Note – *Le solaire au Musée des arts et métiers*
Lionel Dufaux 51

La centrale de pompage thermo-solaire de Diré au Mali (années 1970-1980).
Éléments pour une évaluation sociotechnique
Alexandre Mouthon 57

Du solaire par le froid et inversement : Techniques frigorifiques
et énergie solaire, une continuité technologique oubliée
Alexandre Mouthon et Frédéric Caille 91

Témoignage – *Coopérer pour l'énergie :*
Retour sur une expérience de Volontaire du Progrès au Niger
avec le professeur Abdou Moumouni Dioffo (1970-1972)
Marc Jacquet-Pierroulet 115

Témoignage – « C'était quelque chose de super ! »
Dix-huit mois au Burkina-Faso avec la Sofretes 1978-1979
Jacques Bourachot 121

Témoignage – *Bilan, préservation et avenir de l'ONERSOL de Niamey*
Albert-Michel Wright 131

Portfolio
Les archives de l'avenir. Conservation mémorielle
et sensibilisation aux enjeux de l'énergie solaire ..... I-XXXII

Article de synthèse – *Sortir des énergies fossiles.*
Enjeux climatiques, énergies renouvelables et questions démocratiques
Marc Delepouve et Bertrand Bocquet 141

Varia 159

Jean-François Gravier (1915-2005). Engagement politique
et savoir universitaire, matériel pour la construction d'une carrière d'expert
Efi Markou 161

Témoignage – *L'expérience de l'histoire.*
Initiation au travail sur archives dans un enseignement sociologique au Cnam
Guillaume Lecoeur 187

Dossier

L'énergie solaire : trajectoires sociotechniques et objets muséographiques

Coordonné par Frédéric Caille

Introduction
L'énergie solaire : Trajectoires sociotechniques et objets muséographiques

Frédéric Caille
Maître de conférences HDR en science politique, Triangle-ENS Lyon, Université Savoie Mont Blanc

Le Musée des arts et métiers a accueilli en décembre 2018, en présence de l'ambassadeur du Sénégal en France, une maquette de la première station de pompage solaire commercialisée au monde, construite au nord de Dakar en 1976 par la Société française d'études thermiques et d'énergie solaire ou Sofretes[1]. Fruit d'un financement collaboratif et d'une initiative portée par une association sur plus de deux ans, cet événement a été l'occasion de s'arrêter sur l'état présent, sur les enjeux sociaux et culturels, et sur les dynamiques d'évolution potentielles de la muséographie des énergies renouvelables – c'est-à-dire aussi, au moins indirectement, sur la ou les historiographies et interprétations sociotechniques qui la supportent.

Comme ce dossier voudrait le montrer, la muséographie et l'historiographie des énergies renouvelables sont encore très peu questionnées en tant que telles dans la littérature francophone spécialisée. Du côté de l'histoire des énergies et des transitions énergétiques, ou de ce qui commence tout juste à se nommer dans la langue de Molière les « *humanités énergétiques* » (Duperrex, 2020, *a contrario* de l'anglais, *cf.* Sezman & Boyer, 2017), une historienne du domaine estime qu'en 2019, en France, les lacunes restent considérables, et que l'on en est seulement « *à penser qu'un tournant est en cours* » (Mathis & Massard-Guilbaud, 2019, p. 38). L'ouvrage dans lequel elle

1 Voir notamment le billet « 2019 : Une autre histoire énergétique commence à s'écrire », par F. Caille sur le carnet de recherche *L'Afrique solaire*, publié le 18/01/2019 [URL : https://afrisol.hypotheses.org/302]. Pour le dossier documentaire mis en ligne par le Cnam voir « Présentation de la maquette PHESO » [URL : https://catalogue.cnam.biblibre.com/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=20920].

s'exprime le reflète d'ailleurs puisque malgré son titre, *Sous le soleil (Système et transitions énergétiques du Moyen Âge à nos jours)*, dix pages à peine sont consacrées à l'énergie solaire, laquelle s'impose pourtant pour tous les analystes comme la principale source primaire du mix énergétique mondial non fossile de l'avenir[2]. Des thèses assez récentes se sont arrêtées sur les dimensions sociotechniques, historiques et patrimoniales des énergies renouvelables en France, et particulièrement du solaire – deux en histoire de l'art ou de l'architecture (Lopez, 2010 ; Chauvin-Michel, 2012) et deux en histoire des techniques (Pehlivanian, 2014 ; Marrec, 2018). Mais le bilan de la connaissance des lieux, des matériels et des chemins énergétiques alternatifs et délaissés demeure particulièrement faible[3].

Le bilan est le même, en pire, du côté de la réflexion muséale proprement dite. Certes, de riches ouvertures permettant « *des articulations nouvelles* » entre « *sciences, innovations et société* » sont parfois mises en place de même que de nouvelles médiations qui « *reforment et réforment le projet fondateur des musées de science* » (Crenn, 2016, p. 19). Cependant, la question des énergies n'y a pas encore fait l'objet d'une attention accentuée. Pour l'essentiel, comme dans une note publiée dans le présent dossier l'explique Lionel Dufaux, responsable de collections Énergie et Transports au Musée des arts et métiers, la perspective sur les énergies se limite au témoignage succinct sur « *des choix politiques et économiques opérés par notre société* ». De son côté, en reprenant précisément l'histoire du projet de sauvegarde muséographique des moteurs de la Sofretes et ses enjeux, Frédéric Caille propose une tentative de contextualisation à la fois historiographique, épistémologique et internationale de cet état de fait.

Le présent dossier est donc une modeste première pierre. Son propos se limite pour l'essentiel à l'énergie solaire, et il s'appuie d'abord sur le bilan réflexif d'une opération de sensibilisation concrète ainsi que sur les interactions qu'elle met en lumière entre recherche en sociologie ou histoire politique des énergies, société civile, et responsabilités muséales. Le dossier propose également d'étendre le cadre de cette réflexion essentiellement prospective aux potentialités et aux enjeux

2 Le premier à l'avoir clairement établi avec la « *solar economy* » et à avoir directement contribué à orienter la politique énergétique allemande en ce sens est sans conteste Hermann Scheer (2001). Voir aussi plus largement Bradford (2006), ainsi que de nombreuses contributions sur le site d'information/lettre journalière en ligne *theenergymix.com*. À la date du 15 octobre 2020, le International Energy Agency's World Energy Outlook (WEO) 2020 rapporte que le solaire délivre aujourd'hui l'électricité la moins chère de l'histoire mondiale et qu'il est devenu « *the new king of the world's electricity markets* » [URL : https://theenergymix.com/2020/10/15/solar-the-new-king-of-electricity-trans-mountain-at-risk-as-iea-analysis-sinks-in/].

3 Ainsi l'existence de la Sofretes ou des premières expérimentations de Jean-Pierre Girardier à Dakar sont-elles tout juste mentionnées dans ces travaux doctoraux. Aucun d'entre eux ne propose une analyse du concept ou des réalisations de la « station de village » et des petites hydro-pompes solaires de la société, ni des moteurs solaires de basse température en général, ni de la réalisation par la même entreprise, à deux occasions (1976 et 1980), de la plus puissante centrale solaire au monde jamais construite.

de sauvegarde du patrimoine concernant les expérimentations solaires en Afrique de l'Ouest.

Le terrain demeure donc circonscrit pour interroger les conditions de présentation et d'exposition des énergies renouvelables dans la mission muséale récemment définie par le Conseil International des Musées (ICOM) et visant à « *reconnaître la crise écologique et la nécessité d'élaborer et de mettre en œuvre des solutions durables* »[4]. Il s'agit ici d'un coup de projecteur orienté sur la trajectoire sociotechnique du solaire thermique ou thermodynamique de basse température depuis le précurseur Augustin Mouchot, à la fin du XIXe siècle, jusqu'à la grande centrale solaire de Diré au Mali de 1979. D'autres « objets solaires », tel que les deux premiers grands fours solaires des Pyrénées-Orientales de Mont-Louis et d'Odeillo, inscrits à l'inventaire supplémentaire des monuments historiques en 2008 et 2009 (Pehlivanian, 2014), ou la trajectoire encore très mal connue pour la France du solaire photovoltaïque (Perlin, 1999), sont ainsi volontairement laissés à l'extérieur de la réflexion.

La perspective du dossier est de souligner que l'on ne conserve que ce qui fait sens, et qu'il n'y a pas de mémoire individuelle ou collective qui ne s'inscrive dans des « *cadres sociaux* » de lecture et d'interprétation (Halbwachs, 1925). La question de l'entrée en muséographie d'une histoire matérielle du solaire n'est donc pas seulement celle d'un recensement ou d'un inventaire de dispositifs et d'expériences ; elle est celle de ce qui constitue, ou non, un « objet » dans une histoire contemporaine des énergies. La mise en problématiques des trajectoires sociotechniques, de la hiérarchisation des priorités et des interprétations, de l'évaluation des performances non seulement techniques mais aussi sociétales est donc au centre de la réflexion.

Car il n'est, il convient d'y insister, pas d'objets (de connaissance) qui ne nous constituent simultanément comme sujets (de savoirs), et inversement, c'est-à-dire qui ne renvoient à la constitution de ce que Michel Foucault appelait un « *domaine de véridiction* », un espace où se nouent les relations entre connaissance(s) et vérité[5]. En objectivant certains processus, et notamment ici ceux se rapportant à l'histoire de l'énergie solaire de basse température, il peut de la sorte paraître possible d'envisager que se constitue un jour une nouvelle subjectivation des questions énergétiques. Telle est, on le verra, la modeste contribution que souhaite apporter ce dossier : ouvrir à de nouvelles formes d'appropriations savantes et civiques, et ne pas seulement

4 Site de l'ICOM, « Définition du musée », 2019 [URL : https ://icom.museum/fr/ressources/normes-et-lignes-directrices/definition-du-musee/].

5 Sur la relation complexe connaissance(s)-apparition d'un sujet ou d'une « subjectivisation » spécifique voir notamment les éléments des premières leçons de Foucault (2011). Voir également l'article « L'énergie solaire au Musée ? » du même auteur dans le présent dossier.

envisager la muséographie de l'énergie comme un terrain, mais aussi et d'abord comme un concept[6].

La recherche-développement de la Sofretes, ou celle des laboratoires du Cerer de Dakar ou de l'Onersol de Niamey, qui sont évoquées dans la note documentaire du présent dossier, retrouvent en effet depuis peu une place privilégiée dans un débat fondamental mais encore insuffisamment engagé sur la place des *low technologies* dans les processus conjoints de transition internationale vers des sources énergétiques primaires dé-carbonées, et de réduction de la pauvreté énergétique dans les pays du sud. L'attention récemment reportée à des « *technologies simples, agiles, résilientes et économes en ressources* », particulièrement en Afrique, confère ainsi à ces expériences des années 1960-1980 une portée singulière et bien plus que strictement mémorielle (Bihouix, 2019, p. 99).

Il n'y a pas d'anachronisme simpliste en anthropologie des techniques. Pas plus que la mouche n'a complètement remplacé la libellule, écrivaient récemment deux spécialistes en ouverture d'un numéro spécial important de *Techniques & Culture*, les technologies « basses »[7] ne peuvent être jugées du point de vue de la reviviscence sociale et de la créativité des usages, ou du point de vue des « *directions inattendues qu'elles donnent à l'innovation* », selon le même rapport au temps et au progressisme linéaire que celui de la science normale (Dittmar et Tastevin, 2017, p. 8). L'automobile, comme chacun peut le constater, n'a pas fait disparaître ni rendu « *technologiquement obsolète* » le vélocipède (Edgerton, 2013, p. 19).

Jean-Pierre Girardier, le fondateur de la Sofretes, faisait de son côté souvent remarquer que les grands avantages de la production électrique photovoltaïque n'entraînent pas nécessairement pour autant l'inopportunité socio-économique

6 Ceci a été dit de la sociologie du travail : envisager non seulement le travail comme terrain (empirique, d'observations sociologiques), mais aussi comme concept, c'est-à-dire du point de vue des catégories utilisées pour le penser (signification métaphysique ou existentielle, rôle dans la vie des personnes, etc.).

7 La notion de « technologie basse » est la traduction de *low technology* et fonctionne comme cette dernière en miroir d'un antonyme « haute technologie » ou *high tech*. Elle désigne des techniques simples et économes en ressources (donc « basses » en termes d'investissements humains, matériels et financiers). Elle a notamment été utilisée pour caractériser le mal-nommé « solaire passif » c'est-à-dire qui n'utilise pas la conversion électrique (Teissier, 2013). La notion de *low tech* est parfois étendue aujourd'hui à « *une heuristique* » et « *un ensemble d'outils, d'équipements, de démarches intellectuelles, orientées vers l'économie réelle de ressources* » (Abrassart, Jarrige & Bourg, 2020). Dans le contexte du présent dossier elle renvoie plus précisément à la notion historique de « technologie appropriée » (appropriate technology) (voir l'UNESCO Thesaurus [URL : http://vocabularies.unesco.org]) telle notamment que définie par Amulya K. N. Reddy, précurseur indien méconnu en France de la réflexion sur les énergies renouvelables dans les pays du sud (Caille, 2020). « *Appropriate Technology should be defined as technology that advances development objectives*, i.e., *appropriate technology is technology which promotes* [:] (a) *the satisfaction of basic human needs, starting from the needs of the neediest ; (b) social participation and control ; and (c) ecological soundness. The test for the appropriateness of technology is whether it facilitates (a) the reduction of inequalities ; (b) the strengthening of self-reliance ; and (c) harmony with the environment* » (Reddy, 1988, p. 9).

absolue des applications solaires thermiques et thermodynamiques, y compris de basse ou moyenne température. L'ancien Ministre de l'Énergie de la République du Niger Albert-Michel Wright, ingénieur et directeur du Laboratoire de recherche sur l'énergie solaire du pays durant de nombreuses années, revient dans le présent dossier sur cette question. La disponibilité internationale et le coût d'installation immédiat d'une technologie énergétique ne sont pas ses seuls critères d'évaluation, relève-t-il à son tour. Les caractéristiques géographiques et climatiques, les opportunités d'usage et de dynamisation sociétale invitent ainsi à un « *regard solaire* » sans doute différent suivant les zones de la planète. De même, l'aperçu sur l'histoire longue des technologies du « *froid par le soleil* » proposé par Frédéric Caille et Alexandre Mouthon, une trajectoire sociotechnique très méconnue et en partie inaboutie, invite également à reconsidérer en profondeur les appréciations préconçues sur le « neuf » et le « vieux » en matière de technologies solaires, en renouvelant du même coup les appréciations sur les impératifs de « mise en musée » et de conservation.

L'un des axes problématiques fort du présent dossier est donc de souligner combien le statut muséographique potentiel de l'énergie solaire n'est pas dissociable des débats sociotechniques dont elle a été et dont elle demeure l'objet. Des débats qui portent sur l'intérêt comparé des convertisseurs énergétiques directs du rayonnement solaire (solaire thermique ou thermodynamique *versus* solaire photovoltaïque notamment) ou sur les critères d'évaluation des technologies (puissance nominale *versus* coût d'investissement ou dangerosité, performance technique *versus* performance sociale) ; ou encore plus largement des débats sur les choix d'orientation de moyen et de long termes des politiques énergétiques nationales (Laird, 2001).

À cet égard, les orientations d'une potentielle muséographie de l'énergie solaire dépassent de loin les simples différences d'écoles. Elles s'inscriront, et elles s'inscrivent déjà, dans un rapport dialectique fondamental à l'état du dialogue tant public que scientifique sur ces questions. Comme sur d'autres objets historiographiquement controversés – histoire de l'immigration ou de l'esclavage par exemple – les orientations muséales seront et sont déjà un reflet des controverses administratives et technoscientifiques sur les choix énergétiques. Mais elles sont également un vecteur de premier plan d'éducation et de sensibilisation citoyenne, sinon même de transformation des pratiques sociales.

C'est la raison pour laquelle, comme le note à juste titre le Conseil International des Musées déjà mentionné, en matière environnementale, et donc également en matière de présentation des matériels de production énergétique, il appartient aujourd'hui plus que jamais aux institutions de conservation et d'exposition de devenir « *des lieux inclusifs et polyphoniques dédiés au dialogue critique sur les passés*

et les futurs », « *des lieux reconnaissant et abordant les conflits et les défis du présent* », « *des lieux dépositaires d'artefacts et de spécimens pour la société* »[8]. L'exemple des moteurs solaires de la Sofretes, ou le cas des deux plus grandes centrales solaires au monde construites entre 1975 et 1980 par la France et que n'évoquent étrangement aujourd'hui aucune institution ou publication nationales, seront de ce point de vue considérés comme emblématiques dans ce dossier. Alexandre Mouthon y consacre un long et précis article dans ce volume, en envisageant ce qui reste pour l'heure une hypothèse d'école, mais qui pourrait compléter l'offre de la galerie des énergies du Musée des arts et métiers : l'entrée d'une maquette de la grande station solaire de Diré construite par la coopération française au nord du Mali en 1980. À un moment où la prise de conscience de l'incendie climatique planétaire en cours ne cesse de se renforcer et où l'activisme pro-climat s'élargit dans nombre d'institutions culturelles, chacun pourra ainsi mesurer la nouvelle forme de responsabilité muséale qui est ici en train de naître.

On aurait tort, cependant, de limiter aux questions strictement socio-écologiques le potentiel de transformation du regard porté sur les sciences et tech niques que recouvre l'exposition des matériels et des procédés du domaine des énergies renouvelables. L'historien des sciences David Edgerton, dans un livre séminal de 2006, prenait en effet lui aussi l'exemple climatique pour défendre son appel à une transformation épistémologique profonde. Évoquant l'argument en faveur d'un solutionnement par la technologie de la crise climatique – puits ou captages de carbone, géo-ingénierie et terraformation massive, adjuvants atmos phériques, c'est-à-dire l'ensemble de la désormais nommée « *ingénierie climatique* » (Briday, 2019, p. 133) – il relevait combien celui-ci, en s'inscrivant dans la vision technoscientifique progressiste toujours aujourd'hui la plus massivement et exclusivement répandue et enseignée, « *affirme implicitement que dans le monde d'aujourd'hui, seul est possible ce que nous avons déjà. Pourtant, nous avons la capacité technologique d'agir très différemment : nous ne sommes pas technologiquement déterminés* » (Edgerton, 2013, p. 276).

L'histoire de l'énergie solaire qui pourrait trouver sa place dans les insti tutions muséales de l'avenir, plus qu'aucune autre, ne peut se réduire à la stricte généalogie des techniques aujourd'hui dominantes et des priorités officielles du passé. Le cas des pompes solaires de village de la Sofretes en est, répétons-le, symptomatique. Représentatives d'une *low technology* à la fois soutenue par des investissements publics et par des coopérations étatiques nombreuses, notamment avec l'Afrique, elles sont pourtant demeurées marginales au sein des grands axes académico-scientifiques portant sur la thématique du solaire en France : hautes températures, grandes puissances, centralisation énergétique, puis photovoltaïque

8 Site de l'ICOM, *op. cit.*

seul (Tessier, 2013). Bien notées dans les évaluations internationales du moment, notamment américaines – voir les rappels dans l'article d'Alexandre Mouthon de ce numéro – elles restent en marge des sciences d'État au tout début des années 1980. En quelques années, elles auront ensuite à peu près totalement disparu de la mémoire technoscientifique nationale, comme en témoignent par exemple le livre-bilan sur les énergies du CNRS (Mosseri & Jeandel, 2013) ou le très bref article récent sur la « société solaire » des années 1970 (Vrignon, 2019). Les recueils de témoignages, le travail documentaire et la mobilisation associative ayant conduit à l'inauguration de la maquette de décembre 2018 (Caille, 2017) les ont fait réapparaître.

D'autres exemples peuvent être mobilisés au titre de ce potentiel de réécriture et de réinvention de nos récits énergétiques dominants. Celui des chauffe-eaux solaires thermiques est l'un des plus convergents : parfaitement banalisés dans la Californie des premières décennies du XXe siècle, puis en Israël dès les années 1960, ils sont redécouverts et présentés comme une innovation importante par l'action publique française au tout début du XXIe siècle (Perlin, 2013). Dès le début des années 1970 – le présent dossier y revient – des modèles totalement inoxydables et toujours fonctionnels aujourd'hui sont fabriqués en série au Niger sous l'impulsion du professeur Abdou Moumouni Dioffo, pionnier par ailleurs des récepteurs cylindro-paraboliques et collaborateur des débuts de la Sofretes. Les distillateurs et les séchoirs solaires, les fours solaires, les frigos solaires thermodynamiques peuvent également être réinsérés dans cette alter-histoire des énergies renouvelables.

Plus que jamais le lien avec la muséographie est direct puisqu'aucun ou presque de ces matériels solaires de petites températures et d'usages courants ne se trouvent actuellement conservés dans les collections muséales contemporaines. Nombreux furent pourtant les innovateurs français ou internationaux à s'y être intéressés, par la théorie et par la pratique, par le plaidoyer et par l'expérimentation. C'est à une première ouverture sur leurs réussites que veut inviter également le présent dossier. Il faut en effet le dire : le point de vue que Lionel Dufaux nous a fait l'amitié de présenter, et qui exprime de fait l'analyse du Musée des arts et métiers sur l'énergie solaire, mérite une mise en discussion. Les chauffe-eaux ou les capteurs-plans solaires, les petits matériels que l'on vient d'évoquer, sont effectivement ce qu'il appelle « *des pièces significatives du point de vue de l'innovation* » si l'on se place « *dans la thématique de l'énergie* […] *à l'appui de retours d'expériences, de recherches et de recensions des besoins* ». Il est difficile de classer dans « *la prospection d'inventions* » les capteurs cylindro-paraboliques ou les séchoirs solaires que la coopération publique et technique française a soutenus des années durant. Il est difficile aussi de les qualifier d'épiphénomènes au moment où, sciences

et techniques collaboratives issues des réseaux sociaux numériques aidant, il ne s'est probablement jamais autant vendu ou construit dans l'histoire de séchoirs solaires de plantes et de légumes ou de simples fours solaires. Même les expérimentateurs de chauffages solaires directs auto-construits, comme dans les années 1970, se comptent probablement à nouveau aujourd'hui par milliers[9].

Jouets d'adultes ? Anecdotes ? Le présent dossier fait le pari que ce renouvellement des curiosités et des expérimentations sociales autour de l'énergie solaire ouvre d'autres enjeux pour les musées du monde entier. La muséographie de l'énergie solaire qui est questionnée ci-dessous, comme la nouvelle histoire culturelle globale des techniques que propose David Edgerton, est en effet d'abord une approche par les objets, et non une approche par la reconstitution-restitution des grands récits scientifiques et technologiques de l'innovation (Edgerton, 2013). En décentrant le regard du plus grand vers le plus petit, du plus complexe vers le plus simple, du plus coûteux et capitalistique vers le plus abordable et le plus « appropriable », du plus puissant vers le plus continu, c'est une autre histoire des technologies solaires, et plus largement de l'énergie, une histoire plus sensible, plus populaire, moins strictement machinique et occidentale, qui pourrait sans doute à terme être esquissée.

L'histoire des interactions techniques-société est très différente vue du quartier d'affaires d'une ville-globale nord-américaine et depuis la majorité pauvre, non-blanche et pour moitié féminine de la population mondiale, a souligné David Edgerton. De même un distillateur, un séchoir ou un four solaires, une climatisation naturelle, sans même parler de l'accès à une force mécanique gratuite par le soleil, ont indiscutablement des portées et des usages incommensurables dans un village sahélien et dans la préfecture des Yvelines. Sans doute est-ce aussi pour cela que le regard proposé dans ce dossier sur le moteur solaire d'Augustin Mouchot à la fin du XIXe siècle, ou sur les expériences légèrement postérieures de Charles Tellier sur l'usage de l'ammoniaque comme fluide échangeur solaire, diffère d'une évaluation purement technologique ou muséale subordonnée à la stricte diffusion industrielle, sociale voire nationale des objets et procédés.

Un dernier domaine des énergies renouvelables est de ce point de vue particulièrement représentatif et doit être mentionné : celui de l'architecture solaire, encore si peu exploré sous l'angle muséographique. Les époux Jeanne-Marie et Georges Alexandroff, qui furent les architectes de la Sofretes dès sa naissance, en ont été des pionniers

9 Pour un aperçu, voir par exemple le site *Habiter Autrement* [URL : http://www.habiter-autrement.org/12.energies/ener_ca.htm]. Pour un exemple de lien récent avec le mouvement d'origine anglo-saxonne dit des « Makers » (ou DIY pour « Do It Yourself ») : [URL : https://www.sunberry.fr/les-panneaux-solaires-thermiques/les-panneaux-solaires/les-panneaux-solaires-thermiques/].

à l'École d'Architecture de Paris dès le début des années 1970. Tout en travaillant précisément la forme, la simplicité de montage et de matériau des « cannaletats » ou collecteurs solaires par ruissellement d'eau des stations de village[10], ainsi que le stockage thermique passif par les bâtiments ou de grandes masses rocheuses ou d'eau enterrées, ils pousseront avec quelques autres jusqu'à ses limites la recherche sur l'idée d'auto production énergétique renouvelable de l'habitat, qu'il soit individuel, villageois ou urbain (Siret, 2011 ; Lopez, 2014 ; Barber, 2016). L'architecture véritablement « bioclimatique » qu'ils inventent parmi les premiers tient alors autant de leur connaissance de l'architecture vernaculaire et de l'habitat pré-industriel, et notamment de celui des pays du sud, que des seules promesses des sciences modernes de l'ingénieur ou des matériaux (Alexandroff & Alexandroff, 1982).

À Niamey, au Niger, on le voit dans ce dossier avec les bâtiments de l'Office Nigérien de l'Énergie Solaire (ONERSOL), Abdou Moumouni Diffo associera de même l'architecture traditionnelle et la réflexion sur la climatisation naturelle, par l'utilisation de la terre comme matériau de construction, par la circulation des courants d'air, par les puits de lumière et végétaux. On est alors dans ce qui est bien une innovation, aujourd'hui parfois redécouverte[11]. Au moment où poussent les buildings de béton et de verre climatisés au sud du Sahara, dans des États dont plus des deux tiers des populations au moins sont en dessous de tous les seuils de pauvreté énergétique, il y a là sans doute des leçons à revisiter.

« *Nous parlons en adultes du monde des objets, mais en enfants du monde de la technique* », conclut David Edgerton. « *Par exemple, nous savons tous que si l'utilisation des objets est grandement répandue dans les sociétés, le contrôle ultime de ces objets et leur utilisation restent cependant hautement concentrés, tant à l'intérieur des sociétés qu'entre les sociétés* ». De son côté, il y a presque une quinzaine d'années, Lionel Larqué, promoteur actif en France des sciences participatives, citoyennes et coopératives, relevait de manière amusante et avec un peu de provocation que : « *l'hypothèse de départ* » devrait être « *de cesser de se contenter de gentilles expositions et de gentils débats pour un gentil public* […], *car les sciences n'ont rien à voir avec l'univers de* L'Île aux enfants*, où serait venu le temps des rires et des chants* »

10 Voir p. 12 du dossier de la maquette du Musée des arts et métiers en ligne sur le site du Musée : [URL : https://catalogue.cnam.biblibre.com/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=20920].

11 Les principes de circulation d'air par simples ouvertures près du sol dans les bureaux, de puits de lumière central et de présence de végétaux, avec utilisation du bois comme matériau « local » en lieu de la terre (sachant que le contrecollé de bois de grande dimension est importé d'Autriche) se retrouvent dans le bâtiment emblématique de l'Institut National de l'Énergie Solaire inauguré en 2013 sur le campus du Bourget-du-Lac en Savoie [URL : https://architopik.lemoniteur.fr/index.php/realisation-architecture/ines/6097].

(Larqué, 2006, p. 19). En d'autres termes, et cela aura été l'un des axes de travail dans le cas de la maquette de la Sofretes, la manière de présenter des réalisations dans le domaine des énergies renouvelables a bien à voir avec celle, toujours pour reprendre les termes du même auteur, dont « *les productions scientifiques et technologiques pèsent sur nos modes de vie comme sur nos façons d'envisager le possible, le souhaitable, l'idéal* ».

Bertrand Bocquet et Marc Delepouve s'y attardent dans la dernière contribution du dossier en inscrivant dans une très large et très précise perspective – climatique, technoscientifique, multidisciplinaire et citoyenne – l'enjeu désormais global et sans précédent des énergies renouvelables. Leur texte ne traite pas directement de la conservation, de la valorisation à des fins de médiation scientifique, ou de l'évaluation sociotechnique des matériels solaires. Mais il propose un état actualisé des grandes mutations environnementales, sociales et culturelles dans lequel celles-ci s'inscrivent. Il invite à faire passer les questions énergétiques de simples « *états de fait* » (*matter of fact*), en « *matières à souci* » (*matter of concern*) (Charvolin, 2011), c'est-à-dire à les approprier, à les aborder en termes de sciences citoyennes, et donc à les resituer dans l'état effectif des urgences climatiques, dans certaines de leurs conséquences énergétiques incontournables, et dans les voies de co-construction des nouveaux systèmes énergétiques décarbonés qui commencent à être explorés.

Il est à espérer qu'en se saisissant bientôt des objets et des réalisations concrètes de l'univers des énergies renouvelables d'hier et d'aujourd'hui, des expérimentations les plus locales, des réalisations de proximité, des convertisseurs énergétiques d'apparence banale ou dérisoire au vu des chiffres des grandes puissances nominales, les musées des sciences et techniques du monde entier aident l'ensemble de l'humanité à mûrir sa compréhension et son regard sur le domaine énergétique en général. Il en va probablement du destin, sinon de la simple survie, du monde à venir.

Bibliographie

Abrassart C., Jarrige F. & Bourg D. (2020). « Introduction : Low-Tech et enjeux écologiques – quels potentiels pour affronter les crises ? » [en ligne]. *La Pensée écologique*, 5/1 [URL : https://lapenseeecologique.com/introduction-au-dossier-low-tech-low-tech-et-enjeux-ecologiques-quels-potentiels-pour-affronter-les-crises/].

Alexandroff G. & Alexandroff J.-M. (1982). *Architectures et climats. Soleil et énergies naturelles dans l'habitat*. Paris : Berger-Levrault.

Barber D. A. (2016). *A House in the Sun. Modern Architecture and Solar Energy in the Cold War.* Oxford : Oxford University Press.

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

Bihouix P. (2019). « La transition technologique peut-elle être low-tech ? ». *Revue internationale et stratégique*, 2019/1, n° 113, pp. 97-106.

Sezman I. & Boyer D. (2017). *Energy humanities. An anthology.* Baltimore : John Hopkins University Press.

Briday R. (2019). « Le discours de la promesse chez les promoteurs de l'ingénierie climatique ». *Socio*, 12, pp. 133-157.

Caille F. (2017). « L'énergie solaire thermodynamique en Afrique : la Société française d'études thermiques et d'énergie solaire, ou Sofretes (1973-1983) ». *Afrique contemporaine*, n° 261-262, pp. 65-84.

Caille F. (2020). « Sortir des pensées (et des carburants) fossiles ? Éduquer aux énergies et à l'économie sociale et solidaire ». *In* J. Stoessel-Ritz & M. Blanc (dir.). *Comment former à l'économie sociale et solidaire*. Rennes : Presses Universitaires de Rennes, pp. 49-62.

Chauvin-Michel M. (2012). « Architectures solaires et politiques énergétiques en France de 1973 à 1985 ». Thèse d'histoire de l'art, Université de Paris I.

Crenn G. (2016). « Cultiver les sciences au musée, demain ? Médiations innovantes et refondation du projet muséal à l'Australian Museum et au Powerhouse Museum (Sydney, Australie) ». *Cahiers d'histoire du Cnam*, 5/1, pp. 19-40.

Dittmar P.-O. & Tastevin Y. P. (2017). « Éditorial. La mouche et la libellule. De l'anachronisme en anthropologie des techniques ». *Techniques & Culture,* 67, dossier « Low tech ? Wild tech ! », pp. 6-9.

Duperrex M. (2020). « Energy humanities, une pensée écologique au miroir des industries carbonées ». *Sociétés*, 2020/2, n° 148, pp. 93-101.

Edgerton D. (2013). *Quoi de neuf ? Du rôle des techniques dans l'histoire globale*. Paris : Seuil. Trad. Française de *The Shock of the Old. Technology and global History since 1900,* (2006).

Foucault M. (2011). *Leçons sur la volonté de savoir. Cours au Collège de France 1970-1971.* Paris : Seuil/Gallimard.

Halbwachs M. (1925). *Les cadres sociaux de la mémoire*. Paris : Alcan.

Laird F. N. (2001). *Solar Energy, Technological Policy, and Institutional Values*. Cambridge : University Press.

Larqué L. (2006). « Au chevet de la culture scientifique et technique ». *Alliages. Culture-Science-Technique*, n° 59, pp. 10-19.

Lopez F. (2010). « Déterritorialisation énergétique 1970-1980 : De la maison autonome à la cité auto-énergétique, le rêve d'une déconnexion ». Thèse d'histoire de l'architecture moderne et contemporaine. Université de Paris I.

Lopez F. (2014). *Le rêve d'une*

déconnexion. De la maison autonome à la cité auto-énergétique. Paris : Éditions de la Villette.

Marrec A. (2018). « Histoire des énergies renouvelables en France 1880-1990. » Thèse de doctorat en épistémologie, histoire des sciences et des techniques, Université de Nantes.

Mathis J.-F. & Massard-Guilbaud G. (dir.) (2019). *Sous le soleil Système et transitions énergétiques du Moyen Âge à nos jours*. Paris : Éditions de la Sorbonne.

Mosseri R. & Jeandel C. (dir.) (2013). *L'énergie à découvert*. Paris : CNRS éditions.

Pehlivanian S. (2014). « Histoire de l'énergie solaire en France. Science, technologies et patrimoine d'une filière d'avenir. » Thèse d'histoire, Université de Grenoble/Université Savoie Mont Blanc.

Perlin J. (1999). *From Space to Earth. The Story of Solar Electricity*. Ann Arbor Mich. : aatec publications.

Perlin J. (2013). *Let it shine : the 6,000-year story of solar energy*. Novato Ca. : New World Library.

Reddy A. K. N. (1988). « Lecture 4. Technology and Development » [en ligne]. Site personnel [URL : http://www.amulya-reddy.org.in/Publication/1988_03_LECTURE4.pdf].

Scheer H. (2001). *Le solaire et l'économie mondiale : stratégie pour des temps modernes écologiques*. Arles : Actes Sud.

Siret D. (2011). « Les enveloppes solaires de Ralph Knowles, ou les ambivalences d'un modèle de régulation des formes urbaines ». *Lieux Communs, Cahiers du LAUA*, n° 14, pp. 195-206.

Teissier P. (2013). « Le solaire passif à l'ombre de la politique énergétique française, 1945-1986 ». *Annales historiques de l'électricité,* 11/Décembre, pp. 11-25.

Vrignon A. (2019), « Vers une société solaire ? Réflexions et expérimentations autour d'une transition énergétique potentielle dans les années 1968 ». *In* J.-F. Mathis. & G. Massard-Guilbaud (dir.). *Sous le soleil Système et transitions énergétiques du Moyen Âge à nos jours*. Paris : Éditions de la Sorbonne, pp. 343-353.

Article de recherche

L'énergie solaire au Musée ? Éléments d'une lecture énergopolitique du projet muséal Sofretes

Frédéric Caille
Maître de conférences HDR en science politique, Triangle-ENS Lyon, Université Savoie Mont Blanc

Résumé

L'entrée d'une technologie de pompage solaire thermodynamique basse température des années 1970 au sein des collections du Musée des arts et métiers à Paris a été l'occasion d'une nouvelle lecture technopolitique des énergies renouvelables. Ce projet muséal, s'adressant aussi bien à la recherche qu'au grand public, permet donc de réfléchir à ce que l'on peut dénommer – en emprunt à l'anthropologie des sciences anglo-saxonne – une « énergopolitique ». Le propos restitue la généalogie sociale et intellectuelle du projet, puis évoque les obstacles – épistémologiques, pratiques, muséographiques – auxquels il a dû s'affronter. Il se conclut sur la manière dont ce parcours est significatif de la difficile mise en débat de l'histoire des technologies liées aux énergies renouvelables, et particulièrement ici de l'énergie solaire.

Mots-clés : énergie solaire ; Sofretes ; muséographie ; humanités énergétiques ; sociotechnique.

Abstract

This paper deals with the inclusion of a small thermodynamic water pump model in the famous Parisian Museum of Arts and Crafts (Musée des arts et métiers). This collaborative and associative project was confronted with epistemological, practical and museographical problems. All of them were significant of an "energopolitics" understanding of the difficulties of the history and debates about renewable energies, and specially here solar energy.

Keywords: solar energy; Sofretes; mu seography; energy humanities; sociotechnical; energopolitics.

Dire que 'tout est énergopolitique', c'est dire cette omniprésence des rapports de force et leur immanence à un champ des énergies ; mais c'est se donner la tâche encore à peine esquissée de débrouiller cet écheveau indéfini. Une telle analyse, il ne faut pas l'écraser dans une culpabilisation individuelle (vous savez : chacun est responsable de tout, il n'y a pas une dépense énergétique au monde dont nous ne soyons au fond complices) ; il ne faut pas l'esquiver non plus par l'un de ces déplacements qu'on pratique volontiers aujourd'hui : tout cela dérive d'une économie marchande, ou de l'exploitation capitaliste, ou de la géopolitique des États et d'une société sans repères. L'analyse et la critique des énergies sont pour une bonne part à inventer – mais à inventer aussi les stratégies qui permettront de modifier ces rapports de force et de les coordonner de manière que cette modification soit possible et s'inscrive dans la réalité.

Adaptation d'après Michel Foucault, « Les rapports de pouvoir passent à l'intérieur des corps », 1977, *Dits et écrits II,* Quarto Gallimard, 2001, p. 229.

Les travaux de Michel Foucault sur la notion de biopolitique sont une voie d'entrée vers une nouvelle compréhension des enjeux énergétiques dans le monde contemporain, ainsi que l'a proposé l'anthropologue américain des sciences Dominic Boyer (Boyer, 2011, 2014). Comme en d'autres domaines, la conceptualisation foucaldienne peut en effet être employée de manière heuristique pour réfléchir (et ré-agir) sur « *les technologies employées par l'État à des fins de contrôle social, au niveau des individus comme à celui des populations* », et plus largement sur l'« *évolution macro-historique de la rationalité gouvernementale, du répertoire ancien de la souveraineté au répertoire moderne du libéralisme* » (Bossy & Briatte, 2011, pp. 7 et 9).

Dans le domaine énergétique, avance Boyer, il s'agit notamment de comprendre comment les sources et infrastructures énergétiques « *interagissent* » avec les institutions et les représentations du pouvoir politique (Boyer, 2014, p. 309). Ce qui amène à constater, par exemple, qu'avec l'épuisement des combustibles fossiles ce n'est pas seulement la fourniture énergétique en tant que telle qui se trouve être remise en cause, mais également les grands modes de gouvernance sociopolitiques auxquels elle correspond (« *the carbon statecraft* »). Concrètement, la manière dont un ensemble de savoirs, d'expérimentations, de discours et de récits sur les combustibles et sur l'énergie (« *the harnessing of electricity and fuel* ») valent comme vecteurs de pouvoir sur et par cette dernière doit alors être placée au cœur des sciences humaines et sociales contemporaines[1]. Telle est la matière de

1 Dans une brève interview D. Boyer résume ainsi : « *Neither technology nor policy can offer a silver-bullet solution to the environmental effects of an energy-hungry, rapidly modernizing and growing global population. Energy humanists contend that our energy and environmental dilemmas are fundamentally problems of ethics, habits, values, institutions, beliefs and power – all areas of expertise of the humanities and humanistic social sciences. The impasse afflicting humanity – the gap between knowledge and action, insight and involvement — is an impasse that has repeatedly been address in post-Enlightenment humanist thinking. Indeed, solving our dilemma require the humanities involvement – not as an afterthought*

ce qu'il nomme *energopolitics* (Boyer, 2011, 2014) et que l'on peut associer à la « *technopolitique* » (des énergies) au sens de Gabrielle Hecht : « *les pratiques stratégiques qui consistent à concevoir ou à utiliser la technique afin de mettre en place des objectifs politiques, de leur donner forme et de les réaliser* » (Hecht, 2014, p. 24).

Nous ne sommes cependant, pour paraphraser directement Michel Foucault, qu'au début de l'invention des stratégies de connaissance et de véridiction qui permettront peut-être un jour une réappropriation politique des trajectoires sociotechniques de l'énergie[2]. Plus qu'en tout domaine en effet, la génération extra-humaine de la force – c'est-à-dire les « énergies » – définit un espace réduit de débats et de réflexions et participe d'une part importante du contrôle des personnes et des corps par la maîtrise de ses procédés et de ses flux. En resserrant la focale sur les énergies renouvelables les plus « propres », et notamment sur le solaire thermodynamique de basse température dont il sera question ci-dessous, il est même possible d'apercevoir le lien avec d'autres secteurs d'intrication étroite de la politique et de la connaissance, ces secteurs où « *la révélation de la vérité, le renversement de la loi du monde, l'annonce d'un autre jour et la promesse d'une certaine félicité sont liés ensemble* » (Foucault, 1976, p. 15).

Dans le domaine des énergies en effet, la littérature consacrée aux énergies renouvelables a été depuis un peu plus d'un siècle le lieu du discours d'un « ailleurs » allant bien au-delà du simple dévoilement de la science en cours et du relevé des variations sociotechniques. Les sentiers énergétiques qui s'offrent à nous, disait en substance le grand spécialiste du solaire Herman Scheer dès les années 1990, après et avant beaucoup d'autres, seront « *low* » ou « *hard* », souples ou durs, adaptatifs et résilients, ou dotés d'une incroyable inertie, techno-colonisés ou décroissants (Scheer, 2001 ; Latouche, 2019). Ils passeront par la participation de tous et l'adhésion de chacun, la déconcentration, ou ils s'imposeront sous la férule de l'expertise à des dizaines de générations humaines.

L'originalité du domaine de l'énergie solaire doit à cet égard être très clairement affirmée. En dehors de quelques éléments de vocabulaire (tels que les « rayons obscurs » ou le « calorique »), les physiciens du temps d'Augustin Mouchot disposent déjà, dès les années 1860, de la compréhension de l'essentiel des processus nécessaires aux perfectionnements des dispositifs

to technology and policy, but as a forerunner researching the cultural landscape around us and imagining the future relationship between energy and society that we need to strive forward. » (Boyer-Sezman, 2014, p. 40).

2 Sur la notion de véridiction, et la manière dont peut se constituer, selon les mots de Foucault, un « *domaine de vérité spécifique* » (dans notre cas, les sciences de l'énergie) lié à des stratégies de « *savoir-pouvoir* » (contrôler la distribution, culpabiliser certains types de consommateurs, décrédibiliser certaines technologies, etc.), voir les riches analyses sur la naissance (ou non) d'une « *volonté de savoir* » dans Foucault (1976).

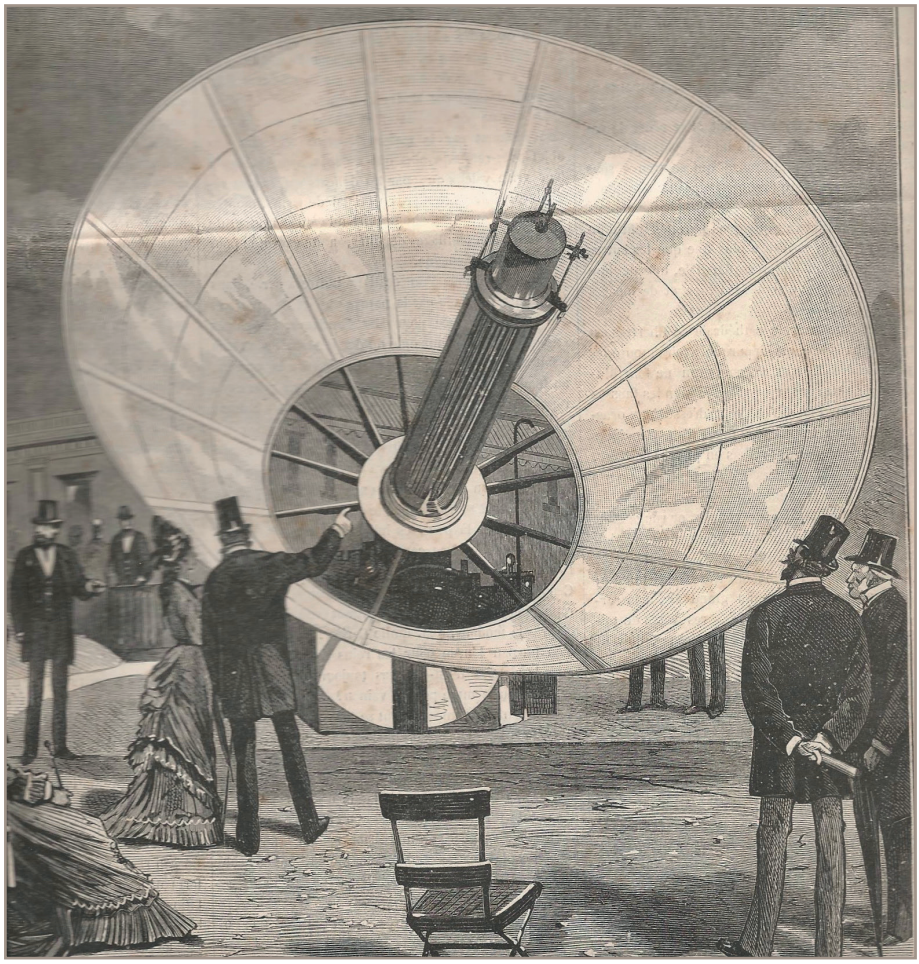


Image 1 – Le moteur solaire d'Augustin Mouchot à l'Exposition Universelle tel que représenté dans *L'Univers illustré* du 12 octobre 1878
(coll. part. F. Caille)

techniques de conversion thermique et thermodynamique. Avec le travail de Mouchot, qui sera rapidement reconnu internationalement comme tel, l'exposé et l'expérimentation systématiques des diverses applications pratiques de la chaleur solaire sont du point de vue épistémologique et théorique quasiment arrivés à leur terme (Caille, 2020b). Cent ans plus tard, Jean-Pierre Girardier, docteur en physique de l'université de Dakar en 1962, puis expérimentateur et développeur de moteurs solaires thermodynamiques de conception simple et de petite capacité, ainsi que fondateur de la société d'économie mixte Sofretes (Société française d'études thermiques et d'énergie solaire) sur laquelle nous allons

revenir, a ainsi toujours logiquement affirmé que l'histoire de son travail, ou même celle de l'entreprise qu'il dirigea, si elles étaient écrites un jour, devraient indiscutablement commencer par Augustin Mouchot (Girardier, 1995).

La maquette de la station de pompage solaire thermodynamique Sofretes inaugurée au Sénégal en 1976 qui est exposée au Musée des arts et métiers depuis la fin de l'année 2018 peut s'envisager à cet égard comme une forme de fenêtre ouverte sur l'histoire de nos chemins énergétiques. Elle illustre et montre en pratique, à l'instar de la reproduction du four solaire d'Augustin Mouchot de la « galerie de l'énergie » du même musée, que des voies énergétiques encore méconnues du plus grand nombre ont été historiquement abandonnées aux friches de la science et de l'expérimentation, puis laissées sur le côté des autoroutes de la puissance énergétique moderne. « *Il y a plus d'une façon d'accommoder un lapin, de mener une guerre, de générer de l'énergie* » (p. 34) a écrit l'historien des sciences et techniques David Edgerton dans son livre séminal de 2006, *Quoi de neuf ?* « *Nous sommes libres de refuser les techniques* », « *nous avons la capacité technologique d'agir très différemment* », « *nous ne sommes pas technologiquement déterminés* » (p. 276), et, ajoute-t-il, nous continuons pourtant le plus souvent de croire et d'enseigner que seuls les chemins techniques actuellement dominants étaient et demeurent possibles et performants. La présence très réduite de l'énergie solaire au sein des institutions muséales française (y compris photovoltaïque), ainsi d'ailleurs que de toutes les autres énergies renouvelables non fossiles possibles (hydraulique, éolien, énergie thermique des mers et houlo ou maré-motrice, géothermie, méthanisation ou biogaz) témoigne pensons-nous de cet état actuel des interactions technosciences-société-énergies.

Au travers de l'exemple de la maquette Sofretes exposée depuis décembre 2018, ainsi que des procédures de récupération en cours d'un moteur solaire thermodynamique et des initiatives associées (nouvelles maquettes des grandes centrales solaires, conservations archivistiques et patrimoniales en France et en Afrique), nous montrerons ci-dessous que l'exposition et la conservation muséales, en matière d'énergies renouvelables, ne sont nullement une finalité en soi : elles doivent s'insérer dans un processus dynamique de débat sociétal et d'analyse sociotechnique des filières et des modes de convertisseurs énergétiques. Ainsi que l'illustre le cas de l'énergie solaire thermodynamique de basse température, c'est autant par leur potentiel de mise en perspective de récits énergétiques différents et divergents que ces objets acquièrent leur valeur muséographique, que par leur inscription dans une chronologie technologique ou scientifique souvent encore, dans ce domaine, sujette à caution. Ils ont de fait un nombre important d'obstacles à surmonter, tant intellectuels que pratiques, pour pouvoir un jour être découverts du public.

Nous restituerons donc dans un premier temps l'origine du projet muséal ayant conduit à la maquette de station de pompage solaire précitée. Puis l'on évoquera les débats de choix de mode d'exposition de l'énergie solaire et de place dans les collections d'un musée généraliste d'histoire des sciences et techniques. On terminera sur les interactions entre les récits historiographiques et les perspectives muséales et sur les ouvertures que permet en la matière une vision participative et citoyenne.

L'histoire des savoirs et des techniques de l'énergie, comme l'a montré Michel Foucault pour d'autres domaines de la connaissance, ne se réduit pas à l'énumération de découvertes ou à l'évocation des « *halos d'idées* » et d'opinions qui peuvent soutenir la genèse et la diffusion de ces dernières. Une histoire et une muséographie actives pour le présent doivent également restituer les conflits de paradigmes, c'est-à-dire se saisir des sciences de l'énergie non comme pas comme d'un pur dévoilement du réel et des besoins, mais comme d'« *un ensemble à la fois cohérent et transformable de modèles théoriques et d'instruments conceptuels* » (Foucault, 1971, p. 74).

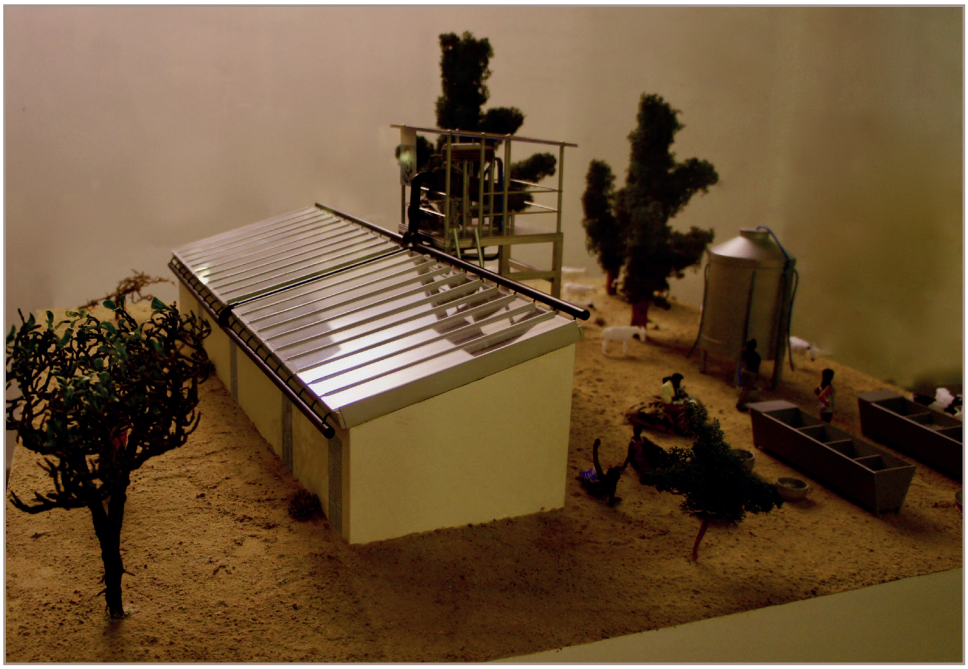


Image 2 – Vue avant de la maquette de la station de pompage solaire thermodynamique Sofretes de Merina Dakhar (1976) lors de son entrée au Musée des arts et métiers en décembre 2018
(coll. part. F. Caille)

Généalogie et objectifs d'un projet muséal sur l'énergie solaire

Le projet de travailler à l'entrée des moteurs thermodynamiques basse température de la Sofretes au Musée des arts et métiers a pris forme dans un processus de recherche débuté en juillet 2015 par la réalisation d'un long entretien avec Jean-Pierre Girardier[3]. À cette date seules quelques rares sources permettent d'établir l'existence au Sénégal, à partir des années 1960, de plusieurs expériences et réalisations pilotes dans le domaine du pompage solaire thermodynamique (Girardier, 1979, 1995). Les traces demeurent néanmoins très éparses et échappent à toutes les encyclopédies et recensions de référence sur les énergies. La Sofretes, petite PME *start-up* d'économie mixte spécialisée dans le pompage solaire thermodynamique est créée en octobre 1973 au terme d'une décennie d'expérimentations entre la France et le Sénégal par l'ingénieur français Jean-Pierre Girardier. L'ANVAR (Agence Nationale de Valorisation de la Recherche) et la société de capital-risque Sofinnova en possèdent à cette date 49 % des parts, et elle disparaîtra, rachetée en totalité par le CEA (Commissariat à l'Énergie Atomique) une décennie plus tard, en 1983. Tel est en substance ce qu'il avait été alors possible d'établir (Caille, 2017).

Il n'est pas neutre de penser qu'il n'y a pas d'histoire de l'énergie solaire[4]. Et il n'est peut-être pas indifférent, telle est du moins l'hypothèse qui s'est rapidement imposée au fil de l'entretien, qu'un ensemble de premières mondiales françaises, dans l'utilisation de la plus puissante et abondante des énergies de la planète, réalisées dès les années 1970, demeurent à peu près totalement ignorées. Un travail d'enquête sociohistorique et de réévaluation sociotechnique a donc débuté suite à cette rencontre de 2015 : plus de 25 entretiens audiovisuels individuels ont été réalisés en France et en Afrique (*cf.* encadré), d'anciens sites d'implantation de matériels ont été visités (sept en Afrique et trois en France), deux journées de rencontres universitaires internationales comprenant d'anciens collaborateurs de la Sofretes ont été organisées au Sénégal, et une en France à l'occasion de l'inauguration de la maquette au Musée des arts et métiers, un ensemble important de documents d'archives personnelles et de photographies a été rassemblé, enfin une association loi de 1901 (Promotion et Histoire de l'Énergie Solaire – PHESO, reconnue d'intérêt général) a été créée pour la promotion et la conservation de ce patrimoine (Afrisol, 2017). L'idée d'une entrée des réalisations de la Sofretes dans les collections du Musée des arts et métiers est apparue alors comme un prolongement logique de ce travail d'enquête, avec deux objectifs étroitement indissociables.

3 Entretien audiovisuel F. Caille, 7 juillet 2015, 4 heures.

4 C'est par exemple le cas dans Jarrige & Vrignon, (2020, pp. 136-139), qui survole en moins de trois pages l'histoire solaire du XXe siècle, et ignore par exemple les récents travaux disponibles sur l'Afrique de l'Ouest et un scientifique tel Abdou Moumouni Dioffo (voir Caille, 2018 et les autres articles du présent dossier).

Le premier objectif a visé à une réévaluation au sein de l'histoire scientifique et technologique internationale des moteurs solaires basse température de la société, réalisés dans la continuité des expérimentations ou installation pilotes de Jean-Pierre Girardier à Dakar, Bossey-Bangou (Niger) et Chinguetti (Mauritanie). Les sites ou encyclopédies spécialisées sur les énergies, et à un moindre titre les thèses récentes soutenues en France, ignorent ou sous-estiment en effet considérablement l'efficience et les réalisations historiques de ce mode de conversion[5]. Pour la seconde moitié du XXe siècle pourtant, au moins jusqu'en 1982 (achèvement de Solar One aux USA avec 10 MW de production solaire électrique installés), les réalisations de la Sofretes sont sans équivalent mondial (Liébard, 1985). Loin d'être seulement des installations pilotes ou expérimentales, telles que celles menées par la recherche institutionnelle solaire française – pour l'essentiel par Félix Trombe et Marcel Perrot au CNRS et à l'Université d'Alger jusqu'au début des années 1980 (Pehlivanian, 2015), puis par le CNRS et EDF (Herléa, 1995) –, l'entreprise commercialise en effet les premiers moteurs solaires de petite puissance (1kW) véritablement fonctionnels de l'histoire, en sus à deux reprises de la plus puissante centrale solaire au monde du moment. À une époque où la technologie solaire photovoltaïque reste encore mal maîtrisée et très onéreuse, et à rebours de nombreuses inexactitudes fréquemment rapportées, ces moteurs solaires marquent bien la disponibilité d'une trajectoire sociotechnique alternative de production d'énergie non fossile dès le milieu des années 1970, au moins pour les pays les plus ensoleillés[6].

L'entrée des moteurs solaires Sofretes dans le plus ancien et célèbre musée français d'histoire des technologies est donc une étape vers une meilleure compréhension de l'histoire énergétique moderne et vers la reconnaissance d'un ensemble de performances techniques et humaines sans équivalent dans le domaine. Il a semblé que ces réalisations avaient leur place dans ce musée à vocation technique généraliste dont la mission d'« *exposer l'idéal technique et industriel de la France* », issue on le sait de son projet de création durant la période de la Révolution française, peut renouer ici avec toute sa tension historique profonde (Deléderray-Oguey, 2016, p. 89).

Le second objectif visé par l'entrée des moteurs solaires de la Sofretes au

5 Pour un exemple de site d'information ignorant totalement le solaire thermique basse température voir celui de la Fondem et de ses revues (*Fondation Énergies pour le Monde*), financé par l'ADEME (Agence de la transition écologique) et la Caisse des dépôts [URL : http://www.energies-renouvelables.org/solaire_thermique.asp]. Plus étonnant, la récente publication en ligne de la fondation sur l'électrification rurale en Afrique, soutenue par divers partenaires, fait débuter l'histoire du solaire sur le continent avec les seuls équipements solaires photovoltaïques, alors même que plusieurs sites de l'entreprise Sofretes ont produit ou envisagé de produire de l'électricité auparavant.

6 Ce point de vue est absent de Marrec (2018) qui ne considère pas le solaire thermodynamique de basse température comme une véritable alternative sociotechnique.

Image 3 – Station de pompage solaire Sofretes de Todo Santos en 1976 (Mexique, Basse Californie, capacité de pompage de 50.000 litres/jour)
(Arch. Association PHESO)

Musée des arts et métiers a touché à la sensibilisation environnementale et à l'éducation scientifique et technique du large public. Le socio-anthropologue de l'énergie Alain Gras en a résumé les enjeux : « *La représentation d'une sorte de mégamachine assoiffée d'énergie pollue toutes nos images de l'avenir et nous enferme dans une évolution où le futur est déjà là* » (Gras, 2013, p. 37). Plus récemment, de nombreux travaux ont insisté sur l'importance des représentations et de la connaissance des possibles par les populations pour engager l'évolution sociétale vers une plus grande sobriété énergétique et un renforcement de la place des énergies renouvelables. Il s'agit notamment de la perspective des *Energy Humanities* anglo-saxonnes, dans laquelle nous nous inscrivons totalement, et qui vise à articuler quatre entrées théoriques et pratiques dans l'approche des énergies : *History*, *Politics*, *Ethics*, *Aesthetics* (Sezman & Boyer, 2017)[7].

Axés sur les pays du sud et sur le Sahel particulièrement, sur un principe de technologie appropriée et appropriable, sur le développement humain, sur une source énergétique gratuite et non polluante, le

7 Pour une première approche bibliographique voir la présentation argumentée du site récent (oct. 2020) : [URL : https://www.energyhumanities.ca].

projet et les réalisations de l'entreprise Sofretes et de l'ingénieur Jean-Pierre Girardier permettent de fait un regard décalé sur la construction sociale et étatique des priorités énergétiques. Une perspective épistémologique forte justifie alors la perspective : l'essence de la technique n'est pas que savante et matérielle, elle est aussi mentale, imaginaire et sociétale. « *Elle doit se chercher dans l'environnement éthique et la vision du monde dans laquelle elle fait sens* », comme l'écrit toujours Alain Gras (p. 19).

À ce titre, la présence dans la collection « Énergies » du Musée des arts et métiers, à Paris, d'un moteur solaire efficient pour l'Afrique il y a déjà plus de cinquante ans peut sembler intéressante, à côté des moteurs thermiques pionniers et des centrales électriques thermiques ou nucléaires qui sont actuellement présents ou représentés. Elle peut permettre de renforcer la prise de conscience que la transition vers un autre mix énergétique international est une transition sociotechnique au sens plein du terme, c'est-à-dire qu'elle implique des reconfigurations complexes non seulement des technologies, mais également des politiques publiques, des marchés, des infrastructures matérielles, des savoirs scientifiques, des pratiques sociales et culturelles, tous éléments sur lesquels le destin industriel et humain de l'entreprise Sofretes permet d'ouvrir certaines pistes de réflexion (Mohr, 2018)[8].

8 Voir l'article de Bocquet & Delepouve dans le présent dossier.

Qu'est-ce qu'un objet ou un matériel solaire ? Les mises en débat de l'objet d'exposition muséal Sofretes

La question de savoir ce qui peut faire objet en histoire des sciences et techniques des énergies renouvelables, et donc de ce qui peut être légitime à bénéficier d'un processus de conservation et/ou d'exposition, s'est rapidement retrouvée au centre du projet muséal concernant les moteurs solaires Sofretes. Deux types de mise en débat sont intervenues.

Les premières ont émané de la direction du Musée des arts et métiers. Celle-ci a été convaincue, sur dossier et pièces d'enquête, que, tout en s'inscrivant dans la continuité des essais menés par Jean-Pierre Girardier depuis son doctorat de physique de Dakar de 1962, les pompes solaires thermodynamiques type MGS 2000 de l'entreprise Sofretes n'étaient pas l'œuvre d'un inventeur plus ou moins isolé et marginal, ainsi que cela avait pu être craint lors d'un tout premier contact téléphonique. En tant que société d'économie mixte co-créée par plusieurs grandes entreprises françaises, puis rachetée en intégralité au final par le Commissariat à l'Énergie Atomique (CEA, aujourd'hui CEAER Commissariat à l'Énergie Atomique et aux Énergies Renouvelables), la Sofretes avait plein droit à figurer au patrimoine industriel national dont la valorisation constitue une vocation du musée. Cela étant, la direction du Musée n'a pas souhaité accueillir un

Images 4 et 5 – Vues arrière d'une pompe Sofretes en 1978 et de la maquette exposée au Musée des arts et métiers
(Photo. arch. Association PHESO et F. Caille)

Liste des entretiens filmés avec les acteurs et témoins des activités de la Sofretes (France, Niger, Sénégal)

- Massaer Ngaye (ingénieur électricien directeur technique Sinaes – filiale Sofretes au Sénégal) : 10 mai 2018
- …/ Ba (collaborateur Sofretes puis chercheur au CERER) : 9 mai 2018
- Alain Liébard (élève de Georges Alexandroff puis architecte conseil Sofretes, président-fondateur de la FONDEM) : 10 décembre 2015
- Albert-Michel Wright (ingénieur, directeur de l'ONERSOL et ancien ministre de l'énergie du Niger) : 4 avril 2018
- Atou Diao (chef de village de Diagle, nord Sénégal) : 5 mai 2018
- Walli Faye, chef de pompe, et autres habitants de Bondie Samb (Est Sénégal) : 27 avril 2015
- Thierno Fall, enseignant et ancien maire de Diakhao (Est Sénégal) : 26 avril 2015
- Chef de village et habitants de Mont-Rolland (Centre Sénégal) : 5 mai 2016
- Macumba Tine Ndoye et Malik Ndoye, respectivement chef de village et responsable de pompe, et autres habitants de Medina Dakhar (Centre Sénégal) : 5 mai 2016 / 11 avril 2019
- Collaborateurs ingénieurs et techniciens CERER : 6 mai 2016 / 23 avril 2018
- Danièle Parquet (épouse de Philippe Parquet, ingénieur collaborateur Sofretes) : 2 octobre 2019
- Georges et Jeanne-Marie Alexandroff (architectes conseils de la Sofretes, pionniers de l'architecture solaire) : 3 novembre 2015 / 15 décembre 2016 / 12 décembre 2018
- Hugues Gabin (dessinateur industriel Sofretes) : 3 octobre 2019
- Issakah Youm (directeur CERER Dakar) : 23 avril 2018
- Jacques Bourachot (ingénieur responsable Sofretes Haute-Volta 1978) : 9 octobre 2019
- Jean Bliaux (ingénieur CEA, directeur du Service d'étude sur l'énergie solaire de Cadarache) : 20 juin 2016
- Jean-Paul Durand (ingénieur CEA détaché durant 5 ans auprès de la Sofretes) : 4 novembre 2015
- Jean-Pierre Girardier (créateur-directeur) : 7 juillet 2015

- Jelal Nerguti (technicien-monteur Sofretes) : 2 octobre 2019
- Marc Frager (ingénieur directeur de la Sinaes – filiale Sofretes au Sénégal) : 12 décembre 2018
- Marc Jacquet-Pierroulet (technicien-monteur, formé en ferronnerie et ayant travaillé avec Abdou Moumouni au Niger, qui réalisera le plus grand nombre des installations de la Sofretes) : 15 juillet 2016 / 21 décembre 2016
- Marc Vergnet (ingénieur directeur technique Sofretes) : 13 décembre 2018
- Max Clemot (ingénieur CEA détaché durant 5 ans auprès de la Sofretes) : 14 décembre 2016
- Pierre Brousse (ancien maire de Chaudes-Aigues) et Georges Bartomous (ancien instituteur, créateur du Musée de la géothermie) : 9 août 2019
- Pierre Dufour (ingénieur responsable fabrication Sofretes) : 12 décembre 2018
- Simone Gaffé (assistante administrative Sofretes et secrétaire de Jean-Pierre Girardier) : 2 octobre 2019

Sites visités (ordre chronologique)

Sites Sofretes

- CERER Dakar (ancien IPM), IUT Dakar, Diakhao, Bondie Samb, Medina Dakhar, Mont-Rolland, Diagle, Chaudes-Aigues, Montargis

Autre site de collaboration

- CNES (ancien ONERSOL) Niamey Niger

véritable moteur-pompe solaire Sofretes de taille réelle, ainsi que cela avait été envisagé selon l'exemple de plusieurs moteurs thermiques exposés, et elle a proposé « *une représentation de cette innovation avec un modèle réduit* »[9]. Des raisons pratiques d'encombrement et de reprise d'une tradition de présentation dans le musée ont été avancées. Et actuellement la maquette de pompe solaire de village finalement réalisée se trouve en face de celles des centrales électriques thermiques et nucléaires, dans une vitrine qui comprend une éolienne, un panneau photovoltaïque et une maison bioclimatique modèles réduits (voir ci-dessous image 8).

La proposition de la direction du musée a été reçue de manière ambivalente par les premiers acteurs impliqués dans le

9 Réponse officielle par mail du 16 janvier 2017. Voir également la note de Lionel Dufaux du présent dossier.

projet – anciens personnels ou enfants de personnels de l'entreprise Sofretes, enseignants-chercheurs. À la satisfaction de voir aboutir le premier objectif de la démarche évoquée ci-dessus – la réévaluation des moteurs-pompes solaires et du travail de la Sofretes –, s'est en effet mêlé le regret de bénéficier d'un traitement différencié des moteurs à énergie fossile, tel par exemple que le célèbre moteur De Dion-Bouton. La dimension de sauvegarde et de conservation d'un matériel rare et original[10] disparaissait en effet totalement.

Par ailleurs, la réalisation du projet a été marquée par des considérations de coût. L'investissement effectué sur la maquette, intégralement pris en charge par une association qui a dû être créée[11], a dépassé les 4000 euros au total, indépendamment de nombreuses heures de bénévolat (la maquette demeurant propriété de l'association et étant en dépôt sous contrat de cinq ans au musée). Cette somme s'est ainsi trouvée détournée de la récupération et de la réhabilitation d'un véritable matériel solaire, sachant qu'au moment où l'on écrit ces lignes (décembre 2020) l'association s'est rendue propriétaire d'un exemplaire de moteur, mais qu'elle n'a pu encore réunir les moyens d'un transport vers le domicile de l'un des anciens techniciens de l'entreprise pour une ouverture du carter-moteur, une numérisation, et une remise en état en vue d'exposition potentielle. Pour plusieurs des membres de l'association, dont Jean-Pierre Girardier, décédé en novembre 2017, la tentative de préservation d'au moins un exemplaire de moteur solaire a toujours été interprétée comme un élément important de preuve matérielle et de validation historique et mémorielle pour les générations futures.

