La recherche pour l'innovation ou l'innovation pour la recherche? Le développement du photovoltaïque en Polynésie

Madeleine Akrich

▶ **To cite this version:**

Madeleine Akrich. La recherche pour l'innovation ou l'innovation pour la recherche? Le développement du photovoltaïque en Polynésie. Culture Technique, 1988, 18, pp.318-329. halshs-00081621

HAL Id: halshs-00081621
https://shs.hal.science/halshs-00081621

Submitted on 23 Jun 2006

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.

Madeleine Akrich, 1988, La recherche pour l'innovation ou l'innovation pour la recherche? Le développement du photovoltaïque en Polynésie, Culture Technique, n°18, p. 318-329

La Polynésie a connu ces dernières années un développement fulgurant des énergies nouvelles et plus particulièrement de l'énergie solaire: elle peut se targuer aujourd'hui de détenir le record du nombre de photopiles installées rapporté au nombre d'habitants.

Au dire même de ses promoteurs, ce développement est le fruit d'une "politique volontariste", concrétisée par un programme "ambitieux" de recherche et développement dans lequel se sont engagés trois partenaires de taille respectable: l'Agence Française pour la Maîtrise de l'Energie (AFME), le Commissariat à l'Energie Atomique (CEA) et le Territoire de la Polynésie (1). A l'origine de ce processus, on trouve la présence massive du CEA en Polynésie dont la direction des applications militaires (DAM) procède aux fameux essais nucléaires de Mururoa.

> "Le CEA était motivé pour valoriser son potentiel de recherche à autre chose que des opérations barbares." (2)

Et cela d'autant plus que le ministre de l'Industrie de l'époque, André Giraud, avait demandé que soient étudiées les possibilités de collaboration entre le CEA et le Territoire. Un groupe de réflexion est constitué dès 1975 pour définir la manière dont l'organisme de recherche peut contribuer aux efforts de développement local. Au lendemain de la crise pétrolière, l'énergie apparaît comme un bon thème d'intervention, autour duquel, de surcroît, peuvent s'organiser les compétences des ingénieurs et chercheurs du CEA.

Dans un premier temps, aucune exclusive ne vient limiter la définition technique du programme d'investigation: toutes les possibilités sont envisagées, depuis le nucléaire jusqu'au photovoltaïque en passant par l'hydroélectricité ou l'énergie éolienne.

Aujourd'hui, si l'on s'attache à évaluer, en termes de "produits industriels", les résultats concrets du programme, celui-ci semble s'être

concentré vers un unique objet: le fare solaire (3). Aucun des autres projets lancés par le programme n'a atteint le degré d'aboutissement de ce dernier qui représente le principal débouché commercialisable de l'activité développée par les chercheurs.

Entre ces deux moments de l'histoire, sont intervenues toute une série de décisions qui ont porté sur des paramêtres techniques, des accords stratégiques, des modalités financières, etc. Les promoteurs du projet ont fait ces choix en fonction de l'évaluation des forces en présence qu'ils ont pu effectuer, de leur position et avec les outils dont ils se sont dotés. Ces forces étaient de natures tout-à-fait hétérogènes: elles concernaient aussi bien la position respective des industriels et commerçants locaux entre eux et vis à vis de leurs homologues internationaux, l'influence relative des différents pouvoirs polynésiens, ou encore la puissance comparée des divers éléments naturels tel le vent, le soleil, l'eau, la marée... Mais, avant d'entrer dans la description, nous voudrions insister sur le fait qu'aucune de ces forces n'était a priori donnée; à l'origine du projet, c'est-à-dire en l'absence d'un acteur qui se positionne et se mesure à elles, elles sont indécidées.

L'éclectisme ou l'oecuménisme du programme initial de recherche et développement manifeste l'impossibilité qu'il y a, à ce moment-là, à déterminer qui, du soleil ou du vent, par exemple, aura le dernier mot. Seule la mise en oeuvre de la recherche permet de capter ces deux "éléments" par l'intermédiaire de dispositifs spécifiques qui les rendent en quelque sorte homogènes en traduisant leur force respective en kilowatts-heure. Les dispositifs eux-mêmes peuvent être traduits en unités monétaires au terme d'une longue série d'opérations-expérimentations qui mettent en jeu la configuration spatiale, sociale, technique, politique... de la Polynésie. Ce n'est qu'en bout de course que la comparaison des rapports entre kilowatts-heure et unités monétaires fournit une détermination possible du rapport de "force" entre le soleil et le vent ou entre un générateur photovoltaïque et une éolienne. Nous avons choisi l'exemple des éléments naturels, car c'est là que se manifeste le plus clairement la dépendance de la mesure à l'instrument

de mesure; mais nous pouvons sans difficulté étendre cette hypothèse et nous verrons dans cet article comment, en même temps qu'ils construisent le fare solaire, les ingénieurs et chercheurs impliqués produisent une description de la "société" polynésienne (peut-être vaudrait-il mieux parler de géographie au sens où la géographie est susceptible de s'intéresser aussi bien aux caractéristiques physiques qu'aux composantes économiques et sociales) à la fois dans ses spécificités et dans son rapport au monde extérieur.

Pour parvenir à ce résultat, ils sont amenés à déployer toutes sortes d'activités qui débordent le cadre strict de la recherche: ils doivent obtenir des financements, discuter avec les politiques, négocier avec les industriels, développer une argumentation commerciale, piloter des études économiques etc.

Parler du rôle de la recherche dans l'innovation industrielle revient dans ce cas précis à se poser la question de l'efficacité relative des multiples moyens d'accès au "réel" dont disposent les innovateurs pour ajuster la forme de l'objet technique au milieu auquel il est destiné. Notre effort de description portera principalement sur la restitution des processus élémentaires de décision qui ont fait passer d'un projet général à un produit particulier: tout au long de ce récit, nous nous demanderons dans quelles circonstances, à quels endroits, le recours à la recherche s'est avéré crucial, de quelle manière il est possible de qualifier les différents types de recherche à l'oeuvre, comment on peut décrire finement le rôle de cette (ces) recherche(s) dans la mise en forme de l'innovation. Mais, commençons avec un peu de "politique".

Des énergies nouvelles aux énergies renouvelables

De par sa formulation d'origine, le projet était condamné à l'innovation: comment justifier autrement l'intervention du potentiel de recherche du CEA? Le secteur de l'énergie a été choisi comme point de jonction entre certaines préoccupations de l'administration territoriale

et les compétences du CEA. Assez vite, le programme se focalise sur les énergies dites nouvelles, mise au point qui marque à la fois les ambitions du CEA et les limites dans lesquelles elles doivent se contenir: dans le domaine des énergies classiques, le terrain est déjà occupé par plusieurs industriels entre lesquels la concurrence est vive.

La recherche de financement vient orienter le contenu du programme et en fixer par la même occasion la dénomination. Dans le fourre-tout que constitue le premier projet, un chapitre est consacré aux énergies renouvelables. L'ingénieur à qui sa rédaction a été confiée a préparé un véritable programme de R&D: toutes les étapes sont précisées, de la recherche à la création d'une société anonyme. En 1978, son projet en poche, il "tombe" (selon sa propre expression) sur André Giraud, toujours ministre de l'Industrie. Le lendemain de ce jour doit avoir lieu un débat parlementaire au cours duquel est inscrite une discussion de la politique menée par le ministère de l'Industrie.

> "Il fallait à Giraud un programme qui plaise aux écolos. Il avait beaucoup d'argent, mais pas beaucoup d'idées. Immédiatement, on a été financé: j'avais prévu 5MF, j'ai demandé 12MF et on m'a dit OK pour 3 ans."

Rendre compte aujourd'hui de la position de cet ingénieur par rapport aux autres rédacteurs du premier projet est quasi-impossible; la transformation du programme "énergie" en programme "énergies renouvelables" a été tellement bien réussie que les récits recueillis auprès des différents acteurs, à l'exception de celui par lequel cette transformation s'est accomplie, ne mentionnent pas cette phase initiale d'indétermination: l'obtention d'un financement qui a permis de donner un contenu concret à des objectifs assez flous marque pour les protagonistes le véritable démarrage du projet.

Il serait tentant à première vue d'attribuer l'émergence des énergies renouvelables en Polynésie au développement du "sentiment" écologiste. Nous constatons dans cet exemple que ce "sentiment" ne devient tangible qu'au travers d'une série de médiations très concrètes: du scrutin électoral où les écologistes viennent de remporter un certain succès,

aux institutions parlementaires et aux mécanismes de financement. Le mouvement écologiste n'est, à proprement parler, cause de rien dans l'histoire qui nous occupe. Disons plus exactement que le projet "énergies renouvelables" constitue un dispositif d'intéressement au sens où l'a défini Michel Callon (4): il permet au Ministre (et par lui au gouvernement) de capter les écologistes en interposant entre eux deux la Polynésie. De même, les écologistes permettent au rédacteur du chapitre "Energies Renouvelables" d'intéresser de manière quasi-involontaire le ministre.

Nous retrouverons, tout au long de notre histoire, des mécanismes semblables d'intéressement avec des dispositifs de nature très diverse, technique, politique ou financière.

La recherche énergétique constituait le noeud entre le Territoire et le CEA. La métropole, par la voix d'un ministre, vient ajouter une nouvelle contrainte sur le contenu de la recherche. L'AFME, en tant que promoteur institutionnel des énergies renouvelables, devient, à cette même occasion, le troisième partenaire-financeur du groupe polynésien.

