

LE MARÉGRAPHE A PRESSION D'ÉVACUATION DE GAZ

par Austin C. POLING et Wesley M. BUTLER,
du *Coast and Geodetic Survey* des Etats-Unis d'Amérique

Note sur les auteurs. — M. Wesley M. BUTLER est un physicien de physique générale et s'occupe des recherches et études à la Division des Instruments du *Coast and Geodetic Survey*. Il a suivi les cours de l'Université Brigham Young et a reçu son diplôme de *Bachelor of Science* en physique en 1949. Ses premières années d'Université ont été interrompues par la guerre au cours de laquelle il a servi comme électronicien dans la marine des Etats-Unis de 1942 à 1945. Avant d'entrer au Survey en 1952, il était professeur de sciences dans une école supérieure. En tant que géophysicien au Bureau, il a été chargé de l'étude générale du géomagnétisme à l'observatoire et en particulier de la mise au point d'un magnétomètre à vecteur d'aviation utilisé dans les travaux d'études du Centre des Recherches des Forces Aériennes de Cambridge.

En 1958, il est passé au Laboratoire d'Electronique du Bureau, et s'est spécialisé dans les systèmes de navigation électroniques de précision, les magnétomètres remorqués par navires, un marégraphe à pression à lecture à distance, un observatoire magnétique automatique, et un système d'enregistrement chiffré de données hydrographiques.

M. Austin C. POLING, Ingénieur Général de la Division des Instruments au *Coast and Geodetic Survey* est au Bureau depuis 1930; il était auparavant mathématicien et géodésien à la Division de Géodésie. Il est diplômé de l'Université de Virginie, principalement en physique, et a reçu son diplôme de *Bachelor of Science*. En 1953, il a coopéré aux expériences préliminaires de fonctionnement du géodimètre et depuis lors, s'est familiarisé avec la théorie et le fonctionnement du géodimètre et du telluromètre, surveillant les essais, l'évaluation et l'étalonnage de ces instruments, et faisant de même le diagnostic de toutes les défaillances d'instruments. Il a rédigé divers rapports sur l'emploi du géodimètre et du telluromètre; il a rédigé également des manuels concernant ces deux instruments. En plus de ses travaux sur les instruments de mesure de distance, il est actuellement engagé dans des études concernant les appareils pour faire le point et les instruments pour les levés hydrographiques. Il est membre de l'*American Congress on Surveying and Mapping*, de l'Institut des Ingénieurs Radio, et de l'Académie des Sciences de Washington.

Le marégraphe du type à flotteur est depuis longtemps d'un usage général au Coast & Geodetic Survey et, dans l'ensemble, les observations de ces marégraphes sont satisfaisantes. Cependant, il est souvent difficile d'installer un marégraphe à flotteur dans un endroit où il puisse être effectivement à l'abri des dommages causés par la mer.

La nécessité d'une structure de support pour le puits du flotteur et pour le marégraphe lui-même est un facteur essentiel qui limite le choix de l'emplacement de ces marégraphes. Or, des marégraphes secondaires sont souvent installés au cours des levés hydrographiques. Le choix des emplacements de ces stations secondaires est commandé par la nécessité

d'obtenir les meilleurs renseignements sur la marée pour la région à lever. L'emplacement désiré est souvent intenable et oblige à un compromis moins satisfaisant. Le marégraphe à pression d'évacuation de gaz qui n'exige pas une construction compliquée, semble apporter la solution à ce problème.

La partie immergée du marégraphe à évacuation de gaz consiste en une petite chambre avec une canalisation débouchant hors de l'eau avec aboutissement à un transducer situé sur une bouée, une embarcation ou à terre. La pression du gaz dans la chambre et le tuyau est égale à la pression hydrostatique. Les variations dans la pression hydrostatique dues à la marée sont transmises par la pression du gaz à travers le tuyautage qui peut atteindre un demi-mille et plus si on utilise deux tuyaux de gaz.

En plus de sa simplicité et de son adaptabilité, le système utilisé par le Coast & Geodetic Survey à l'avantage de pouvoir être installé, avec de minimes adaptations, à partir de pièces qui existent dans le commerce. A l'exception de l'orifice, qui est d'une réalisation simple, toutes les parties du marégraphe sont des articles qui existent en stock. Le coût d'un marégraphe à évacuation de gaz est approximativement la moitié du prix moyen des marégraphes à flotteur.

