

LES PROJETS FRANÇAIS D'USINES MARÉMOTRICES

par André GOUGENHEIM

*Causerie donnée
à la 8^e Conférence Hydrographique Internationale, mai 1962*

Depuis longtemps déjà, dans divers pays où les marées présentent une grande amplitude dans certaines baies marines, on a songé à exploiter l'énergie mise en jeu par ce phénomène. A tous ceux qui s'intéressent à ce problème les noms des baies de Passamaquoddy, de Cobscook, de Petit-Codiac, de San-José, des estuaires de la Severn, de l'Abervrach, de la Rance sont devenus familiers.

Tous ces plans d'eau ont été, et certains sont encore, l'objet d'études poussées à des degrés très divers en vue d'y installer des barrages destinés à retenir l'eau qu'y amène la marée et des usines pour capter l'énergie de chute de cette eau.

Les lecteurs de la Revue Hydrographique Internationale ont eu l'occasion de trouver dans le numéro de janvier 1961 un article de M. W.R. FLOYD sur les recherches d'hydrographie et de marées effectuées dans le cadre du projet international d'utilisation de l'énergie des marées de Passamaquoddy. Plusieurs articles relatant des déterminations sur l'hydrologie et la circulation des eaux de cette région ont également été publiés dans le *Journal of Fisheries Research Board of Canada*.

Mais les énormes investissements financiers qu'exigerait la construction des digues-usines, et d'autre part la faible hauteur de la chute, mettraient généralement l'énergie produite à un prix relativement élevé, difficilement compétitif avec celui de l'énergie que l'on peut se procurer actuellement en abondance en s'adressant à de nombreuses autres sources.

Il en résulte que presque partout des études faites n'ont pas encore été suivies de réalisation. Toutefois dès 1936, pour lutter contre le chômage, le gouvernement américain avait commencé la construction d'une usine marémotrice dans la baie de Cobscook, mais les chantiers furent fermés au bout de quelques mois et n'ont jamais été rouverts depuis lors.

D'un autre côté le gouvernement français a autorisé en 1960 l'Electricité de France à entreprendre une œuvre analogue dans l'estuaire de la Rance. Comme les projets étaient au point, les travaux ont pu commencer sans retard et ils se poursuivent activement.

Il semble donc que ce sera dans l'estuaire de la Rance que, pour la première fois, afin d'assouvir sa faim croissante d'énergie, l'homme va recourir, à une échelle relativement grande, à un des inépuisables réser-

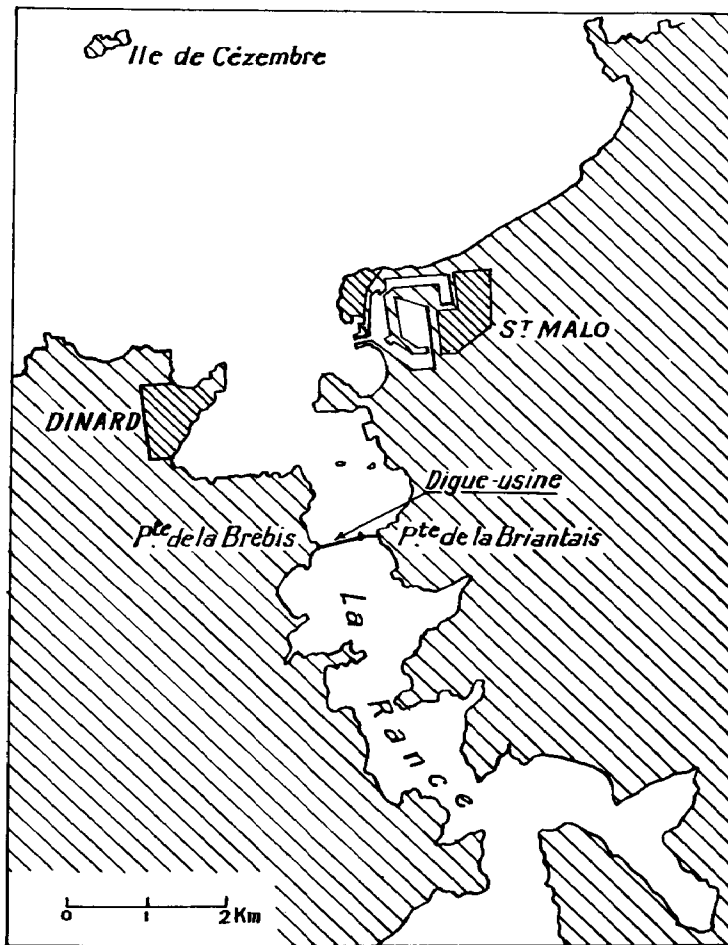


FIG. 1. — Emplacement de l'usine marémotrice de la Rance.

voirs d'énergie que la nature a toujours tenu à sa portée, mais dont il n'a jamais pu jusqu'à présent tirer bien utilement parti.