La mise en place du programme se manifeste par la création d'un GER (Groupe Energies Renouvelables) dans l'enceinte - barbelée - du CEA, à Mahina dans la proche "banlieue" de Papeete sur l'île de Tahiti. Ce GER va développer un certain nombre d'expérimentations autour des principales technologies "énergies renouvelables", pour tester leur faisabilité, leur adaptabilité et leur utilité dans le contexte polynésien.

Les membres du GER partent de la question:

"Qu'est-ce que **nous**, nous pouvons faire en Polynésie?"

C'est-à-dire, en d'autres termes, comment pouvons-nous nous fixer ici? A quelle place et par l'intermédiaire de quelle technologie?

Quelques années plus tard, l'histoire a subi un renversement: la Polynésie semble n'avoir attendu que le GER pour résoudre ses problèmes fondamentaux:

"Dans les années 1973-1974 le contexte socio-économique se trouve confronté à deux difficultés. D'une part la crise pétrolière

mondiale bien sûr et d'autre part un développement très rapide de l'île de Tahiti qui permet à ses habitants d'atteindre un niveau de vie très supérieur à celui des autres îles et atolls du Territoire. Ceci se traduit naturellement par une tendance à une forme d'exode rural: les îles périphériques se dépeuplent au profit de Tahiti, ce qui alourdit le climat social par une augmentation du nombre de chômeurs et d'assistés. Le seul moyen pour fixer les populations sur leurs îles d'origine est d'améliorer leurs conditions de vie, de leur proposer un confort élémentaire. Le problème qui se pose alors est celui de la distribution d'énergie..."

Entre les deux, un travail considérable de mise en forme de la Polynésie et du fare solaire a été accompli.

Des énergies renouvelables à l'énergie solaire

En tout premier lieu, nous reviendrons à notre interrogation de départ: comment est-on passé du large éventail de techologies envisagées au démarrage du projet à cet objet unique?

La réponse à cette question est loin d'être aussi claire que pouvait le laisser supposer sa formulation: la réussite du fare solaire a quelque peu éclipsé les autres projets. Nous disposons d'un certain nombre d'éléments d'auto-évaluation sous la forme de bilans sur son propre travail que le GER a présenté publiquement; il a aussi édité à l'intention du grand public des fiches qui présentent les principales caractéristiques des différentes technologies. Nous analyserons tout d'abord les argumentations développées par le GER lui-même pour justifier des moindres développements des autres filières, à savoir principalement les éoliennes, les gazogènes et les micro-centrales hydrauliques.

Dans un deuxième temps, nous proposerons une interprétation plus générale qui englobera ces trois technologies et permettra de retrouver le fare solaire.

Aux yeux du GER, les problèmes soulevés par les éoliennes sont de plusieurs types:

1) les matériels proposés par le marché français sont de mauvaise qualité: en tant que programme fonctionnant sur des fonds publics, le GER est tenu de promouvoir la technologie française quand elle existe.

2) chaque implantation demande une longue étude préalable du site; il n'y a pas de méthode systématique permettant de prévoir à coup sûr le bon emplacement pour un aérogénérateur:

> "La présence de vents exploitables en un site donné est étroitement liée à la géographie environnante (collines, végétation...) et est difficilement prévisible. On estime qu'il faut une année complète de mesures anémométriques pour se faire une idée du gisement éolien d'un site."

De ce fait, la mise en place des éoliennes requiert des délais importants qui peuvent être rédhibitoires face à d'autres technologies. Le photovoltaïque se présente très différemment: la délocalisation et l'extension des mesures est immédiate dans le cas du solaire (une carte d'ensoleillement construite à partir de données récoltées en quelques points est suffisante pour dimensionner une installation), alors qu'elle est inefficace dans le cas des éoliennes.

3) la configuration de l'aérogénérateur est mal adaptée à la Polynésie:

> "Tout d'abord, la vitesse moyenne des vents est modérée (5 à 6m/s). Ensuite les vents ne soufflent que 10% du temps au delà de 7m/s, qui est une limite importante puisque c'est à cette vitesse que les aérogénérateurs atteignent leur puissance nominale."

Nous insisterons une fois encore sur le fait que cette affirmation doit être considérée comme le résultat de la recherche entreprise par le GER: des tests de "laboratoire" (en l'occurence, le laboratoire ressemble plutôt à un hangar...) et diverses expérimentations in situ ont permis d'établir une première cartographie. La Polynésie de l'éolienne est irrégulière, capricieuse et imprévisible; la petite brise légère, les arbustes et les

cocotiers ainsi que les vallons s'y liguent pour mieux embrouiller la situation. Bien entendu, tout changement de l'instrument de mesure (des éoliennes dont la vitesse nominale se situerait autour de 4m/s par exemple) modifierait radicalement le paysage observable. Mais cela suppose des modifications considérables dans les standards de production et donc une réorganisation sur plusieurs niveaux, de l'"amont" (les composants de l'éolienne) à l'"aval" (les équipements alimentés par l'éolienne).

Alors que, dans ce premier cas, l'élément humain était absent, il devient primordial pour le gazogène; un modèle fonctionnant à partir de la bourre de coco a été mis au point par le GER et installé à Bora-Bora. D'après le GER, les problèmes techniques ont été résolus sans trop de difficultés, du moins jusqu'aux relations de la machine avec l'extérieur: la manutention nécessitée par les opérations de chargement du combustible et de déchargement des cendres reste importante, ce qui entraîne des coûts importants de main d'oeuvre. Un équipement de ce type réclame la surveillance constante d'un technicien qui régule à chaque instant son fonctionnement.

Mais l'obstacle majeur concerne l'approvisionnement en combustible. L'économie des îles polynésiennes est en jeu à travers le gazogène. A Bora-Bora, le tourisme est très développé, la plupart des habitants de l'île ont trouvé dans les hôtels et clubs de vacances des emplois qui leur procurent des revenus relativement confortables. Les cocoteraies ont plus ou moins été abandonnées: mesurés à l'aune des profits touristiques, les gains, autrefois appréciables, sont devenus négligeables. Le gazogène suppose la mise en place d'une organisation étendue qui prenne en charge la collecte, la commercialisation, la rétribution de la bourre de coco. Sur ce point, les habitants de Bora-Bora ne se sont pas laissé convaincre par le GER. Le niveau de vie, élevé, à Bora-Bora ne doit pas masquer le fait que l'introduction d'une nouvelle forme d'activité productrice et son insertion dans les activités existantes sont susceptibles de poser des problèmes dans n'importe quelle île. Toute

technologie fonctionne en réseau au sens où elle doit être capable de réaliser ou de faire réaliser une série de liens entre des éléments divers: dans le cas de l'éolienne, le réseau s'arrête immédiatement puisque le vent ne s'accroche pas sur ses pâles. Le réseau du gazogène doit pouvoir s'étendre aux habitants de l'île: il a été conçu explicitement pour instaurer une relation nouvelle entre ceux-ci et leur environnement "immédiat" et transformer la nature du lien qui les rattachent au Territoire. Les difficultés proviennent du fait qu'il faut construire une économie de la bourre de coco qui doit pouvoir se mesurer aux réseaux économiques pré-existants dont les concepteurs ont sous-estimé l'importance. Il n'y a pas de court-circuit en économie hors des réseaux qui peuvent redéfinir des distances d'une manière tout-à-fait différente de celle de l'arpenteur: le touriste américain est infiniment plus proche, plus accessible que la bourre de coco.

Dans les deux cas que nous venons de voir, il faut être capable d'imprimer des changements importants soit dans l'environnement, soit dans l'objet technique, pour que celui-ci trouve sa place en Polynésie. La micro ou la mini-centrale se présente d'une toute autre façon: c'est plutôt la concurrence difficile d'entreprises privées très motivées pour construire leur propre réseau qui permet de comprendre le désengagement du GER sur ce terrain. Deux sociétés implantées localement, la CGEE et Marama Nui (fondée par un ancien directeur de la CGEE) se disputent les marchés et sont parvenus à un partage du territoire: Tahiti pour Marama Nui, les Marquises pour la CGEE.

Notons que Marama Nui se targue d'avoir su innover en matière de centrales hydroélectriques. Contre l'avis de la filiale d'EDF, DAFECO, ils ont réalisé des installations qu'ils estiment être à la taille de Tahiti: les barrages en terre et non en béton ont permis de diviser les coûts par un facteur important (Marama Nui parle d'un facteur 5). A défaut d'EDF, un

expert de la Banque Mondiale a apporté sa caution aux installations tahitiennes.

A l'époque du démarrage de Marama Nui, le GER s'installe sur l'île de Raïatéa pour lancer son opération mini-centrales. Quelques années plus tard, le bilan est plutôt sombre surtout si on le compare à ce qui a été accompli par les "concurrents" (citer les chiffres de Marama Nui): il y a eu de multiples problèmes pour la conduite forcée et la centrale n'alimente toujours aucune ligne électrique.

> "Les recherches, l'installation et la mise en exploitation d'une mini-centrale hydraulique ne posent pas de problèmes techniques notables en comparaison des actions accompagnant l'équipement du site: réalisation du barrage de retenue, installation d'une conduite dans les règles de l'art, construction d'un local technique et de manutention. Ces difficultés sortent du cadre de compétence technique du programme et le GER abandonne maintenant la maîtrise d'oeuvre pour des projets de ce type."