Le principe de fonctionnement du système à pression et à évacuation de gaz par barbotage n'est pas nouveau. Le procédé a été employé pour mesurer les niveaux des liquides dans les citernes ou les réservoirs et en particulier lorsqu'il s'agit de liquides corrosifs. On a étudié à Columbus, Ohio, un enregistreur de niveau du type à gicleur, de haute précision, pour le laboratoire de recherche du *Geological Survey des Etats-Unis*. On l'utilise actuellement d'une manière étendue pour jauger le niveau d'eau des fleuves.

Le Dr. REDFIELD du *Woods Hole Oceanographic Institution* a fait les essais d'un système d'enregistreur à barbotage près de Woods Hole, Mass., l'enregistreur étant monté sur une embarcation. Il a recommandé ce système pour sa simplicité, sa sûreté et sa facilité d'installation.

Théorie du fonctionnement

Lorsqu'un gaz est évacué librement dans un liquide par l'extrémité fixe d'un tube, la pression dans toute la longueur du tube est approximativement égale à la hauteur du liquide au-dessus de l'orifice du gicleur. Quand on a mis au point le marégraphe à évacuation de gaz, on a considéré cinq sources possibles d'erreur:

- 1) Les différences dues à la variation de poids du gaz;
- 2) La différence due au frottement du gaz passant dans de longues canalisations;
- 3) Les variations de densité de l'eau de mer;
- 4) Les erreurs dues à l'action des vagues;
- 5) Les variations de la pression barométrique.

Etant donné que l'eau est environ 900 fois plus lourde que l'azote qui est utilisé comme gaz, les erreurs dues à la variation du poids du gaz sont négligeables. L'azote est un gaz inerte, de sorte que son utilisation est sans danger; il est sec, ce qui rend la condensation et le gel dans le tuyautage impossibles, et il a l'avantage supplémentaire d'être relativement bon marché et d'un approvisionnement facile.

L'erreur due au frottement dans le tuyau varie en raison directe de la vitesse de débit, du diamètre et de la longueur du tuyau. A la vitesse de débit de 60 bulles par minute dans un tube de 1/8 d'inch de diamètre intérieur et avec une longueur de 2 500 *feet*, on aura une erreur de 0,1 *foot*. On peut tolérer cette erreur pour des mesures pratiques du niveau des marées. Dans des lignes de plus grande longueur, les variations dues au frottement peuvent être éliminées en utilisant deux lignes allant à l'orifice, l'une pour amener le gaz et l'autre pour transmettre la pression au transducer.

Les erreurs dues aux variations de densité de l'eau de mer ont tendance à être faibles aux stations de marées permanentes, sauf si d'étroits goulets alimentent la région en eau douce. Entre le cas extrême de l'eau douce et la moyenne de l'eau de mer au large, l'erreur s'élèverait à environ 0,3 *foot* pour 10 *feet* de profondeur. Une variation de température de 10° C à 20° C produirait une erreur d'environ 3/8 d'inch pour un *foot*. Normalement, l'erreur due aux variations de densité est comprise dans l'erreur de lecture du marégraphe.

Le marégraphe peut être étalonné pour une densité d'eau de mer moyenne et se maintiendra dans les limites de l'erreur de lecture, mais dans les cas extrêmes, on peut appliquer des corrections à l'aide de mesures spécifiques de gravité. Cependant, ceci n'a pas été nécessaire dans toutes les opérations du Coast and Geodetic Survey.

