



Vue d'ensemble du port de Saint-Malo. Sur la ligne hachurée la digue de la première usine marémotrice du monde coupera l'estuaire de la Rance de la haute mer.

L'ÉNERGIE DE LA MER

Par Henri PHILIPPE

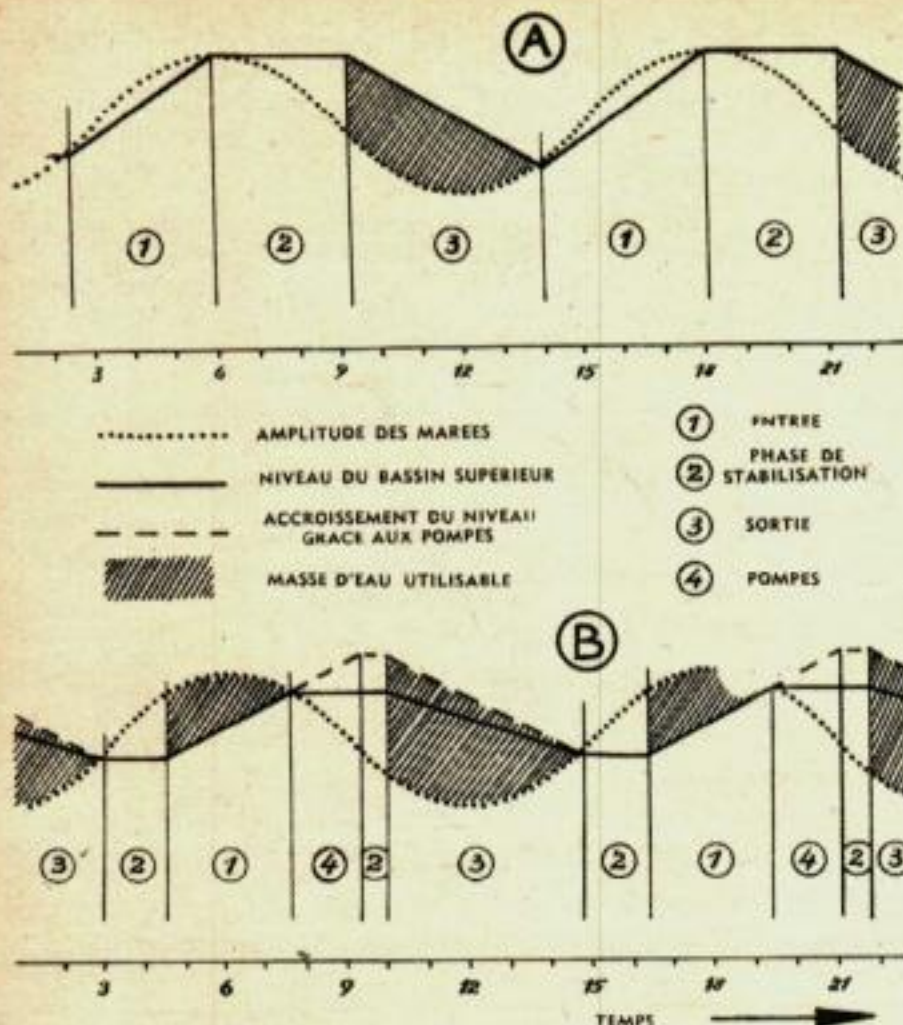
La première usine marémotrice du monde est en construction sur la côte bretonne.

AUSSI invraisemblable que cela puisse paraître à première vue, les faits sont là : deux fois par jour d'énormes masses d'énergie se trouvent libérées sur terre sans qu'elles soient utilisées. Cette énergie inutilisée est contenue dans l'éternel va et vient des marées, le flux et le reflux auxquels on assiste deux fois par jour et qui est produit par l'attraction de masse de la Lune et du Soleil sur les mers de notre planète. D'après des évaluations concordantes, l'énergie totale de la marée s'élèverait à 40 milliards de kilowatts et même la part d'énergie perdue en raison du frottement — s'élevant à environ 1 milliard de kilowatts — correspond au potentiel utilisable de tous les fleuves de la Terre.

