

paraissent tous également fragiles ; les essais avec barreaux non entaillés sont beaucoup plus explicites ; mais leurs détails nous entraîneraient trop loin ; nous nous contenterons de dire que le cuivre ne donne que très peu de fragilité aux aciers étudiés.

Essais de torsion. — Ces essais ont été faits avec une machine permettant de déterminer les moments à 1/10 de kgm près ; les barreaux avaient 18 mm de diamètre et 100 mm de longueur cylindrique. Les résultats sont les suivants ; ils portent sur les métaux bruts de laminage :

Nature des aciers	Cuivre en pour 100	Limite d'élasticité en kgm	Efforts de rupture en kgm	Angle de torsion à la rupture pour une longueur de 100 mm. en degrés
Série douce.	0,0	31,0	58,0	700
	0,5	33,3	56,0	770
	1,0	31,2	59,0	925
	2,0	47,0	67,0	702
	4,0	66,0	83,0	485
Série mi-dure.	0,0	33,0	67,5	605
	0,5	35,1	61,5	196
	1,0	43,2	68,5	446
	2,0	52,5	79,0	296
	4,0	69,5	98,0	183
Série dure.	0,5	58,5	90,0	272
	1,0	63,0	104,0	248
	3,0	64,0	108,0	116
	10,0	30 pailleuse	30,0	8

Les essais de torsion amènent aux mêmes conclusions que ceux de traction : le cuivre augmente beaucoup la limite d'élasticité et le moment de rupture dès qu'une teneur de 2 pour 100 est dépassée ; la déformation, quoique amoindrie par la présence du cuivre, reste bonne.

Essais de dureté. — Ces essais ont été faits par la méthode de Brinell ; la bille avait 10 mm de diamètre, la charge employée était de 3 000 kg. Les résultats obtenus sont les suivants :

Séries	Cuivre en pour 100	Aciers			
		bruts de laminage	recuits au rouge cerise	trempés à 830°-870° non revenus	trempés à 830°-870° puis revenus à 300°-350°
Série douce	0,0	143	124	207	
	0,5	146	143	511	
	1,0	146	146	311	
	2,0	202	174	311	
	4,0	255	183	351	
Série mi-dure	0,0	166	166	460	418
	5,5	202	166	627	460
	1,0	207	196	600	495
	2,0	269	207	817	495
	4,0	302	212	782	782
Série dure	0,5	255	228	} Sous 3 000 kg la bille n'a fait aucune empreinte	555
	1,0	302	223		555
	3,0	418	223		600
	10,0	430	241		782

Les duretés suivent assez bien les résistances à la traction ; elles sont généralement supérieures à celles des aciers

au nickel de même carburation et ayant subi le même traitement thermique.

Essais de corrosion. — Ces essais n'ont été effectués que sur les aciers bruts de moulage. Le liquide corrosif était constitué par une dissolution, à volumes égaux, d'eau distillée et d'acide sulfurique à 66° Beaumé ; les échantillons étaient disposés de telle façon que les sels provenant de l'attaque du métal par le liquide ne vissent pas recouvrir ce métal ; les essais ont duré un mois ; on a déterminé les pertes de poids des échantillons ; ces pertes sont les suivantes :

Cuivre en pour 100	Série douce en pour 100	Série mi-dure en pour 100
0,0	5,23	6,10
0,5	4,40	3,54
1,0	2,80	3,21
2,0	3,01	2,04
4,0	3,34	2,50

Les pertes des aciers au cuivre sont donc considérablement plus faibles que celles des mêmes aciers sans cuivre ; c'est là une importante constatation, analogue à celle faite à propos des aciers au nickel justement réputés à ce point de vue.

Essais au rouverin. — Aucun des aciers ayant de 8 à 4 pour 100 de cuivre n'est rouverin.

Micrographie des aciers au cuivre. — Nos conclusions sur cette question confirment celles de M. Stead. A partir de 4 pour 100 de cuivre environ, il s'isole dans les lingots des nodules rouges à forte teneur en cuivre, mais le phénomène est d'autant plus marqué que l'acier est plus carburé ; ce qui caractérise surtout les aciers au cuivre utilisables (c'est-à-dire jusqu'à 4 pour 100 de cuivre) c'est la finesse de leur structure ; ces aciers ont d'autant plus de perlite granulo-sorbitique que la teneur en cuivre est plus élevée ; cette sorbite donne de l'homogénéité, de la ténacité et de la dureté au métal ; elle paraît en faire un métal d'une carburation plus haute. Le cuivre se dissolvant dans la ferrite laisse encore à celle-ci beaucoup de malléabilité et, par suite de cette dissolution, le carbone, trouvant la possibilité de former un carbure plus divisé et en plus grande quantité, apporte, de ce fait, une action durcissante ; en conséquence, l'ensemble est à la fois aussi dur que l'acier d'une carburation supérieure, mais est beaucoup moins cassant que lui.

