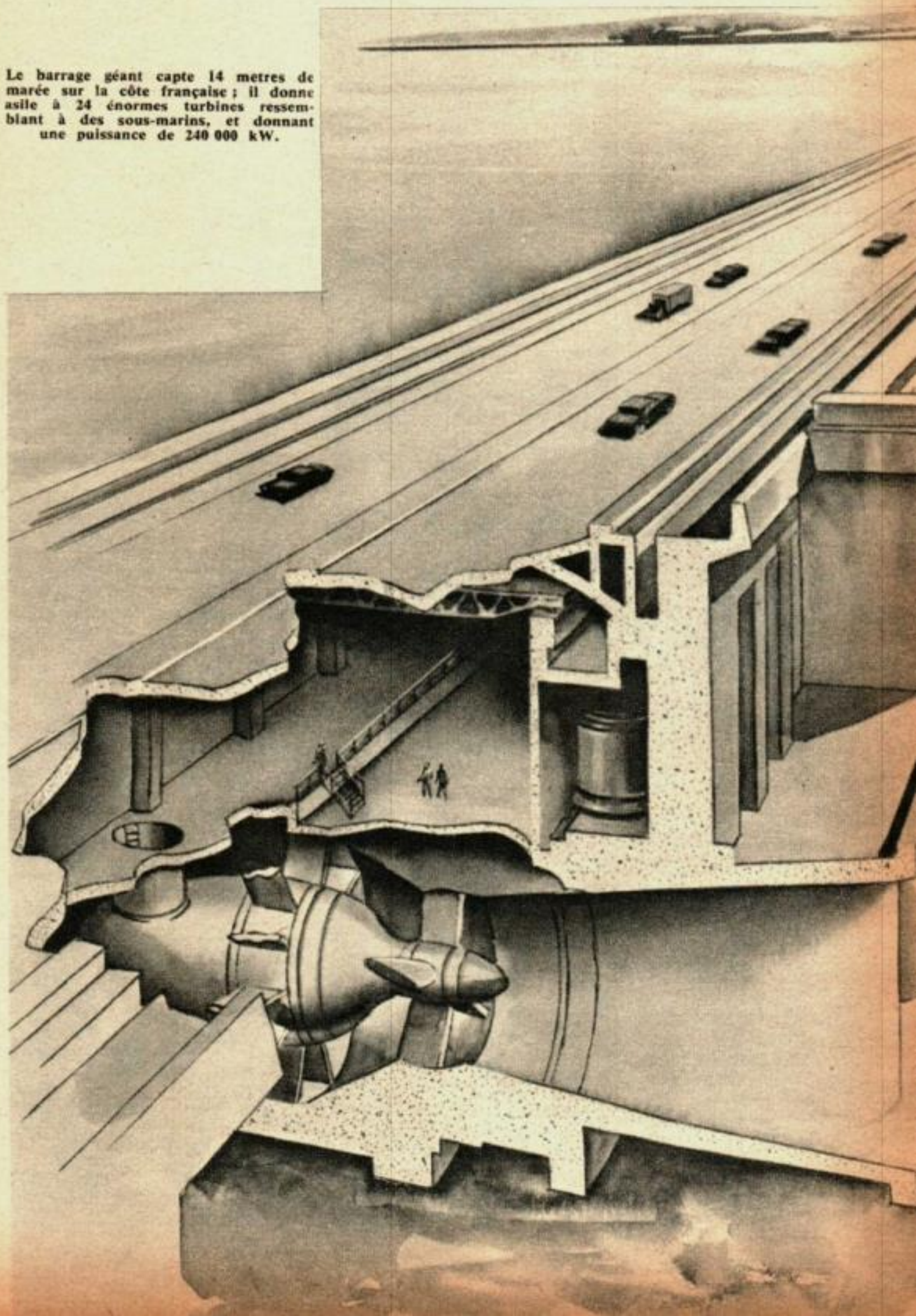


LA LUNE FERA BRILLER

Le barrage géant capte 14 mètres de marée sur la côte française ; il donne asile à 24 énormes turbines ressemblant à des sous-marins, et donnant une puissance de 240 000 kW.