Le fait que l'incroyable énergie des marées n'a pas pu être utilisée jusqu'à présent est dû à ce que cette énergie est dégagée à des

endroits où elle se soustrait à toute utilisation pratique, à savoir sur les vastes étendues des océans. L'amplitude de la marée n'est, d'autre part, sur de nombreuses côtes où une utilisation serait techniquement possible, en moyenne que de 1,5 à 2 m, de sorte que des raisons économiques militent contre une utilisation de l'énergie. Mais une transformation rationnelle technique des courants de la marée en une forme d'énergie utilisable n'est pas toujours très simple — même si tous les augures lui sont favorables. Sur les côtes anglaises et françaises les restes d'anciens moulins à marée du Moyen Âge témoignent encore, aujourd'hui, que l'on s'était déjà autrefois occupé — quoique dans une forme primitive — d'exploiter l'énergie des marées.

Après vingt ans d'études et d'essais, on a enfin commencé à construire, il y a deux



Fonctionnement d'une usine marémotrice avec cycle à simple effet (A) et cycle à double effet (B).

A) L'eau qui s'évide est seule à fournir du travail. La phase de ce travail est encore réduite par le fait que l'écoulement ne peut commencer que lorsque la dénivellation est suffisamment grande.

B) L'eau de remplissage est déjà exploitée une fois, et la masse utile est encore augmentée par les pompes.

(Dessin de l'auteur.)

ans, sur la côte française de la Manche (en Bretagne), entre Dinard et Saint-Malo, la première usine marémotrice qui transforme l'énergie des courants de marée en énergie électrique utilisable. La côte bretonne fait partie de ces régions géographiques où se produisent les poussées de marée les plus fortes. A cet endroit, les masses d'eau de l'Atlantique sont pressées dans l'entonnoir étroit de la Manche et la presqu'île du Cotentin, qui s'avance très loin, constitue en même temps un obstacle à leur passage. En raison des conditions hydrologiques, la dénivellation entre la marée haute et la marée basse peut atteindre jusqu'à 13,5 m dans l'estuaire en forme d'entonnoir de la Rance dans lequel on construit l'usine marémotrice. En période de grande marée — lorsque les forces massives du Soleil et de la Lune se complètent — la plus grande masse d'eau déplacée dans l'estuaire de la Rance atteint, tant par marée basse que par marée haute, 18 000 m³/s. Une seule poussée de marée déplace ainsi jusqu'à concurrence de 180 millions de mètres cubes d'eau.

Comme les marées y sont du type semi-diurne (exactement 24 h et 50 mn, la longueur d'une journée lunaire au cours de laquelle se produisent deux marées hautes et deux marées basses), l'usine peut utiliser

deux fois et, en cas de double exploitation, même quatre fois par jour la masse d'eau déplacée pour en extraire l'énergie.

L'utilisation pratique du courant de la marée consiste à construire un bassin dans l'estuaire d'un fleuve en l'isolant de la haute mer par un barrage. Lors de la marée montante, le bassin est rempli par l'entremise de vannes ouvertes. Lorsque le courant s'inverse, on ferme les vannes et on attend avec le vidage jusqu'à ce que la marée descendante ait créé une dénivellation suffisamment grande pour permettre le vidage de l'eau du bassin à travers des turbines de la manière la plus profitable. Les chutes de moins de 2 m ne peuvent être utilisées que médiocrement par les turbines. Il est maintenant évident que la production d'énergie réalisée par une telle méthode de travail dépend exclusivement des marées périodiques qui, en raison de la culmination de la Lune, varient encore chaque jour de 50 mn.

