



HAL
open science

Deux sophistications techniques ou la projection sur un territoire d'une idéologie de la rationalité technique : la centrale nucléaire de Brennilis EL 4 et l'usine marémotrice de la Rance. Bretagne 1967.

Françoise Sioc'Han

► To cite this version:

Françoise Sioc'Han. Deux sophistications techniques ou la projection sur un territoire d'une idéologie de la rationalité technique : la centrale nucléaire de Brennilis EL 4 et l'usine marémotrice de la Rance. Bretagne 1967.. 2013. hal-00864145

HAL Id: hal-00864145

<https://hal.science/hal-00864145>

Preprint submitted on 20 Sep 2013

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.

Manuscrit auteur suite au colloque : “Puissance, résistances et tensions. Histoire des mobilités électriques (XIXe-XXe siècles)”, 28 juin 2012 – ISCC. Colloque international organisé par Mathieu FLONNEAU (Université Paris I Panthéon - Sorbonne - ICT) et Arnaud PASSALACQUA (Université Paris Diderot - ICT) dans le cadre du projet : Mobilités et électricité sur la moyenne et longue durée : controverses, idéologies et pratiques

Françoise SIOC'HAN, docteur de l'Université de
Rennes 2,
historienne des arts et de l'architecture et historienne du génie civil,
chercheuse associée Centre François Viète, Université de Nantes et UBO Brest.

DEUX SOPHISTICATIONS TECHNIQUES OU LA PROJECTION SUR UN TERRITOIRE D'UNE IDEOLOGIE DE LA RATIONALITE TECHNIQUE : LA CENTRALE NUCLEAIRE DE BRENNILIS EL 4 ET L'USINE MAREMOTRICE DE LA RANCE. BRETAGNE 1967.

TWO TECHNICAL SOPHISTICATIONS OR THE PROJECTION ON A TERRITORY OF AN IDEOLOGIE ABOUT TECHNICAL RATIONALITY : THE BRENNILIS NUCLEAR POWER STATION EL 4 AND THE TIDAL POWER ON THE RIVER RANCE. BRITANY 1967.

RESUME : La période des années soixante voit la production d'énergie en France, jusque là d'origine thermique et d'origine hydraulique, relayée par d'autres filières dans un contexte de redéploiement industriel et commercial.

Des ingénieurs des Ponts rejoignent le Commissariat au Plan, en particulier la Direction de la Prévision du Ministère de l'Economie, se détournant, apparemment, de la technique pour lui préférer des recherches d'études opérationnelles et surtout des études d'économie mathématique. D'autres quittent le secteur public pour rejoindre le secteur privé.

Deux réalisations, reposant sur une assise scientifique aux caractéristiques séduisantes, se projettent dans une vision prospective du développement régional de l'Ouest de la France.

EL 4, centrale de démonstration servant à l'expérimentation d'une solution adoptée au Canada, est édifiée entre 1961 et 1967 dans un canton déshérité. D'une puissance de 70 mégawatts, elle doit opérer avec un réacteur modéré à l'eau lourde avec refroidissement au gaz carbonique. L'expérience des monts d'Arrée s'implante dans le périmètre du futur parc régional d'Armorique composant avec plusieurs partenaires avec l'intrusion inattendue de “la rue de Valois”, direction de l'Architecture.

Sophistication technique de l'utilisation ancienne de la force des marées, générée par l'intrusion de l'économétrie dans le système de pensée des X et Ponts, l'estafilade du barrage-pont de la Rance au-delà de sa forte prégnance cognitive revêt une signification iconique dans un contexte économique particulier.

En cours d'achèvement, elle est inaugurée en novembre 1966 par le Général de Gaulle.

Une structuration audacieuse, sophistiquée, orgueilleuse, fascinante, monumentale, invitant à une contemplation ambiguë sur fond d'une modification de la morphologie du site.

Deux empreintes résultantes d'une expression architecturale d'une intense rationalité : Subordination ? Agression? Altération de deux sites ?

L'intégration de ces équipements avait valeur de test.

Quels furent les champs de transmission de ces deux filières de production d'énergie électrique, tentées en France, à titre expérimental, restées sans suite? Que représentèrent les champs d'application de ces deux prototypes construits en Bretagne, estimés comme des “cadeaux flatteurs” pour certains, inappropriés à un territoire pour d'autres ou comme des occasions manquées.

La créativité scientifique est-elle une garantie de croissance et de réussite économique?

Deux challenges en matière de génie civil avec des applications techniques innovantes.

Une compétence: celle de Robert Gibrat et d'autres personnalités.

D'un point de vue double, d'historienne des arts et de l'architecture et d'historienne du génie civil, nous nous proposons de décrypter ces deux édifices de leur genèse à leur dimension iconoclaste.

ABSTRACT: The period of the Sixties sees the energy production in France, until then of thermal and hydraulic origin, relayed by other dies in a context of industrial and commercial redeployment. Engineers of the “Ponts” join the Commission of the Plan, in particular the Management of the Forecast of the Ministry for the Economy, being diverted, apparently, from the technique to prefer searches for operational studies of mathematical economy. Others leave the public sector to join the private sector.

Two achievements, resting on a scientific base with tempting characteristics, are projected in a prospective vision of the regional development of the West of France.

EL 4, power station of demonstration being used for the experimentation of a solution adopted in Canada, is built between 1961 and 1967 in a disinherited canton. Having a power of 70 megawatts, it must operate with a moderated reactor with heavy water and a cooling with carbonic gas. The experiment in the mounts of Arrée is established in the perimeter of the future regional park of America composing with several partners with the unexpected intrusion of “the street of Valois”, direction of Architecture.

Technical sophistication of old use of the force of the tides, generated by the intrusion of econometrics in the system of thought of Polytechnicians “X” and “Ponts et Chaussées”, the slash of the dam-bridge of the Rance river beyond its strong cognitive pregnancy take on an iconic significance in a particular economic context.

In the course of its completion, is inaugurated in November 1966 by the Général de Gaulle.

An audacious structure, sophisticated, proud, attractive, monumental, inviting to an ambiguous contemplation on the background of a modification of the site morphology.

Two imprints resulting from an architectural expression of an intense rationality : Subordination? Agression? Deterioration of two sites?

The integration of these equipments had value of test.

Which were the fields of transmission of these two production industries of electrical energy, tested in France, on an experimental basis, remained without continuation? What represented the fields of application of these two prototypes built in Brittany, estimated like “flattering gifts” for some, inappropriate to the territory for others or like missed occasions.

Is the scientific creativity a guarantee of growth and economic success?

Two challenges as regards civil engineering with innovating technical applications.

A competence : the one of Robert Gibrat and other personalities.

From a double point of view, the one of the historian of arts and architecture and the one of the historian of civil engineering, we propose to decipher these two buildings, from their genesis to their iconoclastic dimension.

Mots clefs : Bretagne - électricité – énergie – territoire – planification – usine marémotrice – centrale nucléaire.

©

Françoise SIOC'HAN, docteur de l'Université de Rennes 2,
historienne des arts et de l'architecture et historienne du génie civil,
chercheuse associée Centre François Viète, Université de Nantes et UBO Brest.

“Quant aux paysans, aucune de leurs revendications spécifiques n'avaient été satisfaite. Ils réclamaient l'indexation des prix agricoles : ils eurent le barrage de la Rance et l'école de la Santé de Rennes.”

Joseph Martray, “20 ans qui transformèrent la Bretagne. L'épopée du CELIB”, 1983, p.116.

Barrages, réactions populaires, barrages de tracteurs, brèche, plan, protection, réactions nucléaires, réacteur, barrage des voies ferrées, pétrole brut, sacrifiés, défavorisée

Ces mots émaillent les titres des quotidiens, des reportages télévisuels en Bretagne en ces années soixante. La Bretagne est dans l'attente d'une impulsion à donner à l'activité économique.