Le second type de mise en débat de l'objet solaire candidat à l'entrée au Musée des arts et métiers s'est opérée à l'intérieur même de l'association et porte sur le choix du genre de maquette ou modèle réduit à réaliser. Deux grandes options, assez significatives des grands modes de lecture et d'interprétation possible de l'histoire des technologies solaires, se sont alors fait face.

La première a été soutenue particulièrement par l'un des deux ingénieurs du CEA qui fut détaché durant sept ans au sein de l'entreprise Sofretes. Inscrite dans l'esprit de la didactique des sciences et techniques la plus répandue aujourd'hui encore, elle consistait à réaliser une mise en scène « prototypique » du principe des stations d'hydropompage solaire de l'entreprise. À l'image des maquettes des centrales électriques thermiques et nucléaires actuellement présentes dans la collection des énergies du Musée, lesquelles consistent dans une évocation stylisée des volumes et des principaux composants (réacteur, réservoirs, etc.) en polystyrène blanc

10 Le moteur de la Sofretes est en fonte à double piston, du type de ceux utilisés pour l'automobile « 2 CV Citroën » mais fonctionnant sans carburant ; le CEA n'en a pas conservé d'exemplaire.

11 Le Musée ne traitant pas directement avec les particuliers.

(pas de couleur ni d'effets de matière), maquettes animées par des boutons-poussoirs qui allument de l'intérieur les composants pour les désigner, l'accent aurait été mis alors sur un simple procédé technologique de production d'énergie, en l'occurrence la chaleur solaire. En effet, bien qu'il s'agisse en fait pour les centrales électriques présentées au musée de modes de conversion énergétique (l'électricité n'est pas une source primaire d'énergie), seule la mise à disposition d'énergie aux populations sous forme électrique est explicitée (rien n'étant dit de la nature des combustibles et de leurs cycles de production, traitement, etc.).

À l'inverse, la seconde option de réalisation d'une maquette que défendra notamment Jean-Pierre Girardier, plus proche de la démarche conservatoire initiale, a proposé de rattacher l'évocation à échelle réduite des moteurs solaires à la mise en scène muséographique de réalités humaines, sociales et historiques. C'est-à-dire à la réalisation d'une maquette qui ne serait pas stylisée et « techno-didactique » (telle qu'évoquée ci-dessus) mais la plus réaliste possible (au sens de l'environnement d'installation, de la désignation précise du village de réalisation, etc.). Les liens de l'entreprise Sofretes avec le continent africain et les enjeux de l'accès à l'eau, le projet d'une technologie pensée comme résiliente dès l'origine – réparable sur place, et assimilable pour l'essentiel aux savoirs de la chaudronnerie et de la mécanique – paraissaient ainsi pouvoir être plus clairement exposés. Trois déclinaisons d'une telle maquette sont envisagées : la reproduction de la toute première pompe solaire installée dans un village, en dehors d'un laboratoire et d'un dispositif expérimental, en l'occurrence à Bossey-Bangou au Niger (1970), avec l'utilisation des capteurs-plans mis au point par le professeur Abdou Moumouni Dioffo (Caille, 2018) ; ou bien la première « école-pompe de village » installée à Chinguetti en Mauritanie (1973), qui marque la première occurrence du principe d'installation sur un bâtiment à usage collectif qui sera régulièrement repris par la suite, mais reste une opération-pilote isolée ; ou bien enfin la première pompe de village réalisée en Afrique à Medina Dakhar au Sénégal (1976) et mise sur le marché sous le label de l'entreprise Sofretes proprement dite – les deux autres réalisations précédant la création de la société.

Cette dernière déclinaison, qui ajoute l'avantage de rappeler le rôle joué par le principal pays d'expérimentation des moteurs solaires en question, et le seul où une filiale de droit local de l'entreprise a été établie durant plusieurs années (la Société SINAES), est finalement retenue. Elle est hybridée cependant avec la première option et l'idée d'une mise en évidence du dispositif thermodynamique en tant que tel, et notamment du double circuit « source chaude solaire » et « source froide eau pompée du sol », à la fois par une animation lumineuse de la maquette semblable à celle des centrales électriques du musée précitées, et par un écran vidéo identique à celui qui décrit le fonctionnement du moteur

**Image 6 – Corps des deux maquettes chez le prototypiste-plâtrier ami de Jean-Pierre Girardier ayant accepté la réalisation à prix préférentiel.
Le projet prévoyait en accord avec le co-développement des pompes Sofretes l'installation simultanée d'une maquette en France au Musée des arts et métiers et d'une maquette dans un musée au Sénégal.
Ce second volet n'a pas encore pu être finalisé par l'association PHESO**
(Photo. F. Caille)

thermique à explosion De Dion-Bouton dans le même musée. Il est à remarquer que cette mise en explication animée du principe thermodynamique fondamental des moteurs solaires de l'entreprise séduit particulièrement Jean-Pierre Girardier, lequel y voit le moyen de dépasser le dilemme posé par les deux options de maquette. La direction du musée accepte de prendre en charge le pupitre de commande ainsi qu'un dispositif explicatif vidéo, éléments en fin de compte abandonnés suite au décès de Jean-Pierre Girardier, et pour des raisons de coût (dans la réalisation pour l'association et dans son budget de fonctionnement pour le musée). L'espoir demeure cependant aujourd'hui encore pour l'association que la direction du musée complète la maquette par le dispositif vidéo explicatif envisagé.

Ces mises en débat des conditions d'entrée des dispositifs solaires thermodynamiques de la Sofretes au Musée des arts et métiers méritent d'être restituées précisément. Elles ne relèvent en effet pas de l'anecdote mais établissent un premier constat : la construction de la muséographie d'une trajectoire sociotechnique demeurée marginale,

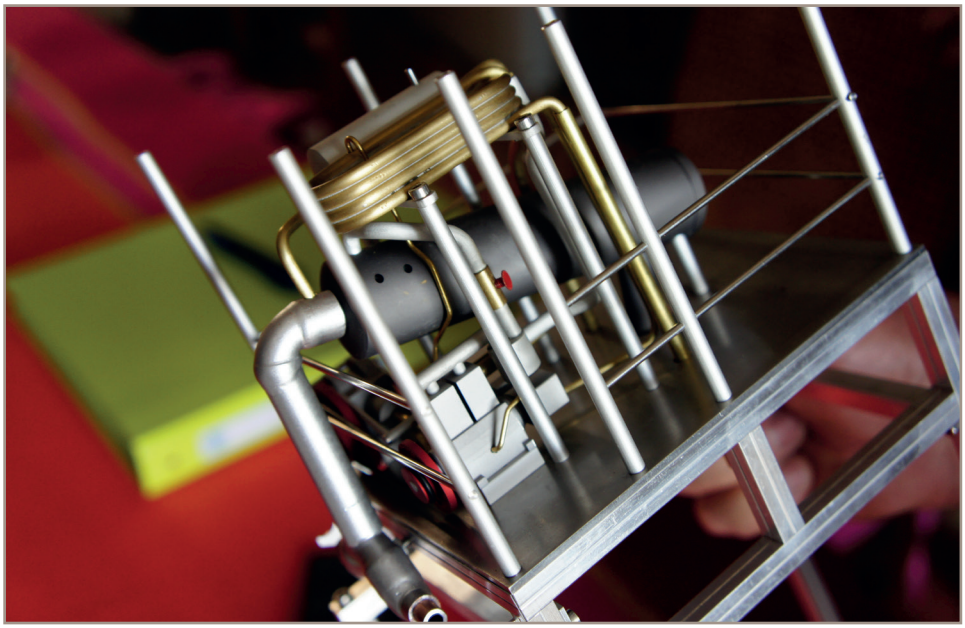


Image 7 – Gros plan du moteur MGS 2000 de la maquette avant installation, entièrement usiné à l'identique de l'original par Marc Jacquet-Pierroulet
(Photo. F. Caille)

comme toute évocation d'un « *possible latéral* » (ou parallèle), d'une utopie positive, réclame une forme d'« *anatomie sociopolitique du détail* » (Ruyer, 1988, p. 9 ; Macherey, 2011, p. 314)[12]. Dans le domaine de l'énergie solaire, ce qui est demeuré jusqu'ici inaperçu, tant du plus grand nombre que d'une grande part des spécialistes, pour de bonnes ou de moins bonnes raisons, ne peut se révéler en grand, ni renverser d'un coup les paradigmes les mieux établis. Les temporalités, les géographies, les cohérences et les continuités technologiques : tout est en apparence détail, réalisation circonstancielle. Et tout est sans doute, par là même, central.

Les moteurs-pompes solaires de l'entreprise ne sont pas un rêve irréalisable, puisqu'ils ont existé, et qu'ils ont rempli leurs fonctions. Et de fait un certain nombre de citernes d'eau sans autre énergie que la chaleur de l'astre du jour. Ils ne sont pas arrêtés faute d'efficience technique, mais à la suite de décisions. C'est ce hiatus, et ses conséquences actuelles, qu'il nous faut désormais penser.

12 Contrairement à certaines analyses qui emploient le terme « utopie » dans le domaine de l'histoire de l'énergie solaire au sens négatif « d'irréaliste » (voir notamment Teissier, 2015), notre perspective et notre usage du terme se situent dans l'historiographie s'intéressant aux expérimentations pratiques alternatives, telle que celle de l'économie sociale et solidaire (Caille, 2020).

Un objet solaire isolé ? Le moteur-pompe solaire et la muséographie des énergies renouvelables

Comme le relèvent certains des meilleurs connaisseurs de la muséologie des sciences et techniques, les mises en « scènes » de ces dernières, qu'il s'agisse de scènes médiatiques, de scènes entrepreneuriales (avec les « *démos* » notamment (Rosental, 2019)), ou de scènes muséales, peinent encore le plus souvent aujourd'hui à dépasser « *la représentation d'un pôle de sachants et d'un pôle à convertir* ». Bien que la conception figée du « musée temple de la science » soit abandonnée il reste difficile de « *révéler des approches contradictoires* […]*, des controverses, des débats, des opinions divergentes sur telle ou telle production scientifique* » (Chaumier, 2015, pp. 13 et 16). Comment s'étonner, étant donné l'immensité des enjeux, que le constat soit particulièrement vrai en matière de muséographie des énergies ?

Le positionnement de l'énergie solaire au Musée des arts et métiers est à cet égard assez symptomatique. Rien, comme le confirme Lionel Dufaux dans sa contribution au présent dossier, n'évoque ainsi dans les collections les controverses sociotechniques en matière de production et de conversion énergétiques. Les centrales thermiques et nucléaires de production électrique, comme indiqué ci-dessus, sont par exemple présentées sous une forme purement conceptuelle. Aucun élément n'en décrit le mode d'approvisionnement des « sources chaudes », les « combustibles », pourtant déterminants pour toute forme de mise en équivalence des bilans énergétiques et socio-géopolitiques finaux (Hecht, 2016). Aucune information n'est apportée sur l'entièreté des cycles énergétiques et leurs résidus potentiels – eaux de refroidissements, déchets des combustibles ou de la fabrication des combustibles etc. La lecture muséographique proposée est celle d'objets de production d'électricité et non de trajectoires énergétiques sociotechniques – ici les énergies carbo-fossiles et l'énergie nucléaire –, ce qui témoigne d'un certain décalage avec l'historiographie et la sociologie internationales actuellement en essor dans le domaine (voir par exemple Boyer & Sezman, 2017). Il est à relever que disparaissent également les éléments possibles de comparaisons avec d'autres modes d'approvisionnement caloriques directs ou inversés – biomasse, géothermie, solaire, air, énergie thermique des mers, etc.[13], des sources énergétiques pourtant importantes dans le débat public et scientifique engagé sur le mix énergétique de la transition post-carbone. Et il en est de même des autres formes de conversion énergétiques hors du cycle thermodynamique immédiat ou combustible – air comprimé, hydrogène, bélier hydraulique, énergie hydraulique ou mécanique des mers sous toutes ses formes, etc.

Si l'on élargit enfin le regard à l'énergie pouvant être tirée du vent, dans

13 Voir l'article de F. Caille et A. Mouthon sur le froid du présent dossier.

Image 8 – Situation de la maquette Sofretes lors de son entrée au Musée des arts et métiers en décembre 2018
(Photo. F. Caille)

la partie où a été déposée la maquette de la station de pompage solaire de village de la Sofretes, seule une maquette au 1/20e d'éolienne en plastique de 264 centimètres, fabriquée au Danemark en 1996, est proposée, sans animation ni mise en contexte. Il est pourtant à nouveau possible de relever que le Musée des arts et métiers possède dans ses inventaires plusieurs pièces participant de l'histoire des modes de conversion énergétique des mou vements de l'air, dont le remarquable « Mécanisme de moulin à vent » daté de 1853, une maquette de moulin à ailes horizontales de 1807, et plusieurs autres modèles réduits du milieu du XIXe siècle qui apparaissent sur son inventaire en ligne[14].

Les questions associées à la valorisation muséale des technologies solaires de basse température telles que celles des moteurs-pompes de la Sofretes, on le voit, ne sont pas sans induire des reconsidérations plus générales de la muséographie contemporaine des sciences de l'énergie. Et il est probable que la réflexion muséo-

14 Recherche par objets dans les collections du Musée [URL : http://cugnot.cnam.fr:8000/SEARCH/BASIS/collec/internet/objet/SDF].

logique des années à venir, étant donné l'importance sociale et géopolitique des choix technoscientifiques du domaine, soit de plus en plus en directement sollicitée par ces questions.

Dans un contexte muséal international très concurrentiel, marqué par le retrait du soutien des tutelles publiques, le défi sera probablement d'abord en effet d'éviter le contrôle de la muséographie par les grands acteurs de la production ou de la distribution énergétique. L'intervention de la compagnie canadienne d'extraction de gaz et de pétrole L'Impériale (Imperial Oil) dans les contenus de l'exposition « Énergie, le pouvoir de choisir », installée de 2012 à 2017 au Musée des sciences et de la technologie du Canada (MSTC), sous couvert d'un financement de près de 600 000 dollars, a montré si besoin était, preuves à l'appui, les « *liaisons dangereuses* » qui pouvaient dans ce cadre s'établir (Bergeron, 2014). Des artistes contemporains, des réseaux militants, y compris en France, ont également tiré depuis plusieurs années la sonnette d'alarme sur les relations qui, au-delà même des musées de sciences et technologies, peuvent sous-tendre les politiques muséales d'acquisition, d'exposition et d'accrochage dans les domaines artistiques contemporains[15].

Dans le même temps il serait très limitatif de se satisfaire d'un repli sur la mise en scène d'une opposition simplificatrice entre choix officiels des politiques publiques de l'énergie dite « *de puissance* », et propositions dites « *alternatives* », considérées comme marginales, irréalistes ou contestatrices – pour reprendre le titre et la problématique de Jarrige & Vrignon, *Face à la puissance. Une histoire des énergies alternatives à l'âge industriel* (2020), très discutables de ce point de vue. L'énergie solaire thermodynamique n'est pas en effet de « *moindre puissance* » par rapport à celle des carburants fossiles, quand bien même elle serait plus intermittente. Et peut-être est-ce faute de l'avoir bien compris que dans un ouvrage tel que celui qui vient d'être cité, malgré ses qualités, la Sofretes se trouve à peine mentionnée, sinon de manière fautive[16]. Le simple face-à-face

15 Voir l'article « Oil and the Arts », sur le site de l'organisation Platform, *n.d.* [URL : https://platformlondon.org/oil-the-arts]. En France la campagne « Libérons le Louvre » (de son partenaire Total) est menée par la branche française du mouvement Zéro Fossile [URL : https://france.zerofossile.org/louvre] Sur la promotion de l'art et de la création artistique pour la sensibilisation environnementale en France, voir l'association COAL, plus institutionnelle [URL : http://www.projetcoal.org/coal/le-prix-coal-art-et-environnement]. La bibliographie anglo-saxonne sur le thème est très abondante. Le duo d'artistes suisses Hemauer-Keller est l'un des premiers en 2006 à avoir proclamé un « Postpetrolism manifesto » et avoir réalisé plusieurs projets autour de l'histoire de l'énergie solaire [URL : https://hemauerkeller.land/en].

16 Bien qu'elle apporte beaucoup d'informations factuelles intéressantes, cette tentative française de synthèse récente, appuyée sur un collectif de contributions à des journées d'études, reste à l'écart des courants d'analyse dominants des humanités énergétiques anglo-saxonnes tels qu'évoqués dans la note 7 ci-dessus. Il est très inexact par exemple de présenter la poursuite du « *programme solaire dakarois* » comme le résultat d'une « *collaboration entre des investissements publics de l'État français (ministère de la coopération, ANVAR, CNRS, CEA) et des sociétés privées (Renault, CFP)* » (Jarrige & Virgnon, p. 246) sans prendre en compte ni les temporalités qui s'étendent sur une quinzaine d'années, ni les conjonctures

d'une muséographie de la légitimation des énergies dites « de puissance » et dominantes d'un côté, et d'une « *anthropologie des restes et des débris* », consacrée aux énergies renouvelables de l'autre, à des expériences comme celle de la Sofretes, et défendue par quelques groupes d'« *amis des objets scientifiques et techniques* » (Poulot, 2016, pp. 113 et 117), comme cela a pu être constaté dans d'autres champs technoscientifiques, serait en effet sans doute très réducteur pour l'avenir.

Une expérience de muséographie participative et de science citoyenne des objets solaires

Porter un regard neuf sur l'histoire des technologies solaires de basse température n'est pas un simple exercice d'érudition. Il s'agit d'un effort de décalage, de « décadrage » pour tenter de rompre avec ce que certains sociologues désignent comme « *l'effervescence techno-futuriste artificiellement entretenue* » de notre présent, et tous les scénarios qui l'accompagnent (Compagnon & Saint-Martin, 2019, p. 7). Il s'agit alors de sortir des formes usuelles de subordinations que l'on peut qualifier de « technicistes » (la technologie dite la meilleure par les grands organismes scientifiques français du moment est la seule à l'être véritablement) aussi bien que « technocratiques » (la hiérarchisation des politiques et des priorités énergétiques a un fondement strictement objectif et technique).

Le travail effectué autour de l'histoire des moteurs-pompes solaires de la Sofretes a été caractérisé par une forte interaction entre les témoins de cette expérience technologique et humaine conduite en Afrique de l'Ouest de 1962 au milieu des années 1980 et des enseignants-chercheurs s'intéressant à la sociologie ou à l'histoire des énergies au sens large. Une forme de collectif original a ainsi participé au projet de muséographie de la Sofretes et il s'est incarné pour partie dans les membres fondateurs de l'association chargée de la réalisation du modèle réduit précité. Ce groupe n'a pas eu le sentiment de se constituer en l'une de ces « *sociétés d'amis de tel ou tel musée, sortes de sociétés secrètes pour privilégiés ou vieux obsessionnels* », dont une part de la réflexion muséologique récente, sans trop de charité, a pointé l'apparition dès lors que se dévitalise la dynamique des sociétés savantes des deux derniers siècles (Chaumier, 2015, p. 14). Ainsi les

événementielles (réussite des premières réalisations avec le laboratoire ONERSOL, commande de la pompe de Chinguetti par la MIFERMA et publicité internationale par le hasard d'une éclipse solaire, etc.). Cette lecture cursive des activités de la Sofretes se situant dans la continuité des travaux des deux auteurs du chapitre, A. Marrec et P. Teissier (qui fut son directeur de thèse), elle ne prend toutefois pas en compte des éléments pourtant disponibles au moment de la rédaction de l'ouvrage, notamment dans Caille (2017) et Caille & Badji (2018). Nous ne pouvons pas discuter ici l'interprétation qui replace par ailleurs la Sofretes dans une « *division internationale du travail solaire* » et les « *projets coloniaux* » des « *politiques conservatrices* », à rebours de tous les témoignages et de toute la documentation que nous avons recueillis.

Images 9 et 10 – Pompe solaire thermodynamique Sofretes de Diagle (nord-Sénégal), 3 m3 /h – 40 m de relevage, en 1977 et en avril 2018

(Photo M. Jacquet-Pierroulet et F. Caille)

témoins et chercheurs impliqués ne se sont-ils nullement retrouvés autour d'un projet de « gardiens » autoproclamés d'une « mémoire » particulière, mais bien sur des objectifs de réévaluation historique et historiographique de l'énergie solaire thermodynamique et de sensibilisation aux enjeux des énergies renouvelables. Ce principe d'action, que n'a compris que progressivement la direction du Musée des arts et métiers, s'est révélé assez différent de celui d'autres associations avec lesquelles travaille le dit Musée en faveur de la préservation et de la réhabilitation de certains objets technologiques rares, qu'ils soient isolés ou en série[17]. Ce principe d'action était également différent des rares initiatives de sauvegarde patrimoniales touchant à l'énergie solaire en France, tel que le classement à l'inventaire complémentaire des monuments historiques et la rentabilisation touristique d'anciens sites expérimentaux, effectués notamment à Mont-Louis, Odeillo et Themis dans les Pyrénées-Orientales – certains sites n'étant pas qu'expérimentaux et toujours en activité et n'étant d'ailleurs que d'assez loin liés à la fourniture « d'énergie solaire » –, une opération qui a été longuement décrite dans la littérature spécialisée (Pehlivanian, 2012, 2014, pp. 615 et suiv.).

La démarche ici évoquée a donc offert l'originalité, connue et étudiée dans d'autres domaines anthropologiques, d'être en partie portée par ses propres acteurs historiques, des acteurs que l'on peut aussi qualifier jusqu'à un certain point de victimes, par le licenciement, le désarroi, l'incompréhension immédiate puis l'oubli historiographique jusqu'à nos jours de l'entreprise Sofretes. Cet état de fait a donné à la perspective socio-technique engagée une sorte de deuxième matérialité, humaine et sociale, très complémentaire de celle des matériels solaires eux-mêmes. Plus encore, il a conduit, par la très forte convergence d'avis des témoins survivants, à une prise de distance par rapport à un cadre de compréhension des énergies qui serait pacificateur et à visée patrimoniale, tel que celui de Themis décrit par Sophie Pehlivanian dans l'exemple précité, alors que cet exemple touche pourtant à un échec politico-scientifique retentissant. Le propos s'est ainsi démarqué d'un récit de consensus technico-scientifique optimiste – c'est-à-dire « non-anxiogène », selon l'expression la plus courante –, lequel reste dominant au sein de la muséographie scientifique, notamment pour des raisons de rentabilité et de séduction des publics (Bergeron, 2014). En cherchant à montrer une forme *d'énergie renouvelable oubliée* l'association s'est inscrite en rupture avec un rôle profond des musées de sciences de la seconde moitié du XXe siècle, un rôle dans lequel « *le lieu dissimule surtout tous les sujets évacués* » et dessine un cadre social et intellectuel d'interprétation légitime, au point parfois que l'on puisse même se demander si le musée n'a pas alors « *pour fonction de cacher ce qu'il occulte* » (Chaumier, 2011 et le très

17 Comme en témoignent les exemples montrés sur le site du Musée.

important paragraphe « L'exposition lieu de l'occultation », 2015, p. 16)[18].

Au final, il est possible de remarquer que la démarche de l'association PHESO a eu autant à voir avec une histoire des formes de conversions énergétiques qu'avec de nouvelles modalités de recherche participatives et contributives en matière d'histoire sociale des énergies. Le travail documentaire mené sur de nombreux terrains africains et en France – archivistique, de recueil d'entretiens audiovisuels et de sauvegarde matérielle – s'est trouvé en effet très proche des attentes de l'univers actuel des sciences ouvertes et citoyennes, « *Community-Based Research* » (Bocquet, 2020), « *boutiques des sciences* » (Piron, 2016), sciences participatives et contributives (Charvolin & *al*., 2007), ou construction de forums d'enseignements et de recherches universitaires transdisciplinaires « *Ressources et énergies* » (Barlett-Chase, 2004). À l'image de ces pratiques, la démarche visant à l'exposition d'une maquette de pompe solaire thermodynamique de village sahélien dans un musée central de l'histoire des sciences et techniques françaises s'est voulue en effet une contribution à la « conscientisation » des publics, et peut-être même à sa modeste échelle au retour des musées et des expositions technico-scientifiques à leur fonction originelle « *d'agora des choses* […] *au service de l'invention d'un avenir collectif* » (Chaumier, 2015, p. 18).

En matière de compréhension des choix socio-énergétiques, tel est peut-être le rôle que pourraient jouer la préservation et l'exposition des « objets solaires » par certaines formes de recherche-action. Envisagés sous l'angle d'un ensemble de matériels et d'expériences historiques en matière de mode de conversion énergétique, mais également d'utilisations concrètes, et de créations de « *communautés énergétiques* », dans les pays du nord comme du sud (Caille, 2020), ces objets pourraient parler de l'imagination et de l'invention des énergies, présentes, passées et futures. Leur conservation non pas seulement patrimoniale, au sens banal que le terme peut recouvrir et assimilable comme celui de « développement » à une « *machine antipolitique* » (Fergusson, 1990), mais au sens d'une mise en perspective sociocritique active, pourrait de la sorte participer d'une véritable muséographie des énergies renouvelables, laquelle demeure encore plus que balbutiante en France. Les très rares expériences ne disposent en effet que d'infimes soutiens, à l'image du petit Musée de la géothermie de Chaudes-Aigues, dans le Cantal, haut lieu européen de la géothermie de surface connu depuis des siècles, et où un moteur thermodynamique de la Sofretes fut installé pour test en 1980 par EDF pour

18 *A contrario* il serait possible d'appliquer à un objet comme le moteur de la Sofretes le même traitement que celui d'un objet du Musée du Quai Branly où se superposent « *les récits de ceux qui l'ont fabriqué, de ceux qui l'ont utilisé, de ceux qui l'ont révéré, de ceux qui l'ont collecté, de ceux qui l'ont apprécié, de ceux qui l'ont étudié, de ceux qui le regardent et de ceux qui ne veulent pas qu'il soit vu* » (Descola, 2007, p. 145).

de la production électrique sur les sources chaudes naturelles. En l'espèce, c'est de manière totalement artisanale, et avec l'aide bénévole d'un enseignant-chercheur en géologie de Lyon, que l'instituteur du village a finalement pu établir, il y a une dizaine d'années, un intéressant et inédit petit musée communal[19].

La muséographie participative et citoyenne des énergies pourrait également inviter à réinterroger leur historiographie. Dans le cas de l'entreprise Sofretes, cette dernière croise en effet celle des grands opérateurs publics-privés de ce qu'une partie minoritaire de la recherche française ose, depuis peu, appeler les « *infrastructures du capitalocène* », ou, plus prudemment, « *l'ordre électrique* », lequel a orienté depuis presque un siècle la structuration des territoires hexagonaux et les grands choix de mise en réseaux énergétiques (Lopez, 2019, p. 30). Or la muséographie peut à ce titre contredire ou déranger certains nouveaux *récits plus ouverts aux énergies renouvelables* dans lesquels ces opérateurs (grandes entreprises pétrolières, CEAER, ou EDF) tentent aujourd'hui de s'insérer, notamment par le financement de thèses, de soutiens à publications ou de numéros de revue[20]. Indépendamment de formes directes d'actions contre-historiographiques qui peuvent être constatées (par exemple difficultés d'accès aux archives de l'entreprise Sofretes transférées aux archives du CEA-CEAER à Cadarache, disparition des moteurs et matériels transférés à la même époque, etc.)[21], c'est ainsi qu'une forme d'orientation épistémologique et sociotechnique « *undercurrent* », ainsi que pourraient l'écrire certains de nos collègues anglo-saxons, peut être exercée.

Pour conclure

La langue anglaise dit bien l'importance des effets d'épistémè et de savoirs dans l'infrastructure énergétique, c'est-à-dire le pouvoir de l'énergie comme forme ultime et englobante de

19 Entretiens F. Caille, Pierre Brousse (ancien maire de Chaudes-Aigues) et Georges Bartomous (ancien instituteur, créateur du Musée de la géothermie) : 9 août 2019. Le moteur Sofretes a été démonté il y a seulement quelques années sans que jamais la commune ne puisse bénéficier du courant généré (pour éclairer la place du village par exemple), ni qu'elle soit informée des résultats. Elle avait pourtant accepté un détournement du captage qui alimente le petit établissement thermal sous régie municipale.

20 Voir comme exemple de ces relectures très « institutionnalistes » le numéro spécial de la revue historique du ministère de l'Environnement consacré à « *l'histoire des politiques de maîtrise des énergies en France* » : *Pour mémoire*, 15, 2015 : [URL : https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/PM_-_15.pdf]. On peut trouver également significative l'anecdote sur le « *vif débat* » chez des historiens souhaitant organiser un colloque sur les « *transitions énergétiques du Moyen-Âge à nos jours* », débat concernant « *le fait de solliciter une subvention du Comité pour l'histoire de l'électricité* » (émanation du groupe EDF) (Mathis & Massard-Guilbaud, 2019, p. 24). L'acceptation de la subvention est finalement accompagnée d'une introduction de l'ouvrage qui marque ses distances à plusieurs reprises avec ledit comité (pp. 8 et 25 notamment). Parmi les publications soutenues par ce comité on peut mentionner également la thèse de Sophie Pehlivanian (2014) et le collectif Bouvier & Pehlivanian (2013).

21 Visite aux archives du CEAER centre de Cadarache, F. Caille, 27 juin 2018.

la puissance ou du pouvoir tout court. Et l'on a ainsi rapporté que le propriétaire de la première usine moderne au monde, activée par une machine à vapeur construite par James Watt en 1776, année de la publication par Adam Smith de son ouvrage sur les causes de la richesse des nations, affirmait à ses visiteurs : « *I sell here, Sir, what all the world desires to have – POWER* » (Morris 2010, cité dans Urry, 2014). À l'heure où beaucoup de nos réalités, sinon toutes ou presque, dépendent du contrôle des principales sources d'énergies premières (fossiles et nucléaires), ou de la maîtrise technologique des convertisseurs des grandes forces naturelles inépuisables (Mitchell, 2017), il pourrait donc être important d'informer un plus large public de « *la faramineuse importance de l'énergie comme force intégratrice sous-jacente de toutes les autres modalités et institutions de la puissance moderne* » (Boyer, 2011, traduction de l'auteur, p. 5).

Car le parcours muséographique et historiographique des moteurs solaires de la Sofretes délivre peut-être au final deux leçons.

La première touche au jeu des oppositions qui, Michel Foucault l'a souvent montré, reproduisent et confortent au final les grands paradigmes de « savoir-pouvoir » au service de certaines formes de domination. Les oppositions solaire thermodynamique / solaire photovoltaïque, ou à une autre échelle énergie solaire /énergie nucléaire, ou plus récemment, dans une partie de l'historiographie, comme mentionné ci-dessus, « *solaire pour le sud* » / « *solaire pour le nord* », solaire « *colonial* » / solaire « *postcolonial* » (Tessier, 2015), peuvent de ce point de vue bien plus fermer qu'ouvrir les termes de comparaison et d'évaluation des modèles d'interprétation et de compréhension socio-énergétique du monde. Il est en effet impossible de se satisfaire d'une explication du délaissement des pompes thermodynamiques de la Sofretes et de la centrale solaire de Diré au Mali par des difficultés portant sur « *l'intégration de ces nouveaux procédés aux pratiques vernaculaires* », pour ne prendre que cet exemple très malheureux dans Jarrige & Vrignon, (2020, p. 297) – et qui a dû faire se retourner dans sa tombe le professeur nigérien Abdou Moumouni Dioffo[22]. Car à ce tribunal de l'histoire sans témoins ni archives, qui se réclame pourtant d'un souci environnementaliste, on a au final le sentiment que c'est bien la Sofretes, et toutes celles et ceux qui ont pu croire à des solutions énergétiques solaires thermodynamiques de petite puissance pour l'Afrique, qui se trouvent une nouvelle fois condamnés sans appel.

Le « pouvoir en matière d'énergies », lu dans l'esprit de l'expérience d'intégration muséale des réalisations de l'entreprise Sofretes, toujours à suivre Michel Foucault, est probablement en effet moins le fait d'une institution, d'une structure ou d'un différentiel

22 Voir l'article de A. Mouthon et le témoignage d'A.-M.. Wright dans le présent dossier.

dans le gain d'une ressource, que « *le nom que l'on donne à une situation stratégique complexe dans une société donnée* » (Foucault, 1976, p. 123). En d'autres termes, c'est en contrôlant la manière même d'en parler, d'en réaliser l'historiographie, d'en conserver des objets, d'y songer ou d'y faire réfléchir, que l'on contrôle aussi les énergies.

Reste, et c'est bien la seconde leçon plus subversive de l'exhumation historique de l'entreprise Sofretes et de ses réalisations, que les plus subtiles dénivellations de savoir-pouvoir en matière d'histoire des énergies, ou la « verdisation » accélérée des historiographies de la « puissance énergétique » les plus traditionnelles, ne peuvent rien contre la force matérielle des objets. L'histoire des moteurs solaires de la Sofretes n'est pas celle d'un modèle ou d'un projet. Elle est loin à ce titre des exemples auxquels s'accrochent même les partisans d'une réflexion technologique démystifiée, résiliente et décroissante, tels que les fameux dômes de Richard Buckminster Fuller, ou les travaux d'Alexander Pike, aussi intéressants soient-ils (Bihouix, 2019 ; Lopez, 2014). L'entreprise Sofretes témoigne d'une aventure industrielle solaire et africaine réelle, vécue comme telle par ses témoins. Elle fait part en même temps d'une option socio-énergétique – la thermodynamique de basse température –, certes limitée, mais fonctionnelle, et qui, ayant fonctionnée, doit être également considérée et étudiée comme telle. C'est en continuant de travailler à comprendre comment et pourquoi elle a pu être délaissée et dénigrée, en particulier dans les pays d'Afrique les plus ensoleillés, que l'on pourra sans doute mieux déconstruire, analyser et hiérarchiser les grands agendas énergétiques étatiques et technoscientifiques des dernières décennies.

Car comment ne pas penser aux remarques célèbres et prémonitoires de Georges Canguilhem se demandant, dès 1945, si le propre de l'histoire des sciences et techniques n'était pas de donner « *le sentiment de possibilités théoriques différentes de celles que l'enseignement seul des derniers résultats du savoir* […] *a rendu familières, sentiment sans lequel il n'y a ni critique scientifique, ni avenir de la science* » (Canguilhem, 1965, p. 101). On ne réduit pas à rien les dirigeables ou les « Zeppelins » parce que l'avion a ensuite été inventé, nous confiait un jour Jean-Pierre Girardier, alors que les relecteurs anonymes d'un article de synthèse (Caille, 2017) dévalorisaient fortement son témoignage. Alors pourquoi faudrait-il, parce que solaire photovoltaïque a considérablement progressé, nier les résultats d'une expérience solaire technologique et humaine pionnière ? C'est aussi en répondant à cette question, par-delà tous les bilans prospectifs, que pourra peut-être se réouvrir un jour une partie de l'histoire énergétique contemporaine.

Bibliographie

Afrisol (2017). *L'Afrique solaire* (Carnet de recherches) [en ligne]. [URL : https://afrisol.hypotheses.org].

Barlett P. F. & Chase G. W. (dir.) (2004). *Sustainability on campus : stories and strategies for change*. Cambridge, Mass. : MIT Press.

Bergeron Y. (2014). « Les liaisons dangereuses ou les relations troubles entre le politique et les musées canadiens ». *THEMA. La revue des Musées de la civilisation*, 1, pp. 127-140.

Bihouix P. (2019). « La transition énergétique peut-elle être low-tech ? ». *Revue internationale et stratégique*, n° 113/1, pp. 97-106.

Boyer D. (2011). « Energopolitics and the Anthropology of Energy ». *Anthropology News*, 52(5), pp. 5-7.

Boyer D. (2014). « Energopower : An Introduction ». *Anthropological Quarterly*, 87(2), pp. 309-333.

Boyer D. & Sezman I. (2014). « Breaking the impasse. The rise of energy humanities ». *University Affairs.ca*, 40 (March).

Boyer D. & Sezman I. (2017). *Energy Humanities. An Anthology.* Baltimore : Johns Hopkins University Press.

Bocquet B. (2018). « Les sciences en société : voies de la recherche et de l'innovation responsables ». *In* D. Uzunidis (dir.). *Recherche académique et innovation. La force productive de la science*. Bruxelles, Berne *et alii*., Peter Lang, pp. 203-250.

Bossy T. & Briatte F. (2011). « Les formes contemporaines de la biopolitique ». *Revue internationale de politique comparée*, vol. 18(4), pp. 7-12.

Bouvier Y. & Pehlivanian S. (dir.) (2013). « Les politiques publiques de l'énergie solaire ». *Annales historiques de l'électricité*, 11, décembre.

Caille F. (2017). « L'énergie solaire thermodynamique en Afrique. La Société française d'études thermiques et d'énergie solaire, ou Sofretes (1973-1983) ». *Afrique Contemporaine*, n° 261-262/1, pp. 65-84.

Caille F. & Badji M. (dir.) (2018). *Du soleil pour tous. L'énergie solaire au Sénégal : un droit, des droits, une histoire*. Chambéry-Dakar-Québec : Éditions science et bien commun [URL : https://scienceetbiencommun.pressbooks.pub/soleilpourtous/].

Caille F. (dir.) (2018). *Abdou Moumouni Dioffo (1929-1993). Le précurseur nigérien de l'énergie solaire.* Chambéry-Dakar-Québec : Éditions science et bien commun [URL : https://scienceetbiencommun.pressbooks.pub/abdoumoumouni/].

Caille F. (2020a). « Sortir des pensées (et des carburants) fossiles ? Éduquer aux énergies et à l'économie sociale et solidaire ». *In* J. Stoessel-Ritz & M. Blanc (dir.). *Comment former à l'économie sociale et solidaire*. Rennes : Presses Universitaires de Rennes, pp. 49-62.

Caille F. (2020b). « Mouchot – Girardier : deux trous noirs de la mémoire solaire » [en ligne]. Billet publié sur le carnet de recherche *Augustin Mouchot*, le 30/05/2020 [URL : https://mouchot.hypotheses.org/376].

Canguilhem G. (1965). *La connaissance de la vie*. Paris : Vrin.

Charvolin F., Micoud A. & Nyhart L. (dir.) (2007). *Des sciences citoyennes ? La question de l'amateur dans les sciences naturalistes.* Paris : Éditions de l'Aube.

Chaumier S. (2011). « Réinventer un modèle : des leçons du passé faisons table pleine ». *In* S. Chaumier & A. Porcedda (dir.). *Musées et développement durable*. Paris : La documentation française, pp. 155-169.

Chaumier S. (2015). « Le musée de science : agent de socialisation aux sciences ou acteur de changement ? Du musée temple aux sciences citoyennes ». *THEMA. La revue des Musées de la civilisation*, 2, pp. 10-22.

Compagnon A. & Saint-Martin A. (2019). « La technique : promesse, mirage et fatalité ». *Socio*, 12 (dossier « La technique y pourvoira ! »), pp. 7-25.

Deléderray-Oguey I. (2016). « Les musées industriels en Suisse et le Conservatoire national des arts et métiers de Paris, un modèle parmi d'autres ? ». *Cahiers d'histoire du Cnam*, 5, pp. 73-91.

Descola P. (2007). « Passages de témoins ». *Le Débat*, 5/147, pp. 136-153.

Edgerton D. (2013). *The Shock of the Old. Technology and global History since 1900*, 2006, trad. française *Quoi de neuf ? Du rôle des techniques dans l'histoire globale*. Paris : Seuil.

Fergusson J. (1990). *The Anti-Politics Machine : Development, Depolitization and Bureaucratic Power in Lesotho*. Cambridge : Cambridge University Press.

Foucault M. (1971). *L'ordre du discours*. Paris : Gallimard.

Foucault M. (1976). *La volonté de savoir*. Paris : Gallimard.

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

Girardier J.-P. (1995). « Les pompes solaires thermodynamiques et leur histoire ». *In* A. Herléa (dir.) (1995). *L'énergie solaire en France*. Paris : CTHS, pp. 127-143.

Gras A. (2013). *Les imaginaires de l'innovation technique. Regard anthropologique sur le passé dans la perspective d'un avenir incertain*. Paris : Éditions Manucius.

Hecht G. (2014). *Le rayonnement de la France. Énergie nucléaire et identité nationale après la Seconde Guerre mondiale*. Paris : Éditions Amsterdam.

Hecht G. (2016). *Uranium africain, une histoire globale*. Paris : Seuil.

Herléa A. (dir.) (1995). *L'énergie solaire en France*. Paris : CTHS.

Jarrige F. & Vrignon (dir.) (2020). *Face à la puissance. Une histoire des énergies alternatives à l'âge industriel*. Paris : La Découverte.

Latouche S. (2019). *La décroissance*. Paris : Que sais-je ? / Humensis.

Liébard A. (1985). *Et l'énergie solaire alors ? La montée en puissance des réalisations américaines*. Paris : Pyc Éditions.

Lopez F. (2019). *L'ordre électrique. Infrastructures énergétiques et territoires*. Genève : MetisPresses.

Macherey P. (2011). *De l'utopie !* Paris : De l'incidence éditeur.

Mathis J.-F. & Massard-Guilbaud G. (dir.) (2019). *Sous le soleil Système et transitions énergétiques du Moyen Âge à nos jours*. Paris : Éditions de la Sorbonne.

Marrec A. (2018). « Histoire des énergies renouvelables en France, 1880-1990 ». Thèse d'histoire, Université de Nantes.

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

Mohr A. (2018). « "Opening up" energy transitions research for development ». *In* B. Nerlich, S. Hartley, S. Raman & A. Smith (Eds.). *Science and the Politics of Openness : Here be Monsters*. Manchester : Manchester University

Press, chap. 8, pp. 131-147.

Pehlivanian S. (2012). « Les Pyrénées orientales et l'énergie solaire. Paysage et tourisme d'un patrimoine scientifique ». *In* C. Bouneau, D. Varaschin, L. Laborie & R. Viguié (dir.). *Les paysages de l'électricité. Perspectives historiques et enjeux contemporains (XIXe-XXIe siècles).* Bruxelles : Peter Lang, pp. 77-94.

Pehlivanian S. (2014). « Histoire de l'énergie solaire en France. Science, technologies et patrimoine d'une filière d'avenir ». Thèse d'histoire, université de Grenoble/université Savoie Mont Blanc.

Pehlivanian S. (2015). « Construire une histoire de l'énergie solaire. L'exemple d'une initiative originale d'une recherche solaire méditerranéenne ». *Rives méditerranéennes,* 51, pp. 121-134.

Piron F. (2016). « Les boutiques des sciences et des savoirs, au croisement entre université et développement local durable ». *In* F. Piron, S. Regulus & M. S. Dibounje Madiba (dir.). *Justice cognitive, libre accès et savoirs locaux. Pour une science ouverte juste, au service du développement local durable.* Québec : Éditions science et bien commun, pp. 305-324.

Poulot D. (2016). *L'art d'aimer les objets.* Laval : Presses de l'Université Laval-Hermann Éditions.

Rosental C. (2019). « Formuler des promesses technologiques à l'aide de démos ». *Socio,* 12 (dossier « La technique y pourvoira ! »), pp. 27-47.

Ruyer R. (1988). *L'Utopie et les utopies.* Paris : Gérard Monfort.

Scheer H. (2001). *Le solaire et l'économie mondiale : stratégie pour des temps modernes écologiques.* Arles : Actes Sud.

Sezman I. & Boyer D. (2017). *Energy humanities. An anthology.* Baltimore : John Hopkins University Press.

Teissier P. (2015). « Fours et maisons solaires de Mont-Louis-Odeillo. Interstices, intersciences et internationalismes de la recherche contemporaine ». *In* G. Boistel et S. Le Gars (dir.). *Dans le champ solaire. Cartographie d'un objet scientifique.* Paris : Hermann, pp. 181-219.

Urry J. (2014). « The problem of Energy ». *Theory, Culture & Society,* vol. 31(5), pp. 3-20.

Note

Le solaire au Musée des arts et métiers

Lionel Dufaux
Musée des arts et métiers, Cnam

L'arrivée récente d'un modèle de pompe solaire dans le parcours de visite du Musée des arts et métiers est l'occasion de s'interroger quant à la place de l'énergie solaire dans les collections de cette institution, tout en rappelant les principaux jalons qui ont ponctué l'histoire de la constitution de ce patrimoine.

Le solaire thermique

La pompe en question a été mise au point au début des années 1970 par Jean-Pierre Girardier (1934-2017), docteur en physique de l'Université de Dakar et fondateur, en 1973, de la Société française d'études thermiques et d'énergie solaire (Sofretes), entreprise d'économie mixte et de coopération scientifique constituée par les Établissements Pierre Mengin (constructeurs de pompes), l'Agence nationale de valorisation de la recherche et la Société française pour le financement de l'innovation. Il s'agissait alors de proposer une solution technique fiable et performante pour l'alimentation en eau potable de villages, d'exploitation agricoles ou de complexes touristiques. Près de quatre-vingt-dix installations solaires thermodynamiques ont été construites par la Sofretes en Afrique, au Mexique ou encore au Proche-Orient jusqu'à la disparition de l'entreprise, en 1983.

S'il n'était pas réaliste d'envisager la sauvegarde d'une pompe solaire de taille réelle pour des questions de propriété, de transport et de valorisation, le choix de représenter cet objet par l'intermédiaire d'un modèle réduit, spécialement exécuté pour l'occasion, renoue avec une tradition forte dans les collections du Musée des arts et métiers. Au-delà de la dimension mémorielle, cet objet s'inscrit dans un discours général axé sur la dynamique de l'innovation et centré, pour ce qui concerne la question de l'énergie, sur la notion de conversion de l'énergie.

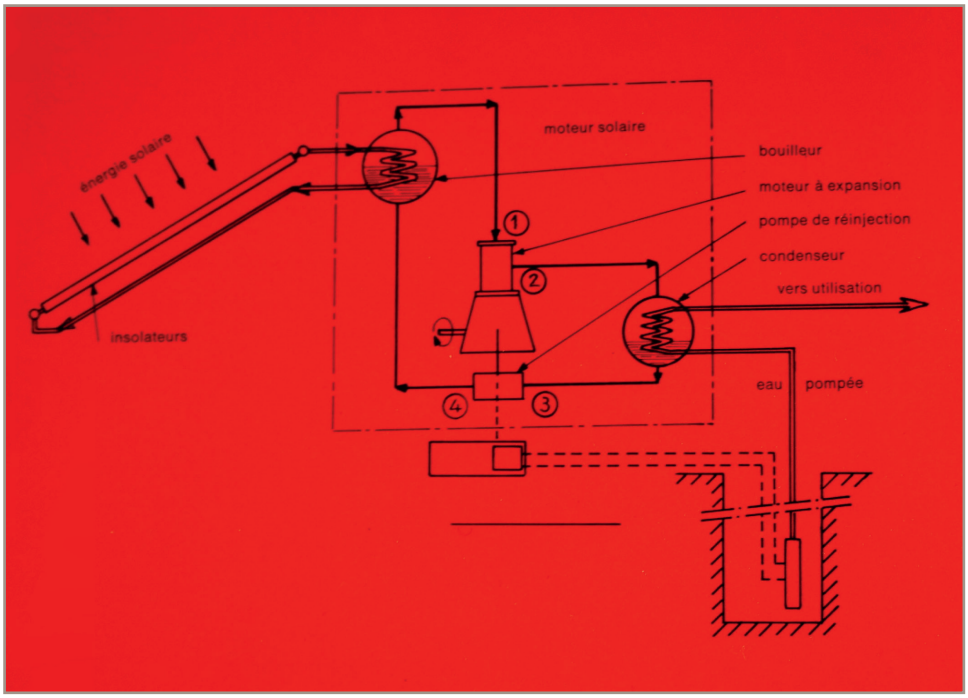


Image 1 – Schéma du principe de fonctionnement de la pompe solaire Sofretes, publié dans *De l'eau sous le soleil !*, Sofretes, 1974
Archives association PHESO, en ligne : [URL : https://afrisol.hypotheses.org/161]

La pompe solaire Sofretes repose en effet sur l'application d'un cycle thermodynamique particulier : le moteur de la pompe est pourvu d'un circuit d'eau fermé, dont le fluide est réchauffé dans un bouilleur à l'aide de la chaleur captée depuis une surface plane et foncée. Ce fluide passe ensuite dans un petit moteur à expansion puis dans un condenseur dans lequel circule l'eau pompée depuis le puits. Le fluide du circuit fermé, ainsi refroidi, est alors réinjecté vers le bouilleur où il sera à nouveau chauffé pour un nouveau cycle. En exploitant la différence de température d'une source chaude (l'eau du circuit interne chauffée par le Soleil) et d'une source froide (l'eau du puits), on établit un cycle analogue (mais inversé) à celui qui s'opère dans un réfrigérateur. Ce principe de fonctionnement, qui ne requiert ni électricité ni moteur à combustion, s'avère spécialement adapté aux zones désertiques, d'autant plus que la pompe, robuste, ne réclame qu'une maintenance limitée.

La présentation d'un modèle de pompe solaire fait naturellement écho à l'exposition d'un rare mais emblématique four solaire d'Augustin Mouchot (1825-1912) et Abel Pifre (1852-1928). Il s'agit également d'un modèle réduit, exécuté à

Image 2 – Energie solaire
Four solaire de Mouchot et Pifre, c. 1880, modèle au 1/3
Augustin Mouchot, 1825–1912, ingénieur et enseignant français, travaux sur l'énergie solaire.
Abel Pifre 1852–1928, ingénieur français qui a mis au point la première presse à imprimer solaire avec le four solaire.
© Musée des arts et métiers-Cnam, photo Franck Botté. Inventaire n° 09518-0000

l'échelle 1/3, représentant le générateur solaire expérimenté dans les jardins du Conservatoire des arts et métiers, et acquis pour les collections en 1880[1]. L'appareil se compose de trois éléments : un miroir réflecteur cylindrique ou parabolique plaqué d'argent, qui concentre les rayons du Soleil ; une chaudière en cuivre noirci installée au centre du miroir et contenant le fluide à chauffer ; une cloche en verre recouvrant la chaudière, destinée à emprisonner la chaleur. Professeur de mathématiques, Mouchot est un précurseur dans l'histoire de l'énergie solaire. Féru d'expérimentations physiques, il cherche à substituer aux combustibles habituellement employés dans l'industrie les rayons du Soleil. Il publie en 1869 *La Chaleur solaire et ses applications industrielles* et dépose, en 1871, un brevet pour une chaudière solaire. Le ministère de l'Instruction publique le

1 Numéro d'inventaire 9518.

charge de conduire une mission d'étude en Algérie et, associé au Centralien Abel Pifre, il construit un générateur solaire récompensé d'une médaille d'or à l'Exposition universelle de Paris, en 1878. Pifre fait l'acquisition des droits du brevet de Mouchot et ouvre, en 1879, un atelier de fabrication d'appareils solaires avant de fonder, en 1881, la Société centrale d'utilisation de la chaleur solaire. Il mène en 1882 un essai concluant dans le Jardin des Tuileries : un générateur solaire produit suffisamment de vapeur pour animer une presse Marinoni permettant d'éditer un journal, *Le Soleil*, au rythme de cinq exemplaires à l'heure, bien loin toutefois des exigences de la presse à grand tirage. Augustin Mouchot envisageait comme principales applications de son four la mise en marche de pompes élévatoires, la cuisson de denrées alimentaires ou l'évaporation de liquides. Si le générateur solaire intéresse savants et constructeurs, il demeure, à la fin du XIXe siècle, un dispositif à visée expérimentale, sans réelles utilisations industrielles.

Constitution et développement des collections

La thématique de l'énergie solaire est relativement peu présente dans les collections du Musée des arts et métiers. L'étude de la classification des collections, et en particulier le cadre structurant l'édition de 1851 du catalogue des collections, rappelle que la question de l'étude du rayonnement et de la chaleur du Soleil relève avant tout de la physique expérimentale. Plusieurs instruments de Claude Pouillet (1790-1868) témoignent ainsi des recherches conduites par ce savant, premier professeur de la chaire de Physique appliquée aux arts, créée en 1829. À la fin des années 1830, Pouillet, alors directeur du Conservatoire, met au point le pyrhéliomètre, instrument permettant de mesurer la chaleur émise par le Soleil. Il est intéressant de noter que le modèle de four solaire de Mouchot et Pifre n'est pas classé parmi les « machines motrices et réceptrices », mais rejoint les instruments de physique dédiés à l'étude de la chaleur.

Plus récemment, lors de la rénovation du Musée des arts et métiers, opérée entre 1992 et 2000, un module de panneaux photovoltaïques de la société française Photowatt a été acquis pour intégrer l'espace consacré à l'énergie, et plus particulièrement la période postérieure à 1950[2]. Le module comprend plusieurs cellules photoélectriques qui produisent de l'électricité à partir du rayonnement solaire. Ce dispositif est une application de l'effet photovoltaïque, découvert par Edmond Becquerel (1820-1891), qui sera également professeur de physique au Conservatoire ; il est présenté à l'Académie des sciences en 1839. Il faut toutefois attendre le milieu du XXe siècle pour que se développent les premières applications de ce principe, en premier lieu dans le cadre de la conquête spatiale et de la mise au point des satellites.

2 Numéro d'inventaire 43176.

Cette application somme toute tardive permet d'expliquer la proportion, relativement faible, d'objets liés à l'énergie solaire dans les collections du musée. Constituées dès la Révolution française selon un principe de représentation des inventions « neuves et utiles » à l'industrie, les collections se sont attachées, tout au long du XIXe siècle, à présenter des procédés scientifiques et des solutions techniques considérés comme pertinents pour les industriels du point de vue de leurs applications. Il ne s'est jamais agi de chercher à référencer tous les produits ou, pour rester dans la thématique de l'énergie, tous les générateurs, moteurs ou appareils de contrôle, mais bien de sélectionner, à l'appui de retours d'expériences, de recherches et de recension des besoins, des pièces significatives du point de vue de l'innovation. Or, le développement industriel s'est, du milieu du XIXe siècle jusqu'à présent, appuyé presque uniquement sur l'énergie thermique, très majoritairement produite à partir de ressources fossiles et fortement émettrices de gaz à effet de serre. Dans certains pays, notamment la France, cette part a été réduite par le recours massif, dès les années 1970, de centrales thermiques ayant pour source d'énergie un combustible nucléaire. Justifiée à l'origine pour des questions d'indépendance énergétique, cette décision n'est pas sans conséquences. Si, plus récemment, la part des énergies renouvelables a augmenté dans le mix énergétique de notre pays, force est de constater qu'elle reste largement minoritaire, et que l'utilisation de l'énergie solaire repose, pour l'essentiel, sur l'utilisation de panneaux photovoltaïques. Dans sa politique scientifique des collections, le Musée des arts et métiers ne se positionne pas comme un prospecteur d'inventions, ni comme le promoteur de telle ou telle solution technique, mais bien comme le reflet, le témoin, des choix politiques et économiques opérés par notre société. S'ajoute à cela la dimension généraliste du musée qui porte un regard global et transversal sur la technique, marqué par la notion d'innovation et s'inscrivant dans la complémentarité de musées techniques spécialisés ou de la valorisation de sites industriels par leur protection au titre des Monuments historiques. À cet égard, le modèle de four solaire et le module de panneau photovoltaïque rappellent, pour l'un, l'existence d'une filière solaire thermodynamique, récemment illustrée par une application plus récente avec le modèle de pompe solaire, et pour l'autre, l'application la plus massive du solaire, à savoir la production d'électricité photovoltaïque.

Depuis sa réouverture au public en mars 2000, le Musée des arts et métiers n'a cessé de se questionner sur ses collections, leur constitution, leurs développements futurs, et a engagé un vaste chantier touchant notamment sa politique d'acquisitions. S'appuyant sur plus de vingt ans de recherches sur l'histoire des collections, ces réflexions visent à inscrire les collections dans une dynamique qui respecte l'identité profonde du Musée, son approche généraliste des techniques et leur traitement transversal.

D'une manière générale, la politique d'acquisitions doit couvrir la totalité des thématiques couvertes par les collections. La conduite de la réflexion à l'échelle d'une seule filière se révélerait insuffisante et ne s'inscrirait pas dans la philosophie générale qui a présidé à la constitution des collections, visant à la mise en lumière des convergences, ou, au contraire, des divergences des filières entre elles, faisant le lien entre les procédés, leur mise en œuvre et leurs applications.

Les collections s'inscrivent dans une démarche dynamique, en particulier pour les actions de valorisation. Ainsi, outre l'arrivée du modèle de pompe solaire Sofretes, la présentation des collections Énergie s'est enrichie en 2018 du dépôt d'un modèle du Pyréolophore de Nicéphore (1765-1833) et Claude Niépce (1763-1828), premier moteur à combustion interne, expérimenté au tout début du XIXe siècle, tandis qu'un modèle de chaudière à charbon de type Stirling, de 1931, a retrouvé début 2020 les espaces du musée après une importante opération de restauration. Enfin, un projet de réaménagement de l'espace dédié à l'énergie après 1950 se focalise sur la très nette augmentation de la consommation d'électricité depuis les Trente Glorieuses, son impact en termes de distribution et de production, permettant de mettre en lumière à la fois la diversification des usages et l'évolution du mix énergétique.

Webographie

« Augustin Mouchot en 10 dates » [en ligne]. Billet publié le 20 mai 2020 sur le carnet de recherche *Augustin Mouchot* [URL : https://mouchot.hypotheses.org/315].

« 2019. Une autre histoire énergétique commence à s'écrire ! » [en ligne]. Billet publié le 18 janvier 2019 sur le carnet de recherche *L'Afrique solaire* [URL : https://afrisol.hypotheses.org/302]

Dossier de la maquette Sofretes [en ligne]. Site web du Musée des arts et métiers : [URL : https://catalogue.cnam.biblibre.com/cgi-bin/koha/opacdetail.pl?biblionumber=20920].

Article de recherche

La centrale de pompage thermo-solaire de Diré au Mali (années 1970-1980) : Éléments pour une évaluation sociotechnique

Alexandre Mouthon
Doctorant en science politique, Sciences Po Lyon, laboratoire Triangle-ENS Lyon

Résumé

L'objet de cette contribution est d'apporter des éléments empiriques et théoriques pour une évaluation renouvelée de l'intérêt sociotechnique et historique de la centrale solaire de Diré qui entra en fonction au Mali en 1979. Cette étude de cas, menée à partir de l'exploitation d'archives et de témoignages, propose de déconstruire « l'objet technique Diré » afin de démontrer que ses éléments transposèrent avec succès les objectifs sociaux du dispositif dans ses mécanismes. Puis, la machine solaire est replacée dans le contexte historique du projet de coopération de ses commanditaires (les États français et malien) notamment afin de ne pas faire l'amalgame entre « le prototype » et « l'opération », tout en saisissant leurs interactions. Enfin, la question de la nature des variables à convoquer pour l'évaluation de l'objet solaire est posée : variables sociales versus *éléments technico-économiques ?*

Mots-clés : énergie solaire ; sociotechnique ; coopération ; Mali ; Sofretes.

Abstract

The purpose of this contribution is to provide empirical and theoretical elements for a renewed assessment of the socio-technical and historical interest of the Diré solar power plant which began operating in Mali in 1979. This case study, conducted from the use of archives and testimonies, proposes to deconstruct "the Diré technical object" to demonstrate that its elements successfully transposed the social objectives of the device into its mechanisms. Then, the solar machine is placed in the historical context of the cooperation project of its sponsors (French and Malian states) not to mix "the prototype" with the "operation" while capturing their interactions. Finally, we question the nature of the variables to be summoned for the evaluation of the solar object: social variables versus technical-economic elements?

Keywords: solar energy; sociotechnical; cooperation; Mali; Sofretes.

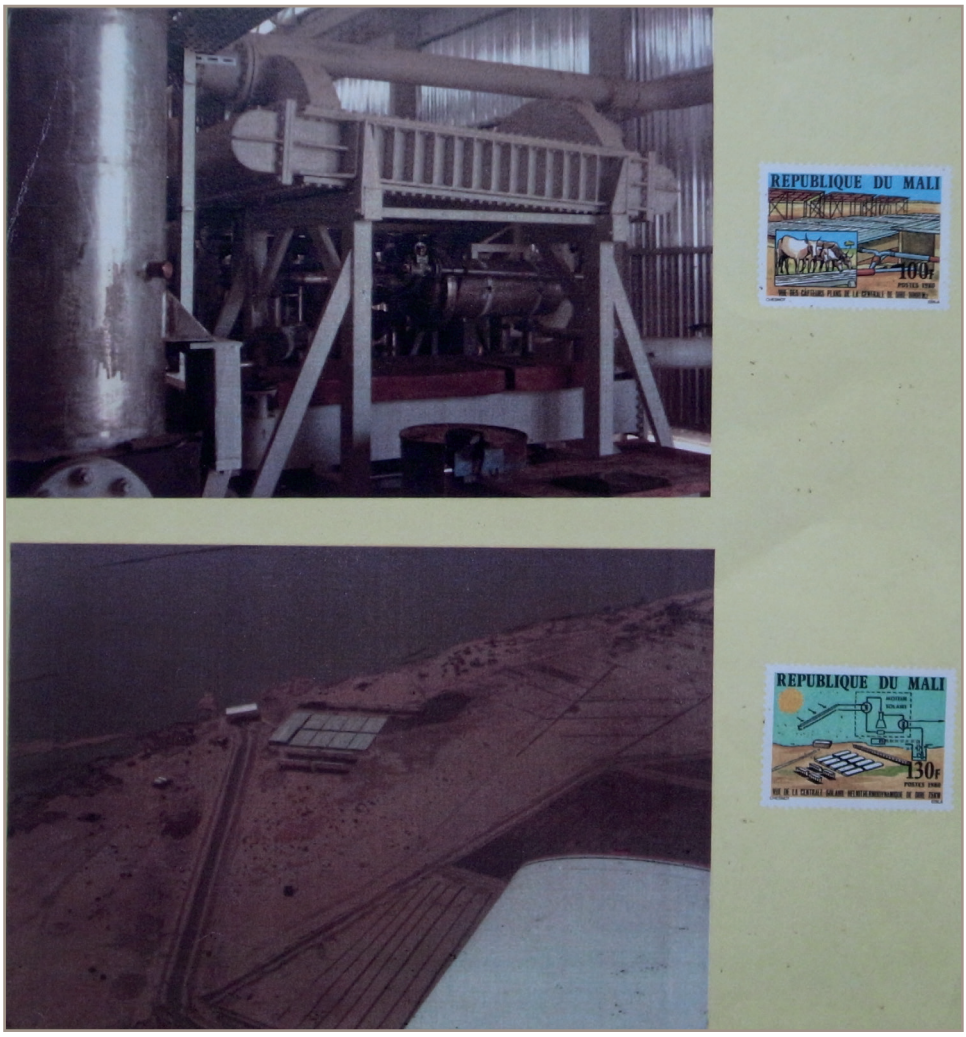


Figure 1 – Documents issus des archives personnelles de Jean-Pierre Girardier

En haut :
Photographie de la boucle thermodynamique de DIRE (1979-1980)

En bas :
Photographie vue aérienne de DIRE
avec au premier plan une fraction du périmètre à irriguer (1979-1980)

Sur la droite :
Timbres du Mali représentants la station de DIRE

De 1960 à 1963, le professeur de physique Henri Masson et le jeune ingénieur mécanicien Jean-Pierre Girardier mirent au point une héliopompe thermo dynamique basse température fonctionnelle à l'Université de Dakar. D'autres prototypes suivront jusqu'en 1969, date à laquelle le dispositif de capteurs solaires plans, couplé à un moteur à pistons via une boucle thermodynamique permettant la détente à basse température d'un fluide gazeux organique liquéfiable, fût installé au Niger, en conditions réelles, hors laboratoire. En 1973, Girardier, devenu entre-temps un industriel à la tête des Établissements Pierre Mengin, développa l'objet technique avec une filiale aux capitaux mixtes, la SOciété FRançaise d'Études Thermiques et d'Énergie Solaire (Sofretes). Il lança alors la production d'un moteur solaire dans les ateliers de Mengin, le MGS 2000, tout en lui adaptant une hydropompe Mengin, issue de l'activité historique de l'entreprise (pompes d'exhaure, assainissement, chaudronnerie, etc.).

C'est ce MGS 2000 qui équipa la fameuse « héliopompe-station de village Sofretes » dont la maquette est entrée au Musée des arts et métiers de Paris en décembre 2018[1]. En effet, les installations de MGS 2000 se multiplièrent au cours de la décennie 1970 sous la forme de stations de pompage solaire aux usages sanitaires et pastoraux dans des villages des régions arides d'Afrique, d'Amérique latine, d'Asie et du Moyen-Orient. Dès les premières mises en fonction en 1973-1974, le gouvernement mexicain commanda une station solaire capable de fournir de l'électricité à un dispositif de pompage d'eau potable (Caille, 2017).

Ainsi, dans un temps très court au début de la décennie 1970, et en réponse à une demande sociale, la trajectoire sociotechnique du solaire thermodynamique à faible gradient de température s'est considérablement transformée. La Sofretes dut assurer la fabrication et l'amélioration du moteur solaire à piston MGS 2000, et concomitamment, développer une installation mixte de fourniture d'électricité et de force motrice. Ce qui fut réalisé en deux étapes. La première à San Luiz de La Paz, au Mexique, à la fin de l'année 1975, avec la mise en route d'une centrale électro solaire de pompage pour l'adduction d'eau potable, et la seconde au Mali, en 1979, avec la mise en service de la station de Diré, pour l'irrigation de vastes périmètres agricoles.

Si une maquette du MGS 2000 est entrée au Musée des arts et métiers afin de combler un oubli important dans la mémoire énergétique et sociotechnique, l'intérêt historique de la centrale de Diré – la plus grande centrale solaire thermodynamique au monde, fonctionnelle en 1979 – ne soulève-t-il pas, lui aussi, un enjeu mémoriel ? Diré fut avant tout la proposition d'un instrument original, utile à l'agriculture, issu d'une longue filiation d'expérimentations solaires (Caille,

1 Voir les textes de F. Caille et L. Dufaux dans ce volume.

2018, 2017 ; Herlea, 1995)[2]. Les *Cahiers d'histoire du Cnam* et le Musée des arts et métiers semblent être les lieux opportuns (et nécessaires ?) pour penser et évaluer cette proposition sociotechnique solaire disparue qui résonne particulièrement avec les propos tenus par l'Abbé Grégoire le 29 septembre 1794 dans son Rapport sur l'établissement d'un Conservatoire des arts et métiers : « *On y réunira les instruments et les modèles de tous les arts, dont l'objet est de nourrir, vêtir et loger. L'agriculture a le droit d'aînesse, elle aura la première place : viendront ensuite les genres d'industrie qui lui sont contigus, et surtout les modèles de moulins les plus perfectionnés, cette partie est peu avancée, et toutefois l'art de convertir le blé en pain influe puissamment sur la santé* »[3]. Durance précise dans son édition commentée du Rapport Grégoire que le projet de Conservatoire qu'il appelle de ses vœux repose sur plusieurs principes dont la priorité à accorder aux arts qui sont avant tout utiles à la société humaine, quels que soient leur origine ou leur objet. Le Conservatoire doit répondre à cette nécessité en dirigeant les sciences « *vers un but utile* », poursuivant un objectif de « *prospérité physique et morale de la République* » (Durance, 2010, pp. 16-17).

L'objet de cette contribution est d'apporter des éléments empiriques et théoriques pour une évaluation renouvelée de l'intérêt sociotechnique et historique de la centrale solaire de Diré. En creux, cette étude de cas voudrait participer à la réflexion plus largement développée par Frédéric Caille sur la place de l'énergie solaire au musée, attesté par le présent dossier.