LES LUMIERES DE PARIS

Le rêve d'utiliser l'énergie des mers devient réalité au nord-ouest de la France.

Le problème de la première usine marémotrice passionne tous ceux qui sont avides d'apprendre et de comprendre. Aussi, n'avons-nous pas hésité à compléter notre article du mois précédent par l'histoire de la mise à l'étude du projet et de sa réalisation.

Par H. Manchester.

DEPUIS plus de 200 ans, on discute de l'utilisation des marées qui soulèvent l'eau des océans et laissent retomber et pourraient fournir de l'énergie à l'industrie. Mais aujourd'hui, tout près de la vieille cité de Saint-Malo, au bord de la Manche, en un point où la Rance a creusé son chemin vers la côte de Bretagne, un des plus grands projets du siècle est en voie d'achèvement.

Dans la vallée profonde qui commence à Saint-Malo, une armée de 900 ouvriers a créé une vaste retenue qui s'étend presque jusqu'à la ville de Dinan, à 25 kilomètres en amont. Son but est d'enfermer les formidables marées de la Manche, et de les conduire à travers un système original et ingénieux de turbines, pour produire de l'électricité. Près de Saint-Malo, les ingénieurs de l'Electricité de France sont en train de construire une usine hydro-électrique à marée de 500 millions de francs pour faire briller les lampes et actionner les machines de leur pays qui progresse rapidement.

Le site de Saint-Malo tentait depuis longtemps les spécialistes en énergie, car ses marées sont parmi les plus fortes du monde. Les côtes de la Manche, celles de France et celles d'Angleterre, entourent les eaux qui viennent de l'Atlantique, comme aurait pu le rêver un ingénieur en hydraulique, puis les brisent contre les 150 kilomètres de la côte de la presqu'île du Cotentin, qui est placée perpendiculairement à leur route. Bloquées contre ce mur, les eaux s'élèvent, et la mer peut dépasser de 14 mètres son niveau moyen. Deux fois par jour, la mer s'engouffre dans la Rance jusqu'à Dinan, avec un débit maximal de un milliard de litres par minute, et puis elle se retire, laissant derrière elle le long triangle étroit de son bassin triste et nu.