Au point de vue de la nature des constituants, ces aciers n'ont rien de particulier par rapport aux aciers ordinaires, mais la forme, la distribution, la quantité de ces constituants sont telles que les propriétés spéciales ci-dessus indiquées les signalent à l'attention des métallurgistes, au même titre que les aciers contenant du nickel, ou d'autres éléments qui sont généralement d'un prix plus élevé que le cuivre.

Conservation et Dégradation de l'Énergie

Il y a quatre-vingts ans que Carnot, dans ses « Réflexions sur la puissance motrice du feu et sur les machines propres à développer cette puissance », a énoncé son célèbre théorème, et sur les débris de la théorie inexacte qui est à la base de ses travaux, l'on a construit une loi générale de la nature. Sorti d'un travail presque technique, le second principe de la thermodynamique s'étend à presque toutes les transformations physiques, et seulement pour les phénomènes où intervient l'énergie rayonnante, l'on a des doutes sur la légitimité de son application.

Né à une époque où les fluides hypothétiques tenaient une place prépondérante dans l'explication des phénomènes physiques, le théorème de Carnot a failli, dès son apparition, disparaître en même temps que le principe de la conservation de la chaleur; c'est l'honneur de Clausius de ne pas s'être laissé entraîner à un jugement superficiel, et d'avoir cherché et réussi à concilier le principe de Carnot, que l'expérience semblait confirmer, avec celui de l'équivalence de la chaleur et du travail.

C'est à Clausius que nous devons la notion d'entropie, cette dominatrice du monde, comme l'a appelée je ne sais plus quel enthousiaste; il faut avouer qu'elle est encore pour nous une formidable abstraction, bien qu'elle tienne dans les équations une place aussi importante que celle tenue par des réalités physiques, le volume par exemple.

Ici, je me permettrai d'appeler l'attention sur la façon dont M. Marchis, dans son petit volume sur la thermodynamique, présente le principe de Carnot-Clausius: Il pose comme énoncé de ce principe que pour tout cycle réel $\int \frac{dQ}{T} < 0$, l'in-

égalité se transformant à la limite en égalité, quand le phénomène tend à devenir réversible. Le livre de M. Marchis est cependant destiné à des commerçants, et exposer ainsi le second principe, n'est-ce pas risquer de faire de la thermodynamique une « Science hiératique et figée », qualificatif qu'emploie, à l'égard de la mécanique actuellement enseignée, M. Emile Picard, dans l'introduction qu'il a rédigée pour le beau livre du professeur Mach.

Certes, je ne crois ni possible, ni logique, de suivre, dans un cours destiné à de futurs ingénieurs, la marche historique qui entraîne à trop de longueurs, mais il me semble bon cependant d'utiliser l'intuition, si nécessaire à l'intelligence des principes, et dont a parlé si éloquemment M. H. Poincaré dans son volume sur « La Valeur de la Science ». Je veux dire que, parmi les diverses formes possibles pour le second principe, c'est l'énoncé de Clausius sur le transport de la chaleur, qui me semble préférable.

Quant à la méthode d'exposition suivie par les physiciens anglais, parmi lesquels il faut citer Lord Kelvin, Maxwell, Tait, il semble bien qu'elle facilite la vulgarisation des idées, mais elle ne possède pas la forme bien ordonnée qu'affectionne l'enseignement français, forme préférable, dès que l'élève connaît tant soit peu la science qu'il étudie.

Il y a peu d'années que la science de la chaleur et du travail a sa place dans l'enseignement; jusqu'à maintenant, le principe de Carnot n'était presque considéré que comme une curiosité scientifique, n'ayant d'importance que pour l'étude des moteurs thermiques, et encore en réduisait-on l'exposition à quelque chose d'extrêmement succinct. Qu'un étudiant lise les pages réservées à la thermodynamique dans un traité de machines à vapeur ou de moteurs à gaz; je ne crois pas qu'il puisse même saisir ce qu'est la dégradation de l'énergie; en tout cas, elle ne lui paraîtra nullement une grande loi naturelle.

Pendant un certain temps d'ailleurs, l'appellation incorrecte de « principe de la dissipation de l'énergie » a exercé une influence regrettable: dissipation de l'énergie, conservation de l'énergie, il y avait évidemment une contradiction, et nous sommes redevables à Tait d'avoir préconisé le terme de dégradation de l'énergie.