Les interprétations que donnent les industriels de cet échec ont ceci de commun qu'elles s'appuient sur la position du GER. Pour l'un d'entre eux, c'est l'absence de véritable contrainte économique qui est responsable des retards et négligences:

> "Le GER est très différent d'une société privée, il n'y a pas les mêmes critères de rentabilité. Il n'y a pas la même motivation. Un temps, la centrale marchait, mais il n'y avait pas de ligne..."

Il faut noter que l'industriel qui s'exprime ainsi est directement confronté au problème de la rentabilité de l'investissement: il construit des centrales, mais opère en producteur d'électricité: le seul produit qu'il commercialise est le kilowatt/heure.

Pour l'autre industriel, les liens trop "privilégiés" du GER avec le CEA sont à l'origine de la mauvaise qualité des travaux. Dans les années de démarrage des essais nucléaires du Pacifique, des moyens considérables ont été déployés et les industriels ont souvent "abusé" de cette prospérité.

Ce qui a, en des temps moins favorables, provoqué une méfiance fondée de la part du CEA à l'encontre des évaluations des industriels.

> "Maintenant, on n'a pas ouvert la bouche qu'on est déjà trop cher. Ils ont lancé un appel d'offre pour la conduite: c'est une petite entreprise 50% moins chère que nous qui a obtenu le marché. Mais il y a des tas de détails qu'on ne peut connaître sans avoir l'expérience: ils ont traité le problème de la conduite forcée comme celui d'une conduite d'eau!"

Pas plus que le gazogène, l'hydraulique n'est seulement une question d'énergie: l'eau et la bourre de coco se dérobent aux tentatives d'appropriation du GER qui découvre progressivement à la fois la multiplicité des ressources polynésiennes et la singularité de sa propre position: ils ne peuvent tout capter de là où ils sont, il leur faut soit se déplacer (c'est une des stratégies que nous verrons à l'oeuvre dans le cas du solaire avec la création d'un GIE - groupement d'intérêt économique - chargé d'assurer la commercalisation des systèmes), soit s'aboucher avec d'autres qui jouent un rôle d'intermédiaire dans la mesure où ils ont eux-mêmes construit leur réseau (les maires et les curés, sans cesse cités par ceux qui ne veulent pas croire en la paresse des natifs pour le ramassage de la bourre de coco, les entreprises expertes dans le cas de l'hydraulique).

Nous avons vu un certain nombre de difficultés rencontrées dans le développement par le GER des technologies autres que le solaire: toutes les argumentations que nous avons détaillées ont été élaborées en même temps ou après les expérimentations. Au travers de ces différents exemples, nous pouvons tirer quelques conclusions sur la nature de la "recherche". Il ne s'agit pas pour l'organisme qui met en oeuvre cette recherche de déterminer, à environnement donné, les formes technologiques les plus appropriées. Le GER construit des dispositifs-épreuves pour forcer l'environnement, incertain, à se déterminer. "Sur quoi et sur qui puis-je compter?": telle est la question que pose le GER

aux éléments techniques, économiques, sociaux, géographiques qu'il tente de manipuler.

C'est le lot commun de l'innovateur que de ne pas être tout de suite face au produit miracle, de devoir négocier avec un grand nombre d'acteurs, d'être obligé de modifier son innovation au fur et à mesure de son développement etc... Nous avons des éléments sur les difficultés que le GER doit surmonter dans les différents domaines d'intervention qu'il envisage. Il nous reste à expliquer pourquoi il choisit de faire porter ses efforts plutôt sur la partie solaire de son programme de recherche que sur les projets que nous venons de passer en revue. Notre hypothèse qui sera étayée dans la suite est que la forme prise par les systèmes solaires au cours de leur développement aboutit à l'exclusion ou au moins à la marginalisation des autres technologies. Celles-ci ont ceci de commun qu'elles représentent des dispositifs de production relativement centralisée au sens où la quantité d'énergie qui justifie leur installation est d'un autre ordre de grandeur que la consommation individuelle d'un foyer. Elles doivent être accompagnées d'un dispositif de distribution, sous la forme d'un réseau, et sont à ce titre en situation de concurrence/ comparaison directe avec les systèmes traditionnels de fourniture d'électricité. Or, toute l'"astuce" déployée dans le cadre du développement de la filière photovoltaïque consiste précisément à la rendre "incomparable" aux systèmes classiques ou au moins à déplacer le champ de la comparaison en forgeant de nouveaux instruments de mesure. A ce point de l'argumentation, nous ne pouvons plus avancer sans entrer dans le contenu des systèmes photovoltaïques.

De l'énergie solaire au fare solaire

Au moment même où le programme "énergies renouvelables" démarre, l'électrification des 130 îles et atolls polynésiens est en route à un rythme accéléré. Rappelons que la Polynésie compte 170 000 habitants dont plus de 100 000 pour la seule île de Tahiti alors que les

70 000 restants sont répartis sur une surface équivalente à celle de l'Europe.

Dans la grande majorité des cas, l'électrification se fait à partir d'un groupe diesel auquel est raccordé un réseau de distribution. Quelques îles des Marquises ont été équipées par des micro-centrales hydrauliques.

L'organisation administrative polynésienne est relativement complexe: il y a tout d'abord le Territoire dont nous avons déjà parlé et dont les compétences s'étendent à tout ce qui touche à la vie économique locale. L'Etat français, qui semble à première vue ne s'être réservé que des secteurs très spécifiques où s'exercent traditionnellement la souveraineté nationale (questions monétaires et militaires) assure la tutelle directe des communes. Celles-ci, créées récemment, échappent à l'autorité du Territoire. Il y a donc en quelque sorte deux partitions de la Polynésie qui se superposent sans avoir en principe de point commun. Cette situation est à l'origine de certaines ambiguïtés sur les rôles de chacun. Les communes sont compétentes pour tout ce qui touche à l'électrification; en particulier, elles déterminent le prix du kWh. D'un autre côté, le Territoire a la responsabilité de fixer les prix de l'énergie sur toute la Polynésie.

Plusieurs régimes sont possibles pour la réalisation par les communes de leur électrification:

- la commune fait appel à une société en régie pour exploiter le réseau qu'elle possède et gère;
- la commune donne une concession à une société qui investit, mais elle a toujours la prérogative sur les prix; elle peut être obligée de payer au concessionnaire la différence entre prix de revient et prix de vente du kWh;
- la commune forme un syndicat d'économie mixte.

De manière générale, les maires ont, pour des raisons politiques évidentes, tendance à fixer un prix de vente du kWh inférieur au prix de revient: celui-ci est élevé étant donné l'éloignement des îles par rapport au "centre", Tahiti. Le prix du fuel est identique dans toute la Polynésie

grâce à un système de péréquation mis en place par le Territoire. Mais la maintenance reste d'un coût élevé; par ailleurs, des fûts de gasoil sont couramment perdus lors des opérations de livraison, particulièrement périlleuses lorsqu'il n'y a pas de passe permettant l'accès au lagon qui ceinture l'île. La fourniture d'électricité est une activité hautement déficitaire qui conduit les communes à rechercher des subventions auprès du Territoire. D'où l'intérêt de ce dernier pour l'élaboration de solutions, entre autres techniques, qui permettraient de supprimer ou de contenir dans des limites raisonnables les déficits d'exploitation.

De quelle manière le GER peut-il intervenir à ce niveau? Nous avons vu les difficultés que suscite la mise en place de trois technologies; le photovoltaïque pose de manière immédiate un autre type de problème, celui du coût du kWh produit. Etant donné la durée de vie supposée des panneaux et leur prix unitaire, il est impensable de remplacer les groupes électrogènes par des cellules photovoltaïques, si l'on maintient à l'identique le "reste" du système, c'est-à-dire un réseau de distribution alimentant en courant alternatif chaque habitation, laquelle est équipée des appareils électro-ménagers standard. Cela représenterait des investissements considérables, hors de proportion avec ceux que demande un groupe électrogène. La formule:

"On ne peut pas vendre le kWh photovoltaïque."

résume assez bien le problème tel qu'il a été appréhendé par les ingénieurs du GER.

L'idée qui a présidé au développement du fare solaire a été de tirer parti d'une caractéristique du photovoltaïque: sa modularité. L'unité de production industrielle est constituée par le panneau dont la puissance avoisine les 33 Wcrête: cela signifie que, placé sous un soleil de 1000 Watt par m2 (c'est-à-dire approximativement les conditions réunies à midi sous l'Equateur...), le panneau produira en une heure 33 Watts. A partir de cette base, l'"utilisateur" est libre de faire ce qu'il veut: il peut assembler des milliers de panneaux dans de grandes centrales comme cela s'est fait aux Etats-Unis; ou il peut au contraire utiliser le photovoltaïque sous la forme de petites unités de production autonomes.

Dans le cas polynésien, une chose est claire: tant qu'on rassemble des panneaux en un point unique et que l'on fait circuler des kWh, on est perdant. Si l'on décide de disséminer les panneaux dans chaque unité consommatrice, c'est-à-dire la maison, à ce moment-là, le problème peut être ré-étudié de bout en bout. Par cette opération, on rend formellement (à tous les sens du terme) incomparables les deux systèmes (le groupe et le photovoltaïque), au moins du point de vue de la mesure classique que constitue le kWh.

Le GER va, à partir de là, essayer d'imposer deux nouveaux critères de mesure: le service rendu et le coût moyen par habitation du réseau de distribution d'électricité.