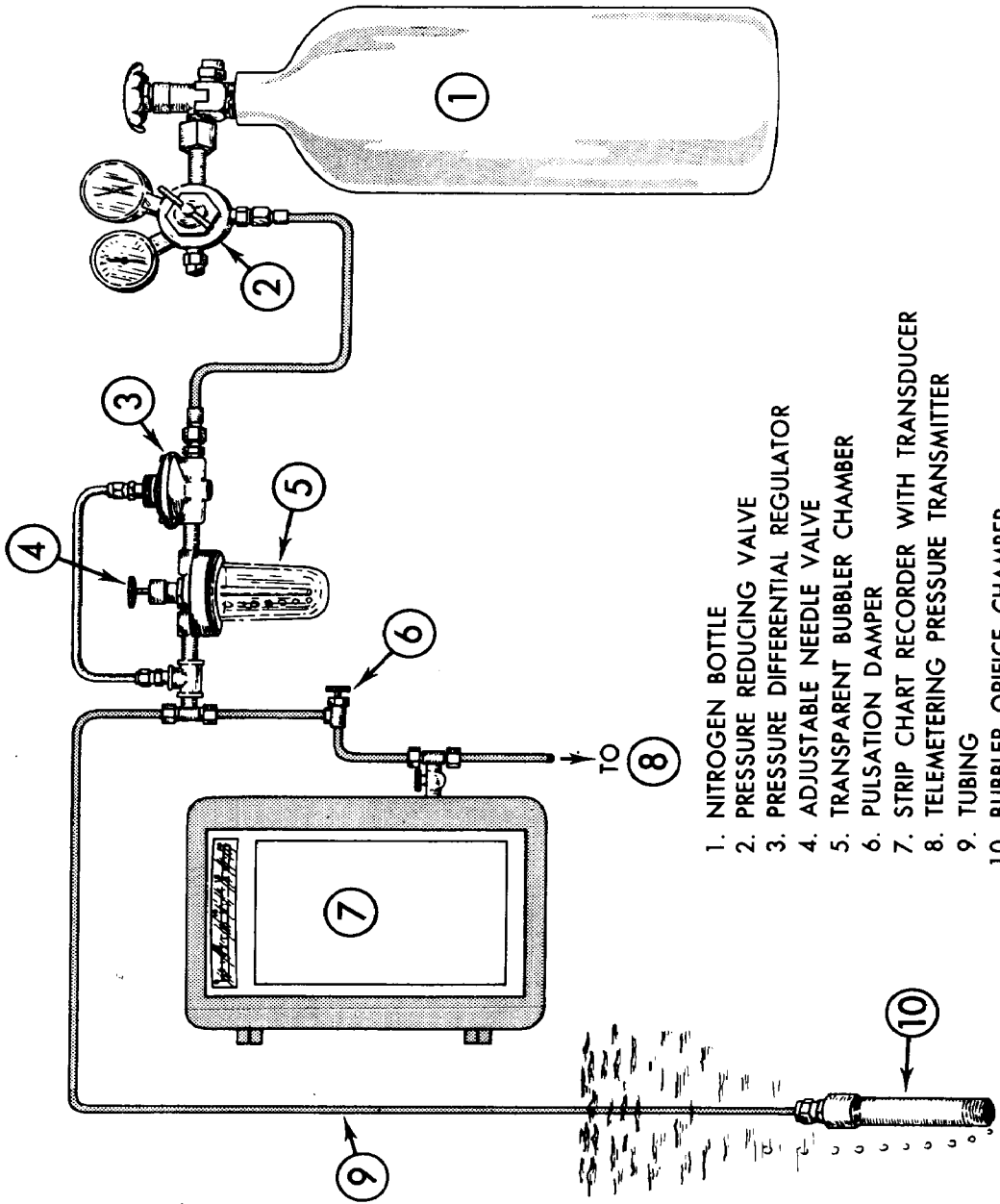
Une erreur pourrait être introduite par l'action des grosses vagues si la partie immergée du marégraphe consistait seulement en un tuyau comportant une extrémité fixe ouverte. Le marégraphe serait déchargé pendant le passage d'un creux de vague, et comme il ne serait pas possible d'avoir un débit de gaz suffisant pour remplacer immédiatement le gaz perdu, il en résulterait une lecture inférieure au niveau d'eau réel.

Dans les marégraphes à évacuation de gaz, une chambre d'orifice à barbotage spécialement conçue est fixée à l'extrémité sous-marine du tuyau. Cette chambre fait fonction de réservoir de gaz et limite l'élévation du niveau d'eau due à la perte de gaz à 1 *inch* approximativement. Sans la chambre, l'eau pourrait s'élever jusqu'à deux *feet* à l'intérieur du tuyau. L'emploi de la chambre a réduit l'erreur due à l'action des vagues à une valeur comprise dans les limites pratiques de précision.

