

LA MER COMME SOURCE D'ENERGIE,
GRACE A L'ASYNCHRONISME
ENTRE LA VAGUE DE SURFACE
ET LA VAGUE DE PROFONDEUR.

Par André VAN VELSEN.

20 166

En 1934, j'eus le plaisir et l'honneur d'être l'ami et le collaborateur du Suisse Jacques Raymond Cartier. Nom prestigieux qui évoque toute l'épopée de la mer. Raymond Cartier étant en effet un descendant du célèbre Malouin Jacques Cartier qui découvrit un monde pour la France, et petit-fils de l'océanographe Claparède, Professeur à l'Université de Genève et Fondateur de l'Aquarium de Naples.

Nous entreprîmes au large d'Ostende, des expériences en vue de la captation de l'énergie de la mer. C'est ce qui me permet de vous faire aujourd'hui une communication, résumant l'ensemble de la question, et qui vous indique les résultats obtenus jusqu'à présent.

Depuis de nombreux siècles, l'homme fut tenté d'utiliser la mer, non seulement comme voie de communication, mais également comme source de puissance. Il avait remarqué que l'océan est animé de divers mouvements et ses observations l'amènèrent tout naturellement à concevoir l'essai de son utilisation suivant deux principes différents :

le premier consiste dans l'énergie cinétique des vagues et le second, dans la captation de la marée.

Ce n'est que récemment que l'on a songé à une troisième méthode, celle que j'appelle « la méthode des différences ».

L'ingéniosité des chercheurs fut mise à très rude épreuve et de nombreux dispositifs furent irréalisables. Certains même s'imaginèrent pouvoir réaliser le mouvement perpétuel. Inutile de dire que ces appareils ne fonctionnèrent jamais, car ils restituent sensiblement la quantité d'énergie reçue précédemment, pour permettre leur fonctionnement.

Je me permets de passer sommairement en revue les différents appareils conçus dans chaque série et qui retiennent l'attention, soit par leur conception, soit par leur originalité.

Utilisation de l'énergie cinétique des vagues.

La première idée consiste à employer le mouvement **vertical** de la houle. On a donc préconisé des systèmes à base de flotteurs qui sont associés à des poulies ou à des leviers, pour actionner un dispositif mécanique, une pompe hydraulique ou pneumatique, voire même une dynamo.

Dispositif Fusenot.

Le dispositif Fusenot consiste dans les éléments suivants :

- 1° une crique en entonnoir;
- 2° un mur destiné à protéger les appareils, et percé d'un tunnel qui établit une communication avec la mer libre;
- 3° dans le bassin, des flotteurs munis de bras de levier qui agissent sur des roues à cliquets.

Cet appareil a été réalisé en Algérie, à Guyotville. La Méditerranée se prête fort bien à une installation de ce genre, car elle n'a que des marées insignifiantes.

Le but cherché est d'utiliser, selon le mot de l'inventeur « le gonflement et le dégonflement » provoqués par le mouvement de va-et-vient de la mer dans les criques et interstices des roches. Le bassin limite la crique et renforce la vague qui y pénètre par le tunnel ménagé dans le mur. L'appareil fonctionne quel que soit l'état de la mer. La fréquence moyenne est de 15 à 20 soulèvements par minute et l'élévation moyenne du flotteur est de 15-17 cm. par temps calme.

Dispositif Cattaneo.

L'italien Cattaneo a installé à Voltri, un dispositif appelé « ondo-moteur ». L'appareil est constitué par un flotteur qui actionne, au moyen d'un levier, une pompe aspirante et foulante. L'eau est puisée en mer et envoyée dans un réservoir. De là, elle passe dans un tuyau de chute afin d'alimenter une turbine hydro-électrique.

Projet Verner.

L'américain Verner imagina, en 1917, de construire une tourelle en acier, mobile, sur un caisson en tôle d'acier, fixé lui-même sur un massif en béton, noyé au fond de la mer.

La tourelle peut se déplacer verticalement et suivre ainsi les variations du niveau des eaux. A l'intérieur du caisson se trouve la machinerie de l'usine. Celle-ci fonctionne grâce à

des balanciers recourbés se terminant d'un côté par un flotteur et de l'autre côté par un secteur denté engrenant sur un pignon solidaire d'un arbre horizontal grâce à une roue à rochets. Il y a donc autant de secteurs dentés que de balanciers. Une roue dentée, de grand diamètre, actionne une dynamo.

Enfin, BERLUZAN a préconisé d'utiliser la force ascensionnelle d'une coque de navire amarrée à un quai.

* * *

La deuxième idée pour capter l'énergie cinétique des vagues consiste à utiliser, en eau peu profonde, la translation horizontale des vagues ou les courants de surface.

Les appareils conçus canalisent les vagues en les faisant s'engouffrer dans des trompes horizontales, qui aboutissent à une turbine, à un flotteur ou à un système pneumatique.

Voici la description de quelques appareils préconisés :

Rotor de Savonius.

Il est formé de deux gouttières semi-cylindriques à cavités opposées, maintenues sur un même axe de rotation et qui placé dans un fluide en mouvement, tourne avec régularité. Un appareil de ce genre alimente les aquariums de l'Institut océanographique de Monaco.

Une autre utilisation du déplacement horizontal consiste à faire mouvoir une roue à palettes.

L'américain ALVA REYNOLDS a expérimenté, en 1917, à Long Beach, en Californie, un dispositif constitué par deux palettes reliées par des chaînes, des pignons et des arbres de commande à quatre pompes aspirantes et foulantes. L'eau refoulée à la pression de 120 livres, actionne une turbine.