Le premier critère s'adresse plus particulièrement au consommateur, qu'il soit réel ou qu'il s'agisse du consommateur tel que se le disputent les fournisseurs de systèmes d'électrification et les demandeurs-payeurs que sont les communes. "Oubliez l'électricité, ne pensez plus qu'à l'éclairage, à la télévision ou au réfrigérateur": tel est en substance le message que veut faire passer le GER. Une fois qu'on a convaincu les consommateurs ou leurs représentants que ce qu'ils désirent c'est du froid, de la lumière ou de la distraction et non de l'électricité, peu doit leur importer la manière dont ce froid, cette lumière ou ces distractions sont produites à condition de faire la démonstration qu'il y a un avantage économique certain à utiliser le photovoltaïque plutôt que le groupe diesel ou toute autre source d'énergie centralisée. Le moyen de rendre cette démonstration irréfutable, aujourd'hui mais aussi dans l'avenir proche, c'est de définir comme coût de référence le coût du réseau de distribution (hors moyens de production) dans un système centralisé. De la sorte, se trouvent rendus négligeables par avance tous les développements des nouvelles technologies de production centralisée; seule une diminution des coûts de construction des réseaux (dont la technologie est relativement figée) peut remettre en cause l'avantage construit du photovoltaïque:

"Si le réseau permet de payer le photovoltaïque, alors vous êtes gagnants.."

La démarche adoptée par le GER pour l'étude d'une opération d'électrification se déroule en plusieurs étapes:

- à partir du plan détaillé du village, on dessine le réseau de transport qui permet de desservir toutes les maisons; on évalue son coût de construction;
- on divise ce coût par le nombre de maisons desservies, on obtient le coût moyen par maison d'un réseau de distribution;
- on détermine l'installation photovoltaïque individuelle (qui comprend le générateur, le système de stockage de l'énergie et les équipements électroménagers) dont le coût est inférieur ou égal au coût moyen par maison du réseau de transport.

Notons que l'on n'obtient par cette méthode que des ajustements locaux qui sont fonction de la topographie de chaque village: dans les "îles hautes" (anciens volcans émergés) où l'habitat est très dispersé, le coût du réseau de transport est élevé, ce qui permet de fournir, pour son prix, une installation photovoltaïque confortable; dans les atolls (couronne de terre autour d'un cratère effondré sous la mer), l'habitat est concentré et les installations photovoltaïques sont en conséquence réduites à l'éclairage.

Le passage par l'économie permet au GER de construire un système technique qui soit homologue de la répartition spatiale de l'habitat: cette transformation d'un collectif (formé par des "décisions individuelles" concernant la place de chaque maison) en un objet individuel reproduit collectivement (le fare solaire) représente à elle seule une innovation intéressante.

Dans la mise en forme du fare solaire, aussi sommaire soit-elle, apparaît une première description de la Polynésie. Imaginons un pays en développement dont l'électrification est en cours et qui a déjà consacré de lourds investissements à la construction d'un barrage: un "GER" local ne peut pas poser l'alternative solaire/classique dans les

mêmes termes. Il existe dans ce cas, au moins de manière virtuelle (plans dans l'espace et plans d'investissements) un système dans lequel nombre de villages non encore électrifiés sont pris en compte: il est alors plus difficile de défaire cette solidarité matérielle et financière et de donner un sens à la séparation production/ transport en "localisant" les coûts de transport.

Le coût prohibitif d'une centrale solaire couplée à un réseau de distribution permet de comprendre pourquoi le GER choisit de supprimer le réseau dans sa définition du système technique. Mais, à ce stade, le fare en tant que maison entièrement équipée ne s'impose pas: on peut imaginer un montage dans lequel les communes prennent en charge l'investissement représenté par l'installation de générateurs autonomes en laissant à l'utilisateur le soin de choisir et de payer les équipements dont il souhaite disposer.

Derrière ce choix d'"organisation" et de répartition des rôles qui est posé dans l'alternative générateur autonome / fare solaire, se trouve un autre choix "technique" et en deuxième ressort "économique" entre deux filières: la filière courant continu et la filière courant alternatif. Nous nous trouvons là à un point nodal en ce sens qu'une foule de décisons qui concernent aussi bien la stratégie de recherche du GER, sa position dans le milieu industriel et commercial, la liberté de l'utilisateur, les obligations de la commune etc. se trouvent engagées à travers ce choix dit "technique" entre continu et alternatif.

Les modules photovoltaïques produisent du courant continu; cette énergie peut être stockée dans des batteries quand les besoins du consommateur (éclairage...) se font sentir à une période de la journée où les modules sont inactifs, faute de soleil.

A partir de là, on peut:

- mettre un onduleur qui transforme le courant continu en courant alternatif, lequel va venir alimenter des équipements standards;
- ou utiliser directement le courant continu pour faire marcher des équipements spécifiques.

La première solution présente l'inconvénient d'être assez vorace en énergie: l'onduleur "pompe" pour lui même au moins 30% de l'énergie disponible et les équipements ordinaires sont loin d'être optimisés en ce qui concerne leur consommation énergétique. Par contre, le consommateur dispose d'un large choix d'appareils à des prix très intéressants.

La deuxième solution peut être beaucoup plus économe en énergie et donc permettre un investissement plus faible en panneaux photovoltaïques; mais les équipements qui fonctionnent en courant continu sont rares et chers.

Le GER teste un certain nombre d'onduleurs disponibles sur le marché: dans la gamme des puissances nécessaires pour l'alimentation d'une maison, les onduleurs apparaissent comme des éléments très peu fiables. Deux stratégies de recherche sont donc envisageables:

- l'une qui s'attache à mettre au point un onduleur très fiable (ce qui conditionne le fonctionnement de l'ensemble de l'installation domestique) et d'un bon rendement;
- l'autre stratégie possible consiste à développer une gamme de produits courant continu, spécialement conçus pour le photovoltaïque, c'est-à-dire dont la consommation soit la plus faible possible.

Le GER a choisi la deuxième option: il est évident qu'il s'agit d'un pari, le moins aveugle possible du point de vue du GER, mais d'un pari tout de même. Un autre centre de recherches qui dépend aussi du CEA mais qui est implanté en métropole à Cadarache a fait le choix inverse... Nous reviendrons sur ce point un peu plus tard.

L'analyse associée à ce choix peut être résumée ainsi: le problème principal qui doit être résolu ou au moins contourné pour le développement du photovoltaïque est le coût du kWh. Les fabricants de photopiles s'attachent à diminuer le coût du Watt installé; le GER, lui, peut à l'autre bout de la chaîne diminuer le nombre de kWh nécessaires

au bien-être du consommateur. Cela n'est possible qu'en contrôlant de très près ce dernier:

> "Le kWh est très cher, donc il faut trouver des équipements qui consomment 2, 3, 5 fois moins que les équipements ordinaires. Il faut savoir que quand on laisse le choix au consommateur, le critère de la consommation est traité par dessus la jambe. Les gens disent: "c'est pour vendre sa camelote" et ils achètent n'importe quoi. La norme 24V, c'est pour piéger le consommateur pour les économies d'énergie."

On ne saurait être plus clair: le choix de la filière continu se présente comme le moyen de mettre au pas hommes et machines et de "verouiller" le coût du fameux "service rendu". Nous voici revenu au fare solaire dont nous comprenons mieux la stature emblématique: il est au centre de l'analyse technico-socio-économique effectuée par le GER.

Dans la même logique, le GER se consacre à son programme de recherches orienté vers la mise au point d'une gamme de produits à usage domestique. En s'affirmant pour le développement d'une production locale d'équipements, il se donne les moyens de son objectif - la création d'un système technique - et fournit aux instances politiques le motif d'un redoublement de leur bienveillance à son égard.

> "On s'est orienté vers la production locale, d'abord dans un intérêt politique évident, et aussi parce qu'on avait besoin de produits relativement spécifiques par rapport à la grande série. On avait plus de chances de faire des produits mieux adaptés aux conditions locales."

Avant de passer à cette nouvelle étape, arrêtons-nous quelques instants sur le travail accompli par le GER. A l'origine, nous l'avons vu, le problème du GER est de trouver sa place dans la géographie polynésienne: en ce sens, sa situation est très proche d'une entreprise qui cherche à s'ouvrir de nouveaux marchés. En quoi consiste leur "recherche"? Ils accumulent un certain nombre de "faits", qui

concernent l'organisation polynésienne, l'état des techniques, ou l'économie de l'électricité; c'est-à-dire qu'ils effectuent une sélection des acteurs à qui ils font confiance, au risque d'être "trahis" au beau milieu de l'aventure, de découvrir au bout de 5 ans que les panneaux n'ont pas la durée de vie annoncée de 15 ans, d'assister impuissants à l'apparition sur le marché d'un onduleur idéal à un prix dérisoire, ou encore de voir le gouvernement polynésien renversé aux prochaines élections et leurs successeurs refuser la poursuite du programme... Cette confiance peut être le produit d'une décision "politique" ou stratégique, ou simplement le conséquence de l'impossibilité de soumettre ses hypothèses à une quelconque procédure de validation. Dans d'autres cas, la confiance est différée et suspendue au résultat d'une épreuve que fait subir l'innovateur à ce ou ceux qu'il veut forcer à se décider; il produit lui-même des faits par des tests ou des expériences diverses: "l'onduleur tombe en panne au bout de X heures de fonctionnement."... Et ce qu'il y a de proprement nouveau dans tout cela, c'est cet agencement particulier de faits divers que doit nouer un projet technique "le fare solaire", produisant dans le même mouvement l'analyse de la situation, le problème et la réponse à ce problème. Un des membres du GER a d'ailleurs cette phrase éloquente, à propos des débuts du projet:

> "Un groupe de réflexion est constitué pour aider le Territoire à formuler les difficultés à résoudre, à étudier et proposer des solutions."