C'est qu'en effet les énergies naturelles, qu'elles soient d'origine gravitationnelle comme les marées, qu'elles résultent de l'action directe du rayonnement solaire, ou de ses effets indirects comme l'énergie du vent ou de la houle, sont plus ou moins irrégulières dans le temps et extrêmement diluées dans l'espace. La proportion utilisable de l'énergie totale mise en jeu reste faible et, pour en tirer une production appréciable à un prix qui ne soit pas prohibitif, il faut la capter sur de vastes étendues et par suite édifier des installations considérables que notre siècle est le premier à pouvoir mener à bien.

Ceci explique le fait en apparence paradoxal que, après avoir utilisé l'énergie du vent et des marées d'une manière artisanale, l'homme se soit bientôt détourné d'elles pour s'adresser à des sources de plus en plus discrètes, mais aussi de plus en plus difficiles à dompter, la vapeur, l'explosion, l'atome. Cependant les réserves de charbon, de gaz naturel, de pétrole, bien qu'on soit loin d'en avoir fait le tour, ne sont pas inépuisables, eu égard

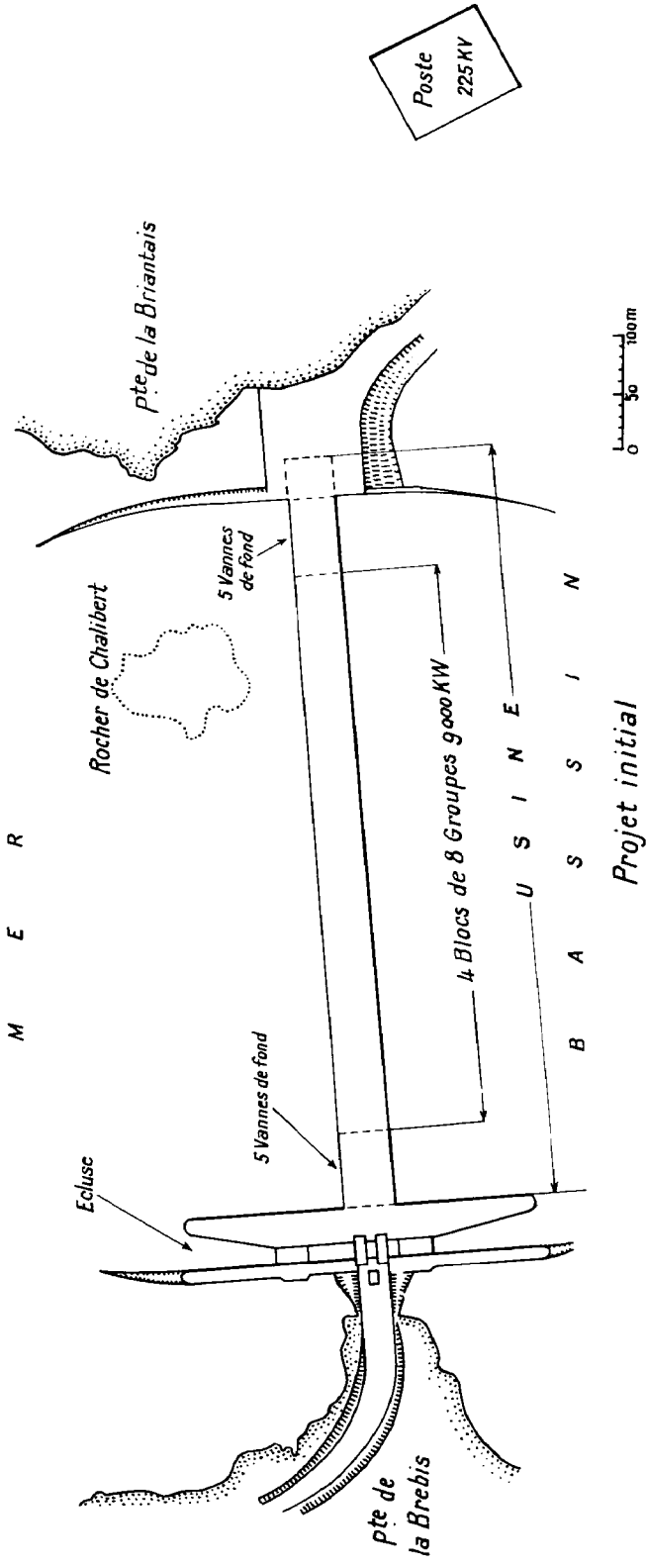


Fig. 2. — Projet initial. — Plan schématique de la digue-usine.