Cette expression n'est-elle pas préférable aussi à celle de dissipation de l'énergie utilisable? Il y a deux énergies utilisables; ce sont deux fonctions qui ne sont pas identiques: l'une a été proposée par Gibbs, en 1873, et M. Duhem l'a appelée depuis le potentiel thermodynamique interne; l'emploi de l'autre a été préconisé par M. Gouy, en 1889, et l'on tend depuis un an à en faire usage dans la théorie des machines thermiques. La fonction de M. Gouy ne devient identique à celle de Gibbs que si le système, auquel elle se rapporte, a constamment la même température que le milieu dans lequel il évolue.

Je n'ai pas encore parlé du principe de la conservation de l'énergie, aujourd'hui, personne ne nie que ce ne soit un principe expérimental, bien que les idées qui y ont conduit aient eu leur origine dans le théorème des forces vives. On ne peut nier que son importance vienne surtout de ce que l'on ne connaît qu'un petit nombre de formes de l'énergie; il est évident que si l'avenir obligeait les physiciens à en envisager un plus grand nombre, le principe perdrait beaucoup de sa valeur, et l'on serait sans doute tenté de le considérer comme une définition.

L'apparition du principe de l'équivalence a donné lieu à un fait qui n'est pas rare, dans l'histoire de la science, au moment où Mayer l'a énoncé, Joule et Colding allaient y parvenir et Carnot l'avait consigné, quelque temps avant sa mort prématurée, dans des notes manuscrites qui restèrent ignorées jusqu'en 1871. La raison de ces coïncidences réside dans l'évolution profonde qu'avait entraînée l'apparition des travaux de Fresnel. A cette époque, les arguments des partisans de la théorie des ondulations commençaient à porter des coups décisifs à la théorie de l'émission; de plus, l'identité de la chaleur rayonnante et de la lumière venait d'être découverte, de sorte qu'il devenait naturel de considérer la chaleur comme une manifestation du mouvement de molécules matérielles.

Telle qu'on l'expose maintenant, c'est-à-dire, basée sur des principes considérés comme expérimentaux, la thermodynamique n'entraîne pas d'hypothèse sur la nature de la chaleur; ce qui ne veut pas dire que l'on n'ait pas fait, au cours des applications, d'hypothèses d'une autre nature: le principe d'Helmholtz, d'après lequel l'énergie électrique, mise en liberté dans une pile, résulte de la chaleur non compensée, en est un exemple célèbre.

D'ailleurs, il ne faut pas se faire illusion sur la portée de la thermodynamique; de chaque fait expérimental, elle nous permet de déduire, par application de ses seuls principes, une conséquence qui sera vérifiée par l'expérience; mais c'est là tout; pris seuls, ces deux principes ne nous indiquent presque rien, et, de plus, il ne faut pas oublier que toutes les fois qu'il s'agit de phénomènes irréversibles, la thermodynamique nous indique les phénomènes qui peuvent se réaliser, mais non celui qui se réalisera.

La thermodynamique a traversé deux phases bien distinctes: avec Carnot qui, sans doute, subissait l'influence des savants qui ont créé la mécanique rationnelle, elle admettait encore la possibilité du perpétuel mobile; avec Clausius, elle la niait au même titre que la possibilité du perpétuel moteur; et ce dernier point de vue a prévalu, quoiqu'il mette la thermodynamique en désaccord avec la mécanique. Ce désaccord est-il apparent ou réel? Est-il dû simplement à des mouvements cachés dont nous ne pouvons tenir compte, ou bien, comme le pense M. Duhem, faut-il considérer le frottement et la viscosité comme des propriétés inhérentes à la matière, propriétés qui n'interviennent dans les équations que par le signe constant qu'elles assurent à la transformation non compensée.

Quoiqu'il en soit, la réduction des principes de la thermodynamique aux principes généraux de la mécanique, n'a pu être faite malgré les efforts de Clausius, Helmholtz et Boltzmann; je rappellerai aussi que M. Poincaré a montré l'incompatibilité du principe de Carnot avec l'hypothèse que l'Univers est constitué par des corpuscules agissant à distance les uns sur les autres.