Cette construction par le GER de la Polynésie, il faut encore la réaliser. Pour le moment, nous nous sommes essentiellement placés du point de vue du GER. Afin de restituer aux choix effectués par le GER leur pleine valeur de prises de positions stratégiques, nous allons faire un tour du côté d'un organisme qui peut être capable à terme de défaire le travail du GER, tout en ayant des liens indirects forts avec les promoteurs du solaire: une partie des actionnaires du GIE SOLER participent au fonctionnement d'Electra qui est une société d'économie mixte, créée en 1983 à l'initiative du Territoire.

"La mission d'Electra est la gestion des réseaux de distribution électrique dans les archipels. L'objectif recherché est de normaliser la gestion tant technique qu'économique des réseaux de distribution d'électricité, de proposer un cadre commun pour la tenue des comptes et de rationaliser au mieux les équipements de chaque exploitation."

Cette société regroupe les principaux acteurs industriels impliqués dans l'électrification en Polynésie (c'est-à-dire entres autres: la CGEE, Marama Nui, Electricité de Tahiti (EDT) qui gère la plus grande part du réseau de Tahiti...) à l'exception du GIE SOLER, qui avait été créé en 1981 pour assurer la commercialisation des systèmes solaires. L'objectif poursuivi par le Territoire au travers de la création d'Electra est clair: puisqu'on lui demande des subventions pour le fonctionnement des réseaux électriques, il veut disposer d'éléments comptables qui lui permettent d'apprécier la situation, c'est-à-dire d'imputer correctement les responsabilités des surcoûts. Il s'agit de remédier aux cas de gestion désastreuse de la part des municipalités, mais aussi d'empêcher les industriels de s'entendre dans son dos pour sur-facturer leurs prestations.

Electra est donc un dispositif d'intéressement au sens où nous l'avons défini plus haut, à destination des industriels et des responsables communaux: les maires doivent accepter de céder la maîtrise de l'électrification s'ils veulent obtenir des subventions; les industriels doivent se montrer raisonnables, s'ils veulent avoir une chance de recouvrer leurs créances qui sont déjà nombreuses. Le travail d'Electra consiste à créer les conditions d'un marché économique là où, dans chaque parcelle de territoire peuvent exister des situations de monopole. Pour arriver à ce but, il faut:

- introduire la séparation des pouvoirs: les maires sont accusés de ne pas sanctionner le défaut de paiement pour ne pas décourager l'électeur qui sommeille en tout abonné; on les soupçonne aussi d'être sensibles à certains avantages personnels que leur offriraient les industriels pour les "aider" à prendre leur décision;

- créer les conditions de la concurrence: ce qui ne peut se faire qu'en réunissant tous les concurrents et tous les "marchés" en un même lieu et en instaurant un unique objet de transaction, le kWh.

> "Notre objectif essentiel, c'est de cerner le coût du kWh pour pouvoir mettre en place une péréquation. En France, c'est ce qu'a fait EDF au départ: normaliser les matériels, les méthodes de facturation, le prix du courant..."

Partie d'un problème proche de ceux formulés par le GER (comment remédier à des situations de perpétuel déficit?), Electra suit un mouvement en sens inverse dans la mesure où sa démarche la conduit à abolir l'"espace" dans sa définition de la Polynésie. Arriver à mettre en place une péréquation, c'est ruiner les efforts du GER pour imposer le fare solaire: la spatialisation la plus extrême des coûts qui est réalisée par le GER vient s'opposer à la non-spatialisation totale à laquelle veut arriver Electra. Dans ces conditions, il n'est guère étonnant que les deux organismes restent assez distants l'un vis à vis de l'autre. Par contre, le fait que plusieurs entreprises (EDT et CGEE) figurent au conseil d'administration du GIE SOLER et d'Electra donne un relief particulier à cette situation.

En fait, malgré la dissemblance des moyens, l'objectif poursuivi par EDT au travers du GIE SOLER et d'Electra est identique: elle lutte pour la vérité des prix. EDT est la plus importante des sociétés électriques de Polynésie: elle assure la distribution d'électricité sur Papeete et la côte ouest de Tahiti ainsi que sur un certain nombre d'îles de taille plus modeste. Comme nous l'avons vu précédemment, c'est la commune, autorité concédante en matière d'électricité, qui détermine le prix du kilowatt/heure, prix qui doit être entériné par le gouvernement territorial. En principe, il ne peut y avoir de concession déficitaire; mais la pratique peut infléchir les principes:

> "Jusqu'en 1983, Papeete pouvait couvrir les pertes qu'EDT avait sur d'autres réseaux. Depuis, il y a eu une nouvelle tarification qui a été mise en place à l'instigation des autorités territoriales et qui ne tient compte que des charges à Tahiti. Sur les îles, il y a un

déficit constant: ce qui veut dire qu'EDT subventionne les administrations et les hôtels. Dans les négociations sur la tarification pour Tahiti, nous pouvions imposer un prix; on ne l'a pas fait parce qu'on craignait des mesures de rétortion par ailleurs."

Dans le combat pour la vérité des prix (qui se présente donc comme la conséquence du refus par le Territoire d'une forme de péréquation tacite dont les sociétés électriques ont la maîtrise), le solaire peut être un allié intéressant:

"Le directeur d'EDT a souligné que la meilleure chance de voir des solutions solaires choisies dans ce contexte était de faire payer aux usagers des réseaux le kWh à son coût réel."

"L'administrateur unique (toujours le directeur d'EDT) présentent les problèmes bloquant les électrifications solaires:

- coût réel du kWh non répercuté sur le consommateur - prime à la mauvaise gestion; (...)"

EDT tente, à travers sa participation au fonctionnement du GIE SOLER, de constituer la "vérité des prix" en dispositif d'intéressement lui permettant de compter sur de nouveaux alliés: les promoteurs du solaire peuvent contribuer au déplacement de l'équilibre des forces du côté d'EDT au détriment des autorités politiques qui cherchent à fixer un prix de l'électricité ausssi bas que possible. Le "paradoxe" de la double appartenance d'EDT à des organismes qui poursuivent des objectifs s'excluant l'un l'autre, disparaît dès lors que l'on dé-compose les forces dont l'alliance se trouve momentanément scellée par des projets techniques ou technico-économiques.

Il faut des procédures très particulières, comme le scrutin par exemple, pour transformer de l'intéressement en adhésion pure et simple. Dans le feu de l'action, les positions respectives des différents partenaires sont un enjeu: qui, finalement, aura interessé l'autre?

Electra doit rassembler des données éparses; plus les points de collecte sont nombreux et plus Electra aura de force, car plus elle pourra, par l'intermédiaire de chiffres, jouer les uns contre les autres et affiner la

répartition des causes et les responsabilités. La péréquation - qui décale d'un cran la question du prix - se conçoit comme la stabilisation, à un moment donné, du partage entre causes maîtrisables et causes non-maîtrisables de la différence, et l'effacement de cette différence quand elle n'est plus que le produit d'un résidu considéré comme arbitraire. La mise en place d'une péréquation implique la constitution d'un espace collectif consensuel formalisé grâce à un ensemble de normes, de "règles de l'art", de mesures etc.

Dans ce cadre, sa position sur le solaire est claire: le solaire sera centrale débitant sur un réseau du 220V alternatif ou ne sera pas. Dans un avenir plus ou moins lointain, Electra envisage l'utilisation du solaire conjointement avec d'autres technologies classiques dans le but d'optimiser le rendement du système électrique global:

> "La solution mixte permettrait d'arrêter les groupes pendant les heures creuses. Si on a le solaire et le réseau, on économise sensiblement. Tout le monde sera content comme ça."

A la répartition spatiale entre technologies proposée par le GIE, Electra oppose une répartition temporelle. Elle se situe en cela dans la continuation directe des "électriciens traditionnels" qui ont affiné tout au long de l'histoire de l'électricité de nombreux outils de gestion du temps.(5)

L'exemple d'Electra ilustre le fait que les décisions prises par le GER et le GIE à sa suite n'ont d'autre nécessité que celle de la logique de leur positionnement dans le monde qu'ils ont eux-mêmes défini. Que leur stratégie soit gagnante et nous verrons ce qui n'est qu'une conjecture en pointillé devenir le trait plein du cours de l'histoire et entrer dans le cadre de la rationalité triomphante. Plusieurs voies d'innovation (à dominante technique ou à dominante gestionnelle) sont tracées vers l'horizon que constitue pour le Territoire la maîtrise du processus de distribution électrique; mais elles impliquent à terme des définitions différenciées de la Polynésie et de son développement futur.

Parmi les options défendues par le GIE et le GER, se trouve, nous l'avons vu, le choix de la production locale. Une des grandes questions qui agitent les stratèges de la politique scientifique est de savoir s'il faut chercher à développer des pôles de recherche locale, ce que peut signifier cette "localité" et dans quelle mesure elle peut contribuer à redéfinir les relations entre le local et le global qui lui est associé.

