

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 81/82 (1923)
Heft: 7

Artikel: L'utilisation de la force motrice des marées
Autor: Girod, Marc
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-38863>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 10.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

INHALT: L'Utilisation de la force motrice des marées. — Die Transportanlagen zum Bau der Staumauer für das Barberine-Kraftwerk der S.B.B. — Die alte Schweiz. — Alte Architekturwerke. — Technische Kommission des Verbandes Schweiz. Brückenbau- und Eisenhochbau-Fabriken. — Miscellanea: Uferabbruch bei der Absenkung des Davosersees. Ausfuhr elektrischer Energie. Die Gesellschaft selbständig praktizierender Architekten Berns. Eidgenössische Technische Hochschule. „Zentralblatt der Bauver-

waltung“ und „Zeitschrift für Bauwesen“. Die Nord-Süd-Untergrundbahn in Berlin. Kant.-Kulturingenieur J. Girsberger. „AGIS“, Akademische Gesellschaft für Flugwesen in Zürich. Ein Nationalpark im Wallis. — Nekrologie: Wilh. Conrad Röntgen. — Konkurrenzen: Gebäude für das Internationale Arbeitsamt in Genf. Neubau des städtischen Gymnasiums in Bern. — Literatur. — Vereinsnachrichten: Sektion Bern des S.I.A. S. T. S. — Tafeln 9 und 10: Aus „Die alte Schweiz“.

Band 81.

Nachdruck von Text oder Abbildungen ist nur mit Zustimmung der Redaktion und nur mit genauer Quellenangabe gestattet.

Nr. 7.

L'Utilisation de la force motrice des marées.

Par Marc Girod, ing. E. P. Z., Rennes.

En chaque instant une force immense entraîne les Océans de notre globe, tantôt dans la direction des côtes, tantôt vers le large; chaque jour des masses d'eau formidables apportées par le flux remplissent momentanément des estuaires et des baies, puis sont rendues à la mer par le reflux, sans que l'homme ait réussi jusqu'ici à capter cette énergie gigantesque, journalièrement renouvelée. Cependant les conditions économiques anormales créées par la guerre, et notamment les prix onéreux atteints par le combustible, ont incité partout les gouvernements à utiliser

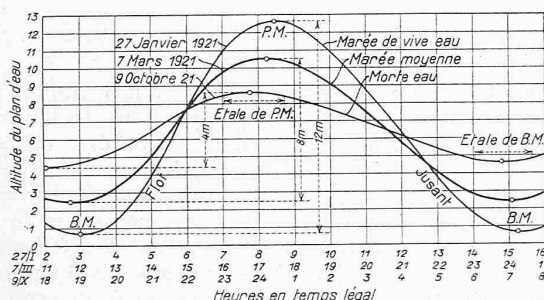


Fig. 1. Marées-types à Saint-Malo (Manche).

au maximum les forces naturelles de leur pays. C'est ainsi qu'en France, à côté de vastes projets d'aménagement de fleuves, on s'est occupé activement de la question de l'utilisation rationnelle de la „Houille bleue“, au moyen d'usines „marémotrices“. Bien que la Suisse ne s'y trouve pas intéressée directement, il nous a paru utile d'indiquer au moins les éléments de ce très actuel problème.¹⁾

Les marées sont dues, comme on sait, à la variation permanente, en intensité comme en direction, des forces d'attraction de la lune (prépondérante) et du soleil sur la mer. Quand le niveau s'élève, on dit que la mer est en *flot*; c'est le flux; quand le niveau s'abaisse on dit qu'elle est en *jusant*: c'est le reflux. Les périodes intermédiaires où les courants changent de sens sont les *Pleines Mers* (P. M.) et les *Basses Mers* (B. M.). Elles sont comprises dans un intervalle variable suivant la marée et appelé *étale*. L'amplitude est la différence de niveau qui existe entre une P. M. et une B. M. consécutives. Elle varie de jour en jour suivant les phases de la lune. Maximum — marée de *Vive Eau* — au moment où les deux astres agissent dans la même direction (nouvelle lune et pleine lune), elle devient minimum — marée de *Morte Eau* — au moment des quadratures (premier et dernier quartiers).