Notre propos sera structuré en trois temps. Tout d'abord un important travail de dépouillement d'archives privées, de consultation de fonds publics ministériels, et de recueil de témoignages des principaux acteurs de Sofretes permet aujourd'hui d'écrire une histoire matérielle de « l'objet technique Diré ». En ouvrant la machine, les principaux segments techniques du dispositif seront caractérisés dans leurs trois dimensions, étroitement imbriquées les unes aux autres : leur conception, leur construction, et leur fonctionnement. En effet, la spécificité de la machine solaire Sofretes résidait dans la relative autonomie de ses éléments, qui la rendait modulable. Les pièces assemblées furent, pour partie, détournées d'autres fonctions et dispositifs, voire même modifiées, pour satisfaire les objectifs d'une technologie au fort potentiel d'appropriation (Dunn, 1978). Il faut donc proposer une déconstruction de l'objet qui corresponde à la manière avec laquelle il fut inventé, puisque notre méthode consiste à ne pas tenter de faire entrer de force la machine dans une grille analytique préconçue, mais bien plutôt l'inverse. À l'issue de ce

2 Voir notamment les travaux de Caille, 2017, 2018, et le présent volume.

3 Convention nationale, Instruction publique, *Rapport sur l'établissement d'un Conservatoire des arts et métiers, par Grégoire*, Séance du 8 vendémiaire, l'an 3 de la République une et indivisible. *In* : Durance, P. (2010). *Rapport sur l'établissement d'un Conservatoire des arts et métiers, par Grégoire (septembre 1794*). Conservatoire national des arts et métiers. Édition commentée, p. 42.

déroulé, l'instrument solaire de pompage à des fins d'irrigation agricole en plein Sahel n'apparaît plus comme orphelin, comme isolé, mais bien au contraire comme une solution pratique parfaitement intégrée. Les choix technologiques furent faits en liaison avec l'offre industrielle du moment, mais ils furent également le fruit de l'épaisseur historique d'installations solaires passées. L'unité solaire phototypique de production de Diré (Mali) entra en fonction à l'été 1979, et l'installation fonctionna convenablement, pendant presque deux ans, en attendant l'achèvement des travaux de génie agricole et l'organisation de la maintenance, qui n'aboutiront jamais[4]. Sa conception, comme nous le montrerons dans un deuxième temps, répondait de près aux enjeux sociaux du terrain ainsi qu'aux politiques de coopération engagées sur la zone depuis près de 5 à 6 décennies. Si l'arrêt et l'abandon de la machine solaire ne furent pas causés par un mal-fonctionnement (ce sont les dysfonctionnements globaux d'un projet développementaliste qui altérèrent sa pérennité : des raisons sociopolitiques, donc[5]), les critères classiques d'évaluations technicoéconomiques des convertisseurs énergétiques, comme nous le montrerons dans un troisième et dernier temps, furent invoqués pour justifier la mise à l'index de cette potentielle filière technique. La nature de ces arguments rend assez peu compte de l'existence sociale de la machine.

Dans la machine : un objet technique solaire original

Raconter la machine de Diré, c'est raconter un outil conçu dans un objectif éloigné de celui des intérêts de la haute-technologie, à savoir établir et contrôler des différentiels marchands de dépendance et de domination (Fridenson & Griset, 2013). Nous considérerons ici Diré vue du bureau d'études, de l'atelier, du site de montage, et de la communauté villageoise des bords du fleuve Niger, en laissant volontairement de côté la dimension politique de l'objet sociotechnique vu des ministères et des sièges sociaux des firmes transnationales[6]. Posons plutôt comme point de départ une constatation empirique cruciale et écartons d'entrée un malentendu : le prototype de machine solaire installé à Diré fonctionna à vide

4 Le site de la centrale de Diré est aujourd'hui en ruine. Seule la suprastructure des installations émerge des sables. Les matériaux des capteurs ainsi que la machinerie ont disparu, vraisemblablement recyclés par les populations. Le site fait l'objet d'une redécouverte par de jeunes maliens, notamment via un travail associatif entre des Maliens de la diaspora française et le Mali. Daouda Maïga a réalisé un témoignage photographique (2014) et vidéographique (2017) sur place, consultables en ligne [URL : https://fr.slideshare.net/daoudamaiga750/centrale-solaire-de-dir-au-mali] ; [URL : https://www.youtube.com/watch?v=PLTZtyIW_3M&feature=emb_logo] ; [URL : https://www.youtube.com/watch?v=xbWsnUHP2ME&feature=emb_logo].

5 Ces aspects sont développés dans notre en thèse de doctorat en cours.

6 Nous renvoyons ici à notre thèse de doctorat dont l'un des objectifs est justement de mener cette analyse politique de l'objet sociotechnique.

de l'été 1979 au courant de l'année 1982. En effet, les tractations entre partenaires et les tentatives de la Sofretes pour maintenir la viabilité du projet dans son ensemble perdurèrent vraisemblablement jusqu'en 1983-1984, années de sa liquidation. La station de pompage fut mise en route avec succès, mais non le programme agricole d'irrigation attenant, qui, lui, resta inachevé. L'eau pompée retournait en partie dans le fleuve, faute d'aménagements pérennes nécessaires. Les populations locales ne purent donc pas en bénéficier longtemps (seulement en 1980-1981, *cf. infra* partie III) et le prototype ne fut pas exploité à la hauteur de ses grandes espérances. Nous relatons dans cet article les faits seulement liés à l'existence fonctionnelle de la pompe solaire, qui, et nous insistons fortement sur ce point, était un prototype[7]. En tant que tel, il ne peut pas être appréhendé dans l'esprit qui prévaut souvent à l'évaluation technico-économique d'une dite filière, à savoir établir un constat de viabilité sur le moyen-long terme. Le succès potentiel d'un projet comme Diré ne repose pas seulement sur le bon fonctionnement de « la machine solaire », et inversement. En l'occurrence ici, le prototype n'eut aucune chance de révéler ses potentiels. Cela doit-il les écarter de notre mémoire pour autant ?

Quelles furent donc les caractéristiques de la machine capable de pomper l'eau du fleuve Niger en convertissant la chaleur du soleil en force mécanique ?

Concevoir l'objet solaire pour la performance sociale

Fin 1975, l'équipe R&D de Sofretes responsable des projets de stations de moyennes puissances (25-100 kW), dirigée par Jean-Paul Durand, ingénieur détaché du Commissariat à l'Énergie Atomique (CEA), venait d'achever la centrale électro-solaire prototypique de moyenne puissance de San Luiz de La Paz au Mexique (30 kW)[8]. Elle se lança dans la conception de celle de Diré (75 kW) pendant l'année 1976, en vue d'un usinage en 1977, et du montage sur site en 1978. Comme pour les stations de pompage, sanitaires et pastorales, équipées du moteur solaire MGS 2000 de 1 kW, il s'agissait de convertir la chaleur solaire grâce à un cycle de Rankine qui convertit un faible gradient de température en un mouvement alternatif et/ou

7 Les faits nous sont relatés par les témoignages des employés de la Sofretes présents sur place à l'époque, tout comme ceux du CEA. De nombreuses photographies les appuient. L'inauguration politique de la centrale en 1979 acta de sa mise en route et non pas du constat d'un prototype défectueux (*cf.* deuxième partie du présent article). Des rapports et des notes internes des services administratifs et des ministères engagés dans son suivi (de 1975 à 1984) rendent compte du bon fonctionnement de l'unité solaire de la centrale mais aussi des difficultés rencontrées par le projet de coopération en lui-même. Dans les faits, la distinction entre « la machine » et « le projet » est clairement établie. Archives nationales. Ministère de la Coopération. 20000231. Cartons 16 et 17. Dossiers « correspondance » et « avancement ». Nous citerons plus loin des extraits de documents officiels (*cf.* troisième partie).

8 Cette centrale fait l'objet d'une analyse plus approfondie dans notre thèse.

circulaire[9]. C'est sur le moteur qu'une pompe ou un générateur de courant électrique peuvent être connectés. La différence fondamentale entre une unité MGS 2000 et une centrale de moyenne puissance comme San Luiz ou Diré réside dans la surface d'insolateurs (ou capteurs plans[10]) installée, dans leur conception, et dans le type de moteur utilisé. Les objectifs poursuivis avec des unités de 1 kW ou de 30 kW et plus furent les mêmes. Ils se traduisirent dans le cahier des charges. Il fallait que la machine fonctionne en autonomie maximale pour répondre aux besoins fondamentaux et immédiats des villageois ; que les matériaux utilisés soient simples à trouver, à manipuler et à assembler ; que les pièces soient robustes et rudimentaires ; que l'appareil soit facile à maintenir en fonction moyennant une formation technique très basique (les ouvriers de Mengin disaient de la machine qu'elle n'était pas plus difficile à maintenir en état qu'une automobile de base de l'époque) ; qu'il soit donc aisé de transférer aux populations sa maintenance et la fabrication d'un maximum d'éléments en commençant par les capteurs plans ; que la machine soit ouverte pour faciliter les interventions ; que les populations soient associées à son montage (génie civil, assemblage des capteurs) et à son existence (mise en place d'un collectif de gestion de l'eau payante par exemple).

En bref, il s'agissait d'un objet à la technologie pour partie appropriable (Dunn, 1978), destiné à satisfaire les besoins ruraux des populations sahéliennes parmi les plus pauvres du monde, et ce, dans des conditions extrêmes : durée d'utilisation très longue (à l'échelle de plusieurs décennies) ; éloignement des centres urbains et des infrastructures de transports ; résistance à l'acheminement chaotique et à la manutention brutale, aux vents qui déplacent et déposent du sable (ce qui limite considérablement les performances des cellules photovoltaïques), à l'absence de maintenance régulière, à un ensoleillement considérable, ultra-régulier, mais sous un ciel voilé, typique du Sahel (qui proscrit l'usage de la concentration) ; fonctionnement avec une source froide en moyenne à 25-30 °C et une source chaude entre 60-90 °C.

Le point d'orgue du dispositif est ce qui le différencie fondamentalement des convertisseurs thermiques alimentés par des fossiles : comme pour eux, il y a une machine qu'il faut construire, acheter, vendre, et qui peut tomber en panne, mais il n'y a pas de carburant, ni à acheter, ni à acheminer. Comme pour tous les convertisseurs thermiques, le rendement mathématique théorique du cycle thermodynamique global (pas du moteur) est faible, mais cela n'a aucune importance car on ne peut pas gaspiller et manquer de ce que l'on n'a pas à monopoliser et à stocker : la chaleur solaire, illimitée et partout disponible (Caille, 2017). La dépendance à la source, et à ceux qui la contrôlent, est donc absente ; seule perdure

9 « Alternatif » dans le cas d'un moteur à piston et « circulaire » dans le cas d'une turbine.

10 Les termes « insolateur plan » ou « capteur plan » désignent le capteur qui récupère la chaleur solaire à plat en opposition aux capteurs de forme parabolique par exemple.

la dépendance à la machine qu'il convient de réduire au maximum. Il devient non pertinent de comparer les prix (qui ne reflètent pas les coûts sociaux) entre convertisseurs conventionnels et prototypes solaires, puisque par définition, l'incommensurabilité est évidente : un groupe Diesel en 1975 est un produit de série, sans aucun point industriel et commercial commun avec un prototype. Il en est de même pour ladite puissance qu'il convient de ne pas ériger ici en argument central de l'évaluation des performances de la machine car la plupart des besoins à satisfaire des populations sahéliennes requièrent la transformation de faibles températures. Obtenir de la force motrice avec un différentiel de 30 °C est un service rendu adéquat. S'il s'agit d'une performance, c'est au sens social du terme. En effet, assurer la transformation d'un gradient naturel de température aussi faible ouvre d'importantes perspectives de justice sociale puisqu'il se capte aisément partout au Sahel. Le challenge fut de proposer l'objet pour accéder à sa conversion. Le piège de l'évaluation technique est de soumettre l'artefact à une grille de variables d'efficacité et de performances prédéterminées, dans laquelle il conviendrait de le faire entrer ; par contre, ce type d'évaluation est une tactique utile pour disqualifier une proposition concurrente. L'écueil réside dans la croyance qu'une solution unique (un type de convertisseur particulier) existerait à tous les problèmes énergétiques (chauffer, refroidir, mettre en mouvement).

Notre analyse sociotechnique de Diré se propose au contraire de partir de « l'objet total » pour en élaborer une grille d'évaluation *ex ante* et non *ex post* fondée sur sa capacité à atteindre les objectifs sociaux visés[11]. La station solaire de Diré fut élaborée pour être installée au Mali, entre Mopti et Tombouctou, en rive gauche du Niger, dans son delta intérieur. Le dimensionnement envisageait la possibilité d'irriguer des périmètres de 100 hectares et plus. Comme nous l'avons écrit plus haut, afin d'assurer le service rendu aux paysans maliens avec le moins d'incertitudes possibles, le dispositif associait deux moteurs Diesel, totalement indépendants du système solaire. Pour atteindre 75 kW, deux moteurs de 25 kW entraînaient les pompes, tandis qu'un autre moteur de 25 kW actionnait l'alternateur et les périphériques des boucles thermodynamiques. Le fait de pouvoir pomper l'eau de la source froide directement dans le fleuve évitait de détourner le volume nécessaire au refroidissement du condensateur du volume d'eau pompé dans un puits, et ainsi

11 Notre présentation de la machine reprend les informations fournies par le dossier des Archives nationales : Ministère de la Coopération. 20000231. Carton 16. « Dossier de présentation technique du projet Diré », document confidentiel, 14 février 1977, recoupées avec les témoignages, écrit et oraux, de Jean-Pierre Girardier (Président Directeur général et fondateur de Sofretes), Jean-Paul Durand et Max Clémot (ingénieurs CEA détachés à Sofretes), ainsi que de Thierry Alleau (ingénieur CEA). Des documents techniques internes à Sofretes, issus des archives personnelles de Jean-Pierre Girardier, ont également été compilés, notamment la version auteur de son intervention en 1993 au Colloque « L'énergie solaire en France », dont les actes furent publiés sous la direction d'Alexandre Herléa (1995).

permettait d'augmenter le rendement global de la machine. Ce qui n'était pas le cas d'une installation fonctionnant uniquement sur un forage dans laquelle un circuit secondaire déviait une partie de l'eau remontée en direction du condensateur. À Diré, l'eau était pompée dans le fleuve et dans le forage, à un débit journalier de respectivement 9 000 m^3 destinés à l'irrigation, et de 600 m^3 pour l'approvisionnement en eau de la ville de Diré, en tenant compte de la future croissance induite par le développement de l'agriculture vivrière (solde migratoire et solde naturel).

Comme nous le verrons plus loin, et c'est central, il ne s'agissait pas d'un projet d'agriculture commerciale et exportatrice. C'est d'ailleurs dans cet esprit qu'un groupe frigorifique fut intégré au complexe, produisant 30 000 frigories par jour à une température de 4 °C afin de conserver les denrées périssables.

La fourniture d'électricité permettait également d'éclairer le complexe en fin de journée et en début de nuit. Globalement, la moyenne journalière d'énergie produite atteignait 450 kWh. La surface de collecteurs solaires plans correspondante s'élevait à 3 200 m^2. La température de l'eau chaude arrivait à l'évaporateur à une température moyenne de 95 °C. Dans cette région aride et désertique, l'aménagement du territoire ne comportait pas d'infrastructures. Les densités humaines étaient faibles. L'espace ainsi disponible permettait d'envisager une mise en valeur des terres sans limitation de place, mais en tenant compte de l'avancée du désert dont les origines sont anthropiques. Nous reviendrons sur ce dernier point.

Dans ce système, l'eau était au cœur du dispositif, autant que le soleil. Elle était une fin à la machine mais également son moyen. Il s'agissait de la pomper en l'utilisant comme fluide caloporteur pour transformer la chaleur solaire en chaleur transférable aux boucles de conversion qui permettaient alors la vaporisation du Fréon au contact de l'eau chauffée à 95 °C. La pression ainsi obtenue par l'évaporation de ce fluide entraînait un moteur par détente du gaz qui était ensuite, en sortie, liquéfié dans un condenseur pour être réinjecté dans la boucle, permettant ainsi classiquement au cycle de s'auto-entretenir. Les cycles de l'eau et du gaz étaient séparés et fermés. Seul le troisième cycle, celui de l'eau froide qui venait refroidir le condenseur avec l'eau pompée était ouvert. Ce que le système perdait en rendement global au niveau du transfert de chaleur à chaque intermédiaire, il le gagnait en stabilité et en sécurité, sans remettre en cause le fait que de l'eau était bien pompée en bout de chaîne.

Des segments techniques modulables pour une machine solaire cohérente

Il est maintenant pertinent de s'intéresser plus en détail aux différents éléments du système qui agence des objets de transfert thermique et des objets

mécaniques en contact avec les radiations solaires, l'eau, et le fréon.

« Capteurs » et « collecteurs » sont les termes généralement employés pour désigner la surface plane exposée au soleil qui récupère sa chaleur en la transférant à de la matière. Ces collecteurs sont donc des échangeurs de chaleur. Pour ceux de Diré, l'équipe R&D Sofretes tira parti de ses expériences antérieures, de premiers essais à Dakar au début des années 1960, aux installations d'unités de 1 kW au début des années 1970, au Niger, au Mali, en Mauritanie, au Mexique, en Haute-Volta, au Sénégal, etc. Elle bénéficia en outre d'apports de Renault et du CEA.

Le recoupement des témoignages des ingénieurs détachés du CEA à Sofretes, de chefs monteurs, celui de Girardier, des documents issus de ses archives privés, notamment un descriptif technique des capteurs daté de juin 1977 (illustré par un schéma Renault), le brevet n° 7707269 déposé par Renault le 11 mars 1977, et les « fiches produits » Renault, nous permettent de décrire avec précision le principe modulable qui fut retenu pour Diré, mais qui fut pensé pour toutes les futures stations Sofretes[12].

Le réseau de capteurs de la station interconnectait des modules plans à assembler sur place, après usinage des éléments dans les ateliers Mengin. L'eau chargée d'un inhibiteur de corrosion circulait dans des tubes qui pouvaient être en acier inoxydable, en cuivre, en aluminium, etc., exposés au soleil. Le transfert de chaleur s'effectuait par contact métallique en apposant sur une plaque thermo-conductrice la surface des tubes. Afin de maximiser le transfert de calories, d'éviter la corrosion, de minimiser les gestes techniques ainsi que les coûts de fabrication et de montage, les tubes étaient sertis sur toute leur longueur et sur toute leur surface (sur un angle d'au moins 340°), et non pas soudés – évitant ainsi la présence d'humidité aux jonctions, puisque le tube était enveloppé à l'abri de l'atmosphère. Ainsi, les problèmes de corrosion par couple galvanique étaient écartés. En effet, souder demande un apport de matière, d'outillage, de savoir-faire, et restreint les associations de métaux possibles telle celle de l'acier (pour les tubes) et de l'aluminium (pour la plaque), pourtant ici enviables par leurs caractéristiques physiques (propriétés thermiques, résistance à la corrosion, poids) et sociales (faible prix, bonne disponibilité, accès facile). Ce choix était d'autant plus pertinent que l'objectif de faire réaliser à terme les capteurs par la population locale impliquait bien d'avoir recours à des matériaux communs et des outillages rudimentaires propres aux régions isolées sans industrialisation. Les plaques étaient donc pré-embouties en gorges devant accueillir les tubes dont les parois étaient serties grâce un outil mécanique à molette rudimentaire spécifiquement dédié au sertissage manuel sur place

12 Archives privées Sofretes. « Fiches produits » Renault des pompes solaires Sofretes. La Régie Renault intervint car elle était actionnaire des Établissements Pierre Mengin depuis 1975, au même titre que le CEA.

lors du montage. Ce procédé permettait de diminuer la quantité de matière nécessaire au minimum, tout comme d'en limiter le poids, et de faciliter le transport en restreignant l'encombrement des piles de plaques emboîtées les unes dans les autres, pour atteindre, avec le minimum de dégâts, ces régions difficiles d'accès. Ces considérations étaient déterminantes puisque la surface des collecteurs représentait un des postes les plus importants du coût en génie civil, en transport et en matériaux. Le brevet Renault spécifie bien que de tels échangeurs, s'ils sont parfaitement conçus pour devenir des capteurs solaires, peuvent servir d'autres machines, notamment « *de radiateurs de chauffage fonctionnant suivant le cycle thermique inverse* »[13].

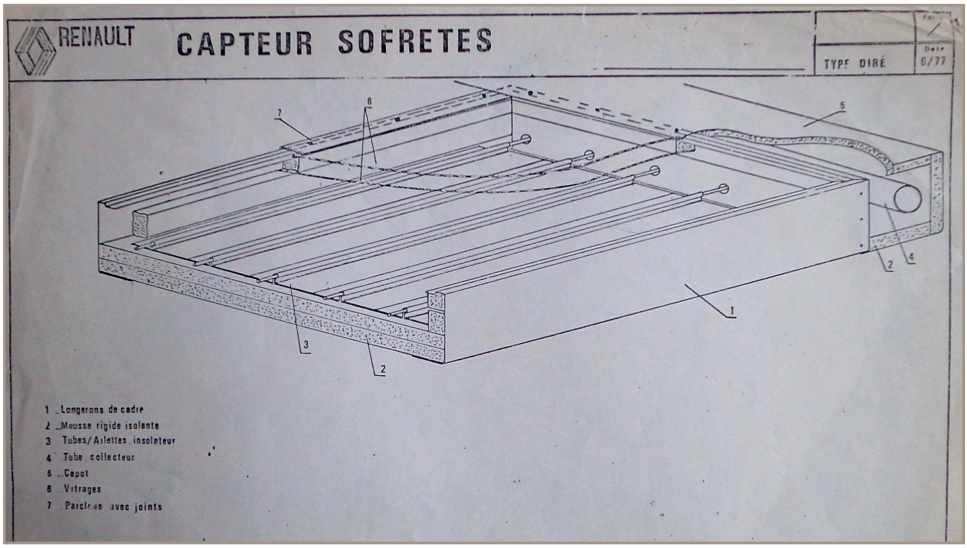
De leur côté, les équipes du CEA mobilisées pour épauler la Sofretes mirent au point un revêtement sélectif (une couche à fort pouvoir absorbant) pour la tôle support compatible avec les ailettes (en cuivre ou en aluminium par exemple) pour sertir les tubes, qui permit d'élever la température de surface à 150 °C. Une telle augmentation permettait de transformer 1/3 de chaleur en plus, à surface égale, que ne l'autorisaient les capteurs de première génération. L'insolateur était ainsi constitué de 5 tubes élémentaires en acier étiré à froid sans soudures, reliés à chaque extrémité à des tubes nourrices (qui desservent en général deux capteurs côte à côte) par l'intermédiaire de raccords hydrauliques mécaniques en acier, sans joint en caoutchouc. Les effets recherchés étaient d'autoriser les dilatations, de favoriser une grande tolérance de fabrication et de montage, de faciliter le transport et la manutention, et de moduler la taille des capteurs selon les impératifs du terrain. La logique poursuivie était d'optimiser le rapport rendement/coût mais également de s'adapter aux toitures habituellement réalisées par Sofretes.

C'est là un autre point crucial : la station hébergeait certes un convertisseur, mais elle était une infrastructure complexe, dans laquelle la transformation de la chaleur solaire était intégrée à l'architecture de bâtiments pouvant être utilisés pour d'autres fonctions complémentaires. Rappelons que le projet Diré n'était pas seulement celui d'une « centrale », mais également celui d'une coopérative agricole (parcelles, entrepôts, frigos, etc.), d'un réseau d'adduction d'eau potable, et d'un gîte touristique.

Ainsi, le dimensionnement du capteur standard sur lesquels les tests de rendement furent menés au CEA en ensoleillement naturel sur le site de Cadarache, et qui servit de base pour la station de Diré, se présente comme suit. Une unité de 6 350 mm de long, par 750 mm de large, et 145 mm d'épaisseur permet d'obtenir une surface active de 4 mètres carrés avec un volume d'eau au mètre carré actif de 1,13 l. Le poids à sec était d'environ 150 kg. Le bac support était en acier (50 kg) galvanisé Sendzimir (350 g/m^2). Les poutrelles du

13 Brevet n° 7707269, p. 6.

Figure 2 – Documents issus des archives personnelles de Jean-Pierre Girardier



Plan du capteur type DIRE de 1977

Photographie du montage des capteurs de DIRE en 1978

cadre étaient réunies par rivetage pour former le caisson, évitant toute opération de soudures. Les longerons étaient pliés pour assurer le support de vitre, tout en rigidifiant l'ensemble, rendant le capteur pratiquement autoportant. Ainsi, le fond n'avait pas besoin d'être métallique. À la place, des plaques d'isolants autoporteuses, en mousse phénolique ininflammable (tel du Phenexpan), issue de la pétrochimie, assuraient le contact direct avec les plaques en aluminium de l'insolateur, puisqu'elle résiste aux températures limites rencontrées dans les capteurs solaires, ici 160 °C au maximum. Cette matière synthétique nécessite une protection hydrofuge, c'est pourquoi sa face externe reçue une couche d'enduit pare-vapeur pour ne pas être altérée par l'humidité atmosphérique. Un double vitrage (verre étiré de 3 mm), espacé de 30 mm, fut privilégié pour créer évidemment un effet de serre mais surtout pour isoler les métaux du vent et compenser la perte de chaleur transmise au verre. La couche supérieure devant assurer une étanchéité maximale était, comme nous l'avons écrit précédemment, encastrée dans un pli des profilés du cadre. Un joint de mousse butyle à cellule fermée, comprimée par parclose vissée sur la face supérieure des longerons, assurait, en plus d'un renfort d'étanchéité, un démontage aisé en cas de remplacement d'un vitrage[14].

Ce dispositif fut élaboré dans le souci permanent de pré-fabriquer des éléments pouvant permettre l'animation par des ouvriers maliens d'un atelier de montage au cours de l'année 1978, et afin de leur transférer dès le départ des compétences pratiques, puis d'en assurer, à plus long terme, la fabrication et la maintenance. Le verre des capteurs était le matériau le plus sensible, en ce qu'il limitait leur transférabilité complète à court terme, mais il restait un produit courant rudimentaire. D'autres options technologiques furent en effet envisagées avec des industriels. Avec Sovirel par exemple, des collecteurs sous vide, qui permettaient d'améliorer les performances de 30 à 40 % pour la même température maximale atteinte, furent étudiés, puis écartés du fait de leur trop haute technicité. L'usage d'un produit moulé en plastique fut même évoqué avec Hutchinson[15]. Le collecteur de Diré ne fut donc pas un objet de haute technologie conçu par un esprit réduit à rechercher un rendement optimal théorique, mais il fut un objet socialement opérationnel.

Le réseau des bâtiments à la toiture composée de capteurs fut également conçu pour permettre un stockage thermique du fluide caloporteur (l'eau). En effet, l'espace disponible abrité, dégagé par le bâti et bénéficiant ainsi d'une climatisation naturelle sous les capteurs, rendait aisé le dispositif. Ce

14 Il s'agit d'une baguette maintenant la vitre dans son châssis. Ici, elle est apposée avec un joint en matière synthétique qu'elle comprime contre la face extérieure du verre.

15 Témoignage écrit en 2009-2010 par Jean-Paul Durand, Max Clémot, et Jean-Pierre Girardier, p. 41. Ce document n'est pas publié. Il nous a été remis par les auteurs en mains propres.

stockage devait être utilisé le jour et la nuit. En journée il faisait office de tampon, afin de réguler les températures de captation et d'entrée sur les évaporateurs à un niveau imposé, ce qui se traduisit par un meilleur rendement d'utilisation de l'énergie solaire incidente. Ce volume autorisait également la récupération des basses calories matinales et vespérales, ainsi que les hautes calories des heures les plus chaudes de la journée. Enfin, il assurait le fonctionnement du groupe électrogène de 17 à 22 heures.

Les échangeurs de la boucle thermodynamique étaient des échangeurs à plaques Barriquand, soudés sans joint, tels ceux utilisés à grande échelle dans l'industrie agroalimentaire, notamment laitière. Il s'agissait donc d'éléments accessibles dans le commerce, de conception et de fabrication banale, détournés de leur secteur principal, et assemblés sur un dispositif solaire, sans en être spécifiques. D'autres types d'échangeurs multifonctions pouvaient être utilisés, ne remettant pas en cause le fonctionnement général de la machine, mais seulement le prix du prototype et la quantité d'eau élevée. Ce choix répercutait bien à l'intérieur de la machine les objectifs sociaux énoncés. Comme pour les capteurs, la traduction technique de la dimension sociale de l'objet était fidèle à l'esprit de sa conception, et donc à ses usages villageois. Il en fut de même pour le moteur.

Les moteurs actionnés par un cycle de Rankine, comme nous l'avons déjà rappelé, fonctionnaient, et c'est là tout leur intérêt pour les stations solaires, avec de faibles écarts de températures entre la source chaude et la source froide. Il était donc nécessaire de choisir un fluide gazeux liquéfiable qui présentait cette caractéristique à l'échangeur entre ses deux états, gazeux et liquide. Classiquement, l'industrie pétrochimique mettait à disposition des dérivés chlorés et fluorés des hydrocarbures, tels le Chlorure de Méthyle (CH_3Cl), l'Anhydride sulfureux (SO_2), et des flugènes (les Fréons). Ce fut la seconde fois que l'industrie du pétrole fut mobilisée dans le choix des composants de la machine à travers ses produits de grande distribution (le premier, que nous avons mentionné étant l'isolant des capteurs en mousse résolique). Le CH_3CL et le SO_2 étaient d'un usage délicat, ils pouvaient présenter des dangers d'utilisation que la nature du projet ne justifiait pas. Le moteur à pistons MGS 2000 qui équipait les unités de première génération de 1 kW, fonctionna d'abord par détente du butane (gaz de pétrole). Ce qui fut recherché par cette conception n'était pas l'amélioration des performances en termes de rendement moteur, mais plutôt des performances sociales dudit moteur. En effet, le cycle du gaz était le segment le moins transférable à la potentielle industrialisation générée par la station dans les pays du Tiers-Monde (pour utiliser l'expression de l'époque). Les fuites de gaz et de lubrifiant, notamment à cause de leur comportement induit par leur contact, nécessitaient d'anticiper un point de maintenance délicat pour le

transformer en un geste aisé. Le butane fut choisi car les bouteilles du commerce étaient accessibles, même si difficilement, au Sahel. Au final, cette solution fut abandonnée car c'était un mélange de gaz et non du butane parfaitement pur, qui était mis en bouteille, altérant ainsi les performances des échanges thermiques. Ce fut un Fréon qui devint la solution, d'abord le Fréon 114, puis le Fréon 12 (qui nécessite de hautes pressions), et enfin le Fréon 11 (qui nécessite de basses pressions, et son point d'ébullition est à 24 °C), élaborés par Rhône-Poulenc.

Ce choix nous fait comprendre la nature du cycle thermodynamique mise en jeu dans la machine solaire. Il s'agissait d'un cycle frigorifique inversé. Classiquement, dans un réfrigérateur, un Fréon se gazéifie à l'intérieur emportant à l'extérieur la chaleur des denrées (l'intérieur se refroidit) où il est compressé pour redevenir liquide. Dans une station solaire c'était l'inverse. Le principal désavantage du Fréon, aujourd'hui communément reconnu, est qu'il est nocif pour la santé et pour l'environnement (c'est un chlorofluorocarbure, théoriquement interdit depuis le milieu des années 1980, en raison de son impact sur la couche d'ozone stratosphérique). Cependant, à l'époque, il était un produit de l'industrie pétrochimique et frigorifique accessible et conforme à l'objectif de la machine. La famille des gaz réfrigérants étant étendue, ce choix ne limitait pas le fonctionnement de la machine. L'analogie théorique et industrielle entre la machine solaire et la machine frigorifique en fait la clef de voûte des stations solaires de seconde génération comme Diré[16].

Puisque la question se posait de savoir quel moteur utiliser dans une telle unité de moyenne puissance, la solution devait être trouvée dans les catalogues de compresseurs industriels. Le mécanisme était simple. Le gaz était réceptionné par l'entrée la plus large afin de le comprimer au moyen de deux vis tournantes, et ainsi de l'expulser sous sa forme liquide par l'échappement, au diamètre le plus étroit. L'équipe R&D Sofretes retourna donc un compresseur et l'inséra dans sa boucle. Il ne fut pas, à ce stade, nécessaire de concevoir et de construire un moteur spécifique, particulièrement unique. Le Fréon sous pression se détendait par l'échappement et actionnait les vis, créant ainsi le mouvement mécanique tournant recherché pour pomper de l'eau. La difficulté résidait dans la gestion du lubrifiant, car les huiles perdent de leurs propriétés au contact du Fréon. L'huile choisie pour sa compatibilité avec le Fréon 11 était séparée du gaz par centrifugation en sortie du moteur pour être récupérée et réinjectée par une pompe. Afin de s'assurer d'une parfaite étanchéité du cycle du Fréon, les laboratoires partenaires du CEA proposèrent d'appliquer une technologie plus sophistiquée pour réaliser les joints et le contrôle de la boucle. En effet, le cycle fermé du flugène représentait la section la plus difficilement transférable à moyen terme aux sociétés d'accueil peu industrialisées. Il fallait donc

16 Voir l'article de Caille & Mouthon dans le présent dossier.

Figure 3 – Documents issus des archives personnelles de Jean-Pierre Girardier

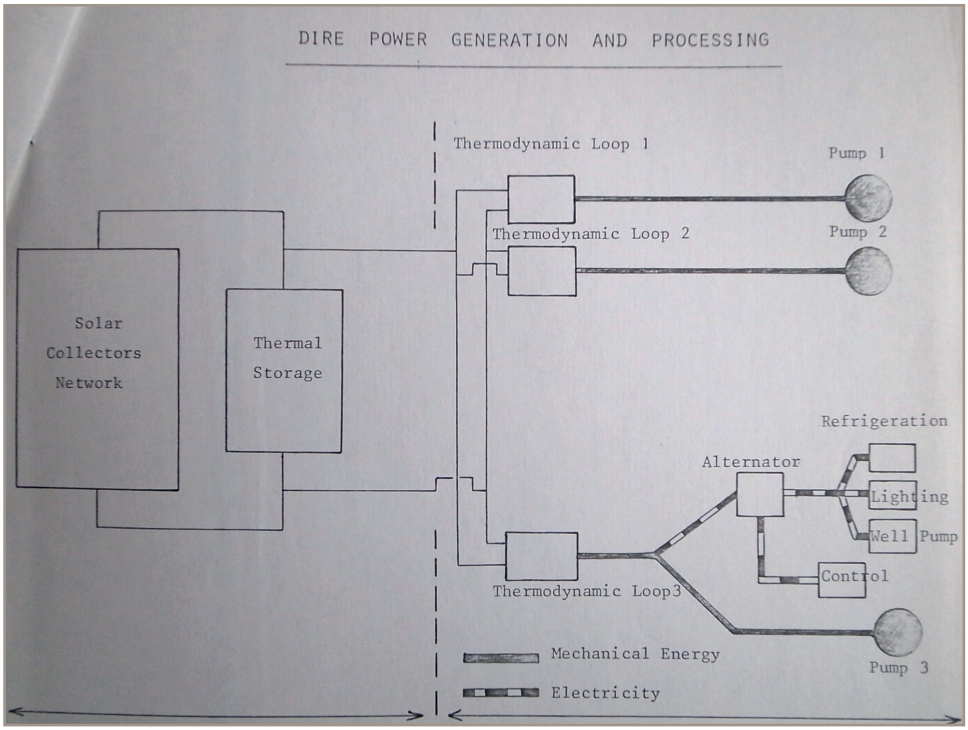


Schéma DIRE

limiter au maximum les fuites internes et externes au moteur pour assurer le plus longtemps possible le fonctionnement sans intervention sur le gaz liquéfiable. Le recours à des matériaux et à des procédés plus complexes que pour les autres éléments était ainsi justifié. Aussi, des joints plats en Téflon furent choisis (issus des recherches en ultravide), et les tests d'étanchéité furent menés par ressuage d'hélium. Ce procédé consiste à injecter de l'hélium dans le circuit puis à le balayer avec un détecteur spectrographique. Le moteur à vis, ainsi dénommé, était un CIT-Alcatel qu'il suffisait d'acheter. N'oublions pas qu'il s'agissait d'une station prototypique. Certes, un compresseur CIT-Alcatel ne pouvait pas être fabriqué au Mali en 1978 (il nécessitait un outillage très spécialisé), mais il n'en demeurait pas moins un objet simple, peu cher, produit en série, facilement détourné, dans une optique de technologie appropriée (Caille, 2017, Guruswamy & Neville, 2016 ; Bhalla & Reddy, 1994 ; Goldenberg, Reddy, Johansson & Williams, 1988 ; Dunn,

1978)[17]. Une réflexion s'engagea avec les partenaires de Sofretes (surtout avec Renault) pour envisager le développement d'une future gamme de moteurs à vis conçus pour l'avenir industriel de cette proposition sociotechnique. En bout de chaîne, le moteur à vis actionnait une hydropompe issue du catalogue d'assainissement Mengin, dont la conception remontait aux années 1920-1930, assurant et démontrant ainsi sa fiabilité et sa résistance. Il s'agissait d'une robuste pièce de chaudronnerie immergée, avec son système de tuyaux de commandes hydrauliques, qui fut simplement, là encore, assemblée sur le dernier et utile segment de la machine au moyen d'une simple presse hydraulique.

Il est donc particulièrement troublant de constater que cette machine fut assemblée à partir d'éléments épars, non prédestinés à leur nouvel usage technique, mais particulièrement bien pensés dans leur cohérence sociotechnique.

Maximiser la contrainte sociale en minimisant la contrainte naturelle

Diré fut en mesure de fonctionner avec ces trois moteurs à vis selon le schéma *infra* (fig. 3). Deux groupes motopompes assuraient 90 % du pompage dans le fleuve Niger. L'eau était stockée dans un bassin de dissipation pour être redirigée par un canal vers le périmètre d'irrigation. Sur l'arbre moteur des deux groupes, trois pompes, également issus du commerce, étaient couplées pour actionner les périphériques : une pompe de réinjection, une pompe de circulation de condenseur, et une pompe de circulation d'évaporateur. Un troisième groupe, identique, assurait l'alimentation en électricité des derniers postes du complexe : un convertisseur alternatif de courant continu qui débitait l'électricité dans une unité de batteries, l'armoire de régulation et de contrôle de toute la station, le moteur de la pompe de circulation du fluide caloporteur pour ce groupe, le groupe motopompe immergé dans le forage, l'unité frigorifique, l'éclairage, et enfin le moteur de la pompe de circulation de l'eau du stockage thermique.

Depuis la station de San Luis de La Paz au Mexique, en 1975, le système d'automatisme et de régulation de la machine devait être conçu de façon évolutive en intégrant des composants

17 « *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 d'Henri Masson et de Jean-Pierre Girardier, appartient de plein droit à ce que la littérature anglo- saxonne 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 (*Caille, 2017, p. 71). »

électriques et électroniques afin de répondre à la demande de fourniture d'électricité. San Luiz fournissait de l'électricité à trois pompes d'adduction d'eau potable. Comme nous venons de le décrire ci-dessus, Diré dédiait son troisième groupe motopompe à la fourniture d'électricité à de nombreux périphériques. Là encore, l'équipe Sofretes étudia l'offre industrielle des petits moteurs électriques à courant continu et à rendement très élevés. Elle sélectionna des moteurs Brot parfaitement adaptés aux services recherchés, notamment pour assurer la circulation du fluide caloporteur entre les capteurs et le stockage. Cet appareillage électrique, tout comme la forte inertie thermique du réseau de capteurs en amont des moteurs, permettaient de gérer le débit de chaleur au cours de la journée et le soir afin qu'il soit le plus constant possible, permettant ainsi de lisser le fonctionnement de la machine en atténuant à la fois les effets des variations de l'ensoleillement et de ceux de la demande.

Dit autrement, ce dispositif permettait de pallier le caractère intermittent du rayonnement solaire, tout en mobilisant du matériel déjà existant. L'ensemble du système était commandé par une armoire de régulation mise au point par Géomelec, une modeste entreprise locale d'électricité, fournisseur des Établissements Mengin. Lorsqu'il fut question de transformer en électricité une partie importante de l'énergie mécanique obtenue par conversion de la chaleur solaire, la régulation de la fréquence du courant électrique devint très importante afin d'éviter les « excursions »[18] potentiellement préjudiciables aux différents instruments électriques connectés (alternateurs et moteurs) qui devaient fonctionner dans une certaine plage de temps. La baie de commande de Diré recueillait les informations thermiques grâce à des thermocouples et des capteurs de pression.

Pour plus de clarté, et afin d'insister sur la pertinence du système de régulation mis en place par rapport aux objectifs sociaux de la station et aux contraintes de l'énergie primaire convertie, nous reproduisons ici un extrait du témoignage écrit des deux ingénieurs du CEA détachés à Sofretes et de Girardier, qui nous a été remis en main propre et commenté :

> L'automatisme et la régulation avaient été conçus et réalisés sur le schéma de principe suivant : Dès que l'ensoleillement devenait suffisant et qu'un seuil de température chaude des collecteurs était dépassé, la vanne de marche et d'arrêt située sur la tubulure d'admission du moteur de la boucle principale, était alors ouverte en grand, le moteur se mettait en marche entraînant l'alternateur. Dès que sa vitesse de rotation était suffisante, le moteur de la pompe principale de circulation d'eau dans les collecteurs, était mis sous tension automatiquement. Ainsi, la chute de pression à l'admission du moteur thermique liée au manque d'apport de chaleur à l'évaporateur était contrecarrée et la pression revenait à sa valeur normale. De plus, l'inertie thermique de

18 Terme utilisé dans les centrales pour désigner les variations (trop) importantes de puissance.

l'évaporateur était suffisante pour que la variation de régime reste raisonnable. La vanne de régulation placée en amont de la vanne de marche arrêt, ajustait alors le débit de gaz à l'entrée du moteur afin de maintenir constante la vitesse de l'alternateur. Si l'ensoleillement continuait à progresser entraînant une montée de pression, la vanne se fermait lentement. Dès qu'un nouveau seuil de température des capteurs était atteint, l'alternateur était alors couplé sur le moteur de la pompe de puits en même temps que la vanne de régulation s'ouvrait afin de faire face à cet appel de puissance. Avec des écarts de fréquence et par suite de vitesse acceptables, la boucle principale assurait alors son service. En parallèle, l'alternateur alimentait toutes les vannes et moteurs de pompes utilisés dans la gestion d'un petit stockage qui étaient alors gérés par la baie de régulation et d'automatisme en se référant aux températures des principaux composants de la station. Lorsque l'apport solaire d'énergie était jugé suffisant, les deux boucles destinées au pompage pour l'irrigation étaient mises en fonctionnement en tout ou rien, l'une après l'autre. Ces deux machines jouaient le rôle de « volant » et participaient à la stabilisation du fonctionnement de la boucle principale. En effet une baisse de l'apport d'énergie entraînait une diminution de la puissance sur ces deux groupes, par suite un ralentissement des pompes et une baisse de la demande, qui venait partiellement effacer la baisse de puissance à l'entrée de la boucle principale. Il est évident que des variations de vitesse (qui auraient été inacceptables pour EDF) se produisaient mais restaient dans les limites définies par les constructeurs des différents composants[19].

19 Témoignage écrit en 2009-2010 par Jean-Paul Durand, Max Clémot, et Jean-Pierre Girardier, p. 48.

Le fonctionnement général de la machine reposait donc sur une conception et une réalisation qui maximisait la contrainte sociale, tout en minimisant la contrainte naturelle fondamentale de la source primaire mobilisée (qui n'empêchait pas du tout son fonctionnement). Ses éléments, qui transposèrent les objectifs sociaux dans ses mécanismes, étaient intégrés à l'environnement technique et industriel de l'époque à travers ses choix et ses partenaires. La machine n'était pas orpheline.

Hors de la machine : une réalisation post-coloniale

Pendant l'été 1978, en quelques mois, les matériaux furent péniblement acheminés de la Métropole jusqu'à Diré : d'abord en bateau jusqu'à Dakar, en camion jusqu'à Bamako, puis en barges sur le fleuve Niger, au plus loin de sa navigabilité en cette saison des pluies, et enfin avec des camions, qui empruntèrent un tronçon du lit du fleuve jusqu'à Diré, à une centaine de kilomètres au sud-ouest de Tombouctou, au cœur du Delta intérieur du Niger. La population participa au déchargement, puis au chantier, qui s'étira de novembre 1978, à la mise en route de la station, à l'été 1979. Les 500 caisses des verrières Saint-Gobain-Pont-à-Mousson furent entièrement récupérées par les villageois. Leurs clous furent revendus à l'unité. Le verre brisé lors du transport (une variable, et non des

moindres, à prendre en considération), ainsi que les chutes d'aluminium, trouvèrent rapidement une nouvelle utilité dans des vies quotidiennes dénuées de matériaux d'origine industrielle. Une équipe de 20 monteurs maliens fut recrutée et formée au sein d'un atelier d'assemblage des capteurs plans. Les tranchées de tuyauteries mobilisèrent jusqu'à 300 ouvriers.

Une inauguration très politique

Bien que la station solaire fût opérationnelle en juillet 1979, les autorités françaises et maliennes décidèrent d'attendre le 23 novembre 1979 pour procéder à l'inauguration officielle. En effet, l'été correspond à la saison des pluies, c'est-à-dire à la période des crues du Niger. Inversement, l'hiver est marqué par la saison sèche. Or, l'agriculture traditionnelle[20] pratiquée par les populations du Delta intérieur du Niger est une agriculture vivrière de décrue. À ce titre, elle est fragilisée par les épisodes de sécheresse prolongés et successifs qui menacent leur autosuffisance alimentaire et les acculent à la survie. Le début des années soixante-dix fut marqué par un de ces épisodes aux conséquences désastreuses pour les populations, impliquant disette et mort du bétail. C'est dans le contexte de la Grande sécheresse (1969-1973) qui se prolongea durant toute la décennie que le projet solaire de Diré fut programmé et inauguré. Ainsi, il devait marquer les esprits. Inaugurée à la saison sèche, la station solaire de Diré devenait un symbole de lutte contre la sécheresse, puisqu'elle convertissait la mortelle chaleur solaire en eau d'irrigation là où elle manquait si cruellement.

L'importance de l'opération politique se lit dans la présence des représentants de la puissance publique à l'événement. Célébrée en grande pompe par le Ministre français de la Coopération, Roger Galley, le Ministre malien du Développement Industriel, Lamine Keita, et le Président du Commissariat à l'Énergie Solaire (COMES), Henri Durand, Diré devint la plus grande centrale solaire au monde[21], une opération de prestige technique comme la Ve République gaullienne les affectionnaient (Hecht, 2004, p. 186). Tous trois étaient des hommes de science, de technique, et d'énergie : Roger Galley, Ingénieur de l'École nationale supérieure du pétrole et des moteurs, et artisan du nucléaire français, Lamine Keita, ingénieur hydraulicien formé à Grenoble, et Henri Durand, normalien, partisan du photovoltaïque français, placé par le Président de la République, Valéry Giscard D'Estaing, à la tête d'une agence d'objectifs solaires (une administration

20 Il convient de nuancer ici le recours à l'expression « agriculture traditionnelle » communément employée. En effet, les populations du Delta intérieur du Niger étaient surtout des pasteurs nomades, privilégiant donc l'élevage et non l'agriculture. C'est pendant la période coloniale que la France organisa le peuplement de cette région en déplaçant des paysanneries sahéliennes, comme le rappelle Vittorio Marabito (1977).

21 *Le Monde* du 26 novembre 1979 et *Afrique agriculture*, n° 49, 1er septembre 1979.

de mission), juste avant le premier tour des élections législatives de mars 1978.

Pour bien saisir ce que fut Diré, il faut donc sortir de la machine et la replacer dans l'opération de coopération franco-malienne qui justifia sa conception. Le projet de station solaire fut intégré à un programme d'aide au développement beaucoup plus large. Diré fut l'opération solaire la plus importante du programme « Énergies Nouvelles au Sahel » des Ministères de la Coopération et de l'Industrie. Dans le même temps, la station solaire vint trouver sa place dans l'opération « Blé Diré », qui visait à la mise en valeur d'un périmètre irrigué, elle-même avatar de l'opération « Zone Lacustre », qui s'étendait sur toute la région des lacs du Delta intérieur du Niger. Ces actions publiques trouvent leurs origines dans l'histoire coloniale du Delta.

L'histoire coloniale du Delta intérieur du Niger

Après la Première Guerre mondiale, l'Inspection agricole du Soudan (Mali) décida l'aménagement d'un périmètre irrigué à Diré pour cultiver le coton d'exportation (Marabito, 1977). Une société privée obtint la concession rurale de Diré en 1919 (Camara, 2009)[22]. En 1920, la Compagnie de culture cotonnière du Niger (CICONNIC) lança l'exploitation. Il fut nécessaire à l'entreprise d'organiser la colonisation indigène du périmètre afin de bénéficier de main-d'œuvre. Des populations d'origines diverses s'implantèrent, ce qui créa des tensions et des inégalités sociales dans les décennies suivantes, et participa à la sédentarisation et à la croissance démographique de la région. Des machines à vapeur furent utilisées pour le pompage de l'eau du Niger, « *Douze machines à vapeurs donnent 1 000 chevaux de force (parmi lesquelles 3 Weyher et Richemond de 100 chevaux chacune). La propriété est alimentée par des pompes qui, pour l'irrigation, donnent 3 000 litres d'eau à la seconde* » (Ruedel, 1922, p. 1). La motorisation entraîna la déforestation massive de la région, car seul le bois pouvait servir de combustible dans un espace si isolé, « *Pour la force motrice, il est certain qu'il faudra dans peu d'années chercher autre chose que le bois qui s'épuise vite* » (Ruedel, 1922).

Au moment de l'inauguration de la station solaire de Diré, Gérard Serre, Ambassadeur de France au Mali, écrivit une lettre au Ministre des Affaires Étrangères, lui présentant les éléments de langages officiels, qui dressaient un rapide historique des convertisseurs énergétiques mobilisés depuis 1919, en insistant sur leur part de responsabilités

22 Bakary Camara est politologue et historien du Droit et des Institutions, enseignant-chercheur à la faculté des Sciences Juridiques et Politiques de l'Université de Bamako, Mali. Son site web donne accès à des textes issus de sa thèse de doctorat (2009), notamment celui auquel nous faisons référence ici « Les conventions et les contrats coloniaux en AOF : le cas de la concession rurale de Diré au Soudan Français (1919-1939) » [URL : https://www.bakarycamara.ml].

dans les échecs successifs de la mise en valeur agricole de la région de Diré :

> Avec les moyens d'alors, les colons acheminèrent d'énormes machines à vapeur destinées à pomper l'eau du fleuve afin d'irriguer 3 000 hectares aptes à porter du blé. Pour alimenter ces engins – dont les épaves émergent encore aujourd'hui à demi enfouies dans le sable –, ils coupèrent malheureusement les arbres, rempart vert du Sahel contre le Sahara. Tous les arbres brûlés, il ne restait rien : plus de combustible, donc plus de force motrice, partant plus d'eau pour irriguer et plus de blé. Un seul gagnant : le désert qui progressait d'un seul bond[23].

Notons qu'il s'agissait de coton et non pas de blé. Cette réécriture de l'histoire, à l'occasion de l'inauguration, s'explique sans doute par le caractère développementaliste qu'il fallait donner au projet Diré de 1979, présenté volontiers comme vivrier et non pas colonial comme dans le cas de l'exploitation du coton.

Nonobstant cette modification, le choix du moteur thermique à combustion fut certes néfaste, mais il ne fut pas la seule cause à l'abandon des périmètres irrigués par la CICONNIC, juste avant la Seconde Guerre mondiale (Camara, 2009). Au demeurant, en 1922 déjà, le député Pierre Valude dénonçait ce motopompage, et le pompage tout court :

> L'irrigation pratiquée dans cette exploitation est l'irrigation par pompage, système qui a nécessité le transport et l'installation, au prix de quelques difficultés, de machines d'une valeur considérable, grevant l'affaire de frais généraux d'entretien et d'amortissement élevés. Ce système va à l'encontre de celui préconisé par l'ingénieur Béline, dont les remarquables études sont connues de tous, système qui consiste dans l'irrigation par gravitation (Valude, 1922, p. 5).

Dans les années 1920, le projet de Béline divisait l'opinion. C'est pourtant celui-ci qui se concrétisera à une tout autre échelle. Il fut pensé pour s'étendre sur toute la Boucle du Niger, de Ségou à Diré, en installant un barrage, des canaux et une centrale hydroélectrique. C'est ainsi qu'en 1932, l'Office du Niger, une structure publique, fut créé (Marabito, 1977)[24]. La CICONNIC disparut progressivement à la fin des années 1930, ses périmètres furent un temps intégrés à l'Office du Niger, qui finalement se reconcentra autour d'une zone circonscrite entre Ségou et Mopti, plus en aval du fleuve (Marabito, 1977)[25]. Après la Seconde Guerre mondiale, l'Office du Niger se mécanisa sous l'égide du Plan Marshall et du FIDES qui financèrent des machines Diesel (Marabito, 1977, p. 60). En 1922, un commentateur envisageait

23 Archives nationales. Ministère de la Coopération. 20000231. Carton 16. Lettre de Gérard SERRE, Ambassadeur de France au Mali, au Ministre des Affaires Étrangères, 29 novembre 1979.

24 Voir aussi le rapport de la Mission d'évaluation de l'Office du Niger pour le Ministère des Relations extérieures, Coopération et Développement, avril 1985.

25 Voir aussi les Archives nationales. Ministère de la Coopération. 20000231. Carton 16. Rapport transmis par le Ministre de la Coopération au Chef de mission coopération à Bamako, « Périmètre d'irrigation de Diré, bilan du projet et perspective d'extension », mars 1981.

de pallier le manque de bois en ayant recours aux moteurs fonctionnant à l'huile de coton ou d'arachide (Ruedel, 1922). Ce sera finalement le fuel. Cette « pétrolisation » toucha Diré, comme en témoigne l'Ambassadeur de France au Mali en 1979 :

> Peu après la Seconde Guerre mondiale d'autres colons tentent de relancer le projet, forts d'une technologie supérieure, le moteur Diesel. Des groupes électrogènes de pompage vont remplacer la machine à vapeur et une fois de plus l'eau va couler dans les canaux des périmètres réaménagés. Expérience, elle aussi avortée : faute d'un acheminement régulier du fuel et des pièces détachées, faute d'un service de réparation efficace, l'éloignement de Diré causera sa perte. De fréquentes interruptions dans l'alimentation en eau des canaux d'irrigation vont réduire en paille sèche, sous la canicule, les fragiles pousses de blé. Pour la seconde fois, les efforts sont vaincus par l'ennemi de toujours : le soleil (Ruedel, 1922, p. 1).

Continuités et ruptures à l'indépendance

Avec l'indépendance, la nationalisation de l'Office fut prononcée et le périmètre de Diré sombra lentement dans les sables. Les années 1960 virent se poursuivre les cultures d'exportation, et ce n'est qu'au début de la décennie suivante, avec l'abandon du coton et le déficit alimentaire qui frappa le Sahel, que le rôle potentiel des terres arables de la Boucle du Niger fut envisagé en termes de souveraineté alimentaire. Des évaluations de l'Office du Niger, telles celles de Marabito en 1975, et celle réalisée pour le Ministère des Relations extérieures en 1985, avancèrent que ce gigantesque projet ne fonctionnait, dans sa phase coloniale, que sur ses contradictions (énergétiques, agraires et financières), et ne semblait pas fournir une solution viable, mais plutôt entretenir de fortes inégalités sociales entre les colons, qui cherchaient à satisfaire leurs intérêts individuels à très court terme, tout comme les membres de son administration[26].

Dans les années 1960, le Gouvernement malien lança une nouvelle opération de culture irriguée (opération « Zone Lacustre »), dans la région des lacs intérieurs où se trouve Diré. D'après le Ministère de la Coopération, elle fut un échec en raison de la trop forte bureaucratisation de sa gestion, des difficultés d'accès non prises en considération, et d'un déficit pluviomé trique conjoncturel mal anticipé. En 1974, les autorités maliennes mirent en place un Plan quinquennal de production céréalière (le déficit était de 10 000 t par an alors que 150 000 ha de terre étaient aménageables) qui nécessitait une maîtrise complète de l'eau rendant le pompage à nouveau stratégique[27]. De nombreux projets de coopération furent alors engagés dont « Blé Diré », piloté par le Ministère français de la

26 Mission d'évaluation de l'Office du Niger pour le Ministère des Relations extérieures, *op. cit.*

27 Archives nationales. Ministère de la Coopération. 20000231. Carton 16. Rapport transmis par le Ministre de la Coopération au Chef de mission coopération à Bamako, « Périmètre d'irrigation de Diré, bilan du projet et perspective d'extension », mars 1981.

Coopération sur un financement du Fonds d'Aide à la Coopération (FAC), qui visait à relancer le périmètre irrigué[28]. Dans le même temps, le Programme « Énergie Nouvelle pour le Sahel » fut lancé en 1975 par le Ministère de l'Industrie (Délégation aux énergies nouvelles) et le Ministère de la Coopération, pour trois ans, avec un financement de 10 MF par an[29]. Officiellement, il visait à soutenir la diffusion d'opérations de démonstrations prototypiques dans le contexte de cherté des prix du pétrole qui asservissait davan tage la balance des paiements des pays du Tiers-Monde depuis 1973. Ses opérations ciblaient principalement les ins tallations de pompage solaires thermo-dynamiques et photovoltaïques, ainsi que les démonstrations éoliennes et les transformations de la biomasse[30].

Les actions publiques d'aide au développement agricole rencontrèrent donc tout naturellement celles qui devaient faire face à la pauvreté énergétique[31], les unes étant étroitement liées aux autres. Voici comment la situation énergétique du Mali était décrite en 1979 par le Ministère de la Coopération :

> Le Mali ne dispose, actuellement, d'aucune ressource énergétique exploitée (gisement pétrolier, mines de charbon). Le potentiel hydraulique du pays est loin encore d'être totalement exploité. Seul le Barrage de Sélingué sur le Niger dont les travaux sont en cours à l'heure actuelle sera susceptible d'apporter dans les prochaines années de l'énergie électrique. La quasi-totalité de l'énergie électrique produite actuellement provient du pétrole et des produits dérivés qui transitent soit par Dakar (Sénégal), soit par Abidjan (Côte d'Ivoire) ou Parakou (Bénin) situés à plus de 1 000 km du centre de gravité du pays[32].

C'est ainsi que la Sofretes fut sollicitée en 1975 par le Ministère de la Coopération pour lancer la plus importante opération du programme triennal « Énergie Nouvelle au Sahel ». Trois marchés furent passés de 1976 à 1977, dans le cadre d'une convention de financement entre le Gouvernement français et le Gouvernement malien à hauteur de 8 MF[33] :

28 Archives nationales. Ministère de la Coopération. 19980545. Carton 61. Comité Directeur du FAC, « Programme de développement économique et social (Mali) pour 1977 », Séance de juillet 1977.

29 Archives nationales. Ministère de la Coopération. 20000231. Carton 16. « Rapport de présentation de la 3e tranche du marché pour l'utilisation d'une centrale solaire de pompage à Diré au Mali », octobre 1977. Archives nationales. Ministère de la Coopération. 19980545. Carton 71. Comité directeur du FAC, « Utilisation des énergies nouvelles au Sahel », décembre 1977. Carton 73. Comité directeur du FAC, « Utilisation des énergies nouvelles au Sahel », juin 1978.

30 Voir le tableau récapitulatif des installations du programme dans *Afrique agriculture*, n° 49, 1er septembre 1979, pp. 26-27.

31 Archives nationales. Ministère de la Coopération. 19980545. Carton 73, Comité directeur du FAC, « Utilisation des énergies nouvelles au Sahel », juin 1978.

32 Archives nationales. Ministère de la Coopération. 20000231. Carton 16. Dossier de demande de financement pour l'installation d'une station de pompage solaire, décembre 1979.

33 Archives nationales. Ministère de la Coopération. 20000231. Carton 16. Le marché passé de gré à gré entre Sofretes et le Ministère de la Coopération en 1976, la Convention de financement entre la République française et la République du Mali, signée en 1978. Archives nationales, Ministère de la Coopération. 19980545. Carton 73. Comité directeur du FAC,

> Les coûts, en apparence élevés, sont cohérents et justifiés par l'importance des études spécifiques à une seule réalisation préindustrielle. Le marché ne comporte pas de formule de révision de prix. L'amortissement d'une telle installation devrait s'étaler sur une période de 15 à 20 ans, ce qui donnerait un prix du m3 d'eau pompée à des conditions économiques qui ne sont pas encore compétitives mais qui doivent le devenir rapidement avec l'évolution prévisible des coûts de l'énergie fossile. L'intérêt d'une telle démonstration est de tester en vraie grandeur un équipement autonome, fiable, non-polluant, et facilement intégrable dans le contexte socio-économique des zones rurales des pays en voie de développement[34].

Un objet solaire à évaluer : variables sociales *versus* éléments technico-économiques

Des rapports officiels d'évaluation favorables et oubliés

Le Rapport technique du programme « Énergie Nouvelle pour le Sahel » de mai 1975 énonce clairement les critères retenus pour l'évaluation d'un choix technologique qui doivent permettre la comparaison entre les technologies en place et les alternatives possibles : « *Le choix technologique est une composante essentielle du processus de développement (rural en particulier) et doit donc être préparé par une triple approche économique, écologique et sociopolitique.* »[35] Ce document reprend tous les objectifs sociotechniques (que nous avons énoncés dans notre première partie) qui furent ceux poursuivis dans la conception de la machine solaire de Diré. D'ailleurs, la comparaison (par coûts) entre installations Diesel et solaires thermodynamiques basse température (pour les petites et les moyennes puissances) qui est incluse dans le rapport, arrive à la conclusion que les deux solutions sont compétitives et complémentaires, comme l'illustrent les deux tableaux ci-après.

En 1982, le rapport du Comité directeur du FAC sur la station de Diré, après une année de fonctionnement, réaffirme le bien-fondé de ce choix technique vis-à-vis du Diesel :

> La Centrale Solaire de Diré lancée en 1976 et mise en service en 1979 est la plus importante réalisation du programme Sahel-Énergies Nouvelles. Sa situation isolée à proximité de Tombouctou et les difficultés d'approvisionnement en pièces détachées et en carburant justifiaient le choix d'une technologie utilisant les énergies renouvelables. Les dernières campagnes pour la culture du blé ont montré s'il en était besoin l'intérêt de cette technique car les groupes de

« Utilisation des énergies nouvelles au Sahel », juin 1978.

34 Archives nationales, Ministère de la Coopération. 20000231. Carton 16. « Rapport de présentation de la 3e tranche du marché pour l'utilisation d'une centrale solaire de pompage à Diré au Mali », octobre 1977.

35 Archives privées Sofretes. Ministère de la Coopération et Ministère de l'Industrie et de la Recherche, « Énergie Nouvelle pour le Sahel », Rapport Technique, mai 1975.

Figure 4 - Coûts comparatifs

ANNEXE 7

COUTS COMPARATIFS DES STATIONS DE POMPAGE DE GRANDE PUISSANCE (50 kw ou équivalent)

(1)

	ENERGIE THERMIQUE	ENERGIE SOLAIRE
Caractéristiques de la station	Motogénérateur Diesel de 50 kw	Turboalternateur de 50 kw Surface du collecteur: 3. 000 m2
Hauteur manométrique	20 m	20 m
Débit (m^3/h)	700 m^3/h	700 m^3/h
Volume annuel	1. 500. 000 m^3	1. 500. 000 m^3
DEPENSES EN F.F.		
Investissements :		
. Puits, réseau de distribution	POUR MEMOIRE	
. Groupe moto-pompe	400.000	3.000.000 (2)
(Durée de vie)	(5ans)	(20 ans sauf turbine 10 ans)
Charges annuelles		
. Charges financières	110. 000	340. 000
. Charges de fonctionnement		
-énergie (fuel-huile)	70. 000	-
-entretien-réparation	(8 %) 32. 000	6. 000
-personnel-surveillance	8. 000	3. 000
TOTAL des charges annuelles	220. 000	349. 000
Prix de revient par m3 cube	0,15 F/m^3	0,23 F/m^3
Coût de fonctionnement annuel	110. 000	9. 000
Coût de fonctionnement par m^3 (irrigation)	0,07 F/m^3	0,006 F/m^3

(1) A des distances inférieures à 50 km d'une centrale éléctrique, cette comparaison peut être complétée par l'énergie électrique : investissement : 35. 000 F/km, charges annuelles : 6. 000 F + 500 F/ + 0,5 F/kwh. Au delà de 50 km cette solution n'est plus comparable du point de vue économique.

(2) Prix indicatif du proto-type = on peut espérer que ce prix baissera d'environ 50 % pour une production en série.

Tableau comparatif récapitulatif des coûts

(Archives privées Sofretes. Ministère de la Coopération et Ministère de l'Industrie et de la Recherche, « Énergie Nouvelle pour le Sahel », Rapport Technique, Mai 1975)

> pompage Diesel placés en parallèle ont subi des ruptures d'approvisionnement en carburant[36].

Un document intitulé « Périmètre d'irrigation de Diré, bilan du projet et perspective d'extension », daté de mars 1981, transmis par le Ministre de la Coopération au Chef de la Mission coopération de Bamako, évalue positivement le service rendu par la machine malgré les difficultés rencontrées lors de sa première année de fonctionnement :

> Il semble que les rendements théoriques annoncés de 8 500 m^3 par jour puissent être largement atteints ; en effet un débit maximal de 1 400 m^3/heure a été mesuré, ce qui pour un fonctionnement de 6 heures correspond à 8 600 m^3 par jour… En dépit de ces nombreuses difficultés le pompage solaire a permis de fournir durant la campagne 1979/80 plus de 230 000 m^3 d'eau, soit la moitié des besoins totaux[37].

Le compte rendu d'une mission d'évaluation de terrain des réalisations du programme « Énergies Nouvelles au Sahel », commanditée au très prestigieux et para-étatique bureau d'études SEMA[38] par le Ministère des Relations extérieures et l'Agence Française pour la Maîtrise de l'Énergie (AFME), daté de mai 1982, appuie une analyse favorable du projet de station solaire Sofretes à Diré, mais soutient plus largement la raison sociale des installations. La qualité des services rendus est reconnue et mesurée :

> La centrale de Diré, malgré l'inachèvement de certains équipements, a fourni des services d'importance primordiale… (1979-1980) La station solaire a permis de sauver la récolte durant une période où les groupes diesel de pompage n'étaient plus alimentés en combustible… (1980-1981) L'ensemble de l'irrigation du périmètre (blé, sorgho, tomates) a été fait à partir de la station solaire, sans appoint de moteur diesel, immobilisé d'ailleurs par suite des pénuries régulières en gasoil[39].

Il en est de même au sujet des manquements (provisoires) aux objectifs et les difficultés rencontrées :

> La réalisation du projet a été très difficile compte tenu du contexte très exceptionnel, la majorité des problèmes

36 Archives nationales, Ministère de la Coopération. 20000231. Carton 16. Comité directeur du FAC, 1982.

37 Archives nationales. Ministère de la Coopération. 20000231. Carton 16. Rapport transmis par le Ministre de la Coopération au Chef de mission coopération à Bamako, « Périmètre d'irrigation de Diré, bilan du projet et perspective d'extension », mars 1981.

38 Comme l'écrit Michel Armatte (2012, p. 76) dans son article sur les contributions des ingénieurs du corps des Mines à la théorie et ingénierie économiques, la Société d'Économie et de Mathématique Appliquée (SEMA), est un des acteurs majeurs de l'innovation économique dans le tournant néolibéral des années 1970, notamment par son rôle de diffuseur de la prospective comme nouvel outil d'aide à la décision. C'est principalement grâce à son fondateur et directeur, Jacques Lesourne, polytechnicien (X-1948), ingénieur du corps des Mines, que la SEMA s'imposa. Jacques Lesourne fut titulaire de la chaire d'Économie industrielle du Cnam à partir de 1974. D'autres missions solaires de la SEMA seront développées dans notre thèse.

39 Ministère des relations extérieures (Coopération et développement), Agence Française pour la Maîtrise de l'Énergie (AFME), SEMA, « Énergies renouvelables au Sahel. Évaluation des projets », mai 1982, p. 17.

> ont trouvé une solution, malgré des aléas techniques très inhabituels tels que le dégazage de l'isolant obligeant à une réfection complète des capteurs. La gestion de ce projet a été difficile compte tenu de l'étroitesse des budgets, de la rareté des personnels qualifiés, du caractère pilote de cette réalisation et de la difficulté des communications ; à signaler l'étroite collaboration qui a pu être élaborée entre la population locale, le génie rural, le laboratoire de l'énergie solaire de Bamako, qui a détaché un technicien, et le personnel Sofretes[40].