Le Dr. MAX ALBERT LEGRAND a imaginé un balancier mobile autour d'un axe horizontal et sur lequel est fixé un grand flotteur. Cet appareil est installé dans un canal dont le flotteur occupe presque toute la section et dont le fond est constitué par deux plans inclinés. Sous l'action des vagues, tout l'appareil mobile oscille autour de sa position de repos. L'appareil est relié par une transmission téléodynamique à une pompe aspirant et refoulant de l'air.

L'utilisation du mouvement horizontal des vagues a encore conduit à l'idée de créer un dispositif pneumatique. Celui-ci consiste à comprimer ou détendre de l'air sous l'action directe ou indirecte des vagues ou de la marée, dans des appareils hermétiques.

Voici, à titre d'exemple, un dispositif préconisé par BOUCHAUD PRACEIQ. Il fut construit à l'embouchure de la Gironde. L'appareil se compose uniquement d'une chambre à air mise en communication par sa partie inférieure avec la mer, par l'intermédiaire d'un puits et d'une galerie. Les vagues provoquent la compression et la raréfaction alternative de l'air dans le canal. Cet air travaille sur les aubes d'un aéromoteur conçu de telle manière que le sens de rotation soit toujours le même. Une soupape de sûreté et un reniflard ont été prévus afin de parer à l'excès de compression ou à une trop grande raréfaction.

Utilisation de la marée.

Le problème de l'utilisation de la marée comme source d'énergie a reçu plusieurs solutions car on peut utiliser la **poussée** de l'eau, du flux, en élevant des flotteurs pour les laisser retomber lors du reflux. Cette méthode est plus hypothétique que pratique. On peut d'ailleurs dire la même chose des dispositifs utilisant la force vive de l'eau pour agir sur des palettes. Les moulins à marée, utilisés depuis le XI^e siècle, en sont l'application la plus typique. Les résultats obtenus sont toutefois peu intéressants vu l'irrégularité des marées et le petit nombre d'heures d'utilisation par jour.

La seule solution qui retienne l'attention consiste à employer la pression des chutes d'eau créées par la différence entre la mer libre et le niveau d'eau d'un bassin alimenté par la mer. Il est inutile de décrire un ou plusieurs dispositifs car on peut les résumer tous par le schéma suivant :

- 1^o le flux est utilisé pour remplir un ou plusieurs bassins;
- 2^o la différence de niveau entre le plan d'eau du bassin ou inversement, constitue une chute qui peut alimenter des turbines.

Les différences entre les projets prévus sont uniquement constituées par une interprétation plus ou moins ingénieuse des circonstances locales, en vue de la régularisation de la production de courant électrique. Le principe de l'utilisation de la marée est fort simple théoriquement. Toutefois les appli-

cations pratiques en sont rendues fort complexes par les variations du moment des marées, la nécessité d'exploiter des circonstances locales particulièrement favorables et enfin par l'obligation de régulariser l'énergie produite afin de répartir sa production sur toute la journée. Ces installations sont très onéreuses au point de vue construction et le rendement en est variable. Enfin, ces usines ne peuvent être établies qu'en certains endroits privilégiés par suite de l'irrégularité de la hauteur des marées suivant les circonstances géographiques.

J'ai indiqué, au début de cette communication, que l'on utilise une troisième méthode pour capter l'énergie de la mer, soit : la méthode des différences.

Elle se caractérise par le fait qu'elle cherche, en mer libre, la différence, la chute ou l'asynchronisme nécessaires pour libérer une certaine quantité d'énergie. Cette méthode est appliquée dans la tentative de G. Claude ainsi que dans les essais Cartier.

Expériences de Claude-Boucherot.

Le 15 novembre 1926, GEORGES CLAUDE fit à l'Académie des Sciences, une communication remarquable sur l'utilisation de l'énergie **thermique** des mers. Il disait notamment que, même sous l'équateur, l'eau des grandes profondeurs, à 1.000 mètres, par exemple, se maintient à la température très basse de 4 à 5° C., grâce aux courants venus des mers polaires.

D'autre part, la température de surface de la mer s'élève au fur et à mesure qu'on va vers l'équateur, et, sous les tropiques, la variation thermique d'un bout de l'année à l'autre n'atteint pas 3° C. La température de surface y évolue, suivant les régions, entre 26 et 30 °.

Il résulte de là qu'en toutes les mers profondes existent, presque au contact, les deux termes d'une différence de température appliquée respectivement à l'eau des profondeurs, indéfiniment refroidie par le rayonnement polaire, et à l'eau de surface, perpétuellement chauffée par le soleil.

Tel est le fait qui sera sans nul doute le point de départ d'une solution grandiose du problème de l'utilisation de la **Chaleur solaire**.

C. Claude complétait son exposé par la présentation d'un appareil fonctionnant dans des conditions semblables à celles qu'il venait de décrire. Un disque de turbine Laval de 15 cm. de diamètre communique à l'amont avec un flacon de 25 litres contenant de l'eau à 28°, et à l'aval, avec un espace rempli de morceaux de glace. On enlève, à l'aide d'une pompe, l'air de cet ensemble. Dès que la pression intérieure est abaissée en-dessous de la tension de vapeur de l'eau, celle-ci se met à bouillir violemment et la vapeur produite va se condenser dans la glace à travers la turbine. Celle-ci se met bientôt en route pour atteindre 5.000 tours par minute, tandis que trois petites lampes sont portées au blanc éblouissant et ne s'éteignent que lorsque l'eau sera refroidie au-dessous de 20° par son intense ébullition.