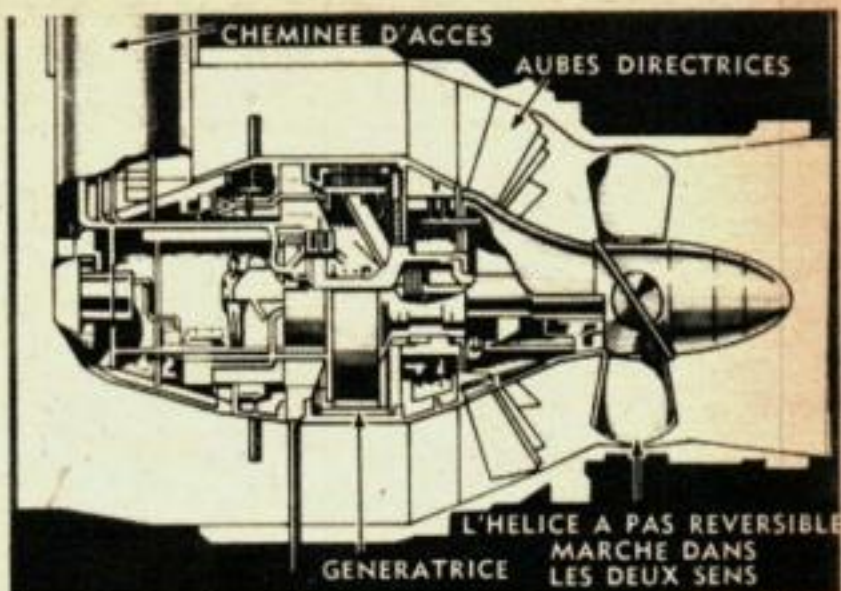
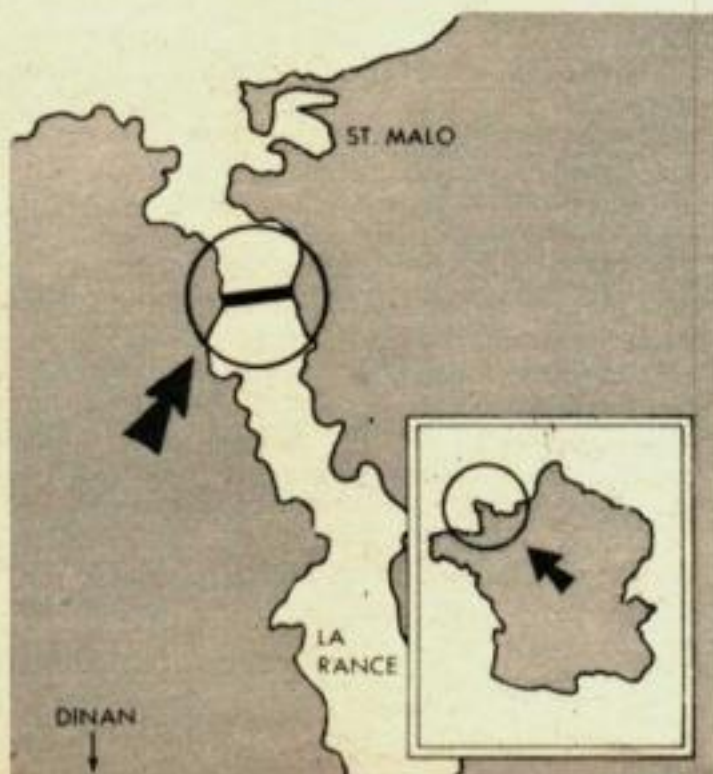
Pendant des siècles, les meuniers bretons installés sur les bords du fleuve ont utilisé quelques parcelles de cette énorme masse d'eau. On voit encore près de Saint-Malo un

tel moulin, maintenant arrêté ; la marée passait à travers des écluses à sens unique pour remplir le réservoir du moulin ; puis, durant la période du reflux, l'eau quittait le réservoir et faisait tourner la roue à aubes pour moudre le grain des fermiers du pays.

Depuis le jour où un officier du Génie de l'armée française, Bernard Forest de Belidor a exposé son idée pour la première fois, en 1737, des « visionnaires » ont de temps en temps proposé des méthodes pour que l'industrie puisse utiliser l'énorme quantité d'énergie gaspillée en pure perte. Un des partisans les plus tenaces et les plus compétents de ce projet, un dynamique ingénieur de 60 ans, Robert Gibrat, a réussi après 20 ans d'efforts à persuader ses savants collègues et les financiers de la rentabilité de l'opération.

Fils d'un médecin de Brest, Gibrat se promenait souvent, quand il était petit, parmi les rochers de la côte bretonne, et la puissance sauvage des vagues le fascinait. Depuis lors il n'a pas cessé d'étudier tous les moyens de se procurer de l'énergie, et à 36 ans il devenait directeur de la distribution de l'électricité au ministère français des Travaux publics. Les jours de semaine trop bien remplis par les heures de travail ne lui laissaient que peu de temps pour la spéculation, mais un beau dimanche d'octobre 1940 il vint à son bureau pour examiner de vieux dossiers qui avaient excité sa curiosité. Il tomba sur un classeur couvert de poussière qui contenait des projets abandonnés d'usines marémotrices ; entre autres des documents pour l'utilisation de la marée aux environs de Brest, sa ville natale. Plus il fouillait plus son excitation montait ; pendant des heures le plancher résonna sous ses

Le batardeau en construction montre les cylindres placés pour le mur d'aval du lac ovale. Au premier plan, l'ensemble des six vannes de contrôle des marées.