Les réserves des auteurs sur l'avenir de cette technologie, ici portée par une installation prototypique, ne les empêchent pas de conclure concernant Diré que « *L'avenir de ce projet, intéressant et incontestablement utile, doit être assuré, coûte que coûte* »[41]. L'état des lieux que cette étude dresse, en parallèle, sur les performances en conditions réelles des installations photovoltaïques est également nuancé, tout en soutenant l'intérêt pour cette technologie. Néanmoins, ces constatations empiriques permettent de s'opposer aux certitudes théoriques qui affirmeraient la supériorité du photovoltaïque sur le thermodynamique basse température, par principe, notamment sur le calcul des rendements et l'appréciation de la fiabilité : « *Une comparaison honnête entre les pompes solaires thermodynamiques et photovoltaïques suppose la comparaison de matériels de même ancienneté dans des contextes comparables ; à notre avis, ce bilan serait loin d'être entièrement en défaveur de Sofretes.* »[42]

Le second intérêt de cette étude, chose rare, est qu'elle intègre à sa grille d'analyse la « *satisfaction des utilisateurs* » comme variable, là où quasiment toutes les autres ne s'arrêtent qu'aux considérations technologiques. Ainsi, les installations les plus efficientes correspondent aux projets les plus socialement aboutis : « *Les projets qui ont le mieux marché, qui ont été les plus utiles, ont été ceux qui complétaient d'autres actions de développement, déjà entreprises.* »[43] Aux bienfaits immédiats de la satisfaction des besoins essentiels, s'ajoutent ceux, à plus long terme, ayant un impact favorable sur le développement des communautés villageoises, tels la « *prise de confiance du village en lui-même qui reprend espoir (les jeunes restent…),* [le] *maintien en vie de villages menacés par la sécheresse (Mali),* [la] *création de pépinières pour la reforestation (Mali)…* »[44]. Les conclusions comparatives quant aux usages des convertisseurs conventionnels et renouvelables sont sans appel : « *l'utilité de la majorité de ces projets énergies renouvelables est indiscutable ; la fiabilité de certains est d'ores et déjà supérieure à celle d'équipements conventionnels.* »[45] L'étude insiste sur la mauvaise délimitation des systèmes conventionnels dans des analyses qui écartent trop de variables dans leur

40 *Ibid.*, p. 18-19.
41 *Ibid.*, p. 19.
42 *Ibid.*, p. 10.
43 *Ibid.*, p. 99.
44 *Ibid.*, p. 100.
45 *Ibid.*, p. 102.

évaluation des coûts d'investissement et de fonctionnement, biaisant ainsi les résultats obtenus grâce à des choix de paramètres qui oublient d'être contextuels, conjoncturels, et donc relatifs : « *Un effort de meilleure connaissance du coût réel des solutions conventionnelles faciliterait, très largement, l'introduction de solutions solaires… Aucune comparaison générale de compétitivité économique ne peut donc être sérieusement tentée, il faut chaque fois se placer dans un contexte précis pour un service précis, le « système » complet assurant ce service étant bien délimité.* »[46] Cette prudence à asséner des vérités énergétiques et technicoéconomiques (notamment sur la fiabilité et les logiques de formation des prix des convertisseurs Diesel) amène les auteurs de cette étude à conclure que « *pratiquement on peut se demander s'il ne serait pas plus économique de choisir des solutions solaires* »[47].

Des analyses américaines du Solar Energy Research Institute (SERI[48]) mené en 1979-1980 pour l'US Department of Energy (DOE) vont dans le même sens. La Sofretes et ses réalisations bénéficient ainsi d'un certain crédit : « *Les produits solaires les plus avancés commercialement conçus pour les applications du Tiers-monde sont les systèmes d'irrigation développés par le consortium français, Sofretes.* »[49] Ces études insistent sur la nécessité de prendre en compte les aspects sociaux[50] et environnementaux comme éléments d'évaluation technologique dans une approche globale des besoins[51] : « *L'évaluation technologique, sous-composant d'une évaluation de projet plus vaste, ne peut être prise isolément. La performance de l'équipement ou de l'ensemble d'un système ne peut être mesurée et analysée qu'en fonction de besoins définis ou d'objectifs de projet.* »[52] Le principal enjeu n'est d'ailleurs pas forcément celui des énergies fossiles sur lesquelles l'approche comparative aime à détourner les évaluations, mais plutôt celui du bois, comme le rappelle Checkne Traore du Laboratoire d'énergie solaire de Bamako en 1979 à Atlanta :

46 *Ibid.*, p. 124.

47 *Ibid.*, p. 126.

48 Institut de recherche soutenu par l'administration Carter, puis délaissé par le gouvernement Reagan à partir de 1981. « *The Solar Energy Research Development Act of 1974 established the Solar Energy Research Institute (wich became the National Renewable Energy Laboratory in 1991). This facility is DOE's single-mission laboratory dedicated entirely to the development of renewable energy technologies.* » (Larson & West, 2003, p. 702). En 1975, le programme fédéral de recherches solaires américain fut confié à une administration de mission, l'Energy Research Development Administration (ERDA). À partir de 1977, le programme fut supervisé par le DOE (Larson & West, 2003, pp. 698-699).

49 « *The most commercially advanced solar products designed for Third World applications are the irrigation systems developed by the French consortium, Sofretes.* » HASWORTH, J.H., « Renewable Energy Sources for the World's Poor », SERI, U.S. Department of Energy October 1979, p. 14. Cité dans Caille, 2017, p. 74.

50 *Ibid.* Annexes B7-B9 « Technology characterization criteria ».

51 SERI, US Department of Energy, « Matching Renewable Energy Systems to Village-Level Energy Needs », June 1980.

52 « *Technology evaluation, a subcomponent of a larger project evaluation, cannot be taken in isolation. The performance of equipment or of an entire system can only be measured and analyzed against defined needs or project objectives.* » *Opus cit.*, Annexes B3-B6.

« *C'est dans les zones rurales que nous sommes confrontés au plus grand défi pour répondre aux besoins énergétiques des populations qui, à l'heure actuelle, dépendent entièrement du bois et du charbon de bois. Même si les chiffres exacts font défaut, les estimations faites par le Département des forêts montrent un doublement de la consommation de bois au cours de la période de deux ans de 1973 à 1975.* »[53]

Désorienter l'interprétation

Au-delà du regard historique, une évaluation complète d'une station solaire comme celle de Diré devrait prendre en compte prioritairement l'avis des populations maliennes. Or, les analyses les plus influentes sont l'apanage d'organismes bailleurs comme la Banque Mondiale. En 1981, cette dernière publie une vaste évaluation des dispositifs techniques de pompage solaire pour l'irrigation. Les résultats sont donnés par un modèle mathématique de simulation informatique. Les données économiques et techniques sont quantitatives, absolues, théoriques, complètement « hors-sol », et pré-indexées sur des seuils de validités déterminés en amont par l'institution, tel le prix du mètre cube compétitif en 1979 fixé à 0,05 $[54]. Ainsi, le solaire thermodynamique basse température, et notamment les installations de type cycle de Rankine, comme celles de la Sofretes, sont complètement décrédibilisés par la grille de variables utilisée – variables purement technico-économiques. Et ceci, comparativement aux potentiels photovoltaïques qui sont vantés pour leurs moindres coûts théoriques sans aucune référence à des témoignages de terrain sur leur fonctionnement empirique à travers les rapports sociaux tissés avec cette technologie. La question des enjeux d'égalité sociale liée à la plus ou moins grande capacité d'appropriation de ces machines par les villageois n'est par exemple pas posée[55].

Il existe bien d'autres analyses défavorables émanant d'institutions internationales, d'experts techniciens, de leaders sectoriels et d'agents publics, que nous ne pouvons développer ici. Retenons qu'il y a sûrement matière à discussion, mais que ce sont plus les différences de variables retenues dans les évaluations que les résultats obtenus qui devraient les entretenir, car ces grilles ne se valent pas. Les unes insistent davantage sur des critères économiques à court terme, sur des modèles théoriques noués autour d'indépassables limites techniciennes, quand d'autres admettent la priorité des éléments sociaux à long terme.

53 « *It is in the rural areas that we face the greatest challenge to serve the energy needs of the people who at the moment rely entirely on wood and charcoal. Even though exact figures are lacking, estimates made by the Forestry Department show a doubling of wood consumption in the two-year period from 1973 to 1975.* » African Solar Energy Workshop, May 21-26, 1979, Atlanta, p. 31.

54 World Bank, « Small-Scale Solar-Powered Irrigation Pumping Systems. Technical and Economic Review », September 1981, p. 1.

55 *Ibid.*, p. 110-144.

Conclusion : Entre intérêt historique et enjeu mémoriel

Quels éléments retenons-nous pour une évaluation à visée mémorielle de la station solaire de Diré ?

S'il convient de retenir de fertiles critiques, nous pensons qu'elles doivent être trouvées dans les analyses globales des enjeux agricoles auxquels le projet était censé apporter des solutions. Les travaux de René Dumont (1962, 1986) en rendent parfaitement compte à l'époque. Le principal écueil que représente le moto-pompage, qu'il soit solaire ou Diesel, réside dans son incapacité à régler par lui-même les causes de la désertification, à savoir, l'érosion des sols due à une déforestation massive pour le bois de chauffe, à la priorité accordée aux cultures d'exportation, et à une gestion totalement inégalitaire des terres et des troupeaux qui mène au surpâturage et à une pollution des points d'eau. C'est d'abord de traction animale dont l'agriculture sahélienne vivrière a besoin pour pomper l'eau et fumer le sol de petits périmètres irrigués. Puis, elle nécessite une répartition des terres, un accès aux semences et aux mécanismes de formation des prix des denrées, équitables. C'est de souveraineté alimentaire et énergétique dont il est question, et non pas de technologie. En bref, les facteurs exogènes pèsent lourd sur le projet qui doit trouver sa place dans les dynamiques de domination externes et internes aux sociétés africaines postcoloniales. La machine n'est pas suffisante. Ce sont les usages de ses capacités sociales qui déterminent son évaluation positive ou négative. Évaluer cette mémoire énergétique demande de penser la machine et l'irrigation comme des construits politiques, des instruments de légitimations et d'emprise (Blanc, 2012).

Cependant, et incontestablement, Diré fut un « objet total » qui n'était pas orphelin. La machine était insérée dans son environnement industriel et technique, et elle fut partie prenante d'une opération de coopération. Elle fut le prototype d'un scénario sahélien pour une filière solaire basse température. Les pouvoirs publics français investirent dans cette proposition sociotechnique. Leurs homologues maliens en tirèrent profit. Elle était potentiellement bonne pour les populations villageoises. Elle fut une capacité d'intensification agricole installée, qui prouva sa fiabilité en regard des groupes Diesel défectueux.

Malheureusement pour la destinée et la postérité du prototype, elle ne fonctionna que deux années, oblitérant ses chances de se voir attribuer par l'évaluation technico-économique et peut-être par la posture muséographique, plus que le bénéfice du doute. L'aménagement des périmètres irrigués ne fut jamais achevé, le service après-vente fut assuré mais aucun contrat de maintenance ne fut jamais convenu. L'amalgame entre la machine et le projet et ses difficultés lui fut fatal.

Nonobstant, notre étude historique apporte aujourd'hui des éléments en faveur d'une reconsidération des objectifs qui furent partiellement atteints, ce que des archives ministérielles confirment (voir partie III), posant ainsi la question de son nécessaire repositionnement (ou pas) dans la mémoire énergétique et sociotechnique. Nous penchons par l'affirmative, à l'aune des propos de l'Abbé Grégoire, dans lesquels notre évaluation sociotechnique renouvelée trouve ici d'évidentes résonances. D'abord, car il n'est pas d'obligation de résultat, par trop arbitraire et relative, qui justifie à elle seule le droit d'être mémorable : « *Car, même si des découvertes ne présentent que des faits et des vues, sans application immédiate aux besoins de la société, tenons pour certain que ces chaînons isolés se rattacheront un jour à la grande chaîne des êtres et des vérités* » (Durance, citant Grégoire, 2010, p. 15). Secondement, car si, comme nous l'avons présenté ci-dessus, une évaluation sociotechnique raisonnable semble devoir « mesurer » la machine, aussi, au regard de l'avis des utilisateurs, la légitimité mémorielle devrait procéder de pair :

> Pour remplir ces différentes missions, l'abbé Grégoire assigne au Conservatoire un rôle d'interface entre les inventions et le public. Ainsi, les citoyens pourront venir non seulement « *s'éclairer des bons modèles* », mais aussi « *éclairer les artistes par la justesse de leurs observations* ». Il considère, qu'en dernier ressort, ce public doit être le seul juge de l'intérêt des inventions pour la Nation puisqu'ils en sont les premiers bénéficiaires. Voilà bien une idée qui est, encore de nos jours, proprement révolutionnaire ! (Durance, 2010, p. 21).

Nous le voyons, la postérité des idées de Grégoire pourrait elle-même déclencher bien des controverses autour des cadres réglementaires, des missions statutaires et du rôle des musées dans la société.

Pour en terminer, plus que toutes autres raisons en faveur d'une réintégration de l'objet solaire oublié à Diré il y a trente ans, il en est une qui, à elle seule la justifie pleinement : d'une opération de démonstration (circonscrite et imparfaite par définition), le prototype s'est mué en 1980 en un instrument efficient, autorisant ainsi une trajectoire sociotechnique et énergétique alternative. Il a accompli sa pragmatique mission, en pompant l'eau du fleuve Niger, et ce faisant, il l'a dépassée, en objectivant une solution potentiellement industrielle alors soumise au choix politique. De là à penser qu'une mise à l'agenda mémoriel procède du même déterminisme, il n'y a qu'un pas.

L'enjeu mémoriel est donc total : il fut question de nourrir les hommes pour les uns, et de les gouverner pour les autres. Avec une machine solaire.

Bibliographie

Armatte M. (2012). « Théorie et ingénierie économiques : deux siècles de contribution des ingénieurs des mines ». *In* A.-F. Garçon & B. Belhoste (dir.). *Les ingénieurs des Mines : cultures, pouvoirs, pratiques*. Paris : IGPDE, pp. 51-83.

Bhalla A. S. & Reddy A. K. N. (eds.). (1994). *The technological transformation of rural India*. Londres : Intermediate Technology Publications.

Blanc P. (2012). *Proche-Orient : Le pouvoir, la terre et l'eau*. Paris : Les Presses de Sciences Po.

Caille F. (2017). « L'énergie solaire thermodynamique en Afrique : la Société française d'études thermiques et d'énergie solaire, ou Sofretes (1973-1983) ». *Afrique contemporaine*, n° 261-262, pp. 65-84.

Caille F. & Badji M. (dir.) (2018). *Du soleil pour tous : l'énergie solaire au Sénégal : un droit, des droits, une histoire*. Québec (Québec) : Éditions science et bien commun [esbc], Environnement.

Camara B. (2009). « Évolution des systèmes fonciers au Mali ». Thèse de doctorat en droit, Université Gaston Berger de Saint Louis du Sénégal.

Dumont R. (1962). *L'Afrique noire est mal partie*. Paris : Éditions du Seuil.

Dumont R. (1986). *Pour l'Afrique j'accuse*. Paris : Plon.

Dunn P. D. (1978). *Appropriate Technology, Technology with Human Face*. London : The Macmillan Press LTD.

Durance P. (2010). « Rapport sur l'établissement d'un Conservatoire des arts et métiers, par Grégoire (septembre 1794) ». Conservatoire national des arts et métiers. Édition commentée [en ligne]. Sur le site de la Chaire de Prospective et Développement durable du Cnam [URL : http://www.laprospective.fr/dyn/francais/memoire/autres_textes_de_la_prospective/articles/rapport-sur-letablissement-dun-conservatoire-des-arts-et-metiers-abbe-gregoire-1794.pdf].

Fridenson P. & Griset P. (dir.) (2013). *Entreprises de haute technologie, État et souveraineté depuis 1945*. Paris : IGPDE.

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

Guruswamy L. D. & Neville E. (eds.). (2016). *International energy and poverty : the emerging contours*. London : Routledge.

Hecht G. (2004). *Le rayonnement de la France*. Paris : La Découverte.

Herléa A. (dir.) (1995). *L'énergie solaire en France*. Paris : CTHS.

Larson R. & West E. R. (2003). *Implementation of Solar Thermal Technology*. Cambridge : The MIT Press.

Marabito V. (1977). « L'Office du Niger au Mali, d'hier à aujourd'hui ». *Journal des africanistes*, tome 47, fascicule 1, pp. 53-82.

Ruedel M. (1922). « Conférence. Du coton au Soudan français ». *Les Annales coloniales*, 30 janvier 1922.

Valude P. (1922). « Notre voyage en A.O.F. Le coton ». *Les Annales coloniales,* 15 mai 1922.

Article de recherche

Du solaire par le froid et inversement : Techniques frigorifiques et énergie solaire, une continuité technologique oubliée

Frédéric Caille
Maître de conférences HDR en science politique, Triangle-ENS Lyon, Université Savoie Mont Blanc

Alexandre Mouthon
Doctorant en science politique, Sciences Po Lyon, laboratoire Triangle-ENS Lyon

Résumé

L'objet de cette contribution est de proposer une mise en perspective historique d'une continuité technologique oubliée, celle qui prolonge les techniques frigorifiques dans la conversion solaire thermodynamique du XIXe siècle jusqu'aux propositions sociotechniques de la Sofretes dans les années 1970. C'est ainsi que le lien « solaire-froid », bien au-delà d'une généalogie technique secondaire, jette des ponts étonnants entre les périodes, et ouvre à un renouvellement profond du regard sur la trajectoire sociotechnique de l'énergie solaire.

Mots-clés : techniques frigorifiques ; énergie solaire ; Mouchot ; Tellier ; Sofretes.

Abstract

This contribution proposes an historical perspective about the links between refrigeration and solar thermodynamic technologies since the end of the 19th century. Much more than a peripheral technical path, it opens a bright new vision on the sociotechnical trajectory of solar energy.

Keywords: refrigeration technology; solar energy; Mouchot; Tellier; Sofretes.

Les techniques frigorifiques ont inspiré des dispositifs de transformation de la chaleur solaire en force mécanique. Ce lien est très ancien et encore souvent méconnu. Son étude est emblématique de la démarche que nous défendons dans cet article : comment des trajectoires sociotechniques contemporaines peuvent être réévaluées et relues par une approche centrée sur les matériels et les pratiques. Comme nous souhaiterions le montrer ici, en nous appuyant sur les écrits et les prototypes de ces techniques, souvent méconnus, dont il est possible d'avoir connaissance, les propriétés des fluides gazeux liquéfiables furent utilisées dès le XIXe siècle pour transformer les différentiels de température en force mécanique. Il s'agit donc de comprendre comment ces connaissances d'un processus physicochimique ne furent pas seulement appliquées à la production de froid mais furent mobilisées dans un temps long pour proposer une solution sociotechnique solaire à basse température au problème de la conversion thermodynamique d'un différentiel de température naturelle. Ainsi, nous procéderons à une mise en perspective historique d'une continuité technologique oubliée. Plus exactement, cette continuité a été à moitié écartée, puisque la trajectoire frigorifique existe toujours aujourd'hui, mais sans sa branche solaire. Actuellement, c'est l'électricité d'origine nucléaire ou fossile qui alimente la source chaude des moteurs, qu'ils soient des compresseurs frigorifiques ou des pompes par exemple ; mais historiquement ce fut au soleil que pensèrent les premiers innovateurs pour ce faire. Pour le montrer nous devons tout d'abord bien saisir le principe moteur dont il est question, et les possibilités qu'il offre de transformer la chaleur solaire.

En changeant successivement d'état, en fonction de la température et de la pression, dans un cycle domestiqué par une machine contrôlée par l'homme, certains corps (eau, ammoniaque, anhydride sulfureux, chlorure de méthyle, gaz carbonique ou de pétrole, puis Fréons au XXe siècle, etc.) génèrent, dans le milieu de la réaction, du froid – ils cèdent des frigories – ou du chaud – ils cèdent des calories –, et, si leur détente est canalisée, de la force motrice. Dans tous les cas, que l'objectif soit de produire l'un ou l'autre, la question d'alimenter la source chaude se pose comme une alternative : doit-on avoir recours à des combustibles (des *fuels* disent les Anglo-Saxons) (fos siles ou non) ? Ou doit-on récupérer de la chaleur, qu'elle soit d'origine naturelle (solaire, aérothermique, géothermique, thermique des mers) ou industrielle (résultant de refroidissement, de frottements) ? Se pose également la question de boucler le cycle de la source froide, laquelle guide la conception du moteur. Comme l'écrit Robert Lesage, son premier biographe, en 1928, à propos du raisonnement de Charles Tellier qui fut le principal expérimentateur français connu pour avoir détourné un cycle frigorifique au service de la conversion solaire thermodynamique (*cf.* image 1) : « *Il fit remarquer avec raison que la production de force motrice thermique et celle du froid étaient toutes deux le résultat de manifestation calorique*

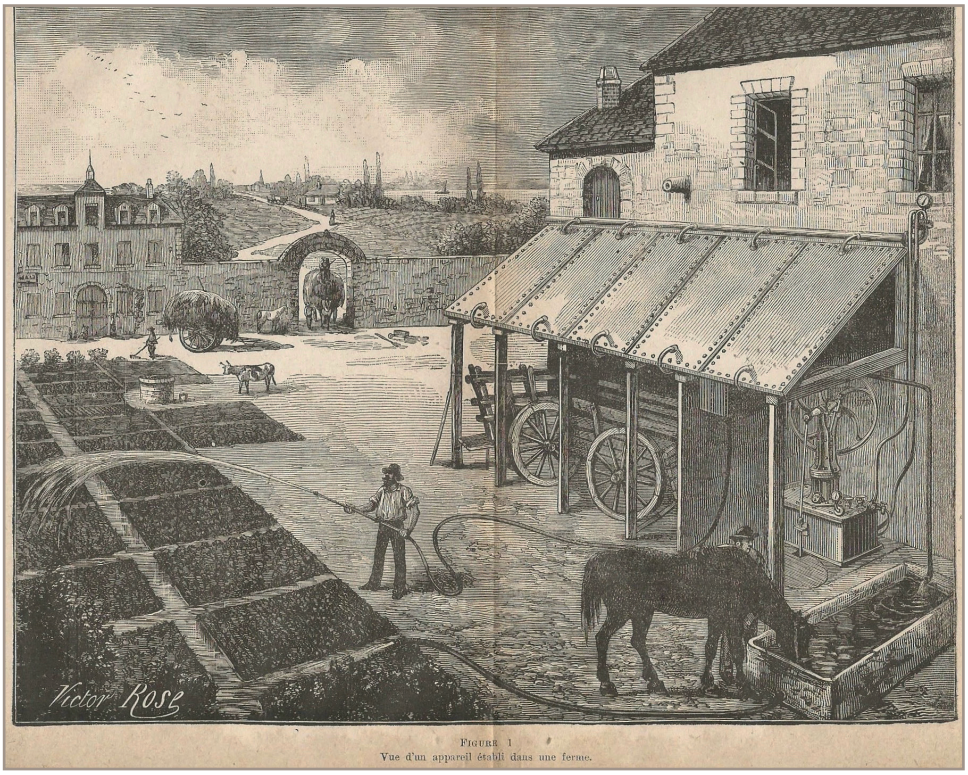


Image 1 – Illustration de l'appareil d'élévation des eaux par la chaleur solaire de Tellier placée au centre de son ouvrage

(Charles Tellier, *La conquête pacifique de l'Afrique occidentale par le soleil*, Paris, J. Michelet Éditeur, 1890. Coll. part. F. Caille)

ou, pour mieux le dire, d'absorption de chaleur » (Lesage, 1928, p. 46). Tellier bénéficia d'une reconnaissance officielle très tardive[1] (Ribeill, 2001).

Redécouvrir ce chemin technologique perdu, comme nous le verrons dans un premier temps, demande tout d'abord de mesurer d'un œil neuf le travail de ses premiers promoteurs, dès la fin du XIXe siècle. La production de glace par le soleil, au tournant des années 1880, est un fait acquis. Celle de la force motrice, malgré les limites de puissance et d'intermittence, également. À partir de cette date, c'est une véritable « ligne technologique », comme nous le verrons dans un second temps, qui est en train

1 La biographie vise explicitement à établir la postérité de l'innovateur : « *Un Américain du Nord, M. Walter R. Sanders, n'a pas cru exagéré de dire que « la machine à froid mérite d'être mise sur le même rang que la machine à vapeur et l'électricité, comme l'un des principaux agents du développement des progrès et de la prospérité de l'humanité » (4e congrès international du froid, Londres, 1924). Or, c'est un Français* […] *qui est le promoteur de l'industrie frigorifique mondiale : Charles-Louis-Abel Tellier* » (Lesage, 1928, p. 1).

de naître. La notion de « récupération de la chaleur perdue » en devient le concept porteur et elle se poursuit, marginale, pointillée mais continue, au fil du XXe siècle. Elle traverse alors, comme le montreront les liens « frigoristes » à la fois conceptuels et d'acteurs présents dès l'origine de la Société française d'études thermiques et d'énergie solaire (Sofretes) dans les années 1960, toute l'histoire mondiale du solaire thermodynamique. C'est ainsi que le lien « solaire-froid », bien au-delà d'une généalogie technique secondaire, jette au final des ponts étonnants entre les périodes, et ouvre à un renouvellement profond du regard sur la trajectoire sociotechnique de l'énergie solaire.

Du froid et de la force par le soleil : Mouchot et Tellier, les précurseurs

Les observations qui ont été portées sur les technologies ici évoquées, sur leurs initiateurs, sur les objectifs de ces derniers et sur leurs savoir-faire sont souvent indissociables. L'histoire des énergies non carbonées est en effet presque toujours écrite du point de vue des trajectoires sociotechniques qui se sont imposées. Faute d'attention précise aux matériels et à leur réévaluation raisonnée, il s'agit d'un aspect sous-jacent important de la présente démonstration, les innovateurs de cycles énergétiques hétérodoxes semblent aux yeux mêmes des historiens des rêveurs, des inventeurs isolés, sinon parfois des esprits fantasques ou dérangés. Les cas de Charles Abel Louis Tellier (1828-1913), ingénieur autodidacte, ainsi que de son contemporain Augustin Mouchot (1825-1912), précurseur mondial incontesté – encore que peu reconnu en France – dans l'exploration des usages thermo-mécaniques potentiels du rayonnement solaire, sont à cet égard très symptomatiques[2].

Tellier et Mouchot, l'un et l'autre, ont tout d'abord été considérés par l'historiographie comme des exemples de ces « ingénieurs civils non diplômés », des ingénieurs dont le nombre se multiplierait à la fin du XIXe siècle comme l'a souligné Serge Ribeill, en même temps que les utopies techniciennes qu'ils produisent. Ces ingénieurs, considère-t-il, sont des individus hybrides, hétérodoxes, incontrôlables et incontrôlés, mais en même temps, souvent, des inventeurs féconds « *dans une spécialité technologique qu'ils maîtrisent plus empiriquement que rationnellement* » (Ribeill, 2001, pp. 116-117). La qualification « d'empiriste », qui s'oppose implicitement à celle de « rationaliste »

2 Un seul article académique a été consacré à Augustin Mouchot (Jarrige, 2010). Il se propose de le resituer dans l'histoire culturelle et politique française et tend à minorer, sans doute involontairement, son travail d'un point de vue technique ainsi que du point de vue de l'impact international de ses démonstrations chez nombre d'innovateurs solaires du XXe siècle. Ainsi la formule-titre, amusante mais légèrement dépréciative car un peu ridicule, « *Mettre le soleil en bouteille* », n'est-elle jamais employée par Augustin Mouchot. Elle s'inscrit dans un imaginaire du stockage fossile (les bouteilles de soleil, à mettre en cave, renvoyant au charbon), et a été proposée pour la première fois par le journaliste-ingénieur des mines Louis Simonin dans un article de 1865.

(sous-entendu « diplômé d'État ») mérite d'être relevée. Faute d'une expertise officielle, et malgré leur inventivité, les innovateurs « non diplômés » dont parle Serge Ribeill ouvrent des trajectoires sociotechniques non industrialisées – ou non complètement industrialisées. Ces trajectoires sont écartées des potentiels puis dévaluées devant l'histoire par le seul fait de ne pas avoir été élues, jetant ainsi le discrédit tant sur les propositions que sur leurs porteurs. Le domaine de la conversion de l'énergie solaire, qui nous intéresse ici, se trouve alors artificiellement circonscrit dans le passé à un simple inaboutissement ou à la seule gestation des techniques aujourd'hui dominantes.

La simplicité de ces assertions historiographiques convient mal aux personnes et aux travaux tant d'Augustin Mouchot que de Charles Tellier. Le premier, en sus d'accéder à la première classe des professeurs des lycées impériaux du Second Empire, est en effet un mathématicien de haut niveau, auteur de deux ouvrages d'algèbre géométrique fondamentale primés par l'Académie des sciences. S'étant intéressé aux applications pratiques et usuelles de l'énergie solaire, ayant bénéficié de quatre années de financement officiel en Algérie, il a rapidement trouvé sa place dans les manuels de physique théorique et pédagogique de son époque (Fernet, 1877)[3].

Le second est l'auteur d'un ouvrage intitulé *L'ammoniaque dans l'industrie* qui paraît en 1866, ouvrage d'un « *empirisme* » suffisamment construit et réfléchi pour s'imposer comme le premier exposé systématique de « *toutes les applications* » qui « *découlent des propriétés frigorifiques de ce corps* » (Lesage, 1928, p. 41). Tellier met en effet au point différentes machines frigorifiques – par absorption et par compression mécanique[4]–, mais il envisage également « *l'ammoniaque force motrice* », laquelle occupe une large place dans ses expérimentations tant pour les transports terrestres et la navigation que pour élever de l'eau ou créer le vide d'un système de transmission pneumatique (Lesage, 1928, p. 37).

Tellier publie ainsi de 1883 à 1889 quatre textes sur les usages de la thermodynamique pour la transformation en travail utile des gradients modérés de températures – naturelles et industrielles. Le titre de celui de 1889 est sans ambiguïté : *Élévation des eaux par la chaleur atmosphérique, utilisation des chaleurs perdues, forces motrices gratuites, éclairage gratuit, froid gratuit*[5]. Tellier est un expérimentateur, comme Mouchot, ou comme plus tard les fondateurs de la société italienne SOMOR (*cf. infra*) ou de la française Sofretes. À Auteuil, au soleil

3 Il est également cité par André Missemard, polytechnicien et thermicien important du XXe siècle, comme nous l'a signalé l'un des évaluateurs du présent article.

4 Les brevets Tellier sont disponibles à l'Inpi. Les textes de Tellier sont disponibles à la BnF. Lesage, dans son ouvrage cité plus haut, recense les mémoires originaux et les notes présentées par Tellier à l'Académie des Sciences ainsi que ses principaux ouvrages (1928, pp. 191-193).

5 Disponibles au Catalogue de la BnF.

de mars 1889, il fait ainsi fonctionner une pompe solaire à l'ammoniaque : « *Utiliser les rayons du solaire fut une autre de ses ambitions… pourquoi ne pas transformer en agents producteurs de forces les vastes surfaces, tels que les toits, qui reçoivent du soleil un nombre considérable de calories* ? » (Lesage, 1928, p. 50). Le journal *Le Figaro* du 24 mars relaye le succès de l'opération : « *Une expérience très curieuse a été faite hier 23 mars* […]. *Un appareil puisant de l'eau dans un puits la faisait jaillir du sol en un courant continu d'environ 3 000 litres par heure ; cet appareil était mû par le soleil, dont la faiblesse était cependant assez grande pendant cette journée. Il y a là une découverte considérable* ».

En 1890, saisi par le potentiel que représente l'Afrique de l'Ouest où s'étend la présence française – « *un immense centre de consommation* » en puissance, plus de 100 millions de consommateurs aptes à absorber la surproduction des premiers pays industrialisés (Tellier, 1890, p. 2) –, Tellier se donne pour objectif « *la conquête pacifique de l'Afrique occidentale par le soleil* », titre de l'opuscule qu'il fait paraître en cette même année. Se proposant d'utiliser non plus la vapeur d'eau – comme l'avait fait dix ans plus tôt Mouchot – mais l'ammoniaque, en tant que fluide calorique échangeur, il y envisage une démultiplication des performances des insolateurs et l'usage des toits comme « capteurs-plan » solaires directement reliés à un moteur à piston. Il décrit en termes très didactiques cette première association du mécanisme frigorifique par absorption à celui du moteur à piston (*cf.* images 2 et 3) :

> En résumé, la chaleur solaire force le gaz ammoniac à sortir de sa dissolution et le fait travailler à produire de la force motrice ; l'eau froide extraite du sol, par l'absorption calorifique qu'elle exerce, permet, au contraire, la réintégration du gaz ammoniac dans ladite solution. […] La vapeur sous pression, ainsi générée, est dirigée vers un cylindre moteur analogue à tous les cylindres de machines à vapeur. Le piston de ce cylindre actionne une pompe à eau (Tellier, 1890, pp. 73-74).

Tellier insiste sur l'usage possible de ce moteur solaire pour dessaler les eaux saumâtres une fois pompées, en prolongeant son travail à des appareils frigorifiques qui congèleront l'eau afin d'en faire précipiter les sels et de permettre ainsi tant la consommation que l'irrigation. Une sorte de boucle technique et pratique s'esquisse alors et se referme sur elle-même : du travail solaire initié par le froid au froid créé par le solaire. Tous les autres usages mécaniques (labourage, transports ferrés ou fluviaux) ou électriques (éclairage par piles thermosolaires) sont également mentionnés.

Si Tellier extrait de la réflexion sur le froid l'idée de faire travailler le soleil, Augustin Mouchot, on l'ignore souvent aujourd'hui, a fait dix ans avant lui le chemin inverse. Les deux hommes et les deux techniques, loin d'être conflictuels, démontrent l'inter-détermination de travaux et de préoccupations sociotech-

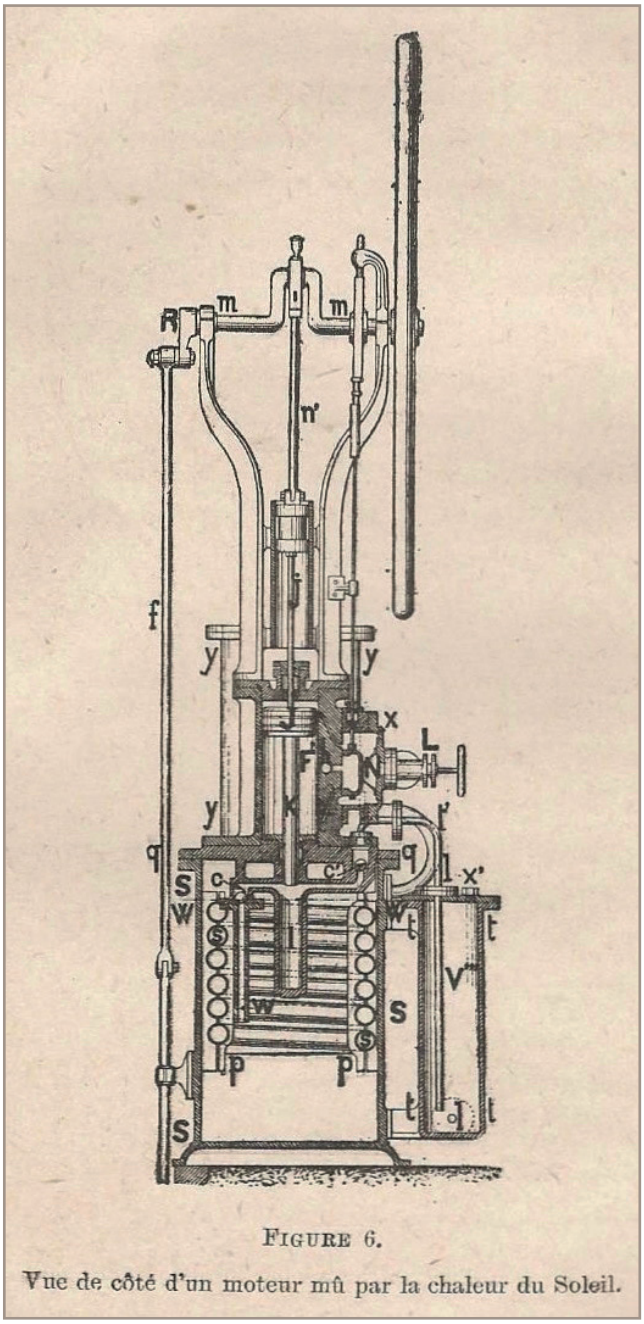


Image 2 – Plans dessinés de la motopompe solaire de Tellier issus de son ouvrage

(Charles Tellier, *La conquête pacifique de l'Afrique occidentale par le soleil*, Paris, J. Michelet Éditeur, 1890, pp. 81-82. Coll. part. F. Caille)

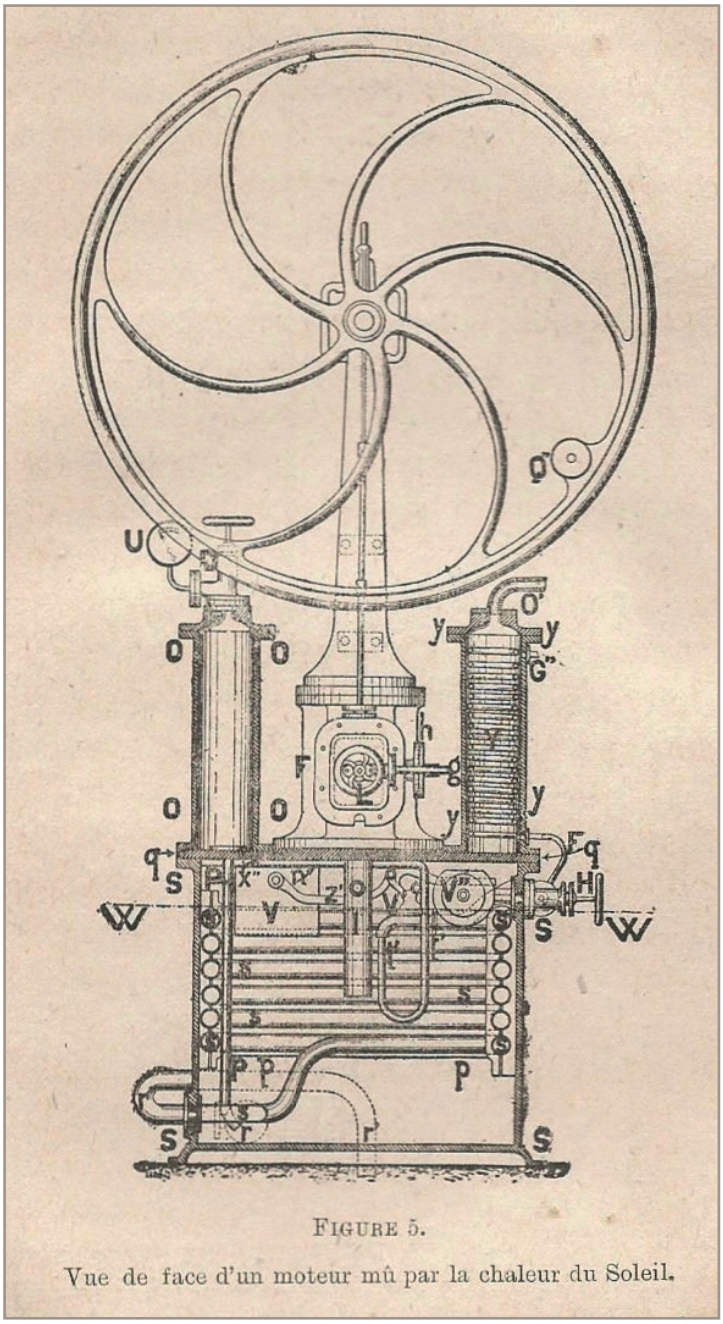


Image 3 – Plans dessinés de la motopompe solaire de Tellier issus de son ouvrage

(Charles Tellier, *La conquête pacifique de l'Afrique occidentale par le soleil*, Paris, J. Michelet Éditeur, 1890, pp. 81-82. Coll. part. F. Caille)

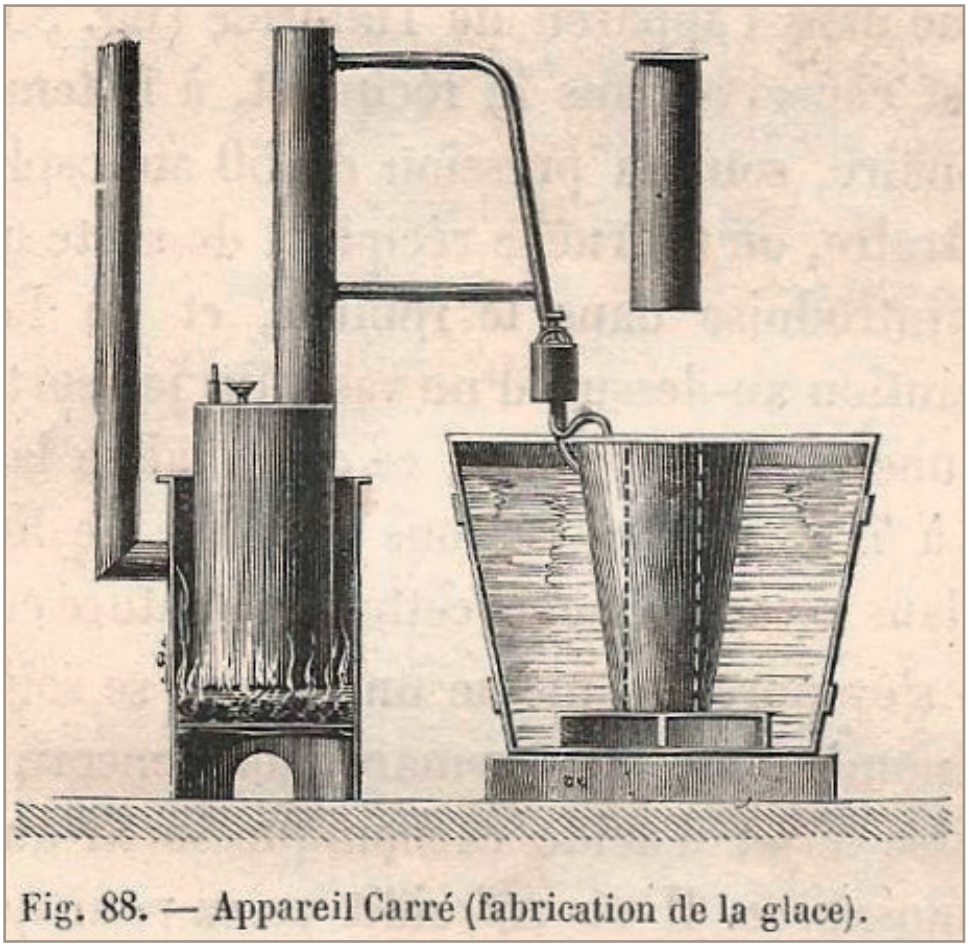


Image 4 – Illustration de l'appareil Carré
(Émile Fernet E. & Charles-Alexandre Drion, *Le Traité de physique élémentaire*, sixième édition, Paris, Masson, 1877, p. 315. Coll. part. F. Caille)

niques alors très convergents, et qui vont le rester sur le long terme.

En effet, à l'Exposition Universelle de Paris de 1878, alors que Tellier fait visiter son navire Le Frigorifique, lequel a traversé deux ans plus tôt l'Atlantique avec, comme son nom l'indique, des cales isolées et réfrigérées (Tellier, 1910) – nous verrons plus loin que cela a son importance –, c'est surtout Mouchot qui tient en haleine le public avec ses appareils solaires. Après avoir cuit et distillé avec des appareils de diverses tailles, il fait fonctionner en septembre 1878 une machine à vapeur mue par la chaleur solaire concentrée. Il en profite pour élever de l'eau et pour

produire de la glace en détournant une machine Carrée à ammoniac[6] (image 4) :

> Hier, 29 septembre, le soleil s'étant dégagé des nuages vers 11h1/2, j'avais 75 litres d'eau en ébullition à midi – et la tension de la vapeur s'est élevée graduellement de un à sept atmosphères, limite du manomètre, dans l'intervalle de deux heures malgré l'interposition de quelques vapeurs passagères. J'ai pu recommencer l'expérience du 22 septembre puis diriger la vapeur dans un appareil Carré, ce qui m'a permis d'obtenir un bloc de glace[7].

Mouchot obtient sept bars de pression, quand le 22 septembre plus de six bars se sont déjà affichés au compteur, et avec désormais 1 800 litres d'eau à l'heure montés à deux mètres, et du vrai froid obtenu par le soleil, il pense légitimement avoir touché du doigt des avancées déterminantes. Malgré ses demandes, il n'obtiendra cependant jamais une évaluation sérieuse de ses procédés – notamment la production de glace par le soleil. Une commission établie à Montpellier et présidée par le professeur de physique André Crova se contente en mars 1882 d'un avis réservé sur le potentiel du solaire thermodynamique en France métropolitaine (Caille, 2020). En 1883, quand Tellier commence à envisager de produire du solaire par le froid, Mouchot, lui, a définitivement pris de la distance avec le soleil pour se consacrer à ses réflexions mathématiques.

Machine frigorifique et force motrice : les convergences tout au long du XXe siècle

Tellier et Mouchot se retrouvent, se complètent, se prolongent. Mouchot concentre le rayonnement solaire – il utilise son fameux concentrateur parabolique que transforme un peu Abel Pifre et dont le seul modèle réduit est au Musée des arts et métiers –, et il s'appuie sur les changements d'état de l'eau – qui nécessitent beaucoup de calories. Tellier capte quant à lui le soleil à plat (capteurs-plans), et il transforme directement l'ammoniac qui nécessite moins de calories. Jean-Pierre Girardier (1935-2018) et la Sofretes, cent ans plus tard, captent le soleil à plat, mais avec de l'eau, puis transfèrent sa chaleur à un fluide frigorifique, et centrent leurs efforts sur la sortie mécanique du cycle organique de Rankine[8].

Ces divers chemins d'une même direction de trajectoire sociotechnique se

6 La machine des frères Carré a été l'une des attractions de l'Exposition Universelle de 1862 à Londres où elle a fabriqué des glaçons en continu, et ce sont les mêmes fabricants que ceux du récepteur solaire, les associés Mignon et Rouard, qui en ont le brevet sur Paris. Basée sur le principe de la dissolution de l'ammoniaque dans l'eau, il s'agit de la première forme de réfrigération artificielle.

7 Archives de l'Académie des Sciences, rapport manuscrit d'Augustin Mouchot, 29 septembre 1878.

8 Sur l'« Organic Rankin Cycle » (ORC), son histoire et ses applications aux énergies renouvelables, voir le site web du Knowledge Center Organic Rankine Cycle [URL : http://www.kcorc.org/en/science-technology/history]. Voir également Invernizzi (2013) et Macchi & Astolfi (2017).

retrouvent dans les propositions solaires de la première moitié du XXe siècle. Ce que l'on pourrait dénommer « l'influence frigoriste » dans la conversion de l'énergie solaire a une longue filiation.

En effet l'idée du syncrétisme technique qui capte les calories solaires à plat pour les transférer et les transformer grâce à deux fluides intermédiaires, dont un frigorifique, est appliquée aux États-Unis dès 1902[9]. Alors qu'A.G. Eneas, comme Mouchot, concentre le rayonnement pour faire monter en pression de la vapeur d'eau, Willsie et Boyle optent pour des capteurs plans (en bois à cette époque), comme Tellier (puis Girardier), avec un dispositif d'inspiration frigoriste. Les faits nous sont relatés par Ackermann, dans son article de synthèse de 1915 :

> H. E. Willsie and John Boyle, Jun., ont commencé leur travail en Amérique en 1902. Leur méthode consistait à laisser passer la radiation solaire à travers du verre et de l'eau chauffée, laquelle était utilisée pour vaporiser un fluide volatile tel que l'hydrate d'ammonium, ou le dioxyde de soufre, la vapeur étant utilisée pour actionner un moteur. Willsie pense qu'il a été le premier à proposer cette méthode à double fluide pour la captation de l'énergie solaire, et pour autant qu'on le sache sa revendication est légitime (Ackermann, 1915, p. 553).[10]

En 1903-1904 les deux Américains fondent la Willsie Sun Power Company qui installe deux unités motrices, l'une à l'ammoniac, et l'autre à l'anhydride sulfureux qui actionne une pompe et un compresseur : « *Le moteur actionne une pompe centrifuge, qui monte l'eau d'un bon 13 mètres, et entraîne également un compresseur, en plus de deux pompes de circulation* »[11] (Ackermann, 1915, p. 553).

Dans les années 1920-1930, dans la Lybie récemment conquise, des Italiens appliquent les mêmes principes à des pompes solaires destinées à l'irrigation des colonats. C'est le cas de l'artisan-mécanicien-frigoriste italien Daniele Gasparini (1895-1960) qui présente son prototype de moteur à la foire de Tripoli en juillet 1936. Après la Seconde Guerre mondiale, renforcé par sa collaboration avec l'ingénieur Ferrucio Grassi (1897-1980), il met au point une première pompe solaire fonctionnelle (Invernizzi, 2013, p. 122-123 ; Macchi & Astolfi, 2017, pp. 29-31). Elle est commercialisée à partir de 1948 sous le nom de « SO. MO. R. » (« SOcietà MOtori Recupero del calore solare e del calore perduto »), un intitulé qui reprend l'objectif affiché par Tellier près d'un demi-siècle plus tôt. Une

9 Certains y pensent à la même date en Europe, tel l'élève-ingénieur belge Kuntziger dont le bulletin de la Société des Ingénieurs Civils rend compte en 1906 du principe d'une « nouvelle machine solaire » fonctionnant à l'ammoniaque, qui ne semble pas avoir été réalisée (Kuntziger, 1906).

10 « *H. E. Willsie and John Boyle, Jun., started their work in America in 1902. The method they adopted was to let the solar radiation pass through glass and heat water, which in turn was used to vaporised some volatile fluid such as ammonium hydrate, ether, or sulphur dioxide, the vapour being used to drive an engine. Willsie thinks he was the first to propose this two-fluid method for the utilisation of solar energy, and so far as the author knows his claim is correct.* »

11 « *The engine operated a centrifugal pump, lifting water from a well 43 ft. deep, and also a compressor, in addition to two circulating pumps.* »

nouvelle fois, chaleur solaire et chaleur « perdue » sont envisagées comme une seule et même source énergétique à convertir.

La pompe SOMOR est présentée en 1955 aux États-Unis lors du World Symposium on Applied Solar Energy de Phoenix dans l'Arizona. L'Association For Applied Solar Energy (AFASE), qui organise l'événement avec le Stanford Research Institute, conserve une pompe SOMOR et en informe le U.S. Department of Interior en 1958 à l'occasion d'une consultation fédérale des organismes de recherches lors de l'établissement du Saline Water Program. La pompe SOMOR est alors présentée aux autorités comme potentiellement utile dans un dispositif de pompage et de distillation des eaux salées par compression, au regard des installations par évaporation directe déjà existantes[12].

L'un des derniers exemplaires de la soixantaine de pompes SOMOR vendues dans le monde est acquis par l'Institut de Physique Météorologique de Dakar créé par le professeur Henry Masson et sert à la réalisation de la thèse de Jean-Pierre Girardier au début des années 1960. Il s'agit de l'ancêtre du moteur de la Sofretes, et le seul des dispositifs ici évoqués à avoir fait l'objet d'une réhabilitation et d'une muséification récentes au Museo del Lavoro et dell'Industria de Rodengo-Saiano (Brescia), dans un objectif de sensibilisation aux usages de l'énergie solaire (GSES, 2014).

En termes de fonctionnement, l'anhydride sulfureux s'y vaporise directement au contact de la chaleur solaire, captée par l'insolateur plan, puis il actionne en se détendant l'unique piston d'un compresseur frigorifique. Le directeur de thèse de Jean-Pierre Girardier relève :

> Un tel ensemble a fonctionné à Dakar pendant plus de six mois sans autre intervention que celle de l'opérateur chargé d'orienter l'insolateur et d'effectuer les opérations élémentaires de graissage. Une caractéristique de l'appareil est que le système d'aspiration breveté permet de puiser l'eau à des profondeurs allant jusqu'à 100 mètres (Masson, 1960, p. 14).

Le dispositif SOMOR avait attiré l'attention du duce Mussolini dans ses premières versions, et il lui manqua peu probablement pour se répandre à une échelle plus vaste.

Récupérer de la « chaleur perdue » pour en faire de la force, qu'elle vienne du soleil, de l'industrie, de la fabrication de froid par compression et liquéfaction de gaz, de la terre, de la mer, ou même de l'air ambiant, telle donc est la ligne technologique souterraine qui traverse l'histoire du solaire thermodynamique.

Émile Guarini, professeur honoraire de physique et d'électrotechnique de l'École des arts et métiers de Lima au Pérou en donne en 1927 l'une des

12 U.S. Department of Interior, Office of Saline Water, « Legislative History Saline Water Conservation Act », Volume III, Part 1, 85th Congress, 1958, pp. 293-294.

expressions les plus précises et ambitieuses dans une communication au Congrès International du Froid de Rome sous le titre « L'utilisation de la chaleur ambiante comme force motrice au moyen de la machine frigorifique » (Guarini, 1927). Il s'agit non plus seulement de « *récupération de chaleur* » mais de créer un cycle à basse température basé sur le principe de « *condenser une vapeur en absorbant la chaleur par la production d'un travail* » (*ibid*., p. 75).

L'auteur explicite clairement sa perspective et le retournement ou décentrement à la fois théorique et pratique qu'elle propose :

> Une machine frigorifique moderne, à compression de vapeurs facilement liquéfiables, n'est qu'une pompe à chaleur. Le compresseur-pompe aspire la chaleur contenue dans le corps qu'on veut refroidir et la jette à l'eau du condenseur, en y ajoutant, en pure perte, les calories de compression. Si on réfléchit que, pour produire de la force motrice, il faut absorber de la chaleur, on se demande pourquoi on ne produit pas du froid, en utilisant la chaleur soustraite aux corps refroidis pour produire de la force motrice (*ibid*., p. 73).

Guarini propose d'utiliser l'acide carbonique « *en attendant mieux* » – les Fréons par exemple –, mais ce gaz a une température d'ébullition de - 80 °C à pression atmosphérique. Il expérimente donc un principe de condenseur qui doit permettre d'atteindre les conditions nécessaires à sa liquéfaction, sachant qu'« *il n'y a pas d'eau de réfrigération* » ni « de *machine frigorifique fonctionnant industriellement à une si basse température* » (*ibid*., p. 75). La machine qu'il invente doit impérativement « *consommer moins de force motrice que le moteur athermique en produit* » (*id*.).

L'élégante solution qu'il expérimente alors consiste à ne pas condenser toute la vapeur détendue dans le cylindre et d'utiliser le retour du piston pour effectuer un travail de compression sur le résiduel, « *c'est le même piston qui est l'organe moteur et compresseur* » (*ibid*., p. 76). Guarini pense avoir réussi mais il a parfaitement conscience que ce qui se passe dans le laboratoire n'en sortira que si l'objet technique est promu par les pouvoirs publics : « *Si la machine définitive n'est pas encore construite, le cycle est établi et il est basé sur des principes et des expériences indiscutables. Il s'agit de temps, de capitaux, d'opportunité, de moyens techniques, de patience, de persévérance, d'appuis officiels* » (*ibid*., p. 75). Il cerne avec acuité les conséquences de la trajectoire sociotechnique qu'il prolonge car « *non seulement est trouvé le cycle frigorifique qui remplace l'absurde cycle actuel, mais est aussi trouvé le moteur à froid définitif. La question des brevets et des pourparlers en cours m'empêchent d'en dire davantage* » (*ibid*., p. 76).

Ce technologue et expérimentateur oublié donne ainsi une expression fulgurante de l'inverse exact de cette « *malédiction de la chaleur* » dans laquelle le socio-anthropologue Alain Gras a vu et résumé souvent le fondement de la folle

logique de la société thermo-industrielle moderne (Gras, 2007, p. 11).

> J'ai la conviction absolue qu'un jour arrivera où le « moteur froid » pourra être appliqué à l'automobilisme et à l'aviation. […] Le temps n'est pas loin où un « Ford » américain ou européen pourra lancer la voiturette, je ne dis pas sans moteur, mais la voiturette avec moteur sans combustible (Guarini, 1927, p. 76).

De l'énergie sans combustible pour l'Afrique : la filiation frigoriste conceptuelle et originelle de la Sofretes

En 1960, depuis son laboratoire de Dakar au Sénégal, le Doyen Masson, dans son long article des *Annales des Mines* déjà cité, rappelle précisément l'existence des appareils solaires frigorifiques. Sa « *machine frigorifique à jet de fréon, avec bouilleur chauffé grâce à un insolateur* » repose ainsi sur le principe des réfrigérateurs par absorption utilisant l'ammoniac si cher à Tellier, qu'il mentionne d'ailleurs (Masson, 1960, p. 37). Depuis la fin du XIXe siècle les fluides synthétiques tels que les Fréons sont apparus. La captation du rayonnement solaire adéquate doit donc, pour Masson, pouvoir être effectuée grâce à des capteurs plans, alors qu'à la même époque, en Métropole, le Professeur Trombe et son équipe mettent au point des appareils frigorifiques basés sur des capteurs à concentration (Trombe & Foex, 1961, cité *in* Vaillant, 1976, p. 239.). Les objectifs pratiques et finaux prioritaires – hautes températures pour Trombe, énergie et vie quotidienne en Afrique pour Masson –, ainsi que les lieux d'expérimentation, influencent les analyses et prospectives technologiques dans la même filière du solaire thermique et thermodynamique, ici utilisé pour la production de froid, ce que l'historiographie récente du solaire néglige trop souvent encore (Marrec, 2018 ; Pehlivanian, 2014 ; Teissier, 2015).

C'est à partir de ces travaux sur le solaire-frigorifique que Masson oriente en effet Girardier vers une extrapolation mécanique pour réaliser une application au pompage de l'eau, laquelle fera office de source froide – avec la vaporisation d'un fluide gazeux liquéfiable à basse température, tout comme Tellier et SOMOR l'avaient fait.

Enthousiaste, le Professeur Masson n'hésite pas à déclarer alors : « *Il n'est pas interdit de penser qu'on pourra un jour utiliser des turbines à gaz fonctionnant sous l'effet du soleil. Le gaz comprimé, surchauffé à la chaleur solaire, actionnerait la turbine. Un tel système n'a pas encore été expérimenté. Il apparaît cependant théoriquement rentable pour des installations suffisamment importantes* » (Masson, 1960, p. 14). Cet avis est prémonitoire puisque, quinze ans plus tard, son élève Girardier, réalisera cette installation au Mexique, avec un gaz réfrigérant[13].

13 Voir l'article d'A. Mouthon dans ce dossier : « La centrale de pompage thermo-solaire de Diré au Mali (années 1970-1980) ».

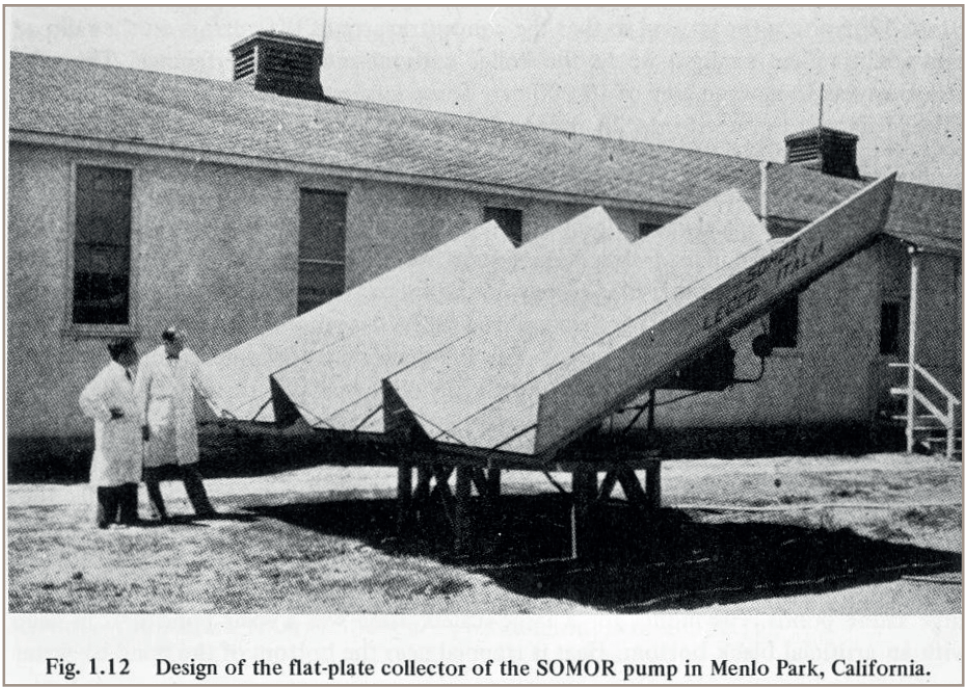


Fig. 1.12 Design of the flat-plate collector of the SOMOR pump in Menlo Park, California.

Image 5 – La pompe solaire SOMOR est présentée en 1955 aux États-Unis lors du World Symposium on Applied Solar Energy de Phoenix dans l'Arizona. Ici un exemplaire déposé dans une université américaine

(Source : site de savoir partagé suédois [URL : *http://kmr.nada.kth.se*])

Alors que le moteur solaire de Masson et Girardier est issu des améliorations apportées à une pompe SOMOR, des ingénieurs belges, vers la même date, font au Congo les mêmes propositions de modifications techniques après avoir identifié certains défauts de conception, de fabrication et de fonctionnement de la pompe italienne. Ils prennent à leur tour en compte, après Masson-Girardier, les travaux du professeur israélien Tabor qui présente une pompe à cycle organique de Rankine lors de la Conférence des Nations Unies sur les nouvelles sources d'énergie à Rome en 1961, pour laquelle il a testé 16 fluides gazeux liquéfiables différents (Daniels, 1964, p. 268). Lorsque W. Schuepp présente, en avril 1973, dans la revue d'héliotechnique de la COMPLES, son « *étude sur le fonctionnement de la pompe SOMOR et des améliorations possibles* » (qui date vraisemblablement de 1972), il semble ignorer que Masson et Girardier sont déjà parvenus à construire le dispositif. Au demeurant, il est remarquable de constater que les Belges suggèrent plutôt un moteur à deux cylindres et l'usage d'un Fréon dans un cycle secondaire, choix que Girardier mettra en pratique. Insistant sur les conditions locales difficiles rencontrées

dans les villages des plaines du Katanga (éloignement, pauvreté, absence d'industrialisation), Schuepp suggère qu'afin d'assurer le succès sociotechnique de telles installations d'exhaure (forage, équipement, montage, fonctionnement, maintenance) « *l'utilisation de pièces standard de frigométrie est particulièrement conseillée* » (Schuepp, 1973, p. 58).

En décembre 1980, alors que la station solaire de Diré (voir article A. Mouthon), qui intègre un dispositif de production de frigories et dont les moteurs au Fréon sont des compresseurs inversés, est inaugurée depuis un an, la Direction de l'équipement de l'EDF édite un dossier interne d'information au titre évocateur : « Force motrice et froid par l'énergie solaire » (EDF, 1980). Il s'agit d'une compilation de quatre articles qui dresse un tableau de l'état de l'art des transmutations de la chaleur solaire en force et en froid en 1978, cent ans après l'Exposition universelle de 1878, sans aucune référence aux appareils de Mouchot et de Tellier. Plus encore, les auteurs y considèrent étrangement que les technologies des années 1970 sont à l'étude et ne sont pas encore parvenues à maturité. Max Duminil, professeur au Cnam, écrit : « *Je crois personnellement beaucoup au développement des machines à absorption solaire. L'industrie française ne doit absolument pas se laisser distancer sur ce point* » (Duminil, 1978, p. 231).

Un siècle vient pourtant de s'écouler. L'article de Duminil est extrait du n° 7 de la *Revue générale du froid* de juillet-août 1978. Or, ladite revue fut créée à l'occasion du premier Congrès international du froid organisé à Paris en 1908 par des proches de Tellier, lequel y fut un invité des plus remarqués (Lesage, 1928, p. 150).

Le lien solaire-froid à la rencontre des acteurs des industries fossiles des gaz et du froid

Les entrecroisements passé-présent et les jeux d'oubli-occultation, on le constate, traversent toute l'histoire des cycles solaires thermodynamiques depuis Augustin Mouchot[14]. Et c'est bien à ce titre que la généalogie technique d'une poursuite de la production solaire de la force et du froid est loin de n'être qu'anecdotique.

Le lien technologique et pratique solaire-froid et froid-solaire est en effet encore présent dans le programme de développement que la Sofretes soumis à la DGRST (Direction Générale de la Recherche et de l'Industrie) en 1975, lequel comprend un volet froid et un volet climatisation[15]. Lorsque, quelques mois plus tôt, la Sofretes a ouvert son capital pour sa première grande réorganisation, Technigaz, un acteur industriel frigoriste-pétrochimiste s'est engagé pour 5 %

14 Voir aussi l'article de F. Caille dans le présent dossier.

15 Archives nationales. Ministère de l'Industrie. 19910399/2. Dossier de demande d'aide au développement à la DGRST, 1975.

et est entré au groupe de recherche « Froid » ; de même, un acteur pétrolier, CFP-Total, a racheté 20 % des parts et s'est investi davantage dans le groupe de recherche « Climatisation ». Ces prises de participation sont symptomatiques du positionnement des industriels de la chaleur – et du froid – fossile(s) vis-à-vis des constructeurs de machines solaires, lesquelles peuvent être entendues, depuis le début du XXe siècle au moins, comme « *des machines à vapeur froides* », « *des machines à chaleur perdues* » (Kuntzinger, 1908, p. 74), c'est-à-dire on l'a vu « *des moteurs sans combustibles* » (Guarini, 1927, p. 76)[16].

Le rapport du Conseil d'Administration de Technigaz sur l'exercice de 1974 à l'Assemblée Générale des Actionnaires présente la collaboration avec Sofretes comme une activité de diversification parmi d'autres, justifiée par les compétences en cryogénie apportées en renfort aux projets de groupes frigorifiques dont l'énergie serait fournie par le soleil. L'entreprise ne semble pas envisager d'appliquer les futurs dispositifs développés à ses propres activités pétrochimiques de réfrigération et de liquéfaction. La dimension « frigoriste » de la relation industrielle est seule énoncée comme gage de légitimité technique.

Il est cependant possible de remarquer que Technigaz est une filiale d'ingénierie créée en 1963 de l'entreprise de transport maritime Gazocéan, fondée en 1956 et spécialisée dans le négoce, le conditionnement et l'acheminement des gaz de pétrole liquéfiés et du gaz naturel liquide (GNL)[17]. Sa principale mission est de développer des dispositifs permettant la semi-réfrigération et l'isolation des cales des méthaniers, ainsi que des capacités de stockage réfrigéré à terre. C'est Tellier, une fois encore, qui a inventé le procédé de liquéfaction des gaz « par refroidissement en cascade », pour permettre leur exploitation industrielle, tout comme il a réussi d'ailleurs l'isolation des cales de son navire réfrigéré Le Frigorifique déjà mentionné (Lesage, 1928, p. 91). D'ailleurs, en 1972, Messigaz, une filiale des Messageries Maritimes, mettra à l'eau un méthanier qu'elle baptise, en légitime hommage technologique, « Le Tellier »[18].

Les parentés qui se tissent par les objets et les procédés sont donc multiples. Parmi les principaux produits transportés par Gazocéan, on trouve en effet les gaz butane et propane, mais également l'ammoniac. La Sofretes utilisait des hydrocarbures (les gaz butane et propane) pour transformer la chaleur solaire en force mécanique dans les pays du Tiers-Monde, volontiers perçus comme dénués de technique mais pas, à juste titre, dénués de gisements de gaz et de

16 Les autres pistes d'analyse des motivations de Technigaz et de CFP-Total sont ici laissées de côté. La thèse en cours d'A. Mouthon y reviendra.

17 Archives nationales. Ministère de l'Industrie. 19910399/2. Dossier sur Gazocéan.

18 Voir la page consacrée à Tellier sur le site des Messageries maritimes [URL : http://www.messageries-maritimes.org/tellier.html], consultée le 19 janvier 2020.

pétrole. L'image très positive de cette technologie pouvait, en terme commercial, être très bénéfique à des sociétés exploitant des ressources fossiles dans des régions déshéritées, à la fois clientes (pour le carburant) et fournisseurs (pour la matière première). La première version du MGS 2000, le moteur solaire commercialisé par Girardier, utilisait la détente du butane[19], et les Fréons qui le remplaceront plus tard sont également des dérivés d'hydrocarbures.

Le numéro de l'été 1974 du « plus important tirage de la presse pétrolière », la revue des gaz de pétrole Butane-Propane, fait sa couverture sur la pompe solaire au butane que la Sofretes vient d'installer en Mauritanie, osant en sous-titre, non sans équivoque : « *L'homme prend au désert tout ce qu'il peut lui arracher* »[20]. Les grands annonceurs de la revue sont Total Gaz et Elf. Un ingénieur de Elf-Monogaz signe l'article sur le moteur solaire au butane et insiste sur l'intégration du dispositif de pompage au bâtiment qui l'abrite. L'astucieuse conception d'un toit de capteurs autoportants pour la mosquée-école de Chinguetti qui vient d'être réalisée assure en effet une climatisation naturelle grâce à la circulation directe d'eau froide dans les éléments d'architecture, un élément qui sera par la suite toujours valorisé dans le projet global et social des pompes de village Sofretes et dont témoigne la maquette actuellement exposée au Musée des arts et métiers. L'auteur conclut sur une évaluation très positive de l'installation et ajoute que « *dans un avenir proche, il sera possible de produire également du froid et de l'électricité* »[21].