Cet appareil était la reproduction à une échelle infiniment réduite de l'installation conçue pour utiliser la vapeur fournie par de l'eau à 24° dont la pression n'est que de 3/100^{es} d'atmosphère. Cette vapeur est aspirée par le vide à 1/100^e d'atmosphère que peut maintenir au condenseur de l'eau à 7° et prendra une vitesse d'écoulement de 500 m. par seconde en communiquant à une turbine à une seule chute, une vitesse optima de 250 m. par seconde. G. Claude terminait sa communication en laissant prévoir la création d'énormes centrales électriques fournissant non seulement l'énergie, mais permettant également de modifier les conditions de vie dans les régions chaudes, par la distribution de grandes quantités d'eau froide venant de 1.000 m. de profondeur, cette eau n'étant que très légèrement réchauffée par son passage dans le condenseur.

Je n'insiste pas sur les différentes objections faites au projet de G. Claude et Boucherot, car la suite montra qu'elles n'étaient généralement pas fondées. On a toutefois objecté que les tuyaux seraient démolis, non par la tempête, mais par l'effet normal des marées et des vagues. La réponse fût que les couches sous-marines sont immobiles et qu'à 50 ou 100 m. de profondeur, c'est le calme absolu, **sauf peut-être l'effet des marées**. La conclusion était radicale et consistait à protéger des actions mécaniques, la partie des conduites comprise dans ces 100 m. Dans une installation côtière par exemple, il suffira de relier la station par un tunnel au point de profondeur 100 m., d'où partira la conduite.

Expérience à Ougrée-Marihaye.

Une première expérience pratique fut faite en 1928 sur la Meuse, à Ougrée-Marihaye. Une turbine de 50 kilowatts, capable de fonctionner sous la très faible pression de 2/100^{es} d'atmosphère, fonctionna en utilisant la différence de température entre une eau à 20° et les eaux de la Meuse.

Expérience à Cuba.

La première expérience à Ougrée ayant montré la possibilité de faire fonctionner pratiquement une installation puisant son énergie dans une différence thermique minime, Claude et Boucherot entreprirent la construction d'une usine à Cuba.

Grâce à la collaboration de M. Rateau, le problème de l'extraction des gaz non condensables avait été solutionné pratiquement et économiquement. Cette question était très importante et constituait la plus grande objection au dispositif.

Claude avait choisi pour lieu de sa première expérience pratique, les environs de La Havane. Après de multiples sondages, il dû abandonner cette idée, car la disposition du fond empêchait l'immersion du tube.

L'usine fut rapidement montée à Matanzas, puis eut lieu la première tentative d'immersion d'un tube de 2 km. de long en tôle ondulée de 2 mm. et d'un diamètre de 2 m. Il fut détruit par la tempête avant de pouvoir être immergé.

L'année suivante, en 1930, eut lieu une deuxième tentative vouée également à l'échec par suite d'un accident qui semble être dû à la malveillance puisque les instructions pour la crevaisson des flotteurs n'ont pas été observées.

Enfin, la troisième tentative fut menée à bonne fin et le 23 septembre 1930, G. Claude put annoncer à l'Académie des Sciences que le tube avait été mis en place et que l'eau froide avait été remontée de 500 m. de profondeur environ. Le tube avait 1,80 m. de diamètre et mesurait 1.850 m. de long.

Expérience de Rio de Janeiro.

En septembre 1933, G. Claude annonce à l'Académie des Sciences que les travaux vont être repris, car il vient d'acheter un cargo désarmé de 10.000 tonnes, la « Tunisie ». Je passe sur les détails de l'installation qui devait produire de la glace

dans des conditions de rendement très intéressantes puisqu'il suffisait de congeler de l'eau offerte à 5 ou 8° C. Cette eau « distillée » provenait des condenseurs. La plus grosse difficulté consistait dans le tube plongeur. Celui-ci, en effet, avait un diamètre de 2,50 m. et sa longueur était fixée provisoirement à 700 m. Il était constitué par 112 éléments revêtus d'un calorifugeage en bois, d'une épaisseur décroissante. Le montage du tube aurait lieu en pleine mer grâce à un flotteur sphérique surmonté d'un monte-charge permettant de boulonner en pleine mer les différents éléments du tube. Le flotteur devait en outre servir de support et il était relié à l'usine flottante par une manche souple. L'installation fut fixée à 50 milles environ de Rio de Janeiro.

Tout était donc prévu et la réussite semblait être certaine, lorsque l'on apprit que cette expérience se terminait par un accident. G. Claude, en effet, avait été vaincu par la mer, puisque son tube s'était rompu sous les chocs répétés de la houle. Dans son rapport à l'Académie des Sciences, G. Claude dit :

« Le flotteur sphérique, surmonté d'un monte-charge destiné à l'enfoncement des éléments tubulaires successifs, représentait avec les contre-poids dont il était affublé, un ludion dont se jouait la houle dans le sens vertical — mais sans lui imprimer aucun balancement latéral — ainsi qu'il avait été prévu.

» L'enfoncement des premiers 40 mètres de tube à travers le flotteur ne comporta aucun incident. Un caisson d'amarrage descendait avec le tube : une fois touché le fond, on aurait rempli ce caisson d'un lourd minerai; il aurait servi d'ancre définitive au tube. Mais, durant la descente, les oscillations verticales du ludion à la houle amenèrent « un battement » entre le tube solidaire du flotteur et le caisson. Des chocs répétés et violents se manifestèrent brusquement. Avant qu'on ait eu le temps d'alourdir le caisson par l'envoi d'un premier acompte de minerai, le tube se rompit. »

La tentative de Claude était terminée et ceci me sert d'introduction aux expériences qui furent faites à la même époque par Cartier. La presse qui annonça l'échec de Claude insista sur le fait que celui-ci n'avait pas été vaincu par une erreur de conception, mais uniquement par la mer.