Le mouvement de la mer peut être envisagé comme étant la superposition de plusieurs mouvements périodiques dont le principal, pour les côtes d'Europe, constitue une onde semi-diurne, donnant lieu à deux P. M. et à deux B. M. par jour. En Europe les plus grandes amplitudes ont lieu dans la Manche; c'est

¹⁾ Les lecteurs que la question intéresse plus particulièrement trouveront des articles documentés dans les Revues techniques françaises: Génie civil — Revue Générale de l'Electricité (Octobre 1920). — Les Annales des Ponts et Chaussées (1921). — La Vie Technique et Industrielle (1920 N° 12 et 13) etc.

par conséquent la région la plus favorable à une utilisation, d'autant plus que ces côtes, très découpées, possèdent de nombreux estuaires et des baies capables de devenir d'intéressants réservoirs. En France, c'est dans la baie du Mont-Saint-Michel que se produisent les plus grandes marées. Pour cette région la courbe de la marée se représente pratiquement en reliant sur un graphique: Temps-Altitude du plan d'eau, les données des P. M. et des B. M. par des demi-sinusoïdes; la durée du flot est environ de 5 heures $\frac{1}{3}$, celle du jusant de 7 heures. La figure 1 représente trois marées caractéristiques pour Saint-Malo. Dans les trois marées, le niveau oscille autour d'un plan voisin de la cote 6,50 dont la position moyenne est appelée niveau moyen de la mer. Ce qui va suivre a été rapporté à une marée de Saint-Malo de 10 m d'amplitude, dans laquelle le niveau moyen a été admis, pour simplifier, à la cote 6,50.

Les cycles d'utilisation de la force motrice des marées sont très nombreux, mais peuvent se ramener à quelques types dont ils sont la juxtaposition ou l'habile assemblage. Ces types, représentés graphiquement aux figures 2 à 5, ont tous pour principe fondamental l'accumulation hydraulique.

I. Un bassin unique agissant à simple effet.

Deux cas sont à considérer, suivant que le bassin découvre, ou non, au moment des basses mers.

a) *Le bassin ne découvre jamais.* — Ses cotes du fond sont donc ≥ 0 . A l'aide d'un barrage vanné, le niveau du bassin est maintenu égal à celui de la B. M., jusqu'au moment où la différence des deux niveaux (mer et bassin) est suffisante pour actionner les turbines (Fig. 2). L'eau utilisée est accumulée dans le bassin dont le niveau monte graduellement. La hauteur de chute croît pendant le flot, puis décroît au cours du jusant et, quand elle a atteint environ la valeur minimum qu'elle avait au début, les turbines sont mises hors de service et le niveau du bassin reste stationnaire jusqu'au moment où le niveau de la mer qui baisse, l'ayant rejoint, on ouvre les vannes dites de vidange, ce qui permet la restitution à la mer des eaux utilisées. Le bassin est vidé ainsi jusqu'à la cote de la B. M. et les mêmes opérations peuvent se renouveler. Le travail de l'usine marémotrice se fait pendant la moitié

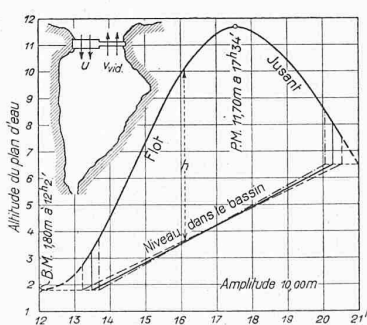


Fig. 2. Cycle à simple effet; utilisation de la dénivellation entre la mer et le bassin.