Le générateur ressemble à un sous-marin ventru ; il est actionné par une hélice réversible. Le milieu de la digue contiendra vingt-quatre de ces engins.

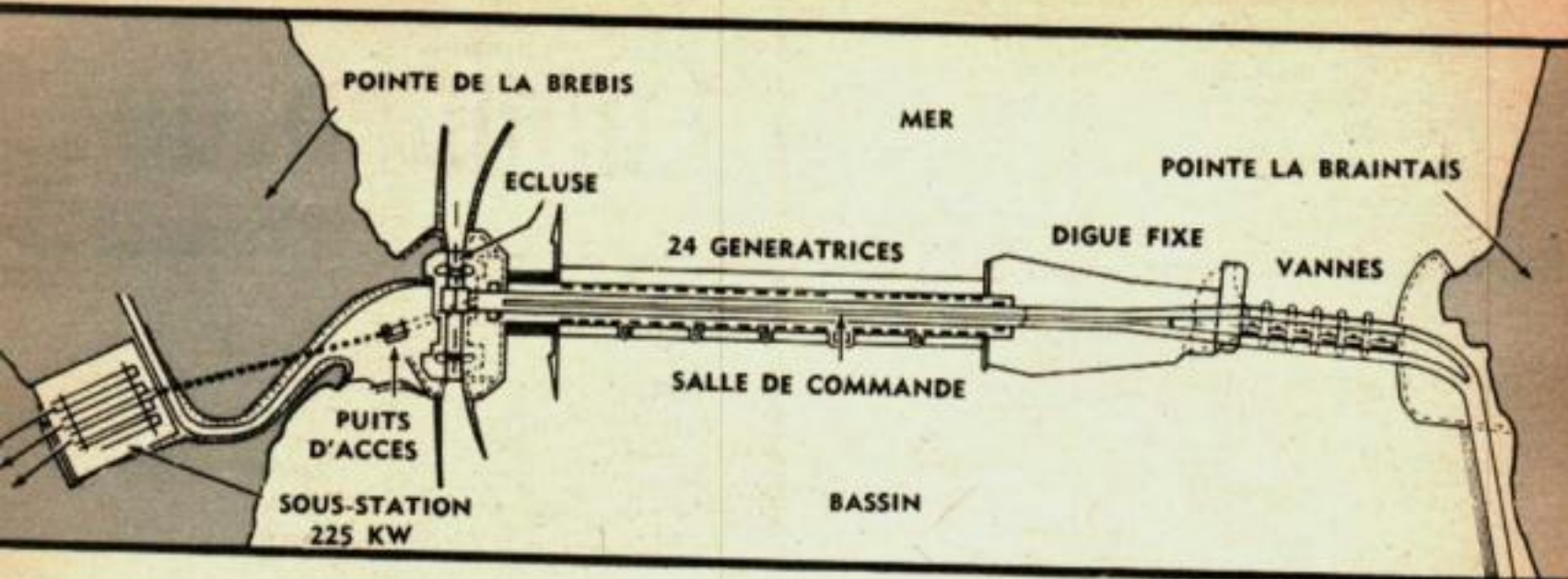


Le barrage à marée géant, le premier du monde, est sur la Rance, en dessous de Saint-Malo (nord-ouest de la France). Auparavant, la marée remontait à 25 kilomètres, jusqu'à Dinan.

pas ; il retournait le problème, il examinait les diverses possibilités, il prenait des notes sur les sites favorables.

Il étudia la carte des côtes, s'instruisit des courants marins, des marées ; sa conclusion fut que Saint-Malo était l'endroit le plus merveilleusement propice à l'installation d'une usine marémotrice. Il commença les plans d'un système hydro-électrique destiné à utiliser l'entrée et la sortie de la marée pour faire tourner les turbines et les alternateurs.