Une Bretagne : entre barrages, réactions et réacteur.

Le 4 décembre 1967, le 24ème et dernier groupe de la Rance entre en service. La construction de cet aménagement hydraulique, inauguré précocement le 26 novembre 1966, avait débuté en 1961.

Le 1er mars 1967, le Général de Gaulle signe le décret instituant les parcs naturels régionaux, le parc d'Armorique sera un des premiers créés, englobant la presqu'île de Crozon et les monts d'Arrée, sur 65000 hectares de territoires ruraux dits *en déprise*.

A la Centrale de Brennilis, dont les premiers travaux ont débuté également en 1961, les essais du réacteur EL 4 permettent de procéder en cette année 1967, à sa montée en puissance progressive et au couplage sur le réseau le 4 juillet 1967, avant d'être mise définitivement en opération dans les premiers mois de l'année suivante. Sa puissance sera de 70 mégawatts équipés d'un réacteur modéré à l'eau lourde et refroidissement au gaz carbonique.

Ces deux prouesses technologiques réalisées à l'heure des technocrates se finalisent tandis que survient une pollution spectaculaire : la marée noire, conséquence de la malheureuse infortune du tanker Torrey Canyon, atteint les côtes de la Bretagne le 11 avril 1967.

Technocrates, polytechniciens sont décriés : Flèche du géographe Maurice Le Lannou à leur rencontre à celle aussi des manifestants du barrage des voies ferrées en septembre 1961, pour d'autres motifs ferroviaires, lançant lors de cette "bataille du rail" : "... votre système de polytechniciens, pondéré, déperéqué, calculé aux machines électroniques"¹, "*mais vos trains ne partiront pas.*"

Sous-développée, la Bretagne est confrontée à une perte démographique, un déficit d'emploi industriel, le recensement de 1954 révèle plus de 17 000 départs de personnes par an. La population active perd encore dix mille habitants entre 1954 et 1962, pour se stabiliser entre 1962 et 1968.

Dans l'agriculture, le VèPlan attendait 12000 départs, ils seront plus de 16000 à partir de 1964, soit un déficit de 25 000 emplois venant contrarier toute prévision et projets régionaux.

Un territoire, selon la définition de notre confrère géographe Guy Baudelle², c'est d'abord, une portion d'espace terrestre sous une autorité administrative mais son entité résulte d'une conscience identitaire, d'un sentiment d'appartenance, d'une appropriation.

La France des années soixante affiche des disparités régionales qu'elle s'efforce de combattre par une économie de solidarité, la réduction des inégalités, des écarts de croissance mais cette visée est inséparable d'une certaine croissance.

Alors que se crée le Marché commun avec un centre de gravité, compris entre la Seine et le Rhin, le handicap de l'Ouest est percevable. La géographie industrielle a été définie par des industries lourdes nées près des lieux des matières premières et de l'énergie. L'électricité d'origine atomique, avec un combustible transportable à moindre coût, prétend pouvoir bousculer cette géométrie.

Sursaut en Bretagne que résume le juriste Claude Champaud en ces termes :

"C'est au milieu du vingtième ècle que notre Région allait sortir de son sommeil et retrouver sa fierté d'être bretonne avec l'esprit d'entreprise et d'aventure qui avait fait sa grandeur et l'ancienne fortune

¹GUILCHER André, C.R. Critiques : *L'avènement de la Bretagne de M. Le Lannou*. In : Revue de Géographie alpine, 1953, vol.41, n°2, p. 373.

²Conférence de Guy BAUDELLE, *Quels territoires enseigner en classe*, in: hist-geo-ec.ac-amiens.fr

des Bretons.” et “Le 22 juillet 1950 à Quimper, 150 Bretons fondaient le “Comité d'Etudes et de Liaison des Intérêts Bretons”, dont le sigle CELIB devait, 30 ans durant devenir l'étendard du renouveau breton tout en identifiant un laboratoire d'idées dont sont sortis la régionalisation et les concepts d'aménagement du territoire, générateurs d'une véritable révolution culturelle française. “³

Nous reviendrons sur le rôle de ce comité parfois qualifié de “lobby breton” en écartant ici le rôle de ce comité également à l'origine d'une politique de réforme administrative.

“L'électricité sauvera la France” (Albert Caquot)⁴ ... et **la Bretagne.**

La question de la distribution de l'énergie dans les campagnes a déjà été posée à plusieurs reprises. Nous mentionnerons l'institution d'une Commission interministérielle en date du 22 mars 1922 par le Ministère de l'Agriculture. Cette Commission s'intéressera au rapport de l'ingénieur des Ponts et Chaussées Le Verrier pour une fourniture d'une énergie à bon marché. Il y prône la création de centrales hydrauliques d'envergure. L'idée de l'utilisation des marées est avancée. Il évoque ainsi un programme étudié par une mission dite “Houille bleue” créée en 1919 autour, d'une recherche de types de turbines appropriées et de l'établissement d'une station d'essai à l'Aber-Wrach (Finistère Nord). Par ailleurs, il mentionne cette demande formulée auprès du Ministère des Travaux Publics sollicitant une concession pour un aménagement de l'estuaire de la Rance. Le Ministre des Travaux Publics Le Trocquer, d'origine bretonne, voyait un certain potentiel à exploiter et des projets d'usines marémotrices furent instruits.

Depuis 1938, sur la base d'un plan global, l'électrification de la Bretagne s'opère en interconnexion nationale.

Les insuffisances de nos disponibilités en énergie électrique apparaissent avec la loi de nationalisation du gaz et de l'électricité du 8 avril 1946. Sont recensées : 54 sociétés de production d'électricité exploitant 86 centrales thermiques, 100 sociétés de production exploitant 300 centrales hydrauliques, 86 sociétés de transport d'électricité et 1150 sociétés de distribution. EDF va disposer des centrales hydroélectriques de Guerlédan, Saint-Herbot, Rophémel. D'autres installations seront encore la propriété de sociétés ou de personnes privées, de petites centrales hydrauliques seront délaissées comme celle des chutes des Forges d'Hennebont sur le Blavet. Du charbon en provenance de l'étranger devait alimenter les centrales thermiques en transitant par les ports principaux du littoral breton mais au lendemain de la guerre une seule centrale existe au port de Brest. Le charbon destiné à l'alimentation

³Claude CHAMPAUD, *A jamais la Bretagne*, Editions Régionales de l'Ouest, Mayenne, 1998, p.69.

⁴A. Caquot cité in : KERISEL Jean, KERISEL Thierry, *Albert Caquot (X 1899)*

www.sabix.org/bulletin/b28/7 HYPERLINK "http://www.sabix.org/bulletin/b28/7" _html
chap.VII – 1940-1976 : Le créateur solitaire : fécondité dans les disciplines les plus diverses.

des foyers domestiques de même que celui affecté à l'industrie sont d'un coût prohibitif et estimé par beaucoup comme arbitraire au regard des autres territoires français. L'équipement en gaz évolue. Analysant la situation René Pléven, ancien Président du Conseil, député des Côtes d'Armor, délégué de la France à l'Assemblée parlementaire mais aussi co-fondateur et Président du CELIB, achève son exposé en ces mots: "Les Bretons ont d'autant plus conscience de souffrir d'une injustice que la politique officielle manque de cohérence. Le charbon est cher en vertu d'une politique de péréquation coûteuse pour l'économie bretonne, qui pourrait importer des charbons bon marché, mais la même péréquation est refusée à la Bretagne pour les tarifs d'électricité haute tension qui sont établis d'après les prix de revient. En revanche, cette péréquation est admise en fait pour les tarifs basse tension, sensiblement les mêmes sur tout le territoire national. La politique des prix de l'énergie rend la Bretagne perdante sur le double tableau du charbon et de l'électricité. Elle est inconciliable avec la volonté officielle des pouvoirs publics de favoriser le développement breton."⁵

S'appuyant sur les données d'une thèse soutenue à L'Institut de Géographie de Rennes 1 par Michel Boudard "Problèmes de l'énergie en Bretagne", le géographe breton et homme politique, Michel Phlipponneau accusait le prix élevé de l'énergie en Bretagne⁶.