L'idée maîtresse qui a dirigé Clausius, c'est que, dans la nature, une transformation ne se fait pas dans les deux sens avec la même facilité; dans un sens, elle se fait d'elle-même; dans l'autre au contraire, elle ne s'effectue que grâce à une compensation fournie par une modification s'opérant d'elle-même. Observons une transformation de travail en chaleur, le frottement des deux corps par exemple; si ces deux corps sont, après l'expérience, ramenés à l'état initial, la chaleur dégagée sera exactement équivalente au travail dépensé, et la transformation observée aura eu lieu sans l'intervention d'au-

cun corps intermédiaire. Considérons maintenant une transformation de chaleur en travail, un moteur à vapeur par exemple; d'abord, il faut un corps intermédiaire, la vapeur dans notre cas, pour recueillir du travail, sinon la modification se réduirait au simple transport de la totalité de la chaleur, de plus, la quantité de travail produite ne sera l'équivalent que d'une partie seulement, de la chaleur empruntée à la chaudière. Précisons : une certaine quantité de vapeur évolue entre une chaudière à la température T et un condenseur à la température t ; pour simplifier, supposons que l'eau condensée soit réintroduite dans la chaudière, où elle repasse à la température T : dans ces conditions, l'eau parcourt un cycle fermé; en passant de l'état liquide à t^0 à l'état de vapeur à T^0 , l'eau a pris une certaine quantité d'énergie, sous forme de chaleur Q ; en repassant du second de ces états au premier, elle cède la même quantité d'énergie, mais de cette énergie, une partie seulement est transformable (je ne dis pas transformée) en travail; le reste ne l'est pas. C'est cette notion que nous devons au génie de Carnot, qui a précisé de plus que le rapport de la chaleur transformable à celle qui ne l'est pas (la somme des deux étant égale à Q) ne dépend que des températures de la chaudière et du condenseur.

Cette propriété est générale et l'on peut l'appliquer à tout autre système que celui (chaudière, vapeur, condenseur) au sujet duquel elle vient d'être exposée. C'est ainsi que Van 'T Hoff, l'illustre chimiste de Charlottenburg, fait exclusivement usage de cycles pour étudier les transformations physicochimiques.

De ce qui précède, il ressort que l'énergie mécanique peut passer intégralement à l'état d'énergie calorifique, mais que la transformation inverse ne peut être que partielle; autrement dit, dans l'univers, l'énergie mécaniquement utilisable diminue toujours : l'énergie se conserve bien, mais elle passe de plus en plus sous une forme qui ne peut nous être d'aucun secours. C'est ce que l'on exprime en disant que l'énergie se dégrade.

J'ai laissé pressentir plus haut que la chaleur transformable n'est pas tout entière transformée en travail; que faut-il pour qu'elle le soit? C'est encore Carnot qui nous l'a appris : cette condition est réalisée si les échanges de chaleur ont lieu sans chute finie de température, c'est-à-dire, si le cycle parcouru est composé d'isothermes et d'adiabatiques, ceci, en admettant toutefois que les sources possèdent une température constante. Ce cycle, qui est resté dans la science sous le nom de cycle de Carnot n'est, d'ailleurs, qu'un cas idéal, qu'on ne rencontre pas parmi les transformations réelles; il semble de plus en plus, qu'on ne doive le considérer que comme un lemme permettant de trouver facilement la valeur de l'énergie utilisable; pris sous cette forme, il a conduit M. Gouy au théorème dont M. Jouguet a fait la base de sa théorie des machines thermiques.

L'expression analytique du second principe a conduit Clausius à la notion d'entropie, et, dès 1873, Horstmann a proposé l'emploi de cette fonction pour obtenir un critérium général de l'équilibre; on connaît ce critérium : « Quand l'entropie d'un système isolé est maximum, ce système est en équilibre », et ce fût, cinq ans plus tard, le point de départ de Gibbs dans son célèbre mémoire sur l'équilibre des systèmes chimiques. Cette forme de la condition d'équilibre est toutefois abandonnée aujourd'hui et l'on préfère, avec M. Duhem, faire intervenir le potentiel thermodynamique total qui dispense de supposer le système isolé. Ces deux formes de la condition d'équilibre ne sont, d'ailleurs, que des cas particuliers d'une condition qui est, semble-t-il, la solution générale et qui a été indiquée par M. Gouy, dans un mémoire malheureusement peu connu.

La théorie mécanique de la chaleur a d'abord exercé son influence sur les machines à feu; l'invention de la machine à vapeur et l'introduction du calorique comme forme potentielle du mouvement, si je puis m'exprimer ainsi, avait fait naître de dangereuses espérances touchant la possibilité du mouvement perpétuel, et l'anéantissement de ces espérances fut la