À la fin de l'année 1975, la DGRST fait également conduire de son côté une évaluation du dossier de demande d'aide déposé par la Sofretes. La proposition de production de froid par le solaire, obtenu par compression, est plébiscitée par le rapport d'audit, d'autant que Technigaz propose de mettre à disposition de la toute jeune entreprise une technique qu'elle vient de finaliser et qui améliore le rendement du moteur tout en permettant la production de froid : « *le système envisagé pour la production de froid semble très astucieux puisqu'il associe au cycle moteur, un cycle de production de froid avec une mise en commun du condenseur* »[22].

Cette solution intégrée tend à écarter la nécessité d'une énergie mécanique intermédiaire entre l'énergie solaire et le compresseur. Elle est également mentionnée par P. Chouard de la Direction des Études et Recherches d'EDF lorsqu'il examine quelques années plus tard l'ensemble des méthodes disponibles pour climatiser l'air à partir de l'énergie solaire :

19 Voir l'article de A. Mouthon dans ce dossier, *op. cit.*

20 Archives privées Sofretes. *Butane-Propane*, n° 69, été 1974.

21 *Ibid.*, p. 38.

22 Archives nationales. Ministère de l'Industrie. 19910399/16. DGRST. Rapport confidentiel. Demande d'aide présenté par la société Sofretes concernant des pompes solaires. Novembre 1975.

> L'organe mécanique qui entraîne le compresseur du climatiseur peut être une turbine (associée alors à un réducteur de vitesse) ou un moteur à piston (cas des pompes Sofretes), la technologie de chacun de ces organes n'étant pas encore fixée car plusieurs possibilités sont en concurrence. Certains chercheurs ont même proposé des systèmes « intégrés » dans lesquels l'organe mécanique du moteur solaire et le compresseur du climatiseur ne font qu'un (S.F. Gilman, rapport ERDA) (EDF, 1980, p. 41).

Ce choix technique est donc semblable au principe présenté en 1927 par Guarini – comme mentionné plus haut –, pour qui il était évident que dans sa conception la machine frigorifique utilisant « *la chaleur de la terre, ou de celle des eaux de surface, ou de la chaleur de l'air ambiante, ou directement de la chaleur du soleil* » pouvait à la fois générer de la force motrice et le froid nécessaire à l'alimentation de sa propre source froide, pour ainsi s'auto-entretenir lorsque la machine n'est pas forcément une pompe d'exhaure, c'est-à-dire quand elle ne dispose pas obligatoirement d'eau de refroidissement. Guarini en est d'autant plus conscient qu'il raisonne à l'époque avec de l'acide carbonique, gaz pour lequel il n'y a de toute façon pas d'eau assez froide pour assurer une bonne condensation, d'où sa proposition de maximiser la course du piston du moteur solaire pour en faire aussi un compresseur, en évitant ainsi des pertes supplémentaires de calories de compression (Guarini, 1927, p. 73).

L'influence frigoriste sur les convertisseurs solaires et leur polyvalence-ambivalence est donc profonde et incontestable. La Sofretes n'a pas été en mesure de réaliser pleinement tous les potentiels entrevus, mais elle a réussi à prouver une validité empirique dans une série diversifiée d'installations. La DGRST le note en 1977 en menant l'expertise du rapport d'activité 1977 de la petite société d'économie mixte, au terme de la première année du contrat d'aide accordé pour trois ans le 23 mars 1976[23]. Le bilan des marchés pour 1978 fait ainsi état de plusieurs projets de froid et de climatisation solaires, par absorption et par compression. Des chambres froides sont prévues au Niger et au Tchad (d'autres suivront plus tard en Mauritanie et en Égypte notamment). En Polynésie, la Sofretes prévoit de climatiser à Mururoa les locaux du CEA – son actionnaire majoritaire –, avec un « *climatiseur au bromure de lithium associé à des capteurs à couches sélectives* »[24], et de produire 400 kg de glace par jour à Rangiroa[25]. Le schéma de l'installation de Mururoa est repris en 1978 dans un article de *La Revue pratique du froid* et du conditionnement d'air sélectionné par EDF pour son dossier « Force motrice et froid par l'énergie

23 Archives nationales. Ministère de l'Industrie. 19910399/16. Expertise sur le rapport d'activité 1977 de la société Sofretes.

24 Archives nationales. Ministère de l'Industrie. 19910399/16. Expertise sur le rapport d'activité 1977 de la société Sofretes.

25 Ces deux sites étaient utilisés pour les activités militaires du CEA liées aux essais atomiques.

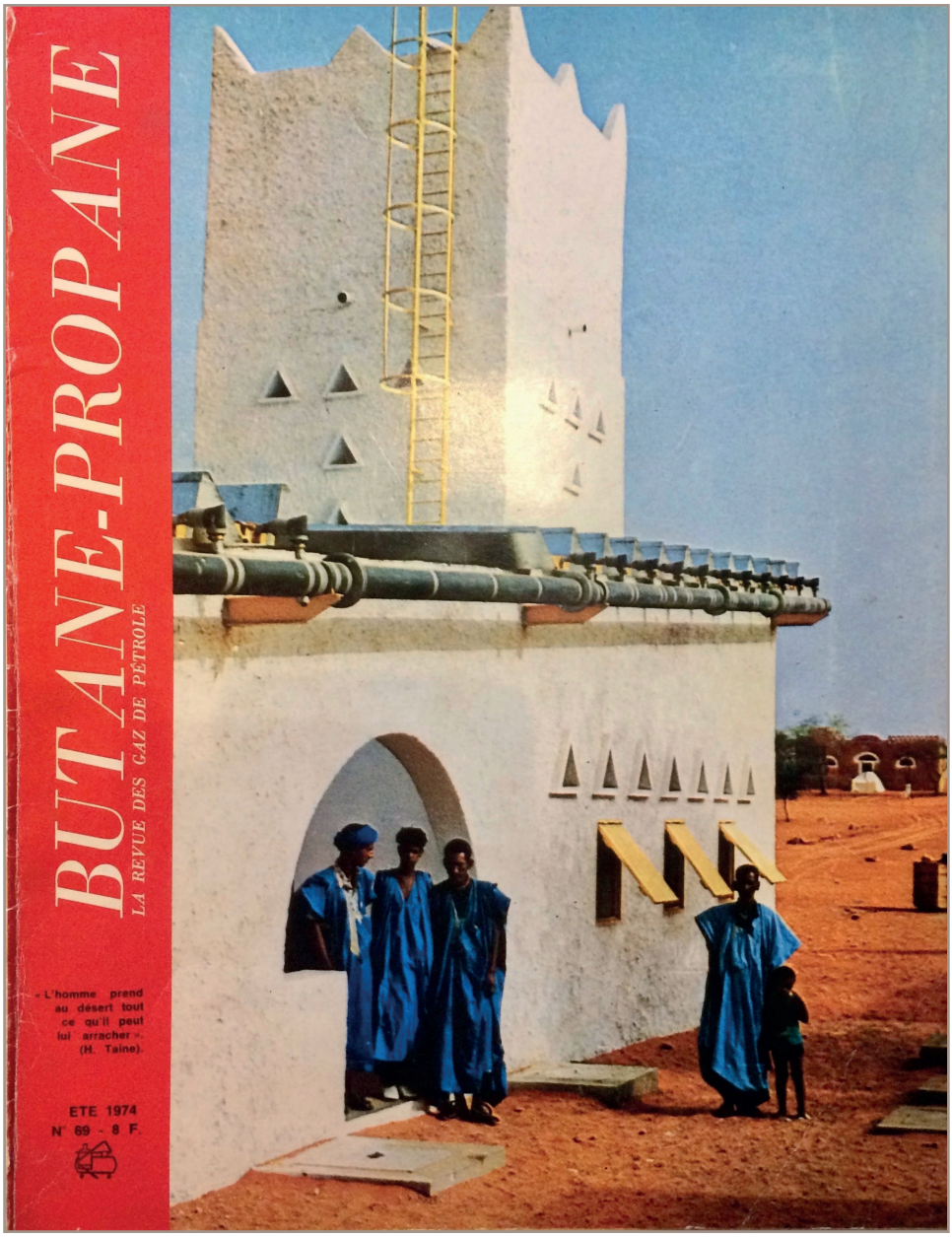


Image 6 – Page de couverture de la revue Butane–Propane de l'été 1974.
En photographie la première station de pompage solaire établie par Jean–Pierre Girardier : l'« école–pompe » de Chinguetti en Mauritanie, dont le toit climatisait l'intérieur
(Coll. privée association PHESO)

solaire » déjà mentionné (EDF, 1980). Le dispositif y est annoncé transformer 9 000 frigories par heure. Il anticipe sur d'autres expériences en matière de solaire photovoltaïque qui seront tentées sur place par le même acteur public dans la décennie suivante (Akrich, 1988).

En parallèle, la Sofretes développe une maison climatisée avec CFP-Total, pour le Moyen-Orient, où l'acteur pétrolier essaye alors de consolider sa présence. Pour ne pas s'exposer sur place à une contre-performance du prototype qui pourrait s'avérer néfaste en termes d'image commerciale, la maison doit être achevée pour l'été 1978 à Sophia-Antipolis et bénéficier du prestige de ce nouveau site dédié à la recherche nationale[26].

Du froid par le soleil ou du froid sur le solaire : un épilogue provisoire ?

La brève généalogie technoscientifique que nous établissons à partir de la relation des techniques frigorifiques à l'énergie solaire ne se cantonne ni à la France ni aux débats sur les performances des convertisseurs énergétiques. Ses rhizomes se prolongent jusqu'aux enjeux les plus récents des transitions énergétiques et du changement climatique. Une nouvelle fois, les interactions entre capacités techniques, contraintes socio-économiques et mise en débat des énergies s'y trouvent interrogées. Le cas de la demande en croissance exponentielle de climatisation artificielle des locaux en offre une illustration à laquelle on peut se limiter pour terminer le présent propos.

Le titre d'un article de prospective récent paru dans la revue américaine *Nature* est ainsi révélateur de la persistance de la proposition solaire en matière de production de froid, à savoir considérer le soleil non comme le problème, mais comme la solution : *Cooling With Heat. As Demand for Air Condtionning Climbs, Some See a Solution in the Very Thing That Makes Us Sweat : The Sun* (Lin, 2017). La perspective s'inscrit sur l'arrière-plan de l'histoire du second XXe siècle, et notamment du peuplement de la *Sun Belt* nord-américaine qui s'accélère dans les années 1970 sous l'impulsion des industriels de la climatisation par l'électricité, pour l'essentiel en l'occurrence d'origine thermique. Sur le territoire du leader mondial de l'extraction et de la consommation des énergies carbonées, les principales institutions et laboratoires majeurs américains intéressés aux applications de l'énergie solaire échouent à valoriser une trajectoire sociotechnique alternative, alors qu'ils sont forces de propositions sous l'administration Carter (1977-1980) et présents dans les mêmes régions – le Solar Energy Research Institut (SERI), le Stanford Research Institut, l'AFASE, future International Solar Energy Society (ISES), etc.

26 Archives nationales. Ministère de l'Industrie. 19910399/16. Lettre de Girardier à la DGRST du 9 juin 1977 et DGRST, Rapport d'activité de la Sofretes, 1977.

L'enjeu du « froid-soleil », ou plus récemment du « froid et de la climatisation par le soleil », a retrouvé une actualité du côté saoudien du prisme pétrolier. Le développement d'une urbanisation particulièrement énergivore dans les pays pétroliers du Golfe au cours des dernières décennies procède en effet des mêmes choix techniques électro-fossiles que ceux qu'échouent à faire diverger la Sofretes et les époux Alexandroff, qui en furent les architectes depuis la pompe solaire mauritanienne de Chinguetti (Alexandroff, 1982)[27]. La croissance effrénée des consommations de pétrole qu'implique cette orientation au regard des possibilités de climatisation solaires connues de la communauté scientifique – mais pas assez du grand public[28] –, ont fait ainsi réagir en 2015 les chercheurs saoudiens Abdul Mujeebua et Othman Subhi Alshamrani, dans l'*International Journal of Advanced Thermofluid Research* face au bilan énergétique désastreux d'un Royaume qui consomme 70 % de son électricité dans des systèmes de climatisation, sans parler des installations d'eau potable (pompage et dessalinisation).

Le manque d'eau interdisant bien évidemment dans la région les dispositifs de réfrigération par évaporation – lesquels seraient pourtant très efficaces dans les conditions climatiques propres à la Péninsule Arabique, les deux chercheurs exhument les techniques alternatives potentielles qui sont celles que nous venons de mettre en perspective historique. Tout comme Guarini et la Sofretes en leur temps, ou Mouchot et Tellier avant eux, ils ne peuvent cependant que conclure à une impossibilité de mise en œuvre industrielle immédiate[29]. Une impossibilité non pas technologique mais socio-économique : celle, dans l'état présent de la gouvernance énergétique et de l'implication internationale des pouvoirs publics, de faire triompher par lui-même un optimum sociotechnique divergent des cycles carbo-thermiques toujours largement dominants.

27 Nous renvoyons à des travaux à venir les développements qu'il conviendrait d'engager ici sur la question des interactions avec « l'architecture solaire » et sa trajectoire propre.

28 Voir également les travaux de l'ONERSOL de Niamey évoqués dans le présent dossier, le témoignage de M. Wright et le cahier central.

29 « *Solar electrical and solar thermal are the basic modes of solar cooling ; the former uses solar energy to power conventional vapor compression system while in the latter, the A/C system works directly on solar energy (e.g, absorption/adsorption, liquid/solid desiccant and hybrid). The former system was found (El-Shaarawi & al., 2013) to be uneconomical in KSA without government subsidy. A performance comparison of various techniques (such as Rankine engine-powered, flat-plate solar collector-powered thermochemical absorption, lithium-bromine (LiBr) absorption and passive convection tower) was reported (Sayigh 1981) for hot and arid climate as that of Riyadh* » (Mujeebua & Subhi Alshamrani, 2015, p. 74).

Sources

Ackermann A. S. E. (1915). « The utilisation of solar energy ». *Journal of the Royal Society of Arts*, Vol 63, n° 3258, pp. 538-565.

Archives nationales. Ministère de l'Industrie (Sofretes).

Daniels F. (1964). *Direct Use of the Sun's Energy*. New Haven and London : Yale University Press.

Duminil M. (1978). « L'énergie solaire et la production du froid ». *Revue générale du froid*. N° avril. *In* EDF. Direction de l'équipement. Division de l'Information et de la Communication. J39N. *Force motrice et froid par l'énergie solaire*. Décembre 1980, pp. 227-231.

EDF. Direction de l'équipement. Division de l'Information et de la Communication. J39N. Force motrice et froid par l'énergie solaire. Décembre 1980.

Fernet E. & Drion C. (1877). *Traité de physique élémentaire*. Sixième édition. Paris : Masson.

Guarini E. (1927). « L'utilisation de la chaleur ambiante comme force motrice au moyen de la machine frigorifique ». Rapport pour le Ve Congrès International du Froid, à Rome, du 19 septembre au 1er octobre 1927. *La Houille Blanche*, mai-juin, pp. 73-77.

Guarini E. (1949). Nouvelle machine à vapeur surchauffée fonctionnant en cycle fermé. Brevet d'invention n° 979.298, Paris : Ministère de l'Industrie et du Commerce – Service de la propriété industrielle.

Kuntziger J. (1906). « Principe d'une nouvelle machine solaire ». *Mémoires de la Société des ingénieurs civils*, vol. 87, 2e semestre, pp. 65-68.

Kuntzinger J. (1908). « Exposé du principe d'une machine solaire rationnelle ». *La Houille Blanche*. Avril, pp. 73-76.

Lesage R. (1928). *Charles Tellier. Le Père du froid*. Paris : Éditions A. Giraudon.

Masson H. (1960). « L'énergie solaire et ses applications ». *Annales des Mines,* mars, pp. 99-129 et 159-179.

Schuepp W. (1973). « Études sur le fonctionnement de la pompe SOMOR et des améliorations possibles ». *Revue internationale d'héliotechnique*, avril, pp. 56-58.

Tellier C. (1910). *Histoire d'une invention moderne, Le Frigorifique*. Paris : C. Delagrave éditeur.

Trombe F. & Foex M. (1961). « Production de glace à l'aide de l'énergie solaire ». *Applications thermiques de l'énergie solaire dans le domaine de la recherche et de l'industrie*. Colloques internationaux du CNRS. Paris. pp. 469-481.

Bibliographie

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

Alexandroff G. & J.-M. (1982). *Architectures et climats. Soleil et énergies naturelles dans l'habitat*. Paris : Berger-Levrault.

Caille F. (2020). *Bleu d'or soleil. Les leçons solaires d'Augustin Mouchot, biographie raisonnée*. Paris : à paraître.

Caille F. (2020…) « Augustin Mouchot – Carnet de recherche » [en ligne]. [URL : https://mouchot.hypotheses.org].

Gras A. (2007). *Le choix du feu*. Paris : Fayard.

GSES (Gruppo per la storia dell'energia

solare) (2014). « Archivio nazionale sulla storia dell'energia solare » [en ligne]. [URL : http://www.gses.it].

Invernizzi C. M. (2013). *Closed Power Cycles. Thermodynamic Fundamentals and Applications*. London : Springer.

Jarrige F. (2010). « "Mettre le soleil en bouteille" : Les appareils de Mouchot et l'imaginaire solaire au début de la Troisième République ». *Romantisme*, 150(4), pp. 85-96.

Lim X. (2017). « Cooling With Heat. As Demand for Air Condtionning Climbs, Some See a Solution in the Very Thing That Makes Us Sweat : The Sun ». *Nature*, Feb. / vol. 542, p. 542.

Macchi E. & Astolfi M. (2017). *Organic Rankine Cycle (ORC) Power Systems. Technologies and Applications.* Woodhead Publishing Series in Energy : Number 107. Elsevier.

Marrec A. (2018). « Histoire des énergies renouvelables en France, 1880-1990 ». Thèse de doctorat en histoire des sciences et des techniques, Université de Nantes.

Mujeebua A. & Subhi Alshamrania O. (2015). « A Review of Solar Energy Exploration and Utilization in Saudi Buildings ». *International Journal of Advanced Thermofluid Research*, vol. 1, n° 1, pp. 70-85.

Pehlivanian S. (2014). « Histoire de l'énergie solaire en France. Science, technologies et patrimoine d'une filière d'avenir. ». Thèse d'histoire, université de Grenoble/université Savoie Mont Blanc.

Ribeill G. (2001). « De l'utopie technique à l'utopie sociale. Les ressorts de l'imaginaire technologique des ingénieurs au XIXe siècle ». *Réseaux*, n° 209, pp. 114-144.

Teissier P. (2015). « Fours et maisons solaires de Mont-Louis-Odeillo. Interstices, intersciences et internationalismes de la recherche contemporaine ». *In* S. Le Gars & G. Boistel (dir.). *Dans le champ solaire. Cartographie d'un objet scientifique*. Paris : Hermann Éditeurs, pp. 181-219.

Vaillant J.-R. (1976). *Utilisation et promesses de l'énergie solaire*. Paris : Éditions Eyrolles.

Vrignon A. (2019). « Vers une société solaire ? Réflexions et expérimentations autour d'une transition énergétique potentielle dans les années 1968 ». *In* C.-F. Mathis & G. Massard-Guilbaud (dir.). *Sous le soleil. Systèmes et transitions énergétiques du Moyen Âge à nos jours*. Paris : Éditions de la Sorbonne, pp. 343-353.

Coopérer pour l'énergie : Retour sur une expérience de Volontaire du Progrès au Niger avec le professeur Abdou Moumouni Dioffo (1970–1972)

Marc Jacquet-Pierroulet
Ancien salarié de la Sofretes[1]

Titulaire d'un Certificat d'Aptitude Professionnelle en mécanique générale en 1964, Marc Jacquet-Pierroulet est arrivé en 1970 à Niamey dans le cadre du programme de coopération de l'« Association Française des Volontaires du Progrès » lancé par le ministère de la coopération en 1963 (AFVP, aujourd'hui France Volontaires)[2]*. Il évoque ci-dessous ce séjour qui dura jusqu'en 1972 et durant lequel il travaillera avec deux autres jeunes français, Gérard Carbo et Éric Schmitt, coopérants militaires détachés et ingénieurs des arts et métiers*[3]*. Il collaborera à l'élaboration et aux tests de la première pompe solaire thermodynamique installée dans un village, à Bossey-Bangou, dans le cadre d'une collaboration entre le laboratoire d'Abdou Moumouni Dioffo et l'équipe de recherche solaire de l'Institut de Physique Météorologique (IPM) de Dakar au Sénégal.*

1 Ce témoignage reprend une intervention au colloque « Le tailleur et ses modèles », UCAD-USMB, Dakar, avril 2019 (actes à paraître). Nous remercions Mamadou Badji, doyen honoraire de la Faculté des Sciences Économiques et Juridiques de Dakar et co-organisateur du colloque de nous avoir autorisé à l'utiliser ici.

2 12 000 volontaires ont été envoyés en missions de deux ans depuis la création, en Afrique francophone, Madagascar et Haïti ; voir le site officiel de l'association et notamment les nombreux témoignages sur les réseaux « d'anciens » [URL : https://www.france-volontaires.org/apres-le-volontariat/les-anciens-volontaires/la-vie-du-reseau-des-anciens-volontaires]. Pour une présentation historique synthétique, voir Baccala (1996).

3 En 1979, sur l'important projet Karma, Marc Jacquet-Pierroulet collaborera avec Gonzague de Gevigney, ingénieur Supélec détaché en tant que Volontaire du Service National au Niger. La centrale solaire de Karma était équipée de capteurs construits au Niger par l'ONERSOL (800 m^2) et d'un moteur construit par la Sofretes. Elle développait une puissance mécanique de 10 kW pour un pompage de 400 m^3/h à 9 m.

C'est à cette occasion que Marc Jacquet-Pierroulet rencontrera Jean-Pierre Girardier, qui l'engagera ensuite pour construire la pompe solaire de Chinguetti en Mauritanie. Il travaillera à la Sofretes jusqu'à la disparition de cette dernière en 1983 et organisera le montage de nombreuses pompes solaires au Mexique, en zone sahélienne de Mauritanie, du Sénégal, du Mali, du Burkina-Faso, du Niger et du Tchad, ainsi que deux en Égypte et en Iran.

Avant de parler de mon travail avec le Professeur Moumouni, je me dois d'expliquer les conditions de mon engagement.

Ayant signé un contrat de deux ans chez les Volontaires du Progrès, j'ai attendu plusieurs mois pour qu'un poste correspondant à ma qualification soit disponible. Donc, il y a aujourd'hui 49 ans, je débarquais à Niamey, sans savoir où je devais travailler. En 1970, c'était la règle chez les Volontaires.

La création des Volontaires du Progrès date du 6 août 1963 ; un premier départ de treize Volontaires fut organisé le 19 janvier 1964, pour Bangui en République centrafricaine. Au début, il s'agissait principalement de volontaires manuels, agriculteurs, maraîchers, maçons, mécaniciens, suivis fin 1965 d'infirmières et d'enseignantes.

Au départ, dans l'esprit de ses fondateurs, il fallait permettre à de jeunes Français de manifester leur solidarité à l'international. Pour la première fois les villageois voyaient des jeunes Français venir construire leur maison ; ils restaient deux ans et travaillaient ensemble. Beaucoup des délégués se souviennent avoir « *lâché des Volontaires en pleine brousse avec un moule à parpaings pour la construction de leur case en leur souhaitant bonne chance* »[4].

Par rapport au coopérant et au bénévole, le Volontaire travaille sur le long terme dans une association, donc il perd son statut de travailleur salarié (il n'a qu'une indemnité de subsistance plus un pécule à son retour).

Dans le domaine de la grande coopération il y eut des grincements de dents. Certains nous ont qualifiés « d'amateurs », ont affirmé que « nous étions là pour faire notre bonne action ». À ce jour, les Volontaires sont toujours en mission sur différents continents. Ils ont su se remettre en question et toujours aller de l'avant.

Pendant les évènements du Biafra (guerre civile très violente dans le sud-est du Nigéria entre 1967 et 1970 qui déclenchera

4 L'AFVP, intervenant dans une soixantaine de pays, a été structurée en délégations régionales. « *Ces délégations sont relativement autonomes et le délégué constitue, à l'AFVP, un acteur-clé. Toutes ses décisions sont, en principe, soumises à l'approbation du siège mais dans les faits, c'est lui qui établit, compte tenu des besoins qu'il perçoit, les priorités du pays et qui détermine, partant de là, les savoir-faire en fonction desquels les volontaires devront être recrutés. Les politiques de développement de l'AFVP mettent en relation les demandes locales et les principes définis dans le cadre de l'objet social, le tout étant médiatisé par la sensibilité du délégué régional* » (Valeau, 1998, chap. 8).

une famine et entre un et deux millions de morts), ils prenaient le risque de secourir les enfants en posant leur démission le soir et en espérant la déchirer au matin pour ne pas mettre en difficulté le délégué de l'association. Pendant les sécheresses de 1973 et 1980, dans l'urgence, ils ont quelquefois changé d'objectifs pour apporter de l'aide aux sinistrés.

Je ne vais pas retracer l'exceptionnel parcours du professeur Moumouni. En 1969, il prend la direction de l'Office National de l'Énergie Solaire de Niamey (ONERSOL) créé en 1965 par l'ingénieur Bernard Bazabas. Homme pressé, il veut voir des réalisations concrètes sortir des laboratoires et des ateliers. Pour le seconder dans ses recherches existe une équipe de techniciens et ingénieurs nigériens ainsi qu'un ingénieur français volontaire du service national (VSN). Le laboratoire recueillait et traitait les données journalières d'ensoleillement ; il menait différentes recherches sur les possibles applications de l'énergie solaire, notamment les semi-conducteurs pour les cellules photovoltaïques.

Titulaire d'un CAP de mécanique générale, j'ai été affecté pour monter et diriger l'atelier de mécanique. Il est bon de rappeler qu'en 1970 je n'avais jamais entendu parler de l'énergie solaire, et que j'ai été plus que surpris quand mon responsable m'a confié cette mission. Je n'ai aucun souvenir de ma première rencontre avec le professeur Moumouni. Par contre nous nous entendions très bien car je lui apportais rapidement les solutions dans les réalisations qu'il souhaitait mettre en place.

Porte et fenêtres de l'atelier montées, l'installation des machines-outils a commencé : fraiseuse, tour, poste à souder sous argon, compresseur, unité de peinture et outillage divers. La formation du personnel d'atelier s'est faite au fur et à mesure des réalisations des premiers chauffe-eau. Notre premier objectif était de réaliser en vue de leur production en série des chauffe-eau de 200 litres à 1000 litres. Les capteurs devaient être adaptables pour alimenter en source chaude le fonctionnement des pompes solaires. Pour la réalisation nous devions tenir compte des dimensions des produits bruts importés (tôles d'aluminium, vitrages) afin de limiter les pertes de matière première.

Le souhait du professeur Abdou Moumouni de construire une usine de production de capteurs et chauffe-eau a vu le jour quelques années plus tard. Mais il attendait surtout avec impatience de pouvoir tester le rendement d'un miroir cylindro-parabolique dans son atelier de Niamey. Ce miroir devait alimenter en source chaude le fonctionnement d'un moteur allemand Spilling, transporté au Niger et remisé finalement dans un local en 1989, par manque de possibilité et de volonté de poursuivre les efforts de recherche et développement[5].

5 Ce moteur est le premier prototype du « moteur solaire ONERSOL » breveté auprès de l'Organisation Africaine de la Propriété Industrielle. Il a été réalisé en collaboration avec la firme Spillingwerk de Hambourg et se trouve toujours à Niamey (voir la contribution d'Albert-Michel Wright dans le présent dossier).

En 1969 la pompe solaire Masson-Girardier a été installée dans le village de Bossey-Bangou. Elle a été le résultat des recherches menées à Dakar à l'Institut de Physique Météorologique, aujourd'hui le Centre d'Études et de Recherches sur les Énergies Renouvelables (CERER). La collaboration du professeur Moumouni et de Monsieur Girardier a continué avec l'installation d'une deuxième pompe au Niger à Karma, en 1971, pour irriguer une rizière. Elle fonctionnait avec des capteurs fournis par l'usine ONERSOL du professeur Moumouni.

Mais bien vite est arrivée la fin de mon contrat. En venant au Niger j'ai transmis mes compétences techniques, mais en fait j'ai plus reçu que donné. Ce n'est que beaucoup plus tard que j'ai découvert toutes les facettes du professeur Moumouni, celui qui me disait un jour : « *je suis fier de mon certificat d'études indigène* ».

Aujourd'hui, 49 ans après, le soleil brille mais les réalisations concrètes au service des populations isolées sont toujours minimes, voire inexistantes. Un demi-siècle de perdu.

MM. Moumouni et Girardier ont créé des modèles et, par manque de volonté, leurs projets et réalisations se sont détricotés au fil des années. À qui la faute ? Aujourd'hui, à nous de faire connaître leur travail sur les applications de l'énergie solaire.

Bibliographie

Baccala G. (1996). « L'Association Française des Volontaires du progrès (AFVP) ». *Agora débats/jeunesses*, 6, pp. 152-153.

Valeau P. (1998). « La gestion des volontaires dans les associations humanitaires : un passage par les contingences de l'implication ». Thèse en Sciences de Gestion, Univ. Lille I.

Image 1 – Marc Jacquet-Pierroulet dans l'atelier de l'ONERSOL de Niamey vers 1971

(Pour d'autres images, voir « Partie III. Les ateliers du solaire - l'ONERSOL 1969-1972 » dans *Abdou Moumouni Dioffo le précurseur nigérien de l'énergie solaire*, esbc, 2018, disponible en ligne sur le site des éditions science et bien commun [URL : *https://scienceetbiencommun.pressbooks.pub/abdoumoumouni/*])

« C'était quelque chose de super ! » Dix-huit mois au Burkina-Faso avec la Sofretes (1978-1979)

Jacques Bourachot
Ancien coopérant Volontaire Service National Économique à la Sofretes[1]

Ingénieur de l'École Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL), docteur en recherche opérationnelle-mathématiques, ancien chargé de cours à l'École Nationale des Ponts-et-Chaussées, créateur d'un centre international de traitement informatique des données bancaires, Jacques Bourachot a occupé son premier poste au sein de la Sofretes en 1978. Coordinateur responsable des installations de la petite société durant dix-huit mois en Haute-Volta (aujourd'hui Burkina-Faso), il supervisera l'installation d'une dizaine d'hydro-pompes solaires de village. Il revient ci-dessous sur cette expérience.

J'ai une formation d'ingénieur à la base et j'ai travaillé à la Sofretes pendant un an et demi lorsque j'avais 22 ans. Je finissais ma formation à l'École Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL), et alors que je mettais la main durant l'été à mon diplôme de fin d'étude, Jean-Pierre Girardier, qui était un ami de ma famille à Dôle, est passé chez mes parents[2]. Nous avons un peu discuté et il m'a dit : « *Qu'est-ce que tu fais après ? Parce que tu sais, moi j'engage des ingénieurs pour aller installer des pompes à eau à énergie solaire en Afrique.* » Évidemment, pour un jeune en bonne forme, sportif,

1 Ce texte est dérivé d'un entretien filmé avec l'auteur, à son domicile, réalisé par Frédéric Caille le 9 octobre 2019.

2 Ingénieur de l'École Polytechnique Fédérale de Zürich (EPFZ), docteur en physique de l'université de Dakar en 1963, puis expérimentateur et développeur de moteurs solaires thermodynamiques de conception simple et de petite capacité, Jean-Pierre Girardier (1934-2017) est le fondateur en octobre 1973 de la société d'économie mixte Sofretes (Société française d'études thermiques et d'énergie solaire) sur laquelle reviennent plusieurs des articles du présent dossier.

Image 1 – Jacques Bourachot en octobre 2019
(Photographie Frédéric Caille)

sans attache familiale – et à l'époque dans le génie civil : c'était fantastique !

Je terminais mon diplôme en janvier et donc, après lui avoir envoyé mes références, il m'a indiqué que je pourrai partir en Haute-Volta, actuel Burkina-Faso, après avoir passé deux mois de formation à Montargis, siège de la Sofretes, pour un assez large programme de pompes à eau solaire dans ce pays. Je suis parti sous statut de Volontaire du Service National en Entreprises (VSNE) car je n'avais pas encore fait mon service militaire, mais j'étais en fait payé par la Sofretes comme un jeune ingénieur. J'ai donc fait cette formation en février-mars 1978 je crois, puis je suis parti pour la Haute-Volta.

La personne que je remplaçais, un jeune ingénieur également, avait eu quelques « problèmes d'adaptation » en Afrique, et de fait aucune pompe n'avait encore été installée, alors qu'il y avait un programme pour une dizaine. J'ai donc pris tout ça un peu de zéro et me suis dit, « bon, on va y aller » – et on a installé une dizaine de pompes !

C'était absolument extraordinaire ; parce que ces pompes à énergie solaire fonctionnaient sur la base d'un moteur thermique, et on devait d'abord installer toute une base de génie civil, avec des panneaux, qui étaient chauffés par le soleil, puis cela entraînait un moteur avec une détente entre l'eau que l'on pompait qui était froide et la chaleur du soleil…

Image 2 – Pompe solaire Sofretes au Burkina-Fasso en 1978
(Photographie Marc Jacquet-Pierroulet)

C'était aussi absolument passionnant. Et j'aimais beaucoup ce travail parce que nous partions au milieu du Sahel, puis nous vivions dans un village pendant quinze jours. Surtout, lorsque nous arrivions, nous devions expliquer au chef de village ce que nous allions faire, lequel était souvent étonné parce que nous n'avions pas de carburant ! Et lorsqu'à la fin l'eau sortait du puits, allait dans un bassin, sans essence, ils trouvaient cela fantastique !

Ce que j'ai vraiment aimé dans l'approche de Jean-Pierre Girardier, c'est qu'il faisait cela parce qu'il y croyait vraiment. C'était un visionnaire.

Au-delà de la création de cette société qu'était la Sofretes, il avait véritablement envie d'aider au développement de l'Afrique. Cela n'était pas une affaire financière pour gagner de l'argent. Il était passionné par son projet. Et quand on est jeune, c'est une superbe aventure de ne pas être seulement engagé par une société, mais pour faire quelque chose d'utile.

C'est dans ce cadre-là que j'ai rencontré Marc Jacquet-Pierroulet. J'étais chargé d'installer toute l'infrastructure, et ensuite les monteurs, comme Marc, venaient et installaient la pompe elle-même, le moteur en tant que tel. Nous avons beaucoup travaillé ensemble, et comme il a été résident avec sa femme en Haute-Volta plusieurs mois, neuf mois je pense, nous avons beaucoup sympathisé,

Image 3 – Jacques Bourachot (à droite) en 1978, sur la route d'une visite de chantier avec Claude Lebuhotel, directeur administratif de la Sofretes

(Photographie Marc Jacquet-Pierroulet)

d'autant que nous étions tous deux jurassiens d'origine.

Au total, cela m'a marqué et j'ai eu beaucoup de chance. Car quand on est jeune on est un peu idéaliste, et l'on se disait « mais on fait vraiment quelque chose d'utile ! » pour ce pays, pour ces personnes ! Cet idéalisme est aussi ce qui m'a vraiment touché chez Jean-Pierre Girardier, ou chez M. Lebuhotel, le directeur administratif de la Sofretes.

On peut certes discuter de la technologie utilisée. À l'époque c'était le début des panneaux solaires photovoltaïques. On pouvait se demander : c'est quoi l'avenir ? Les pompes thermodynamiques comme celles de la Sofretes ? Ou les panneaux photovoltaïques ? Il était quand même très intéressant d'avoir des moteurs thermiques, même si après on a beaucoup perfectionné le photovoltaïque. Ce qui était compliqué avec le thermique c'était le gaz, le Fréon, qui se détendait entre la source froide et la source chaude. Il fallait éviter toute fuite. De plus, charger le moteur avec le Fréon en plein Sahel n'était pas tout à fait évident, car il fallait refroidir le Fréon pour qu'il puisse migrer dans le moteur. C'était justement le travail de Marc Jacquet-Pierroulet.

Mais il y avait aussi d'autres difficultés. Par exemple la première pompe que j'ai installée était censée marcher

6/7 heures dans la journée, mais au bout de 3 heures il y avait un rabattement de la nappe phréatique et la pompe déjaugeait, vous ne pouviez plus pomper d'eau[3]. Je me disais que ce n'était pas possible, que l'on avait fait des essais de pompages, supervisés par des ministères burkinabés… Mais ensuite j'ai demandé les documents et j'ai vu qu'ils ne faisaient des essais que pendant une heure. Après j'ai donc demandé des essais pendant 48 heures pour vérifier qu'il n'y ait pas de rabattement de la nappe. De fait, il y avait à peu près un puits sur trois où cela marchait, où l'on pouvait pomper en continu.

L'autre problème c'est qu'à certains endroits la pompe faisait venir beaucoup d'animaux, beaucoup trop ; ils piétinaient et abîmaient tout le voisinage. Ce sont des problèmes auxquels on ne pense pas au début.

De même, au début, il avait été envisagé de confier le génie civil à des entreprises locales, mais sur la base de plans élaborés en France, dans un bureau d'études, avec un maximum de ferraillage. Sauf qu'amener des fers à béton en plein Sahel, à 300 km… vous avez intérêt à ne pas en transporter pour rien ! Donc j'ai prévenu : « ça, c'est des conneries. » Et j'ai refait tous les plans et diminué la taille par trois, avec donc trois fois moins à transporter, puis j'ai recruté ma propre équipe et nous avons nous-mêmes fait le génie civil. C'était rigolo, car il fallait amener le ciment, mais ensuite chercher le sable, le gravier, puis le laver dans les environs. J'avais même fait des essais de compression du béton auprès d'un laboratoire d'essai à Ouagadougou, pour vérifier ensuite. C'était un peu marrant, quand on est jeune… C'est comme cela que j'ai installé pendant l'année et demie où j'y étais une dizaine de pompes. Et elles marchaient à la sortie !

L'autre élément aussi avec lequel on a eu beaucoup de peine, c'est qu'une fois la pompe installée, il était prévu que du personnel local, burkinabé, en assure l'entretien, même s'il n'y avait pas beaucoup à faire. Et ça c'était un vrai problème ; on n'arrivait pas au début à motiver des gens pour qu'ils partent en plein Sahel faire un petit peu d'entretien[4].

Par ailleurs, avant que je ne parte, j'ai vu le début de l'installation de la pompe Sofretes à l'École d'ingénieurs en hydraulique rurale de Ouagadougou, où j'ai d'ailleurs donné quelques cours d'hydraulique un après-midi par semaine pendant six mois. J'ai aussi vu les premiers essais avec cette école pour produire du froid. La climatisation avec les moteurs Sofretes constituait ainsi un autre volet.

La Sofretes n'était pas structurée comme une entreprise normale, d'où cette autonomie dont j'ai eu la chance de béné-

3 Un rabattement de nappe est une baisse du niveau piézométrique zéro (plafond) d'une nappe phréatique induit par un pompage ou une vidange naturelle ou accidentelle de la nappe.

4 Au Burkina Faso et au Sénégal la Sofretes parviendra ensuite à former des réparateurs-monteurs, dont certains viendront en formation en France à Montargis.

ficier à tout juste 22 ans, avec un contrôle qui a dû se limiter à une seule visite du directeur technique durant mon séjour et à l'envoi mensuel de rapports d'activité. La Sofretes, était majoritairement constituée de gens qui voulaient avant tout faire quelque chose pour l'Afrique. Quel décalage entre l'entreprise Mengin, qui était une usine assez ancienne de fabrication traditionnelle de pompes[5], et le côté très moderne de la Sofretes ! Vraiment très moderne. On dirait maintenant que c'était un peu la « start-up » de l'époque. Avec, je le répète, énormément de gens passionnés et qui faisaient cela en disant « là on est en en train de faire quelque chose de super ! ». Ils n'avaient pas forcément tous une vision très industrielle, ni tendance à se dire « il faut faire vivre une société qui est là pour gagner quand même un peu d'argent ».

C'était un très bel état d'esprit, que je retrouve aujourd'hui chez mon fils qui est en train de monter une start-up. C'était un peu le même état d'esprit avant l'heure, cette passion partagée, et c'était fabuleux pour moi de pouvoir commencer comme ça.

Et aussi, cela a été fantastique bien entendu de travailler en Afrique et avec les Africains. Je n'oublierais jamais que le jour de mon départ l'un de mes collaborateurs m'a invité à dîner chez lui. Je pensais qu'il s'agissait d'un petit repas ensemble, et en fait, je m'aperçois qu'il y avait au moins une soixantaine de personnes, rien que des gens avec lesquels j'avais travaillé. Et il me dit : « *Eh bien oui, c'est un dîner en votre honneur, pour vous remercier d'avoir installé 10 pompes solaires, parce que c'est très important pour nous.* » Cela vous touche, vous l'imaginez, lorsque l'on a 23 ans…

En ce qui concerne le solaire, je m'y suis toujours intéressé par la suite, mais de l'extérieur, en lisant des articles, par des conférences, des amis qui travaillent dans ce domaine, notamment actuellement à l'École Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL), sur les rendements des cellules photovoltaïques. Et je trouve assez extraordinaire que finalement, avec le temps, le solaire devienne une vraie source d'énergie alternative. Et je trouve que la vision de Jean-Pierre Girardier à l'époque, c'était il y a 40 ans, était très en avance.

Je ne suis absolument pas un spécialiste, je ne lis que des articles, mais je pense que pour certaines choses, d'après ce que je lis, la thermodynamique c'est intéressant. Donc je pense que le projet de conservation d'au moins un moteur-pompe Sofretes que porte l'association PHESO est super[6]. Car il s'agissait de quelque chose de fantastique

5 Jean-Pierre Girardier avait pris en 1964 la direction de l'entreprise Mengin, créée par son grand-père maternel. Située à Amilly près de Montargis (Loiret), elle employait 90 salariés à la fabrication de pompes d'exhaure et d'assainissement et sera « l'entreprise-mère » de la petite société Sofretes.

6 L'association PHESO a acquis en octobre 2019 l'une des dernières pompes solaires Sofretes type MGS 2000 connue et identifiée. Elle travaille actuellement au retour en France depuis l'Afrique du moteur pour permettre

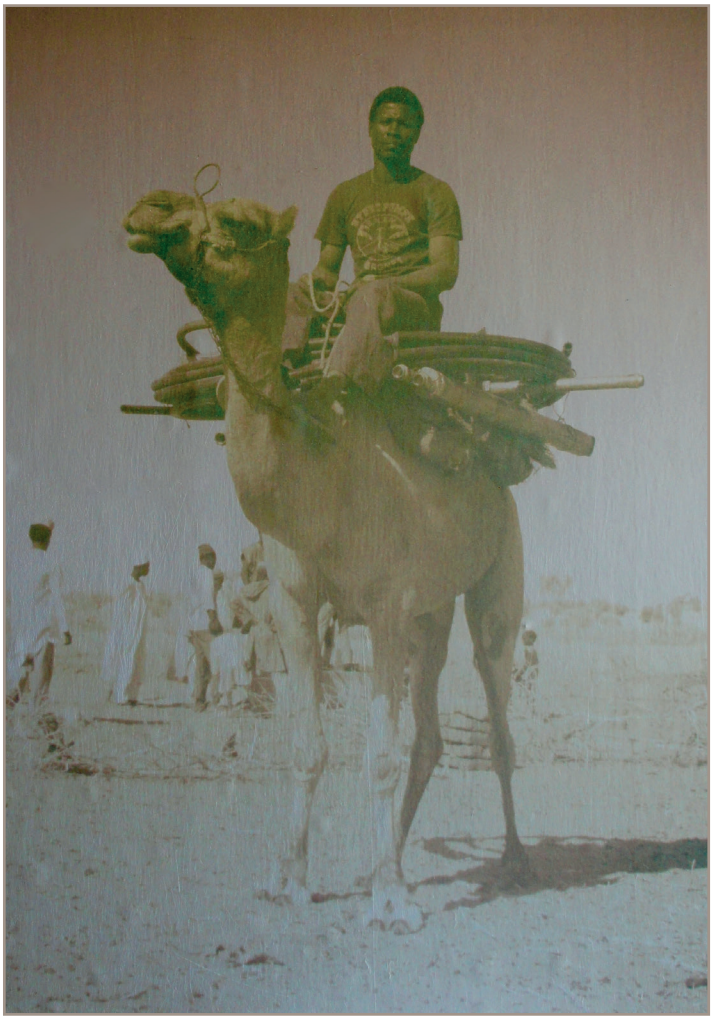


Image 4 – Souka Kagambega, monteur burkinabé de la Sofretes vers 1978. Il développera ensuite sa propre entreprise de forage de puits pour les villages
(Photographie Frédéric Caille du cadre accroché dans le bureau de Jean-Pierre Girardier à Montargis)

à l'époque, et qu'il serait très intéressant de présenter dans le Musée des arts et métiers. Cela fait partie du patrimoine industriel de la France, et c'est quelque chose d'assez unique à conserver, sous la forme d'une vraie pompe, non seulement d'une maquette.

De mon côté, ensuite, je suis parti, parce qu'il y a aussi toute une dimension scientifique dans ma formation, et que

sa réhabilitation et sa numérisation 3D. Voir photographie ci-jointe.

Image 5 – Souka Kagambega (décédé en octobre 2020) en novembre 2019 près d'une ancienne pompe de la Sofretes (moteur MGS 2000) partiellement conservée

je voulais poursuivre dans ce domaine. J'ai fait durant cinq ans une thèse de doctorat en recherche opérationnelle-mathématiques, en l'occurrence sur l'opérationnalisation par l'informatique de la circulation des trains dans les gares, une thèse sous mandat et financement des chemins de fer suisses. Et il se trouve que le modèle a ensuite servi à la mise en place de la nouvelle circulation des trains à la gare de Zürich, qui venait de se doter de quatre nouvelles voies souterraines. Pendant cinq ans ensuite j'ai été chargé de cours à l'École Nationale des Ponts-

et-Chaussées à Paris sur ces thèmes, car j'aimais bien l'enseignement.

Mais en parallèle, car je ne voulais pas faire que de la recherche toute ma vie, j'ai fait HEC à Lausanne, et puis ensuite je suis entré dans le support bancaire où j'ai réutilisé des savoir-faire que j'avais développés dans ma thèse, notamment l'idée d'utiliser des techniques de gestion des flux, des techniques d'ingénieur, dans le domaine financier.

Ce qui m'a amené à créer un centre de traitement informatique des opérations bancaires à Lausanne, pour la banque qui m'avait recruté au départ, puis comme prestataire pour d'autres banques, soit une trentaine sur onze pays au final, un centre qui emploie actuellement cinq cents personnes.

Je suis actuellement « retraité au 2/3 », c'est-à-dire encore présent dans plusieurs conseils d'administration d'établissements bancaires et conseiller-consultant en appoint sur le centre que j'ai contribué à mettre en place.

Bilan, préservation et avenir de l'ONERSOL de Niamey

Albert-Michel Wright
Ancien ministre et ancien directeur de l'Onersol, président de la fondation Abdou Moumouni Dioffo

L'ONERSOL : esquisse d'un bilan

Des moyens importants ont été investis dans la recherche en énergie solaire entre 1965 et 1969, au Niger. Sous la conduite du premier directeur de l'Office Nigérien de l'ÉneRgie SOLaire (ONERSOL), l'ingénieur martiniquais Bernard Bazabas, plusieurs prototypes d'appareils solaires ont été réalisés avec le souci d'utiliser pour les construire des matériaux locaux, en y incluant des matériaux de récupération : coque d'arachide comme isolant et fûts d'essence comme réservoirs de chauffe-eau. C'est ainsi qu'ont été confectionnés les premiers chauffe-eau ainsi que bien d'autres dispositifs techniques : distillateurs à base en béton, cuisinières à paraboloïde, concentrateurs façonnés à l'aide de laine de verre durcie dans de la résine époxy, cuisinières du type calebasse, à effet de serre, fours tronconiques à concentration pour fabriquer du plâtre à partir de la roche de gypse, une des ressources du terroir local[1].

Le professeur Abdou Moumouni Dioffo a remplacé Monsieur Bazabas en 1969. Il a travaillé en collaboration avec le Professeur Félix Trombe, membre de son jury de thèse d'État en Sciences Physiques et père du premier four solaire français à miroir paraboloïde concentrateur d'Odeillo, dans les Pyrénées. Il a aussi bénéficié de l'appui du Niger et de plusieurs bailleurs de fonds de la coopération étrangère (Unesco, Programme des Nations Unies pour le Développement (PNUD), État lybien, Fonds d'Aide et de Coopération français…), ce qui lui a permis d'équiper le laboratoire et l'atelier de l'ONERSOL pour y mener des recherches ambitieuses, orientées vers la

1 Voir les images du portfolio central dans le présent dossier.

conception et le développement d'équipements industriels modernes fonctionnant à l'énergie solaire. Son ambition s'est accompagnée d'une volonté farouche pour implanter le savoir-faire industriel développé localement sur ces systèmes.

Pendant dix ans d'activités, Abdou Moumouni a entrepris différents projets de recherche et développement à la tête d'une petite équipe d'assistants-chercheurs dont le nombre est malheureusement toujours demeuré restreint. Il n'a jamais dépassé les huit personnes, complétées par un effectif d'une dizaine d'ouvriers spécialisés analphabètes mais qui bénéficièrent d'un complément de formation sur le tas. L'encadré ci-après liste les résultats obtenus sous forme de réalisations.

Réalisations de l'équipe d'Abdou Moumouni à l'ONERSOL entre 1969 et 1979

Capteurs plans à tubulure et boîte en aluminium, à double et triple vitrages renforçant l'effet de serre. Couplés avec des réservoirs tout en aluminium de 200-400-600-800 et 1 000 litres, ils permettaient de réaliser des chauffe-eau solaires affichant de très bons rendements thermiques.

Distillateurs solaires en aluminium à couverture vitrée dotés de capacités de production de 4 à 5 litres/jour par mètre carré. Des unités de 10 litres/jour et 20 litres/jour ont été commercialisées, y compris pour des utilisations dans des centres de santé.

Étude, réalisation et test d'un miroir concentrateur cylindro-parabolique destiné à être employé comme générateur de vapeur d'un moteur solaire thermodynamique à pistons de 10 kW de puissance (*cf.* image 1).

Étude et développement en coopération du moteur solaire à pistons Masson-Girardier fabriqué par la firme française Sofretes installé à Bossey Bangou près de Niamey. La source chaude de ce moteur était constituée par des capteurs plans importés de France (*cf.* images 2 et 3).

Étude, réalisation et test d'un générateur de vapeur constitué de capteurs plans à doubles et triples vitrages de 16 mètres carrés couplés avec un collecteur cylindro-parabolique de 10 mètres carrés de surface de captation, atteignant une température de vapeur à l'admission de 180 degrés Celsius suivant la valeur du débit de vapeur. Ces travaux ont été exposés dans des communications scientifiques internationales, notamment au congrès solaire mondial tenu à Paris en juillet 1973, et trois brevets d'invention ont été déposés à l'Organisation Africaine de la Propriété Industrielle (OAPI) : chauffe-

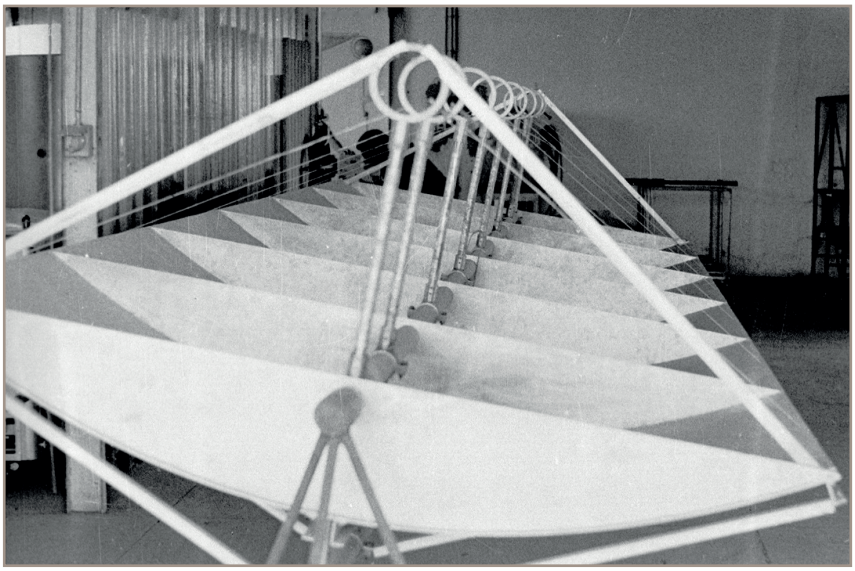


Image 1 – Modèle de capteurs solaires thermiques développés par le professeur Abdou Moumouni Dioffo en 1972

(Photographie Marc Jacquet-Pierroulet)

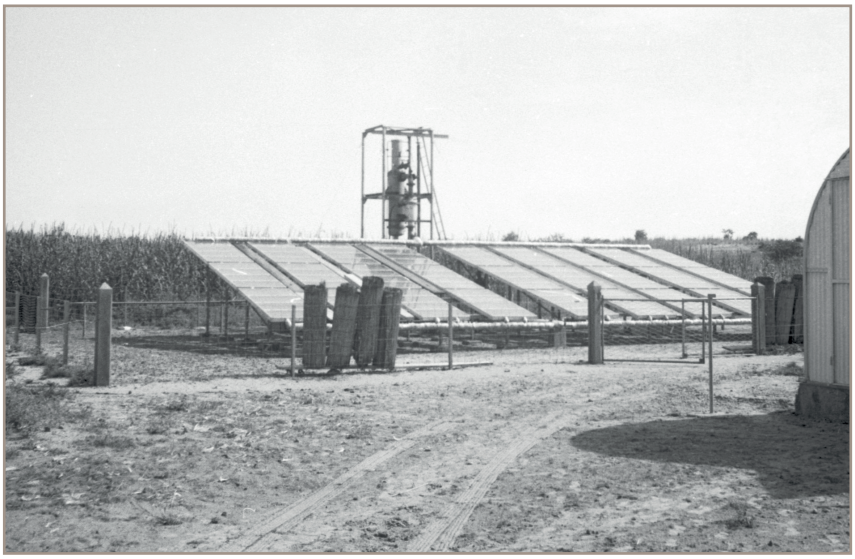


Image 2 – Pompe solaire de Bossey Bangou en 1972

(Photographie Marc Jacquet-Pierroulet)

Image 3 – Techniciens de l'ONERSOL en 1972 travaillant sur la pompe solaire de Bossey Bangou
(Photographie Marc Jacquet-Pierroulet)

eau solaire ONERSOL, capteur mixte ONERSOL, cycle thermodynamique du moteur ONERSOL-SPILLING.

Construction en 1976 d'une usine de fabrication de systèmes solaires en aluminium : capteurs plans thermiques, chauffe-eau, distillateurs, glacières, filtres… Cette usine qui a confectionné et commercialisé quelque six cents chauffe-eau solaires, ainsi que des sources thermiques sur des hôtels ou dans des cités d'étudiants, n'a malheureusement pas été un succès économique et a cessé de produire après une dizaine d'années d'activités en 1985 (*cf.* image 4).

Installation et observation de la marche d'un moteur solaire à vis de 10 kW de la firme française Sofretes à Karma près de Niamey pour irriguer une rizière sur 20 hectares.

Image 4 – Techniciens de l'ONERSOL installant un chauffe-eau solaire thermique en 1972
(Photographie Marc Jacquet-Pierroulet)

La source chaude de ce deuxième moteur a été réalisée dans l'usine de l'ONERSOL et était constituée par des capteurs plans tout aluminium à double vitrage de l'ONERSOL (*cf.* images 5 et 6).

Étude et début de réalisation d'un four solaire de 50 kW de puissance thermique au foyer, de type paraboloïde fixe, éclairé par deux héliostats mobiles suivant le disque solaire dans sa course diurne. L'idée était de tester la cuisson solaire de produits céramiques ou de ciment. Le four était adossé au complexe de laboratoires de recherches et d'une cité d'accueil de 16 chambres pour des chercheurs en mission de travail. Ce complexe a été conçu à partir du plan de l'architecte alsacien Mester de Paradj – alors en service au Niger –, en collaboration avec Abdou Moumouni Dioffo. Il a fait l'objet d'une étude thermique du bâtiment en vue d'y assurer une climatisation passive.

Construction, en collaboration avec la firme allemande Spillingwerk de Hambourg, d'un prototype de moteur solaire thermodynamique à deux pistons en ligne et à vapeur de Fréon 11 ou 113. Ce prototype de moteur a été testé pendant 1 200 heures en usine et a donné satisfaction. Il a été transporté à Niamey en mars 1984, remisé dans l'atelier de l'ONERSOL

où il se trouve encore. Il n'a jamais été expérimenté sur site avec sa source solaire, le capteur mixte ONERSOL : en raison des crises économiques frappant les pays d'Afrique et les obligeant à entrer sous ajustement structurel à partir de 1979, les bailleurs de fonds exigèrent l'arrêt de dépenses dites de « prestige » au nombre desquelles la recherche scientifique !

Image 5 – Centrale solaire de Karma en 1979

(Photographie Marc Jacquet-Pierroulet)

Image 6 – Un chercheur de l'ONERSOL et deux techniciens de la Sofretes dans la Centrale solaire de Karma en 1979

(Photographie Marc Jacquet-Pierroulet)

À partir de 1989, le budget de fonctionnement de l'ONERSOL stagne. Le diktat des bailleurs de fonds qui ont mis le pays sous ajustement structurel impose l'arrêt du financement des projets de recherche – source chaude du moteur ONERSOL-SPILLING, four, climatiseur saharien, couveuse d'œufs solaire, cuisinière à capteurs plans sélectifs, réfrigérateur à absorption solide, etc. – et le redéploiement des efforts de l'ONERSOL. Il se tourne alors vers l'importation pure et simple et le suivi de fonctionnement de systèmes photovoltaïques inventés à l'étranger et proposés dans des « programmes d'aides » mis en œuvre dans plusieurs départements du pays par le Comité permanent Inter États de Lutte contre la Sécheresse dans le Sahel (CILSS), le Fonds Européen de Développement (FED), la Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ), ainsi que la Coopération danoise.

Même les tâches d'installation de ces systèmes sont confiées à des tiers, des commerçants privés. L'ONERSOL assiste en spectateur impuissant au déroulement de tous ces programmes se traduisant par l'installation à relativement grande échelle de pompes photovoltaïques sur des puits de villages, de systèmes d'éclairage dans des centres de soins également équipés de chaînes de froid par le solaire photovoltaïque.

Après la mise au point de certains foyers améliorés pour la cuisine familiale, la section Fabrication participe encore, avant de mourir, à certains programmes de confection de « foyers améliorés » pour la cuisine familiale, puis place quelques chauffe-eau. Ensuite tout se ralentit, faute de moyens, d'où l'abandon des programmes de recherche et le glissement vers une inactivité quasi complète du Centre de Recherches. À l'ONERSOL, on ne peut plus que lire les mouvements du sable du Sahel…

Depuis cette période, et jusqu'à présent, l'horizon ne s'est pas éclairci s'agissant des moyens d'action en matière d'énergies renouvelables d'un ONERSOL rebaptisé CNES (Centre National de l'Énergie Solaire). J'ai d'ailleurs observé, non sans une grande amertume, le même processus d'évolution dans ce secteur, prometteur au départ, puis de déclin, chez tous nos voisins africains : Sénégal, Mali, Burkina Faso, Togo. C'est ainsi que le projet régional du CRES (Centre Régional d'Énergie Solaire) de Bamako auquel s'était associée la Communauté des États d'Afrique de l'Ouest (CEAO) est mort de sa belle mort en même temps que cette institution en 1996, malgré une dernière démarche entreprise par l'Union Économique et Monétaire Ouest Africaine (UEMOA) en 1997, pour tenter de le réhabiliter.

La recherche solaire en Afrique : mise en perspective

Le problème du transfert des connaissances de laboratoires et des innovations technologiques existe

hors d'Afrique tout autant que sur ce continent. Mais le déficit de savoir-faire industriel y est plus criant : autour des années 1960 les anciennes colonies françaises sont arrivées à l'indépendance politique sans potentiel industriel local et sans écoles techniques, même s'il est juste de reconnaître l'existence au sein de cet environnement de quelques artisans de grande habileté.

C'est pourquoi lorsque, comme dans le cas de l'aventure scientifique du professeur Abdou Moumouni Dioffo, que je viens de résumer, l'État, principal artisan des efforts d'implantation d'un potentiel scientifique et industriel local, baisse les bras de gré ou de force, la marche du progrès s'arrête. J'ai été personnellement impliqué dans deux projets d'envergure continentale et régionale intéressant l'Afrique et j'ai pu également regretter des échecs à cette échelle. En matière de formation de scientifiques et de renforcement des personnels de recherche le Réseau Africain des Institutions Scientifiques et Techniques (RAIST) a ainsi été créé en 1980 ; il a bénéficié d'appuis importants jusqu'en 1986, sous le parrainage du PNUD, en vue d'implanter une véritable capacité scientifique et technique en Afrique par la stimulation d'une coopération entre Universités et Centres de recherches africains préalablement identifiés comme pôles d'excellence. Ce réseau a fourni des efforts en vue de renforcer les capacités africaines en sciences et techniques, en s'impliquant notamment dans la création d'une Association Africaine en Énergie Solaire (SESA), dont j'ai été le trésorier, puis en encourageant la création du Centre de Recherche sur l'Énergie Solaire (CRES)[2] à Bamako et du Centre Régional Africain de l'Énergie Solaire (CRAES) à Bujumbura, deux institutions destinées à la promotion des énergies renouvelables en Afrique. Les États africains de l'Organisation de l'Unité Africaine (OUA) s'étaient engagés à soutenir ce réseau après sa création et sa prise en charge momentanée par le PNUD et le Deutscher Akademischer Austauschdienst (DAAD) Allemand, mais ils ont plus tard failli à leurs engagements, si bien que le réseau a difficilement survécu après 1987, date à laquelle le CRES de Bamako a commencé lui-aussi à fermer ses portes.

Les potentialités de l'Afrique de l'Ouest en énergies renouvelables sont considérables et je ne cesse de regretter, avec beaucoup de nostalgie, l'échec de l'aventure scientifique du CRES de Bamako. À Bamako, il était question de mettre en commun les moyens des États de la Communauté des États d'Afrique de l'Ouest (CEAO) et du (Comité permanent Inter États de Lutte contre la Sécheresse dans le Sahel) CILSS afin de créer une Unité de Production Systèmes chargée de produire des panneaux photovoltaïques et, plus tard, tous les composants de la filière, tels que les régulateurs de

2 C'est Jean-Pierre Girardier, directeur-fondateur de la Sofretes, qui réalisera le dossier technique et sera le premier directeur technique du CRES, durant deux ans, après la fermeture de l'entreprise dont il avait démissionné en 1981.

charge, les batteries d'accumulateurs, les récepteurs électriques. Le dossier pour le lancement de l'action était ficelé, mais le projet a capoté par manque d'engagement politique sérieux des États.

Les pays qui savent que « développement » rime avec « avancées scientifiques » n'ont pas ralenti leurs efforts d'investissement dans le solaire alors que nous, qui avons la ressource, nous baissons les bras et attendons qu'ils viennent demain nous vendre leurs produits ! Aurons-nous seulement alors les moyens de les leur acheter ? En Amérique du Nord, les centrales thermiques solaires pour la production de puissance électrique ont parcouru du chemin depuis la disparition du professeur Abdou Moumouni, il y aura exactement 29 ans en avril 2020. Il existe sur les marchés des unités de paraboloïdes concentrateurs à moteurs de Stirling de 25 kilowatts électriques et si le Niger avait poursuivi ses efforts avec davantage de conviction, nous serions à même de produire aujourd'hui, à Niamey, soixante pour cent de ce type d'équipement.

J'ai été professeur à l'École des Mines, de l'Industrie et de la Géologie (EMIG) à Niamey. Je pense que la disponibilité de nombreux cadres dans la filière solaire est une nécessité vitale pour ce pays, qui est le plus ensoleillé de la planète, et qui a l'obligation d'exploiter cette ressource qui présente le gros avantage d'être techniquement assez facile à exploiter et qui est de surcroît non polluante.

Le plus grand problème de l'Afrique est sa trop grande dépendance vis-à-vis de puissantes forces extérieures qui empêchent l'autonomie de décision de ses responsables. Toutes les statistiques soulignent que l'Afrique est le continent le plus riche du monde avec 97 % des réserves mondiales de chrome, 85 % de celles de platine, 64 % de celles de manganèse, 25 % de celles d'uranium, 13 % de celles de cuivre, sans parler de la bauxite, du nickel et du plomb, 20 % du potentiel hydroélectrique, et un pourcentage du pétrole commercialisé qui s'accroît de jour en jour, attirant ainsi de nouveaux conflits dans ce continent.

Pourquoi dans ces conditions, après quarante ans de conduite des politiques de développement en coopération avec l'extérieur, l'Afrique reste-t-elle encore cantonnée dans une situation d'assistée perpétuelle ? Le souhait exprimé dès le Colloque de Monrovia du 12 au 16 février 1979, qui avait été préparé par des cadres africains de grande compétence et présidé par d'autres Africains, de surcroît universitaires bien connus, comme Edem Kodjo – Secrétaire Général de l'Organisation de l'Unité Africaine –, Adébayo Adédédji – Secrétaire Exécutif de la Commission Économique Africaine –, était que d'ici l'an 2000 les Africains aient recouvré une souveraineté totale et permanente sur leurs ressources naturelles, un premier objectif que nous sommes bien loin d'avoir atteint !

Je pense cependant que les trajectoires énergétiques de l'Afrique

dans les vingt années à venir devraient prendre en considération la mise en valeur du potentiel existant le plus apparent, celui du solaire mais aussi des fleuves par exemple, en poursuivant les politiques d'interconnexions, quand on sait que le grand fleuve Congo recèle à lui seul un disponible hydroélectrique de 100 Gigawatts, ce qui dépasse déjà tous les besoins énergétiques actuels du continent.

Un autre avenir pour l'ONERSOL ?

En résumé, on peut dire que les efforts de l'ONERSOL-CNES, pendant presque 40 ans d'activités, n'ont pas réussi à implanter de manière pérenne un substrat minimum d'assise d'un savoir-faire en matière d'énergie solaire au Niger.

De nombreux systèmes photovoltaïques ont été installés dans le cadre de programmes financés par l'extérieur mais je n'ai pas vu s'enclencher le processus d'appropriation socio-économique de ces nouvelles technologies par des compétences nigériennes, ni en matière de conception des projets (assemblage et dimensionnement des systèmes), ni en matière de capacité de maintenance des équipements livrés aux populations (manque de techniciens qualifiés, manque de circuits de distribution de pièces de rechange, incapacité à réaliser localement le plus élémentaire composant de ces systèmes), ni en matière d'ateliers de montage de panneaux photovoltaïques ou même d'ateliers de construction de chauffe-eau.

S'agissant des ressources humaines, seul facteur de sauvetage et de relance dans l'avenir de l'activité dans cette filière, aucune disposition n'est encore prise pour l'éveil des jeunes, ni dans les formations scolaires classiques, ni dans les centres de formation professionnelle, à quelque niveau que ce soit. Même constat au niveau supérieur où l'on ne voit pas se préparer les compétences humaines qui vont s'investir dans la conquête du progrès technologique – physiciens des matériaux semi-conducteurs, chimistes spécialisés en matériaux, thermiciens pour réfléchir sur la réfrigération solaire.

Et pourtant, dans les années 1970, nous les chercheurs de l'ONERSOL, étions impliqués à égalité avec les chercheurs du Nord dans les débats scientifiques de haut niveau qui étaient conduits dans des congrès internationaux. La conservation de ces efforts dont témoignent les matériels et le site de l'ONERSOL, et leur mise en valeur pour la sensibilisation des jeunes aux enjeux des énergies pourraient, peut-être, aider à retrouver le sens et la direction de ce chemin. Car prêter une attention soutenue à l'exploitation des énergies renouvelables, prioritairement le solaire thermique et photovoltaïque, m'apparaît comme un choix porteur de promesses d'avenir.