La règle empirique du doublement en dix ans de la consommation d'électricité – sur laquelle nous reviendrons - a pour origine des observations effectuées entre 1910 et 1930 en relevant l'ensemble des emplois de l'électricité d'une consommation industrielle à une consommation rurale comme à une consommation de type artisanale. Il en ressortait en 1952 que les abonnés ruraux ne consommaient que 306 kwh par an en moyenne. Etaient invoqués : l'esprit routinier du Français, son pouvoir d'achat, la consistance des réseaux électriques, le prix du kwh, le prix des appareils électriques.⁷

Refusant cette fatalité d'une Bretagne à "handicaps", le CELIB engage une réflexion qui conduira à formuler des propositions d'orientations et de valorisations et des stratégies d'avenir.

Caractérisation d'une "Région EDF" et définition d'un avenir énergétique.

La caractérisation de la Région EDF ne se délimite pas selon les critères de ce territoire nommé Bretagne.

La notion de "Région EDF" est autre que celle de réseau interconnecté. Cette Région est alimentée par un ensemble de moyens de production. Les réseaux eux peuvent être couplés en parallèle sur des distances étendues de l'ordre de 2000 kms. Le "jeu de barres général du Réseau français" fait converger les grandes lignes vers la Région parisienne consommatrice de 24 % de la puissance nécessaire en pointe.

Considérons qu'un moyen d'alimentation comme une centrale marémotrice vient influencer l'exploitation de cet ensemble. Le réseau les placera en communication de manière économiquement efficace selon la densité de consommation et la tension des lignes de transport.

Il nous faut donc préciser la place de nos deux moyens de production : l'usine marémotrice de la Rance et la Centrale de Brennilis dans un programme national mais sur fond de traité de Communauté européenne de l'énergie atomique ou EURATOM entrant en vigueur le 1er janvier 1958, se voulant comme un modèle de coopération communautaire à caractère scientifique et technique dans le domaine

⁵PLEVEN René, *Avenir de la Bretagne*, Questions d'actualité, Calmann-Lévy, 1961, p.83

⁶PHLIPPONNEAU Michel, *Debout Bretagne*, PUB, 1970, p. 364.

⁷Cf : BLOM R., chef de file régionale à Electricité de France, *Remarques sur le développement rural de la consommation domestique et artisanale de l'électricité de France*, Revue Française de l'Energie, n°56, septembre 1954, pp. 467- 476.

nucléaire. Dans les lois-programmes, le Commissariat général au Plan fut créé par décret n°46-2 du 3 janvier 1946 à l'initiative du Général de Gaulle et de Jean Monnet, premier commissaire au Plan. Pierre Massé, polytechnicien, sera commissaire au Plan de 1959 à 1966.

Le 25 octobre 1952, inaugurant le barrage de Donzère-Mondragon sur le Rhône, le Président de la République annonce la décision de l'aménagement de l'estuaire de la Rance. La construction de l'usine marémotrice figure au programme d'équipement hydraulique inscrit au IIème Plan français de Modernisation et d'Équipement, par la loi du 27 mars 1956. Définitivement autorisée par la loi du 2 août 1956, le programme s'engage en 1960 mais la construction débuta en janvier 1961.

Les premières études approfondies avaient débuté dès 1943, sous la direction de Robert Gibrat, en tant qu'ingénieur conseil d'EDF pour les usines marémotrices, animateur de la SEUM ou Société d'Études pour l'Utilisation des Marées, créée en 1941 par la SNCF, des sociétés houillères, des sociétés d'électricité et des compagnies de production d'électricité. Avec la loi du 8 avril 1946 portant création d'EDF, cette société d'Études devient Service d'Études pour l'Utilisation des Marées, conservant le même sigle.⁸

Dans ce deuxième Plan de modernisation et d'Équipement : trois objectifs visant à un seul : la satisfaction de la consommation : c'est à dire : une production minimum de garantie, une puissance de pointe, une d'énergie annuelle sur la base d'une dépense d'investissement limitée : soit n projets distincts disponibles, 3 paramètres, 2 paramètres économiques, un type de programme dit "programme linéaire" faisant intervenir les mathématiques des inégalités.

Et, la solution d'une combinaison à trois : le thermique, les usines réservoirs, les marémotrices.

L'esquisse d'une politique énergétique nationale, s'élaborant sur la base d'une prévision à long terme, rend indispensable une estimation de l'ensemble des investissements et plus particulièrement de celle concernant l'importance des investissements dans le secteur de l'énergie.

Les études du IIIème Plan dans ce secteur se feront à partir de données qualitatives et quantitatives : c'est à dire de commentaires de tableaux. Elles seront ensuite complétées par les Commissions de modernisation et de la production du document "Perspectives de l'économie française en 1965", préparé par le commissariat général au Plan et le Service des études économiques et financières du Ministère des Finances et approuvé par le Gouvernement. Ce document n'intègre pas d'impératifs régionaux sauf à énoncer le principe de l'industrialisation progressive des régions à main d'oeuvre agricole excédentaire.

En 1957, "les seuls investissements énergétiques représentent environ 15% du total et (...) les importations d'énergie se sont élevées à 20% de l'ensemble".⁹

⁸Robert GIBRAT:

A partir de 1946 : Gibrat : ingénieur conseil auprès d'EDF pour les usines marémotrices et les centrales thermiques.

A partir de 1955 : directeur général du Groupement de l'industrie atomique (INDATOM) (*)

1956 : recherches accentuées sur les marées et les usines marémotrices.

1962-1963 : Président du Conseil scientifique et technique d'EURATOM.

1966 : Président de la Société des ingénieurs civils de France et de la Société de statistique de Paris.

1970 : Conseil du gouvernement canadien pour ce type de centrales marémotrices

Econométrie.

(*) INDATOM réunit : la Banque de Paris et des Pays Bas, Saint-Gobain (glaces et produits chimiques), Péchiney (aluminium, graphite, beryllium, zirconium, alliages des métaux légers), Compagnie des Ateliers et Forges de la Loire (acier inoxydable et machines), Châtillon-Commentry (pièces de forges); Backcock et Wilcox (réservoirs et tubes sous pression), Neyrpic (turbines hydrauliques et modèles réduits pour essais hydrauliques), Compagnie générale d'électricité (électricité, moteurs transformateurs, câbles, TSF (électronique)); directeur : R. Gibrat.

⁹In: Revue Française de l'Énergie, n°87, juin 1957, p. 415.

C'est à partir d'hypothèses que la programmation linéaire déduit ses résultats. Dans sa comparaison du thermique et de l'hydraulique, on adopta le thermique normalisé effectif et un hydraulique fictif, équivalent à une moyenne des équipements français de ce type. Dans un complexe d'usines classiques, sont introduits des moyens de production nouveaux en particulier l'usine marémotrice de la Rance d'après une première étude de 1956 de R. Gibrat, "Les plans de production d'énergie électrique et les usines marémotrices", et d'une communication commune de Robert Gibrat et de Pierre Massé, directeur général adjoint de l'Electricité de France lors d'un colloque sur la recherche opérationnelle à Los Angeles en 1956 sous le titre "Application of Linear Programming to investments in the electric power industry", "Application des programmes linéaires aux investissements de la production d'électricité." La mutation nucléaire est encore parée d'incertitudes tant qu'à ses performances et coûts. Dans son discours inaugural du 26 novembre 1966, Pierre Massé atteste :

" en engageant ces travaux il y a six ans, avec l'accord du gouvernement, l'Electricité de France ouvrait une voie. Elle se prémunissait contre les risques qui affectaient alors l'évolution du coût de la calorie et l'avenir des techniques nucléaires.