Du fare solaire au refrigérateur solaire

Nous avons vu comment l'idée de la spécificité des équipements solaires est née de l'analyse socio-économique menée par le GER. Un pas supplémentaire est franchi quand, pour parvenir à intéresser les acteurs polynésiens, la notion de production locale est introduite dans le projet. Elle est abondamment argumentée par ses promoteurs:

> "Plusieurs facteurs font des fabrications de matériels solaires une occasion exceptionnelle de mise en place de production locale:
>
> - ce produit est nouveau: aucune fabrication n'existe de par le monde pour les réfrigérateurs ou congélateurs solaires, pour les régulateurs, les supports et cadres de photopiles, les lampadaires...
> - ce produit remet en cause les productions de série consommables. L'accent est mis en tout priorité sur les économies d'énergie, sur la robustesse et sur une simplification du produit pour le limiter à répondre au strict besoin initial, en éliminant les gadgets inutiles;
> - ce produit est spécialement conçu pour les habitants des Archipels(...)
> - la fabrication locale permet une grande souplesse d'adaptation et un temps de réponse sans comparaison avec l'extérieur pour intégrer une modification du produit."

Le pari le plus important concerne le réfrigérateur, puisqu'il ne s'agit pas seulement de produire un équipement particulier à la Polynésie, mais aussi de développer si possible un marché à l'exportation. A travers cette expérience, il est question en partie de renverser les habituelles relations entre centre et périphérie: l'industriel local part sur cette idée d'un "coup" à réaliser, idée qui lui est soufflée par le GER, unique médiateur par lequel il a accès au monde du photovoltaïque.

> "Quand on m'a dit que le marché pour les réfrigérateurs était trop petit et que les constructeurs ne voulaient pas s'y mettre, j'ai pensé qu'il y avait un créneau."

Responsable d'un département à l'intérieur de la CGEE, il fait un pari audacieux, puisqu'en choisissant de faire crédit au GER de son interprétation des potentialités du marché, il "trahit" en quelque sorte sa propre entreprise dans laquelle d'autres départements ont pour mission la commercialisation et l'installation de groupes électrogènes et de centrales hydroélectriques.

Des discussions ont lieu entre l'industriel et le GER qui permettent de préciser les performances attendues du réfrigérateur, les problèmes particuliers posés par le courant continu etc. Un schéma de l'équipement est tracé avec ces principales caractéristiques dimensionnées au mieux par rapport aux objectifs techniques recherchés. Parmi les composants qui doivent être importés, se trouve une pièce essentielle, l'évaporateur. L'industriel passe commande:

> "Il y a une entreprise, Rubanox, qui fabrique à Chambéry des évaporateurs en alu pour l'Europe et une partie du monde. On écrit à Rubanox, on donne les cotes etc; on échange des télex, jusqu'au jour où ils nous demandent: "Vous en voulez combien?". Réponse: "500 pour 3 ans." A partir de là, le silence le plus complet. Je vais voir le directeur pendant mes vacances en France. Je casse les pieds. Il me dit: "La quantité est trop faible.". Je lui montre ma doc: réfrigération solaire, cocorico, mauvaise réputation de la France dans la Pacifique Sud, l'Atome... J'ai eu la chance de tomber sur quelqu'un qui devait avoir la fibre patriotique; le gars accroche, il

m'emmène voir l'usine. Là, j'ai compris. Il y a trois usines comme ça dans le monde. Ils les sortent en une demi-heure les 500 exemplaires. Le prototype au 1/10 coûte 50 000F, rien que pour rêgler les paramêtres."

La leçon est dure à digérer: l'industriel n'est pas libre de déterminer à lui tout seul sa taille; ce n'est que dans l'interaction avec les autres qu'elle s'évalue. Cette taille est susceptible de varier au cours de l'histoire: on ne répond pas au correspondant qui a la naïveté de demander 500 exemplaires d'un évaporateur; quand ce correspondant arrive avec, derrière lui, le CEA et les expérimentations nucléaires, on lui fait visiter l'usine; parce qu'en plus il est sympathique et accrocheur, on va jusqu'à lui proposer un arrangement et lui prodiguer des conseils:

"Le directeur de l'usine était prêt à les faire . Il fallait lui passer commande et il les faisait en une fois; il fallait lui payer tout de suite. Il m'a dit d'essayer avec des plaques de série. J'avais amené un petit magnétophone et je l'ai enregistré. J'ai donné la bande à mes gars et ils ont suivi tous ses conseils. On a fait une évaporation Roll Bond, on augmentait notre rendement; pendant un mois, ça a été l'enthousiasme."

Mais, avec cette imprévisibilité inhérente à l'innovation, l'alliance sur laquelle reposait le devenir du réfrigérateur solaire polynésien s'effondre: l'industriel est "lâché" au milieu du gué par ceux-là mêmes qui l'ont entraîné. Dans un premier temps, le GIE se refuse à payer d'avance 500 évaporateurs, alors qu'il n'est pas totalement sûr de leur utilisation. Qu'à cela ne tienne, l'industriel exploite la deuxième solution proposée par le fabricant. Mais progressivement, le GIE se rend compte qu'il faut beaucoup de temps pour parvenir à un produit qui soit viable sur le marché. Or, le temps manque: les efforts développés pour convaincre les maires mais aussi les individus sont sur le point d'aboutir et le refrigérateur n'est pas prêt.

"Au début, j'avais réuni mes principaux collaborateurs ainsi que les ouvriers et je leur avais demandé combien de temps il leur fallait pour construire le frigo. J'ai eu les réponses de chacun. On

pensait mettre 48h; en fait, il faut plus de 120h de travail. Parce qu'on est en Polynésie..., il manque toujours quelque chose. En plus, on est opposé à la chaîne: ce n'est pas possible en Polynésie et ce serait dommage. Si le gars, il a envie de fumer sa cigarette, il s'arrête..."

De plus, il est très difficile, quand on ne dispose que de moyens relativement artisanaux, de produire des objets dont la qualité esthétique soutienne la comparaison avec les équipements standards. La finition du réfrigérateur est un casse-tête. Le choix du matériau extérieur, un aluminium à surface travaillée, qui a la particularité de résister à la corrosion due à l'atmosphère saline des îles du Pacifique, présente l'inconvénient de ne pas résister à l'acidité contenue dans la sueur des mains: de manière inattendue, l'industriel se retrouve avec des frigos couverts d'empreintes noires indélébiles et qu'il lui faut peindre, ce qui entraîne des surcoûts considérables. Dans ces conditions, mieux vaut viser directement la qualité supérieure et prendre de l'inox à surface travaillée; mais là, c'est le GIE SOLER qui conteste ce choix: "ça fait papier chocolat". Celui-ci ne fait que retransmettre les réactions des utilisateurs potentiels qui font la grimace, déçus de ne pouvoir disposer, comme tout le monde, d'une caisse d'un blanc immaculé. La finition des angles intérieurs de la caisse demande un travail considérable pour un résultat unanimement reconnu comme médiocre. L'argumentaire développé pour justifier la production locale se trouve pris en défaut par l'expérience: ce n'est ni plus rapide, ni plus adapté, c'est plus cher et personne ne veut de la rusticité... Pour imposer un réfrigérateur polynésien, il faudrait être capable de jouer avec les goûts des consommateurs, les usages sociaux en cours dans les entreprises, le prix de vente, la taille du marché, les fabricants de composants primaires, les conditions climatiques, le temps de liaison avec les centres d'approvisionnement etc.

Ce qui signifie que la définition du "local" comme unité pertinente de recherche et développement, n'est pas seulement affaire de volontarisme politique. Il y a une foule de paramêtres, inattendus et que

seule la "recherche" permet de tester et de déterminer, autour de la définition desquels se joue la "localité" ou la transférabilité du produit de la recherche. Le choix d'un matériau inhabituel, mais pourtant adapté, pour l'extérieur du réfrigérateur engage, par l'intermédiaire du consommateur, une confrontation entre réseaux de production à l'échelle mondiale et réseau local. Derrière le dessin de l'arrondi d'un angle, se mesure la différence entre les chaînes de production qui ont des millions de consommateurs et des décennies d'histoire derrière elles, et quelques artisans habiles mais démunis de l'outillage manuel et méthodologique permettant d'aborder ce problème.

Le GIE arbitre cet affrontement muet: il commande en Europe des caisses Philipps; seuls les derniers montages seront faits sur place. A ce stade de la réalisation du projet, il choisit de jouer la satisfaction du consommateur plutôt que celle du personnel politique dont l'appui lui est en principe acquis. Il a été créé pour cela, c'est-à-dire pour permettre d'appréhender plus directement les desideratas du public. Tant qu'il s'agissait de tester la faisabilité financière de l'opération, les personnalités politiques étaient considérées comme des représentants satisfaisants des utilisateurs; lorsque l'on doit déterminer le détail de la configuration des objets, il est nécessaire de susciter des réactions: une vitrine en plein coeur de Papeete, des publicités dans les journaux, une présence sur le petit écran, voilà un échantillon des moyens dont se dote le programme Energies Renouvelables.

Le directeur du GIE est celui-là même qui rencontra Giraud un jour de 1978 et qui, depuis ce jour là, n'a cessé de se démener pour que le projet qu'il avait élaboré se réalise pleinement. Estimant que le laboratoire ne suffit plus pour le faire avancer, il se porte volontaire pour déplacer le champ de la confrontation au terrain commercial. Cette unité du "manager" tout au long de l'histoire est un facteur crucial, au sens où elle permet de préserver une unité de stratégie et une cohérence des choix qui sont effectués dans différents registres. Le directeur du GIE avait en tête, dès le départ, les formes ultérieures de développement du

projet (y compris la création d'un GIE): le fare solaire comme tout indissociable entre équipements de production et équipements de consommation, ne se conçoit que dans l'optique d'un réseau commercial particulier.