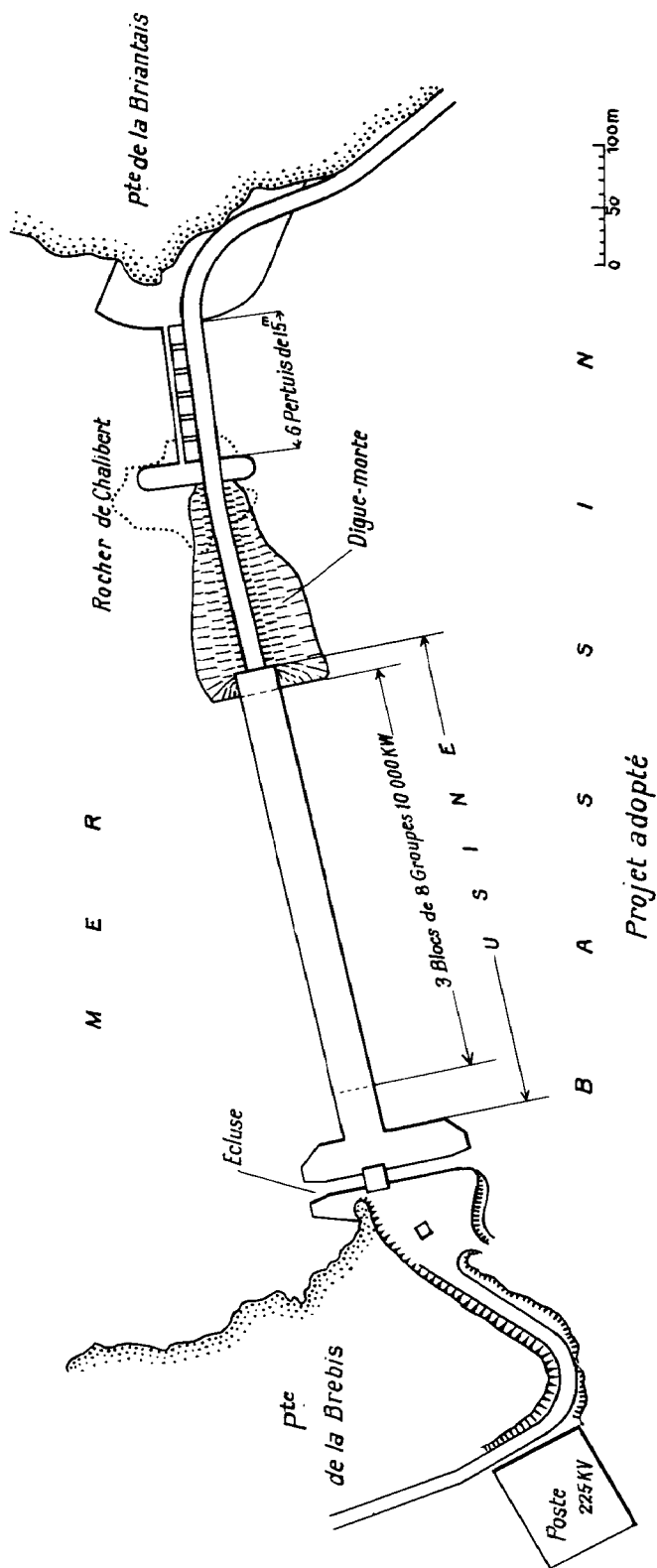


FIG. 3. — Projet adopté. — Plan schématique de la digue-usine.

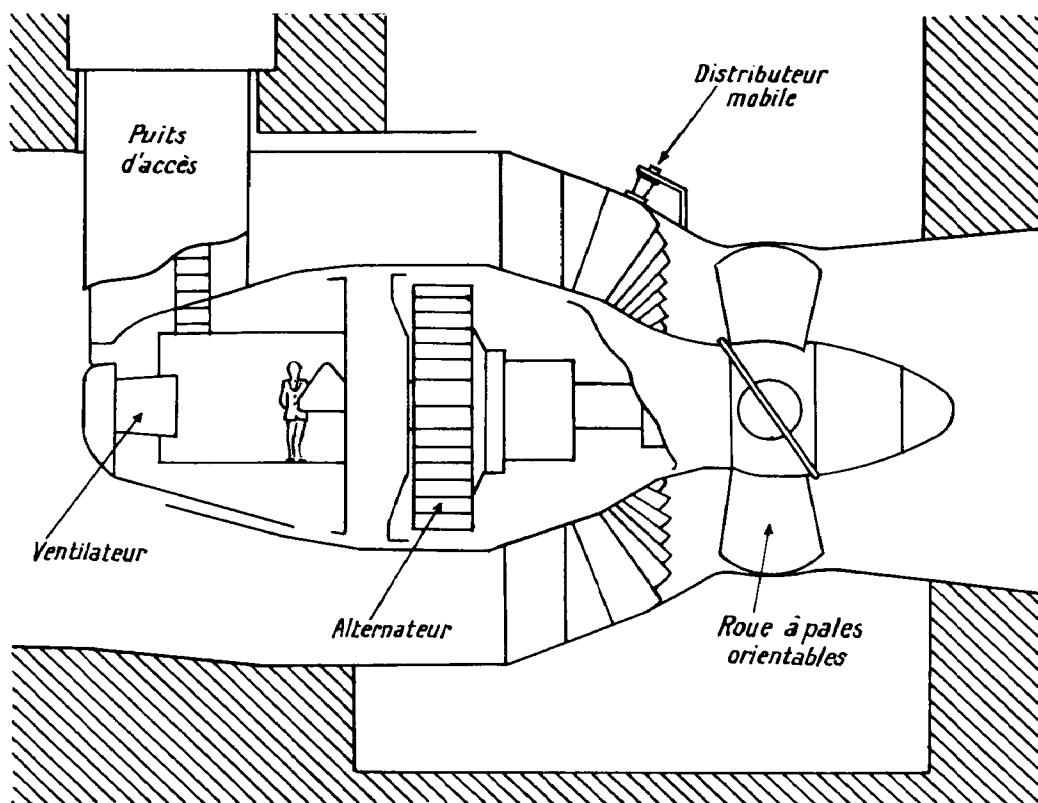


FIG. 4. — Coupe schématique d'un groupe.