première conséquence des travaux de Carnot. Ceux-ci furent, d'ailleurs, mal compris et il en résulta que le cycle de Carnot fut considéré comme le modèle, comme l'idéal, dont devaient se rapprocher autant que possible les cycles réalisés dans les machines; il n'y a pas très longtemps encore, par exemple, que M. Diesel croyait donner une qualité éminente à son moteur en y réalisant une combustion isotherme. On n'avait pas compris que les conditions véritables, dont il fallait se rapprocher, consistaient à réduire au minimum la chute de température accompagnant tout transport de chaleur; le cycle de Carnot la réduit à zéro, mais, dans la machine idéale de cet illustre précurseur, les sources thermiques sont extérieures au système évoluant, et les parois ont une conductibilité calorifique tantôt nulle, tantôt infinie. Tel n'est pas le cas d'un moteur réel, d'un moteur à gaz, par exemple; là, la source de chaleur est intérieure au système évoluant et, par suite, il n'est pas utile que le cycle comporte d'isotherme; de plus, les parois ont une conductibilité qui n'est ni nulle, ni infinie, et sont à une température bien inférieure à celle des gaz : d'où une diminution de plus de 50 pour 100 du rendement, due à la quantité considérable de chaleur qui est emportée par l'eau réfrigérante.

Je dois dire aussi quelques mots d'un système de représentation qui facilite beaucoup l'étude des transports de chaleur; c'est le diagramme entropique dans lequel les entropies sont portées en abscisses et les températures en ordonnées.

Imaginé par M. Belpaire en 1872, il fut étudié par Gibbs en 1873, dans son mémoire sur les diagrammes et surfaces thermodynamiques; son emploi est aujourd'hui très fréquent, grâce aux études de M. Bouloin.

Mais c'est surtout sur le développement de la Chimie physique que la thermodynamique a exercé une influence considérable; la seule notion de variance, introduite par Gibbs, et développée par MM. Van der Walls, Bakhuis Roozboom, Van 'T Hoff et leurs élèves, a permis de classer un nombre considérable de faits qui, jusqu'à maintenant, n'étaient coordonnés par aucune théorie. Considérons un système chimique; le nombre des composés définis qui entrent dans sa composition peut, évidemment, varier, mais il possède un minimum n , que l'on appelle le nombre des constituants indépendamment variables; de plus, le nombre des corps homogènes, ou phases entre lesquels se partage le système, est donné par l'expérience, et par définition, la variance n'est autre que la différence $n + 2 - \phi$. Gibbs a démontré que la variance est le nombre des variables indépendantes qu'il est nécessaire de considérer pour définir le système en équilibre, en faisant toutefois abstraction de sa forme. C'est là la célèbre loi des phases, et le nombre considérable des questions qu'elle a permis de résoudre, en particulier l'étude des alliages métalliques et des solutions salines, en ont fait une des principales règles dont se sert le chimiste pour diriger ses investigations; c'est elle, notamment, qui a permis de mettre nettement en évidence l'existence des solutions solides.

C'est encore à la thermodynamique que nous devons la découverte de l'erreur des thermochimistes; le principe du travail maximum dont M. Berthelot a voulu faire la loi directrice de toutes les réactions chimiques, ne se trouve être rigoureusement vrai qu'au zéro absolu; aux températures élevées, les réactions endothermiques deviennent les plus nombreuses, et le principe du travail maximum ne se vérifie plus qu'exceptionnellement.

C'est en 1884 que les deux lois du déplacement de l'équilibre ont été énoncées, l'une relative à la variation de la température, par M. Van 'T Hoff, et l'autre, relative à la variation de la pression, par M. H. Le Chatelier; elles offrent toutes deux un intérêt considérable, mais la première est cependant plus importante, car une variation de température entraîne un déplacement de l'équilibre beaucoup plus considérable que ne le fait une variation de pression du même ordre de grandeur. On peut exprimer les deux lois en un seul énoncé : tout

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

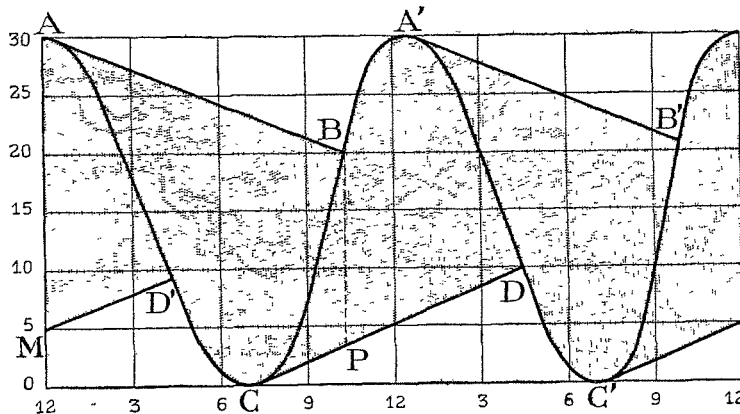


Fig. 1. — Graphique représentant le mouvement de l'eau dans les réservoirs

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.