"C'était au surplus une assurance sans coût, l'aménagement de la Rance étant à l'époque, du point de vue de la rentabilité, l'équivalent des opérations hydrauliques ou thermiques que l'on aurait pu lui substituer de nos programmes."

Elle constitue une expérience préalable à un projet considérable présenté par Albert Caquot, la grande usine marémotrice des Iles Chausey susceptible de fournir 15 à 20 milliards de kilowatt heure et capable de substituer en énergie en cas d'inconvénients sérieux du coût du nucléaire.

De fait, des interrogations subsistent sur la compétitivité de cette énergie nucléaire, des interrogations entourent la filière graphite-gaz sur sa puissance au delà de 200 mégawatts, aussi sur une possible utilisation du béton précontraint ou d'un réacteur soudé, bien que cette énergie soit entrée dans une phase de développements industriels.

De même, cet aménagement de l'estuaire ne fait pas et ne fera pas l'unanimité. Dans le carré des sceptiques : c'est ainsi qu'en séance publique au Sénat le 21 juillet 1959, le Ministre de l'Industrie et du Commerce Jeanneney, déplorant le défaut de courant force pour les petites industries en Bretagne, soutient que la construction de la Rance n'est pas la donnée fondamentale du problème, l'explication résidant plutôt dans l'insuffisance du réseau de distribution. Le ministre estime que l'orientation vers une technique d'utilisation de l'énergie des marées n'est pas une ligne d'avenir. Il prône l'implantation d'une centrale nucléaire. Au delà des intérêts immédiats, la création d'une infrastructure industrielle suppose une production d'électricité d'une ampleur coordonnée. Il faut faire face à l'expansion de la demande du pays en électricité. La loi empirique du doublement en dix ans de la consommation d'électricité par la somme des usages de toutes natures, de la consommation massive de l'industriel à celle de l'abonné rural, permet d'esquisser une perspective énergétique. Ces travaux prospectifs régissent les besoins énergétiques.

Le déficit énergétique de la France métropolitaine dépasse le tiers des besoins favorisant le déséquilibre de la balance des comptes par des importations à payer en devises fortes comme le confirment les analyses du rapport général de la Commission de l'énergie du Troisième Plan.

En 1948 est créé le Comité pour l'équipement énergétique français, placé sous la présidence d'Albert Caquot. Ce grand ingénieur, haute personnalité, dont le nom est lié à celui de la Rance, membre de l'Académie des sciences, affirme que l'avenir énergétique de la France réside dans la réalisation d'équipements hydrauliques en houille blanche comme en énergie marémotrice, les solutions et les méthodes en génie civil étant techniquement et économiquement convenables.

En septembre 1955, est fondé le groupement INDATOM comprenant dix sociétés variées en vue de

maîtriser les disciplines indispensables à la réalisation d'une centrale nucléaire complète ou de sous-ensembles. Le directeur d'INDATOM est R. Gibrat. Les compétences de son bureau d'études permirent d'offrir des prestations de service aux maîtres d'œuvres français : CEA, EDF, et aux organismes internationaux comme l'EURATOM. La Société INDATOM sera l'architecte industriel de la Centrale EL 4.

Ces deux prototypes doivent réunir une masse d'informations permettant de mieux apprécier la rentabilité de leur formule respective.

Une politique de prototypes.

Un prototype est appelé à être reproduit.

La vocation du Commissariat à l'énergie atomique ou CEA consiste à élaborer une utilisation de l'énergie nucléaire pour des applications en science, industrie, défense, en concertation avec les secteurs privé et public, de l'université à l'industrie comme avec l'armée.

Cet organisme de recherche s'est ainsi appliqué à l'utilisation de l'eau lourde comme modérateur pour réacteur à neutrons thermiques. Ce qui donna lieu à la construction de trois réacteurs de recherche avant EL 4 soit : EL 1 (ZOE), EL 2, EL 3 et à certaines expériences dont AQUILON¹⁰ afin d'appréhender les propriétés de l'eau lourde. Il apparut qu'un réacteur de production d'énergie utilisant l'eau lourde présentait certaines perspectives économiques d'où un projet d'explorer cette voie par la construction de la centrale EL 4 dans les monts d'Arrée en Bretagne.

EL 4 sera un réacteur à uranium naturel comme combustible, avec comme modérateur l'eau lourde et comme fluide refroidisseur, le gaz carbonique. EL 4 se devait d'exposer un aspect double comme réacteur expérimental et prototype industriel afin de conclure de sa construction et de son exploitation un enseignement assez concluant pour envisager une possibilité d'utilisation d'eau lourde et du gaz carbonique. Le prototype devait se faire à une échelle suffisante pour permettre l'appréhension juste des problèmes fondamentaux. EL 4 relève donc de cette politique prudente de prototypes successifs pour acquérir de l'expérience, mesurer les seuils de rentabilité, et si, satisfaction, engager une production en série. Ce même parti pris fut suivi pour la technologie de la filière des réacteurs à graphite gaz : Marcoule G2, - G3 de 1955 à 1959, puis Chinon 1, 2 et 3 démarrés successivement en 1963, 1965 et 1966, Saint-Laurent 1 et 2, aux réacteurs jumelés en service en 1969 et 1971, Bugey 1, 1972.

Sans entrer trop amplement ici dans ces discussions autour de la guerre des filières, nous noterons que la tendance du programme du Vè Plan est intégralement fondée sur la filière uranium naturel – graphite – gaz carbonique, les autres filières restant suivies avec attention, avec des conditions requises pour en assurer la réussite – prix de revient compétitif, sécurité d'approvisionnement, régularité de marche, possibilité pour l'industrie française d'exporter des réacteurs fiables – et pour une perspective d'amélioration du potentiel énergétique de l'uranium.