à la consommation actuelle et au développement qu'on lui prévoit; l'emploi de l'énergie atomique laisse de volumineux déchets dont on ne sait trop déjà comment se débarrasser sans risquer de contaminer les êtres vivants. Aussi n'est-il pas absurde de poursuivre parallèlement l'exploitation de la houille blanche et de se tourner aussi vers les autres énergies naturelles.

Parmi celles-ci l'énergie des marées est une des plus aisément utilisables, tout au moins pour les quelques pays que la forme découpée de leurs côtes et la distribution des profondeurs océaniques font bénéficier de marées de forte amplitude, et par suite d'une plus grande concentration de cette forme d'énergie. Il n'existe à vrai dire sur le globe que peu de régions vraiment favorisées à ce point de vue; la baie de Fundy au Canada, l'estuaire de la Severn en Angleterre, le golfe de Saint-Malo en France sont le siège de marées particulièrement amples dont le marnage peut atteindre de 11 à 15 mètres dans les vives-eaux moyennes et ces sites ont depuis longtemps, comme nous l'avons dit, tenté les ingénieurs. Les baies de Cobscook et de San José que nous avons déjà mentionnées les ont aussi intéressés par l'ampleur de leur réservoir et l'étroitesse de leur ouverture, bien que l'amplitude des marées y soit nettement moindre.

L'estuaire de la Rance n'est lui-même pas la seule région de France à laquelle on ait songé pour établir des usines marémotrices; divers projets ont été proposés pour quelques baies de la côte française de l'Atlantique, de la côte septentrionale de Bretagne ou du littoral normand. Mais la ren-

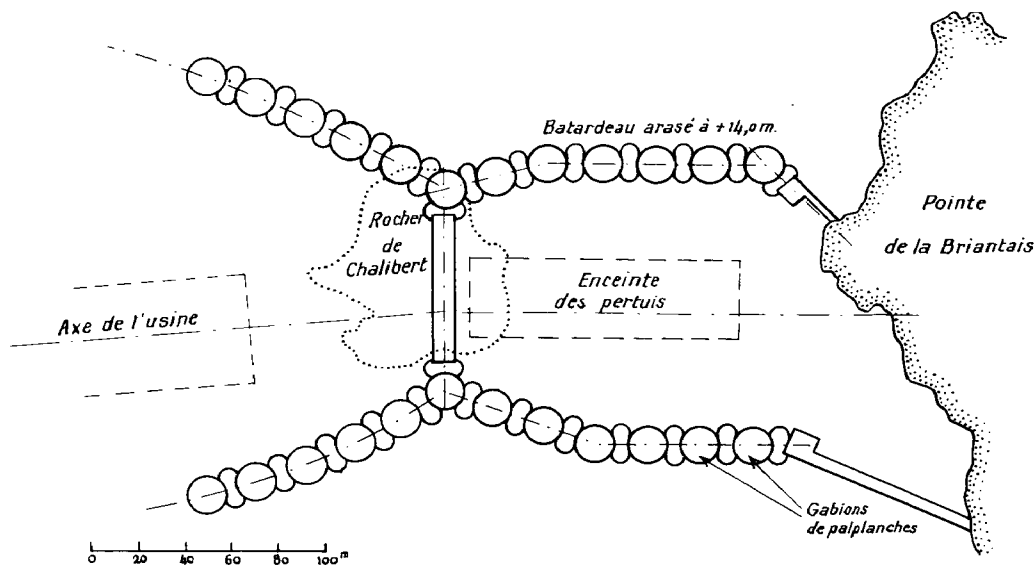


FIG. 5. — Travaux de génie civil. — Plan des batardeaux.

tabilité d'une usine marémotrice croît beaucoup avec le marnage de la marée et l'étendue du bassin disponible et c'est pour cela que le projet de barrer la Rance a finalement été retenu. Un autre élément est intervenu d'ailleurs pour emporter la décision gouvernementale. La baie du Mont-Saint-Michel, relativement proche de la Rance, offre jusqu'à la pointe du Roc à Granville, jusqu'aux îles Chausey au large, jusqu'à la pointe du Grouin à Cancale, une immense étendue d'eau que le rythme de la marée élève plus encore que les eaux de la Rance et où l'énergie disponible, vingt-cinq fois supérieure, permettrait de couvrir une part importante de la consommation nationale. Mais il serait imprudent d'entreprendre sans une expérience préalable les immenses travaux d'aménagement correspondants, et l'on a considéré que l'usine de la Rance servirait de banc d'essai pour la construction des ouvrages, pour la réalisation des turbo-alternateurs, pour le mode d'exploitation du cycle des marées.