G. Claude nous apprend en effet que les oscillations verticales du ludion à la houle, amenèrent des battements répétés

et violents qui provoquèrent la rupture du tube. Ceci implique la nécessité d'un effort de traction périodique entre les extrémités du tube, soit en d'autres mots, la présence de mouvements verticaux asynchrones suffisamment puissants pour provoquer des battements « répétés et violents ». Cette simple phrase résume l'hypothèse Cartier.

Essais Cartier.

En août 1934, des essais de captation de l'énergie de la mer grâce à l'asynchronisme entre la vague de surface et la vague de profondeur, furent réalisés à Ostende. Grâce à l'amabilité du Conseil d'Administration de l'Ibis — et je tiens à remercier tout particulièrement le Commandant Goor pour son intervention — nous pûmes disposer d'une embarcation à moteur, d'un atelier et de l'aide précieuse d'un des maîtres de cette école. Inutile de dire que les moyens financiers étaient très modestes et que l'ingéniosité et la complaisance de nombreuses personnes furent mises à l'épreuve.

L'appareil consistait uniquement en une pompe à double effet dont la tige du piston était prolongée et se terminait par une série de disques horizontaux; le tout était fixé à l'extrémité d'un bras de levier partant du centre de gravité du corps flottant. La lecture des rapports d'expertise de M. l'Ing. DE BACKERE au sujet des expériences, vous donnera une idée des résultats obtenus.

Rapport d'expertise

Les travaux préliminaires consistant à monter sur une embarcation un appareil de mesure pour pomper de l'eau de mer, ont exigé plusieurs jours. L'embarcation utilisée était un canot à moteur de 20 CV., d'une longueur de 10 à 12 mètres, prêtée par l'armement « Ibis » (tirant d'eau 0,80 m., largeur 2,15 m.).

Le but poursuivi était de mesurer la puissance de la mer en vue d'utiliser les mouvements asynchrones des vagues de surface relativement aux vagues de profondeur. A cet effet, la tige du piston de la pompe était immergée à un niveau inférieur à la quille du canot et son extrémité avait été munie de 6 disques d'un mètre de diamètre. J'estime toutefois que le montage utilisé pour supporter cette pompe n'était pas pratique, attendu qu'il était fixe. Il aurait été préférable d'em-

ployer un treuil ou une potence tournante, permettant d'im-merger l'appareil ou de le retirer de l'eau à volonté.

La pièce essentielle du dit montage était constituée par un rail de tramway, d'une longueur de 6,50 m., pesant 22 kg. au mètre, dont les $\frac{2}{3}$ solidement étayés et cordés à l'intérieur de l'embarcation, recevaient en outre un contrepoids de 150 kg. environ. A l'extrémité de cette pièce, la pompe était suspendue laissant le cylindre entier hors de l'eau, tandis que la tige munie de disques restait constamment immergée.

C'est le 25 août au matin qu'il a été possible de partir en mer pour les essais. Faute de pouvoir retirer la pompe de l'eau pour gagner la sortie du port, M. Cartier a fait corder l'appareil de manière à ce qu'il reste en position verticale pendant le trajet, et qu'il ne produise aucune réaction avant l'expérience qui devait avoir lieu à l'arrêt du canot en mer libre.

Le passage des différentes écluses s'est effectué sans incident, et ce n'est qu'à la hauteur du Fort Napoléon que les premiers mouvements de la tige du piston ont montré que l'appareil était soumis à des poussées verticales. Malgré la présence des cordes qui ne laissaient au piston qu'une faible course, l'amorçage a eu lieu spontanément, sous une différence de niveau d'environ 80 cm.

A la moitié du chenal de sortie déjà, la pompe refoulait avec pression de petites quantités d'eau et les cordes fortement tendues prouvaient également que les pressions verticales allaient en augmentant.

En mer libre, le remorquage fut particulièrement difficile en raison des efforts produits par l'appareil et des inclinaisons sous lesquelles il travaillait.

M. Cartier se proposait d'atteindre la bouée située au large du Kursal d'Ostende. A ce moment une forte brise soufflait du Nord, ciel absolument clair, le temps était sûr et le régime des vagues de surface parfaitement favorable, même pour les chaloupes.

Malgré les conditions normales, la pompe accusait une grande puissance de fonctionnement et après cinq minutes de route nous eûmes la désagréable surprise de voir céder les cordes qui retenaient l'appareil. Notre hélice fut débrayée pour éviter un accident et la pompe brusquement libérée put fonctionner à plein débit, refoulant ses 10 litres de cylindrée à plus de 3 mètres en arrière.

Cette expérience, malheureusement, ne permit de faire aucune constatation précise en raison de notre position difficile, l'appareil produisait des efforts trop considérables pour notre montage et il était visible que la sécurité exigeait un retour immédiat puisque nous ne disposions plus de moyens suffisants pour immobiliser l'appareil ou le retirer de l'eau. La manœuvre consistait à virer de bord sous le vent. L'appareil travaillait durement et malgré l'habileté de notre mécanicien, il se produisit plusieurs ruptures successives dans le montage retenant le rail. Celui-ci commença à fléchir, puis à écraser les plots de bois lui servant de support. Enfin lorsque le canot se présenta de 3/4 contre les vagues, le rail qui était de champ fut couché sur le bordage et plié à tel point qu'il accusait, au retour, une flèche de plus de 80 cm. Ceci dénote que les tractions verticales exercées par la pompe, dépassent les chiffres prévus.

Après une manœuvre difficile et grâce aux aptitudes professionnelles du pilote de l'Ibis, il a été possible d'atteindre l'entrée du chenal et de sauver l'appareil.