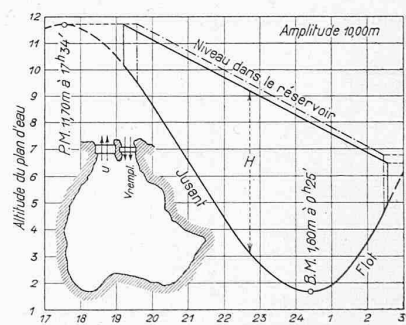


Fig. 3. Cycle à simple effet; utilisation de la dénivellation entre le bassin et la mer.

environ du temps de la marée. Pendant la seconde moitié, le cycle ne fournit pas de puissance.

b) *Le bassin découvre aux B. M.* Son volume utilisable est situé au-dessus du niveau moyen de la mer. Celle-ci remplit le bassin, grâce à un jeu de vannes dites de remplissage, qui sont fermées au moment de la P. M., afin de mettre en réserve l'eau accumulée pendant le flot. Les turbines marchent sous l'action de la chute réservoir-mer (Fig. 3), croissante pendant le jusant, décroissante

pendant le flot. Dès l'ouverture des vannes de remplissage, le niveau du réservoir suit celui de la mer dans son mouvement ascendant. L'usine ne produit également de l'énergie que pendant la moitié du temps de la marée.

Le réservoir à simple effet est en usage depuis fort longtemps dans les „moulins à marée“ installés à l'entrée de petites anses, sur les côtes de Bretagne et de Normandie. De puissance très minime (10 à 20 chev.), ils font

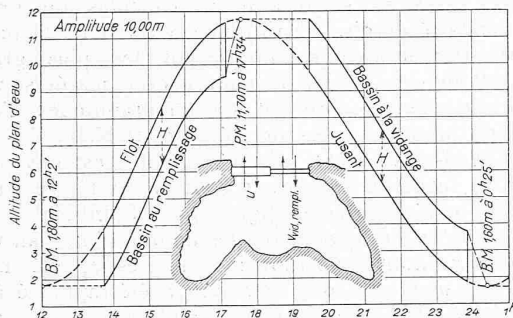


Fig. 4. Cycle à double effet avec un bassin unique.

généralement marcher des minoteries, et chôment pendant les périodes de Morte Eau. Ajoutons que les deux systèmes de vannes des cycles à simple effet peuvent être rendus facilement automatiques.

II. Un bassin unique agissant à double effet.

On utilise ici (Fig. 4) alternativement la dénivellation entre la mer en flot et le bassin que, dès la B. M., on a eu soin de maintenir isolé, et la chute inverse se produisant pendant le jusant, après qu'on ait porté à son maximum le niveau du réservoir à l'aide de vannes de remplissage, succédant aux turbines. Le niveau maximum dans le réservoir, qui est celui de la P. M., est maintenu stationnaire par la fermeture de toutes les vannes jusqu'à la mise en marche des moteurs qui, pendant le jusant, admettent l'eau sous la chute réservoir-mer. Le temps nécessaire à la vidange complète du bassin est laissé avant la B. M. à des vannes spéciales, qui, refermées au moment où le niveau le plus bas est atteint afin d'isoler le réservoir de la mer, permettent la reprise des différentes opérations du cycle.

Le travail de l'usine est intermittent, et si ce cycle est à l'avantage de la puissance, ainsi qu'on le verra plus loin, il est juste de remarquer qu'il comporte un grand nombre de vannages très malaisés à rendre automatiques.