Les variations de la pression barométriques n'affectent pas le système de marégraphe à pression d'évacuation de gaz. La pression atmosphérique s'ajoute au poids de l'eau au-dessus de l'orifice, ce qui augmente ainsi la pression du gaz sur le soufflet du transducer. Comme la pression atmosphérique se retrouve aussi sur la face extérieure du soufflet, l'effet de la variation de pression barométrique s'annule.

Description du fonctionnement

La figure 1 montre un schéma de principe du marégraphe à évacuation de gaz mis au point par le Coast and Geodetic Survey. L'azote arrive de la bouteille par l'intermédiaire d'un réducteur de pression. La pression est ramenée de 1 800 psi à, soit 12 à 15 psi pour un marégraphe de 0 à 20 *feet*, soit 25 à 30 psi pour un marégraphe de 0 à 50 *feet*. Le gaz à pression réduite est envoyé à un régulateur différentiel.



1. NITROGEN BOTTLE
2. PRESSURE REDUCING VALVE
3. PRESSURE DIFFERENTIAL REGULATOR
4. ADJUSTABLE NEEDLE VALVE
5. TRANSPARENT BUBBLER CHAMBER
6. PULSATION DAMPER
7. STRIP CHART RECORDER WITH TRANSDUCER
8. TELEMETERING PRESSURE TRANSMITTER
9. TUBING
10. BUBBLER ORIFICE CHAMBER

FIG. 1. — Maregraphe à pression d'évacuation de gaz. — Schéma de fonctionnement. 1. Bouteille d'azote. — 2. Soupape de réduction de pression. — 3. Réglage différentiel de pression. — 4. Soupape à pointeau réglable. — 5. Chambre à barbotage transparente. — 6. Amortisseur de pulsation. — 7. Enregistreur avec transducteur. — 8. Emetteur pour transmission à distance de la pression. — 9. Conduite. — 10. Chambre à orifice à barbotage.

Ce régulateur différentiel se décharge par une soupape à pointeau réglable qui fait passer le gaz dans une chambre à barbotage transparente. La soupape à pointeau permet le réglage du débit qui doit être environ de 60 bulles par minute. Pour maintenir le débit désiré, la pression au régulateur différentiel doit être au moins de 5 psi au-dessus du niveau statique de la plus haute mer prévue.

De la chambre à barbotage, le gaz passe par le tuyautage et va à la chambre de l'orifice, située sous l'eau. Cette chambre a six *inches* de long et $3/4$ *d'inch* de diamètre. Elle comporte de petites fentes dans son extrémité ouverte pour laisser s'échapper les bulles. Le tuyautage en polyéthylène de $3/8$ *d'inch* a un diamètre intérieur de $1/8$ *d'inch*. La pression provenant du tuyau est transmise par l'intermédiaire d'un amortisseur de pulsation de valve au soufflet du transducer d'un enregistreur de pression sur bande de papier. Les variations de pression sont enregistrées comme variations de profondeur d'eau. Si on le désire, la pression peut être aussi reliée à un transducer de pression d'un émetteur pour transmission à distance.

Installation

On peut faire une excellente installation sur une plage ouverte en enfonçant un tuyau de 1 *inch* $1/2$ dans le sable du fond de la mer, qui servira de support à la chambre de l'orifice. Ceci peut s'effectuer à l'aide d'une embarcation en pompant l'eau dans le tuyau. La réaction qui en résulte provoque l'enfoncement du tuyau dans le sol jusqu'à la profondeur désirée. Si cela n'est pas possible, l'extrémité du tuyau peut être noyée dans un bloc de béton plat. Lorsqu'il sera mouillé, le bloc restera sur le fond avec l'extrémité supérieure du tuyau arrivant au-dessus de l'eau.

La chambre d'orifice est fixée au tuyau juste au-dessus du fond de la mer. La cote de l'orifice est rapportée à l'extrémité supérieure du tuyau qui est, à son tour, reliée à un repère à terre. Le tuyautage qui arrive jusqu'à la côte peut être amarré à un câble pesant ou recouvert d'un revêtement lourd. Dans les deux cas, il doit être solidement fixé à terre pour l'empêcher d'être refoulé dans la mer.

L'extrémité à terre du tuyautage est fixée au système à gaz et au transducer de l'enregistreur, comme l'indique le schéma. Si l'on doit utiliser un système de mesure à distance, on peut installer un deuxième transducer comme il est indiqué pour détecter les variations de pression.

