

changement apporté à l'un des facteurs de l'équilibre, pression ou température, entraîne une transformation du système qui tend à produire un changement de signe contraire du facteur considéré. Jamais l'on a observé de faits en désaccord avec les lois du déplacement de l'équilibre, à condition, toutefois, de se souvenir que quand la thermodynamique indique qu'un phénomène ne peut se produire, il ne se produit réellement pas, mais que quand elle indique qu'il peut se produire, il arrive souvent qu'il ne se produit pas. C'est en cela que réside la cause de la longue période de recherches qui a précédé la découverte des lois de Van't Hoff et de Le Chatelier; aux températures ordinaires, en effet, les équilibres observés ne sont souvent pas des équilibres véritables, et alors les lois du déplacement de l'équilibre ne s'appliquent plus.

Que peut-on conclure de cet exposé rapide des conséquences des principes de Mayer et de Carnot-Clausius, sinon que la Thermodynamique vient compléter la Mécanique et faire sortir la Chimie de la période pré-mathématique, par laquelle débute toute science.

J. LAHOUSSE,

Professeur à l'École Centrale Lyonnaise

UTILISATION DES MARÉES

Le charbon que l'on tire de la terre ne se renouvelant pas au fur et à mesure de son extraction, il arrivera fatalement un moment où ce charbon viendra à manquer. Ce moment est évidemment très éloigné, mais, bien avant qu'il n'arrive, le prix du charbon aura certainement augmenté dans d'assez grandes proportions. Aussi, les pays essentiellement industriels doivent-ils se préoccuper, d'ores et déjà, de rechercher un moyen qui puisse leur permettre de maintenir chez eux leur développement industriel. Telle est la thèse qu'a développée M. J. SAUNDERS, dans l'*Engineering Review*, où il a montré que l'utilisation des marées peut produire des quantités considérables d'énergie, car, si la chute est faible, le débit, par contre, est considérable.

L'intervalle qui existe entre deux marées est d'environ 12 heures 24 minutes, et, pour chaque révolution de la lune autour de la terre, il existe deux époques correspondant respectivement à un maximum et à un minimum de l'amplitude de la marée. Celle-ci varie considérablement le long des côtes anglaises, et elle atteint son maximum à Bristol avec 40 pieds (12^m192). A Southampton et à Douvres, les fortes marées sont, respectivement, de 13 et 18 1/2 pieds, et les plus faibles de 9 1/2 et 15 pieds.

On avait bien déjà songé, depuis longtemps, à utiliser les marées en recueillant l'eau de mer dans de vastes réservoirs lorsque la mer est haute, et en faisant passer l'eau du réservoir à travers des turbines, pour la renvoyer à la mer lorsque celle-ci est basse (*); malheureusement, on s'est heurté à un grave inconvénient: la puissance de la chute ainsi utilisée n'était point constante, et, bien au contraire, elle était éminemment variable. Cet obstacle aurait rendu l'utilisation des marées impraticable, si un ingénieur français des Ponts-et-Chaussées, M. DECŒUR, n'avait su trouver un procédé permettant de tourner la difficulté, et de rendre la puissance produite sensiblement constante ainsi qu'on va le voir.

Ce dispositif consiste à emmagasiner l'eau de mer, à marée haute, dans un premier réservoir, dit réservoir supérieur, puis à envoyer cette eau, ainsi emmagasinée, dans un second réservoir, dit réservoir inférieur, après l'avoir fait passer dans des turbines pour produire de l'énergie électrique. Ce second réservoir est mis en communication avec la mer à marée basse.