Dans l'estuaire de la Rance, il sera fait, de ce fait, appel à une solution plus raffinée. Déjà en 1952 l'Electricité de France a demandé, à la suite d'essais approfondis avec des turbines Kaplan dans lesquelles l'eau ne passe normalement que dans un sens, aux constructeurs de turbines et d'alternateurs, de cher-

cher une solution spéciale répondant à une exploitation économique d'une usine marémotrice. Cette commande a eu comme résultat la mise au point d'une turbine Kaplan à pales et directrices orientables capable de fournir un travail dans les deux sens d'écoulement et en particulier non seulement comme turbine, mais également comme pompe. L'usine marémotrice est dotée d'un cycle de travail à double effet qui se déroule en détail comme suit :

Lors de la marée montante, les vannes restent tout d'abord fermées, et on ne les ouvre que lorsque la dénivellation entre le bassin vide et la marée haute est suffisamment grande pour être utilisée de manière profitable. La masse d'eau pénétrant dans le bassin produit ainsi déjà une énergie. Cette opération est suivie d'un intermède technique. Quand la marée a atteint son niveau le plus élevé, les turbines se transforment en pompes actionnées par les alternateurs qui jouent maintenant les rôles de moteurs. De l'eau supplémentaire est pompée pendant la marée descendante dans le bassin afin d'accroître la hauteur de la chute ainsi que la masse d'eau utilisable. Après une pose motivée par la baisse lente du niveau de la mer, l'eau accumulée peut alors passer en sens inverse à travers les turbines et, à nouveau, fournir du travail. Par cette double exploi-



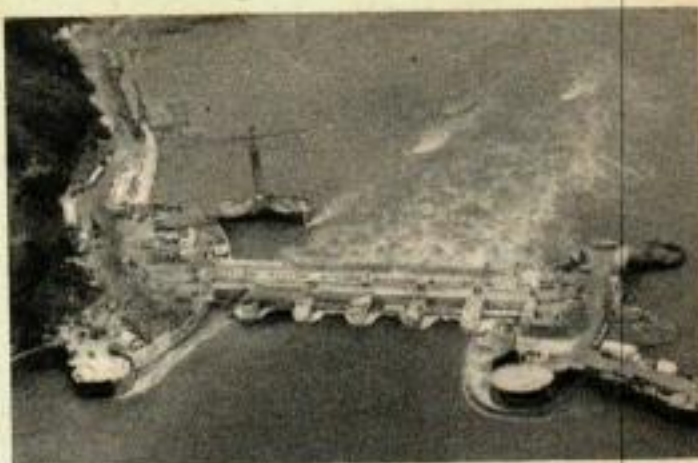
Vue d'ensemble du chantier dans l'estuaire de la Rance. Au premier plan, l'écluse déjà achevée. Les batardeaux dans le lit de la rivière sont presque terminés. Après leur achèvement le deuxième système de batardeaux situé en amont (à gauche) a pu être érigé dans des eaux calmes permettant ainsi d'obtenir un chantier sec pour la construction de la digue de l'usine.

tation et l'accumulation complémentaire grâce aux pompes, il est possible de se libérer jusqu'à un certain degré du cycle rotatif du Soleil qui correspond également au rythme de l'activité humaine.

La double exploitation d'une usine marémotrice a donc, théoriquement, lieu comme ci-dessus. Mais même en pratique, ce système a déjà été mis à l'épreuve de manière satisfaisante. Un véritable petit groupe marémoteur a été, à cet effet, installé et exploité dans une écluse désaffectée du port de Saint-Malo. Il se compose d'un groupe de 9 000 kW actionné par une turbine à 88 tr/mn dont la roue a un diamètre de 5,80 m. Dans l'interval, des grands travaux sont exécutés dans l'estuaire de la Rance.

Une digue avec écluse et barrage comprenant également les installations de l'usine est construite à quatre kilomètres en amont de l'estuaire, à un endroit où la largeur de la Rance est de 750 mètres environ. Le fait que les travaux de préparation doivent être réalisés pendant les marées constamment changeantes constitue une difficulté non négligeable. Il est en premier lieu et avant tout nécessaire d'ériger des batardeaux afin d'assécher un chantier sur lequel seront effectués les gigantesques travaux de bétonnage. On compte au total avec 400 000 mètres cubes de terrassement et 300 000 mètres cubes de béton, sans oublier 10 000 tonnes d'acier ; à cela s'ajoutent encore 13 000 tonnes d'acier utilisées dans la construction de 90 000 mètres carrés environ de palplanches.