Système de mesure à distance.

La transmission à distance des observations de marées est généralement entreprise pour l'une des raisons suivantes : utilisation par navire ou embarcation pour corriger les sondages par écho; utilisation dans les systèmes d'avertissement de marées anormales causées par les ouragans ou les tremblements de terre; utilisation dans les travaux de photogrammétrie au cours desquels une représentation d'ensemble rapide des conditions de marées d'une région est nécessaire.

Deux types de systèmes de transmission à distance ont été employés avec le marégraphe à pression d'évacuation de gaz. L'un est une onde

porteuse à très haute fréquence (VHF) modulée en fréquence et l'autre est une onde porteuse entretenue de 2 à 4 mégacycles (HF).

Le système VHF à fréquence modulée utilise un oscillateur de 960 cycles pour moduler la porteuse. L'émetteur ne fonctionne qu'à des intervalles pré-sélectionnés, généralement toutes les 15 minutes, pour conserver la puissance. Une came conduite par moteur dans l'émetteur de puissance fait fonctionner l'émetteur de 960 cycles. La came, fixée au soufflet du transducer coupe l'oscillateur quand il a atteint une position déterminée par l'expansion du soufflet. Ainsi la durée du signal audio est directement proportionnelle à l'état de la marée.

A l'extrémité réceptrice du système de transmission à distance, un récepteur superhétérodyne à très haute fréquence détecte la modulation de 960 cycles de la porteuse. Après détection, la note de 960 cycles passe dans un système de filtres et est utilisée pour actionner le relais qui commande l'enregistrement. L'enregistrement continue à fonctionner jusqu'à ce que le cycle d'échantillonnage soit terminé.

Le récepteur du système HF de transmission à distance doit avoir une fréquence très stable, c'est pourquoi on utilise un oscillateur de fréquence radio contrôlé par quartz. Un récepteur à double conversion ayant une seconde fréquence intermédiaire de 50 kc et un oscillateur réglable de fréquence variable, de bonne stabilité, ont été jugés nécessaires pour la transmission à distance par ondes entretenues.

Le système de transmission à distance HF a l'avantage de couvrir des distances plus considérables que le système VHF. Etant donné sa bande étroite de fréquence et ses courtes périodes d'émission, on n'éprouve qu'un minimum d'interférence. On peut couvrir ainsi des distances de 300 miles avec une alimentation en puissance de 100 watts. On peut tolérer des interférences et des ondes de sol modérées.

Expériences avec le marégraphe à pression

Le marégraphe à pression d'évacuation de gaz a été employé dans des régions où l'amplitude de la marée est de 1/2 foot seulement, et aussi là où les amplitudes extrêmes dépassent 40 feet. Le système a fonctionné sur des plages ouvertes, des constructions sur pilotis dans des baies, des estacades et des plates-formes du large connues sous le nom de tours Texas.

Dans la baie d'Atchafalaya, Louisiane, on a entrepris un levé pour déterminer la ligne de côte légale. On avait besoin des renseignements de marées pour coordonner le travail de plusieurs embarcations et d'un avion de prise de photographies. Dans cette région, l'eau est peu profonde sur une distance considérable à partir de la côte, et, près de terre, les conditions de la marée sont fortement influencées par les vents locaux. On avait placé un marégraphe à évacuation de gaz sur une plate-forme dans une eau relativement profonde à huit milles environ de terre, et les observations de marées étaient transmises à distance jusqu'à la côte où elles étaient enregistrées. Dans ce cas, le système de transmission à distance VHF alimenté par batteries fonctionna très bien.

Sur l'île Nantucket, Massachusetts, on a utilisé deux marégraphes à pression d'évacuation, l'un dans une baie abritée sur le côté nord de l'île et l'autre en pleine mer sur le côté sud. Dans cette installation, on a utilisé

pour la transmission à distance un seul émetteur radio. Les deux marégraphes étaient séparés d'environ 1/2 mille, de sorte que les données provenant de la station éloignée étaient relayées jusqu'à l'émetteur à l'aide d'une ligne téléphonique locale.