*
**

Cette énergie que nous nous disposons à prélever, sous quelle forme est-elle incluse dans la marée ? Dans une mer dérivée telle que la Manche, la marée se présente comme une onde progressive émanant de l'océan Atlantique, dont l'ampleur permet aux forces luni-solaires d'y entretenir un mouvement oscillatoire permanent. La marée intéresse toute l'épaisseur de l'eau et la propagation de l'onde-marée s'accompagne, pour toutes les particules liquides, d'un déplacement horizontal, dirigé dans le sens de la progression quand passe la crête de l'onde, en sens opposé quand passe le creux : ce courant alternatif, le courant de marée, fait donc osciller les particules autour d'une position moyenne, seule l'onde progresse de façon continue. L'énergie de la marée se décompose par suite en deux énergies complémentaires, l'une potentielle, qui correspond à la déformation de la surface de la mer, l'autre, cinétique, qui est celle du courant de marée.

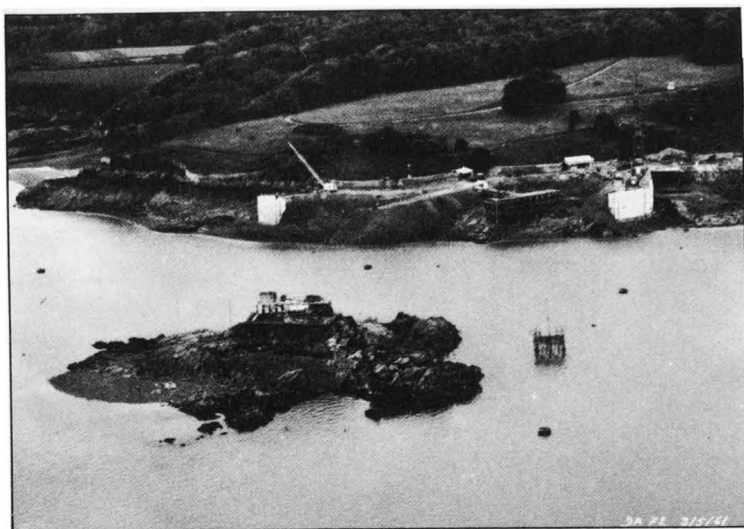


FIG. 6. — Rive droite. Peu après le début des travaux (3 mai 1961).



FIG. 7. — Rive droite. Construction des pertuis et du batardeau de la digue-usine (6 mars 1962).

Dans les mers peu profondes, le « frottement » sur le fond de la mer et la viscosité de l'eau consomment à peu près complètement toute l'énergie que l'onde apporte de l'océan; on a calculé que, dans une marée de vive-eau moyenne, il entre en Manche par l'Ouest environ 180 millions de kw, alors qu'il n'en sort que 23 par le Pas-de-Calais, la différence est dissipée dans le bassin oriental et le bassin occidental de la Manche. Malgré l'importance considérable de ces chiffres, la puissance dissipée en moyenne annuelle n'est que de 0,6 watt par mètre carré dans le golfe de Saint-Malo; si faible que soit un tel montant et bien que la dissipation ne se produise de façon appréciable que dans les mers peu profondes, elle avoisine pour l'ensemble du globe le milliard de kilowatts, atteignant le même ordre de grandeur que

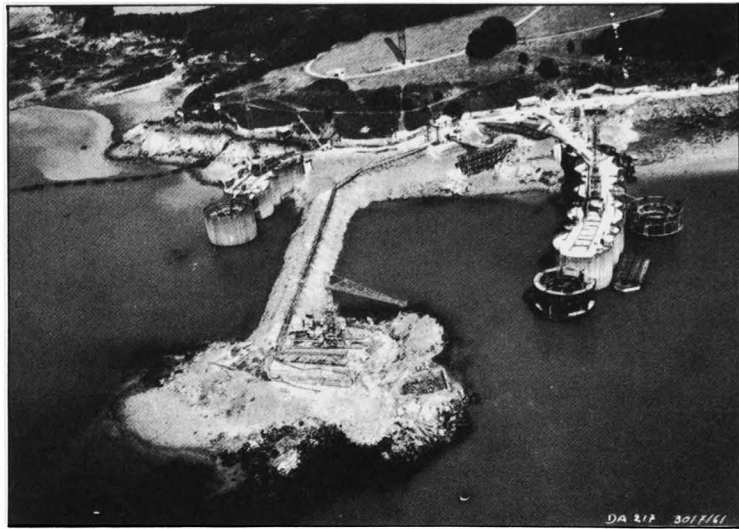


FIG. 8. — Construction du batardeau de l'enceinte des puits (30 juillet 1961).

l'énergie moyenne horaire de toute sorte consommée par les humains, et elle suffit pour provoquer le léger ralentissement constaté dans la rotation de la Terre.