Le retour à travers les divers bassins du port a démontré que cet appareil est extrêmement sensible aux mouvements de la mer. Même à des endroits très calmes, tels que l'entrée de l'écluse Desmet de Nayer, où nous avons dû attendre une demi-heure, le débit de la pompe restait très satisfaisant alors qu'il était impossible d'apercevoir les vagues dans lesquelles elle puisait son énergie. Notre pilote a même essayé d'obstruer avec sa main la tubulure de sortie, ce qui a prouvé une pression relativement élevée. L'eau jaillissait à environ 2 mètres de distance.

Conclusions.

J'estime que l'appareil présente un grand intérêt bien qu'il n'ait pas été possible de chiffrer un seul des résultats obtenus. Ceux-ci sont intéressants et justifieraient de nouveaux essais avec un montage pratique et non de fortune. Afin de pouvoir effectuer des essais sérieux et précis, je préconise, le canot étant très suffisant pour réaliser les expériences, de fixer l'appareil de la façon suivante :

- 1° Potence ou chèvre en profilé, surélevée de 3 mètres au-dessus de la ligne d'eau.
- 2° Fixation très rigide sur le bordage du canot.

3^o Treuil ou palan permettant de descendre l'appareil et de le retirer de l'eau à volonté.

Rapport d'expertise.

La deuxième expérience a été faite au large d'Ostende le 15 septembre 1934 entre 14 et 16 heures, par mer tout à fait calme, à environ 1/2 mille au nord de l'estacade. Le canot à moteur de l'Ibis qui avait servi pour la première expérience était aménagé spécialement pour les essais; il portait à sa partie arrière une charpente métallique pesant environ 700 kg. dont la partie mobile actionnée par un palan, donnait un levage de 3 mètres au-dessus de la ligne d'eau. Ce treuil avait pour but d'immerger facilement l'appareil de mesure à différentes profondeurs.

En raison du calme absolu de l'eau, il n'a été fait aucune expérience à l'intérieur du port et nous avons gagné de suite la mer libre. Sa surface était comparable à celle d'un lac; des baigneurs venus en périssaires évoluaient autour de notre canot et l'absence totale de vent était probablement due à l'approche d'un orage qui a éclaté à la fin de l'après-midi, vers 18 heures. Il a été intéressant de constater que l'appareil a immédiatement fonctionné dès son immersion. La régularité du pompage était très satisfaisante, de même la pression; l'eau était refoulée par la tubulure d'échappement en un jet presque continu, avec une faible proportion d'air. Cette présence d'air est anormale et provient de petites défauts de l'appareil dont l'étanchéité n'est pas encore suffisante. M. Cartier devrait revoir cette question de près et adopter un piston à segments au lieu de simples disques de cuir. Ces derniers ne semblent pas convenir pour l'eau de mer. Le débit de la pompe a été voisin de 100 litres par minute pendant toute la durée de l'expérience et ce débit paraît être le même que celui observé au cours des premiers essais. Cependant, le 25 août, l'appareil fonctionnait avec régularité, mais davantage de puissance semble-t-il. Sous ce rapport, l'expérience du 15 septembre donne des chiffres concluants et il était intéressant de suivre au manomètre les efforts de traction subis par la pompe. La pression a atteint à plusieurs reprises 5, 6 et 7 mètres d'eau, ce qui paraît difficile à concevoir par mer aussi calme. La présence des vagues de profondeur semble donc nettement établie, de même que leur indépendance relativement aux eaux de surface.

Conclusions.

Au point de vue pratique, je peux admettre que le procédé de M. Cartier est utilisable toute l'année pour récupérer l'énergie contenue dans les vagues. Tout laisse prévoir que les expériences d'Ostende sont réalisables ailleurs et que ce procédé sera facilement applicable sans installations coûteuses.

Mes notes personnelles prises ce jour, m'indiquent que la pompe a donné 7 m. d'eau de pression et un débit d'environ 100 litres par minute. La régularité du pompage était intéressante à constater puisque nous avons environ 20 à 25 coups de piston à la minute. Les expériences en mer ne sont d'ailleurs pas toujours amusantes puisqu'au retour la corde qui servait à remorquer la yole fut prise dans l'hélice. Nous étions heureusement à l'intérieur du port et le Commandant Goor qui était de passage, eut l'occasion de me voir sortir de l'eau sous forme de diable rouge, car j'étais tout couvert de minium provenant de la coque du canot qui venait d'être repeinte. Une nouvelle expérience eut encore lieu le 20 septembre 1934 en présence de différentes personnalités du monde universitaire. Entretemps, nous avons doublé le débit de la pompe qui jusqu'alors fonctionnait à simple effet. La pression restait la même, mais le débit était de 200 litres à la minute et le nombre de coups de piston n'avait pas varié.

Enfin, le 21 septembre 1934, eut lieu une dernière expérience pour la presse. Rien n'est à signaler dans cette expérience car nous étions déjà habitués à voir fonctionner cet appareil, sans la moindre difficulté, et s'amorcer dès son contact avec l'eau.

Je termine ici l'exposé des faits en vous signalant toutefois que nous avons encore tenté précédemment un essai de propulsion directe d'un modèle. Celui-ci évolua contre la lame en tenant sa direction, mais les résultats obtenus ne me semblent pas suffisants pour vous en donner une description. Le principe toutefois est absolument certain; il est possible de faire évoluer une embarcation en utilisant uniquement l'asynchronisme entre la vague de surface et la vague de profondeur.

Vous aurez remarqué, Messieurs, que je ne vous ai pas indiqué d'une manière très précise les différents résultats obtenus par les appareils décrits précédemment.