PORTFOLIO

LES ARCHIVES DE L'AVENIR

Conservation mémorielle
et sensibilisation aux enjeux de l'énergie solaire

[Toutes images : © F. Caille (ONERSOL 5 avril 2018 ; CERER mai 2015 à mai 2019)]

Note

LES ARCHIVES DE L'AVENIR : L'énergie solaire en Afrique à l'ONERSOL de Niamey (Niger) et au CERER de Dakar (Sénégal)

Frédéric Caille
Maître de conférences HDR en science politique, Triangle-ENS Lyon, Université Savoie Mont Blanc

C'est par les archives, les traces, les témoignages que commence l'écriture de toute histoire. Celle de l'énergie solaire n'échappe pas à cette règle et c'est dans les pays africains que la recherche européenne dans ce domaine s'est prioritairement déployée. L'Office Nigérien de l'énERgie SOLaire (ONERSOL) de Niamey et le Centre d'Études et de Recherches sur les Énergies Renouvelables (CERER) de Dakar, dans cette histoire qui reste largement à écrire, occupent une place à part. Dans cette note visant à introduire le portfolio constitué par le cahier central du présent volume, on souhaite exposer les problématiques de la conservation mémorielle aussi bien que de la sensibilisation aux enjeux autour de l'énergie solaire dans ces deux institutions.

L'Office Nigérien de l'ÉneRgie SOLaire (ONERSOL) de Niamey a été créé en 1965 dans la continuité du premier grand Congrès mondial consacrée à cette ressource à Rome en août 1961. L'ingénieur coopérant martiniquais Bernard Bazabas fonde une petite unité de recherche et développement axée sur l'usage de matériaux locaux et de matériels de récupération. En 1969, le professeur Adbou Moumouni Dioffo, agrégé de physique et titulaire d'une thèse d'État sur la captation et la concentration du rayonnement solaire soutenue en 1967 sous la direction de Félix Trombe, spécialiste de rang international du domaine, en devient le premier véritable directeur (Doudou, 2018). Aidé de Volontaires du Progrès – Marc Jacquet-Pierroulet[1] – ou de coopérants militaires français – Éric Schmitt, Gérard Carbo, ingénieurs des arts et métiers, Gonzague de Gevigney, ingénieur Supélec – Abdou Moumouni Dioffo réussit à construire un outil de recherche et de production sans équivalent dans l'Afrique de l'époque. Jusqu'à 400 chauffe-eaux et 2 000 m^2 de capteurs plans thermiques peuvent être produits chaque année dès 1972.

1 *Cf.* son témoignage dans le présent volume.

Les locaux techniques de l'ONERSOL sont complétés à la fin des années 1970 par un ensemble de bâtiments remarquables. Abdou Moumouni Diffo y associe l'architecture traditionnelle et la réflexion sur l'architecture solaire ou bioclimatique, dans la lignée des travaux des époux Alexandroff : climatisation naturelle par l'utilisation de la terre comme matériau de construction, circulation des courants d'air, utilisation des puits de lumière végétaux, orientation des bâtiments. Toutes ces techniques sont pensées non comme des gestes architecturaux mais comme l'expérimentation des options sociotechniques répondant aux critères climatiques et aux disponibilités énergétiques du pays.

Comme l'explique dans sa contribution au présent dossier Albert-Michel Wright, les exigences des plans de restructuration budgétaire des années 1980 émises par les grandes agences de financement internationales ont conduit au tarissement des activités de recherche fondamentales de l'ONERSOL. Les options de technologies simples et « basses » en faveur desquelles Abdou Moumoni Dioffo avait plaidé dès son texte pionnier de 1964, « L'énergie solaire dans les pays africains », ont été progressivement laissées de côté (Moumouni Dioffo, 1964a). Abdou Moumouni détaille dans cet article l'utilisation de l'énergie solaire pour l'obtention d'un travail mécanique, d'électricité thermo-électrique (moins coûteuse à son époque que photo-électrique), de réfrigération, de distillation et chauffage de l'eau, de fours et cuisinières. « *L'intérêt bien compris des pays africains exige* […] *que sur le sol africain soient jetées les bases non seulement de la recherche en vue de l'utilisation systématique de l'énergie solaire, mais aussi de la réalisation des dispositifs de conversion en commençant bien entendu par les plus simples et plus généralement ceux susceptibles d'être construits sur place* » (p. 46). Il s'inscrit alors déjà pleinement dans une perspective *low tech* (par opposition à *high tech*) « *basée, autant que faire se peut, sur une démarche de sobriété dans les usages et des technologies simples* […] *et économes en ressources* » (Bihouix, 2019, p. 98). La notion de « basse technologie » correspond également parfaitement à cet esprit et plus largement au (mal-nommé) « solaire passif » (qui n'utilise pas la conversion électrique) dont le délaissement persistant résume « *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*. […] *Sa simplicité, son faible coût, son efficacité énergétique semblent jouer contre lui (le solaire passif) à moins que ce ne soit l'autonomisation énergétique des habitations qui inquiète les tenants d'un réseau électrique centralisé* » (Teissier, 2013, pp. 24-25).

Le triomphe actuel et sans partage de l'attente d'hypothétiques « *bonds technologiques* » (*technological leapfrogging*) dans les stratégies énergétiques et environnementales proposées aux pays d'Afrique – et plus largement au reste du monde – est l'aboutissement de cet infléchissement (Avadikyan & Mainguy, 2016, p. 9 ; Bihouix, 2019).

L'imprécision des expertises – 835 milliards US$ à plus ou moins 150 milliards d'ici 2040 pour « énergiser » l'Afrique (Avadikyan & Mainguy, 2016, p. 10) – se

cumule avec l'inanité des actions effectives – par exemple, l'Afrique n'a reçu que 13 % du total des fonds publics consacrés à l'atténuation du changement climatique depuis 2003, et 3 % du Mécanisme de Développement Propre (MDP) du protocole de Kyoto (*ibid*., pp. 11-12).

Il reste pourtant d'immenses réservoirs de potentialités d'usages de l'énergie solaire sur ce « continent du soleil », le seul où l'utilisation du rayonnement solaire thermique direct, en termes de climatisation[2], de séchage, de cuisson, de production électrique, et plus largement sans doute d'économies énergétiques dans les processus industriels, pourrait être massivement utilisée et développée, y compris à proximité des grands centres de populations. Une telle approche, si elle se concrétise un jour, ne demandera non pas seulement des « sauts de grenouille techniques » (pour reprendre explicitement l'image de « *technological leapfrogging* »), mais également la remise à plat d'un paradigme de l'offre énergétique construit sur la centralisation et la quantification économique de la consommation – y compris souvent en favorisant sa croissance – plutôt que sur les usages et les besoins sociaux réels (KICS, 2018, p. 29[3]).

C'est là peut-être que la prise en main de ces questions par les citoyennes et citoyens d'Afrique pourrait trouver un chemin par la muséographie solaire et la préservation mémorielle et patrimoniale active des matériels évoqués ci-dessous. Près de 30 ans après sa disparition, il apparaît que les traces du travail d'Abdou Moumouni Dioffo et de ses successeurs constituent un jalon spectaculaire et capital dans l'histoire mondiale des énergies renouvelables.

Sous quelles formes en assurer la préservation ? Avec quelle(s) finalité(s) ? Ces deux grandes questions demeurent ouvertes. Mais elles n'en sont pas moins, déjà, une manière de retrouver les priorités sur lesquelles Abdou Moumouni Dioffo appelait déjà vigoureusement l'attention, en même temps qu'il travaillait sur le solaire, dans son grand livre sur l'éducation (Moumouni Dioffo, 1964b).

Le Centre d'Études et de Recherches sur les Énergies Renouvelables (CERER) de Dakar est lui aussi confronté à des problématiques convergentes.

Il est créé en 1955 par le professeur Henry Masson en tant qu'Institut de Physique Météorologique (IPM). Bénéficiant de 12 000 m^2 de terrain et par la suite de plus de 400 m^2 de locaux et bureaux, le centre acquiert sa dénomination actuelle en 1977, peu après la disparition de son fondateur. « *Cet ancien doyen a été un vrai précurseur dans ce domaine particulier de la conversion thermodynamique de l'énergie solaire* », écrit alors son successeur Djibril Sène tout en dressant, à la mi-1976, le bilan flatteur des premières installations de pompage solaire et de l'antériorité du terrain d'expérience sénégalais en matière d'énergies renouvelables. « *Déjà en 1948 il consacra sa thèse*

2 *Cf.* l'article sur le « solaire-froid » par F. Caille et A. Mouthon du présent volume.

3 Collectif d'auteurs indiens.

de doctorat d'État à 'l'eau de condensation atmosphérique et la végétation', avant de publier pour la première fois en 1957 dans le Bulletin de l'École de Médecine de Dakar ses travaux sur 'le moteur solaire dans les régions arides' » (Sène, 1976, p. 1).

Comme en témoignent les archives ainsi que les divers matériels ou restes de matériels disponibles sur le site de Dakar, le CERER-IPM constitue durant près d'un quart de siècle l'une des plateformes solaires internationales de test et d'optimisation les plus actives, en même temps qu'un point de formation régional important.

On y trouve aujourd'hui encore disposés sur la plateforme d'essai des réfrigérateurs solaires et des « serres-distillateurs », derniers exemplaires conservés sans doute des prototypes mis au point dès la fin des années 1950 par les laboratoires français du CNRS (Teissier, 2015, pp. 203-205). À côté des ateliers et des machines-outils de l'époque de la Sofretes, ainsi que des éléments des pompes de test, se trouve également un spectaculaire exemplaire de concentrateur solaire de près de trois mètres de diamètre, une véritable pièce de musée issue selon toute vraisemblance du programme THEK des années 1980[4].

Cette seconde période d'activité du CERER voit les personnels associés à divers programmes de coopération belges, japonais et allemands en matière de pompage photovoltaïque rural ou de dessalement[5]. Mais les travaux sur les éoliennes à capteur vertical (type « Savonius ») et sur les chauffe-eaux et fours solaires d'une part, sur les foyers améliorés et les utilisations de la biomasse d'autre part, ont constitué également des activités régulières du centre pendant toute la période et jusqu'à nos jours. Ceci a été réalisé par le CERER seul ou en collaboration avec le petit réseau des autres institutions sénégalaises du domaine : à l'IUT, à la Faculté des Sciences de Dakar, et à l'École Polytechnique de Thiès notamment. Rien qu'à l'IUT de Dakar, plus d'une dizaine de mémoires de fin d'études sont ainsi consacrés à l'énergie solaire entre 1976 et 1983 (Caille, 2018).

Les vestiges techniques et les archives assez nombreuses du CERER soulignent l'intérêt du lieu pour contribuer à une histoire de l'énergie solaire en Afrique « par le dedans », « au ras du sol » et au « ras des sources », c'est-à-dire sensible, comme dans d'autres domaines de l'historiographie et de l'anthropologie récentes (Tiquet, 2018, p. 5 et 11), aux interactions constitutives des sociétés africaines contemporaines et à la diversité des situations et des enjeux tenant aux échanges humains et matériels autour du solaire.

---

4 Le projet THEK (Thermo-Hélio-Electric-Kilowatt) associa à partir de 1976 des laboratoires universitaires et des sociétés françaises pour la mise au point de générateurs électriques solaires à partir de concentrateurs (Teissier, 2015, p. 216 ; Herléa, 1995, pp. 185-200).

5 Wright A-M. (1994). « Projet régional de développement de l'énergie solaire pour les pays de la sous-région en général, et le Sénégal en particulier ». Mission de consultation juin-juillet 1994, Nairobi : UNESCO-ROSTA, 44-XVIJ pages.

En termes de performances des procédés et matériels, de formations des personnels, d'orientations des politiques énergétiques, les effets des échanges entre les pays développés et les territoires du monde les plus ensoleillés restent en effet à mieux analyser. Et il paraît difficile, comme cela a pu être suggéré par certaines interprétations récentes, de limiter l'analyse des activités du CERER et de ses personnels pendant plus d'un demi-siècle aux effets d'un « *projet néocolonial emblématique* » (Teissier, 2015) ou d'un « *impérialisme techno-économique* » unilatéral (Marec &Teissier, 2020).

Le destin et les activités du professeur nigérien Abdou Moumouni Dioffo, docteur d'État en Physique de l'énergie solaire sous la direction du Français Félix Trombe, tout comme le contenu explicite de son grand livre *L'Éducation en Afrique* mettent en évidence les effets complexes et entrecroisés des coopérations engagées entre la France et ses anciennes colonies. De même d'ailleurs que les témoignages d'autres universitaires, techniciens et chercheurs africains, parmi lesquels il est possible de citer les employés sénégalais de la Sofretes et les assistants de l'IPM puis du CERER ayant effectué des séjours en France à la fin des années 1970. Certains sont devenus plus tard installateurs de matériels photovoltaïques, et du côté des universitaires une seconde génération de chercheurs africains sur le solaire a vu le jour : c'est ainsi le cas du professeur Albert-Michel Wright ou de Grégoire Sissoko, professeur de physique et directeur du LASES (LAboratoire des Semiconducteurs et de l'Énergie Solaire) à la Faculté des Sciences de Dakar et président du GIRER (Groupe International de Recherche en Énergie Renouvelable) réseau africain de recherche sur les énergies renouvelables (Sissoko, 2018).

L'avancée des modes de conversion du rayonnement radiatif de l'astre du jour, dans un contexte de longue marginalité socioéconomique et de subordination sociotechnique, plus que tout autre, est le produit d'une histoire globale et interconnectée engagée dès la fin du XIXe siècle. Lorsqu'on se tourne vers les histoires vécues de l'énergie solaire et ses matériels, il n'y a pas une histoire de l'énergie solaire pour l'Afrique et une histoire de l'énergie solaire pour la France. Et c'est pourquoi la sauvegarde du patrimoine et des archives du CERER, comme de l'ONERSOL, sont la condition de l'écriture d'une histoire compréhensible, dépassionnée et argumentée.

Les populations locales, les chercheurs et anciens chercheurs des pays du sud ont à participer à l'écriture de cet autre récit énergétique. Un récit qui passera sans doute à l'avenir par l'invention de nouveaux lieux de sensibilisation aux enjeux des énergies renouvelables en Afrique, celles du passé comme celles du futur. Les matériels encore existants au CERER ou à l'ONERSOL pourraient de la sorte permettre d'amorcer une forme d'« archéotechnologie » de l'énergie solaire en Afrique et devenir, comme cela est l'objectif de toute mise en forme muséale, « *des moyens d'appropriation du monde et des supports de subjectivation* » (Bondaz, 2014, p. 97).

L'histoire de l'énergie solaire comporte sans aucun doute des rapports de force et de pouvoir, et notamment entre pays avancés et pays colonisés ou décolonisés. Mais il n'en reste pas moins, sauf à vouloir se priver de la possibilité d'une mise en perspec-

tive des choix socio-énergétiques opérés au fil du XXe siècle et des « *technologies sur étagères* » qui s'y trouvent associées (Roche & *al.*, 2018, p. 253), que c'est d'abord au sein des économies développées et des systèmes technoscientifiques qui les caractérisent qu'il convient de porter le regard[6].

Afin, peut-être, si l'on en accepte l'expression, de dénouer les « *sacs de nœud éoliens et solaires* » du passé (Marrec & Teissier, 2020, p. 248), et surtout d'éviter d'en ajouter de nouveaux. Car comme l'a dit Confucius : Qui comprend le nouveau en réchauffant le passé peut devenir un maître.

6 La notion de « *technologie sur étagères* » est utilisée par certains industriels pour désigner des concepts et ou techniques qui ont été délaissés et non-développés pendant un temps (souvent plusieurs décennies) mais sont ensuite ressortis des cartons ou remis en fonctionnement, généralement du fait d'une évolution du contexte socio-économique. La notion permet de réfléchir sur des cycles « d'apparition-disparition-réapparition » et de dépasser la dichotomie simplificatrice « fonctionne-ne fonctionne pas », ou « rentable-non rentable » pour comprendre les processus d'innovation, ce qui est très intéressant dans le cas du solaire thermique ou thermodynamique. Il est d'ailleurs à noter que le stimulant article de S. Roche & *alii.* consacré à « *l'énergie houlo-motrice* » duquel nous tirons l'expression se termine par l'évocation de « *l'utopie solaire* » aujourd'hui « *devenue une réalité bien concrète* ».

Bibliographie

Avadikyan A. & Mainguy C. (2016). « Accès à l'énergie et lutte contre le changement climatique : opportunités et défis en Afrique subsaharienne ». *Mondes en développement,* 2016/4 n°176, pp. 7-24.

Bihouix P. (2019). « La transition énergétique peut-elle être low-tech ? ». *Revue internationale et stratégique,* 2019/1, n° 113, pp. 97-106.

Bondaz J. (2014). « Politique des objets de musée en Afrique de l'Ouest ». *Anthropologie et Sociétés*, 38/3, pp. 95-111.

Caille F. (2018). « Le Sénégal, une histoire solaire. Recherche, innovation et sensibilisation dans les énergies vertes de 1960 à aujourd'hui ». *In* F. Caille & M. Badji (dir.). *Du soleil pour tous. L'énergie solaire au Sénégal : un droit, des droits, une histoire*. Chambéry-Dakar-Québec : Éditions science et bien commun (esbc), pp. 105-128.

Doudou S. (2018). « Abdou Moumlouni Dioffo : 'Aime ! Souffre ! Potasse' ». *In* Caille F. (dir.). *Abdou Moumouni Dioffo (1929-1991). Le précurseur nigérien de l'énergie solaire*. Québec : Éditions science et bien commun (esbc), pp. 86-99.

Herléa A. (dir.) (1995). *L'énergie solaire en France*. Paris : CTHS.

KICS (Knowledge In Civil Society) (2018). *Swaradj des savoirs : un manifeste indien pour la science et la technologie*. Québec : Éditions science et bien commun (esbc).

Marec A. & Teissier P. (2020). « Les énergies alternatives aux prises avec les politiques conservatrices ». *In* F. Jarrige F. & A. Vrignon (dir.). *Face à la puissance. Une histoire des énergies alternatives à l'âge industriel*. Paris : La Découverte, pp. 238-248.

Moumouni Dioffo A. (1964a, rééd. 2019). « L'énergie solaire dans les pays africains ». *In* F. Caille F. (dir.). *Abdou Moulouni Dioffo (1929-1991). Le précurseur nigérien de l'énergie solaire*. Québec : Éditions science et bien commun (esbc), pp. 15-58.

Moumouni Dioffo A. (1964b, rééd. 2019). *L'éducation en Afrique. Réédition*. Québec : Éditions science et bien commun (esbc).

Roche S., Clément A.H., Babarit A. & Bouneau C. (2018). « Transformer les vagues en énergie : utopie ou réalité ? ». *Artefact*, 9, pp. 239-265.

Sène D. (1976). « Le soleil et le vent au service du développement ». *Éthiopiques. Revue socialiste de culture négro-africaine,* 7/1976 [URL : http://ethiopiques.refer.sn].

Sissoko G. (2018). « Vue depuis les sciences physiques : la recherche actuelle sur l'énergie solaire en Afrique, particulièrement au Sénégal ». *In* F. Caille & M. Badji (dir.).

Du soleil pour tous. L'énergie solaire au Sénégal : un droit, des droits, une histoire. Chambéry/Dakar/Québec : Éditions science et bien commun (esbc), pp. 51-72.

Teissier P. (2013). « Le solaire passif à l'ombre de la politique énergétique française, 1945-1986 ». *Annales historiques de l'électricité,* 11/décembre, pp. 11-25.

Teissier P. (2015). « Fours et maisons solaires de Mont-Louis-Odeillo. Interstices, intersciences et internationalismes de la recherche contemporaine ». *In* S. Le Gars & G. Boistel (dir.). *Dans le champ solaire. Cartographie d'un objet scientifique.* Paris : Hermann, pp. 181-219.

Tiquet R. (2018). « Maintien de l'ordre colonial et administration du quotidien en Afrique ». *Vingtième siècle,* n° 140, oct-dec., pp. 3-13.

Webographie

De nombreux textes en lien avec ce projet de recherche sont disponible en ligne sur le site des Éditions science et bien commun (escb) :

[URL : https://scienceetbiencommun.pressbooks.pub/abdoumoumouni/]

[URL : https://www.editionscienceetbiencommun.org/?p=1347]

[URL : https://scienceetbiencommun.pressbooks.pub/soleilpourtous/]

1 - L'ONERSOL

Image 1
Entrée actuelle de l'ancien ONERSOL, aujourd'hui CNES

© tous droits réservés

Images 2 et 3

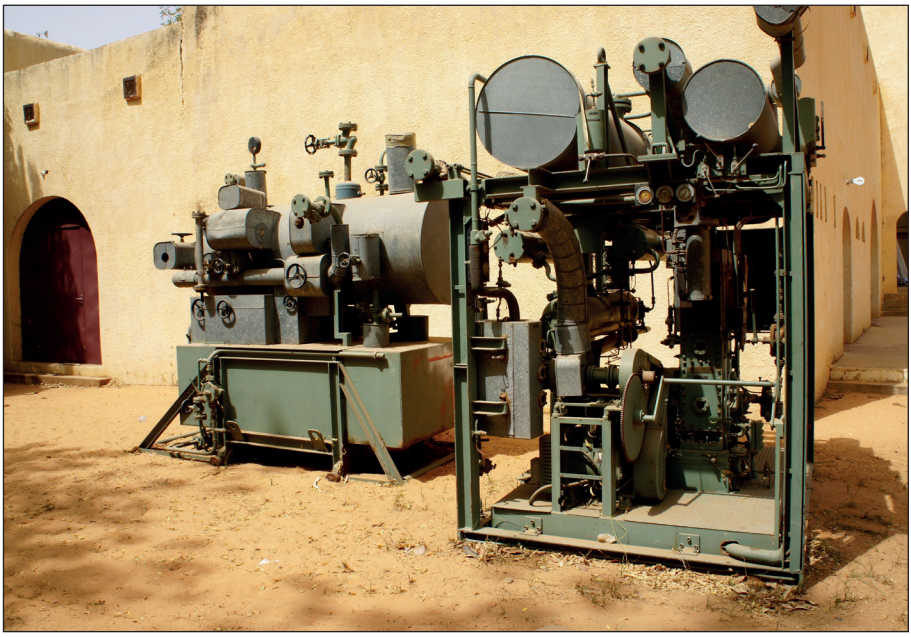
Séchoir solaire à cheminée d'aération réalisé avec des matériaux locaux

© tous droits réservés

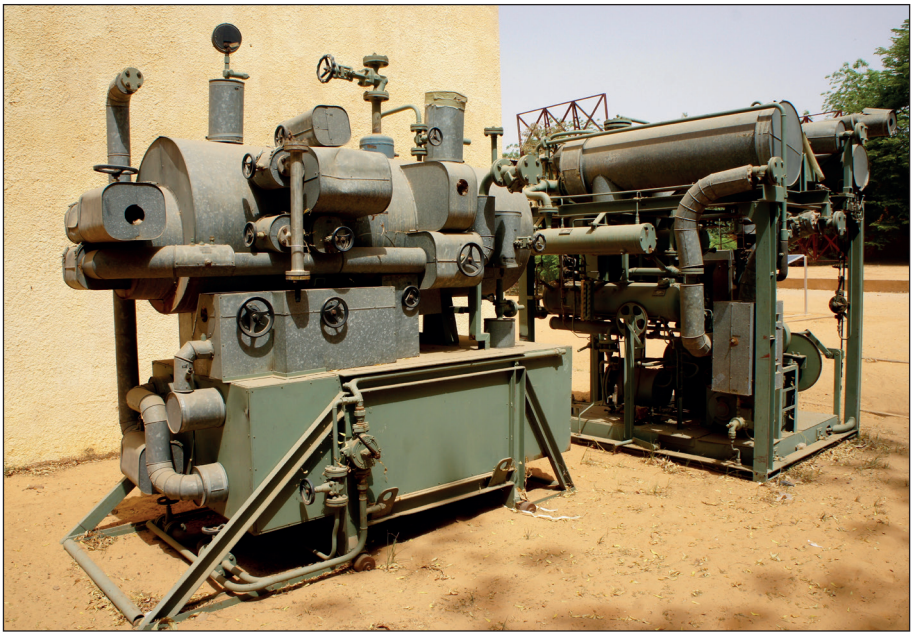
© tous droits réservés

Images 4 et 5

Prototype de moteur solaire thermodynamique
à deux pistons en ligne et à vapeur de fréon réalisé en collaboration avec la firme allemande
Spillingwerk de Hambourg et qui n'a jamais pu être expérimenté sur site avec sa source solaire



© tous droits réservés



© tous droits réservés

Image 6

Capteur plan à tubulure et boîte en aluminium à triple vitrage renforçant l'effet de serre couplé avec un réservoir tout en aluminium pour chauffe-eau solaire

© tous droits réservés

Images 7 et 8

Distillateurs solaires (béton et aluminium) à couverture vitrée
ayant des capacités de production de 4-5 litres/jour par mètre carré

© tous droits réservés

© tous droits réservés

Image 9
Cuiseur/concentrateur expérimental

© tous droits réservés

Images 10 et 11

En arrière-plan : four solaire de 50 kW de puissance thermique au foyer, de type paraboloïde fixe, éclairé par deux héliostats mobiles

Support du four de grande puissance, jamais achevé

© tous droits réservés

© tous droits réservés

Images 12 à 20

Laboratoires de recherches et cité d'accueil de 16 logements conçue par l'architecte alsacien Mester de Paradj en collaboration avec Abdou Moumouni Dioffo.
Étude de la thermique du bâtiment en vue d'y assurer une climatisation passive.
On appréciera la fonctionnalité et la réussite esthétique.

© tous droits réservés

© tous droits réservés

© tous droits réservés

© tous droits réservés

© tous droits réservés

© tous droits réservés

© tous droits réservés

© tous droits réservés

© tous droits réservés

2 - LE CERER

Image 21
Grand récepteur solaire (probablement programme THEK)

© tous droits réservés

Images 22 et 23

Serres à récupération d'eau (modèle breveté par F. Trombe probablement)

Modèle de réfrigérateur solaire et en arrière plan de four solaire

© tous droits réservés

© tous droits réservés

Images 24 et 25

Visite d'un groupe d'étudiants et vue de l'ensemble de la plateforme des petits matériels (2019)

Vue partielle du site avec des éléments de la pompe-test SEGAL-Sofretes

(Pour d'autres images, voir Mouthon A. dans Caille-Badji, Du soleil pour tous*, éditions esbc, 2018, pp. 78-81)*

© tous droits réservés

© tous droits réservés

Images 26 et 27

Modèle de séchoir solaire et bâtiment (blanc) de mesure de la pompe SEGAL

Mesures de stérilisation du sable pour cultures par four solaire à concentration à l'IUT de Dakar en 2015

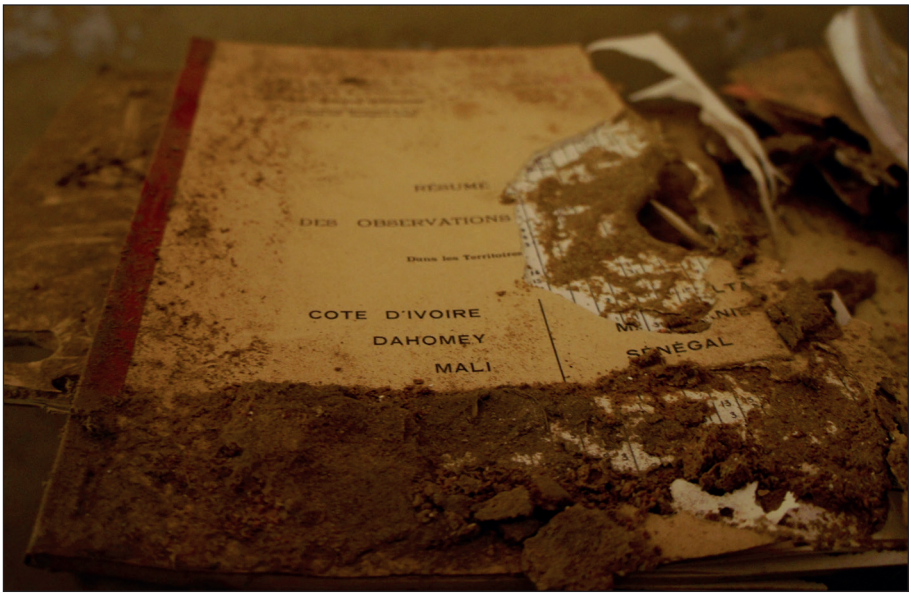
© tous droits réservés

© tous droits réservés

Images 28 à 30

Après l'arrêt des coopérations internationales des années 1980
beaucoup d'archives qui restent à protéger sont soumises aux dégradations du milieu subtropical

© tous droits réservés

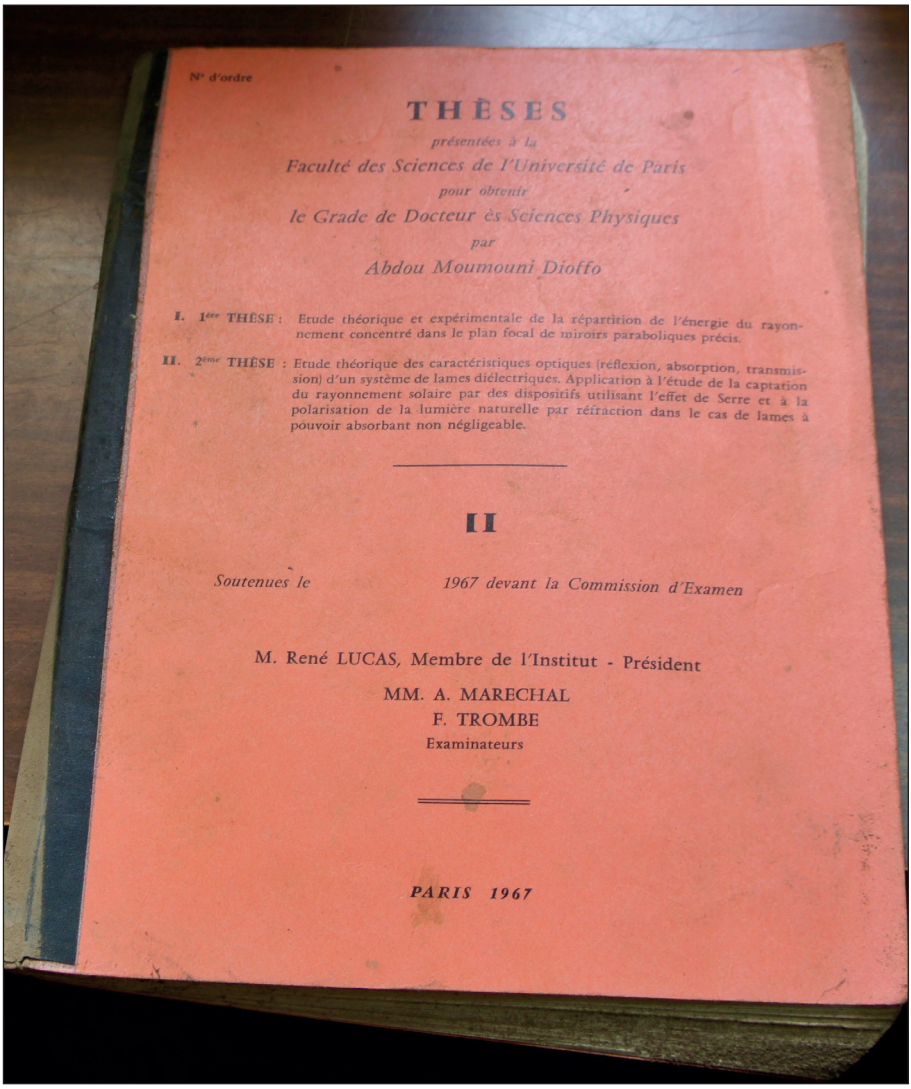


© tous droits réservés

© tous droits réservés

Images 31 et 32

Exemplaire de la thèse d'Abdou Moumouni Dioffo
et publication du National Research Council des États-Unis (1981) dans les archives du CERER



N° d'ordre

THÈSES

présentées à la

Faculté des Sciences de l'Université de Paris

pour obtenir

le Grade de Docteur ès Sciences Physiques

par

Abdou Moumouni Dioffo

I. 1ère THÈSE : Etude théorique et expérimentale de la répartition de l'énergie du rayonnement concentré dans le plan focal de miroirs paraboliques précis.

II. 2ème THÈSE : Etude théorique des caractéristiques optiques (réflexion, absorption, transmission) d'un système de lames diélectriques. Application à l'étude de la captation du rayonnement solaire par des dispositifs utilisant l'effet de Serre et à la polarisation de la lumière naturelle par réfraction dans le cas de lames à pouvoir absorbant non négligeable.

II

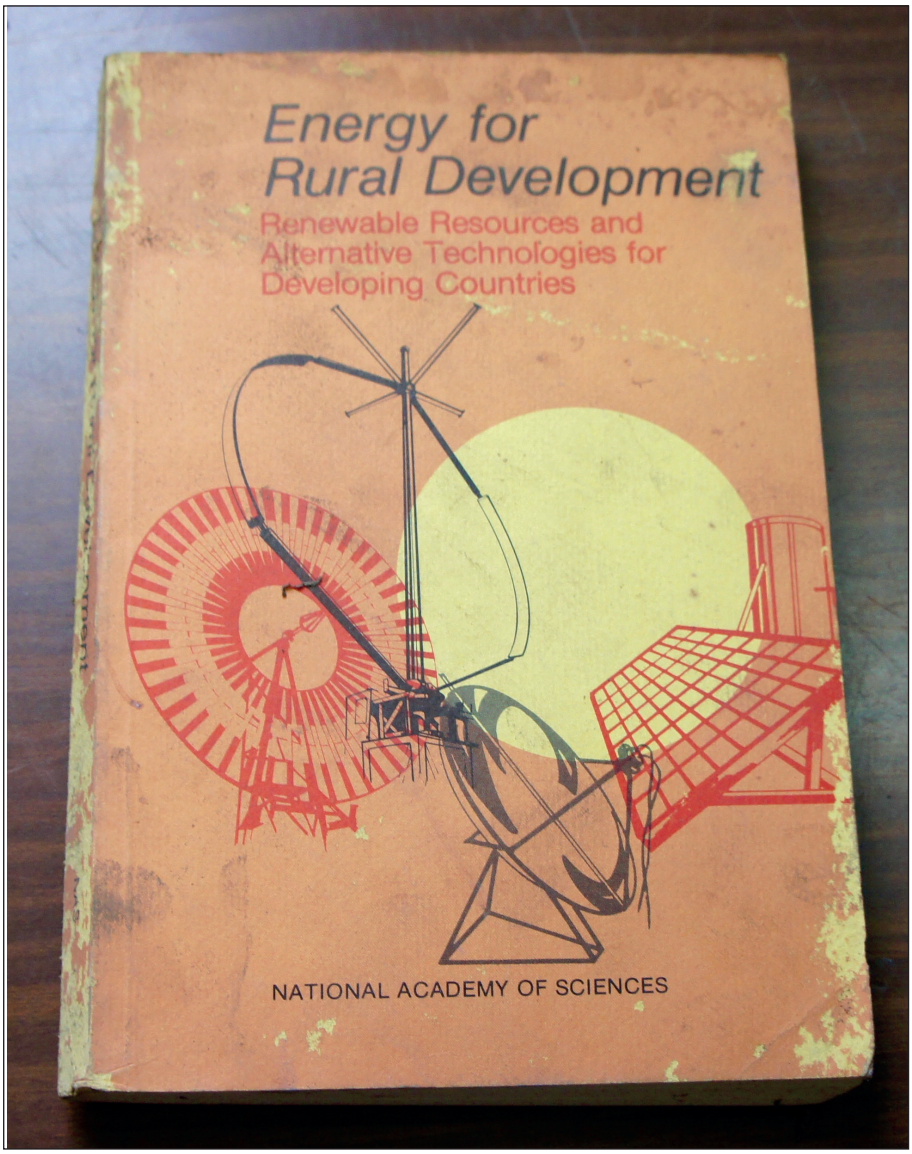
Soutenues le *1967 devant la Commission d'Examen*

M. René LUCAS, Membre de l'Institut - Président

MM. A. MARECHAL
F. TROMBE
Examinateurs

PARIS 1967

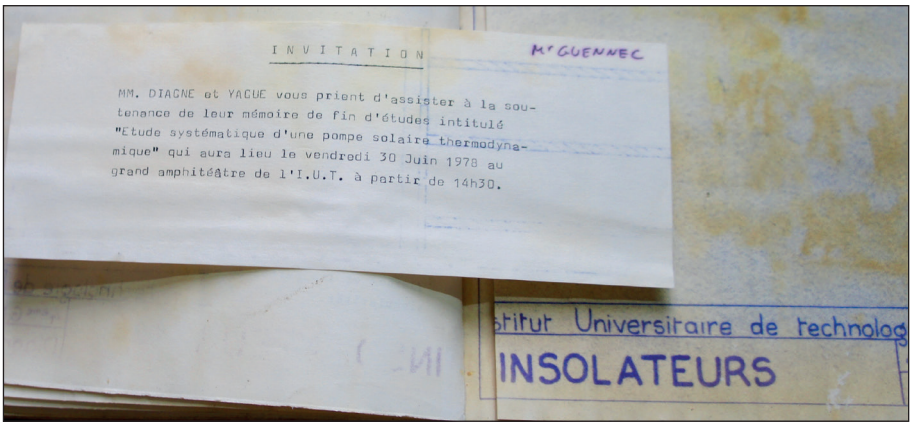
© tous droits réservés



© tous droits réservés

Images 33

Invitation de M. Guennec, ingénieur de recherche de l'IPM-CERER durant plus d'une vingtaine d'années à une soutenance de mémoire sur les pompes solaires thermodynamiques à l'IUT de Dakar en 1978



INVITATION

Mr GUENNEC

MM. DIAGNE et YAGUE vous prient d'assister à la soutenance de leur mémoire de fin d'études intitulé "Etude systématique d'une pompe solaire thermodynamique" qui aura lieu le vendredi 30 Juin 1978 au grand amphithéâtre de l'I.U.T. à partir de 14h30.

stitut Universitaire de technolog

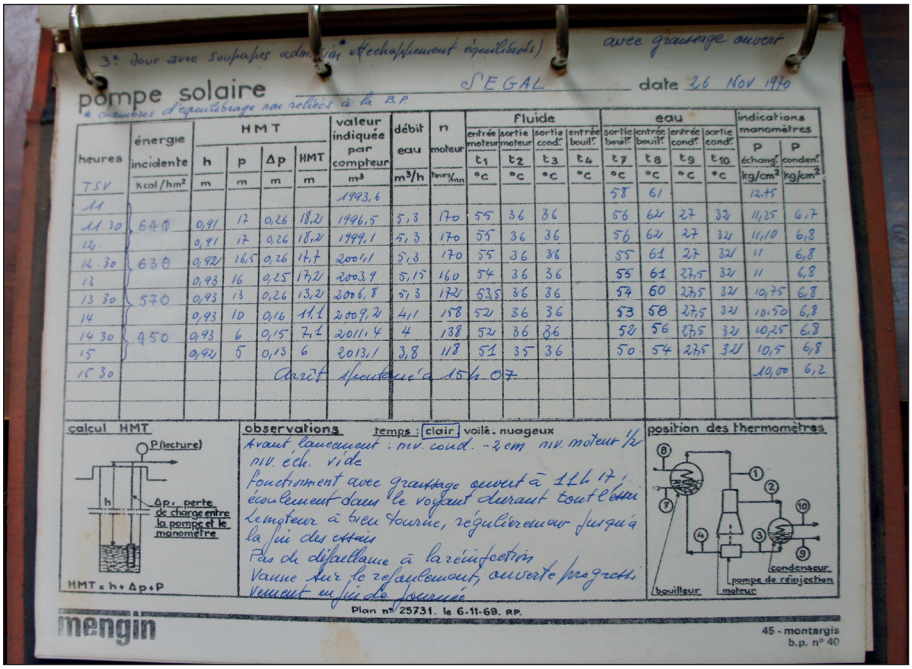
INSOLATEURS

© tous droits réservés

Images 34 et 35

Relevés effectués sur la pompe SEGAL en 1971

Schéma de principe ci-dessous, extrait d'un mémoire de l'École Nationale Supérieure de Technologie-IUT de Dakar



3e Jour avec soupapes admission (échappement équilibrés) avec grattage ouvert

pompe solaire — SEGAL — date 26 Nov 1970

4 chambres d'équilibrage non reliées à la B.P.

heures	énergie incidente	HMT h	HMT p	HMT Δp	HMT HMT	valeur indiquée par compteur	débit eau	n moteur	Fluide entrée moteur t1	Fluide sortie moteur t2	Fluide sortie cond. t3	Fluide entrée bouil. t4	eau sortie bouil. t7	eau entrée bouil. t8	eau entrée cond. t9	eau sortie cond. t10	indications manomètres P échang.	indications manomètres P condens.
TSV	Kcal/hm²	m	m	m	m	m³	m³/h	tours/mn	°c	°c	°c	°c	°c	°c	°c	°c	kg/cm²	kg/cm²
													58	61			12,75	
11						1993,6												
11 30	640	0,91	17	0,26	18,2	1996,5	5,3	170	55	36	36		56	62	27	32	11,25	6,7
12		0,91	17	0,26	18,2	1999,1	5,3	170	55	36	36		56	62	27	32	11,10	6,8
12 30	630	0,92	16,5	0,26	17,7	2001,1	5,3	170	55	36	36		55	61	27	32	11	6,8
13		0,93	16	0,25	17,2	2003,9	5,15	160	54	36	36		55	61	27,5	32	11	6,8
13 30	570	0,93	13	0,26	13,2	2006,8	5,3	172	53,5	36	36		54	60	27,5	32	10,75	6,8
14		0,93	10	0,16	11,1	2009,2	4,1	158	52	36	36		53	58	27,5	32	10,50	6,8
14 30	450	0,93	6	0,15	7,1	2011,4	4	138	52	36	36		52	56	27,5	32	10,25	6,8
15		0,92	5	0,13	6	2013,1	3,8	118	51	35	36		50	54	27,5	32	10,5	6,8
15 30																	10,00	6,2

calcul HMT

HMT = h + Δp + P

observations — temps : clair | voilé - nuageux

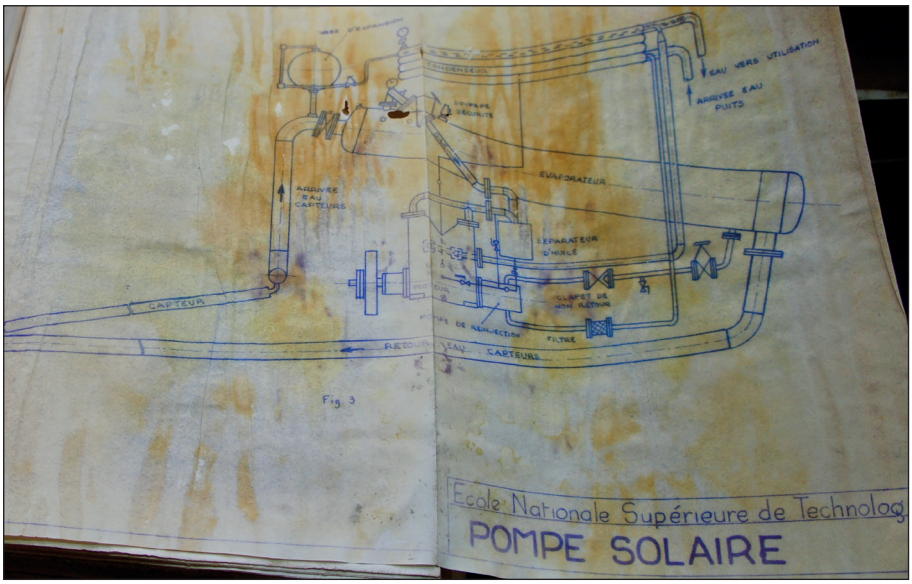
Avant lancement : niv. cond. -2 cm niv. moteur ½
niv. éch. vide
fonctionnement avec grattage ouvert à 11h 17'
écoulement dans le vaporat durant tout l'essai
le moteur a bien tourné, régulièrement jusqu'à la fin des essais
Pas de distillation à la réinjection
Vanne sur le refoulement, ouverte progressivement en fin de journée

position des thermomètres

Plan n° 25731. le 6-11-69. BP.

mengin — 45 - montargis b.p. n° 40

© tous droits réservés



© tous droits réservés

Article de synthèse

Sortir des énergies fossiles
Enjeux climatiques, énergies renouvelables et questions démocratiques

Marc Delepouve
HT2S – Histoire des Technosciences en Société (EA 3716), Cnam / Université de Lille

Bertrand Bocquet
HT2S – Histoire des Technosciences en Société (EA 3716), Cnam / Université de Lille

Résumé

La transition énergétique actuelle se distingue des précédentes dans la mesure où il ne s'agit pas d'ajouter une nouvelle source d'énergie mais de la substituer à celle utilisée massivement, l'énergie fossile. La cause n'est pas l'épuisement de cette dernière mais les effets délétères engendrés sur l'environnement terrestre, notamment le climat. L'article explore la hauteur de l'enjeu climatique et montre que, si les connaissances scientifiques permettent depuis le début du XXIe siècle d'affirmer l'existence d'un changement climatique d'origine anthropique porteur d'une menace majeure sur les sociétés humaines, en revanche une part d'imprévisible et de non quantifiable demeure et renforce la menace. D'où un nécessaire appel au principe de précaution pris comme un facteur favorisant l'innovation. Cependant, la complexité et l'ampleur de l'indispensable transition renforcent l'idée d'une plus grande implication citoyenne dans la recherche permise par les nouvelles méthodologies de recherche-action participative.

Mots-clés : transition énergétique ; changement climatique ; principe de précaution ; complexité ; recherche participative.

Abstract

The current energy transition differs from the previous ones because it is not a new energy source to add up but a substitution of fossil energy which is intensively used. The cause is not the depletion of fossil energy but their harmful effects on the environment of earth, especially climate-wise. This paper investigates climate challenges through the fact that the scientific knowledge had shown the existence of anthropogenic climate

change since the beginning of the 21st century. Climate change poses a major threat to human societies reinforced by the fact that a part of unpredictability and non-quantifiability remain. The precautionary principle must be applied but like a factor favouring innovation. However, the complexity and the scale of the necessary transition reinforces the idea of a greater citizen involvement in research, as made possible by the new participatory action research methodologies.

Keywords: energy transition; climate change; precautionary principle; complexity; participatory action research.

Abstract

L'énergie du rayonnement solaire parvenant à la surface de la Terre est égal à plusieurs milliers de fois la consommation énergétique actuelle de l'ensemble de l'humanité. Par ailleurs, l'orientation et l'organisation de la recherche ne semblent pas toujours adaptées à l'ampleur et à l'urgence des enjeux globaux de la transition énergétique actuellement amorcée (Delepouve & Paul Antoine, 2016). Le présent propos présente une revue de littérature partielle appuyée sur les domaines de recherche des deux auteurs[1] et aborde deux grands types d'arguments permettant de comprendre pourquoi cet enjeu des énergies renouvelables – et au premier chef celui de l'énergie solaire – doit être placé en tête de l'agenda de la transition énergétique.

L'attention sera portée dans un premier temps sur les séries documentaires et empiriques existantes concernant à la fois le réchauffement climatique et les ressources énergétiques globales. Beaucoup plus qu'on ne le soupçonne parfois, des points d'accord scientifiques importants se dégagent aujourd'hui en ces matières, sur la base de fondements disciplinaires très différents. Le changement climatique est désormais admis par l'ensemble des États de la planète. Cette reconnaissance s'appuie notamment sur le mode original de synthèse des résultats des recherches relatives aux évolutions du climat réalisées périodiquement par le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC), dont les modélisations contribuent à l'identification et la quantification des facteurs participant au changement climatique. Ces modèles servent également à proposer des scénarios pour le futur. Ces derniers montrent que la sortie accélérée des systèmes énergétiques fossiles devrait être une priorité mondiale.

1 Marc Delepouve termine une thèse sur le GIEC à la croisée de l'épistémologie et des rapports science, expertise et politique ; il a en outre travaillé sur les enjeux de la transition énergétique. Bertrand Bocquet mène ses recherches dans le domaine des Sciences en société par l'expérimentation et l'analyse d'interfaces fondées sur des démarches de recherche participative.

Cette situation de transition énergétique est inédite. Pour autant, des solutions alternatives utilisant les énergies renouvelables, et en premier lieu l'énergie issue du rayonnement solaire, comme on le verra dans un second temps, existent. Mais ces énergies renouvelables sont cependant porteuses de problématiques sociotechniques et démocratiques qui dépassent l'argument de la nécessité climatique. Ces énergies ne sont pas seulement décarbonées : elles questionnent la nature des « convertisseurs énergétiques » (électricité, hydrogène, etc.), l'échelle et la continuité territoriales des modes d'approvisionnement énergétiques – circuits courts, réseaux, îlots et « *communautés énergétiques* » (Sebi & Vernay, 2020) –, les formes d'usages ou même de rentabilisation de l'énergie – la radiation du soleil plus que tout autre étant par nature permanente et gratuite. Elles nécessitent donc des travaux de recherche transdisciplinaires qui puissent croiser les différents enjeux, la complexité des interactions et la diversité des contextes. En un mot les énergies renouvelables nous entraînent à repenser le développement scientifique et la démocratie technique, à nous ouvrir à la recherche participative et à la pensée du complexe, à réexaminer les formes de gouvernance énergétique.

Changement climatique global et transition énergétique nécessaire

La fin du doute climatique

Les séries empiriques récentes portant sur le changement climatique débutent en grande partie par trois articles du numéro de la revue *Nature* du 1er octobre 1987 exposant les résultats d'analyses de calottes glaciaires de Vostok et renforçant l'hypothèse d'un réchauffement global dû aux gaz à effet de serre d'origine anthropique (Jouzel & *al.*, 1987 ; Bardola & *al.*, 1987 ; Genthon & *al.*, 1987). Un an plus tard, à la demande du G7, sous l'égide de l'Organisation météorologique mondiale (OMM) et du Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE) était créé le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC)[2].

Le GIEC est une interface entre science et politique dont la mission n'est pas de mener des recherches en propre, mais d'établir une synthèse des connaissances scientifiques relatives aux évolutions du climat (Aykut & Dahan, 2015). Le GIEC n'est pas habilité à faire

2 Les membres de son bureau sont élus par son Assemblée générale, composée des 195 représentants des États membres. Des scientifiques sont proposés par les États membres comme auteurs des rapports, puis parmi ceux-ci le bureau nomme les auteurs effectifs. Enfin, l'Assemblée générale définit la feuille de route du GIEC et adopte les résumés des rapports, c'est-à-dire les textes dont des éléments seront diffusés par les médias et repris par les politiques publiques ou les ONG.

des propositions directes aux décideurs mais il expose les conséquences sur le climat, sur la biosphère et sur les sociétés humaines de différents scénarios dessinés par des choix politiques. Depuis 1990, date du premier rapport du GIEC, les rapports successifs confortent l'hypothèse d'un changement climatique d'origine essentiellement anthropique, le *5e rapport d'évaluation* (2013-2014) affirmant même que « *le réchauffement du système climatique est sans équivoque* »[3] et « *l'influence de l'homme sur le système climatique est clairement établie* ».

La question du lien de nécessité entre le niveau de certitude scientifique actuellement acquis sur le réchauffement et l'engagement de l'action visant à s'en prémunir continue de faire débat. Dès 1979 et la publication du rapport de l'Académie américaine des sciences, *Carbon Dioxide and Climate : a Scientific Assessment*[4], les connaissances scientifiques étaient en effet suffisantes pour alerter les politiques, envisager de convoquer le principe de précaution et amorcer une transition afin d'écarter le risque d'un réchauffement climatique global, voire une bifurcation du système climatique aux conséquences majeures et irréversibles pour l'humanité. Une quarantaine d'années s'est maintenant écoulée durant laquelle les enjeux n'ont cessé de croître alors que les transformations nécessaires sont restées largement insuffisantes pour y répondre.

Une origine anthropique démontrée

Les conclusions du GIEC attribuent aux variations des concentrations de Gaz à effet de serre (GES) la cause essentielle du dérèglement climatique en cours, sachant qu'elles « *ont augmenté pour atteindre des niveaux sans précédent depuis au moins 800000 ans* »[5]. « *La concentration du dioxyde de carbone a augmenté de 40 % depuis l'époque pré-industrielle* »[6] ; celle du méthane, dont la puissance moléculaire en termes d'effet de serre vaut 60 fois celle du dioxyde de carbone, de l'ordre de 150 %[7].

L'augmentation du taux de dioxyde de carbone s'explique « *en premier lieu par l'utilisation de combustibles fossiles et en second lieu par le bilan des émissions dues aux changements d'utilisation des sols* », *sachant que* « *l'océan a absorbé environ 30 % des émissions anthropiques de dioxyde de carbone, ce qui a entraîné une acidification de ses eaux* »[8]. Quant au méthane, l'augmentation de son taux dans l'atmosphère s'explique pour environ 60 % par les activités agricoles (rizière en surface inondée, élevage de ruminant, fumier…) et pour environ un tiers par les

3 GIEC, 2013, *5e rapport d'évaluation*, Groupe de travail 1, p. 4.

4 Publié en ligne sur le site du Brookhaven National Laboratory [URL : https://www.bnl.gov/envsci/schwartz/charney_report1979.pdf].

5 GIEC, 2013, *5e rapport d'évaluation*, Groupe de travail 1, p. 11.

6 *Idem*.

7 *Ibid*.

8 *Ibid*.

fuites de méthane liées à l'exploitation des énergies fossiles, conventionnelles et non conventionnelles[9].

Finalement, le GIEC conclut que « *l'influence de l'homme sur le système climatique est clairement établie, et ce, sur la base des données concernant l'augmentation des concentrations de gaz à effet de serre dans l'atmosphère, le forçage radiatif positif, le réchauffement observé et la compréhension du système climatique* »[10].

Il est notable que les passages ci-dessus sont extraits d'un résumé à l'intention des décideurs rédigé par des scientifiques du groupe 1 du GIEC. Ils ont été adoptés en 2013 par chacun des représentants des gouvernements des 195 États membres de l'organisation, après échanges entre scientifiques et politiques.

Les scénarios d'évolution

Le 5e rapport du GIEC (2013-2014) donne une représentation du changement climatique au cours du XXIe siècle qui se décline en 4 profils.

À une extrémité, nous avons le profil volontariste – dont l'objectif est de rester sous les 2 °C, conformément à l'accord de la COP15, Copenhague 2009 – caractérisé par une réduction de 40 à 70 % des émissions anthropiques de GES entre 2010 et 2050, et des émissions presque nulles, voire négatives, en 2100[11].

À l'autre extrémité, nous avons le profil passif, caractérisé par une absence d'effort d'atténuation supplémentaire, conduisant à des augmentations de la température en 2100 d'environ 3,7 à 4,8 °C par rapport à la période 1850-1900, « *pour une réponse médiane du climat* »[12].

Suite à la déclaration qui a conclu la COP21 à Paris en 2015, le GIEC a publié un rapport spécial autour de l'objectif de ne pas dépasser 1,5 °C. Les scénarios visant cet objectif se caractérisent par la neutralité carbone atteinte aux environs de 2050.

Les rapports du GIEC donnent des repères aux politiques, lesquels peuvent s'en saisir, comme le montre le Pacte Vert pour l'Europe[13] et son objectif de neutralité carbone en 2050, présentés le 11 décembre 2019 par la Commission européenne, ou non, comme l'illustre Donald Trump, l'avant-dernier Président des États-Unis qui accusait les rapports du GIEC d'être trop alarmistes. Un paradoxe apparaît alors puisque ces mêmes rapports donnent une représentation édulcorée de ce que les avancées scientifiques nous

9 Global Carbon Project (2019). Global Carbon Atlas [URL : http://www.globalcarbonatlas.org/en/CH4-emissions].

10 GIEC, 2013, *5e rapport d'évaluation*, Groupe de travail 1, p. 15.

11 GIEC, 2014, *5e rapport d'évaluation*, Synthèse, Résumé à l'intention des décideurs, p. 21.

12 *Idem*.

13 Publié sur le site de la Commission européenne [URL : https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_fr].

disent des évolutions du climat durant la seconde partie du XXIe siècle. En effet, des phénomènes qui pourraient alimenter le réchauffement global durant la seconde moitié du XXIe siècle, voire avant, ne sont pas pleinement pris en considération par les scénarios pour le XXIe siècle. Il s'agit de phénomènes scientifiquement identifiés, mais dont l'évolution n'est pas quantifiable, tels que la libération de méthane par la fonte d'hydrates des fonds marins, ou le dégel du pergélisol ou les bouleversements du vivant marin.

L'exemple le plus documenté actuellement est celui du pergélisol. Ce dernier est un réservoir de carbone, potentiel émetteur de quantités massives de gaz à effet de serre. Selon Florent Dominé, interviewé par L. Cailloce, « *1 700 milliards de tonnes de carbone d'origine végétale s'y sont accumulées, c'est deux fois plus de carbone que n'en contient actuellement l'atmosphère !* » (Cailloce, 2015, p. 32). Entre 2003 et 2016, une équipe internationale de chercheurs a surveillé l'évolution du pergélisol de trois sites canadiens représentatifs de la partie arctique du continent américain. Le constat est celui d'un dégel du pergélisol à des profondeurs supérieures à celles projetées pour l'an 2090 par les scénarios RCP 4.5 du *5e rapport d'évaluation* du GIEC (Farquharson & *al.*, 2019). Or ces scénarios prévoient pour la période 2090-2100 un réchauffement probable situé entre 2 et 3,5 °C par rapport à la période 1850-1900 ; donc très au-delà des 0,9 °C de réchauffement de la période 2003-2016 par rapport à celle de 1850-1900.

La nécessité d'un principe de précaution climatique

Dès 1987, nous l'avons vu, les conditions étaient réunies pour convoquer le principe de précaution à l'égard du dioxyde de carbone et du changement climatique. L'histoire semble se répéter avec le méthane. Les estimations de sa masse contenue dans les hydrates des fonds marins se situent entre $0{,}5.10^{12}$ et $2{,}5.10^{12}$ tonnes, soit entre 100 et 500 fois plus que la masse de méthane contenue actuellement par l'atmosphère (Ramstein, 2015). Une portion de ce stock de méthane est susceptible de se retrouver dans l'atmosphère au cours du XXIe siècle. Son évaluation nécessite des études supplémentaires. En 2010, une étude de l'International Arctic Research Center (IARC) de l'université de Fairbanks en Alaska, montrait que les fuites du méthane emmagasiné sous la forme d'hydrates sous 2,1 millions de km^2 de l'Arctique avaient démarré et « *pourraient déclencher un réchauffement climatique brutal* » (Shakhova & *al.*, 2010, p. 1246). En 2011, lors de la rédaction du *5e rapport d'évaluation* du GIEC, la nature et l'importance de la contribution de la fonte d'hydrates de méthane aux précédents réchauffements climatiques du Quaternaire étaient (et restent largement) des inconnues scientifiques faisant l'objet de recherches

exploratoires, et ce phénomène ne sera pas pris en compte dans les scénarios du 5e rapport du GIEC (Masson-Delmotte, 2011, p. 99-100).

Les océans sont des entités régulatrices qui sont encore insuffisamment étudiées. Ils hébergent un nombre astronomique d'organismes vivants qui constituent le principal régulateur de la composition chimique de l'atmosphère et du climat. Au sein des océans, les équilibres et les cycles, tout à la fois chimiques, biologiques et thermiques, en place depuis le début du Quaternaire, sont aujourd'hui perturbés. Ils sont soumis au réchauffement, à l'acidification, au chargement en nitrate et en microparticules de plastique[14] pour n'évoquer que les pollutions les plus importantes[15] (Boucher & *al.*, 2017). La pêche intensive de surface ou proche de la surface a perturbé et perturbe toujours plus les écosystèmes marins. Depuis les années 1990, s'est ajoutée la pêche en eaux profondes qui pénètre jusqu'à plus de mille mètres sous la surface. Ces perturbations anthropiques des océans s'opèrent de façon aveugle. Or, les mutations de micro-organismes unicellulaires et de virus se diffusent à une vitesse sans commune mesure avec celle d'organismes tels que les mammifères, et ces mutations sont particulièrement adaptées aux évolutions du milieu. Il s'avère particulièrement difficile de prédire comment le vivant des océans évoluera concrètement dans les décennies et les siècles à venir. C'est pourquoi, conformément au principe de précaution, l'humanité devrait accorder toute son attention à la protection des océans et à une régulation prononcée de la génération de gaz à effet de serre d'origine anthropique.

La disponibilité des énergies fossiles et nucléaires : réalités et limites

En ce qui concerne les énergies fossiles, si un épuisement des ressources accessibles de pétrole et de gaz naturel pourrait se présenter à moyen terme (dans environ 50 ans au rythme de consommation actuel), l'échéance est plus lointaine pour le charbon (environ 130 ans au rythme de consommation actuel)[16]. Finalement, un mixte énergétique[17] composé de pétrole, de gaz naturel, et de charbon pourrait satisfaire les besoins en énergie de l'humanité pour encore au moins près d'un siècle. Les augmentations de la consommation mondiale d'énergie se poursuivraient par la découverte de

14 Boucher J. & Damien F. (2017). *Primary microplastics in the ocean. A Global Evaluation of Sources.* Rapport de l'Union Internationale pour la Conservation de la Nature (IUCN). 22 février 2017.

15 GIEC, 2013, *5e rapport d'évaluation*, Groupe de travail 1.

16 Selon les données du site Web de la British Petroleum, [URL : https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2018-full-report.pdf].

17 La raréfaction du pétrole dans tous ses usages (avion, camion, voiture, production d'électricité…) serait notamment compensée par la liquéfaction du charbon ainsi que par le passage à la voiture utilisant de l'électricité produite par des centrales au charbon.

nouvelles ressources exploitables[18]. Si l'on envisage de plus l'exploitation des ressources d'hydrocarbures non conventionnels tels que les gaz de schistes et les sables bitumineux, le risque d'épuisement s'éloigne si bien que, à cet égard, la raison de se tourner vers les énergies renouvelables n'est pas urgente.

La notion d'épuisement des énergies fossiles comme facteur prépondérant d'une transition vers des énergies renouvelables a pourtant prévalu dans les années 1970 et a contribué à légitimer l'émergence du secteur énergétique d'origine nucléaire. L'uranium 235 constitue la majeure partie de la matière première utilisée dans les réacteurs atomiques actuels. Or ce minerai radioactif n'est présent qu'en faible quantité dans des conditions exploitables. Certes, au plan mondial les réserves prouvées sont de l'ordre d'un siècle de la consommation annuelle actuelle[19], mais l'énergie nucléaire couvre environ 5 % de l'énergie totale produite[20], si bien que si l'énergie nucléaire issue de l'uranium 235 était choisie pour couvrir tous les besoins mondiaux en énergie, elle serait épuisée en cinq années.

L'énergie nucléaire peut être produite avec d'autres minerais radioactifs, notamment l'uranium 238 (non fissile) transformé en plutonium 239 (fissile) et le thorium, ou encore avec des combustibles mixtes comme le Mox (plutonium et uranium). Dans le cas de l'uranium 238, sa disponibilité est environ 137 fois plus importante que celle de l'uranium 235, mais l'énergie nette produite à partir d'un atome d'uranium 238 est plus faible que celle produite à partir d'un atome d'uranium 235. Finalement, les évaluations de l'énergie nucléaire disponible à partir des réserves d'uranium 238 se situent entre 50 et 100 fois celle des réserves d'uranium 235. L'uranium 238 permettrait donc de couvrir la consommation mondiale actuelle d'énergie sur une durée de l'ordre de 2,5 à 5 siècles.

Ici, comme pour les énergies fossiles, la question actuellement n'est donc pas celle du risque d'un épuisement des ressources.

Le choix d'un tout nucléaire ne serait pas sans générer des problèmes importants à l'humanité qui sont de plusieurs ordres. Au niveau environnemental, les pollutions radioactives et chimiques liées à l'exploitation des mines et à l'extraction de l'uranium de son minerai sont importantes. La

18 Les ressources connues, accessibles et exploitables ici prises en compte sont celles de 2018. De nouvelles ressources exploitables sont et seront constamment ajoutées, suite aux évolutions des technologies d'exploitation et aux découvertes de nouveaux sites. Il faut ici noter que la fonte des calottes glaciaires polaires rendrait accessibles des sous-sols riches en hydrocarbures fossiles. C'est le risque de l'emballement qui est pointé.

19 Selon les données de l'Agence de l'énergie nucléaire (AEN) de l'OCDE et de l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA), vues sur leur site web le 10 décembre 2020, [URL : https://www.oecd-nea.org/jcms/pl_15004] et [URL : https://www.iaea.org/fr/themes/la-production-duranium].

20 Selon les données portant sur l'année 2017 de l'Agence internationale de l'énergie [URL : https://www.iea.org/data-and-statistics?country=WORLD&fuel=Energy %20supply&indicator=TPESbySource].

gestion, l'élimination et le stockage des déchets radioactifs reste un sujet d'actualité scientifique et industriel (Topçu, 2013). Au niveau politique, les liens existants entre nucléaire civil et nucléaire militaire, les risques liés aux détournements de plutonium 239 ou d'autres matériaux radioactifs par des groupes ou réseaux divers nécessitent un système étatique fort afin de protéger les sites nucléaires et de retraitements. Des enjeux de gouvernance démocratique considérables sont ici à prendre en compte. La catastrophe de Tchernobyl n'est pas étrangère au délitement du système politique de l'URSS et celle de Fukushima à l'affaiblissement du système politique et étatique japonais lié au mode de gestion néolibéral. Comme pour les énergies fossiles, des conséquences géopolitiques majeures existent pour certains pays, comme par exemple les relations entre le Niger et la France (Hecht, 2016). Enfin se pose la question des coûts financiers, encore plus prononcée aujourd'hui avec l'envol des coûts liés à la sécurité des sites et aux niveaux d'investissements considérables nécessités par les nouvelles filières EPR ou ceux actuellement engagés pour la fusion nucléaire autour du projet international ITER (International Thermonuclear Experimental Reactor).

Les fondements d'une transition énergétique singulière

L'ensemble des considérations précédentes appellent à une transition énergétique présentant une forte singularité : il ne s'agit plus d'ajouter de nouvelles énergies aux précédentes mais de les remplacer. L'objectif est colossal puisque l'énergie carbonée fournit de l'ordre de 75 % de l'énergie finale consommée dans le monde[21].

Dans les transitions énergétiques précédentes, l'objectif n'était pas de mettre un terme à une ou des sources d'énergie, mais de développer de nouvelles sources qui offraient de nouvelles opportunités et de nouveaux services. Par exemple, une des premières transitions liées à la révolution industrielle au XIXe siècle a consisté à utiliser du charbon en Grande Bretagne pour remédier à des ressources à plus faible intensité énergétique (bois, tourbe) sans complètement les éliminer dans un premier temps.

Chaque transition des deux derniers siècles était catalysée par – et contribua à – des changements technologiques, économiques, sociaux et culturels, et se traduisit par une modification des rapports sociaux et des rapports géopolitiques (Debeir & *al*., 2013 ; Bonneuil & Fressoz, 2013). Par exemple, le pétrole accompagna la diffusion de l'automobile et de l'avion. Il a ainsi contribué à la réduction des

21 Selon les données pour l'année 2017 de l'Agence internationale de l'énergie, croisées avec celles présentées sur la page Wikipédia francophone à la date du 10 décembre 2020 [URL : https://fr.wikipedia.org/wiki/Ressources_et_consommation_%C3%A9nerg%C3%A9tiques_mondiales]. Nous avons pris en considération pour notre calcul les énergies non commercialisées, auto-consommées issues du bois, de pompes à chaleur, du rayonnement solaire…

distances spatiales, au déploiement de la société de consommation et à l'essor de l'individualisme. Il a permis de contourner la difficulté croissante de l'exploitation du charbon en Europe de l'Ouest. Il a aussi soustrait les systèmes de productions économiques nationaux au pouvoir des mineurs et à leur capacité collective de blocage de la production d'énergie. Enfin, le pétrole a modifié les échanges, les dépendances et les rapports de force entre les nations. Il est en particulier rapidement devenu un facteur déterminant des tensions et des conflits au Moyen-Orient (Mitchell, 2013).

Dans de nombreux cas, les tensions et les conflits géopolitiques entre les États ou en leur sein trouvent leurs causes dans une distribution mondiale hétérogène des ressources de pétrole et de gaz. Une transition énergétique menant à un abandon des énergies fossiles aurait de ce point de vue, selon toute probabilité, des effets positifs, quand bien même l'utilisation d'énergies renouvelables puisse engendrer des concurrences sur d'autres ressources. Il en est ainsi des terres rares et de certains métaux, dont l'indium que contiennent certains panneaux solaires. Par ailleurs, la production intensive d'agrocarburant est un exemple de surexploitation de ressources fragiles telles que le sol ou l'eau douce (Pollet, 2011).