Mais l'exploitation d'une usine marémotrice permet de libérer une énergie bien supérieure à celle qui est dissipée à l'emplacement de l'usine, la différence va donc être prélevée sur l'énergie transportée par l'onde-marée et se manifester par une perturbation du régime de la marée dans une certaine étendue aux abords de l'usine. On a pu montrer que l'amplitude de la marée doit en être extrêmement peu affectée et qu'il doit se produire surtout une augmentation du déphasage local entre la marée et le courant de marée; ce déphasage, qui est pratiquement nul dans l'océan, prend des valeurs variables dans les mers littorales sous l'effet du frottement et des phénomènes hydrauliques dus à la configuration des côtes. Il est inutile de souligner que, si cette ponction d'énergie doit théoriquement contribuer à ralentir encore la rotation de la Terre, il n'en résultera pratiquement aucun effet mesurable.

*
**

C'est en 1950 que l'Electricité de France, ayant arrêté son choix sur l'estuaire de la Rance et sur la baie du Mont-Saint-Michel pour la création d'une couple d'usines marémotrices, usine-pilote en Rance, usine à grand débit aux abords des îles Chausey, poussa activement l'étude des avant-projets destinés à préciser les possibilités de réalisation de cette vaste entreprise. Les recherches portèrent notamment sur le site des usines, sur la conduite des travaux de génie civil, sur le type de turbo-alternateurs, sur le mode d'exploitation.

Pour l'usine de la Rance la nature du sol et du sous-sol fut soigneusement étudiée à l'emplacement prévu pour le barrage. Une étude sur modèle réduit eut essentiellement pour objet de rechercher le meilleur mode de

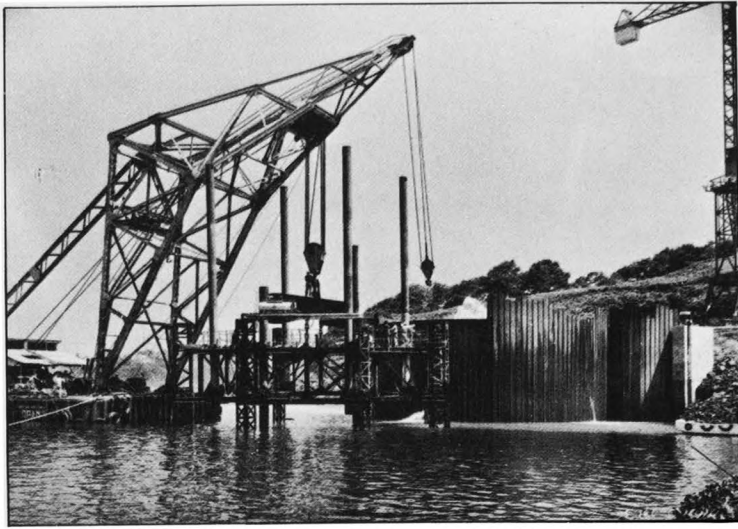


FIG. 9. — Mise en place d'un gabarit pour la construction d'un gabion de palplanches.

fermeture du barrage, opération particulièrement délicate en raison de la violence des courants qui augmente au fur et à mesure que se rétrécit la brèche entre les deux parties du barrage; ce modèle servit également pour obtenir des notions sur ce que deviendra, lorsque l'usine sera en exploitation, le régime des courants en aval du barrage et notamment à l'entrée du port de Saint-Malo. Dans le sas d'une ancienne écluse d'entrée dans le port, un prototype des turbo-alternateurs destinés à l'usine fut installé et son fonctionnement y est suivi à titre expérimental; c'est un groupe-bulbe à axe horizontal comprenant une turbine pompe Kaplan avec roue de 5,8 m de diamètre, à pales orientables, tournant à 88 tours par minute, et couplée à un alternateur de 9 000 kw pouvant fonctionner en moteur ou en générateur; le groupe peut donc être utilisé dans les deux sens en turbinage et en pompage, de manière que l'usine puisse produire du courant en marée montante comme en marée descendante et qu'il soit possible, en relevant le niveau du bief amont à certaines heures, d'améliorer le débit à d'autres, donc de régulariser partiellement la production et de l'adapter aux besoins.

En ce qui concerne le projet proprement dit de barrage et d'usine, celui qui a été adopté en 1960 diffère assez sensiblement de ceux qui avaient été étudiés jusqu'alors. Initialement en effet, les ingénieurs s'étaient efforcés de tirer le maximum d'énergie du site qui leur était proposé et la digue-usine de 700 mètres de longueur qu'ils avaient conçue s'étendait en ligne droite d'une rive à l'autre de l'estuaire, de la pointe de la Brebis à la pointe de la Briantais; elle était équipée de 40 groupes-bulbes monobloc de 9 000 kw dont l'énergie devait être débitée sur le réseau général à 220 000 volts. Le corps du barrage enfermait tout le matériel de production, de transformation et d'évacuation de l'énergie, ainsi que le matériel d'exploitation et les ateliers de montage et d'entretien des groupes; en outre dix pertuis de vannes étaient répartis sous la digue pour aider aux différents remplissages et vidages de l'estuaire nécessaires à l'exploitation. Cette usine exigeait de très importants travaux de génie civil puisque le barrage devait se pré-