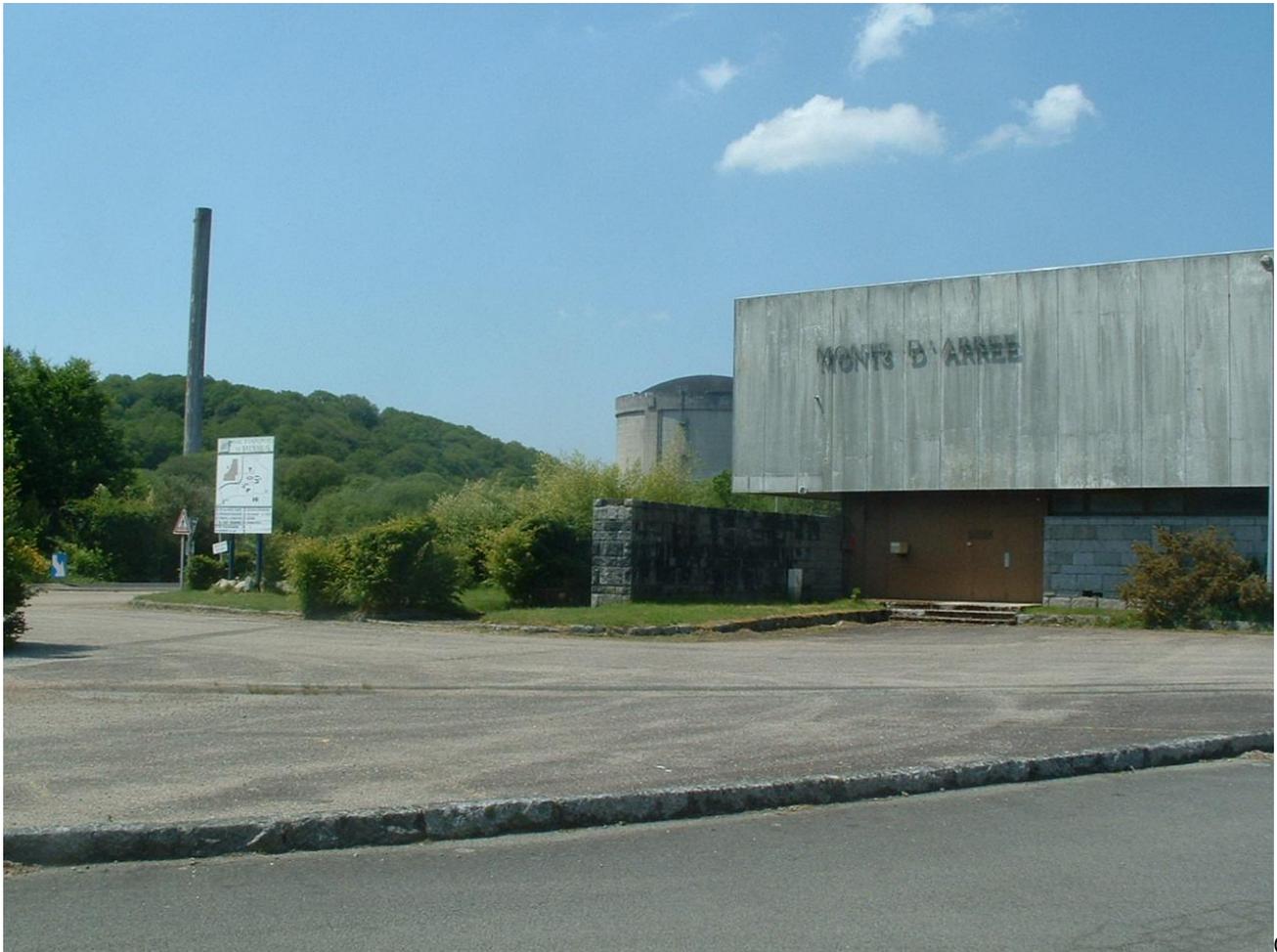
Dans une conférence prononcée en 1962, Jean Perrin, Haut Commissaire à l'Energie Atomique, devant

¹⁰AQUILON : cf in : REIS Thomas et coll. *Technique des réacteurs nucléaires. Réacteurs nucléaires à uranium naturel et eau lourde*, T.III, Ed. Eyrolles, 1959 et Ed. Gautier-Villars, 1964. p 204 : "Les projets du réacteur pour sous-marin, ainsi que l'étude d'EL 4, ont conduit le commissariat à l'énergie atomique en France à réaliser un réacteur de recherche physique destiné à l'étude expérimentale des milieux multiplicateurs à uranium naturel et eau lourde. Ce réacteur, baptisé *Aquilon*, est en service depuis le 11 août 1956...."

ses pairs, souligne :

“ Mais pour développer l'utilisation de l'énergie atomique, indépendamment des problèmes techniques qu'il faut encore réaliser, il faut que nous soyons sûrs, d'une part de ne pas créer de dangers pour la population et d'autre part, que la population soit informée complètement sur les conditions de production de l'énergie atomique afin de donner son adhésion à une grande oeuvre nationale et ne pas se laisser dominer par des craintes irraisonnées ou mal fondées. “ ¹¹

Y-eut-il des obstacles d'ordre psychologique à la construction de ces deux systèmes de production d'énergie expérimentaux ?



©

cliché auteur FS

Implantation : le choix des sites et leurs contraintes.

¹¹ In: introduction, p. XI, in: Utilisations de l'énergie nucléaire. Aspects scientifiques, techniques et humains. Université de Montpellier – Quinzaine des Sciences Nucléaires. 24 mars – 8 avril 1962. Masson et éditeurs, 1963.

Dans le cadre d'un programme énergétique national, les monts d'Arrée, l'estuaire de la Rance se font espaces de projection des actions d'une technocratie planificatrice.

Les fonctions sociales et culturelles de ces deux sites seraient à présenter.

Ces deux équipements s'inscrivent dans le paysage breton comme des paradoxes.

Pour aborder la question de leur acceptabilité, il faudrait ouvrir un dossier. De l'écoute de personnes enquêtées lors des reportages télévisuels de l'office national de radiodiffusion de la télévision française, visualisables sur le site de l'INA, aux relations de manifestations dans les quotidiens régionaux, il peut sembler que ces deux équipements viennent répondre à une attente sociale. L'historien doit redoubler d'attention sur la forme du recueil de matériau des gens interrogés ou rencontrés par des journalistes.

Le choix d'un emplacement dépend essentiellement de la répartition géographique des charges d'électricité. La construction de centrales nucléaires pour la mise en valeur de régions peu développées apparaît à privilégier car n'exigeant ni voies d'accès, pour faciliter des approvisionnements en combustible, ni un cours d'eau important.

Le site de Brennilis présentant des conditions météo favorables, étant abondamment et régulièrement ventilé, des conditions d'isolement avec une densité de population faible (40 habitants au km² dans un rayon de 15 kilomètres) à une certaine distance des zones habitées fut sélectionné mais c'est principalement la présence de l'eau indispensable au refroidissement et fournie le lac artificiel de Saint-Michel, préexistant, qui intervint dans la décision et le site fut désigné.

La centrale de Brennilis semble se profiler comme par effraction dans un environnement champêtre. Elle se situe à 25 kilomètres au sud de Morlaix, 10 kilomètres à l'ouest d'Huelgoat dans la partie Ouest du département du Finistère, en bordure du Yeun Elez, un marais de 500 ha partiellement recouvert par le lac saint-Michel aux eaux retenues par le barrage de Nestevel. Les terrains alentour étant de valeur médiocre offraient également des possibilités d'extension pouvant permettre au delà un groupe de centrales de 400 MW. L'estimation de la résistance des sols, par sondages, jusqu'à 40 m de profondeur, révéla des granites plus ou moins fissurés, parcourus de diaclases ou alérés. Le poids du réacteur, le foyer de la centrale, étant très localisé et considérable, les terrassements ne se firent pas sans précautions et un bétonnage immédiat. Le facteur de sécurité est l'élément essentiel dans le choix d'un emplacement pour une centrale nucléaire.

Dans le monde peu d'emplacements en estuaire sont favorables à des barrages-usines. L'utilisation de la dynamique des mers aurait pu, peut-être, prendre un autre visage avec la réalisation du projet très ambitieux de Chausey d'Albert Caquot.

L'aménagement de la Rance se fit en amont des agglomérations de Saint-Malo, Saint-Servan et Dinard, sur un petit fleuve d'une centaine de mètres de longueur, d'un débit négligeable, venant déboucher sur une vallée soumise à la marée. L'usine, en joignant la pointe de la Briantais sur la rive droite, à la pointe de la Brebis rive gauche, créa un bassin de 22 km² et une réserve de 184 millions de m³.

Le barrage aurait pu être implanté davantage en aval, option offrant un complément d'énergie de 8% mais abandonnée dans un souci de préservation esthétique du paysage.