Le mouvement de l'eau dans les bassins est graphiquement représenté par la figure 1. ACA'C' représente les variations du niveau de la mer sous l'influence de la marée. Lorsque la marée est à son plein, en A, on ferme les orifices d'introduction de l'eau de mer dans le réservoir supérieur. L'usine hydraulique fonctionnant, le niveau baisse progressivement dans ce réservoir supérieur, tandis qu'il

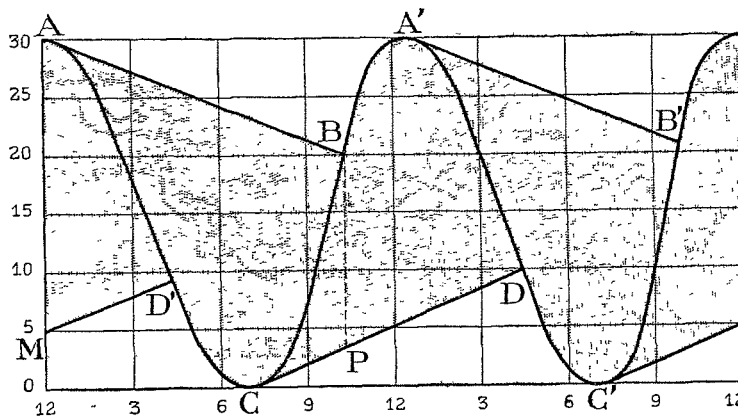


Fig. 1. — Graphique représentant le mouvement de l'eau dans les réservoirs

monte dans le réservoir inférieur. Lorsque le niveau de l'eau, dans ce dernier bassin, est arrivé à la hauteur de celui de la mer, en D', on ouvre les orifices de communication du réservoir inférieur avec la mer, et comme celle-ci continue à baisser, le niveau du réservoir inférieur baisse aussi. Lorsque la marée est arrivée à son point le plus bas, en C, on ferme les orifices de communication du réservoir inférieur; alors l'eau s'y élève peu à peu, jusqu'en P, tandis que la mer remonte et que le niveau du réservoir supérieur continue à diminuer. Lorsque le niveau de ce réservoir arrive à la hauteur de celui de la mer, en B, on ouvre les orifices de communication du réservoir supérieur, et le niveau de l'eau, dans ce réservoir, monte alors avec celui de la mer, jusqu'en A', tandis que celui du réservoir inférieur continue à s'élever jusqu'en D. On a ainsi réalisé un cycle complet. Puis on recommence les mêmes opérations, et ainsi de suite, indéfiniment.

La quantité d'eau considérable qui entre en jeu dans une pareille installation exige de nombreuses vannes de grandes dimensions. La manœuvre de ces vannes demande toujours un certain temps, mais cela n'est pas une gêne à cause de la lenteur du mouvement de la marée.

La hauteur de chute n'est pas tout-à-fait constante, néanmoins, sa variation est relativement faible: sa plus petite valeur est égale à BP et sa plus grande valeur à AM; ces deux valeurs extrêmes diffèrent, en somme, assez peu l'une de l'autre. La puissance peut donc être maintenue constante en faisant varier légèrement le débit absorbé par les moteurs hydrauliques.

M. Saunders signale trois projets d'utilisation des marées basés sur ce procédé.

A Chichester, le port serait divisé en deux parties sensiblement égales, au moyen d'un barrage en maçonnerie sur lequel serait établie l'usine hydro-électrique. Ce barrage serait continué par une digue en terre, et un barrage en maçonnerie séparerait les deux réservoirs d'avec la mer, ainsi que le montre la figure 2 ci-jointe.

L'usine génératrice comporterait 8 turbines quadruples, à axe vertical, de 850 chevaux chacune, chaque groupe de 4 turbines actionnant directement un alternateur triphasé. On pourrait ainsi produire 6 800 chevaux au moment des petites marées. Au moment des fortes marées, on pourrait encore produire 7 000 autres chevaux pendant dix heures par jour; mais, comme cette puissance est irrégulière, elle a beaucoup moins de valeur marchande; si l'on en tient compte, quand même, la puissance moyenne de la marée

(*) Voir *La Houille Blanche*, n° de juin 1903.

ressort à 8 000 chevaux de 24 heures. M. Saunders estime que le cheval peut très bien se vendre 112,5 francs (4,5 £); en comptant 12 pour 100 pour les dépenses d'exploitation, l'intérêt et l'amortissement (ce qui est peu), le prix du cheval aménagé pourrait être de 938 francs, et la dépense de premier établissement ressortirait pour cette installation à 7,5 millions de francs.