Je l'ai fait intentionnellement, car j'estime qu'il est peu

intéressant de savoir qu'un dispositif a donné « x » chevaux et qu'un autre en a donné « y », si ces deux appareils ne donnent qu'une solution imparfaite du problème posé.

Il ne s'agit pas, en effet, d'utiliser une cause locale fortuite permettant de récupérer une certaine quantité d'énergie, mais il faut envisager le problème d'une manière bien plus générale en prévoyant dans la solution l'éventualité de la captation de l'énergie de la mer, aussi bien au milieu de l'océan que sur les côtes. Il est peu intéressant en effet de produire de l'énergie là où elle n'est pas demandée ou bien dans une zone idéale.

L'exposition des différents faits présentés m'amène à vous soumettre les remarques suivantes :

Dans le dispositif en vue de l'utilisation de l'énergie cinétique des vagues, nous constatons que tous ces appareils exploient une circonstance locale particulièrement favorable.

Fusenot a besoin d'une crique.

Cattaneo cherche nécessairement un endroit bien abrité et de plus, il travaille en Méditerranée où les marées sont insignifiantes.

Le rotor de Savonius fonctionne dans un courant, mais en Méditerranée et à l'abri.

Le balancier mobile du Dr. Max Albert Legrand fonctionne dans des circonstances idéales et nécessite également une sérieuse protection des appareils.

Ils ont encore une caractéristique commune : car ils puisent leur énergie dans la mer, mais ils sont ancrés partiellement ou totalement à la terre.

La partie mobile oscille au gré des vagues, tandis que la transformation de cette énergie libérée est effectuée au sol. Nous avons donc un dispositif mécanique dont les parties constituantes fonctionnent dans **deux éléments** différents : la mer et la terre.

La fragilité de l'appareil utilisant le mouvement de la houle a toujours provoqué sa rupture. Ce n'est pas seulement une question de résistance à l'effort, mais c'est surtout une erreur de conception qui consiste à vouloir le faire fonctionner dans deux éléments différents. La mer doit être considérée comme un élément propre ayant ses caractéristiques, d'autant plus que les masses d'eau de la mer se déplacent non seulement par rapport à la terre, mais également les unes par rapport aux autres.

Nous pouvons donc dire que cette solution du problème est peu intéressante, puisque ces tentatives d'utilisation de l'énergie cinétique des vagues pose nettement la question de la protection des appareils contre ces mêmes vagues. La solution adoptée ici consiste généralement à limiter le nombre et l'amplitude des vagues grâce à une digue percée d'un tunnel. Enfin, chose assez étrange, ces dispositifs destinés à capter l'énergie de la mer ne peuvent fonctionner au milieu de l'océan ce qui normalement devrait pouvoir être exigé.

Les systèmes qui utilisent les marées offrent généralement des difficultés très grandes. En effet, l'onde marine est essentiellement variable, car elle change d'amplitude à chaque marée et, dans chaque marée, elle présente des dénivellations continues. A l'étable elle ne peut produire la moindre énergie et aux mortes-eaux sa puissance est faible. De plus, elle ne peut fournir une très grande hauteur de chute même aux moments les plus favorables. L'érosion, la corrosion et les vagues augmentent encore la difficulté d'utilisation de la marée. Pour régulariser la production de courant électrique, on a envisagé la combinaison de bassins se remplissant avec la marée et se vidant successivement, de manière à obtenir une chute plus régulière. Dans les périodes de grande activité, on emmagasine cette énergie sous forme hydraulique ou sous forme d'air comprimé.

Nous constatons ici également la nécessité d'utiliser des circonstances locales favorables, mais, malgré tout, cette solution n'est pas heureuse car elle est très onéreuse.

Enfin, je signale encore la nécessité d'utiliser les côtes présentant des anfractuosités pouvant être transformées en réservoirs ainsi que le danger d'ensablement et d'élévation du seuil. D'autre part, l'irrégularité de la production du courant électrique nécessite l'interconnexion des centrales.

Tirons comme conclusion générale que l'utilisation de la marée donne une solution du problème de l'utilisation de la mer comme source d'énergie, mais que cette solution n'est pas parfaite.

Au début de cette communication, j'ai cité comme troisième possibilité, la méthode des différences.

La tentative de G. Claude et Boucherot est certainement la réalisation la plus grandiose en vue de la solution du problème. Ils cherchent, en effet, dans la mer même, les différents éléments nécessaires pour obtenir une source d'énergie,

c'est-à-dire une différence de température et un point fixe en mer. La difficulté réside toutefois dans la mer elle-même qui ne permet pas l'établissement d'une conduite verticale, par suite de l'asynchronisme entre les mouvements des différentes couches d'eau. Le problème se pose donc d'une manière entièrement différente. Pour obtenir une source de puissance en mer, il faut utiliser l'asynchronisme entre les mouvements des différentes couches d'eau, selon l'hypothèse Cartier, vérifiée par les expériences d'Ostende et confirmée indirectement par l'expérience Claude.

L'hypothèse Cartier peut se résumer de la manière suivante :

- 1° la mer est un accumulateur d'énergie et la masse des eaux est animée d'un mouvement perpétuellement entretenu;
- 2° les ondulations, les vagues et la houle ne sont que les phases successives de l'énergie marine et les masses liquides superposées possèdent des mouvements oscillatoires verticaux de périodicité fréquente.

La conclusion de cette hypothèse est que l'asynchronisme entre les différents mouvements est la seule possibilité d'utilisation pratique de l'énergie marine.

Je reprends point par point l'hypothèse Cartier.

- 1° Le mer est un accumulateur d'énergie et la masse des eaux est animée d'un mouvement perpétuellement entretenu.