L'implantation de cette usine exigeait de maîtriser le phénomène de la marée. L'onde marée en provenance de l'Océan Atlantique se renforce dans le bassin maritime de la Manche et se réfléchit sur les côtes du Contentin. Avec un flot aux marées de vives eaux pouvant atteindre dix huit mille mètres cubes par seconde, soit par comparaison trois fois le débit du Rhône en crue à Avignon, toute l'incertitude de cette réalisation résidait dans l'opération de la coupure de l'estuaire. Les études du

procédé de coupure retinrent le principe de la construction des ouvrages à sec connu en génie civil pour des coupures de fleuves et les travaux de génie maritime. Dans les solutions présentées, on relève les signatures de personnalités connues dans le domaine de la construction. Différents systèmes furent essayés sur modèles réduits en particulier de façon très détaillée sur le modèle de Saint-Servan au 1/150ème, conçu comme une véritable machine à calculer analogique, et, à partir de ses données hydrauliques, suivis d'autres réalisés en canal au 1/40ème au Laboratoire hydraulique de Chatou. De ces scénarios, la solution adoptée, dite fermeture par les caissons "caquots", du nom de son concepteur Albert Caquot, consista en la réalisation d'un batardeau en voûte au moyen d'organes distincts résistant au renversement, mis en place en harmonie avec le rythme des marées d'amplitudes variables des mortes eaux et vives eaux. Cette coupure de la Rance fut une opération inédite. Maîtrise digne d'Albert Caquot. Les difficultés rencontrées pour la réalisation du socle en béton dans les courants seraient à relater. Une impressionnante dextérité est à noter pour les deux processus de fondation des ouvrages.

Fécondité technologique et technique.

Le génie civil revêt un aspect fondamental de la réalisation de ces édifices.

L'édification de l'usine marémotrice fut un immense chantier, conduit nuit et jour, pendant plus de cinq années dont deux pour le seul bétonnage, dans une synchronisation constante entre le groupe d'entreprises Tramarance¹², sous la direction de Raymond Soulas, et les ingénieurs de EDF.

Placé dans un milieu agressif, le barrage-usine de la Rance est en béton armé traditionnel. Le béton armé est un matériau mixte avec deux constituants le béton et l'acier, chacun avec un rôle distinct. Les compositions retenues pour ce béton furent distinguées en fonction d'essais sur cylindres et prismes, sur la Rance à mi-marée et au laboratoire d'essais installé sur place par EDF dès 1955. Des recherches approfondies portèrent sur la température, la densité et la salinité de l'eau de mer. Les ciments pour travaux à la mer répondent à des caractéristiques particulières. Il faut limiter la formation des fissures. Le comportement des bétons exposés à des eaux agressives dans un environnement particulièrement sévère est complexe. Leurs caractéristiques essentielles doivent présenter des garanties d'homogénéité et de compacité, d'étanchéité et de durabilité. Des précautions doivent être prises pour protéger les armatures contre la corrosion. Bien que les bétons employés présentaient des garanties souhaitables, une application sur la face externe des parois de la superstructure de l'usine en contact avec la mer d'un revêtement à base de résine vinylique fut posée sur la base d'une technique mise au point sur des barrages.

Mais la disposition d'un ouvrage vis-à-vis du flux agressif est un autre élément à prendre en compte. L'immersion totale est moyennement agressive. En revanche, une immersion alternée expose à une action physique pouvant s'avérer dégradante. Dans notre cas, le barrage est en grande partie immergé, ses structures sont très découpées, il est soumis à des charges alternées de 13,50 m de hauteur d'eau.

Les enceintes des réacteurs nucléaires firent l'objet de recherches importantes par EDF dès le lancement de son programme de réalisation de centrales de puissance. Première expérience réussie, les deux caissons en béton précontraint G2 et G3 de Marcoule construits en 1956 et 1958.

¹²Tramarance :

Entreprise Campenon-Bernard, Entreprise Fougerolle, Entreprise de Grands Travaux Hydrauliques, Société Française d'Entreprises de Dragages et de Travaux Publics, Société Générale d'Entreprises.
Directeur : Raymond Soulas

Indépendamment de son rôle de génie civil, le béton garantit une protection biologique autour du bloc réacteur et des installations actives (circuits divers). Cette enceinte doit répondre à des conditions de sécurité. En conséquence, de la définition d'un accident maximal hypothétique, des dispositions furent adoptées pour résister aux sollicitations d'une pression intérieure et/ou de surpression extérieure. La résistance à la pression peut s'accompagner d'une montée en température intérieure pouvant atteindre 80° C.

Jean Chaudesaigues, collaborateur de Freyssinet, directeur technique des Entreprises Campenon-Bernard, concepteur de l'enceinte étanche du bloc réacteur EL 4, précise : “Dans le cas d'EL 4, c'est la rupture d'un collecteur de CO₂, associée à une rupture sur le circuit vapeur, qui provoque l'élévation de la pression et de la température intérieures. Ce sont ces deux conditions, jointes aux grandes dimensions de l'ouvrage et à la présence de nombreux orifices dans sa paroi (160 traversées de sections variant de quelques centimètres à plusieurs mètres) qui sont à l'origine des principaux problèmes qu'ont eu à résoudre les constructeurs.”¹³

Le béton précontraint est un béton sous des mises en contraintes préalables pour résister aux deux sens de sollicitations : la compression et la traction, soit : sécurité à la fissuration et sécurité à la rupture. Par rapport aux cuves métalliques, la technique des caissons en béton précontraint devait permettre une résistance à la pression interne, des volumes plus conséquents et des puissances plus importantes. Ce système de l'industrie française basé sur les procédés de l'ingénieur Freyssinet devait être adopté par l'étranger en particulier en Grande Bretagne. L'enceinte de Brennilis de type béton précontraint fut très tôt considérée comme le prototype d'enceintes plus conséquentes tant qu'aux dimensions comme à la résistance aux pressions. A titre indicatif, les dimensions intérieures de cette enceinte sont : pour l'épaisseur des parois : 60 cm, diamètre intérieur : 46 m, hauteur totale : 56 m, hauteur de la partie cylindrique (ou jupe) : 44 m. Elle est sur un radier armé de 404 câbles de précontraintes et elle est fermée par une calotte sphérique. L'ensemble est solidarisé par la précontrainte. L'exécution de l'enceinte, exigeant rapidité, en particulier avec le choix du procédé du coffrage glissant pour la jupe se fit en respectant un planning précis régissant le travail des différentes équipes intervenantes tour à tour : installation du coffrage, mise en place des armatures, des pièces fixes de pénétration, coulage du béton.

La conception de la coupole mériterait une description détaillée. Une peinture Epoxy, testée en laboratoire, étanchéifia les parois intérieures de la jupe et de la coupole.

Dans les deux cas, la conception de la partie génie civil est concomitante de celle de l'électromécanique. A propos du site de la Rance, Robert Gibrat soulignait : “....il fallut attendre que la théorie des cycles de fonctionnement d'une usine marémotrice pût être connue de manière complète pour qu'apparaissent pleinement les conditions à imposer aux machines et au Génie civil.”¹⁴ Nous ne pouvons détailler ici l'équipement électromécanique de ces deux sites de production d'énergie : organisation des manutentions, circuits, schémas électriques, centralisation des commandes et informations. Le coeur du réacteur EL 4 comprend les pièces essentielles suivantes : cuve en acier inoxydable contenant l'eau lourde, tubes de force en zircaloy contenant le gaz carbonique, structures internes du canal, Les problèmes d'essais de corrosion des aciers Chromesco III, type d'aciers utilisés pour les tuyauteries de chaudières industrielles, s'avèrent délicats.

Au site de la Rance, la digue creuse barrant l'estuaire permit l'installation des 24 groupes bulbes de 10

¹³In: revue *Travaux*, mai 1966, p.871 et suiv.

¹⁴In: *Revue française de l'énergie*, avril 1956. Extrait de : Les usines marémotrices françaises. Communication .4è Journées de l'hydraulique. R. Gibrat, *L'usine marémotrice de la Rance. Sa place dans un programme national.*, Société hydrotechnique de France, juin 1956, p.2.