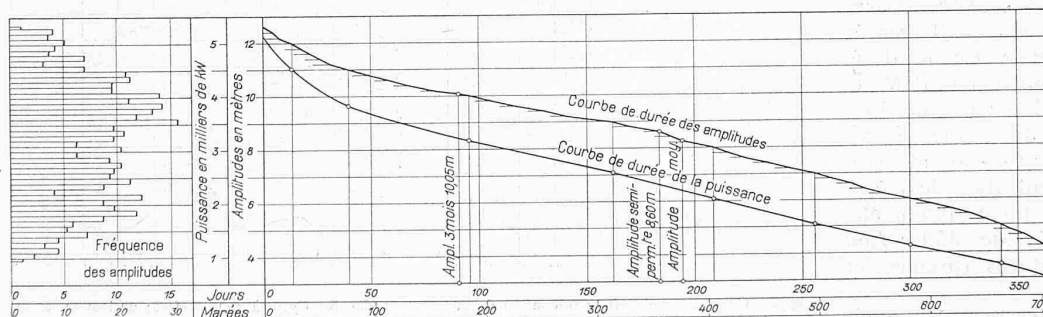


Fig. 6. Courbes de fréquence et de durée des amplitudes des marées à Saint-Malo en 1921.

III. Deux bassins indépendants agissant en association.

Ce cas n'est que la réunion des cas a) et b) auxquels se rapportent les fig. 2 et 3 à la page précédente. Un bassin travaille au remplissage, l'autre à la vidange; il est dès lors facile d'obtenir une énergie continue dans un réseau alimenté par les deux usines. Celles-ci — et par conséquent les bassins — peuvent sans inconvénient n'être pas situées dans la même région.

IV. Deux bassins agissant en liaison.

Deux bassins étant situés côte à côte ou facilement reliables par un canal, on peut obtenir la continuité à l'aide d'une usine seulement. Les deux bassins sont dès lors inséparables ou conjugués — par opposition aux précédents qui n'étaient qu'associés — car l'écoulement des eaux au travers des turbines a toujours lieu du bassin supérieur ou réservoir dans le bassin inférieur ou bief (Fig. 5).

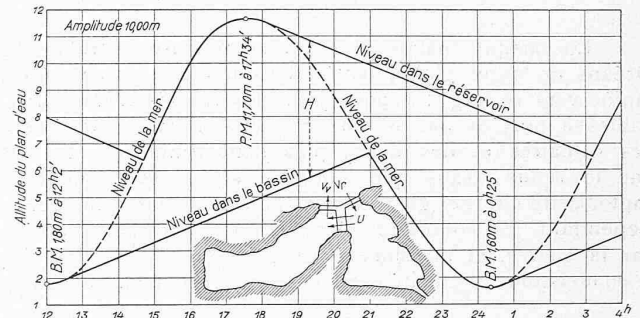


Fig. 5. Cycle à double effet avec deux bassins conjugués.

Dès la B. M. le bief est isolé de la mer en flot, mais son niveau monte également, quoique plus lentement, à cause de l'alimentation des turbines par le réservoir, dont le niveau par conséquent s'abaisse d'autant. A l'instant où il rencontre le niveau ascendant de la mer, les vannes qui séparent le réservoir de la mer s'ouvrent et le flot, tout en remplissant le réservoir, alimente directement les moteurs jusqu'à la P. M. où les vannes de remplissage sont refermées pour empêcher l'eau accumulée de retourner immédiatement à la mer. Cette eau en alimentant les turbines entraîne la chute du niveau dans le réservoir et fait monter celui du bief. Dès que celui-ci rencontre le niveau descendant de la mer en jusant, il le suit dans son mouvement, grâce à l'ouverture des vannes qui séparent le bief de la mer. La restitution à la mer des eaux usées a lieu jusqu'au moment où le bief est isolé, à nouveau, du côté de la mer par la fermeture des vannes de vidange.

Les hauteurs de chute variant sensiblement moins que dans le cycle précédent, on réalise non seulement la continuité de la puissance mais encore, dans une marée d'amplitude donnée, on peut approcher de la constance.

Puissance produite par les différents cycles.

Nous examinerons rapidement ce que les différents cycles, placés dans les mêmes conditions d'amplitude et de capacité des bassins, peuvent produire, et, afin de simplifier, nous supposons des réservoirs cylindriques. Pour les cycles à un bassin, nous les prendrons de surface horizontale $S = 1 \text{ km}^2$; pour les cycles à deux bassins, $S = \frac{1}{2} \text{ km}^2$ chacun.