Au final, les énergies renouvelables (solaire, éolien, hydroélectricité, bioénergies, géothermie ou énergies marines) ne sont certes pas sans effets environnementaux et sanitaires, ni influences sur les changements sociaux, économiques, politiques, géopolitiques et culturels. L'exemple de l'énergie solaire est particulièrement intéressant pour étudier ces différentes interactions comme l'évoquent d'autres articles de ce dossier. Elle permet le développement de différentes technologies de production : photovoltaïque, thermique ou thermodynamique. Ces productions utilisent un continuum d'intensité technologique pouvant aller du *low tech* (thermique) au *high tech* (photovoltaïque) même si la combinaison des deux est possible (thermodynamique). Dans ces conditions, l'ouverture dans les choix scientifiques et techniques est considérable pour s'adapter à des contextes variés de ressources et de développements territoriaux, de considérations socio-économiques, sanitaires, environnementales, politiques ou juridiques. Cette ouverture peut s'exprimer sur l'ensemble de la chaîne du système énergétique – production, stockage, transformation, transport, distribution, consommation. Ce rapprochement des données énergétiques au plus près des territoires aurait également l'avantage d'une meilleure appropriation des questions énergétiques par les populations, un enjeu fondamental pour une réelle transition énergétique substitutive.

Vers de nouveaux systèmes socio-énergétiques : les voies de la recherche action participative et de la démocratie technique

Repenser le développement scientifique et la démocratie technique

Au tournant des années 1970, une remise en cause du modèle de développement des sociétés occidentales a vu le jour et englobé les deux facettes du progrès, humain et matériel. Elle s'est appuyée sur l'argumentaire d'un niveau insoutenable de développement pour notre espace de vie (Meadows & *al.*, 1972), la perception de vivre dans un monde fini (Jacquard, 1991), ainsi que le constat de dégâts du progrès toujours plus globaux (climat, biodiversité, pollution plastique…) et dépassant les capacités de régulation simples des années antérieures.

Le développement de technologies alternatives a été proposé. Citons par exemple le mouvement des « technologies appropriées » dont le concept a été proposé au milieu des années 1960 pour prendre en compte les dimensions économiques, techniques et sociales des pays en développement. Ce mouvement s'est aussi intéressé aux problèmes liés aux sociétés industrielles avancées au début des années 1970. Il est assez représentatif de l'état d'esprit régnant à l'époque et qui illustre sans doute le plus le cas des fondateurs et d'une part importante du personnel de la Sofretes[22]. Il s'agissait de concevoir des dispositifs techniques favorisant l'autonomie tout en demeurant d'un faible coût et d'une complexité instrumentale ou matérielle limitée. Les échanges de pratique furent nombreux avec comme toile de fond une volonté pour leurs promoteurs de favoriser une transformation sociale par voie ascendante. Force est de constater que cette perspective de démocratisation sociotechnique, malgré de nombreux soutiens et programmes internationaux, a peu à peu été délaissée. Ses promoteurs, selon Winner (2002), se sont notamment heurtés aux réalités organisationnelles du pouvoir et aux institutions qui contrôlent le développement scientifique, technologique et économique.

Cette époque charnière a confirmé la primauté des choix technoscientifiques pour les « *macro-systèmes techniques* » (Gras, 1997). Le système énergétique électrique français est peut-être emblématique d'une telle orientation avec l'avènement du parc des centrales nucléaires et du réseau de distribution qui lui correspond. Ce choix ne peut pas être indépendant de la structure organisationnelle de la recherche scientifique basée sur la spécialisation et des cloisonnements disciplinaires souvent très poussés. Cette approche présente des avancées indéniables en termes de connaissances et d'action, mais il n'est pas certain qu'elle soit adaptée à la résolution des problèmes globaux tels que nous les connaissons aujourd'hui.

22 Voir les articles du présent dossier.

Il est intéressant de ce point de vue d'observer l'émergence de nouvelles démarches scientifiques qui souhaitent intégrer les avancées des sciences de la nature avec d'autres types de savoirs et dans des processus de recherche originaux[23]. Sans être exhaustif, nous pourrions citer les travaux sur les systèmes complexes (Guespin, 2019), les recherches transdisciplinaires (Dedeurwaerdere, 2013 ; Popa & *al*., 2015), les démarches liant les sciences et la participation citoyenne (Irwin, 1995 ; Lengwiler, 2008 ; Pestre, 2011 ; Savoia & *al*., 2017 ; Blangy & *al*., 2018 ; Bocquet, 2018 ; Heigh & *al*., 2019).

Énergie diffuse et circuits courts de l'énergie : le cas du solaire

Le développement de l'énergie solaire a une influence sur la conception et la représentation de ce que peut ou doit être un système énergétique. Les unités de production énergétique sont en effet radicalement différentes s'il s'agit de centrales électriques puissantes et très localisées, ou de sources de faibles puissances et délocalisées. Outre la production, la distribution de l'énergie, constitutive du système énergétique, repose la question de l'architecture et de la gestion de ces réseaux. L'adaptation entre la puissance disponible et le besoin en énergie devient un paramètre important nécessitant une meilleure régulation du trafic énergétique entre production et consommation. Le modèle des unités centralisées nécessite un mode d'organisation sociale de même nature que son système technique, en particulier si ces unités présentent des risques sécuritaires importants (vols, attentats, accidents, etc.). Ce modèle s'accorde mal avec des politiques décentralisées. Les choix effectués en matière de système énergétique, comme l'ont montré de nombreux travaux dès le milieu du XXe siècle, dès lors qu'ils induisent des techniques plus ou moins autoritaires ou démocratiques (Mumford, 1964), sont des choix de société (Sclove, 2003). Il n'y a pas, à cet égard, de déterminisme ou de « *destin technologique* » (Salomon, 1992). Ces considérations socio-technologiques rejoignent les questionnements liés à des démarches scientifiques mieux adaptées.

Les démarches liant les sciences et la participation citoyenne pourraient en effet tout particulièrement trouver leur place dans la transformation énergétique liée à la sortie du système des énergies fossiles. Ces pratiques s'inscrivent dans le courant récent de la « *démocratie technique* » apparu au début du XXIe siècle (Callon, 1998 ; Callon & *al*., 2001 ; Lequin & Lamard, 2015), une perspective dans laquelle sont créées des « *arènes* » où peuvent se constituer des « *forums hybrides* » réunissant scientifiques, experts, praticiens et citoyens. Les objectifs de ces dispositifs, en matière d'énergies, pourraient

23 Felt U. & Wynne B. (2007). *Taking European knowledge society seriously.* Report of the Expert Group on Science and Governance, European Commission, Office for Official publications of the European communities.

concerner l'évaluation des technologies et des impacts, des coûts de mise à disposition, des effets induits locaux et globaux. Les expériences déjà réalisées de ce type de forums permettent également d'envisager des dispositifs proactifs de recherches participatives, c'est-à-dire la mise en place d'interfaces, encore rares en France, où seraient réunis des collectifs chercheurs-acteurs travaillant ensemble sur une problématique scientifique située (Bocquet, 2019). La promotion récente au niveau européen de la notion de « Communautés d'Énergie Renouvelable » (CER) entre dans ce contexte. Cette notion est d'ailleurs applicable à bien d'autres contextes énergétiques et jusqu'aux pays les plus énergétiquement défavorisés (Caille, 2020). Les communautés ainsi définies sont très diverses et peuvent, par exemple, regrouper des conso-producteurs (*prosumers*) conduisant à une appropriation citoyenne « par l'action » de la question énergétique, à l'image des coopératives de production électriques déjà nombreuses en Allemagne.

La fabrication de nouveaux systèmes de production énergétique n'en reste pas moins dépendante de la co-existence de structures très intensives en coût d'investissement et de fonctionnement avec des structures de coûts modestes mais très nombreuses. La production des nouveaux systèmes peut ainsi s'envisager en termes d'économie circulaire pour limiter les extractions et envisager l'accès aux matériaux sensibles au sein de futures « *mines urbaines* » de recyclage (Zuo & *al*., 2019). De même la limitation de la consommation énergétique et la récupération d'énergie (*energy harversting*) ont été envisagées de longue date par certains innovateurs ainsi que l'évoque en détail l'article sur le « froid et le solaire » du présent dossier[24]. L'objectif est de récupérer une énergie résiduelle, soit immédiatement sous forme thermique, avec l'exemple du chauffage des bâtiments par la climatisation des centrales de données (*data center*), soit dans le futur sous forme électromagnétique, avec les micro-ondes émises par quantités d'antennes relais ou de boîtiers Wifi qui pourraient permettre de recharger des batteries ou d'alimenter de l'éclairage (Hawkes & *al*., 2013). Les choix de localisation d'activités, enfin, participent de la recherche d'un optimum énergétique, tels les grands « serveurs *cloud* » qui se dirigent aujourd'hui vers les pays froids du nord de l'Europe pour leur refroidissement, tandis que des « aciéries solaires » (et tout autre procédé industriel utilisant de grandes quantités d'énergie thermique) pourraient se localiser dans des régions telles que le Sahara, ainsi que cela avait été envisagé dès le début du XXe siècle, par exemple par Augustin Mouchot (Caille, 2017). Ces perspectives dépendent cependant de complémentarités internationales, au demeurant différentes de celles de la géopolitique des énergies fossiles actuelle.

24 Voir l'article dans le présent dossier, Caille F. et Mouthon A., « Du solaire par le froid et inversement. Techniques frigorifiques et énergie solaire, une continuité technologique oubliée ».

Vers une nouvelle prospective pour le développement de filières énergétiques territoriales

La mise en place de systèmes et de mixtes énergétiques locaux singuliers adaptés aux spécificités géographiques, climatiques, économiques et culturelles qui sont les leurs est une hypothèse de travail importante dans l'objectif de réduction des impacts négatifs liés aux besoins énergétiques. Dans cette perspective, chaque territoire, s'appuyant sur des programmes de recherche participative associant des chercheurs académiques de différentes disciplines et les acteurs de la transition énergétique dans une visée d'intérêt général, pourrait être appelé à penser et à mettre en œuvre sa propre transition vers un nouveau système énergétique. Ces programmes existent ou ont existé au niveau régional, national et européen (Bocquet, 2018), et de nouvelles compétences et de nouveaux savoirs peuvent émerger des recherches coopératives. Quelques travaux montrent déjà que l'implication du ou des public(s) – le terme devant s'entendre au sens du philosophe John Dewey (2010) qui renvoie *à ceux qui sont concernés par une action* – peut significativement améliorer les recherches dans le secteur de l'énergie et ouvrir l'éventail des solutions (Jellema & Mulder, 2016 ; Labussière & Nadaï, 2018). Cependant, les intérêts importants que revêtent les questions énergétiques dans les sociétés modernes impliquent de prendre en compte les façons dont les collectifs de participation sont configurés et les ouvertures/fermetures politiques qui sont susceptibles de se produire (Chilvers & Loghurst, 2016).

Chaque élément de la chaîne de l'énergie doit en effet être interrogé : la réflexion sur le mixte entre différentes sources d'énergies renouvelables (solaire photovoltaïque, thermique ou thermodynamique, éolien, méthanisation…) ; la réflexion sur le mixte de différents modes de stockage des énergies (chaleur stockée par l'eau ou le minéral, hydrogène, batterie, remontée d'eau dans des réservoirs…) ; la réflexion sur le mixte modes de transports (individuel/collectif, privé/public…) ; la réflexion sur le mixte des modes de distribution et de consommation de l'énergie (accès continu, périodique, public/privé, etc.).

Cette approche de la complexité de l'accès et de l'usage dans le domaine des énergies concerne donc les recherches sur l'urbanisme, sur les territoires (urbain/rural), sur l'organisation des activités (par exemple la répartition des horaires de travail d'une agglomération pour faciliter l'usage des transports en commun), sur l'architecture, sur les matériaux, sur les comportements et la mobilisation d'acteurs sociaux tels que les collectivités locales, les entreprises, les consommateurs. Il est remarquable de voir que la Sofretes, avec le travail des époux et architectes Marie-Jeanne et Georges Alexandroff qui en furent des collaborateurs dès la création (voir leur ouvrage de synthèse de 1982), avait été très loin dans ce domaine dès le

milieu des années 1970, dans l'esprit des travaux précurseurs aujourd'hui redécouverts d'Ivan Illich (1973) ou de Yona Friedman (1984).

Conclusion

La raison de l'urgence de la transition énergétique, comme on l'a montré, ne concerne pas l'épuisement des ressources fossiles ou nucléaires : ce sont les impacts humains et éco-systémiques effectifs ou potentiels de ces énergies, dans le contexte d'un emballement du changement climatique global, qui nécessitent d'être questionnés. Les diagnostics et les solutions sont liés et complexes. Ils requièrent de comprendre l'énergie solaire, notamment, comme une voie à emprunter selon des chemins pluriels, tenant compte des caractéristiques de systèmes énergétiques locaux et territorialisés. La connaissance d'expériences pionnières comme celles du solaire thermodynamique de basse température sur laquelle s'attarde ce numéro est importante. Car c'est probablement par l'invention de nouvelles démarches de recherche, de nouvelles médiations entre les différents savoirs scientifiques et d'action, sans négliger une large sensibilisation des publics, que la transition énergétique vers un avenir plus solaire pourra s'effectuer.

Références

Alexandroff G. & Alexandroff J.-M. (1982). *Architectures et climats. Soleil et énergies naturelles dans l'habitat.* Paris : Berger-Levrault.

Aykut S. C. & Dahan A. (2015). *Gouverner le climat ? 20 ans de négociations internationales*. Paris : Presses de SciencesPo.

Barnola J.-M., Raynaud D., Korotkevich Y.S. & Lorius C. (1987). « Vostok ice core provides 160,000-year record of atmospheric CO_2 ». *Nature,* vol. 329, pp. 408-414.

Beck U. (1993). « De la société industrielle à la société à risques ». *Rev. suisse socio.*, 19, pp. 311-337.

Blangy S., Bocquet B., Fiorini C., Fontan J.-M., Legris M. & Reynaud C. (2018). « Recherche et innovation citoyenne par la Recherche Action Participative ». *Technologie et Innovation*, 18, 3, pp. 1-17.

Bocquet B. (2018). « Les sciences en société : voies de la recherche et de l'innovation responsables ». *In* D. Uzunidis (dir.). *Recherche académique et innovation. La force productive de la science*. Bruxelles : Peter Lang, pp. 203-250.

Bocquet B. (2021), « Recherche participative, éléments d'une démocratie technique délibérative ». *In* P. Lamard & Y. Lequin (dir.). *Démocratie technique*. Éditions Université Technologique de Belfort-Montbéliard.

Bonneuil C. & Fressoz J.-B. (2013). *L'événement Anthropocène, La Terre, l'histoire et nous.* Paris : Le Seuil.

Caille F. (2017). « L'énergie solaire thermodynamique en Afrique : la Société française d'études thermiques et d'énergie solaire, ou Sofretes (1973-1983) ». *Afrique contemporaine*, n° 261-262, pp. 65-84.

Caille F. (2020). « Sortir des pensées (et des carburants) fossiles ? Éduquer aux énergies et à l'Économie sociale et solidaire ». *In* J. Stoessel-Ritz & M. Blanc (dir.). *Comment former à l'économie sociale et solidaire*. Rennes : Presse Universitaire de Rennes.

Cailloce L. (2015). « Pergélisol, le piège climatique ». *Journal du CNRS*, n° 279, janvier, pp. 30-35.

Callon M. (1998). « Des différentes formes de démocratie technique ». *Annales des mines*, 9, pp. 63-73.

Callon M., Lascoumes P. & Barthe Y. (2001). *Agir dans un monde incertain. Essai sur la démocratie technique*. Édition révisée 2014, Paris : Seuil.

Chilvers J. & Longhurst N. (2016). « Participation in transition(s) : reconceiving public engagements in Energy Transitions as Co-Produced, Emergent and Diverse ». *Journal of Environmental Policy & Planning*, 18, 5, pp. 585-607.

Debeir J.-C., Deléage J.-P. & Hémery D. (2013). *Une histoire de l'énergie*. Paris : Flammarion.

Dedeurwaerdere T. (2013). « Trans-disciplinary Sustainability Science at Higher Education Institutions : Science Policy Tools for Incremental Institutional Change ». *Sustainability*, 5, pp. 3783-3801.

Delepouve M. & Paul Antoine A. F. (2016). « Vers une recherche responsable ». *In* M. Delepouve, F. Paul Antoine, J.-C. Simon & M. Benatouil (dir.). *Transition énergétique, changement de société*. Paris : Éditions du Croquant.

Dewey J. (2010). *Le public et ses problèmes*. Paris : Gallimard.

Farquharson L. M., Romanovsky V. E., Cable W. L., Walker D. A., Kokelj S. V. & Nicolsky D. (2019). « Climate Change Drives Widespread and Rapid Thermokarst Development in Very Cold Permafrost in the Canadian High Arctic ». *Geophysical Research Letters*, 46, 12, pp. 6681-6689.

Floyd M. (2014). « SAR11, oceans' most abundant organism, has ability to create methane ». *Oregan State University (OSU). News and Research Communications*, [URL : https://today.oregonstate.edu/archives/2014/jul/sar11-oceans%e2%80%99-most-abundant-organism-has-ability-create-methane].

Friedman Y. (1984). *Alternatives énergétiques ou la civilisation paysanne modernisée. Pour une réelle économie des ressources : comment désindustrialiser l'énergie*. Escalquens : Éditions Dangles.

Genthon G., Barnola J.-M., Raynaud D., Lorius C., Jouzel J., Barkov N. I., Korotkevich Y. S. & Kotlyakov V. M. (1987). « Vostok ice core : climatic response to CO_2 and orbital forcing changes over the last climatic cycle ». *Nature*, vol. 329, pp. 414-418.

Gras A. (1997). *Les Macro-systèmes techniques*. Paris : PUF.

Guespin J. (2019). *Complexité, dialectique et émancipation*. Paris : Éditions du Croquant.

Hawkes A. M., Katko A. R. & Cummer T. A. (2013). « A microwave metamaterial with integrated power harvesting functionality ». *Appl. Phys. Lett.,* 103, 163901-3.

Hecht G. (2016). *Uranium africain. Une histoire globale*. Paris : Seuil.

Illich I. (1973). *Énergie et équité*. Paris : Flammarion, 2018 (textes de 1973).

Irwin A. (1995). *Citizen Science : A Study of People, Expertise and Sustainable Development*. London : Routledge.

Jacquard A. (1991). *Voici le temps du*

monde fini. Paris : Seuil.

Jellema J. & Mulder H. A. J. (2016). « Public engagement in Energy Research ». *Energies*, 9, p. 125.

Jouzel J., Lorius C., Petit J.-R., Genthon C., Barkov N.I., Kotlyakov V.M. & Petrov V.M. (1987). « Vostok ice core : a continuous isotope temperature record over the last climatic cycle (160,000 years) ». *Nature*, vol. 329, pp. 403-408.

Labussière O. & Nedaï A. (2018). *Energy transitions, a socio-technical inquiry*. Hampshire : Palgrave Macmillan.

Lequin Y. C. & Lamard P. (2015). *Éléments de démocratie technique*. Belfort : Presses de l'Université de Technologie de Belfort-Montbéliard.

Lengwiler M. (2008). « Participatory Approaches in Science and Technology. Historical Origins and Current Practices in Critical Perspective ». *Science, Technology, & Human Values*, 33(22), pp. 186-200.

Masson-Delmotte V. (2011). *Climat : le vrai et le faux*. Paris : Le Pommier.

Meadows D. H., Meadows D. L., Randers J. & Behrens W. W. (1972). *The Limits to Growth*. New York : Universe Books.

Mitchell T. (2013). *Carbon democracy. Le pouvoir politique à l'ère du pétrole*. Paris : La Découverte.

Mumford L. (1964). « Authoritarian and democratic technics ». *Technology and Culture*, 5, 1, pp. 1-8.

Pestre D. (2011). « Des sciences, des techniques et de l'ordre démocratique et participatif ». *Participations*, 2011/1, pp. 210-238.

Pollet F. (2011). « Expansion des agrocarburants au Sud : dynamique et impacts ». *In* B. Duterme & F. Polet (dir.). *Agrocarburants : impacts au Sud ?* Paris : Syllepse.

Popa F., Guillermin M. & Dedeurwaerdere T. (2015). « A pragmatist approach to transdisciplinarity in sustainability research : From complex systems theory to reflexive science ». *Futures*, 65, pp. 45-56.

Ramstein G. (2015). *Voyage à travers les climats de la Terre*. Paris : Odile Jacob.

Salomon J.-J. (1992). *Le destin technologique*. Paris : Gallimard.

Savoia A., Lefebvre B., Millot G. & Bocquet B. (2017). « The Science Shop Concept and its Implementation in a French University ». *Journal of Innovation Economics & Management*, 2017/1 (22), pp. 97-117.

Sclove R. (2003). *Choix technologiques, choix de société*. Paris : Descartes & Cie.

Sebi C. & Vernay A.-L. (2020). « Community renewable energy in France : The state of development and the way forward ». *Energy Policy*, 147, 111874, pp. 1-13.

Shakova N., Semiletov I., Salyuk A., Yusupovn V., Kosmach D. & Gustafsson Ô. (2010). « Extensive Methane Venting to the Atmosphere from Sediments of the East Siberian Arctic Shelf ». *Science*, n° 327, 5970, pp. 1246-1250.

Topçu S. (2013). *La France nucléaire. L'art de gouverner une technologie contestée*. Paris : Seuil.

Winner L. (2002). *La baleine et le réacteur. À la recherche de limites au temps de la haute technologie*. Paris : Charles Léopold Mayer et Descartes et Cie.

Zuo L., Wang C. & Corder G.D. (2019). « Strategic evaluation of recycling high-tech metals from urban mines in China : An emerging industrial perspective ». *Journal of Cleaner Production,* 208, pp. 697-708.

Varia

Article de recherche

Jean-François Gravier (1915-2005). Engagement politique et savoir universitaire, matériel pour la construction d'une carrière d'expert

Efi Markou
Centre Maurice Halbwachs (CNRS/EHESS/ENS)

Résumé

Auteur du célèbre Paris et le désert français *(1947), Jean-François Gravier (1915-2005) a lié son nom à la naissance de l'aménagement du territoire en France. Cet article retrace sa trajectoire politique, universitaire et institutionnelle, tenant compte des dispositions et des conjonctures qui lui ont permis de construire son expertise en faveur d'une planification censée renforcer les régions au détriment de Paris. Ce n'est qu'en 1965, lorsque la planification fut réorientée, prenant acte de la croissance parisienne, que Gravier s'est rapproché de l'enseignement supérieur, occupant la chaire Économie et organisation régionales du Cnam, créée à l'initiative des milieux économiques.*

Mots-clés : aménagement du territoire ; décentralisation industrielle ; expertise ; gouvernement de Vichy ; Trente Glorieuses.

Abstract

Author of the famous book Paris et le désert français *(1947), Jean-François Gravier (1915-2005) has associated his name with the birth of spatial planning in France. This article presents his biography, taking into account his political commitments, his studies and his institutional background. He thus constructed an expertise promoting the regional development to the detriment of Paris. It was not until 1965, when regional planning was reoriented, taking note of Parisian growth, that Gravier moved closer to higher education, occupying the CNAM chair of Regional Economics and Organization, created on the initiative of economic circles.*

Keywords: regional planning; industrial decentralization; expertise; Vichy government; the Glorious Thirty.

Agrégé de géographie, auteur du célèbre *Paris et le désert français*, engagé dans différentes institutions officielles en matière de planification économique et d'aménagement du territoire, Jean-François Gravier a bénéficié pendant les Trente Glorieuses d'une grande renommée aussi bien auprès des spécialistes que du grand public. Au tournant du XXIe siècle, les recherches sur l'histoire de l'aménagement du territoire et des regards portés sur la ville ont renouvelé l'intérêt pour son œuvre et les conditions de possibilité de celle-ci (Provost, 1999 ; Couzon, 2001 ; Marchand, 2001 ; Dard, 2010 et 2012)[1]. Elles ont croisé les travaux sur les milieux politiques d'appartenance du jeune Gravier, à savoir les mouvances maurassiennes des années trente et leurs prolongements pendant le gouvernement de Vichy, voire après la Seconde Guerre mondiale (Bergès, 1997 ; Comte, 1991 ; Pasquier, 2003). En revanche, l'histoire de la géographie s'est peu penchée sur cette figure (Couzon, 2001). Évoluant auprès des administrations et de différents groupes de pression, Gravier ne faisait pas partie des milieux universitaires, même s'il les a côtoyés dans certaines instances, manifestations ou publications réunissant les mondes de l'action et du savoir. Il n'a accédé à un poste de l'enseignement supérieur français que tardivement, lorsqu'il fut nommé, à l'âge de 50 ans, sur l'initiative des milieux économiques, professeur au Conservatoire national des arts et des métiers.

La trajectoire de Gravier sera ici considérée sous le prisme de sa rencontre avec la thématique qui l'a conduit à la chaire Économie et organisation régionales du Cnam, celle de l'aménagement du territoire. Diverses dispositions, accumulées dès les années trente et converties dans la conjoncture de l'ouverture des possibles de l'après-guerre, doivent être considérées. Tout d'abord, son engagement politique qui lui a permis de construire un solide réseau, lié à la Jeune Droite, et d'investir dans des préoccupations comme la restitution des communautés locales grâce au régionalisme politique et administratif. Ensuite, son inscription disciplinaire, la géographie, au fur et à mesure associée à d'autres compétences : l'histoire, la démographie ou l'économie. Si la géographie lui a ouvert la voie vers l'aménagement du territoire, sa pluridisciplinarité lui a permis de dialoguer avec les autres savoirs participant à ce domaine, et de s'adapter aux reconfigurations de ce champ. Enfin, les appartenances institutionnelles qui ont scandé son parcours : la Fondation Carrel, qui l'a mis en contact avec les prospections d'une partie de l'État français en matière de décentralisation industrielle, le ministère de la Reconstruction et de l'Urbanisme qu'il a rejoint à la Libération, le Commissariat général au Plan d'équipement et de modernisation avec lequel il a collaboré à partir de 1949 et enfin le Cnam où il a enseigné de 1965 jusqu'à sa retraite en 1983.

1 Pour une présentation plus ample de l'historiographie, voir Dard, 2010.

Une jeunesse à l'ombre de la géographie et des mouvements maurassiens

Issu d'une famille de la petite bourgeoisie intellectuelle, Jean-François Gravier est né le 14 avril 1915 à Levallois-Perret, où sa mère trouvait refuge dans sa famille après le déclenchement de la guerre[2]. Son père, Gaston Gravier, fils d'instituteur, né dans les Vosges, décrivait son épouse, Claire née Derulle, comme « *gaie, intelligente et instruite* »[3]. Géographe, diplômé de la faculté des Lettres de Lille où il fut élève puis ami d'Albert Demangeon, Gaston fut nommé lecteur de français à l'Université de Belgrade après avoir échoué au concours de l'agrégation de 1909. Le poste lui offrait l'opportunité de se diriger vers l'étude des pays slaves, domaine peu exploité à l'époque (Ginsburger, 2015). Au cours des cinq ans passés à Belgrade, Gaston Gravier était devenu « *un vrai spécialiste des questions serbes* », tout en préparant une thèse sur les régions naturelles de la Serbie (Demangeon, 1915, p. 456). Mobilisé à la guerre, il mourut au combat en juin 1915, sans avoir atteint ses 29 ans, une année seulement après son mariage et deux mois après la naissance de son unique enfant, Jean-François.

Différents indices suggèrent que les géographes proches de Gaston Gravier étaient restés en contact avec sa famille, au moins dans un premier temps[4]. Jean-François, adopté par la Nation en 1919, a opté pour la géographie, dans le sillon de son père, auquel il a plus tard dédié *Paris et le désert français*. Après une khâgne à Henri-IV et une candidature infructueuse au concours de l'ENS, il poursuivit ses études à la Sorbonne. Entre-temps, Demangeon y avait été nommé professeur et sa présence semble avoir été importante pour le jeune homme, qui l'a ensuite souvent dépeint comme précurseur dans la prise de conscience des problèmes posés par l'extension parisienne et « *la dévitalisation de deux tiers du territoire national* » (Gravier, 1991, p. 15 ; voir aussi Gravier, 1947b, pp. 52 et 113). Agrégé d'histoire et de géographie en 1938, Jean-François Gravier fut nommé à son tour lecteur à l'Université de Belgrade en 1940. Tout en reproduisant la trajectoire de son père, ce détour par l'étranger contournait les opportunités universitaires restreintes offertes en France à ce jeune agrégé dépourvu de thèse, lui permettant d'échapper au professorat de l'enseignement secondaire. Il a cependant quitté la capitale yougoslave avant la fin de l'année universitaire, en mi-mai 1941, suite à l'invasion des forces de l'Axe (Gravier, 1942b).

Dès son entrée à la Sorbonne, à l'âge de 17 ans, Gravier s'était engagé à l'Action française, pour la quitter quatre ans plus tard, après l'avènement du Front populaire. Entre-temps, il s'était

2 D'après les informations citées dans son acte de naissance, année 1915, n° 228.

3 Lettre du 28 juillet 1913 de Gaston Gravier à Albert Demangeon, cité par Demangeon, 1915, p. 455.

4 Dans un entretien donné à Isabelle Couzon le 7 mars 1995, Jean-François Gravier a déclaré avoir connu Jean Brunhes dans son enfance. Je remercie I. Couzon de m'avoir communiqué la transcription de cette partie.

rapproché du mouvement intellectuel dissident de l'Action française, Jeune Droite (Dard, 2010, p. 20). Après l'obtention de son diplôme, il collabora aux revues du mouvement *Combat*, *L'Insurgé* et *Civilisation*, lancées, à partir de 1936, sous les auspices entre autres de Jean de Fabrègues, Thierry Maulnier et René Vincent. « François Gravier », comme il signait dans ce milieu politique, a publié entre 1937 et 1939 une vingtaine d'articles dans ces revues et un volume de la collection *Les Cahiers du Combat* (Gravier, 1939a). Il y aborde différentes questions d'actualité politique et sociale ou d'intérêt géographique, dans une visée d'approfondissement théorique d'une droite antiparlementaire, corporatiste, inspirée par le catholicisme social, orientations préparant son engagement enthousiaste à la Révolution nationale (Gravier, 1938b). De retour de Belgrade, il fut chargé de mission au service Études du secrétariat général à la Jeunesse, à l'instar d'autres intellectuels issus de l'Action française (Comte, 1991, pp. 46-47). C'était le début de son éloignement des institutions universitaires au profit d'une carrière proche de l'État. Détaché au secrétariat général à l'Information du doriotiste Paul Marion, il prit, le 30 septembre 1941, la direction de la nouvelle École nationale des cadres civiques juste avant son ouverture au Mayet-de-Montagne, près de Vichy. Officiellement association de loi 1901, l'École voulait former, dans des stages de deux à trois semaines regroupant une trentaine de personnes, les propagandistes professionnels de la Révolution nationale engagés par le secrétariat général à l'Information. Au printemps 1942, il fut nommé chef de bureau au Bureau des études générales et de l'inspection du secrétariat général à la Jeunesse à Vichy (Bergès, 1997, pp. 218 et 221 ; Comte, 1991, pp. 371, 388 et 499). Dans un contexte d'affrontement entre les différentes fractions de Vichy sur l'encadrement de la Jeunesse, Gravier s'est montré partisan de l'imposition d'une organisation unique et obligatoire (Comte, 1991, pp. 47, 215 et 319). Pendant ce temps, il avait repris avec assiduité et enthousiasme la plume dans les nouvelles revues proches du régime, lancées à l'initiative des protagonistes de la Jeune Droite, *Idées* et *Demain*, à propos des thèmes liés à ses fonctions, à la Révolution nationale ou au corporatisme. Cependant, à la fin de 1942, il démissionna de son poste et interrompit sa collaboration avec les revues : c'était le moment du durcissement du régime et de l'intensification de la collaboration à la suite de quoi plusieurs collaborateurs de la première heure prirent leurs distances avec le régime de Vichy.

De la Fondation Carrel au Service de l'aménagement du territoire

Se retrouvant sans poste, Gravier s'est adressé à François Perroux, à l'époque secrétaire général de la Fondation française pour l'étude des problèmes humains, dite Fondation Alexis Carrel,

établissement public de recherche créé en 1941 (Drouard, 1996). Les deux hommes s'étaient rencontrés dès avant la guerre dans le cadre des revues de la Jeune Droite, ou encore dans l'École des cadres civiques, où Perroux fut un des conférenciers. Fin 1941, Perroux a demandé à Gravier d'écrire, pour la collection Bibliothèque du peuple qu'il dirigeait aux Presses universitaires de France, un petit livre sur le thème Régions et nation. La demande ne saurait surprendre : la géographie régionale était un domaine disciplinaire solide et le régionalisme une revendication constante des milieux de droite où Gravier évoluait. Ses écrits dans la revue *Civilisation*, le montrent, dès avant la guerre, adepte d'un régionalisme capable d'endiguer le déclin provincial (Gravier, 1938a ; Dard, 2010, pp. 20-21). Paru en février 1942, le livre conjuguait histoire et géographie, dressant l'évolution de la structuration territoriale de la France en fonction de son organisation politique et sociale. Il posait le diagnostic d'un équilibre rompu par la concentration à la fois politique, administrative et, plus récemment, industrielle de la capitale, prônant une « *renaissance nationale* » par « *les renaissances provinciales et locales* » (Gravier, 1942a, p. 62).

La thématique régionale, chère à Vichy, dans laquelle Gravier venait de faire ses preuves, a fourni la trame de sa collaboration avec la Fondation Carrel : chargé de mission, il prit la tête du Centre de synthèse régionale, rattaché au Département de Bio-sociologie, également dirigé par Perroux. Il démissionna en décembre 1943, suivant, avec d'autres fidèles, le départ de ce dernier, en rupture avec Alexis Carrel[5]. Le passage par la Fondation a réorienté la carrière de Gravier à double titre. D'une part, il lui a fourni un réseau de connaissances, tremplin d'accès aux institutions d'aménagement territorial et de la planification économique de l'après-guerre. D'autre part, il lui a permis d'approfondir la question de la décentralisation industrielle, question structurant l'émergence de l'aménagement du territoire. En 1942, la préoccupation, bien antérieure, de la « décongestion industrielle » de la région parisienne fut revivifiée sous l'impact du ruralisme du régime mais aussi des premiers efforts planificateurs de l'État. Gravier avait brièvement repris cette perspective dans les conclusions de *Régions et nation* (Gravier, 1942a, pp. 62-63), puis, inspiré par un discours de Marion, dans un article de la livraison de septembre de *Demain* (Gravier, 1942c). Au même moment, la Délégation générale à l'équipement national (DGEN), créée en février 1941 par le gouvernement de Vichy pour préparer un plan d'équipement et coordonner les questions d'urbanisme, lançait une vaste étude censée dégager la doctrine d'une future politique de décentralisation industrielle (Couzon, 2001 ; Markou, 2020 ; Wendeln, 2011). Perroux et, par son intermédiaire, la Fondation Carrel furent des interlocuteurs essentiels de l'équipe chargée de l'étude.

5 Archives de la Fondation Le Corbusier. F2 14 138. Jean-François Gravier, Lettre de résignation (copie), 1er décembre 1943. La démission fut acceptée à compter du 22 janvier 1944 : Archives nationales. 20000118/1. Décision n° 430, 13 janvier 1944.

Or, bien que le Centre de synthèse régionale fût chargé de la « *recherche sur le plan d'une région, des chances et des modalités d'une décongestion industrielle et commerciale* »[6], permettant à Gravier d'approfondir ses propres conceptions, ce dernier ne fut pas réellement associé aux travaux de la Délégation, sans doute parce que ses conclusions différaient de celles de la DGEN[7].

L'enthousiasme initial de Gravier pour la Révolution nationale n'a pas entravé sa carrière après la Libération. En janvier 1945, il fut chargé de mission au ministère de la Reconstruction et de l'Urbanisme (MRU), héritier des services d'urbanisme de la DGEN, qui entendait profiter de la reconstruction pour promouvoir des réformes d'ampleur et remodeler le territoire de la France. Aussitôt nommé ministre, en novembre 1944, Raoul Dautry a cherché un géographe pour épauler l'« *équipe d'ingénieurs* […], *d'architectes et d'urbanistes* » qui composait son ministère (Dautry, 1947, pp. 8-9). Il visait en particulier un géographe de « *l'école de Desfontaines et de Jean Brunhes pour parvenir à comprendre la vie régionale* […] »[8]. Gravier lui fut présenté par Jean Vergeot, un ancien de la Fondation Carrel (Pasquier, 2003, p. 106 ; sur Vergeot et la Fondation, voir Drouard, 1996, pp. 158, 164 et 215). L'ancien directeur du Centre de synthèse régionale, géographe préoccupé de la décentralisation industrielle et valorisant, à l'instar des Desfontaines et Brunhes, la dimension culturelle et historique de l'action humaine sur le paysage, répondait au profil recherché. Une fois engagé, Gravier s'attela à forger les principes d'une politique de décentralisation industrielle, censée régir la reconstruction des établissements industriels sinistrés. Il devait aussi conseiller les urbanistes du minis tère au sujet des « *zones susceptibles de recevoir les industries à déplacer* »[9]. Il prodiguait ses conseils avec l'industriel Henri Bacot, dans le cadre d'une Mission de décentralisation industrielle, installée au sein du tout nouveau Service de l'aménagement du territoire de la Direction générale de l'urbanisme[10]. Il collaborait parallèlement à d'autres projets du Service, comme le desserrement de la région de Marseille et l'aménagement de la vallée de la Durance (Couzon, 2001, p. 166). Après le départ de Dautry, fin janvier 1946, la

6 Selon le rapport transmis par Perroux à la Fondation le 24 décembre 1943, suite à sa démission (cité par Drouard, 1996, p. 219).

7 Au tournant de 1944, l'équipe de la DGEN a pris connaissance des deux rapports relatifs à ce sujet produits par Gravier dans le cadre du Centre de synthèse régionale, mais elle n'a donné aucune suite (Gravier, [1943a] et [1943b]). Aucun des documents portant sur la collaboration de l'équipe avec la Fondation ne mentionne Gravier, le Centre de synthèse ou l'un de ces rapports : Archives nationales. 19770777/1 à 19770777/5.

8 Raoul Dautry lors de la Discussion sur le budget des services civils pour l'exercice 1945, Séance du 5 mars 1945. *Journal officiel de la République française. Débats de l'Assemblée consultative provisoire* du 6 mars 1945, 15, p. 296.

9 Archives nationales. 19770782/1. Procès-verbal n° 13 de la 17e séance des réunions des Inspecteurs généraux de l'urbanisme tenue le 7 mai 1945, pp. 2-3.

10 Centre d'archives d'architecture du XXe siècle. Fonds Randet. B013. Art. 5. Contrôle du personnel [fin 1945]. Archives nationales. 307 AP 174. Dossier Notes des Services du MRU. Compte rendu d'activité du Service d'aménagement du territoire, *s.d.* [fin 1945 – début 1946].

Mission tomba en désuétude[11]. Gravier continua à collaborer avec le MRU, se rapprochant de son Service d'aménagement de la région parisienne, mais de manière, semble-t-il, plus distante. Pendant cette période, il avait par ailleurs pour un temps travaillé pour le Secrétariat général du Gouvernement (Massardier, 1996, p. 125). Accueilli au MRU, Gravier a eu l'occasion de connaître les dispositifs administratifs, de se documenter et de s'insérer dans le réseau d'acteurs de l'aménagement du territoire naissant et de l'urbanisme. Ses missions l'ont mis en contact avec des industriels et d'autres hauts fonctionnaires. Il a maintenu ses liens avec les fédéralistes et les autres milieux de droite, publiant nombre d'articles d'actualité dans des périodiques comme *Fédération*, *Preuves* ou la *Revue mensuelle littéraire et politique*. En 1948, il entama une longue collaboration avec l'hebdomadaire économique de droite *La vie française*, poursuivie jusqu'à 1987. Signe peut-être d'une relation plus lâche avec le MRU, il lui arrivait de se présenter, à la fin des années quarante, en tant qu'« éditorialiste »[12].

Paris et le désert français : une élaboration en dialogue avec l'administration (1943-1947)

C'est immergé dans ces milieux administratifs et politiques, et porté par les débats de l'époque sur la décentralisation industrielle et la réforme de l'organisation de l'État (Pasquier, 2003, p. 107), que Gravier a élaboré *Paris et le désert français*. Le livre, préfacé par la personne qui lui a ouvert les portes du MRU, Raoul Dautry, fut publié en septembre 1947. Les documents permettent de tracer la généalogie de l'ouvrage. Après les premières mentions généralistes de 1942, Gravier a formé l'essentiel de sa réflexion dès 1943, dans le cadre de la Fondation Carrel et en réponse aux projets de la DGEN, réflexion ensuite progressivement étoffée et adaptée aux préoccupations, aux possibilités et aux outils d'action du MRU (Gravier, [1943a], [1943b], 1945ab, 1947a). Il a parallèlement tenté de la diffuser auprès des professionnels de la reconstruction (Gravier, 1945cde ; 1946ab), du patronat chrétien réformateur (Gravier, 1945fg) et des régionalistes (1945cde ; 1947c). Confrontée au contexte de la Libération, son argumentation a progressivement perdu les accents rappelant la Révolution nationale, passant d'un discours centré sur la restauration des communautés locales à celui du « repeuplement » des campagnes, tout en atténuant les mesures trop coercitives.

Dans le petit rapport de vingt pages préparé dans le cadre du Centre de syn

11 Elle disparaît ainsi des organigrammes et des rapports d'activité de la Direction de l'urbanisme. Les Fonds Randet conservent la copie non signée d'un contrat du 1er juin au 31 décembre 1946. Le MRU confiait à Gravier « *l'étude générale de toutes questions relatives à la décentralisation industrielle, ainsi que l'examen et l'instruction des dossiers de transferts d'entreprises industrielles et commerciales* », prévoyant une rétribution journalière, « *autant qu'il sera fait appel à ses services* » Centre d'archives d'architecture du XXe siècle. Fonds Randet, B003. Art. 6. Contrat-type A, p. 2.

12 Voir par exemple le débat radiophonique « Y a-t-il trop de paysans ? », diffusé le 27 janvier 1949 sur la Chaîne nationale, dans le cadre de l'émission « Tribune de Paris ».

thèse régionale, aux alentours d'octobre 1943 (Fondation…, 1943, p. 109-2)[13], Gravier, dans la continuité de son bref article dans *Demain* (Gravier, 1942c), constatait une double « *rupture d'équilibre dans les structures nationales* » engendrée par la centralisation industrielle (Gravier, [1943], p. 1). La première, reprenant explicitement l'analyse de la « *séparation prolétarienne* » théorisée par Perroux (Cohen, 2006, pp. 571 et 588), était une rupture sociale : l'isolement des ouvriers industriels « *du reste de la nation* », exprimé géographiquement par la formation des cités ou des banlieues ouvrières (Gravier, 1943a, pp. 2-3). La deuxième, la « *rupture entre l'économie industrielle et l'économie agricole* », signifie la destruction des industries traditionnelles locales et la concentration des « *déracinés* » dans les villes (Gravier, 1943a, pp. 4-5). Il devenait dès lors primordial de rapprocher les ouvriers des paysans afin de « *dissoudre le bloc prolétarien* » et de revitaliser les régions françaises en restituant les communautés locales (Gravier, 1943a, pp. 2-3 et 9-10). Quatre ans plus tard, ce discours de droite catholique et de corporatisme communautaire, sans disparaître, a laissé la priorité à une argumentation déclinée en termes de « peuplement » des campagnes au détriment de Paris, gage de la reprise de la natalité et de l'amélioration de la « race » (Gravier, 1947b). La notion de peuplement, qui combine les approches démographique et géographique, nourrissait les travaux d'autres scientifiques cherchant une répartition optimum des populations et des activités sur le territoire français, notamment dans le cadre du tout nouvel Institut national d'études démographiques (Desrosières, 2008, p. 250), créé en 1945 sur les cendres de la Fondation Carrel. Les nombreuses références de Gravier au directeur de l'Ined, Alfred Sauvy, ses prises de position sur d'autres débats démographiques, comme quand il soutenait, s'opposant à René Dumont, l'augmentation de la population agricole, et les comptes rendus de ses livres publiés par la revue de l'Institut, *Population*, sont autant d'indices de son dialogue avec la démographie de l'après-guerre.

La première des deux parties du *Paris et le Désert français* (« Bilan ») s'efforçait de montrer les déséquilibres territoriaux dans une pluralité obscurcie par la thèse dichotomique du titre de l'ouvrage. Elle mobilisait une volumineuse documentation statistique, tout en cherchant les origines des déséquilibres dans l'histoire de la centralisation politique et administrative, renouant ainsi avec son premier livre (Gravier, 1942a). La deuxième partie (« Programme ») développait les termes d'une politique économique, démographique et institutionnelle dont l'exécution devait durer une quinzaine d'années. La décentralisation industrielle, parallèle à la revitalisation de

13 Achevé peu avant son départ de la Fondation, le rapport fut reproduit par l'Institut de science économique appliquée (Isea) que Perroux venait de fonder. Je n'ai pas pu localiser la version reproduite par l'Isea mais elle est citée dans Brigniole A. & Teissedre J. (1954). « La décentralisation industrielle. Exposé fait au Centre des hautes études administratives », p. 58 : Archives nationales, 19790540/1.

l'agriculture soutenue par l'équipement rural et l'institution d'organismes régionaux à pouvoirs étendus, en constituait le socle. La « *mise en valeur industrielle du territoire* » passait en priorité par la « *renaissance des régions déficientes* » en raison de leur dépeuplement actuel ou en cours (Gravier, 1947b, pp. 296-297). La présentation d'une organisation régionale de la France déclinant les perspectives de chaque région concluait par ailleurs le livre – rituel répété dans la quasi-totalité des ouvrages suivants de Gravier. Mais Gravier s'attachait également aux modalités de la distribution des usines à l'intérieur d'une région (Gravier, 1947b, pp. 315-316). Sans refuser que certains établissements dussent rester dans le giron des grandes et des moyennes villes, voire de Paris, il préconisait leur dissémination autour des petites villes et dans la campagne, exploitant davantage les possibilités des transports routiers. Et pour montrer le réalisme de ses propos, il s'attaquait au « *colosse industriel* » des usines Renault, proposant leur décentralisation, en « *une quinzaine d'établissements spécialisés d'importance inégale* » (entre 12 000 et 250 salariés), situés de Reims à Verdun et Toul, en passant par Châlons-sur-Marne (Gravier, 1947b, pp. 321-326). Le programme impliquait ainsi un regard sur la « *dimension optima des usines* » que Gravier, adaptant le modèle fordien de l'entre-deux-guerres, pensait possible de réduire, dans bien de cas, à des établissements spécialisés de 100 ou 200 ouvriers (Gravier, 1947b, pp. 310-311 ; voir aussi pp. 287-289). Il impliquait également la dissémination des personnels industriels. Certes, une partie habiterait les immeubles de trois étages à construire dans la banlieue des villes. Mais la plupart devaient loger dans les villages restaurés ou dans des maisons individuelles avec jardin, organisés en « *banlieue discontinue* », 15 à 20 km autour de l'usine. Cependant, si la décentralisation visait à diminuer la domination parisienne et la congestion des centres industriels comme Marseille, Lyon et Lille, Gravier ne refusait ni l'existence ni le rôle des grandes villes. Les seize régions qui devaient composer la France s'organisent – selon un vocabulaire géographique classique – autour d'autant de « *métropoles régionales* » (Gravier, 1947b, pp. 254 et 407). Nulle intention d'anéantir la capitale non plus ; au terme du projet nataliste de renaissance provinciale, le Grand Paris abriterait 10 % d'une France de 75 millions d'habitants, ce qui lui permettrait d'accroître doucement sa population (Gravier, 1947b, pp. 399-400).

La décentralisation industrielle préconisée par Gravier reposait sur une « *politique de colonisation intérieure* ». L'expression exacte apparaît en 1945 (Gravier, 1945a, p. 4), mais le terme de « *colonisation* » figurait dès sa toute première réflexion sur la « *dispersion industrielle* » (Gravier, 1942a, p. 63). Ce parallélisme entre provinces et colonies n'était pas exceptionnel à l'époque (Wendeln, 2011, pp. 225-281). L'évolution des modalités de la colonisation qu'il préconisait illustre bien l'atténuation progressive des mesures

coercitives permises par le contexte de la guerre. En 1943, il prévoyait le transfert de 400 000 travailleurs, à l'instar des migrations imposées aux fonctionnaires (Gravier, 1943a, pp. 11 et 17-19). À la fin 1945, il changeait de cible : les ouvriers décentralisés auraient été dégagés par le reclassement de l'énorme masse des « *parasites économiques* » travaillant dans le commerce et l'administration urbains (Gravier, 1945g, p. 6 ; 1946b, p. 82). En 1947, tirant profit de l'appel de la France à la main-d'œuvre étrangère, il y voyait la principale source des effectifs des industries décentralisées auxquels s'ajouterait, outre les parasitaires reclassés, « *une véritable ruée provenant de toutes les villes sinistrées ou surpeuplées – y compris Paris* », attirée par les logements et les autres conditions de la vie décentralisée (Gravier 1947b, pp. 211-234 et 346-352 ; la citation, 1947a, p. 12). Bien entendu, la colonisation devait être accompagnée d'une rigoureuse politique d'orientation et de formation professionnelles, préoccupations majeures de l'époque. Il convient aussi de souligner le positionnement de Gravier en faveur de l'égalité des salaires sur l'ensemble du territoire métropolitain, hissant les traitements provinciaux à la hauteur de la région parisienne. Il s'appropriait aussi les ambitions du MRU d'interdire, dans les centres urbains congestionnés, l'ouverture ou l'extension des établissements de plus de 100 salariés, les orientant vers les zones à industrialiser. La découverte des politiques de décentralisation industrielle entamée en Grande-Bretagne a enrichi les dispositifs envisagés aussi bien par le MRU que par Gravier. À partir de 1946, la mesure phare était l'aménagement par l'État, dans les régions dépeuplées, des lotissements industriels, mis ensuite à disposition des patrons, suivant l'exemple des Trading Estates britanniques (Gravier, 1946b, p. 83 ; 1947b, pp. 310-311)[14].

La construction d'une position d'expert

Avec un tirage de 3 000 exemplaires rapidement épuisés, *Paris et le désert français* a connu un premier succès que son auteur attribuait à trois raisons (Gravier, 1970, p. 58 ; Gravier, 1991, p. 16). D'abord, à son « *titre percutant* ». Selon Jean Bastié, celui-ci fut trouvé par son éditeur au dernier moment (Bastié, 2006, p. 104), s'accordant aux intentions de l'auteur qui déclinait l'image du désert dans ses textes, soit pour affirmer les inégalités du territoire (1945c), soit comme défi : « *Il n'y a pas de désert en France. Toute région y a sa chance, pourvu qu'on lui donne des hommes* » (Gravier, 1947b, p. 404). Ensuite, à la chronique élogieuse publiée par Thierry Maulnier sur la première page du Figaro en avril 1948, faisant connaître le livre au grand public (Maulnier, 1948). L'ouverture surprenante d'un quotidien à

14 Pour les intentions du MRU à adopter cette mesure, voir en particulier Archives nationales, 19770777/5. Direction des Programmes économiques du ministère de l'Économie nationale. Projet de loi relatif aux zones industrielles et à la décentralisation industrielle, 14 mars 1946, 3 p. dact.

un tel essai montre combien les anciens compagnons de l'avant-guerre ont servi de relais dans sa carrière. Jeune diplômé de géographie à l'époque, Gravier a collaboré avec Maulnier dès 1937 dans *Combat* et les autres revues de la Jeune Droite (Dard, 2010, p. 20). Il l'a retrouvé dans le mouvement Fédération, fondé en 1944 par des acteurs proches de ce milieu (Pasquier, 2003, pp. 103-106). *Paris et le désert français* a inauguré la collection L'homme et la Cité des éditions Le Portulan, lancées par Fédération (Pasquier, 2003, p. 106-107) ; puis la collection a accueilli ses deux ouvrages suivants (Gravier, 1949 et 1953b), la plupart des autres relevant directement de Flammarion qui, en 1954, a absorbé cette collection. Gravier contribuait aussi à l'organe du mouvement, *Fédération. Revue de l'ordre vivant*, mobilisé à son tour dans la promotion du *Désert*. Depuis ces colonnes il a dénoncé en octobre 1947 « *La congestion cérébrale de la France* », avec mention de son propre livre (Gravier, 1947c), tandis que le mois suivant, Louis Salleron, figure du corporatisme agrarien, faisait l'éloge de ce « *remarquable ouvrage* » (Salleron, 1947). Emmanuel Beau de Loménie, un autre ancien maurassien et figure de la droite pétainiste, a par ailleurs salué le livre dans la livraison de janvier 1948 des *Écrits de Paris*. Enfin, troisième raison de cette notoriété, le livre a bénéficié de la tribune de l'Assemblée nationale, cité par le député de la Loire, Eugène Claudius-Petit. Intéressé par les questions d'urbanisme, Claudius-Petit n'a pas eu connaissance du livre par la Fédération, dont il était proche (Pasquier, 2003, p. 107) mais par l'autre lieu de référence de Gravier, à savoir l'un des chefs de service du MRU, auxquels Gravier avait distribué son ouvrage (Gravier, 1991, p. 16).

À la fin 1949, Gravier s'était rapproché du cabinet du ministre MRP de l'Agriculture, Pierre Pflimlin, les milieux agricoles, et le ministre personnellement, ayant favorablement accueilli le *Désert* (Chenu, 1994, p. 233 ; Pasquier, 2003, p. 106) ; il collabora à nouveau au deuxième ministère de Pflimlin à l'Agriculture (1950-1951)[15]. Il venait également de publier son troisième livre, *Mise en valeur de la France*, à son tour rapidement épuisé (Gravier, 1949). Comme tous ses ouvrages, il reprenait largement le précédent, tout en actualisant les données et les approches et en s'adaptant aux nouveaux débats et aux intérêts professionnels de son auteur. *Mise en valeur de la France* faisait davantage de place aux efforts de la planification et au langage économique. Son premier chapitre, « Le potentiel français en Europe », situait timidement la France dans une perspective européenne ; désormais, la dimension européenne de la question régionale serait – à l'instar de la Fédération – une constante dans l'œuvre de Gravier (Pasquier, 2003). Le MRU, de son côté, fut confié en septembre 1948 au député enthousiasmé par le *Désert*,

15 Entretien Gravier à Couzon ; Archives du Cnam. Non coté. Dossier chaire d'Économie et organisation régionales. Malécot Y. (1965). « Allocution », *Techniques et économie industrielles*, p. 4. Voir aussi sa collaboration avec Michel Cépède, à l'époque chef du service d'études et de documentation au ministère de l'Agriculture (Gravier, 1950bc).

Eugène Claudius-Petit. En mars 1949, le nouveau ministre créa une Direction de l'aménagement du territoire et une année plus tard il annonçait la préparation d'un plan national d'aménagement du territoire. Cette conjoncture n'a pas resserré les liens de Gravier avec le MRU : au contraire, en cette fin de 1949, il entra en tant que chargé de mission au Commissariat général au Plan de modernisation et d'équipement, pour y rester seize ans. Selon ses dires, à cette époque, Gravier était « *plus ou moins en froid avec Claudius-Petit parce que* […] *il était un inconditionnel de Le Corbusier, et* [Gravier] *pas du tout* »[16]. Son différend avec Le Corbusier était bien réel (Markou, 2013, p. 36), mais il faudrait attribuer cet éloignement plutôt à la place ambiguë de Gravier vis-à-vis des aménageurs du MRU et à la concurrence entre les institutions de planification économique et spatiale. On est ainsi tenté de voir, dans cet éloignement, une réactualisation de la place marginale des géographes dans ce ministère. Quant à ses conceptions, les aménageurs du MRU maintenaient avec elles un rapport ambivalent[17]. L'accord se formait autour d'un diagnostic établi dès le tournant du XXe siècle : la progression incessante et malvenue de la croissance parisienne et de quelques autres centres urbains au détriment des campagnes. Il s'élaborait également autour d'une finalité, le repeuplement des campagnes. Gravier a offert à l'administration, d'une part, l'objectivation des disparités territoriales en matière économique, démographique et sociale et, d'autre part, avec le titre de l'ouvrage, l'image forte permettant de légitimer deux piliers des politiques d'aménagement du territoire projetées par le MRU : la décentralisation industrielle et l'équipement régional. L'apport était mutuel, Gravier construisant ses thèses en interaction avec le ministère au sein duquel il travaillait. Cependant, les hauts fonctionnaires ministériels ne prenaient pas à leur compte toutes les mesures qu'il préconisait, puisant avec éclectisme, au moins jusqu'au lancement du Plan d'aménagement du territoire en 1950, dans des conceptions différentes. Le chef du Service du plan d'aménagement national et des projets d'urbanisme du MRU, Pierre Randet, n'hésitait pas ainsi à prendre quelques distances d'un Gravier « *que son apostolat pour la décentralisation entraîne quelques fois au paradoxe* »[18].

Le passage au Commissariat fut rendu possible par son ouverture vers la planification régionale, absente, en 1947, du plan Monnet. Pour Gravier, cet organisme paraissait désormais « mieux placé » que le MRU pour orienter les

16 Entretien avec Gravier à Couzon.

17 Parmi les acteurs intéressés par l'aménagement du territoire, il faudrait mentionner l'accueil enthousiaste réservé à *Paris et le désert français* par la revue dominicaine *Économie et humanisme*, qui retrouvait dans le livre les perspectives d'une France compatible avec la renaissance des communautés de base qu'elle soutenait (famille, atelier, village ou quartier) (Suavet, 1947). La revue jésuite réformatrice *Esprit* a également rendu compte du livre (R., 1949).

18 Centre d'archives d'architecture du XXe siècle. Fonds Randet. B002. Art. 9. Premières conclusions de principe en matière de localisation de l'industrie. Communication de M. Randet à la Commission centrale d'études du Plan d'aménagement national, 9 novembre 1950, p. 8.

industriels sur le territoire et dégager les ressources nécessaires (Gravier, 1949, p. 250). Il confirmait vingt ans plus tard : « *Nous sommes bien placés pour savoir que ce service* [de l'aménagement du territoire], *dépourvu de tout moyen d'incitation financière, n'aménageait pas grand-chose et que son influence était fort médiocre* » (Gravier, 1970, p. 57). Ce passage réorientait sa carrière, y compris au niveau disciplinaire, vers l'économie. Les premiers signes remontaient en 1948, lorsqu'il a entamé sa longue collaboration avec l'hebdomadaire économique de droite *La vie française*, poursuivie jusqu'à 1987. Il a ensuite adapté son approche et son langage aux outils du Commissariat, comme le montre la comparaison de ses propos. Dans la note envoyée à la Direction de l'urbanisme, dès l'approbation du plan Monnet en janvier 1947, après avoir regretté l'absence de réflexion sur les « *localisations nouvelles d'industries et de logements* » qu'impliquait l'accroissement de production, il en profitait pour exposer à nouveau son propre programme (Gravier, 1947a, p. 1). En revanche, peu après avoir gagné le Commissariat, la répartition sur le territoire se faisait à travers « *la notion de programmes économiques régionaux* » (Gravier, 1950a, p. 9), ou des investissements régionaux (Gravier, 1953a). Cette réorientation fut davantage affirmée après son entrée, en juin 1959, au Conseil économique et social, où il a siégé au titre du développement économique régional jusqu'en août 1964, assurant la vice-présidence de la section Économies régionales. De 1960 à 1971, il a dirigé la revue *Économies régionales* (devenue après 1965, *Essor industriel : économies régionales*), lancée à l'aide de la section. Il s'est ainsi présenté, dès sa première notice au *Who is who* de 1961, comme « *économiste et publiciste* ».

Au Commissariat, Jean-François Gravier a intégré le secrétariat général, où il a côtoyé à nouveau Jean Vergeot – qui sera nommé commissaire adjoint au Plan en 1952 –, tout en élargissant son réseau auprès des planificateurs. À partir de cette position, il investit très vite la plupart des grandes institutions de l'aménagement régional et national. Ses relations avec le MRU lui ont permis de représenter, à partir de 1950, le Commissariat à la Section de l'aménagement national et régional du Comité national de l'urbanisme, dépendante de ce ministère[19]. Il fut aussi membre, puis rapporteur général de la Commission de modernisation, d'équipement et d'aménagement de la Corse, dès sa création, à la fin de 1952, auprès du Commissariat et du MRU[20]. En revanche, il ne participa pas à la Commission centrale d'études pour le plan d'aménagement national, propre au MRU, créée en 1950[21]. Quand Edgar Faure et son ministre des Finances, Pierre Pflimlin, demandèrent au Plan d'élaborer

19 Centre d'archives d'architecture du XXe siècle. Fonds Randet. B004. Art. 13. Procès-verbal de la séance plénière du 12 juillet 1951.

20 Arrêté du 8 décembre 1952 créant une commission de modernisation, d'équipement et d'aménagement de la Corse, *Journal officiel* du 10 décembre 1952, p. 11379 ; arrêté du 1er août 1953 nommant un rapporteur général, *Journal officiel* du 12 août 1953, p. 7151.

21 Centre d'archives d'architecture du XXe siècle. Fonds Randet. B002. Art. 9.

les programmes d'action régionale, Gravier rejoint le Comité national d'orientation économique (CNOE), institué le 31 mai 1955 et appela à donner son avis sur ces programmes[22]. En 1959, il représenta le CNOE au nouveau Comité des plans régionaux, censé harmoniser l'action des deux administrations de planification, le Commissariat général du plan d'équipement et de la productivité et le ministère de la Construction[23]. C'est pour améliorer la coordination qu'un Conseil supérieur fut créé en janvier 1960 au ministère de la Construction. Gravier siégea à la section de l'Aménagement du territoire, présidée par Philippe Lamour, puis à l'organisme qui suivit, la Commission nationale de l'aménagement du territoire, créée en même temps que la Délégation interministérielle à l'aménagement du territoire et à l'attractivité régionale (Datar) en février 1963 et placée auprès du Plan[24]. Il a également participé à d'autres Commissions de modernisation, comme celle du tourisme ou, entre 1957 et 1962, la Commission de la main-d'œuvre, présidée par Jean Fourastié.

Son expertise s'étendait auprès des institutions de développement régional indépendantes du Plan, comme la Communauté européenne du charbon et de l'acier qui l'a appelé en 1957 pour étudier les perspectives de deux bassins charbonniers d'Auvergne et de l'Aquitaine (Gravier, 1957b) ; une décennie plus tard, il étudiait les Alpes du Sud à la demande de l'Association pour le développement et l'étude des techniques des arts et métiers (Adetam)[25]. Il mit en outre son expertise au service des initiatives régionales comme le Comité d'étude et de liaison des intérêts bretons (Celib), groupe de pression créé en 1950. Il intervenait parallèlement dans des écoles préparant à l'encadrement : l'École nationale d'administration (Éna) en 1952, ou, en 1953 et 1956, aux cycles de perfectionnement de fonctionnaires déjà en exercice organisés par le Centre de hautes études administratives. En 1954-1955, il intervenait au Centre économique et social de perfectionnement des cadres, organisé par la Confédération générale des cadres (CGC) et la Fédération nationale des syndicats d'ingénieurs et de cadres (FNSIC-CFTC). Il publiait parallèlement maints articles dans des revues d'information économique et administrative (*Droit social*, *La Revue administrative*, *Cahiers d'information économique*, *Notre Europe*, *Hommes et Commerce…*), de vulgarisation (*Sciences et avenir*), tout en poursuivant sa collaboration avec les revues de droite *La vie française*, *Fédération* ou *Preuves*.

22 Décret du 31 mai 1955 portant création d'un comité national d'orientation économique, *Journal officiel* du 1er juin 1955, p. 5549 ; arrêté du 31 mai 1955 nommant les membres du comité, *Journal officiel* du 1er juin 1955, p. 5552.

23 Décret n° 58-1459 du 31 décembre 1958 relatif à l'établissement de plans régionaux de développement économique et social et d'aménagement du territoire, *Journal officiel* du 4 janvier 1959, p. 263 ; arrêté du 15 avril 1959 portant nomination des membres du comité, *Journal officiel* du 17 avril 1959, p. 4273.

24 Arrêté du 14 février 1963 désignant les membres de la Commission nationale d'aménagement du territoire, *Journal officiel* du 15 février 1963, p. 1537.

25 Information donnée par Veyret-Vernet, 1970.

Pendant la période de sa collaboration avec le Commissariat au Plan, Gravier a publié trois ouvrages[26]. Se voulant délibérément « *moins subjectif* », *Décentralisation et progrès technique* se composait de 122 courts textes-commentaires d'un graphique ou d'une carte thématiques (Gravier, 1953b, p. 5). La référence au progrès technique rendait compte de la rencontre de Gravier avec les travaux de Lewis Mumford[27] auquel il a emprunté la classification de l'évolution de la civilisation en trois phases (éotechnique, paléotechnique et néotechnique), qui organisaient le récit historique de ses livres suivants. La classification lui permettait ainsi de réaffirmer la thèse – classique dans ce type de débat – que la décentralisation des activités et des populations étaient désormais possibles grâce aux technologies de l'ère néotechnique. Cinq ans plus tard, une deuxième édition très remaniée du *Désert* voyait le jour. Prenant ses distances avec les déplorations de l'édition originale, elle détaillait les « *débuts d'une révolution française* » que constituait la renaissance démographique et économique de l'après-guerre et signalait les avancées en matière de décentralisation (Gravier, 1958, p. 98). Sans abandonner les objectifs de la renaissance régionale et les moyens mis en avant par la première édition, Gravier renouvelait son langage et systématisait son approche en termes de « *maillage industriel* » régional ou de « *maillage urbain* », par exemple (Gravier, 1958, pp. 202 et 214). Il peaufinait son approche dans son livre ultérieur, *L'aménagement du territoire et l'avenir des régions françaises*, en reprenant le terme, officialisé par le Plan puis par la Datar, de l'« *armature urbaine* » (Gravier, 1964a). Ce livre – le premier à avoir dans son titre le terme d'aménagement du territoire – disposait d'une dimension plus pédagogique dans la présentation des outils d'analyse et d'intervention de l'aménagement[28]. C'est probablement pour cela qu'il a pu bénéficier d'une double traduction, en italien et en espagnol (Gravier, 1967ab), fait peu fréquent pour l'œuvre de Gravier (Dard, 2010, pp. 36-37).

La réédition de *Paris et le désert français* accompagna la période de consécration de son auteur. Déjà en 1957, intervenant dans les intenses débats sur la crise du logement, l'exode rural et l'aménagement du territoire, Roger Leenhardt et Sydney Jezequel réalisaient le court-métrage *Paris et le désert français*, inspiré du livre de 1947. Sa réédition connut un succès encore plus large, couronnée en 1959 avec le Grand prix Gobert d'histoire de l'Académie française. Lors des deux derniers des cinq entretiens donnés à la télévision en novembre et décembre 1958, le nouveau ministre de la Construction du gouvernement de Gaulle, Pierre

26 En 1949, dans la deuxième de couverture de la *Mise en valeur de la France*, il annonçait un livre, jamais publié, sur Colbert.

27 Il s'agit de son livre *Technics and Civilization*, publié à New York en 1934, qui venait d'être traduit en français (Mumford, 1950).

28 Cette dimension d'information opérationnelle était exposée déjà dans Gravier, 1960 et 1961ab.

Sudreau, a repris à son compte l'image qui faisait le titre de l'ouvrage, reproduisant des larges extraits du film (Cohen, 2004). Marqué politiquement à droite, Gravier a su collaborer avec différents gouvernements, dans la mesure où ils affichaient la volonté de confiner la domination parisienne. Sous la présidence de de Gaulle (1959-1969), cette orientation fut bouleversée, entraînant la double critique de Gravier, puis son éloignement de l'administration au profit de l'enseignement supérieur. La première critique portait sur le Schéma directeur d'aménagement et d'urbanisme de la Région parisienne (SDAURP), élaboré sous la direction de Paul Delouvrier à partir de 1961. Prenant acte de la croissance inévitable de la région parisienne, le Schéma cherchait à l'orienter, en aménageant les transports et des Villes nouvelles. La deuxième critique portait sur les projets régionalistes proposés par de Gaulle, accusés de renforcer le pouvoir préfectoral au lieu de rendre les régions plus autonomes (Dard, 2012). C'est engagé dans ce combat qu'il a publié ses deux livres suivants (Gravier, 1970 et 1971) et qu'il a repris son titre célèbre, *Paris et le désert français en 1972*, dans un ouvrage cependant « *presque entièrement nouveau* » (Gravier, 1972, 4e de couverture). La question régionale (Gravier, 1970) s'ouvrait également à la théorie des lieux centraux de Walter Christaller, qui commençait à l'époque à être diffusée en France (Robic, 2001), la comparant avec l'armature urbaine qu'il préconisait.