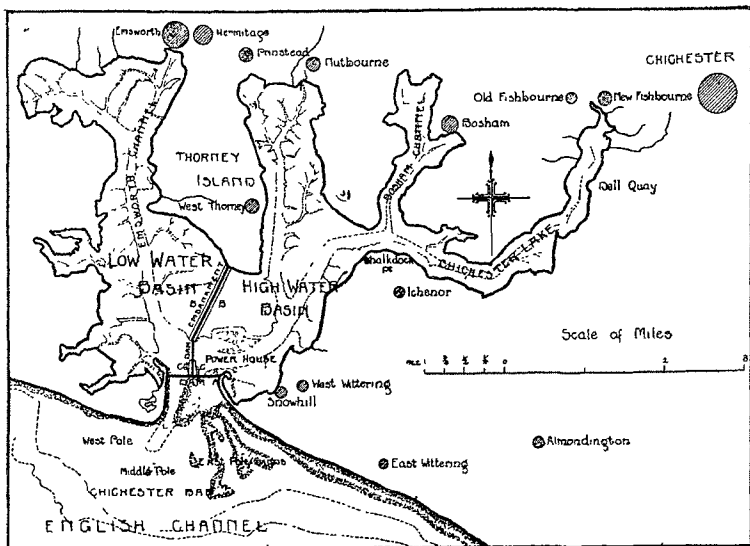


FIG. 2. — Aménagement du port de Chichester.

Dam : barrage. — Embankment : digue en terre. — Low water basin : réservoir inférieur. — High water basin : réservoir supérieur. — Power house : usine génératrice. — Scale of miles : échelle en miles (1,60 kms).

Un autre exemple cité est celui du Menai Strait (détroit de Menai). On barrerait le détroit à chacune de ses extrémités, et vers son milieu, de manière à créer deux réservoirs. L'usine génératrice serait établie sur le barrage du milieu. Les hauteurs des marées ne sont pas les mêmes aux deux extrémités : à Beaumaris, du côté est, où se trouverait la prise d'eau du bassin supérieur, la hauteur des fortes marées est de 23 pieds, et celle des petites marées de 16 pieds 1/2, tandis qu'à Carnarvon Bar, à l'ouest, où se trouverait la sortie de l'eau du bassin inférieur, ces hauteurs ne sont que de 15,3/4 et 12 pieds. La puissance produite serait de 13 500 chevaux, au moment des petites marées, augmentés de 15 000 chevaux pendant 10 heures aux moments des fortes marées du printemps ; la puissance moyenne ressortant à 14 500 chevaux de 24 heures. En comptant le cheval au même prix que précédemment, la dépense pourrait atteindre 13,5 millions.

Les barrages des extrémités, ainsi que celui du milieu, seraient munis d'écluses pour assurer le service de la navigation.

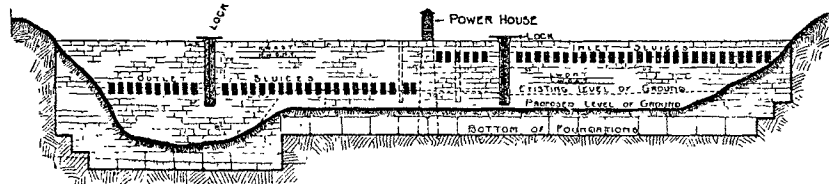


FIG. 3. — Figure montrant la disposition des orifices d'admission (inlet sluices) et d'évacuation (outlet sluices) de l'eau de mer. — Level of ground : niveau du terrain — Lock : écluse.

Enfin, un troisième exemple cité est celui du canal de Bristol. Le bassin supérieur serait constitué par l'embouchure de la rivière Severn, et le bassin inférieur par des marais, isolés de la mer au moyen de digues. La chute maxima serait de 30 pieds, et la chute minima de 17 pieds ; la chute moyenne, pendant les 24 heures, serait de 20 pieds (6m096). La puissance produite serait ici de 240 000 chevaux en petites marées, et en tenant compte des 15 000 m³ débités par seconde par la rivière Severn.