Puis Gibrat mit sur pied une équipe de recherches industrielles privée pour étudier et promouvoir le projet. Cette équipe, plus tard incorporée à l'Electricité de France, avec Gibrat comme ingénieur-conseil, poursuivit un programme serré pour établir les éléments de cette centrale révolutionnaire. Pour faciliter la résolution du problème que l'on rencontrait pour la première fois, il fallut construire dans un grand laboratoire de



Vue d'ensemble de la digue. Puits d'accès sur la rive gauche. Près du bord, le sas de l'écluse de navigation. Au milieu, les 24 turbines réversibles, puis la digue fixe, enfin les vannes.



Des caissons classiques ont servi aux opérations sous l'eau. On a exécuté les fondations des cylindres de béton sous le fleuve.



L'originalité de la méthode réside dans des cylindres de béton préfabriqués plantés comme des pieux ; en remplissant l'intervalle entre les cylindres, on achevait le batardeau.

Saint-Malo un modèle réduit très précis de tout le bassin de la marée. Les rives et le lit de la Rance méticuleusement reproduits dans le béton composent un système hydrographique miniature de 160 mètres de long. Tout rocher, tout banc de sable, de n'importe quelle forme, depuis Saint-Malo jusqu'à Dinan, y possède son image. En étudiant le mouvement de la rivière en modèle réduit, on peut prévoir avec assez de précision l'effet des courants, des marées et des tempêtes sur la digue.

La véritable construction du barrage sur la Rance a commencé dans les premiers mois de 1961. Quand on construit un barrage classique, sur une rivière, le courant est à sens unique ; il suffit d'arrêter l'eau, de lui faire éviter l'endroit du chantier, avec un seul batardeau ; alors les ouvriers bâtissent le barrage et l'usine, à sec, dans un calme relatif et en sécurité. Mais les ingénieurs du projet de Saint-Malo avaient à faire face à

des courants qui renversent leur marche périodiquement, assez forts pour démolir ce qu'ils trouvent sur leur chemin, dans des conditions de travail qui changent d'une minute à l'autre avec le flux et le reflux.

Dans les premières phases de la construction, le plan demandait de placer d'abord les extrémités de la digue, en partant de chaque rive. Sur la rive ouest on a construit une écluse, à l'abri d'un batardeau. Plus tard cette écluse servira à la navigation. Au cours de la mise en place du batardeau les ouvriers attendaient l'heure de la marée basse, se dépêchaient de couler le béton, et se sauvaient quand la mer revenait.

Sur la rive est, une petite île rocheuse pouvait servir de point d'ancrage. Là on a placé un barrage avec six énormes vannes d'acier. On pourra ouvrir ces vannes pour laisser passer la marée dans un sens ou dans l'autre.

(Suite page 112)

la digue ; chacune possède une cheminée verticale par laquelle les ouvriers peuvent descendre assurer l'entretien du matériel. La construction de ces « coques à électricité » a demandé la fabrication de nouveaux alliages capables de résister à la corrosion par l'eau de mer. Dans le port de Saint-Malo, un tunnel creusé sous terre a permis d'essayer dans l'eau de mer le fonctionnement d'une de ces machines, pendant plus de quatre ans ; on l'a mise en marche, arrêtée, on a changé le sens de la marche des centaines de fois, pour éprouver toutes ses parties dans les mêmes conditions qu'en service.

Synchroniser l'horloge et la lune

La montée et la descente régulière des marées est le résultat des attractions gravitationnelles combinées du soleil et de la lune sur l'onde marine. Les premiers projets d'usines marémotrices trouvèrent donc une limitation dans leur dépendance du mouvement de la lune qui ne coïncide pas toujours avec les besoins en électricité de la population. Après une longue étude des hauteurs des marées suivant les saisons et les jours, les ingénieurs français ont combiné des méthodes assez souples pour les manœuvres du barrage, de manière que le rythme de la lune s'accorde le mieux possible avec les besoins horaires du monde de l'industrie.