MW et de tous les auxiliaires de l'usine et sa superstructure put offrir une double voie routière à la circulation. L'incertitude des phénomènes de corrosion et de dégradation par action du milieu marin sur les turbines appela la formation le 12 juillet 1955, d'un groupe de travail, le "Groupe Corrosion". Cette compréhension du phénomène et une prévention étant indispensables, il se pencha sur deux domaines d'études : mécanisme de la corrosion, revêtements anticorrosifs avec trois directions d'essais : immersion prolongée, cycles d'immersion et émergence, atmosphère marine.

La théorie des cycles d'utilisation développée par Robert Gibrat est le résultat d'un dialogue entre recherche fondamentale et application. Dans les parties constitutives de l'aménagement de la Rance, cette longue construction, distinguons, pour être simple, le "conduit hydraulique" abritant les travées individuelles des différents groupes turbo-alternateurs et en prolongement une "digue morte", l'écluse, d'autres locaux. La partie fondamentale de l'équipement électromécanique, qui exigerait une description détaillée, est celle des groupes bulbes. Sa théorie des cycles est l'élaboration d'un corps de doctrine autour d'une condition optimale de l'énergie des marées. Pour expliquer le fonctionnement du groupe bulbe, il retint l'idée de sa comparaison à un sous-marin fixe disposé dans une galerie parcourue par un courant d'eau entraînant une hélice. Pour bénéficier au maximum des avantages des cycles des marées et en particulier de l'inversion des courants, les groupes bulbes assurèrent un fonctionnement en turbine, en pompe et en orifice. De nombreux essais en laboratoire comme en grandeur réelle avec la contribution de constructeurs, d'importantes entreprises, suscita une progression et une mise au point de la technique des groupes bulbes vers un accroissement de la puissance unitaire. Côté génie civil, le perfectionnement de ces groupes permit une réduction des parties les plus profondes et les plus délicates à exécuter soit une économie de l'ordre de 15% (génie civil et matériel compris) et de 5% sur l'aménagement.

Nous avons abordé le volet des innovations techniques les plus marquantes de ces deux aménagements. D'importants programmes expérimentaux y furent lancés dans d'autres domaines.

Politique énergétique, politique paysagère : affirmation, insertion, absorption.

"La définition architecturale d'un pays est aussi importante que sa définition économique et sociale."

Max Querrien¹⁵

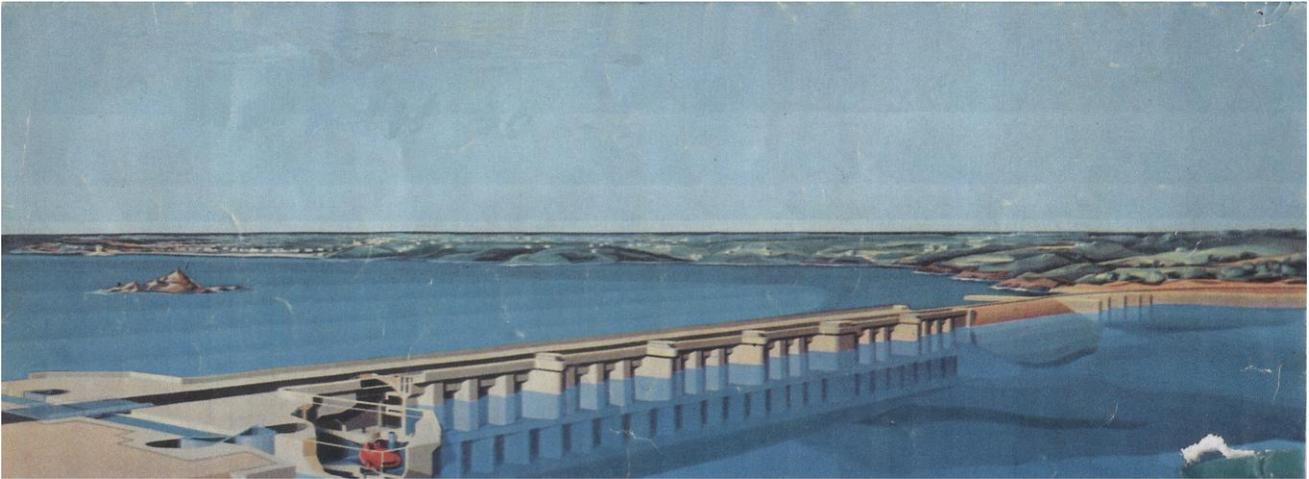
La centrale EL 4 à Brennilis se dessine dans un "paysage sans fin", ouvert, sans qualités selon l'appréciation du paysage. La féerie des landes des monts d'Arrée a cédé devant l'indicible. Au bout du chemin s'ordonne une fantaisie de roman noir.

Deux images se superposent : la rêverie originelle, naturelle, et la rêverie technologique. Effroi et séduction mêlés.

L'estuaire de la Rance, théâtre du combat des Titans, par l'enjeu du franchissement et le défi de

¹⁵In: *Pour une politique de l'architecture*, Le Moniteur, 2008, p.59.

l'intrusion des turbines, a perdu son aspect sauvage. Avec l'intrusion du barrage-usine, le lieu s'est esthétisé peut-être, pour certains artialisé avec l'intervention d'architectes comme Louis Arretche.



© collection particulière

Dans les deux cas, il en résulte une création paysagère. Pour reprendre les propos de géographes : le paysage est un objet de négociation.

Le projet de loi-programme pour la Bretagne daté de 1962, proposait une mise en valeur de la Bretagne intérieure par la création de cinq parcs naturels dont les monts d'Arrée, sur la base d'une problématique de valorisation et d'interprétation particulière, se voulant une réponse imaginative sur le plan touristique. Nommé à la Direction de l'Architecture, Max Querrien réfléchit à une "culture du site", c'est à dire : "Non pas un site au sens de la loi de 1930, qui d'une certaine façon postule la rareté, mais un espace où activités, habitat et loisir s'implanterait poliment sans tout ravager"¹⁶ soit : "protéger le site, ce n'est plus en chasser les hommes". La définition du paysagisme d'aménagement développé par Max Querrien est de faire oeuvre d'architecture en se souciant des représentations et des conceptions, des attitudes. En ce sens, édifier la centrale de Brennilis dans le périmètre du Parc régional des monts d'Arrée revêtait un "caractère symbolique."

Bretagne 1967.

On assiste à un parallèle : les deux sites de production d'énergie construits dans le cadre des lois-programmes d'électrification d'un territoire national vont s'insérer dans un programme de tourisme culturel à l'échelle régionale.

La nature du message patrimonial d'Yvon Bourges, ministre de l'Information, représentant des instances locales responsables de la promotion du tourisme de la Côte d'Emeraude, dans son discours de l'inauguration de la Rance, le 26 novembre 1966, est significative :

"L'usine marémotrice de la Rance est d'ailleurs aussi un atout économique intéressant à bien des égards. Elle constitue depuis sa mise en chantier et elle constituera demain un atout non négligeable pour la Côte d'Emeraude. Parce qu'elle est la première usine productrice d'énergie de ce type, elle a entraîné la venue de nombreux touristes ou visiteurs, attirés par la curiosité ou l'intérêt touristique. Cet

¹⁶In: *Pour une politique de l'architecture*, p.83

attiret demeurera “et “Oeuvre nationale prestigieuse, l'usine marémotrice de la Rance doit concourir d'une manière utile au rayonnement de notre région et servir au développement de son économie. Elle fait désormais partie de notre patrimoine....

Et de conclure : “Dés ce soir, l'usine marémotrice sera en fonctionnement. Signe des temps, elle nous rappelle qu'il n'y a de progrès que dans le renouvellement. Mettre en cause les habitudes, déceler les voies nouvelles de l'avenir, avoir le courage d'entreprendre et l'audace de risquer, tels sont les enseignements que nous, responsables locaux, devons retenir de cette journée.”