La principale caractéristique de la mer n'est pas sa composition en tant que liquide, mais bien le fait qu'elle est animée d'un mouvement perpétuellement entretenu. Nous pouvons dire, en effet, que la mer est un véritable accumulateur d'énergie car elle emmagasine la force du vent, la chaleur solaire (facteur unique utilisé par G. Claude), l'énergie cinétique des fleuves, les vibrations de la lithosphère, l'attraction lunaire et solaire, la force centrifuge, etc.

Si nous voulons utiliser la mer comme source d'énergie, nous devons nécessairement trouver le moyen d'employer la résultante de toutes ces forces. Or, notre accumulateur libère son énergie en provoquant un mouvement perpétuellement entretenu dans la masse des eaux. D'autre part, il est presque certain que les grands fonds ne sont pas absolument immobiles comme on le croit généralement. Ce qui trompe l'observateur c'est qu'à une certaine profondeur les mouvements de roulis et de tangage sont supprimés par suite de la pression,

ce qui fait croire à l'immobilité des couches. En réalité, les mouvements verticaux provoqués par le déplacement des masses d'eau subsistent jusqu'à une certaine profondeur.

Nous pouvons trouver la confirmation de ce fait dans l'étude de la circulation verticale dans la mer. Sir John Murray, océanographe bien connu, qui a fait à bord du « Challenger » et du « Michael Sars », de très nombreuses recherches, cite notamment qu'il existe une circulation verticale provoquée par l'**action du vent** sur la surface de la mer, par les **différences de salinité** entre différentes couches et par les **différences de densité** provoquées par les changements de **température**.

D'autre part, de nombreuses analyses d'eau ont montré la présence d'oxygène absorbé même aux plus grandes profondeurs. Ce qui montre qu'il existe nécessairement une circulation verticale aussi lente soit-elle.

Sir John Murray signale encore dans son étude sur les vents dominants que ceux-ci sont les facteurs principaux de la circulation horizontale océanique. Ils créent et entretiennent des courants de surface dont l'action se fait sentir d'une manière perceptible jusqu'à plusieurs centaines de mètres de profondeur. Il signale qu'en plusieurs endroits des régions tropicales, les vents dominants chassent les courants vers l'ouest et accumulent ainsi sur les côtes est des continents une grande quantité d'eau chaude. Cette eau est non seulement très chaude — sauf aux endroits de fortes précipitations — mais elle a également acquis par évaporation, une salinité bien plus grande que la salinité moyenne de l'océan.

Ces régions de grande température de surface et de grande salinité se trouvent à toutes les profondeurs jusqu'au fond de l'océan, et elles ont une tendance à accroître leurs surfaces suivant la profondeur. Il résulte de cela que la grande masse de l'océan, intermédiaire entre les couches supérieures et le fond, subit l'action des mouvements verticaux.

Nous pouvons trouver ainsi diverses causes de la circulation verticale. Les différents mouvements sont provoqués par le vent, le soleil, ainsi que les autres facteurs énumérés il y a quelques instants. Ces mouvements varient suivant plusieurs facteurs, notamment la salinité, la viscosité et les circonstances locales.

2° Les ondulations, les vagues et la houle ne sont que les

phases successives de l'énergie marine et les masses liquides superposées possèdent des mouvements oscillatoires verticaux de périodicité différente.

Il est remarquable de constater que les diverses manifestations de la mer ont toujours été mal observées. L'homme en effet s'est contenté d'étudier les mouvements superficiels soit les vagues de surface et les marées, mais il n'a jamais cherché à établir une corrélation entre les différents phénomènes. La pratique, toutefois, nous a montré expérimentalement, la présence de mouvements asynchrones dont les expériences Cartier ont prouvé la présence et l'efficacité. La dernière démonstration de G. Claude et Boucherot en a également montré d'une manière indéniable la réalité.

Ceci nous indique que nous ne connaissons pas grand'chose à la formation des vagues en mer. Le problème est d'ailleurs bien plus complexe que celui de la formation des vagues sur une pièce d'eau, car — ainsi que je l'ai indiqué — la mer est un accumulateur d'énergie dont la houle est la résultante.

Les termes, couramment employés, d'ondulation, vagues et houles, sont généralement pris pour des manifestations différentes. En réalité, ils indiquent simplement les phases successives de l'énergie marine. Le vent qui est la principale source d'énergie accumulée par la mer, provoque la création d'ondulations ou vagues de surface. Celles-ci se combinent entre elles pour former des vagues plus volumineuses offrant au vent une prise plus considérable. Cartier indique que ces vagues moyennes s'observent facilement par grosse mer; que leur vitesse est souvent supérieure à celle de la houle et qu'elles sont déjà animées de mouvements semblables. L'irrégularité de leur course provient du fait qu'elles sont freinées par les houles qu'elles doivent surmonter, puis accélérées à partir du sommet de celles-ci. Ces vagues atteignent parfois des dimensions très grandes et on en a signalé dans l'Atlantique Nord, qui ont atteint 13 m. de hauteur.

La houle, enfin, serait la résultante des divers mouvements de la mer et, d'après Cartier, elle est toujours égale sur tous les points du globe, quelles que soient les conditions atmosphériques, ceci n'étant d'ailleurs qu'une hypothèse.

Pour résumer, le vent provoque à la surface d'une mer idéalement calme des ondes qui se combinent pour former des vagues de surface. Les combinaisons de ces dernières provoquent la formation de la houle. Chose remarquable, les

différentes couches se superposent par ordre de volume et leur longueur d'onde augmente avec la profondeur. Celles que nous apercevons en surface sont généralement les plus petites dont nous ne voyons que le sommet. Les vagues moyennes plus profondes ne sont perceptibles à l'œil que par l'ondulation qu'elles impriment aux petites vagues situées au-dessus d'elles et il faut nécessairement la présence d'un bas-fond pour obliger une vague volumineuse à apparaître en surface et émerger sensiblement.