La conversion vers l'enseignement supérieur

La chaire d'Économie et organisation régionales fut fondée par le Crédit populaire de France (CPF)[29], groupe bancaire semi-public, présidé par l'inspecteur des finances Yves Malécot. Attribuant des crédits professionnels à l'échelle locale, le CPF était un acteur direct de l'expansion régionale. L'enseignement fut proposé en février 1965 – deux ans après la création de la Datar –, se situant explicitement « *au moment où l'esprit, la doctrine et les objectifs de l'Aménagement du Territoire se précisent, à la faveur de la régionalisation du Ve Plan* »[30]. Couvrant la période 1966-1970, le Ve Plan régionalisait les programmes d'équipement et mettait en place les Commissions de développement économique régional (Coder)[31]. C'est dans ce cadre que le CPF a souhaité « *contribuer aux recherches et à la diffusion des études* » en matière d'organisation économique régionale, en finançant une chaire pendant cinq ans, au moyen de versements annuels de 50 000 francs[32]. Hormis les recherches, le titulaire de la chaire devait assurer des

29 Archives du Cnam. Procès-verbaux, CP 1965, pp. 23 à 36 ; et pp. 39-51.

30 Archives du Cnam. Non coté. Dossier chaire d'Économie et organisation régionales. Malécot Y. (1965). « Allocution », *Techniques et économie industrielles*, p. 1-5. La citation, p. 2.

31 Archives du Cnam. Chaire d'Économie et d'organisation régionales. Audition du candidat, procès-verbaux, CP 1965, pp. 41-42.

32 Archives du Cnam. Non coté. Dossier Projet de création d'une chaire d'Économie et organisation régionales, Extrait des procès-verbaux, CA 1965, p. 1.

cours destinés à former les « *techniciens de l'aménagement régional* », dont les cadres locaux[33]. Le Cnam paraissait dès lors l'établissement approprié, « *s'adressant à un public fort large de volontaires, en activité dans toutes les industries et affaires* »[34]. Conformément au règlement, le fondateur de la chaire désignait aussi le premier titulaire. Pour le président du Crédit populaire de France, « *nul n'avait certes, parmi ses pairs et ses émules, plus de* titres » que Gravier, à la fois « *pionnier, promoteur, et animateur du régionalisme* »[35].

Cette création « *nécessaire* », concernant « *un problème extrêmement important* », a été favorablement accueillie par les instances du Cnam[36]. Néanmoins, le langage policé des procès-verbaux laisse apparaître certaines interrogations minoritaires sur l'orientation de l'enseignement, reflets des débats sur les politiques elles-mêmes. Certes, le titre de la chaire, Économie et organisation régionale, prenait acte de l'ouverture du candidat vers la discipline économique. Mais le régionalisme restait un enjeu : faudrait-il mettre « *l'accent sur le caractère régional de ce qui est en définitive l'aménagement du territoire, bien que ses mots n'aient pas été prononcés ?* » ou bien s'attacher à « *former ce que l'on pourrait nommer des 'régionalistes qualifiés'* », se félicitant « *de ne pas voir figurer dans le titre les termes 'aménagement du territoire' qui ont un arrière-fond politique* » ?[37] C'est par ailleurs comme une opposition entre « plusieurs écoles » qu'est interprété par certains membres du Conseil d'administration, le nombre des abstentions lors de la délibération du Conseil de perfectionnement, interprétation toutefois démentie par le directeur du Cnam[38]. Plus que ses thèses précises, les enseignants très favorables à l'égard de Gravier – des vieilles connaissances, soulignaient son expertise. L'économiste Jean Fourastié saluait un « *spécialiste averti des questions* », tandis que l'ancien professeur à la Sorbonne pendant la scolarité de Gravier, le géographe André Cholley, appréciait qu'il « [ait] *l'expérience de ces problèmes et* [ait] *été chargé d'enquêtes* »[39]. La figure d'expert traversait en filigrane les nombreuses craintes d'un manque

33 Georges Liet-Veaux, professeur de droit immobilier appliqué à la construction et l'habitation. Archives du Cnam. Procès-verbaux, CP 1965, p. 44.

34 Archives du Cnam. Non coté. Dossier Projet de création d'une chaire d'Économie et organisation régionales, Extrait des procès-verbaux, CA 1965, p. 1.

35 Archives du Cnam. Non coté. Dossier chaire d'Économie et organisation régionales. Malécot Y. (1965). « Allocution », *Techniques et économie industrielles*, p. 3.

36 Réciproquement Jean-Baptiste Ache, professeur d'histoire de la construction, et Jean Fourastié. Archives du Cnam. Procès-verbaux, CP 1965, pp. 33 et 32.

37 Archives du Cnam. Procès-verbaux, CP 1965. La première position est exprimée par Ache (p. 33), la deuxième par Liet-Veaux (p. 44). Quittant la chaire en 1983, Gravier dira que l'intitulé visait « *d'éviter une confusion avec la jeune administration de l'Aménagement du territoire institué en 1963* [la DATAR] » (Jean-François Gravier, Rapport sur la situation de la chaire dans le Cnam, procès-verbaux, CP 1983, p. 179).

38 Archives du Cnam. Non coté. Dossier Projet de création d'une chaire d'Économie et organisation régionales, Extrait du CA 1965, pp. 2-3.

39 Archives du Cnam. Procès-verbaux, CP 1965, pp. 32 et 34.

de cohérence de l'enseignement, qui ne devait pas être conçu comme « *une série de conférences* »[40]. L'enseignement devait prendre le temps de s'approfondir sur deux ans au lieu de l'année unique prévue[41]. Attitude habituelle lors de la fondation des nouveaux enseignements, Gravier était vanté pour son interdisciplinarité, à la fois géographe, historien et économiste, voire humaniste et journaliste, mais aussi pour « *son démon de la recherche appliquée* », puisqu'il était « *éloigné des spéculations abstraites sans y être indifférent* »[42]. Le candidat les rejoignait affirmant que son enseignement s'échapperait « *du cadre strictement cloisonné des Facultés* »[43]. L'interdisciplinarité permettait en outre à la chaire de se démarquer du cours de géographie économique assuré au Conservatoire par l'agrégé et ancien homme politique Jean-Jacques Juglas[44].

Nommé professeur à compter du 1er octobre 1965[45], Gravier prononça sa leçon inaugurale le 3 novembre, sous la présidence d'Yves Malécot. Son cours faisait partie du diplôme d'études supérieures économiques (DESE), Évolution des faits économiques[46]. Ses quarante leçons d'une heure et demie, au rythme de deux par semaine étaient organisées en quatre parties : Le fait régional au XXe siècle ; les équilibres internes et externes ; la promotion régionale ; et les institutions régionales[47]. Leur contenu reposait sur son dernier livre (Gravier, 1964a), ponctué de travaux pratiques et d'études de cas. Les réorganisations post-soixante-huitardes n'ont pas modifié substantiellement la structure du cours, mais elles ont renforcé sa position. Il formait l'élément principal du département des Sciences de l'aménagement et de la mise en valeur, créé en 1969, et dont Gravier assura la présidence pendant sept ans, de 1974 à 1981. À partir de 1970, son enseignement était dispensé sur deux ans, le premier étudiant l'évolution des structures régionales, des localisations économiques et du peuplement, le deuxième les « *politiques de l'aménagement, en vue de la définition d'une doctrine, et aux problèmes d'organisation régionale (déconcentration, décentralisation, fédéralisme)* »[48]. En 1975, la chaire fut reprise par l'État, le Crédit populaire

40 Archives du Cnam. Procès-verbaux, CP 1965, pp. 32-34. L'expression est de Pierre Ailleret mais Arche, Liet-Veaux et Cholley ont repris ce point de vue.

41 Voir les prises de position des Fourastié, Ache, Cholley et Juglas, dans procès-verbaux, CP 1965, pp. 32-34 et 43-44.

42 Archives du Cnam. Non coté. Dossier chaire d'Économie et organisation régionales. Malécot Y. (1965). « Allocution », *Techniques et économie industrielles*, passim.

43 Archives du Cnam. Procès-verbaux, CP 1965, p. 42 ; voir aussi l'approbation de cette dimension interdisciplinaire par Liet-Veaux, p. 44.

44 Archives du Cnam. Procès-verbaux, CP 1965, p. 32 ; et aussi, pp. 42-43 et 46.

45 Décret du 9 août 1965 portant nomination d'un professeur au Conservatoire national des arts et métiers, *Journal officiel* du 13 août 1965, p. 7191. La chaire fut créée le 14 juin 1965, *Journal officiel* du 18 juin 1965, p. 5073.

46 Archives du Cnam. Procès-verbaux, CP 1966, p. 32.

47 Archives du Cnam. Procès-verbaux, CP 1965, pp. 42 et 53-54 ; et Registre des cours 1966-1967, pp. 151-152.

48 Archives du Cnam. Jean-François Gravier, Rapport sur la situation de la chaire dans le Cnam, procès-verbaux, CP 1983, p. 180.

passant le relais après un financement de dix ans au lieu des cinq initialement prévus[49]. Elle a été renommée chaire de l'Aménagement du territoire le 15 janvier 1980. Entre 1975 et 1983, année où Gravier a pris sa retraite, quarante-trois DESE option Aménagement du territoire ont été délivrés à des élèves venant, entre autres, des services liés à l'aménagement du territoire, des collectivités locales ou de différents types d'entreprises, y compris des pays étrangers, une partie non négligeable des auditeurs étant étudiants ou chômeurs[50].

Aux marges des disciplines savantes

L'espace vital, ouvrage publié en 1984, venait clore la carrière de Gravier. Ses interventions suivantes – et ses multiples entretiens accordés aux chercheurs – relevaient du témoignage (Gravier, 1991) ou de courts textes de valorisation (Gravier, 1987). Agrégé d'histoire et de géographie, maniant les analyses démographiques et économiste déclaré, Gravier ne faisait pas partie des cercles savants et universitaires. Ses livres relevaient de l'essai, du rapport ou, plus tard, du manuel, plutôt que des normes académiques. Il ne publia que trois articles seulement dans les revues disciplinaires, elles-mêmes proches de l'action. Le premier fut accueilli par *Population* (1950b)[51], les deux autres étant parus en 1956 dans des numéros thématiques sollicitant des administrateurs et des hommes politiques : celui de la *Revue française de sciences politiques*, introduit par Edgard Pisani, était consacré à l'aménagement du territoire, opposant Gravier à Michel Debré (Gravier, 1956a) ; et celui de la *Revue économique*, éditée sous l'égide de l'École pratique des hautes études, portait sur la région parisienne (Gravier, 1956b). Le professorat a cependant rapproché Gravier des milieux universitaires de géographie lorsqu'ils se sont ouverts à leur tour à l'enseignement de l'aménagement du territoire. Il a en particulier participé à la création en juin 1976 du Diplôme d'études approfondies (DEA) commun entre l'Université Paris IV, l'Université Paris X et le Cnam, appelé Aménagement, planification et urbanisme, renommé en 1981 Géographie et aménagement. Par ailleurs, c'est à l'âge de 70 ans qu'il est devenu membre de la Société de géographie, lorsqu'elle lui a décerné, le 25 novembre 1985, le prix Malte-Brun, la même année où il a été élu membre correspondant de la section générale de l'Académie des sciences morales et politiques. Trois ans plus tôt, il avait reçu le grade de chevalier dans l'ordre des Palmes académiques (décret du 19 novembre 1982).

49 Archives du Cnam. Non coté. Dossier chaire d'Économie et organisation régionales, Lettre Malécot à Laurent Citti, directeur du Cnam, 19 juin 1975.

50 Archives du Cnam. Hélène Sergent, Rapport à la Commission des vacances de la chaire d'Aménagement du territoire, procès-verbaux, CP 1983, pp. 181-183.

51 Voir aussi sa contribution dans la collection *Travaux et documents* de l'Ined (Gravier, 1957a).

Sans le considérer l'un des leurs, les milieux savants s'intéressaient pour autant aux prises de position de cet acteur proche des instances décisionnelles, ce que confirment les recensions de ses livres (Dard, 2010, pp. 26-30 ; 2012, p. 41). Il faut noter que les trois éditions de son titre le plus célèbre ont été peu commentées par les revues savantes. Lucien Febvre fut l'une des rares exceptions, recommandant avec élan en 1950 sa lecture, à « *la fois par ce qu'il apporte de nouveau. Et par ce qu'il engendre de salutaire, de dynamique colère* » (Febvre, 1950, p. 386). La recension était motivée par le dialogue des *Annales* avec les géographes et les sociologues, et l'ouverture de la revue aux questions sociales de la France de l'après-Seconde Guerre. Les revues d'histoire n'ont pas porté davantage d'attention à Gravier, en dépit des rituelles excursions historiques qui introduisaient ses livres, jusqu'au moment où il sera lui-même objet de la recherche historique. C'est lors de son basculement vers ce nouveau statut que l'historienne de la reconstruction, Danièle Voldman, condamna sans appel son dernier livre : « *un trop rapide survol des problèmes posés par les politiques urbaines* » (Voldman, 1984, p. 162).

Si les revues de géographie étaient plus prolixes, les revues nationales ont peu commenté ses travaux, Philippe Pinchemel étant bienveillant dans les *Annales de géographie* (Pinchemel, 1971) tandis que Jacqueline Beaujeu-Garnier se montrait réservée dans *L'information géographique* (Beaujeu-Garnier, 1954). L'intérêt provenait des revues régionales (*Revue de géographie alpine*, *Norois*, *Revue de géographie de Lyon*), par des géographes impliqués dans la revitalisation des régions. Le jugement était positif si leur action se situait dans le prolongement des thèses de Gravier (Germaine Veyret-Verner, Philippe Pinchemel, Lucien Gachon) ; autrement, et plus rarement, négatif comme dans le cas de Bernard Kayser, proche de la Datar (Kayser, 1972). On peut aussi interpréter à cette aune l'exclusion de Gravier d'une manifestation interdisciplinaire majeure, savante mais à visée pratique, la « Deuxième semaine sociologique ». Organisée en 1951 par le Centre d'études sociologiques, elle réunissait des participants moins enclins, en règle générale, à dénoncer l'accroissement de la capitale qu'à discuter les rapports entre villes et campagnes dans une plus grande complexité (Friedmann, 1953)[52].

La revue de l'Ined, *Population*, rendit compte de la quasi-totalité des ouvrages de Gravier. Louis Chevalier ouvrit le bal avec une critique très offensive de *Paris et le désert français* (C[hevalier], 1947). Certes il souligna « *la somme de questions que* [Gravier] *aborde avec une égale distance et un égal talent* » et apprécia l'optique épistémologique du

52 On peut ici ajouter la présentation très critique de Nicole Haumont dans la *Revue française de sociologie* (Haumont, 1966), à propos de *L'aménagement du territoire et l'avenir des régions françaises* ; et, à propos du même ouvrage, la longue description sans jugement de Daniel Faudry dans les *Études rurales* (Faudry, 1968).

livre, « *de tout ramener aux phénomènes de* population ». Mais ceci pour mieux fustiger « *le programme de localisation industrielle qu'il dresse* » ainsi que sa dimension autoritaire et coercitive. Une fois encore, la plume était tenue par un savant qui était acteur de l'aménagement, Chevalier étant l'un des protagonistes des études sur la décongestion des centres industriels menées sous Vichy (Markou, 2020). La relève fut prise par Alfred Sauvy, qui présenta trois autres livres. Le directeur de l'Ined était très fréquemment cité par Gravier et ils eurent l'occasion de siéger ensemble dans les institutions de planification. Peu disposé à assigner de grandes ambitions à l'aménagement du territoire (Friedmann, 1953, pp. 81-92), Sauvy rendait compte avec bienveillance des ouvrages de Gravier, tout en doutant du réalisme de ses propositions (S[auvy], 1949 et 1954) ; il accueillit avec moins de réserves *L'aménagement du territoire et l'avenir des régions françaises*, bornant sa lecture à « *la clarté de la présentation et la solidité de la documentation* » (S[auvy], 1966)[53].

Malgré une œuvre fustigeant la dénatalité, Gravier n'a pas eu d'enfants, marié le 25 février 1963, à l'âge de 47 ans, avec Christiane Martin, veuve Granier, de trois ans sa cadette. Veuf à son tour, il est décédé dans ce Paris hypertrophique où il a vécu presque toute sa vie active, le 11 novembre 2005.

53 Les trois autres recensions de *Population*, très positives, provenaient de différents auteurs.

Ouvrages, articles et rapports cités de Jean-François Gravier

(1938a). « La Bretagne (René Musset) ». *Civilisation*, 1, p. 17.

(1938b). « Notes sur la révolution politique ». *Combat*, 28, s.p.

(1939a). *Principes d'une politique extérieure française*. Paris : Combat.

(1942a). *Régions et nation*. Paris : Presses universitaires de France.

(1942b). « À Belgrade il y a un an. Le récit d'un témoin ». *Demain*, 11, pp. 1 et 6 ; 12, pp. 1 et 6 ; 13, p. 6 ; 16, p. 6 ; 17, p. 6.

(1942c). « La résurrection des communes ». *Demain*, 34.

(1943a). *Les justifications humaines d'une décentralisation industrielle et ses modalités.* [Archives nationales, Site Pierrefitte, 19770777/3].

(1943b). *La décentralisation et le fait urbain*. Rapport n° 2 : Archives nationales, Site Pierrefitte, 19770777/3.

(1945a). *Une politique de décentralisation industrielle.* Centre d'archives d'architecture du XXe siècle, Fonds Randet, B003, Art. 6.

(1945b). « Nécessité de la décentralisation industrielle ». *Bulletin d'information et de documentation*, 9, pp. 36-40. Archives nationales, Site Pierrefitte, 19790540/1.

(1945c). « Décentralisation industrielle ». *Le Maître d'œuvre de la reconstruction française*, 1, p. 2

(1945d). « Centralisation concentration congestion ». *Le Maître d'œuvre de la reconstruction française*, 2, p. 2.

(1945e). « Les causes de la congestion industrielle ». *Le Maître d'œuvre de la reconstruction française*, 5, p. 2.

(1945fg). « Décentralisation industrielle, problème national ». *La production nationale*, 2, pp. 3-5 ; 3, pp. 5-8.

(1946a). « Décentralisation ». *Le Maître d'œuvre de la reconstruction française,* 11, p. 1.

(1946b). « La politique de décentralisation industrielle ». *Œuvres et maîtres d'œuvre*, 4, pp. 81-84.

(1947a). « Géographie du Plan ». Archives nationales, Site Pierrefitte, 197707888/8.

(1947b). *Paris et le désert français. Décentralisation, équipement, population.* Paris : Le Portulan.

(1947c). « Congestion cérébrale de la France ». *Fédération. Revue de l'ordre vivant*, 33, pp. 16-18.

(1949). *Mise en valeur de la France.* Paris : Le Portulan.

(1950a). « Le Plan Monnet et le relèvement économique de la France ». *La Revue administrative*, 13, pp. 6-10.

(1950b). « Productivité et population ». *Population*, 2, pp. 301-310.

(1950c). « La clé du problème agricole : enseignement et vulgarisation ». *Les aspects économiques, techniques et sociaux de l'expansion agricole*. Paris : Librairie sociale et économique.

(1953a). « Le premier plan Monnet et les perspectives du second ». *Économie et humanisme*, 79, pp. 65-68.

(1953b). *Décentralisation et progrès technique*. Paris : Le Portulan Flammarion.

(1956a). « Organisation territoriale et expansion régionale ». *Revue française de science politique,* 2, pp. 291-300.

(1956b). « Problèmes de la région parisienne ». *Revue économique,* 6, pp. 971-977.

(1957a). « L'aménagement du Bas-Rhône et du Languedoc ». *Région Languedoc-Roussillon : économie et population,* Paris, Presses Universitaires de France.

(1957b). *Auvergne-Aquitaine. Études régionales d'emploi.* Luxembourg : Communauté européenne du Charbon et de l'Acier.

(1958). *Paris et le désert français.* Paris, Flammarion (2e édition mise à jour).

(1960). « ABC de la décentralisation ». *Économies régionales*, 1, pp. 43-50

(1961ab). « ABC de la décentralisation ». *Économies régionales,* 2, pp. 37-45 ; 3, pp. 38-44.

(1964a). *L'aménagement du territoire et l'avenir des régions françaises.* Paris : Flammarion.

(1967a). *La ordenación del territorio y el futuro de las regiones francesas.* Madrid : Presidencia del Gobierno. Secretaría General Técnica (trad. espagnole de 1964a).

(1967b). *La pianificazione territoriale in Francia.* Vicenza : Marsilio, (trad. italienne de 1964a).

(1970). *La Question régionale*. Paris : Flammarion.

(1971). *Économie et organisation régionales.* Paris : Masson.

(1972). *Paris et le désert français en 1972*. Paris : Flammarion.

(1973). *L'organizzazione regionale.* Naples : Edizioni Scientifiche Italiane (trad. ita-

lienne de 1971).

(1984). *L'Espace vital. Du paradis terrestre à l'aménagement du territoire*. Paris : Flammarion.

(1987). « Postface ». *In* R. Uhrich. *La France inverse ?* Paris : Economica, pp. I-IX.

(1991). « Paris et le désert français : quarante ans après ». *Les Cahiers du CREPIF,* 34, pp. 15-23.

Comptes-rendus des ouvrages de J.-F. Gravier

Beau de Loménie E. (1948). « Paris et le désert français ». *Écrits de Paris*, pp. 107-110.

Beaujeu-Garnier J. (1954). « Jean-François Gravier : Décentralisation et progrès technique, 1954 ». *L'information géographique,* 3, p. 125.

C[hevalier] L. (1947). « Gravier J.-F., Paris et le désert français ». *Population*, 4, p. 816.

Faudry D. (1968). « J.-F. Gravier, L'aménagement du territoire et l'avenir des régions françaises ». *Études rurales*, 1, pp. 110-112.

Febvre L. (1950). « Paris et le désert français ». *Annales. Économies, Sociétés, Civilisations*, 3, pp. 384-385.

Fénelon P. (1972). « J.-F. Gravier. Économie et organisation régionales ». *Norois*, 76, pp. 750-752.

Gachon L. (1951). « M. Cepède, J.-F. Gravier, J. Ratineau, P. Maestracci, J. Keilling, R. Savatier, L. Leroy, M. Houdet, Les aspects économiques, techniques et sociaux de l'expansion agricole ». *Revue de géographie de Lyon,* 3, pp. 381-382.

Gachon L. (1954). « Les rapports villes-campagnes : le sens prévisible de leurs lignes d'évolution ». *Norois*, 3, pp. 201-218.

Kayser B. (1972). « Le phénomène régional : […] J.-F. Gravier, Économie et organisation régionales ; La question régionale ». *Revue géographique des Pyrénées et du Sud-Ouest,* 1, pp. 93-94.

Haumont N. (1966). « Gravier J.-F. L'aménagement du territoire et l'avenir des régions françaises ». *Revue française de sociologie*, 1, pp. 117-118.

Maulnier T. (1948). « La France, pays neuf ». *Le figaro*, 3 avril, pp. 1 et 4.

Pinchemel P. (1971). « La question régionale vue par J.-F Gravier ». *Annales de Géographie*, 442, pp. 722-723.

R. J.-R. (1949). « Jean-François Gravier : Paris et le Désert français (Portulan) ». *Esprit,* 2, pp. 331-334.

Salleron L. (1947). « Paris et le désert français ». *Fédération. Revue de l'ordre vivant*, 34, p. 26.

S[auvy] A. (1949). « Gravier J.-F. – Mise en valeur de la France ». *Population*, 3, pp. 563-564.

S[auvy] A. (1954), « Gravier Jean-François – Décentralisation et progrès technique ». *Population*, 1, pp. 149-149.

S[auvy] A. (1966). « Gravier J.-F. – L'aménagement du territoire et l'avenir des régions françaises ». *Population*, 1, pp. 172-172.

Suavet T. (1947). « Contribution à une réforme des structures géographiques françaises. À propos de 'Paris et le désert français' par J.-F.Gravier ». *Économie et humanisme*, 34, pp. 628-635.

Veyret-Verner G. (1954). « Gravier (Jean-François). Décentralisation et Progrès technique ». *Revue de géographie alpine*, 3,

pp. 508-581.

Veyret-Verner G. (1970a). « L'avenir des Alpes du Sud, d'après J.-F. Gravier ». *Revue de géographie alpine*, 3, pp. 545-546.

Veyret-Verner G. (1970b). « Gravier (J.-F.). La question régionale ». *Revue de géographie alpine*, 3, pp. 497-503.

Veyret-Verner G. (1973). « Gravier (J.-F.). Économie et organisation régionales ». *Revue de géographie alpine*, 2, pp. 320-321.

Voldman D. (1984). « Gravier Jean-François, L'espace vital, du paradis terrestre à l'aménagement du territoire ». *Vingtième Siècle, revue d'histoire*, 3, pp. 161-162.

Bibliographie

Bastié J. (2006). « Jean-François Gravier (1915-2005) ». *La géographie,* 1520, pp. 104-105.

Bergès M. (1997). *Vichy contre Mounier : les non-conformistes face aux années 40.* Paris : Economica.

Chenu R. (1994). *Paul Delouvrier ou la passion d'agir : entretiens.* Paris : Seuil.

Cohen A. (2006). « Du corporatisme au keynésianisme ». *Revue française de science politique,* 4, pp. 555-592.

Cohen É. (2004). « Expliquer Paris à la télévision : Pierre Sudreau et les problèmes de la construction (1958) ». *Sociétés & Représentations,* 17, pp. 117-127.

Comte B. (1991). *Une utopie combattante. L'École des cadres d'Uriage, 1940-1942.* Paris : Fayard.

Couzon I. (2001). « La figure de l'expert géographe au miroir de la politique d'aménagement du territoire en France (1942-1950) ». *In* G. Baudelle, M.-V. Ozouf-Marignier & M.-C. Robic (dir.). *Géographes en pratiques (1870-1945).* Rennes : Presses Universitaires de Rennes, pp. 159-171.

Dard O. (2010). « Jean-François Gravier, un aménageur dans le siècle ». *In* O. Dard & J.-F. Eck (dir.). *Aménageurs, territoires et entreprises en Europe du Nord-Ouest au second xxe siècle.* Metz : Centre régional universitaire lorrain d'histoire. Site de Metz, pp. 17-39.

Dard O. (2012). « L'autre régionalisation : Jean-François Gravier au tournant des années 1960 et 1970 ». *Pour mémoire, revue du ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer*, hors série, pp. 36-41.

Dautry R. (1947). « [Préface] ». *In* J.-F. Gravier, *Paris et le désert français.* Paris : Le Portulan, pp. 7-14.

Demangeon A. (1915). « Gravier (Gaston) ». *Annales de Géographie*, 132, pp. 454-458.

Desrosières A. (2008). *Gouverner par les nombres : L'argument statistique II.* Paris : Presses de l'École des Mines.

Drouard A. (1996). *Une inconnue des sciences sociales. La Fondation Alexis Carrel, 1941-1945.* Paris : Maison des sciences de l'homme/Institut national d'études démographiques.

Fondation française pour l'étude des problèmes humains. (1943). *Documentation scientifique.*

Friedmann G. (dir.) (1953). *Villes et campagnes : civilisation urbaine et civilisation rurale en France.* (Deuxième semaine sociologique, organisée par le Centre d'études sociologiques du centre national de la recherche scientifique). Paris : Armand Colin.

Ginsburger N. (2015). « Les Balkans avec

ou sans Cvijić. Géographes et géologues universitaires austro-allemands, français et serbes dans un espace européen périphérique (1893-1934) ». *In* P. Clerc & M.-C. Robic (dir.). *Des géographes hors-les-murs ? Itinéraires dans un monde en mouvement, 1900-1940.* Paris : L'Harmattan, pp. 323-354.

Marchand B. (2001). « La haine de la ville : « Paris et le désert français » de Jean-François Gravier ». *L'information géographique,* 3, pp. 234-253.

Markou E. (2013). « Œuvre collective et stratégies d'autorité. Le Corbusier, Les trois établissements humains, 1945/1959 ». *In* P. Chabard & M. Kourniati (dir.). *Raisons d'écrire. Livres d'architectes 1945-1999.* Paris : Éditions de la Villette, pp. 19-44.

Markou E. (2020). « La décentralisation industrielle en France dans le premier XXe siècle. Du mot d'ordre réformateur à l'aménagement du territoire ». Thèse de doctorat soutenue à l'EHESS, Paris.

Massardier G. (1996). *Expertise et aménagement du territoire : l'État savant.* Paris / Montréal : L'Harmattan.

Mumford L. (1950). *Technique et civilisation*. Paris : Seuil (éd. originale, 1934).

Pasquier R. (2003). « La régionalisation française revisitée : fédéralisme, mouvement régional et élites modernisatrices (1950-1964) ». *Revue française de science politique*, 1, pp. 101-125.

Provost I. (1999). « Paris et le désert français : histoire d'un mythe ». Thèse de doctorat soutenue à l'Université d'Évry.

Robic M.-C. (2001). « Walter Christaller et la théorie des 'lieux centraux' : Die Zentralen Orte in Süddeutschland (1933) ». *In* B. Lepetit & C. Topalov. *La ville des sciences sociales.* Paris : Belin, pp. 151-189.

Wendeln M. (2011). « Contested Territory : Regional Development in France, 1934-1968. » Thèse de doctorat soutenue à New York University et à l'École des hautes études en sciences sociales, New York/Paris.

Who's who in France, 1961-1962, 1992-1993 et 2005-2006, Lafitte : Paris, pp. 976, 795 et 1413 respectivement.

Témoignage d'acteur

L'expérience de l'histoire.
Cours d'initiation au travail sur archives dans un enseignement de sociologie au Cnam

Guillaume Lecoeur
LISE-Cnam-Cnrs

Résumé

Cet article présente une séance pédagogique introductive au travail sur document d'archives. Il est avant tout destiné aux enseignant.es souhaitant diffuser les méthodes du travail sur documents d'archives dans des disciplines connexes avec l'histoire (sociologie, économie, philosophie, journalisme, communication, métier de la gestion et de l'administration). Le cours est composé de trois séances. La première délivre aux étudiant.es des bases méthodologiques pour comprendre le rôle central de l'analyse des documents d'archives dans la recherche en histoire. La deuxième séance met les étudiant.es en situation de recherche à partir de documents collectés dans les archives du Cnam. Les étudiant.es sont ensuite guidé.es dans la réalisation d'une petite bibliographie, et dans la production d'une question de recherche collective. La troisième et dernière séance leur donne un avant-goût de l'expérience de l'histoire en leur permettant de produire eux-mêmes des données historiques. Le cours se conclut en proposant aux étudiant.es la rédaction d'un compte rendu de recherche. Celui-ci leur permet de valider l'acquisition d'un savoir-faire de base en matière d'analyse historique de document d'archives.

Mots-clés : méthodologie historique ; archives ; pédagogie ; enseignants ; étudiants.

Séance 1 : Place du document d'archive dans la recherche en histoire (cours de 3H)

La première séance transmet aux étudiant.es un bref récapitulatif de l'histoire des pratiques de recherche en archives, puis présente une méthodologie de recherche synthétique leur permettant de saisir les étapes-clés de la recherche historique.

Histoire de la pratique en archives

L'histoire en tant que discipline scientifique a toujours été liée à la pratique de la recherche sur documents d'archives. La possibilité de collecter et d'analyser des documents conservés et constitués en « archives » par les institutions n'a cependant pas toujours existé. Celle-ci date de la Révolution française et de la mise en place des premières politiques de conservation des documents publics (Coeuré & Duclert, 2001). La fondation des Archives nationales, le 7 septembre 1790, met potentiellement fin au secret d'État et ouvre la porte à l'exploitation de documents d'archive comme pratique clé de la construction de l'État social. La formalisation d'une méthode de travail en archive débute quelques dizaines d'années plus tard, avec l'institutionnalisation progressive de l'histoire en tant que discipline universitaire, au milieu du XIXe siècle (Prost, 1996). Les premières méthodes émergent dans le contexte d'un débat entre les historiens français et allemands. Alors que les premiers sont liés à une tradition de recherche littéraire héritière de Jules Michelet, l'histoire allemande développe, sous l'influence d'historiens comme Léopold Von Ranke, une « école méthodique » et « objective » où les historiens se constituent en témoins absolus du passé. Il règne alors une forme de compétition entre les sciences naturelles comme la physique, qui se construit à partir de lois objectivistes élaborées en laboratoire, et les sciences humaines et sociales, qui souffrent des divisions entre écoles de pensée, et qui cherchent à imiter les modèles des sciences dites « dures ». Les premiers traités de méthode historique sont ainsi marqués par une forme d'impératif d'objectivité, et cherchent à élaborer des pratiques qui restituent et écrivent le passé avec la plus grande scientificité et exactitude possible (Seignobos, 1901). Le travail sur archives consiste alors à collecter des données et à en faire une analyse rigoureuse pour restituer les évènements de manière chronologique. Trois étapes le constituent : l'inventaire des archives d'un fonds, qui permet à l'historien d'avoir une idée des types de documents disponibles ; la critique externe des documents, qui vise à prendre de la distance sur les intérêts qui ont précédé à leur production (contexte d'écriture, intention des auteurs…) ; et enfin la « critique interne » du document, qui en interroge le contenu, en vue d'en faire un outil de la production d'un savoir méthodique sur le passé.

Ces premières méthodes commencent à faire l'objet d'une critique au

début du XXe siècle, dans le cadre des débats qui animent alors les historiens et les sociologues (Prost, 1996). Des sociologues comme François Simiand critiquent par exemple l'objectivisme des méthodes historiques, qui sont alors accusées de rester subordonnées aux « idoles du passé », et de ne pas considérer les relations que l'histoire entretient avec les sociétés contemporaines (Simiand, 1903)[1]. Cette critique ouvre la voie à une deuxième étape dans l'histoire des méthodes d'exploitation et d'analyse des documents d'archive : celle de l'école des Annales. Initiée par deux historiens, Lucien Febvre et Marc Bloch, les représentants de cette école œuvrent à sortir l'histoire de sa tour d'ivoire, en mettant en avant la nécessité de décloisonner l'action et la pensée. Comme son nom l'indique, cette école a donné une place centrale à l'étude des documents d'archives. À la différence de l'école méthodique cependant, les représentants des Annales souhaitent faire de l'historien un interprète du passé, plus qu'un témoin absolu de notre histoire. Ses auteurs diversifient ainsi considérablement les thèmes de recherche de l'histoire vers l'étude du social, de l'économie ou encore de l'anthropologie. C'est le cas des travaux de Marc Bloch sur les rites médiévaux (Bloch, 1924), d'Ernest Labrouste sur les causes socio-économiques de la révolution (Labrouste, 1933), ou encore ceux de Fernand Braudel dans son histoire du capitalisme de très longue durée (Braudel, 1966). Les représentants de l'école des Annales fondent aussi leurs recherches sur l'importance d'interpréter les faits du passé à la lumière des questions sociales du présent. L'historien sort alors des dogmes de la chronologie pure pour davantage questionner et croiser ses sources. L'école des Annales est par ailleurs marquée par l'influence des travaux de Karl Marx et le primat de la matérialité et des contradictions sociales sur la théorie purement abstraite, ainsi que par un souci permanent de réflexivité sur les méthodologies de recherche de la discipline. Cette tradition de recherche connaît un essor important à partir des années 1930 et elle se perpétue jusqu'à nos jours, en permettant notamment la création de nouveaux domaines de savoir comme l'histoire sociale, l'histoire culturelle ou l'anthropologie historique. Pour certains cependant, l'école des Annales souffre depuis les années 1990 d'un essoufflement et d'un « *émiettement de ses objets* » (Dosse, 1987). Celui-ci serait essentiellement dû à l'abandon des perspectives totalisantes de longue durée, qui avait contribué à forger l'originalité épistémologique de cette école. Une nouvelle page semble depuis s'être tournée avec le développement de la « nouvelle histoire », dont les représentants souhaitent reconstituer l'unité de l'histoire autour de pratiques communes partagées par toutes les disciplines des sciences humaines et sociales. La « nouvelle histoire » cultive ainsi les pratiques interdisciplinaires

1 Pour Simiand, l'histoire universitaire souffre alors d'un triple biais idéologique : l'idole chronologique qui consiste à réduire l'histoire à un recueil de fait, l'idole politique, qui réduit le domaine d'investigation à la question politique, et l'idole individuelle qui ne considère pas l'existence des processus collectifs et sociaux dans la construction de l'histoire.

de recherche, cherchent à développer des objets communs entre disciplines, et est attentive à la relation des travaux historiques avec la matérialité. Parmi ces objets, on trouve notamment la question de l'« *expérience* », que les historiens partagent avec les sociologues (Dubet, 1993), le goût pour la pratique et le rapport matériel, artisanal, et parfois artistique que ses représentants entretiennent avec la discipline. Ces travaux se retrouvent aussi sur l'intérêt que leurs représentants accordent à l'étude biographique (Dosse, 2003), ainsi qu'aux temporalités et à la sémantique (Koselleck, 1997). L'importance des archives est réaffirmée comme pratique centrale du métier d'historien, et plus généralement comme une pratique transversale et unificatrice de la recherche en sciences humaines et sociales. Le changement de sous-titre de la revue Annales, rebaptisé en 1994 « histoire, sciences sociales » en lieu et place de « Économie, sociétés, civilisation », illustre par ailleurs la vocation interdisciplinaire de cette « nouvelle histoire ».

Place du document d'archives dans la méthode de recherche en histoire

Le rappel de l'histoire et de l'historicité des pratiques de recherche sur document d'archives permet de montrer aux étudiant.es la centralité que celles-ci ont toujours eue dans la recherche historique. Pour montrer que ces pratiques sont toujours d'actualité, j'ai, dans une deuxième partie de cette séance, utilisé l'exemple d'un ouvrage récent d'histoire culturelle : *L'invention du bronzage*, de Pascal Ory (2008). La thèse simple, parlante, et ludique constitue un bon support pédagogique. Elle souligne que le bronzage n'a pas toujours été socialement valorisé dans nos sociétés. L'auteur montre que celui-ci résulte d'une invention dont il restitue les origines à partir d'un travail original sur archives. Pour montrer comment s'insère le travail sur document d'archives dans la méthode de recherche en histoire, j'ai décortiqué la structure de l'ouvrage de P. Ory. J'ai d'abord montré en quoi, comme toute recherche, l'ouvrage était fondé sur une « question de départ ». Celle-ci interroge une contradiction dans l'histoire des représentations du bronzage : comment peut-on expliquer que la couleur mate de peau, qui a été de tout temps été dévalorisée par la culture chrétienne dominante, a pris une valeur méliorative en France au XXe siècle ? J'explique à partir de cet exemple en quoi la question de départ vise à douter méthodiquement des vérités communes ou naturalisées d'une époque du type « le bronzage a toujours été à la mode ». Je montre aussi en quoi sa formulation est toujours couplée à un important travail de recherche bibliographique, afin de faire le tour de la littérature existante sur le sujet.

La présentation de la méthode de recherche se poursuit par l'explicitation de la « question de recherche ». Celle-ci vise à approfondir la question de départ au moyen de la collecte de données nouvelles sur le problème distingué. Je fais ressortir ici la centralité du document

d'archives qui est essentielle à toute recherche en histoire. Contrairement, par exemple, à la littérature, un ouvrage d'histoire ne peut en effet être écrit sans documents et sans faits. Il s'appuie toujours sur une recherche archivistique où l'historien est responsable de l'interprétation du passé. J'ai ici continué à prendre l'exemple de l'ouvrage d'Ory. Celui-ci est en effet notamment fondé sur l'analyse des archives du magazine *Vogue* afin de repérer l'époque au cours de laquelle les représentations positives du bronzage sont apparues. L'auteur a aussi eu l'idée d'étudier en quoi la médecine avait pu préconiser le bronzage comme remède. Il a aussi pu constater qu'il existait une culture médicale, antérieure à la mode du bronzage, qui préconisait le bronzage comme moyen pour lutter contre la tuberculose. Ces préconisations, que l'on sait aujourd'hui erronées, ont cependant pu être à l'origine de nouvelles représentations sociales qui ont valorisé le bronzage. Cette découverte lui a permis de construire une question de recherche : dans quelle mesure la mode du bronzage serait-elle due à autre chose qu'à un effet de mode, autrement dit en quoi aurait-elle eu des origines « objectives » ?

Après avoir expliqué cette deuxième étape de la recherche, j'ai montré en quoi le travail du chercheur passe ensuite par une troisième étape : l'analyse des matériaux et la « construction de l'objet de recherche ». Elle consiste à mettre en relation les documents collectés entre eux, et à en faire une analyse qualitative et/ou quantitative. Sans entrer ici dans les détails des méthodologies d'analyse, j'ai de nouveau utilisé l'exemple de l'ouvrage d'Ory pour montrer comment celui-ci a pu construire son objet en étudiant par exemple le parcours des médecins à l'origine de cette erreur médicale, dater précisément les origines de la mode du bronzage à partir de l'étude des références approbatives dans les magazines de l'époque, ou encore étudier les intérêts socio-économiques qui sous-tendent le développement de cette mode… Au cours de cette étape, le chercheur invente généralement des méthodes d'exploitation adaptées aux documents, ce qui lui permet de créer un objet original en croisant les données. Dans le cas d'Ory, celui-ci a reconstruit les origines de la mode à partir d'une étude des savoirs médicaux et de leur promotion. Le travail sur le passé demande toujours de recomposer ce qui a existé pour lui donner une existence objective qui a échappé aux contemporains, par manque de distance sur les évènements. L'objet de recherche d'Ory s'est donc concrétisé sur les relations entre savoirs médicaux et mode du bronzage.

J'ai enfin présenté brièvement la dernière étape du processus de recherche : celle de l'écriture, qui consiste à s'approprier son objet pour défendre une position sociale subjective. Il s'agit pour l'historien de créer un raisonnement ou une prise de position théorique qui lui permette d'éviter toutes formes d'historicisme ou de positivisme, écueils principaux de la recherche historique. La prise de position prend la forme d'un récit argumenté, accompagné de tableaux

et de représentations graphiques, qui permettent de développer et d'appuyer la thèse de l'auteur. La vérité historique apparaît alors comme construite et fondée sur un travail méthodique de récoltes de faits et d'analyse de documents. Je montre par exemple que P. Ory a choisi de se situer dans le courant dit « constructiviste » en proposant de montrer en quoi le bronzage a été « inventé ». Je termine en précisant que la production d'une recherche d'histoire répond aussi à une exigence de clarté et de simplicité du langage. Elle peut par ailleurs être valorisée sur différents supports (ouvrage, articles scientifiques, articles de presse), et être écrite à destination de différents publics.

Proposer un guide des différentes étapes de la recherche en histoire

Cette présentation brève des étapes de la méthode de recherche, et de la place centrale que la récolte et l'analyse des archives y prend, permet aux étudiant.es d'assimiler l'idée qu'il existe un ordre et des étapes rigoureuses dans une recherche. J'ai également insisté pour transmettre l'idée du caractère non relativiste de la recherche historique. Celle-ci est fondée sur la recherche et la construction d'une vérité historique. Elle est élaborée grâce à une méthode et un souci constant de vérité, mais aussi grâce à la sensibilité du chercheur, sa curiosité et sa créativité. J'ai terminé le cours en distribuant un tableau qui synthétise les différentes étapes de la recherche, en prenant appui sur l'étude de la recherche sur le bronzage. Celui-ci peut servir de référence au travail que les étudiant.es auront à faire dans les deux prochaines séances, tout autant qu'un guide pour celles et ceux qui désireraient faire de la recherche en histoire.

Séance 2 : Simuler la production d'une « question de départ » et d'une « question de recherche » (3H)

Au cours de la seconde séance, j'ai proposé d'initier les étudiant.es à l'analyse de documents d'archives dans le cadre d'un exercice dirigé en classe. Je leur ai suggéré un thème commun d'étude sur « l'histoire socio-économique du quartier du Cnam au XIXe siècle », puis les ai guidés dans les deux premières étapes de la recherche : la « question de départ » et la « question de recherche ». Le processus de recherche décrit lors de la première séance a été ici simulé sur la base d'une « mini-recherche » que j'ai préparée en amont afin de guider les étudiant.es dans leur première expérience collective de recherche. J'ai aussi insisté sur la portée et le sens du cours, en tant qu'initiation et simulation de la recherche.

Recherches bibliographiques et « question de départ »

J'ai commencé la séance en présentant les outils bibliographiques qui

Étapes de la méthode	Contenu	Pratique	Illustration de la méthode à partir de l'ouvrage de P. Ory
Construction de la question de départ	Recherche bibliographique	Lecture de la littérature existante	Les représentations sociales du bronzage
Construction de la question de recherche	Collecte des matériaux	État des lieux des fonds Critique externe des documents	Quelles sont les origines objectives de la mode du bronzage ?
Construction de l'objet de recherche	Analyse des données	Élaboration de bases de données pour exploiter les documents Critique interne des documents	Le rôle des savoirs médicaux dans le succès du bronzage (XIXe siècle à nos jours)
Sujet de la recherche	Écriture de la recherche	Aller-retour entre les différentes étapes	« L'invention du bronzage »

Tableau 1
Exemple des étapes de la méthode de recherche en histoire

sont nécessaires à la production d'une « question de départ ». J'ai passé en revue les bases de données principales de recherche bibliographique comme SUDOC, Cairn, ainsi que les bases de données de bibliothèques spécialisées. J'ai aussi insisté sur l'importance des recherches par « mots clé » et sur Internet, et sur la nécessité de traiter les documents et les informations choisis avec précaution. Une ligne de conduite est aussi donnée pour construire la bibliographie. Celle-ci doit rassembler l'intégralité des ouvrages traitant du thème, en partant des plus généraux pour aller vers les plus particuliers. Dans le cas du thème du cours, les étudiant.es ont par exemple été invité·es à répertorier les ouvrages existants sur l'histoire générale de Paris au XIXe siècle, son histoire socio-économique, mais aussi à diversifier les types de ressources en ayant par exemple recours à des atlas ou des articles scientifiques. Les étudiant.es sont aussi invité.es à se poser des questions simples sur le thème de recherche du cours comme : Quels étaient les types d'industries présentes à Paris à cette époque ? Quels groupes professionnels et/ou quelles classes sociales habitaient / travaillaient alors au centre de Paris ? Comment la classe ouvrière était-

elle définie ? Quels étaient les outils techniques de l'époque ? Les ouvrages choisis par les étudiant.es doivent permettre de répondre à des questions simples et à faire comprendre les bases du raisonnement historique et notamment l'importance de l'historicité. J'amène ensuite les étudiant.es à formuler une première question de départ en fonction de ce qui leur paraissait intéressant et pertinent d'étudier. La question de départ est ici formulée librement, et les étudiant.es sont davantage amené.es à imaginer les interrogations initiales plus qu'à faire une étude bibliographique complète et exhaustive – puisque nous sommes toujours en situation de simulation.

Première confrontation aux documents et production d'une question de recherche

Après ce premier balayage bibliographique, j'ai distribué les documents que j'avais collectés dans les archives. Ceux-ci sont des sources secondaires qui ont été produites pour leurs besoins pédagogiques par deux historiens des techniques, et fondateurs et acteurs du Centre de Documentation en Histoire des Techniques (CDHT) du Cnam[2] : Maurice Daumas et Jacques Payen. Ces deux chercheurs ont travaillé à un ouvrage sur la géographie industrielle de Paris au XIXe siècle, et produit plusieurs documents qui sont consultables dans les archives de l'établissement. Ceux-ci ne sont pas datés mais ont été vraisemblablement produits au début des années 1970, l'ouvrage qui en résultera étant édité en 1976.

Les documents sont particulièrement adéquats pour une séance pédagogique parce qu'ils constituent des archives de seconde main dont l'exploitation et la compréhension sont assez aisées. Deux corpus ont été distribués aux étudiant.es. Le premier est composé de quatre cartes de Paris qui représentent les différents quartiers, la localisation du tissu industriel, ainsi que les migrations d'installation des différents types d'industrie en fonction des époques. Les cartes présentent quatre périodes différentes : avant 1836, 1836-1846, 1846-1859 et 1873-1888 (*cf.* figure 1).

Ce corpus présente l'intérêt de pouvoir répartir les auditeurs en quatre groupes : une carte pour chaque groupe ; chaque groupe peut ainsi observer le placement des différentes industries parisiennes à une époque donnée et par quartier.

Le deuxième corpus que j'ai distribué est composé de fiches produites par les deux historiens. Elles rassemblent des informations sur les types d'industrie présents dans les différents quartiers. On peut y trouver les noms des propriétaires, les dates de l'activité de l'industrie, leur emplacement géographique, et une brève chronologie de leur histoire. Le rapport qu'entretiennent ces fiches avec les cartes n'est pas évident à trouver mais les deux

2 Le CDHT (puis CDHTE) a été créé par l'EHESS et le Cnam entre 1960 et 1962, et perdura jusqu'en 2010. Daumas et Payen ont été également très impliqués dans le Musée national des techniques (aujourd'hui Musée des arts et métiers), le premier en ayant été conservateur.

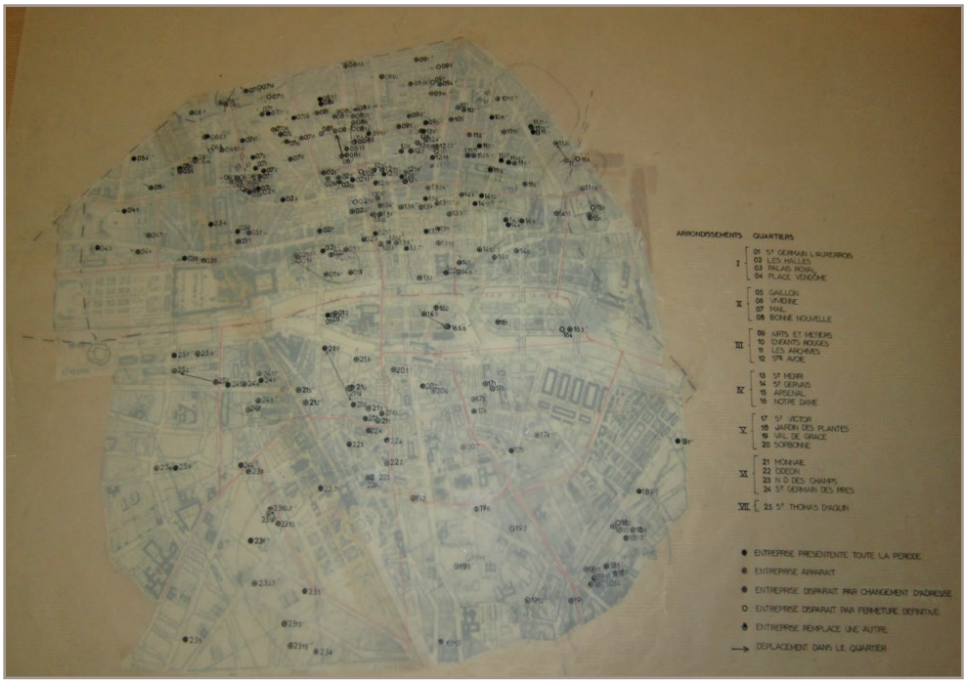


Figure 1 – Carte représentant l'évolution de la géographie industrielle en 1836
(crédit : archives du Cnam, photographie de l'auteur)

types de documents sont cependant complémentaires. Les numéros présents sur les cartes correspondent en effet aux fiches historiques des différentes industries (*cf.* figure 2).

Après avoir distribué les deux corpus, j'ai proposé aux étudiant.es de confronter leur question de départ avec les informations qu'ils pouvaient trouver dans les documents présentés. J'ai par ailleurs expliqué que l'historien ne tombe quasiment jamais sur les documents prévus. Ceux-ci ne correspondant pas nécessairement à ce qu'il attend, et ce sont le plus souvent des contradictions et des décalages avec ce qui est escompté, ce qui permet la construction de la question de recherche. Je leur ai donné quelques pistes pour étudier les documents, et surtout éviter l'écueil d'une étude trop rapide, qui pourrait conduire à des mauvaises interprétations et des contresens. J'ai notamment insisté sur l'importance d'une critique externe de chaque document (conditions de production des documents, repérage des auteurs du document, reconstruction du contexte d'écriture, intérêts qui ont présidé à leur production…).

Au cours de ce travail, les étudiant.es ont notamment été amené.e.s à faire la distinction entre sources primaires et sources secondaires, et donc à découvrir la

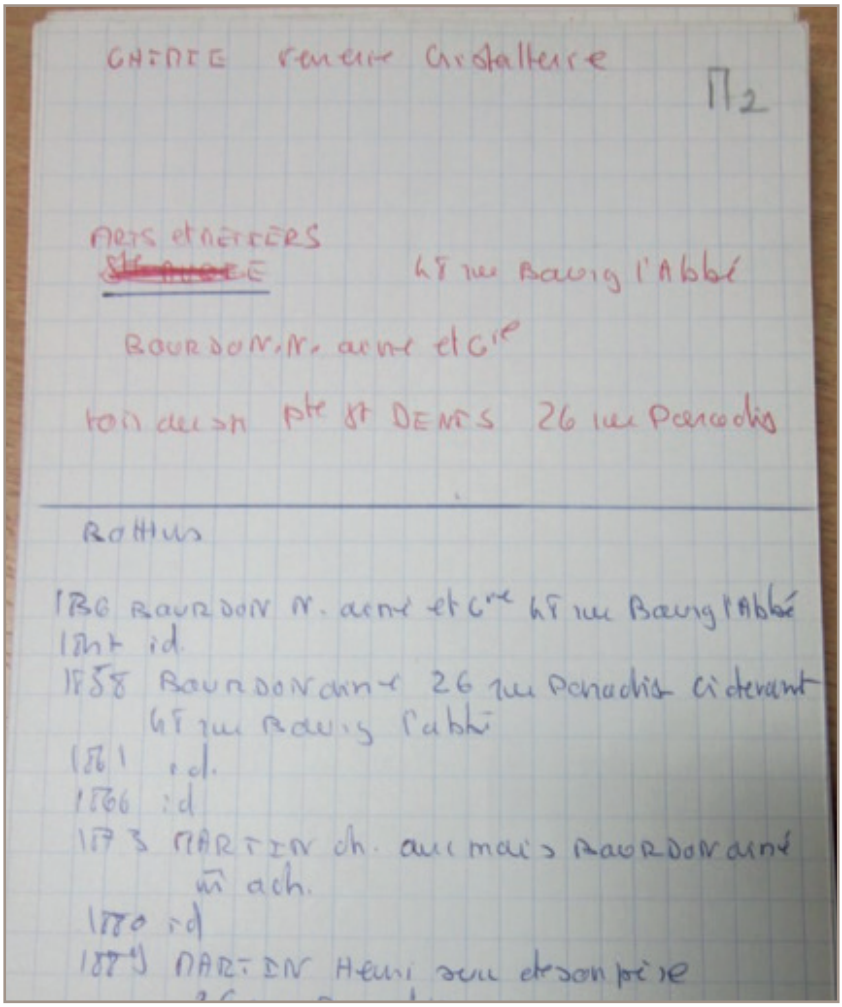


Figure 2 – Exemple de fiche répertoriant les caractéristiques de chaque unité industrielle
(crédit : archives du Cnam, photographie de l'auteur)

nature pré-construite des documents. Je les ai ensuite accompagné.e.s dans leur lecture et leur compréhension, afin de bien répertorier les informations qu'ils rassemblent (carte de Paris par époque, emplacement des différents lieux, types d'usine etc.). Ce n'est qu'après avoir réalisé ceci que je les ai invité.e.s à réfléchir à une question de recherche pertinente. Je leur ai rappelé que la question de recherche doit rester modeste, et donc que le chercheur doit pouvoir *a minima* imaginer la manière dont il va pouvoir exploiter les documents pour répondre à sa question. Je leur ai aussi demandé de continuer le travail bibliographique chez

eux, en produisant un document de 3/4 pages qui constituera leur bibliographie détaillée de l'enquête. L'idée était aussi qu'ils puissent acquérir une bonne connaissance du thème de recherche afin de pouvoir appréhender dans de bonnes conditions la prochaine séance.

Séance 3 : Produire des données à partir de documents d'archives (3H)

Au cours de la troisième et dernière séance de ce cours, j'ai simulé l'étape de la production des données. Cette étape permet aux étudiant.es de faire l'expérience de la production d'un savoir historique, aussi modeste soit-il. Il leur permet aussi d'éprouver le passage entre la question de départ et la production de données objectives qui visent à y répondre. Là encore, il s'agit de bien préparer le cours en amont (production des bases de données et des graphiques y compris) afin de guider correctement les étudiant.es.

Critique interne et production de données objectives

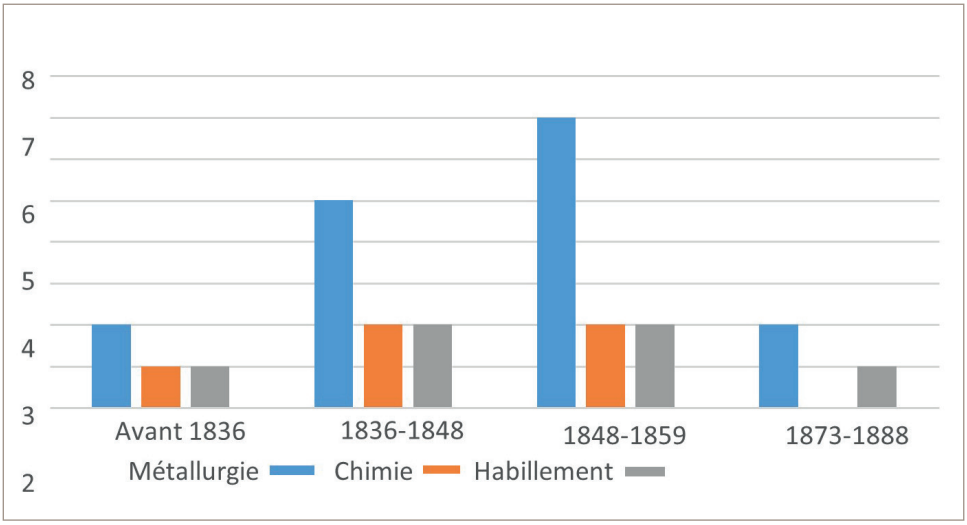
Le cours s'ouvre d'abord par un premier temps de discussion avec les étudiant.es, qui présentent leur travail de recherche bibliographique, et proposent une question de recherche. D'un point de vue pédagogique, l'idée n'est pas uniquement d'exercer l'inventivité des étudiant.es, mais aussi et surtout de leur faire éprouver l'expérience de réflexion nécessaire pour passer de la question de départ à la question de recherche, puis à la production de données objectives. Ces étapes ne sont plus définies en fonction de la bibliographie seule, mais à partir des informations disponibles sur les documents. Dans le cadre du cours, et prenant en compte le nombre assez limité de données présentes dans les documents, un consensus sur la question de recherche a été rapidement trouvé sur la question suivante : « quelle est l'évolution du tissu industriel du Cnam au XIXe siècle ». Les étudiant.es font aussi l'expérience de la périodisation, les documents présentés ne permettant pas de couvrir toute la période prévue par le thème de départ. La réduction de la recherche à l'espace du quartier du Cnam a aussi donné lieu à une sélection des fiches qui concernent uniquement les usines ayant existé dans ce périmètre. Après ce temps de réflexion collective, j'ai proposé de commencer l'exploitation des documents afin de répondre à la question de recherche. J'ai de nouveau réparti les étudiant.es en quatre groupes en fonction des quatre périodes représentées par les cartes. Chaque groupe a été invité à construire une petite base de données en produisant des champs permettant de saisir dans le détail, et en fonction des informations disponibles dans les documents, l'évolution du tissu industriel (type d'industrie, dates, nombres, déplacement des industries etc..). Ici, j'ai progressivement guidé le travail d'analyse et de production des données,

Secteurs \ Périodes	Avant 1836	1836-1846	1846-1859	1877-1889
Métallurgie	2	5	6	12
Habillement/Accessoire	1	2	2	1
Fabrication des fournitures de bureau	0	1	1	0
Chimie	1	2	2	0
Mécanique	0	0	1	0
Alimentation	0	0	1	0
Tannerie	0	0	2	2
Caoutchouc	0	0	1	1
Parfumerie	0	1	1	
Total	**4**	**11**	**17**	**6**

Tableau 2 – Base de données collectives réalisée avec les étudiant.es : Évolution du nombre d'unités industrielles par secteur d'activité et par période dans le quartier du Cnam (1836-1889)

tout en laissant les étudiant.es travailler en groupe afin qu'ils produisent eux-mêmes le savoir. C'est à partir de ce travail réalisé en commun que chaque groupe a exploité les documents pour procéder à un comptage des secteurs industriels par époque. J'ai pu ensuite mettre en commun les résultats pour produire un tableau.

Pour terminer, j'ai consigné les premiers résultats sur un graphique afin de bien rendre visible le travail effectué et de cerner les évolutions principales du tissu industriel durant la période circonscrite. Les étudiant.es ont ainsi pu élaborer et produire de premières données objectives, et commencer à faire apparaître un objet de recherche.



Graphique 1 – Évolution du tissu industriel dans le quartier du Cnam (1836-1888)

Production d'un compte rendu de recherche

J'ai proposé en toute fin de séance de commencer à discuter ces résultats en vue de la production d'un compte rendu de recherche qui permettra la validation de l'Unité d'Enseignement. Les étudiant.es ont été invité.e.s, à partir des connaissances qu'ils ont acquises du thème, à donner leur point de vue sur les résultats obtenus. Certain.e.s ont par exemple remarqué, en comparant avec des données bibliographiques, que l'évolution générale du quartier du Cnam n'avait rien d'originale et concordait avec les chiffres nationaux. D'autres ont en revanche noté pertinemment que les données produites posaient des questions nouvelles par rapport à leur connaissance, notamment quant à la spécialisation du quartier du Cnam dans l'industrie métallurgique. De nouvelles questions sont apparues : quel sens donner à cette très forte spécialisation dans la métallurgie ? Est-ce que cette spécialisation est spécifique au quartier du Cnam ou est-elle visible dans d'autres quartiers de Paris ? Pourquoi existe-t-il une baisse de la production dans ce quartier dans les années 1870 alors que les données nationales montrent au contraire un essor de la production ? Des hypothèses de recherche ont alors été posées : la singularité de cette baisse de la production sidérurgique pourrait être liée à des phénomènes propres à Paris comme la Commune de Paris, ou la politique des grands travaux. Le cours se termine en rappelant les modalités d'évaluation. Il s'agit pour les étudiant.es de rédiger un compte rendu de recherche comprenant la présentation du domaine et l'originalité de la recherche, la question de recherche, puis les premiers résultats obtenus en cours. La

conclusion doit présenter des projets de recherches futures sur le thème, et proposer de nouvelles idées d'exploration (lieux d'archives, idée de documents à collecter, nouvelles hypothèses de recherche à partir des résultats obtenus en cours…).

Conclusion : savoir-faire transmis et prolongement possible

Arrivés au terme de ce cours, les étudiant.es ont un regard plus clair sur la pratique du travail sur documents d'archives. Ils ont acquis un certain nombre de savoir-faire qui correspondent aux cheminements de toute forme de recherche historique. Bien que le cours soit fondé sur une simulation, l'expérience a été reçue de manière positive par les étudiant.es qui ont pu mieux comprendre la démarche de l'historien. Elle a permis de leur offrir les repères essentiels pour entreprendre des recherches sur document d'archives. La méthode historique apporte aussi une connaissance sur l'historicité des faits sociaux, savoir-faire indispensable à toute formation en sciences sociales. Elle permet également d'apprendre à maîtriser la critique des documents, qui est nécessaire à tous les métiers en relation avec le traitement de l'information.

Un tableau (*cf.* tableau 3) permet de résumer les savoir-faire transmis au cours de ces séances.

On peut imaginer à l'envi d'autres possibilités pour moduler et prolonger ce cours. Les étudiant.es pourraient par

Étapes de la recherche	Savoir-faire transmis
Question de départ	Savoir construire une petite bibliographie. Commencer à questionner un domaine de recherche
Question de recherche	Savoir-faire une critique externe de documents Savoir poser une question à partir des matériaux et en faisant évoluer la question de départ
Analyse des données	Commencer à savoir analyser le contenu d'un document (critique interne) Commencer à élaborer des bases de données
Ecriture	Rédiger un compte rendu de recherche Proposer des prolongements de recherches originales

Tableau 3
Résumé des savoir-faire transmis

exemple être davantage acteurs de la production de leur savoir en travaillant sur des documents originaux qu'ils auraient eux-mêmes collectés. Ce format nécessiterait de construire le cours sur une durée plus longue d'au moins une année, et sur une trentaine d'heures de cours. Il pourrait aussi être délivré dans le cadre d'un cursus de formation à la recherche en sociologie, afin de donner aux futurs sociologues de premières bases méthodologiques de recherche en archives.

Bibliographie indicative

Asselain J.-C. (1984). *Histoire économique de la France du XVIIIe siècle à nos jours, T. 1 : De l'Ancien Régime à la Première Guerre mondiale*. Paris : collection Points Histoire.

Bloch M. (1993). *Apologie pour l'histoire ou métier d'historien*. Paris : Édition critique préparée par Étienne Bloch, Armand Colin.

Braudel F. (1958). « Histoire et Sciences sociales : La longue durée ». *Annales. Économies, Sociétés, Civilisations*, vol. 13, n° 4, pp. 725-753.

Coeuré S. & Duclert V. (2001). *Les archives*. Paris : la Découverte, collection Repères.

Daumas M. & Payen J. (dir.) (1976). *Évolution de la géographie industrielle de Paris et sa proche banlieue au XIXe siècle*. Paris : Broché. Centre de documentation d'Histoire des techniques.

Dosse F. (1987). *L'histoire en miettes. Des « Annales » à la « nouvelle histoire »*. Paris : la Découverte.

Dosse F. (2003). *Le pari biographique. Écrire une vie*. Paris : la Découverte.

Dubar C. (2014). « Du temps aux temporalités : pour une conceptualisation multidisciplinaire ». *Temporalité,* n° 20, pp. 1-17.

Dubet F. (1994). *Sociologie de l'expérience*. Paris : Seuil, coll. la couleur des idées, 273 p.

Gille B. (1969). *La sidérurgie française au XIXe siècle, recherches historiques*. Genève : Droz, 317 p.

Leroux R. (1998). *Histoire et sociologie en France – de l'histoire-science à la sociologie durkheimienne*. Paris : PUF.

Koselleck R. (1997). *Expérience de*

l'histoire. Paris : Point.

Koselleck R. (1990). *Le futur passé, contribution à la sémantique des temps historique*. Traduit de l'allemand par J. Hoock et M.C Hoock. Paris : Éditions de l'EHESS.

Ory P. (2018). *L'invention du bronzage.* Paris : Champ histoire.

Prost A. (1996). *Douze leçons sur l'histoire*. Paris : Point Histoire.

Seignobos C. (1901). *La Méthode historique appliquée aux sciences sociales.* Paris : Alcan.

Simiand F. (1903). « Méthode historique et sciences sociales. Étude critique à propos des ouvrages récents de M. Lacombe et de M. Seignobos ». *Revue de synthèse historique,* vol. VI, pp. 1-22.

Imprimé dans les ateliers d'impression du CNAM
sur un papier agréé FSC/PEFC respectueux de l'environnement.

Cahiers d'histoire du Cnam

L'énergie solaire : trajectoires sociotechniques et objets muséographiques

coordonné par Frédéric Caille

Dossier : L'énergie solaire : trajectoires sociotechniques et objets muséographiques

Frédéric Caille – Introduction au dossier « *L'énergie solaire : trajectoires sociotechniques et objets muséographiques* »

Frédéric Caille – « *L'énergie solaire au Musée ? Éléments d'une lecture énergopolitique du projet muséal Sofretes* »

Lionel Dufaux – Note « *Le solaire au Musée des arts et métiers* »

Alexandre Mouthon – « *La centrale de pompage thermo-solaire de Diré au Mali (années 1970-1980). Éléments pour une évaluation sociotechnique* »

Alexandre Mouthon et **Frédéric Caille** – « *Du solaire par le froid et inversement : Techniques frigorifiques et énergie solaire, une continuité technologique oubliée* »

Marc Jacquet-Pierroulet – Témoignage « *Coopérer pour l'énergie : Retour sur une expérience de Volontaire du Progrès au Niger avec le professeur Abdou Moumouni Dioffo (1970-1972)* »

Jacques Bourachot – Témoignage « *"C'était quelque chose de super !" Dix-huit mois au Burkina-Faso avec la Sofretes 1978-1979* »

Albert-Michel Wright – Témoignage « *Bilan, préservation et avenir de l'ONERSOL de Niamey* »

Portfolio : Les archives de l'avenir. Conservation mémorielle et sensibilisation aux enjeux de l'énergie solaire

Marc Delepouve et **Bertrand Bocquet** – Article de synthèse « *Sortir des énergies fossiles. Enjeux climatiques, énergies renouvelables et questions démocratiques* »

Varia

Efi Markou – « *Jean-François Gravier (1915-2005). Engagement politique et savoir universitaire, matériel pour la construction d'une carrière d'expert* »

Guillaume Lecoeur – Témoignage « *L'expérience de l'histoire. Initiation au travail sur archives dans un enseignement sociologique au Cnam* »

• vol. 13
2020
(nouvelle série)

ISSN 1240-2745