L'installation énergétique est composée de 24 groupes bulbe identiques qui sont placés l'un à côté de l'autre à l'intérieur du couloir de 330 mètres de l'usine et en dessous du niveau le plus bas de l'eau. Chaque groupe bulbe est entouré d'une coque métallique en forme d'ogive placée dans un conduit horizontal. Une cheminée — semblable à celle d'un sous-marin — débouchant dans la salle de machines située entièrement sous l'eau permet d'accéder dans la coque. Les caractéristiques définitives des groupes bulbe installés montre de combien les essais préa-



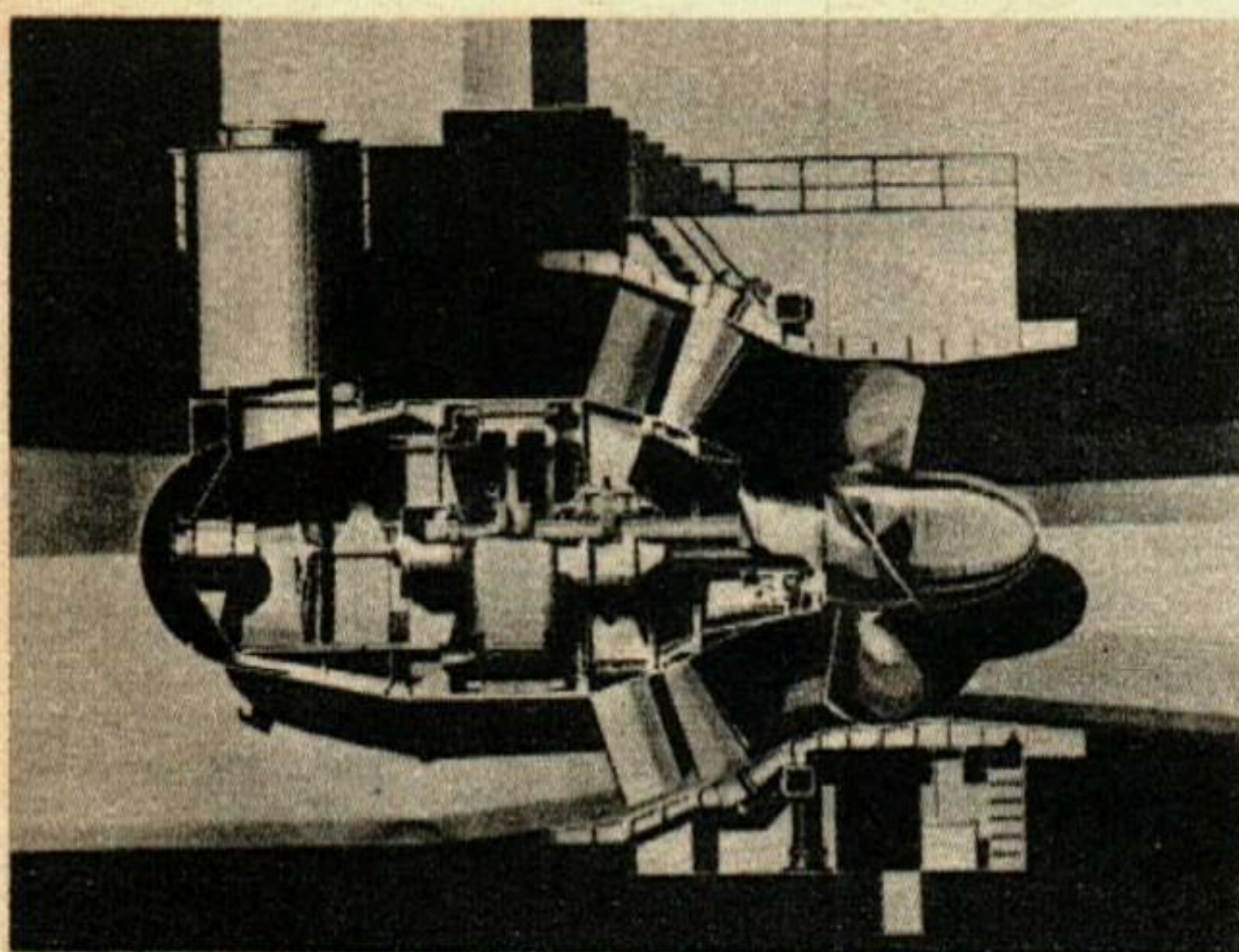
Le barrage à six vannes sur la rive droite permet de remplir ou de vider complètement le réservoir-fleuve. Au moment de la prise de vue, la marée était montante (printemps 1963).