Pendant les fortes marées du printemps, cette puissance serait encore accrue de 300 000 chevaux pendant 10 heures, ce qui correspondrait, en moyenne, à la puissance formidable de 260 000 chevaux pendant 24 heures. En comptant le cheval toujours au même prix, on pourrait rémunérer l'énorme capital de 244 millions de francs, représentant à peu près la dépense de premier établissement (*).

Si l'on se reporte au dessin de la fig. 1, qui représente précisément le mouvement de la marée à l'entrée du canal de Bristol, on voit que la plus grande dénivellation des eaux, dans le bassin supérieur, n'est que de 10 pieds en petites marées, au lieu de 30 qu'il est actuellement. La navigation, dans le canal serait donc, de ce chef, considérablement améliorée.

Avec le nouveau procédé de M. Decœur, la légère variation qui subsiste dans la hauteur de la chute n'est plus un inconvénient bien grave, car un certain nombre d'installations à basses chutes fonctionnent avec des variations parfois considérables. M. Saunders cite notamment le canal de Jonage, à Lyon, où la chute varie de 26 à 33 pieds ; à Schaffouse, cette variation est de 11,6 à 14,8 pieds ; à Rheinfelden, elle est de 14,6 à 16 pieds.

Si l'on établit l'installation seulement pour le niveau des petites marées, on peut réaliser, toute l'année, une puissance constante et assurer un service public. Si l'on fait de l'électro-chimie, on pourra, bien souvent, utiliser le supplé-

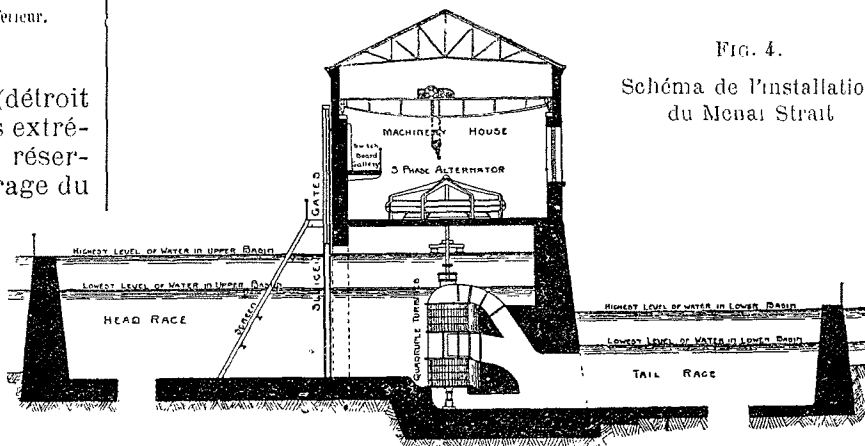


FIG. 4.

Schéma de l'installation du Menai Strait

Highest level : niveau le plus élevé — Lowest level : niveau le plus bas
Upper basin : réservoir supérieur — Lower basin : réservoir inférieur — Screen : grilles
Sluices gates : vannes

ment de puissance (les chevaux périodiques) fourni par l'augmentation de l'amplitude aux moments des fortes marées ; on ralentira simplement la fabrication au moment des basses eaux. Et, ici, l'on n'a pas à craindre que la limite du débit ne vienne à tendre vers zéro, comme cela a été sur le point de se produire pour trop de cours d'eau, en cette année 1906 qui a été exceptionnellement sèche. Si la chute varie, le débit reste constant.

En résumé, l'utilisation des marées peut permettre de produire des quantités considérables d'énergie absolument inconnues dans nos Alpes, les 240 000 chevaux, du canal de Bristol, en petites marées, en sont la preuve. Et, si l'on se contente de chiffres plus modestes, on trouvera certainement bon nombre de baies (ou de fjords), analogues à celle du port de Cluchester, qui permettront de créer économiquement les immenses réservoirs nécessaires à l'utilisation des marées, devenue chose pratique.

M. P.

(* Sur cette somme, 122 millions, soit la moitié, seraient consacrés à établir un barrage, en ciment armé, de 30 kms de longueur, pour créer le bassin inférieur dont la surface ne serait pas moins de 90 kilomètres carrés.