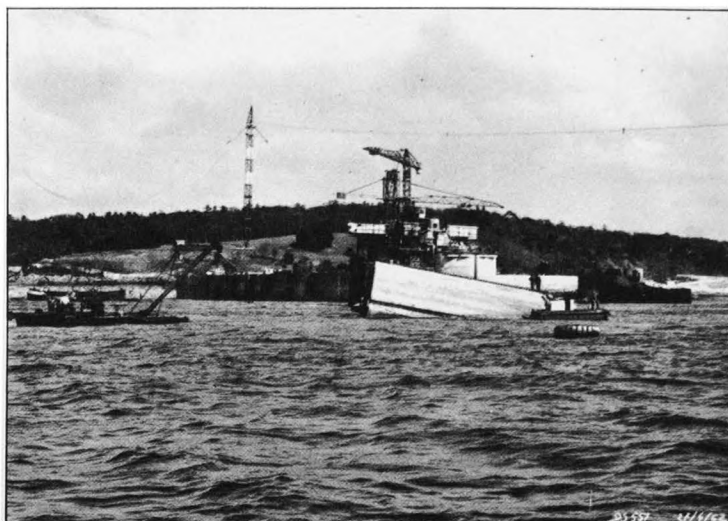


FIG. 10. — Mise en place par forçage d'un des caissons en ciment armé utilisés dans la construction du batardeau concurrentement avec les gabions de palplanches. On aperçoit au second plan le caisson niveleur, chambre de plongée destinée à préparer le lit du fleuve à l'emplacement des caissons et des gabions.

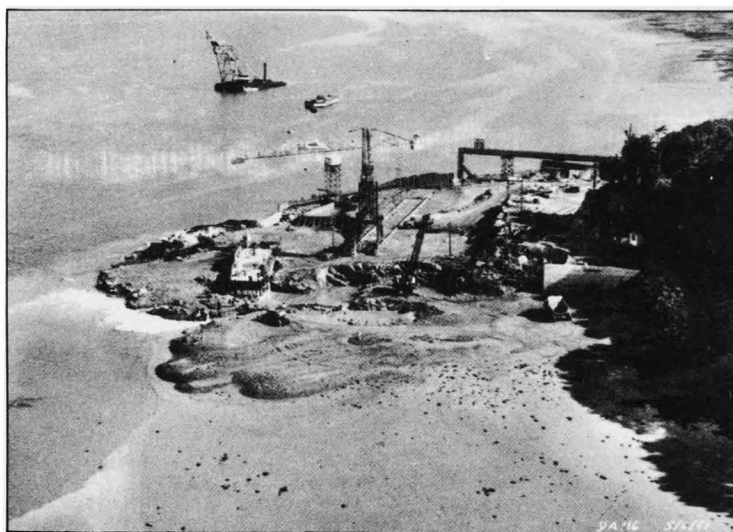


FIG. 11. — Rive gauche peu après le début des travaux (5 juin 1961).

senter comme une digue de plus de 25 mètres de hauteur, entre le pont-route qui la couronnait au-dessus du niveau des plus hautes mers et le lit du fleuve arasé sur une grande surface à 11 ou 12 mètres au-dessous du niveau des plus basses eaux; il fallait en outre faire disparaître par déroctage un massif rocheux, le rocher Chalibert, situé en aval du barrage et qui aurait gêné la libre circulation des eaux.

Mais, malgré quelques sacrifices consentis ultérieurement sur le nombre des groupes, les investissements restaient élevés et la rentabilité de l'aménagement de la Rance était encore un peu inférieure à celle d'usines hydro-électriques classiques de rivière. Aussi l'Electricité de France fut-elle

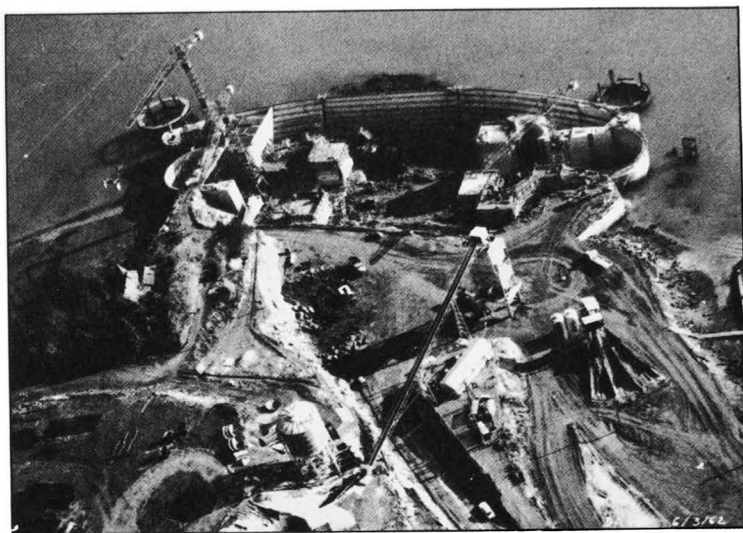


FIG. 12. — Rive gauche. Etat d'avancement de l'écluse (6 mars 1962).