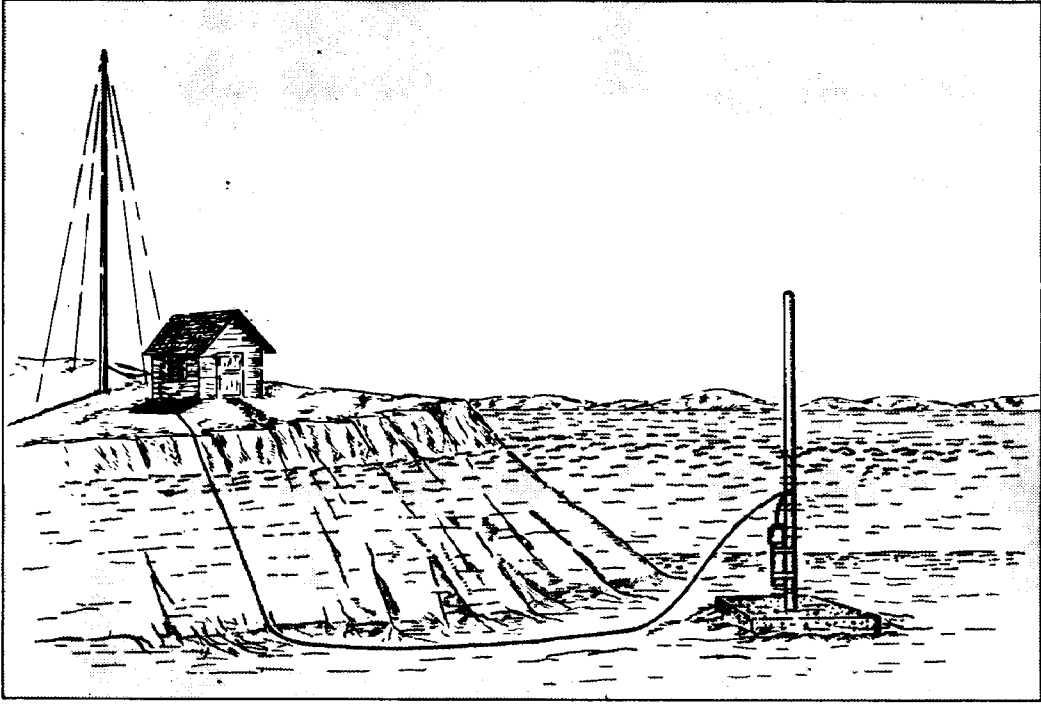


FIG. 2. — Marégraphe à pression d'évacuation de gaz. Installation type.

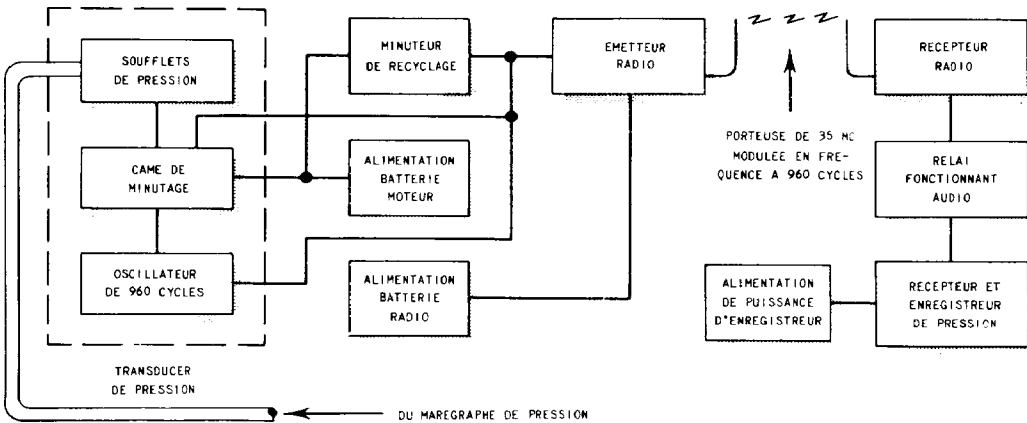


FIG. 3. — Schéma de principe d'un système à THF et modulation de fréquence utilisé avec un marégraphe à pression d'évacuation de gaz.

Chaque marégraphe commandait l'émetteur alternativement en utilisant un système de transmission à distance HF à modulation de fréquence pour faire parvenir les renseignements à l'Explorer, navire du Coast &

Geodetic Survey. Ce travail permet la correction des sondages immédiatement au cours des levés hydrographiques.