Dans le cas des bassins à simple effet, on choisit volontiers la chute initiale identique à la chute finale et égale à une fraction déterminée de l'amplitude; en admettant un débit constant Q aux turbines, ces deux conditions fixent la courbe représentative du niveau du bassin ou du réservoir, et l'on possède tous les éléments nécessaires pour calculer la puissance. En un instant quelconque, en effet, la puissance a pour valeur $P = g \cdot \gamma \cdot \eta \cdot Q \cdot H$ mesurée en kW. Le produit $g \cdot \gamma$ vaut 10 dans le cas de l'eau de mer et si l'on admet de plus $\eta = 0,75$ on a $P = 7,5 \cdot Q \cdot H$.

La hauteur de chute H se lit directement sur les graphiques et le débit Q est la dérivée du volume par rapport au temps. Dans l'état des hypothèses faites ici les volumes se lisent à l'échelle des hauteurs du plan d'eau, multipliée par le nombre exprimant en m^2 la valeur S de la base du cylindre-réservoir.

Dans le cycle à double effet, on veillera généralement à conserver la hauteur de chute du début; c'est alors le débit qui varie.

Dans les cycles à deux bassins, nous avons admis le débit constant; de plus, dans le cycle des bassins conjugués, le débit est le même que ce soit la mer ou le réservoir qui actionne les turbines. C'est sur ces données qu'ont été calculés les chiffres qui figurent dans le tableau ci-après:

Cycle	Désignation	Puissance moyenne	Production par marée
I Simple effet	Bassin inférieur	7100 kW	48 800 kWh ¹⁾
$H_i = H_f = 1,5m$	Réservoir	6730 kW	50 000 kWh ¹⁾
II Double effet	$H_{const.} = 2,00$	8450 kW	65 700 kWh ¹⁾
III Bassins associés	(2 usines)	3810 kW	47 600 kWh ²⁾
$H_i = H_f = 2,0m$			
IV Bassin conjugués	(1 usine)	3140 kW	39 300 kWh ²⁾

¹⁾ La puissance tombe à 0 pendant environ la moitié de la marée.

²⁾ Puissance continue.

Les marées, si compliquées que soient les lois qui les régissent, se calculent à l'avance. En particulier, on pourra connaître toutes les amplitudes des marées d'une période déterminée, plusieurs mois ou même plusieurs années à l'avance. C'est un avantage précieux, car à chaque marée correspond, pour toute installation marémotrice, une puissance bien définie; connaissant la succession des amplitudes, on connaît donc de même la puissance sur laquelle on pourra compter à tel moment, et, de plus, la production en énergie de l'installation.

Nous avons groupé les marées de l'année 1921 selon leur amplitude de 20 en 20 cm; la plus grande est de 12,7 m, la plus petite de 3,85 m (Fig. 6). A gauche est portée la courbe de fréquence des amplitudes; on y lit par exemple qu'il y a 20 marées d'amplitude supérieure à 8,00 m, mais inférieure à 8,20 m, ce qui revient à compter dans les calculs d'énergie, la marée-type 8,10 m pendant 10,35 jours. A droite est dessinée la courbe de durée, déduite de la précédente; on y lit par exemple que les marées d'amplitude égale ou supérieure à 10,00 m ont lieu pendant 92 jours, que la marée de 8,60 m est semi-permanente, etc.

Les puissances moyennes de deux marées d'amplitude différente sont entre elles comme les carrés des amplitudes; on peut donc déduire de la marée de 10,00 m les puissances de quelques marées-types, de façon à pouvoir en construire la courbe de durée. C'est ce que nous avons fait, à titre d'exemple, pour le cycle des bassins conjugués, et qui est porté au graphique fig. 6.

Régularisation.