lables étaient proches des valeurs pratiquement réalisables. Chaque groupe est constitué d'une turbine Kaplan, formée d'une roue à pales et directrices orientables d'un diamètre de 5,35 mètres qui actionne un alternateur de 10 000 kW à raison de 94 tr/mn. L'accroissement du rendement et des rotations a été rendu possible par le fait que l'alternateur fonctionne en raison d'un meilleur refroidissement dans une atmosphère d'air légèrement comprimé (2 kg/cm² absolu).

Après son achèvement — on parle de 1966 — l'usine marémotrice de l'estuaire de la Rance aura une puissance totale de 240 000 kW permettant de fournir, grâce à l'utilisation du flux et du reflux, une production d'énergie électrique annuelle de 540 millions de kilowatts heure qui s'ajouteront au réseau élec-

L'écluse de navigation de la rive gauche mesurant 65 m de long et 13 m de large fonctionne depuis le 19 novembre 1962.





Coupe transversale de l'un des 24 groupes bulbe installés dans la digue.

trique essentiellement aux heures de pointe. Il s'agit d'une masse énergétique qui suffirait à alimenter pendant toute une année une ville hautement industrialisée de 250 000 habitants.

La capacité de cette première usine marémotrice semble cependant très faible lorsqu'on la compare aux chiffres avancés pour plusieurs autres projets de ce genre. La construction d'une usine marémotrice est projetée (et a déjà été entreprise) depuis 1930 dans la baie de Passamaquoddy, à la frontière du Canada et des Etats-Unis. Elle doit avec une digue d'une longueur de 11 km et 100 alternateurs produire un million de kilo-

watts. En Angleterre, on parle depuis longtemps de l'estuaire de la Severn où l'amplitude de la marée est encore plus forte que dans la Rance. On y envisage la construction d'une usine d'une puissance de 800 000 kilowatts. Si les techniciens obtenaient l'avantage sur les romantiques, le mont Saint-Michel se trouverait alors entouré d'une digue de 34 km de long dans laquelle on installerait des alternateurs d'une puissance totale de 3 millions de kilowatts. Les projets de l'U.R.S.S. semblent également gigantesques. Elle envisage de construire dans la baie de Mezen, entre les presqu'îles de Kola et de Kanin dans la mer Blanche une digue de 100 km dans laquelle 2 000 turbines fourniraient 12 millions de kilowatts. Mais tous ces projets à l'exception de celui de Passamaquoddy où les travaux ont été arrêtés peu après leur commencement — ne figurent encore que sur le papier. On ne peut encore prédire aujourd'hui dans quelle mesure les usines marémotrices pourront couvrir nos besoins en énergie. Mais ce qui est sûr, c'est que les besoins du monde en énergie augmentent ; ils augmentent en raison de l'évolution économique et doublent actuellement tous les 7 à 10 ans. L'énergie de la mer peut donc nous être d'une grande utilité.

Toutes les photos : Doucet, Dinard, aimablement mises à notre disposition par le Centre National du Commerce extérieur — Paris.