Belle invitation à un engagement vers des questionnements renouvelés et des voies nouvelles d'une politique scientifique et technologique en France, une fois franchi le discours de la programmation de la planification, dont cet extraordinaire pont-barrage-usine marémotrice est bien le symbole.

Quelles étaient les perspectives entrevues?

Pessimisme affiché de certains dont Pierre Massé lui-même sur le lendemain de ces usines marémotrices, annonçant l'avènement de l'énergie nucléaire, tout en reconnaissant le prestige de la France,

scepticisme sur l'avenir des réacteurs à eau lourde tant pour des discussions techniques, commerciales voire psychologiques dès 1967, malgré la reprise du modèle EL 4 par Siemens en Bavière (projet KKN),

adhésion aux réacteurs surrégénérateurs et agrément à la construction de Phénix, centrale surrégénératrice prototype, d'une puissance de 250 000 kilowatts, soit une puissance équivalente à celle de l'usine marémotrice de la Rance, pour un coût identique,

débat sur la présence du corps des Ponts dans le domaine de l'économie globale et la création d'une école d'Etat des ingénieurs des Travaux Publics,

inquiétudes toujours en Bretagne : chômage, émigration massive, disparition d'usines ou projets d'installations annulées et aucun abaissement du prix du courant par suite du développement d'une production régionale.

©

Françoise SIOC'HAN, docteur de l'Université de Rennes 2,
historienne des arts et de l'architecture et historienne du génie civil,
chercheuse associée Centre François Viète, Université de Nantes et UBO Brest.

Septembre 2013

BIBLIOGRAPHIE SELECTIVE
ET REFERENCES ELECTRONIQUES

:

AILLERET Pierre, *Energétique : les besoins d'énergie*, Eyrolles, 1963, 138 p.

BARJOT Dominique, *Travaux publics de France. Un siècle d'entrepreneurs et d'entreprises (1883-1992)*. Paris : Presses de l'Ecole des Ponts et Chaussées, 1993, 288 p.

BELTRAN Alain, BUNGNER Martine, *Itinéraire d'un ingénieur. Pierre Massé avant le Plan*. In: Vingtième Siècle. Revue d'histoire. N°15, juillet-septembre 1987. pp59-68.
http://www.persee.fr/web/revues/home/prescript1/article/xxs_0294-1759_num_15_1_1884.

BLOM R., *Remarques sur le développement rural de la consommation domestique et artisanale de l'électricité de France*, française de l'Energie, n°56, septembre 1954, pp.467-476.

Centrale des monts d'Arrée EL 4. Notice descriptive. Ed. La Houille Blanche, Grenoble, 4è trim. 1963.
INDATOM architecte industriel.

CHAMPAUD Claude, *A jamais la Bretagne*, Editions Régionales de l'Ouest, Mayenne, 1998, 248 p.

CHAUDESAIGUES Jean, *Examen des problèmes de Génie civil posés par la construction du réacteur EL 4 à Brennilis* (extrait de conférence) in: *Travaux*, février 1965, n°362.
-, *Centrale nucléaire des monts d'Arrée à Brennilis*, : *Travaux*, mai 1966, n°376, p. 871 et suiv.

COLLECTIF, *Utilisations de l'énergie nucléaire. Aspects scientifiques, techniques et humains*. é de Montpellier –

Quinzaine des Sciences Nucléaires. 24 mars – 8 avril 1962. Masson et éditeurs, 1963.

GAUTIER Marcel, *L'électrification de la Bretagne*, de Géographie, 1939, vol. 48, pp. 472-480.

GIBRAT Robert, *L'énergie des marées*, PUF, 1966, 219 p. Préface de Pierre Ailleret.

GUILCHER André, C.R. Critiques : *L'avènement de la Bretagne de M. Le Lannou*.in: revue de Géographie alpine, 1953, vol. 41, n°2, pp. 371-374.

KERISEL Jean, KERISEL Thierry, *Albert Caquot (X 1899)*.

www.sabix.org/bulletin/b28/7html

KRIER Henri, *Le développement économique de la Bretagne*, Eco., 1956, vol. 7, pp. 949-970.
site portail persée.fr - issue 6.

LABASSE Jean, *La portée géographique des programmes d'action régionale français*, Annales de géographie, 1960, vol.69,n°374, pp.371-393.

LAURENT Xavier, *Grandeur et misère du patrimoine, d'André Malraux à Jacques Duhamel (1959/1973)*, Mémoires et document de l'Ecole des Chartes – 70 – Travaux et documents du Ministère de la Culture – 15 – Préface de Jean-Michel Léniard, 2003.

MALLEROY Antoine, *Centrale à eau lourde : le triomphe du Canada et de Siemens*, in : Atomes, juin 1968.

MARTRAY Joseph, *Vingt ans qui transformèrent la Bretagne. L'épopée du CELIB, 22 juillet-1950-2 février 1969.*, Editions France-Empire, Paris, 1983.

MASSE Pierre, *Le choix des investissements. Critères et méthodes.*, Dunod, Paris, 1959, 489 p.

MASSE P. et GIBRAT R. *Application of Linear Programming to investments in the electric power industry*, Science, janvier 1957.

Région de Bretagne. Programme d'action régionale. [Décret du 30 juin 1955 du Ministère des affaires économiques et financières relatif à l'établissement de programmes d'action régionale. Arrêtés du 13 juillet 1956] Journal Officiel, n° 1070, Paris, Imprimerie des Journaux officiels,1956.

REIS Thomas et coll., *Techniques des réacteurs nucléaires. Réacteurs nucléaires à uranium naturel et eau lourde*, . III, Ed. Eyrolles, 1959 et Ed. Gautier-Villars, 1964.

REUSS Paul, *L'épopée de l'énergie nucléaire : une histoire scientifique et industrielle*, col. génie atomique, EDP Sciences, 2007.

Revue française de l'énergie, avril 1956. Les usines marémotrices françaises. Communication. 4è Journées de l'hydraulique. GIBRAT R., *L'usine marémotrice de la Rance. Sa place dans un programmenational.*, Société hydrotechnique de France, juin 1956, p.2 et suiv.

Revue française de l'énergie, n°87, juin 1957, *Rapport général de la commission de l'énergie du 3è Plan*, . 415 et suiv.

Revue française de l'énergie, *La Rance*, ° spécial, n°183, octobre, 1966.

PHILIPPONNEAU Michel, *Debout Bretagne*, , 1970, 530 p.

PLEVEN René, *Avenir de la Bretagne*, Questions d'actualité, Calmann-Lévy, 1961, 256 p.

QUERRIEN Max, *Pour une nouvelle politique du Patrimoine*, Paris, Documentation française (la), 1982.

- , *Pour une politique de l'architecture : Témoignage d'un acteur (1960 – 1990)*, Moniteur Editions, coll. Architextes, 2008, 239 p.

SAINTCLIVIER Jacqueline, *Du CELIB à la région Bretagne : réussite et limites d'une affirmation identitaire*, Annales de Bretagne et des Pays de l'Ouest [en ligne], 111-4 , 2004.

<http://abpo.revues.org/1180>.

ARCHIVES :

Archives privées fonds Bourges : accès réservé.

Archives CELIB : accès réservé.

Remerciements :

Madame Yvon BOURGES.

Monsieur Bruno ISBLED, conservateur et les Archives Départementales d'Ille-et-Vilaine.

Monsieur J-C. COURTY et EDF Brennilis.

© Françoise SIOC'HAN, docteur de l'Université de
Rennes 2,
historienne des arts et de l'architecture et historienne du génie civil,
chercheuse associée Centre François Viète, Université de Nantes et UBO Brest.