La houle n'est pas la dernière étape des vagues de profondeur car la présence de deux houles superposées est fréquente et se traduit en surface quelquefois par la succession de trois houles qui paraissent plus volumineuses que les autres. En réalité, leur volume est semblable, mais elles sont refoulées vers la surface par la puissance beaucoup plus considérable de la houle de seconde zone.

Il semble donc être certain que la mer est formée de masses liquides, superposées, qui se déplacent dans le sens vertical à des vitesses différentes.

Nous pouvons d'ailleurs trouver dans la nature également, un autre exemple d'ondulations superposées aussi complexes que celles de la mer. Jean Labadie, dans un article sur les éruptions volcaniques et les tremblements de terre, signale le point de vue de l'astronome français Veronnet, pour expliquer le travail de l'écorce terrestre. L'attraction lunaire sur le « renflement équatorial » donne lieu au mouvement de précession de l'axe de la terre, qui décrit un cône à la manière d'une toupie.

La toupie terre ne fait qu'un tour en 24 heures; son axe décrira un cône de précession en 26.000 ans environ. De plus, sur ce large mouvement périodique s'en greffe un second, beaucoup plus court, d'une période de 18 ans, la « nutation » due au mouvement de la bascule périodique du plan de l'orbite lunaire avec celui de l'orbite terrestre. De plus, tous les six mois, le soleil change d'hémisphère; il en résulte un nouvel ébranlement périodique de l'axe de rotation du globe. La lune en fait autant tous les 14 jours, et c'est la cause d'un autre mouvement périodique qui se greffe au précédent.

Telle est la série des actions astronomiques auxquelles est soumise la toupie terre. Le résultat de ces divers mouvements est la création des marées de l'écorce terrestre, dont l'ampli-

tude au cours d'une journée atteint l'ordre de grandeur du mètre. Qui pourrait dire que ces différents mouvements ne provoquent pas non plus une onde marine complexe ?

La conclusion de l'hypothèse Cartier, c'est que l'asynchronisme entre les différents mouvements verticaux de la mer est la seule possibilité d'utilisation pratique de l'énergie marine.

Pour pouvoir utiliser notre accumulateur, nous devons nécessairement trouver ses deux pôles. On les trouvera aisément entre deux couches pourvues d'un mouvement asynchrone. En pratique, nous les avons cherchés en surface et dans la couche située immédiatement en-dessous du corps flottant. Les résultats ont été probants. Rien ne nous empêche d'ailleurs de rechercher notre asynchronisme uniquement en-dessous de la surface de la mer. Afin de résoudre le problème de l'utilisation de la mer, il ne nous reste plus qu'à exploiter l'énergie libérée par la chute très petite, d'énormes masses d'eau. La solution plus ou moins heureuse du problème réside dans l'interprétation de ce fait en s'inspirant des caractéristiques propres à la mer et de l'expérience acquise dans l'utilisation de la houille blanche. Nous devons donc créer en surface un **barrage** qui puisse accumuler une inertie égale à la force vive des vagues de surface. Ce barrage sera simplement constitué par un corps flottant d'un volume suffisant. La **conduite forcée** est réalisée par un levier amplificateur qui transforme les oscillations du corps flottant en mouvements verticaux. La chute est provoquée par la différence de niveau entre le corps flottant et son levier et d'autre part, par le dispositif immergé dans la vague de profondeur. Enfin, la **turbine** destinée à fournir l'énergie électrique est immergée. Son stator est fixé à l'extrémité du levier et son rotor fonctionne dans la vague de profondeur, grâce à des pales réversibles. L'eau ne passe donc pas dans la turbine, mais c'est elle qui est immergée dans l'eau et qui reçoit directement les poussées nécessaires à son fonctionnement. Celui-ci est assuré grâce à l'asynchronisme entre les mouvements de deux couches.

L'expérience a encore montré que le dispositif préconisé, c'est-à-dire corps flottant, levier + appareil prenant son point d'appui dans la vague de profondeur, offre une très grande sécurité et évite la rupture éventuelle de l'installation. La vague de profondeur, en effet, est relative au corps flottant et son action, d'autre part, ne sera pas simultanée sur les deux éléments de l'appareil. En effet, la vague de profon-

deur assez volumineuse pour affecter les eaux de surface, exercera successivement son effort sur les plans rigides puis sur le corps flottant ou inversement.

Il ne me reste plus, Messieurs, qu'à vous remercier de votre bienveillante attention et à espérer que l'industrie belge comprendra toute la valeur et la portée pratique incontestable de la continuation des études faites. Il est du plus haut intérêt pour notre industrie de continuer nos efforts en vue de la compréhension des différents phénomènes de l'énergie marine, non seulement dans un but scientifique, mais également dans un but industriel. La Belgique encore une fois, peut, si elle le veut, montrer le chemin du progrès. Nos moyens n'ont pas été suffisants pour mener à bonne fin cette étude, les résultats acquis ont été dûrement payés et je regrette vivement de ne pas pouvoir vous démontrer avec toute la rigueur scientifique nécessaire, le bien-fondé de l'hypothèse Cartier. Ce que nous avons établi d'une manière certaine lors de nos essais, nous démontre que nous sommes dans la bonne voie, mais il faut nécessairement que la grosse industrie puisse s'intéresser à cette question afin d'achever l'étude du problème et de la solution préconisée.

Je suis le premier à dire qu'il faudra encore beaucoup travailler, mais je suis certain que nous pouvons trouver en Belgique tous les éléments nécessaires pour mener à bonne fin cette grande entreprise.