Programmes futurs

Des modifications ont permis l'emploi du marégraphe à pression d'évacuation de gaz dans la détection des tsunamis. Ce système pourrait être employé dans des régions où il serait difficile d'utiliser des systèmes d'avertissement à puits.

On étudie actuellement l'adaptation du marégraphe à pression d'évacuation de gaz à l'enregistrement sur bande perforée en vue de son dépouillement par machines à calculer. Ceci épargnerait la fastidieuse et longue interprétation des marégrammes. Un enregistreur de marégraphe à flotteur sur ruban perforé, actuellement en cours d'essai au Coast & Geodetic Survey, pourrait être transformé pour être utilisé avec le marégraphe à pression d'évacuation.

Un émetteur compact à transistors pour transmission à distance ayant un débit de puissance de 20 watts est en cours de fabrication, et on s'attend à ce qu'un émetteur d'un débit atteignant 100 watts soit mis au point dans un proche avenir. La fréquence utilisée par ces émetteurs sera approximativement de 2 mégacycles.

Un tel émetteur sera une amélioration, même lorsqu'on emploie le système de transmission à distance avec l'alimentation du secteur. Les batteries pourront être maintenues constamment en charge, de sorte que si le courant du secteur subit une interruption, l'émetteur continuera à fonctionner jusqu'à ce que le courant soit rétabli. Ceci rendra le système relativement indépendant d'une interruption possible du secteur.

Autres systèmes considérés

Parmi les autres systèmes considérés au cours de la mise au point du marégraphe à pression d'évacuation de gaz, il y avait un système atténuateur de radiations, un système de sondeur à écho inversé et une variété de transducteurs à pression.

Le principe de l'atténuation de radiations utilisé avec succès pour des mesures précises dans des eaux abritées situées dans des montagnes inaccessibles produirait une radiation dangereusement élevée si elle était suffisamment puissante pour pénétrer dans plus de 40 *inches* d'eau. De plus, le coût, l'inconstance, la difficulté d'installation ont fait de ce système un moyen peu pratique pour les mesures de marées.

Le sondeur à écho inversé consiste en un transducteur installé sur le fond et sondant sur la surface de l'eau. L'appareil, nécessaire pour une installation satisfaisante, pourrait être soit à terre, soit sur un flotteur ancré. Le système est considéré comme peu pratique en raison des difficultés d'ancrage et des complexités de l'équipement.

En général, les nombreux types de transducteurs de pression considérés transforment les variations de pression en résistance, réluctance, ou variations de fréquence. Pour rendre les données utilisables cependant, les appareils nécessitent un équipement auxiliaire stable qu'on ne peut pas trouver

facilement. Le coût des transducteurs exigerait qu'ils soient récupérés après la fin des travaux. Dans de nombreux cas, ce serait difficile sinon impossible.

Conclusions

Le marégraphe à transmission à distance de la pression d'évacuation de gaz a fait ses preuves dans la baie Atchafalaya, Louisiane, et à l'île Nantucket, Massachusetts. On a utilisé en Alaska des systèmes d'enregistrement de marégraphes sous la forme de stations transportables. Les indications qu'ils ont donné montrent que ce procédé s'est révélé un auxiliaire de grande valeur pour les marégraphes actuels. Ils conviennent en particulier aux opérations des marégraphes transportables à cause de leur simplicité et de la souplesse de leur installation.

Les autres avantages de ce type de marégraphe sont les suivants :

1°) L'enregistreur et l'emplacement des mesures peuvent être distants de plusieurs milliers de *feet*;

2°) Les parties immergées sont simples et de peu de valeur;

3°) L'enregistreur peut être monté sur une bouée, sur un flotteur ou à terre;

4°) Le marégraphe à pression d'évacuation de gaz peut être adapté à la transmission de renseignements dans les endroits éloignés ou inaccessibles;

5°) La plupart des pièces existent dans le commerce à l'exception de quelques parties qui peuvent être construites pendant le montage du système de transmission à distance;

6°) Ce marégraphe est moins cher que les marégraphes classiques.

Le coût de l'équipement était à peu près le suivant :

Équipement de base du marégraphe	730,00 \$
Équipement de transmission à distance du marégraphe	1 850,00 \$
Équipement radio VHF	1 000,00 \$
Équipement radio HF	650,00 \$