Rappelons l'hypothèse de base faite par le GER: un équipement spécifiquement solaire (courant continu, basse consommation) n'est pas vendable tel quel: il ne soutient pas la comparaison dans la vitrine d'un détaillant d'équipements électro-ménagers tant la différence de prix est importante (un frigo solaire peut coûter de 5 à 10 fois plus cher qu'un frigo ordianire). Malgré l'apparente succession temporelle des décisions prises, il y a un lien constitutif fort entre la forme prise par les objets techniques et la forme du système commercial: c'est, entre autres raisons, pour cela que nous avons décrit l'expérience polynésienne comme la constitution d'un système technique.

Ce point prend encore plus de relief si nous nous penchons sur le cas d'innovateurs concurrents dont nous avons déjà parlé: le laboratoire de recherche en énergies nouvelles du CEA, situé à Cadarache en France. Ce laboratoire, qui pré-existait à l'expérience polynésienne, a été plus ou moins laissé à l'écart de celle-ci: ce sont les ingénieurs des applications militaires qui, implantés sur le terrain, ont pu monter sur place le projet. Pendant ce temps, le laboratoire de Cadarache nouait un certain nombre de relations avec des pays africains et suivait diverses expérimentations tentées dans ces pays; cela l'a amené à analyser de manière radicalement différente le problème de la diffusion des technologies solaires.

L'AFME qui, en tant que promoteur institutionnel des Energies Nouvelles et Renouvelables, soutient les deux équipes, provoque par le biais de séminaires leur confrontation et participe de ce fait à la mise en forme de la grande "controverse française" en matière de photovoltaïque, parfois résumée dans une opposition entre tenants du continu et tenants de l'alternatif.

L'équipe de Cadarache conteste la valeur exemplaire de l'expérience polynésienne: la présence de ce qu'ils appelent une "agence de

programme", ayant les moyens de contrôler les applications du photovoltaïque leur paraît un facteur décisif mais malheureusement exceptionnel. Le photovoltaïque ne pourra se développer significativement que s'il est entièrement banalisé; tel est le point de départ de leur analyse:

> "Qu'est-ce que j'entends par banalisation? C'est la normalisation des filières de commercialisation. Il faut ôter toute spécificité au solaire, à part le fait qu'il y a un générateur un peu particulier. Il faut diffuser le photovoltaïque par les installateurs et électriciens existants. Il faut pouvoir passer du solaire au non-solaire. Les équipements doivent être standardisées pour que les méthodes de travail habituelles puissent être utilisées."

Comment arriver à rendre le photovoltaïque équivalent aux autres technologies de production d'électricité? Il faut travailler sur les interfaces au sens large: la pièce maîtresse est constituée par l'onduleur qui doit être "rustique, de bas coût, et qui puisse avoir un large domaine d'applications hors du solaire". C'est l'onduleur qui permet d'accoupler le photovoltaïque aux équipements électroménagers, hifi etc. que l'on trouve "dans les supermarchés". A côté de l'onduleur, d'autres éléments sont nécessaires. Puisque l'un des objectifs visés est la souplesse d'adaptation solaire/non solaire, il faut prévoir des "tableaux" qui permettent de brancher plusieurs sources d'énergie, de varier la contribution de chacune en fonction des types d'usages en cours ets. Enfin, le dernier type d'"interface" sur lequel travaille le laboratoire de Cadarache est d'une nature un peu différente:

> "Ce n'est pas le client qui fait le marché, mais l'installateur; donc il faut faire des catalogues pour qu'il puisse faire ce qu'il veut. Ca doit être la référence de base de l'installateur; on doit y trouver des schémas de branchement, des descriptifs des différents composants, les normes de réussite et tous les accessoires..."

Bien malin celui qui déterminera la stratégie gagnante sur le long terme! Chacune est parfaitement cohérente et "adaptée" au monde que s'est donné chaque équipe de chercheurs. Il est rare de se trouver devant

deux stratégies aussi clairement dissemblables, alors même qu'elles sont mises en oeuvre au même moment pour atteindre le "même" objectif: la diffusion étendue du photovoltaïque. La répartition inégale du "crédit" est au fondement de cette différence: dans un cas, on croit les hommes politiques, dans l'autre, les techniciens. A partir de là, les seules questions qui se posent concernent la validité du choix des représentants - est-ce que ce sont bien les électriciens et les installateurs qui "font" le marché? -, et la capacité des chercheurs à traduire dans leurs dispositifs la demande de ces représentants - est-ce que le fare solaire peut être admis comme substitut du réseau électrique classique? Seule la cohérence interne des choix effectués en regard des hypothèses de départ peut être mesurée: il serait vain d'essayer d'évaluer une grille unique le travail de chaque équipe de recherche.

Et la recherche?

Tout au long de cet article, nous avons vu un système technique se mettre en forme, avec les opérations diverses que cela nécessite, les difficultés que cela pose, les controverses que cela suscite. Où en est-on arrivé?

Malgré l'incontestable réussite du GIE SOLER, l'épopée ne pourra être close tant que n'aura pas été trouvé le moyen d'inscrire les systèmes photovoltaïques dans la durée. L'expérience polynésienne a montré que le réseau construit une irréversibilité forte: dans tous les endroits où existait un réseau, même très limité, il a été impossible de "faire passer" le solaire pour les habitations non électrifiées. En revanche le solaire reste fragile dans la mesure où aucun système permettant de récupérer auprès des usagers tout ou partie des investissements effectués n'a été mis en place. La difficulté est liée au fait que le système photovoltaïque, dans sa forme spécifique du fare solaire, casse la relation habituelle entre les efforts accomplis par le producteur pour délivrer des

kilowatt/heure et la satisfaction de l'usager qui consomme ces mêmes kilowatt/heure: l'utilisateur n'est plus soumis qu'à l'arbitraire des forces de la nature. Cette difficulté est redoublée par les acteurs qui ont tiré parti (et même l'ont explicitement conçu pour cela: qu'on se rappelle les calculs technico-économiques du début) de cette particularité technique: un des arguments de séduction auprès des usagers a été la "gratuité" du solaire (bien que - et même parce que, serait-on tenté de dire - les promoteurs d'en défendent). Nous laisserons là les acteurs polynésiens, en nous interrogeant sur ce que cette expérience permet de déduire concernant la spécificité des activités de recherche.

Nous avons utilisé le mot "recherche" dans la mesure où les acteurs l'utilisaient eux-mêmes pour désigner de façon globale leur activité. Nous avons vu que ces activités étaient de nature très diverse, puisqu'elles comprenaient la "recherche" de financement, la "recherche" de partenaires politiques, la "recherche" de collaborations avec des industriels... Il y a cependant dans ce processus un moment intéressant pour ce qui nous concerne: lorsqu'il commence à y avoir des controverses sur ce qu'est la "recherche", qui en fait, en quoi ça consiste, qui doit être financé et par qui, etc.

Ce mouvement intervient tardivement lorsque le cadre institutionnel final ou provisoirement final (en Polynésie, tout bouge très vite...) est en place, c'est-à-dire lorsque coexistent le GER qui est devenu "Institut Territorial pour les Energies Nouvelles dans le Pacifique Sud", en résumé l'"Institut", le GIE SOLER et un certain nombre d'industriels impliqués comme la CGEE et Total Polynésie. Du point de vue financier, le fonctionnement de l'Institut est entièrement pris en charge par le programme; le GIE SOLER reçoit des subventions indirectes sous la forme par exemple du salaire du directeur pris en charge par le CEA ou l'attribution de postes de VAT (appelés du Contingent qui effectuent leur service militaire comme coopérants techniques dans les DOM-TOM); l'acheteur, qu'il soit consommateur individuel ou collectivité, reçoit une subvention qui représente la moitié du prix des panneaux solaires et bénéficie de prêts à des taux particulièrement avantageux.

Le premier point de discussion concerne le GIE SOLER. Malgré les efforts déployés pour fiabiliser les produits, le démarrage est assez rude.

> "Dans l'ensemble, ça marche; mais on croule sous le service après vente: si on n'avait pas des arrières aussi solides, on ne tiendrait pas le coup. "

Les revêtements qui protègent l'arrière des photopiles se décollent, ce qui peut entraîner à terme une corrosion de la connectique; les frigos ne descendent pas à la température préconisée, leurs poignées de porte cassent entre les mains de leurs manipuleurs; les luminaires "claquent" les uns après les autres, les batteries soigneusement testées s'avèrent avoir une longévité bien moindre que celle prévue; les congélateurs consomment nettement plus quand il y a une couche de glace de quelques centimêtres au fond que lorsqu'ils sont à vide et entraînent parfois de ce fait la mise hors service de toute l'installation etc. Pour le directeur du GIE SOLER, ces incidents font partie du cours normal des choses; par contre, il se plaint d'avoir à en assumer seul les risques:

> "On a vraiment l'impression d'être en première ligne; on prend tous les coups y compris financiers. Ce que je trouve anormal, c'est qu'il y a 20% de l'argent qui est consacré au client et rien pour nous. Tout le reste, c'est pour les frais de fonctionnement de l'Institut. On dit de plus en plus que l'après-vente fait partie de l'avancée de la technique. Dans une phase de démarrage, je crois qu'il faut soutenir ce type d'activités."