Il est difficile d'imaginer un réseau électrique suffisamment souple pour s'adapter à la marche d'une installation marémotrice dont l'énergie est intermittente; aussi une usine de l'un des deux premiers types n'est pas viable si elle n'est accompagnée d'une régulatrice, capable d'assurer la continuité du courant. Cette usine de secours peut être thermique, hydraulique ou même, dans certains cas, marémotrice; le cycle des bassins associés en est un exemple. D'autre part, si l'on tient compte que la marée n'a pas lieu partout à la même heure, il est possible d'utiliser le décalage du temps pour édifier deux usines du même type, reliées électriquement, et situées de telle sorte que la succession de leurs périodes de travail réalise la continuité dans le réseau commun.

Mais ce n'est pas tout; une installation marémotrice à puissance continue est encore soumise à des fluctuations

dues à la variation permanente des amplitudes; afin donc d'assurer à chaque instant aux services publics ou aux industries qui dépendent de l'installation, un minimum supérieur aux puissances déficitaires des mortes eaux, il est nécessaire de recourir encore à une source auxiliaire d'énergie. La portion amont des réservoirs (baies ou estuaires) peut, dans la plupart des cas, et à l'aide d'un barrage approprié, constituer, pendant les 10 à 12 jours de grandes et moyennes marées, une réserve suffisante d'eau douce pour les 4 ou 5 jours de mortes eaux.

L'excédent d'énergie marémotrice des périodes de vives eaux pourrait, dans certains cas, être utilisé avec profit à remplir par pompage des réservoirs élevés, mis en action seulement pendant le temps des faibles puissances.

Conclusion.

Parmi les solutions exposées, celles qui n'exigent que de rares manoeuvres de vannes et qui sont basées sur le travail continu de machines d'un type connu, nous paraissent préférables aux autres; toutefois, dans certaines conditions bien définies de situation et d'utilisation, chacun des cycles peut comporter sur les autres des avantages. Le facteur déterminant sera naturellement toujours le prix de revient du kilowatt-heure.

L'aménagement rapide de la Houille bleue doit contribuer à développer largement des régions jusqu'ici désertées par l'industrie, en raison de la rareté de leurs réserves naturelles d'énergie (Houille verte ou blanche). Elle apportera dans les environs immédiats tous les avantages dont jouissent les grandes villes, en permettant une adaptation plus rapide au progrès, ainsi que le développement des ports et l'extension des constructions navales.

Die Transportanlagen zum Bau der Staumauer für das Barberine-Kraftwerk der S. B. B.

Von Ing. A. Oehler, Aarau.

(Fortsetzung von Seite 64.)

II. Luftseilbahnen.

Die Luftseilbahn-Anlage, deren Längsprofil in Abbildung 8 dargestellt ist, umfasst drei getrennte Strecken, die eine von Châtelard nach dem Werkplatz in Emosson (C-E in Abb. 1), die zweite von diesem Werkplatz nach

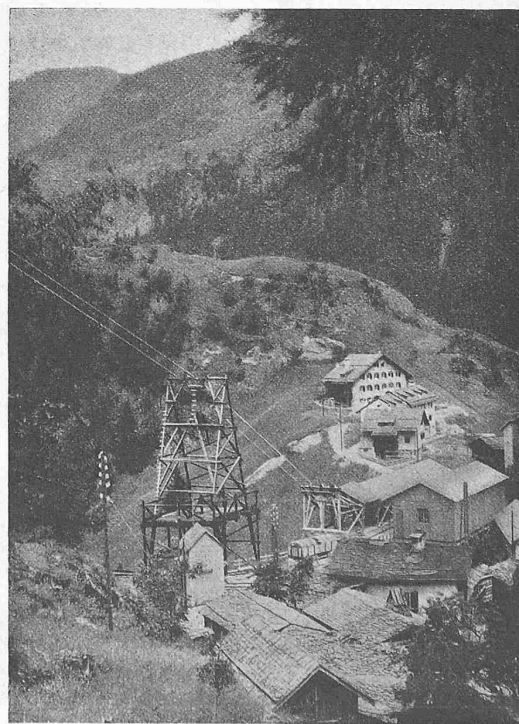


Abb. 9. Ladestation Châtelard-Village der Luftseilbahn.