Il y a bien des manières d'exploiter la différence de niveau de l'eau, laquelle varie constamment, d'un côté à l'autre de la digue, et d'en tirer le maximum d'énergie au moment où on en a le plus besoin. Un grand nombre de marées suffisamment fortes auront un double service : elles feront tourner les aubes des turbines quand elles monteront et rempliront le réservoir ; elles les feront tourner de nouveau quand l'eau s'écoulera, à marée basse. Certains jours, il sera plus efficace d'ouvrir les vannes du barrage, de laisser la retenue se remplir seule, et de ne faire travailler l'eau qu'à la sortie. Encore un autre procédé : on se sert des turbines en guise de pompes et on dépense de l'énergie électrique pour remplir le réservoir, par exemple durant la nuit où la consommation est faible. On récupère cette énergie en laissant sortir l'eau qui alors fait tourner les turbines, à la marée basse, dans les heures de pointe. (Car si vous élevez un poids à une hauteur de 1 mètre et si vous le laissez retomber de 10 mètres, vous récupérez de l'énergie).

Les ingénieurs ont dessiné des graphiques compliqués sur lesquels ces diverses méthodes de travail sont coordonnées avec le rythme de la marée et la consommation d'électricité ; ces graphiques permettent de prévoir plusieurs mois à l'avance l'utilisation la plus profitable de l'usine marémotrice. Quand cette dernière sera entièrement achevée, ses alternateurs fourniront de l'énergie durant six heures environ, en moyenne, par jour.

Cette production constante tout au long de l'année est d'une importance capitale pour

la France. Actuellement, les barrages sur les fleuves fournissent à peu près la moitié de l'électricité consommée dans le pays ; mais il y a une centaine de jours en hiver, où la pluie ne tombe pas en abondance, et les rivières baissent tandis que les puissances disponibles sont très réduites. Durant ces périodes on est obligé de faire de plus grandes dépenses d'un charbon qui coûte cher. Les marées de la Rance, indépendantes des fluctuations de la pluviométrie fourniront des kilowatts qui seront les bienvenus pendant les périodes de sécheresse.

Le barrage à marée de la Rance est un bel exemple d'une invention qui, parfaite en principe, doit attendre les temps favorables à sa réalisation. Quand elle a été proposée pour la première fois, en 1905, il était impossible d'envoyer l'énergie électrique, par fils, à plus de 120 kilomètres, sans pertes inadmissibles.

Aujourd'hui, avec trois lignes de transport à 225 000 volts, l'énergie de la marée pourra être amenée en un point quelconque du territoire français ; la région de Paris va encore se tailler la part du lion, à cause de l'accroissement rapide de sa population et de son industrie ; ensuite viendra la Bretagne. Une ligne de transport se dirige vers Paris pour lui apporter l'électricité, une autre vers Brest, une troisième vers Rennes pour aider à son industrialisation. Et le personnel hôtelier de Saint-Malo se réjouit de l'afflux des techniciens qui viennent de tous les pays du monde pour contempler la nouvelle merveille.

Une mer dessalée

Ainsi que cela se produit toutes les fois qu'un grand projet est réalisé, il y a quelques rouspétances. Au-dessus de la digue l'eau est déjà devenue moins salée, depuis que le batardeau empêche relativement la marée d'entrer et que la proportion de l'eau douce de la rivière s'augmente. Les pêcheurs professionnels installés sur les rives trouvent moins de carrelets et de mulets dans leurs filets, et davantage de carpes. Les entreprises de réparation de bateaux de plaisance, le long de l'estuaire, auraient pu être touchées, car avec la descente du niveau de l'eau, leurs cales sèches se seraient trouvées en pleine terre ; en compensation, la direction de l'Électricité de France leur a installé gratuitement de petites voies ferrées pour transporter les bateaux depuis la nouvelle côte jusqu'aux ateliers.