amenée à modifier sa conception du projet et à chercher dorénavant à tirer de la Rance non plus le maximum d'énergie, mais plutôt de l'énergie au meilleur prix. L'expérimentation faite sur un groupe-bulbe montra d'une part qu'en le faisant fonctionner en atmosphère surpressée au double de la pression atmosphérique, on réalisait un gain de puissance dépassant 10 % et d'autre part que l'on pouvait renoncer aux groupes monobloc et adopter des turbo-alternateurs démontables, ce qui permettait de réduire la largeur de l'usine. D'un autre côté, en ramenant à 24 le nombre des groupes, tout en se réservant d'ailleurs la possibilité d'en ajouter d'autres, on parvenait à diminuer sensiblement la longueur de l'usine, grâce à quoi il devenait possible de remplacer les pertuis de vannage profond par des vannes de surface et d'appuyer la digue-usine sur le rocher Chalibert au lieu de le détruire. De ce fait le coût des travaux de génie civil est réduit d'un tiers, celui du matériel de plus d'un quart; au total l'économie sur les investissements est de 40 %, alors que la diminution de puissance n'est que de 33 % et la diminution d'énergie de 25 % seulement. C'est ce nouveau projet qui a été adopté et qui est en cours de réalisation : l'usine en construction aura une puissance installée de 240 000 kw et pourra fournir en un an 540 millions de kilowatts-heure.

Le mode d'exploitation a été longuement étudié afin d'éliminer au mieux les difficultés causées par le rythme des marées qui se décalent de près d'une heure par jour, avec en plus des variations de hauteur importantes suivant les phases de la lune, et aussi afin de répondre le plus possible à la demande d'énergie du moment, notamment dans les heures de pointe des mois d'hiver; en combinant les effets de turbinage, de pompage et de vannage dans un sens ou dans l'autre on est arrivé à concevoir un fonctionnement très souple qui permettra d'intervenir utilement dans notre réseau d'inter-connexion électrique.

On peut compter que les premiers groupes pourront être mis en service vers la fin de 1965 et que l'usine sera définitivement achevée un à deux ans après.

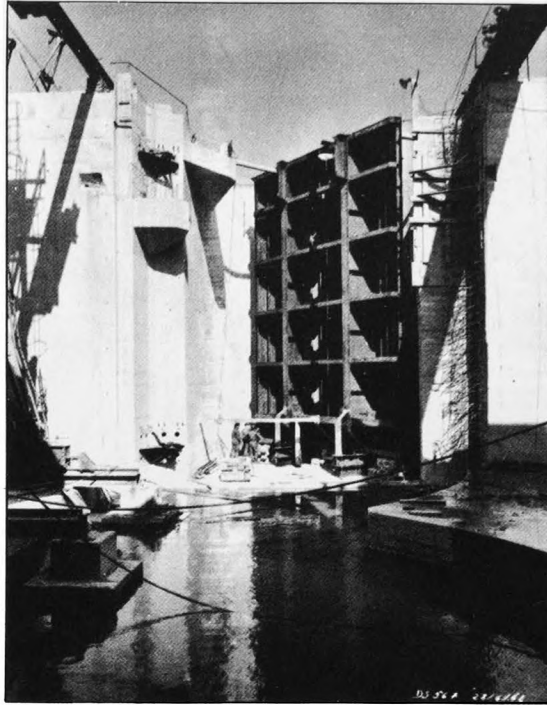


Fig. 13. — Rive gauche. Installation d'une porte de l'écluse (28 avril 1962).

*
* *

D'un autre côté la baie du Mont-Saint-Michel et son débouché vers les îles Chausey ont été l'objet d'études préliminaires portant sur la géologie du sol et du sous-sol, le régime précis des marées et des courants, celui des vents et de la houle. En outre deux modèles réduits de la Manche ont été réalisés. L'un est installé au Laboratoire national d'hydraulique à Chatou et sert à étudier l'influence que l'exploitation de l'usine marémotrice des îles Chausey pourra exercer sur les marées de la baie du Mont-Saint-Michel. Le second est porté par un plateau tournant de 14 mètres de diamètre, auquel ont été imposées des conditions de fonctionnement particulièrement rigoureuses et qui a été construit à Grenoble et confié à l'Université de cette ville; il doit permettre d'étudier avec précision, et en tenant compte de la force déviatrice de la rotation de la Terre, les perturbations que le fonctionnement de l'usine projetée sera susceptible d'apporter au régime des marées. Une étude analogue dans son objet est exécutée d'autre part sur un modèle mathématique à l'aide de calculatrices électroniques. Ces travaux permettront, une fois l'usine-pilote de la Rance achevée et expérimentée, de prendre une décision définitive en ce qui concerne la baie du Mont-Saint-Michel et, dans le cas où elle serait favorable, de passer rapidement à l'exécution des ouvrages qui exigeront une digue d'environ 35 mètres de haut et 35 kilomètres de long dans laquelle sera incorporée une usine hydro-électrique s'étendant sur 4 kilomètres. Il n'est pas interdit de penser que, malgré le développement que prendra l'utilisation de l'énergie atomique,

ce projet grandiose, susceptible de fournir une énergie comparable à celle que l'on retire des bassins houillers du Nord et du Pas-de-Calais, sera encore en mesure de constituer un appoint utile, sinon nécessaire, dans la satisfaction des besoins énergétiques de la France et de l'Europe.