Au partage abrupt inscrit dans le découpage institutionnel entre activités de recherche, de production et de commercialisation, le directeur du GIE voudrait substituer un continuum qui lui permettrait de bénéficier des ressources de la recherche. De son côté, l'Institut fait la sourde oreille. "Dépossédés", par la création du GIE, du développement du projet le plus abouti, le fare solaire, il leur faut réinstaller leur position en spécifiant leur champ de compétence. La transformation du GER en Institut territorial marque la volonté du pouvoir local d'asseoir la réputation de la Polynésie dans la zone Pacifique Sud et de se défaire de

l'image "essais nucléaires" qui lui colle à la peau. Il s'agit de développer un pôle d'expertise scientifique et technique qui puisse tenir tête aux établissements similaires des grandes puissances de la zone, c'est-à-dire l'Australie et la Nouvelle Zélande.

Les activités de l'Institut s'orientent autour de trois grands axes:

- ils expérimentent d'autres technologies, d'une manière assez semblable à celle qui a conduit à l'élaboration du fare solaire: le distillateur d'eau de mer, l'unité d'osmose inverse pour le dessalement de l'eau de mer, le groupe électrogène à l'huile de coprah, les pompes solaires font partie des équipements concernés par ces expériences;

- ils maintiennent et étoffent la plate-forme d'essais de matériel qui permet de tester, entre autres, un certain nombre d'éléments clés du dispositif "fare solaire": batteries, panneaux, systèmes de régulation...

- enfin, ils poursuivent un ensemble de recherches autour de questions qui agitent d'autres laboratoires dans le monde, comme la mise au point d'une méthode de mesure du productible d'une photopile. Jusqu'à présent, la puissance crête est l'unité de mesure adoptée pour qualifier la "valeur" d'une photopile. Rappelons qu'une cellule d'un watt-crête délivre un watt/heure quand elle est exposée à l'Equateur pendant une heure sous un soleil vertical qui rayonne 1000W/m^2 et qui a le spectre du soleil à midi. Un certain nombre d'acteurs parmi lesquels des industriels contestent le bien-fondé de cette mesure: pour eux, l'utilisateur n'est pas intéressé par l'énergie que la photopile est capable de fournir quand elle est placée dans des situations exceptionnelles, mais par celle qu'elle va lui donner pendant une journée standard. Le problème est de savoir comment on décrit une journée: provisoirement, il est décidé de la considérer comme une variation continue de l'inclinaison, de la puissance et du spectre du soleil (les nuages ne sont pas pris en compte...). Chaque type de mesure et d'instrument construit une certaine définition du "temps" (6): le passage envisagé du watt-crête au productible marque le déplacement d'un temps "abstrait" défini par le laboratoire au temps de l'utilisateur. La définition du productible peut être interprétée comme la tentative d'ériger un système de mesure en

porte-parole d'un acteur, ici l'utilisateur. L'enjeu de cette controverse est assez important: les photopiles en silicium amorphe ont un rendement médiocre placées dans les conditions de détermination du watt-crête; mais elles possèdent l'avantage sur les photopiles en silicium cristallin de continuer longtemps à produire de l'électricité alors que l'éclairement est faible et insuffisant pour les photopiles en silicium cristallin. L'adoption d'un type de mesure plutôt qu'un autre est susceptible de redéfinir différemment les rapports de force au sein du monde industriel.

Au delà du simple positionnement de l'Institut dans le milieu de la recherche internationale, la mise au point d'une méthode de mesure du productible peut permettre d'affiner les opérations de dimensionnement des installations qui doivent aboutir à l'optimisation de la satisfaction de l'utilisateur, c'est-à-dire à une sécurité d'approvisionnement maximale au coût minimal.

Pour ces différentes activités, l'Institut est en relation constante avec une antenne parisienne qui lui sert d'intermédiaire avec les acteurs français, que ce soient les industriels, les organismes de financement ou les laboratoires de recherche. Il occupe donc une position clé de plaque tournante entre la Polynésie et le reste du monde: ainsi, tous les panneaux photovoltaïques sont convoyés par le CEA depuis la France, entreposés à Mahina où est implanté l'Institut, testés par ce dernier puis récupérés par le GIE. Vis à vis de l'unique producteur de photopiles françaises (les seules utilisées en Polynésie), l'Institut joue le rôle d'un contrepoids en réintroduisant par son expertise une forme de concurrence que le marché ne peut assumer. Pour les industriels polynésiens, l'Institut "est" le monde extérieur et leur permet de mettre à l'épreuve, sans danger immédiat, leur travail face à celui de leurs concurrents potentiels. Du moins, s'agit-il là de l'interprétation donnée par l'Institut. Car l'industriel se sent parfois "floué". Poussé par l'Institut ou le GIE à développer tel ou tel type de produit, il a l'impression d'être seul à prendre les risques de la recherche, alors qu'à son sens l'Institut devrait en assumer une part plus conséquente.

"Il y a eu l'unité de dessalement d'eau de mer. Un échec! Le directeur de l'institut me montre le projet. Je suis emballé... En Août 1984, il me demande un exemplaire. On le fait, ça nous coûte 500 000FCFP (27 500FF). On envoie... on analyse cette eau, elle a un goût très fort. Pourtant, on a employé des matériaux alimentaires. On nous demande de refaire la même chose sans gelcotte noire, avec la résine brute. Même résultat. J'ai demandé à ma femme qui est docteur en chimie d'étudier le problème avec ses collègues... Personne n'a trouvé la solution. Le directeur a dit qu'il paierait. Il veut en parler à son président maintenant! Comme si moi, j'en avais parlé à mon président pour les faire! On fait les choses avec beaucoup d'enthousiasme. On est prêt à recommencer, mais avec un bon de commande; j'ai pris des risques; je vais en prendre de moins en moins. Je me suis mouillé seul."

L'industriel était parti sur l'idée d'une solidarité entre les différents acteurs impliqués dans le processus de recherche, solidarité qui existait de fait au démarrage du groupe Energies Renouvelables lorsque celui-ci devait encore faire ses preuves. Mais l'Institut remet les pendules à l'heure; pour eux, le partage du travail et des formes de rétribution est déjà accompli: que les industriels prennent leurs responsabilités en innovant et les chercheurs pourront leur apporter une validation de leur travail et une certaine ouverture sur l'extérieur. Par leur position de noeud sur le réseau Energies Renouvelables, ils sont à même d'obtenir des informations sur les recherches similaires en cours et de se procurer, pour les analyser, les nouveaux matériels: leurs conseils valent de l'or pour les industriels qui ont accès, grâce à eux, à une procédure rapide d'évaluation de leurs innovations.

Nous sommes partis avec une poignée de chercheurs, certes bien appuyés, qui devaient gérer une multitude de rapports avec le monde qui les entourait. A l'arrivée, nous nous trouvons devant plusieurs acteurs institués qui se bagarrent sur la définition de leurs domaines. L'Institut lutte pour asseoir une position incontestée et non concurencée d'organisme de recherche.

Si l'on s'attache à préciser les relations entre recherche, innovation, et industrie, le cas polynésien nous fournit une bonne illustration de ce qui peut se passer dans un contexte où le potentiel de recherche est quasi-inexistant. Nous constatons que la recherche, au sens strict du terme, loin d'être à l'origine du démarrage du projet, doit être davantage considérée comme un de ses résultats; un réseau de plus en plus articulé se construit insensiblement en même temps que le fare solaire: progressivement, des industriels, puis des commerciaux, puis des revendeurs, puis des installateurs et enfin des utilisateurs sont intégrés par la mise en forme du fare solaire. A la fin de ce processus, nous avons des activités de production, des individus qui consomment, des chercheurs qui, de "groupe" sont devenus Institut, et ont construit leur territoire propre par délégation progressive d'un certain nombre d'activités. Cette délégation qui permet de "purifier" le contenu de la recherche, s'effectue dans la détermination et la fixation des composantes techniques du fare solaire: c'est seulement lorsque l'on tient l'utilisation comme terminaison provisoire d'une chaîne qui va des équipements de consommation, aux dispositifs de production d'énergie en passant par les systèmes de stockage et de régulation, qu'on peut se poser le problème du productible d'une photopile qui devient une question de recherche fondamentale. Il s'agit de l'intégration finale de l'existence de cette chaîne dans la définition la plus "hard" de la photopile, c'est-à-dire dans la définition d'une unité de mesure physique.

La recherche s'envisage dans ce cas précis comme la consolidation finale d'un réseau par la construction d'un système de mesure. A la question habituelle: "Faut-il faire de la recherche pour innover?", l'exemple de la Polynésie propose une réponse en forme de boutade: "Peut-être faut-il innover pour faire de la recherche!"

Notes

(1) Comme tous les Territoires d'Outre-Mer, la Polynésie est dotée d'un gouvernement propre: l'ensemble des instances décentralisées est désignée ssou le terme de Territoire. Quand nous emploierons le terme territoire, nous ferons référence à l'entité géographique et non politique.

(2) Cet article s'appuie sur une étude de terrain menée en 1985 qui a comporté un grand nombre d'entretiens avec les différents acteurs concernés. Les citations sont extraites de ces entretiens, ou proviennent de différents rapports ou prospectus rédigés par les principaux protagonistes.

(3) Le "fare" désigne la maison en langue polynésienne.

(4) Michel Callon, Eléments pour une sociologie de la traduction, L'année Sociologique 1986, Paris

(5) A ce sujet, on peut voir: Thomas P. Hugues, L'électrification de l'Amérique, Culture Technique n°10, Juin 1983; Michel Colombier et Jean-Charles Hourcade, Développement des réseaux et modulations tarifaires dans le temps et dans l'espace, CIRED, EHESS, Paris, (à paraître)

(6) Geoffrey Booker, A Well-Ordered Reality: Aspects of the development of Schlumberger, 1920-39, Social Studies of Science, SAGE, London (à paraître)