De plus un problème temporaire de pollution de l'eau a surgi. Les eaux usées de Dinan et des villages qui se trouvent le long de la Rance s'en allaient rapidement autrefois, grâce aux marées. Comme le niveau de la rivière est maintenant stabilisé jusqu'à l'achèvement du barrage, on ouvre les vannes tous les quinze jours pour évacuer les eaux polluées et les remplacer par de l'eau de mer neuve. Les Bretons prévoient une usine moderne de destruction des ordures ménagères pour Dinan. La rivière restera propre.

Les spécialistes en énergie du monde entier s'intéressent à la réalisation de Saint-

Malo. Dans tous les pays industriels la demande d'électricité double tous les dix ans, et l'on ne peut négliger aucun des moyens de s'en procurer. M. Gibrat a dressé une liste de plus de 90 sites côtiers, tout autour du globe, en lesquels la hauteur des marées atteint une importance digne d'être prise en considération. Il pense que le projet canadien de la baie de Fundy est parfaitement réalisable. Il croit de même à la possibilité pratique du projet du golfe de Passamaquoddy, situé entre le Nouveau Brunswick et le Maine et qui a fait couler tant d'encre, à condition que le Canada et les Etats-Unis réussissent à se mettre d'accord pour sa réalisation. Il s'intéresse surtout à un endroit situé au nord-ouest de l'Australie, où l'énergie des marées pourrait conduire à un grand développement de l'industrie. Il cite une étude faite par des ingénieurs français à San José, Argentine, où l'on pourrait utiliser l'énergie des marées en creusant un canal entre deux baies ; il mentionne l'embouchure de la rivière de Séoul en Corée, emplacement bien adapté. On a fait encore des douzaines d'autres propositions, parmi lesquelles celle de creuser à l'explosif des bassins artificiels pour enfermer à marée haute de l'eau de mer qui ferait tourner les turbines en repartant. Malgré tout, d'après lui, la France est le pays le mieux placé du monde pour la construction des usines marémotrices.

Les géants de demain

« Le grand projet qui ferait suite à celui de la Rance » dit-il, « serait de construire

une digue dans la baie du mont Saint-Michel, où les grandes marées sont si célèbres ; elles ont d'ailleurs joué un rôle dans la défense de la forteresse. Mais il faut attendre encore 20 ans pour qu'une entreprise si gigantesque puisse s'intégrer heureusement au réseau français de distribution d'énergie. Ensuite il faudra dix ans pour réaliser le projet ; ce sera une source énorme d'électricité. »

Une antique légende comparait la lune à un grand oiseau battant des ailes pour faire monter l'eau de mer. Saint-Malo montre le chemin à suivre et le grand oiseau d'argent apportera à des millions d'hommes la lumière qui perce les ténèbres.

DÉCOUVREZ

VELOUMAT

LA PEINTURE "FAITE POUR L'AMATEUR"
ses qualités vous étonneront !

FACILE

RAPIDE

ÉCONOMIQUE

DÉCORATIVE

Application aisée à la portée de tous. Aucune trace de pinceau ni de raccord.

VELOUMAT sèche en quelques heures, sans aucune odeur, même en local fermé. Couvre en une couche.

Moins de 0,20 le m². Vous permet de renouveler plus souvent votre intérieur.

20 teintes pastels, jeunes et fraîches, dont le nouveau "Rouge décor". VELOUMAT a la richesse du papier peint.

RAPPELEZ-VOUS :

VELOUMAT

mate et veloutée comme du velours

En vente : Drogueries et Gds Magasins

Conseils pratiques et cartes de coloris sur demande aux ANC. ETS JARDIN B.P. 14 CORBEIL-ESSONNES (S. & O.)

La lune fera briller les lumières de Paris

(Suite de la page 23)

Alors le gros problème était de remplir l'espace qui restait. Les ingénieurs décidèrent de créer, au milieu du bras de mer, un lac ovale d'environ 600 mètres de long, en construisant des murs dans l'un des endroits les plus difficiles du monde. Ensuite on pourrait pomper l'eau de ce lac, et l'on aurait un terrain sec pour construire la digue définitive.

Avec les marées dans les deux sens, il fallait exécuter le travail avec des différences de niveau qui allaient jusqu'à 15 mètres. Il fallait lancer deux murs incurvés, en amont et en aval du site prévu pour la digue. Pour murer le côté du lac donnant sur l'océan, tandis que les gigantesques marées roulaient leurs flots dedans et dehors, les ingénieurs implantèrent une barrière dont les piquets étaient de grands cylindres, puis remplirent l'espace entre les pieux.

Les « pieux » que nécessitait ce genre de travail devaient résister à des efforts inouïs ; on n'en avait jamais construit de tels dans toute l'histoire du génie hydraulique. Ce problème fut confié à l'un des plus remarquables ingénieurs du monde : Albert Caquot ; n'est-ce pas lui qui, parmi de nombreuses réussites, réalisa le système de ballons utilisés durant la première guerre mondiale pour les

observations de l'artillerie ? Agé de presque 83 ans, Caquot administre l'Electricité de France.

Les plans basés sur les dessins de Caquot ont demandé la construction dans le port de Saint-Malo, de 19 cylindres de béton préfabriqué, cylindres de 10 mètres de diamètre et de 28 mètres de haut. Leurs extrémités étaient fermées pour leur permettre de flotter, et on les a remorqués jusqu'à leur place. Des ouvriers travaillant dans un caisson à air comprimé avaient préparé une base sous l'eau pour les recevoir. Les hommes-grenouilles descendirent passer des câbles dans les trous prévus et les ancrèrent aux gros poteaux flottants.

Des treuils à moteur montés sur bateaux firent pivoter lentement chaque cylindre pour le faire se poser sur sa base, tandis qu'on le remplissait d'eau pour le lester. Puis des milliers de tonnes de sable furent versés dans les cylindres pour remplacer l'eau et ainsi la rangée incurvée des solides piliers occupa le milieu de la rivière. Enfin on a bouché les intervalles entre les piliers, l'un après l'autre, par un ingénieux système de dalles verticales qui s'adaptent à des fentes sur l'extérieur des piliers et de cylindres métalliques remplis de sable et placés autour des dalles.

Maintenant que les marées étaient arrêtées il devenait plus facile de construire le mur d'amont. Et enfin, le 24 octobre dernier une aire ovale au milieu de la rivière était complètement entourée. Mais il fallut six semaines pour vider complètement ce lac d'environ 1 050 millions de litres, jusqu'au jour où apparut le fond du lit de la rivière, une sorte d'île au-dessous du niveau de la mer, qui offrait aux ingénieurs la place nécessaire à la construction de la digue définitive et de l'usine électrique qu'elle doit contenir.

Jusqu'à ce que l'entreprise soit terminée, vers 1966, les eaux de la Rance vont rester pratiquement séparées de la mer, et l'on ne sentira plus les marées au-dessus de la digue. On ouvrira les vannes de temps en temps pour nettoyer l'estuaire en laissant passer l'eau de la mer dans les deux sens.

La digue sur la Rance était une chose. Inventer de nouvelles génératrices, qui transforment efficacement et économiquement les poussées de l'eau dans les deux sens en kilowatts, en était une autre, tout à fait différente et aussi difficile. Pour répondre à cette demande, six entreprises constructrices, cinq françaises et une suisse se mirent d'accord pour fabriquer une unité génératrice hydroélectrique étanche qui ressemble à un sous-marin ventru d'environ 13 mètres de long, et portant à une extrémité une grande turbine à hélice. Cette turbine est réversible, les marées pourront l'actionner aussi bien à la montée qu'à la descente ; elle fera tourner une génératrice électrique dans le « sous-marin ». Cette machine ingénieuse a une puissance de 10 000 kilowatts, assez pour alimenter une ville de 15 000 habitants.

24 génératrices de ce type seront placées dans des couloirs pratiqués vers le milieu de