

LES
MARÉGRAPHES A PRESSION
DU SERVICE SPÉCIAL
DE L'ESCAUT MARITIME
ET DE SES AFFLUENTS A MARÉE

NOTICE

DE

M. VAN BRABANDT

Ingénieur principal des Ponts et Chaussées.

Pl. XXI.

L'installation de marégraphes du type ordinaire, à flotteur, n'est pas toujours possible, ou présente certaines sujétions. Lorsqu'on est en présence d'un ouvrage au droit duquel se rencontrent des profondeurs suffisantes, la construction n'est guère compliquée, du moment que l'on peut établir sur cet ouvrage, à l'abri des plus hautes eaux, une cabine renfermant les mécanismes et y suspendre un tube vertical servant de gaine au flotteur; on obtient alors, en général, une solution économique et satisfaisante. Toutefois, si l'ouvrage sert à l'évacuation des eaux, ou s'il est exposé à la houle, on pourra éprouver des difficultés pour abriter le marégraphe contre les remous et les troubles qui sont souvent la conséquence de cet état de choses.

A défaut d'un ouvrage d'art existant, on établit parfois le marégraphe sur un support spécial. Cette solution est assez

coûteuse, surtout lorsque la marée présente une grande amplitude. Pour que le tube du flotteur plonge sous les plus basses eaux et ne s'envase pas, il faut, le plus souvent, établir le support assez loin de la rive. L'installation constitue presque toujours une gêne, voire même un danger pour la navigation; il devient alors nécessaire de la protéger par des ouvrages plus ou moins importants et de la signaler par des feux; enfin son accès, ainsi que sa surveillance, entraînent des sujétions et des frais.

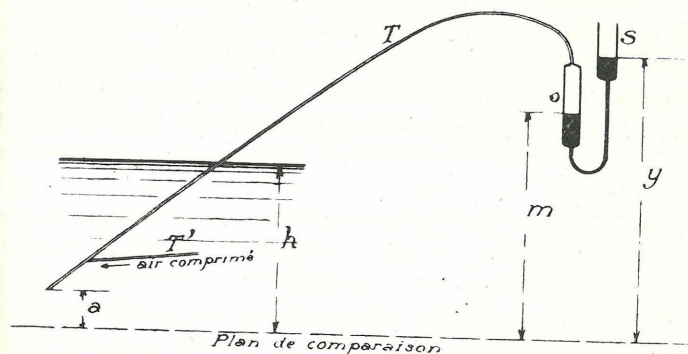
Pour ces motifs, on préfère, en général, établir le tube du flotteur sur la rive, ou à proximité de celle-ci. Il faut alors qu'à la partie inférieure de ce tube vienne se greffer un conduit horizontal, débouchant sous les plus basses eaux. Cette solution peut être assez dispendieuse, à cause des travaux de terrassements et autres qu'elle exige. D'ailleurs, lorsque la rivière charrie des matières solides, l'obstruction du tube horizontal est presque inévitable. Si ce dernier inconvénient se présente, le dispositif en question devient inadmissible, quand le conduit horizontal doit atteindre une grande longueur.

L'emploi des marégraphes à pression permet d'éviter une grande partie des inconvénients signalés. Dans ces appareils la pression due à la hauteur de l'eau s'exerce à l'extrémité d'un tube de très faible diamètre, dont l'installation au large ou en lit de rivière ne nécessite pas de construction encombrante. Le fluide que contient cette canalisation transmet la pression aux organes enregistreurs, établis à distance, sur la terre ferme, éventuellement à l'intérieur d'un bâtiment existant. La canalisation peut contourner les obstacles et notamment le profil d'une digue dont on veut éviter le percement. En général, les installations de cette espèce sont moins coûteuses d'établissement que les marégraphes à flotteur. Quant aux frais d'entretien, ils se réduisent presque uniquement à ceux qui concernent les mécanismes.

Le service spécial de l'Escaut maritime et de ses affluents soumis à la marée a fait installer récemment deux marégraphes à transmission par colonne d'air, suivant un dispositif présenté par M. E. Parenthou, constructeur à Paris. L'un de ces appareils enregistre les marées de l'Escaut à Anvers, à proximité de l'entrée des anciens bassins. L'autre est établi sur la Dyle inférieure, immédiatement à l'aval de l'écluse donnant accès au bief intra-muros de la ville de Malines.

Le fonctionnement des appareils qui nous occupent est basé sur le principe de l'égalité des pressions dans les fluides élastiques sans vitesse et sur le principe des vases communicants.

Soit (schéma ci-dessous) h la cote de la surface libre de l'eau à un moment donné et soit T un tube très mince, dont une extrémité débouche à la cote a , sous le niveau des plus basses



eaux, l'autre extrémité communiquant avec la branche fermée d'un siphon à mercure. Le tube T est supposé complètement rempli d'air immobile. Désignons par m et par y les cotes du mercure, respectivement dans la branche fermée et dans la branche ouverte du siphon, par π le poids spécifique de l'eau et par P celui du mercure.

Dans les conditions envisagées, la pression est uniforme dans toute l'étendue de la canalisation d'air; son excès sur la pression atmosphérique est mesuré par le poids de la colonne d'eau de hauteur $h-a$. Le principe des vases communicants, appliqué aux deux branches du siphon, donne immédiatement l'équation :

$$\pi (h - a) = P (y - m) \quad \dots \quad (1)$$

Si le niveau de la rivière varie lentement, et si l'on s'arrange de manière à ce que la pression de l'air varie, en même temps, dans le même sens et de la même quantité, on peut appliquer à tout autre instant l'équation d'équilibre statique qui vient d'être posée, à condition de remplacer h , m et y respectivement par $h + \Delta h$, $m + \Delta m$ et $y + \Delta y$. Par différence, on trouve la relation :

$$\pi \Delta h = P (\Delta y - \Delta m) \quad \dots \quad (2)$$

Soient s la section transversale de la branche fermée et S celle de la branche ouverte du siphon. La constance du volume de mercure s'exprime par l'équation :

$$- s\Delta m = S\Delta y \dots \dots \dots (3)$$

Si l'on élimine Δm entre les équations (2) et (3), il vient :

$$\Delta y = \frac{\pi\Delta h}{p \left(1 + \frac{S}{s}\right)} \dots \dots \dots (4)$$

Cette équation montre que les dénivellations du mercure dans la branche ouverte du siphon sont proportionnelles à celles de l'eau dans la rivière. Pour enregistrer ces dénivellations, il suffit de disposer sur le mercure de la branche ouverte un petit flotteur relié à une plume, devant laquelle tourne un cylindre recouvert d'une feuille de papier. L'échelle du diagramme est le facteur qui multiplie Δh dans l'équation (4) ; elle dépend du rapport qu'on adopte entre les diamètres des deux branches du siphon.

Il reste à voir comment on réalise la condition fondamentale sur laquelle repose la théorie précédente, c'est-à-dire le régime de la pression dans la canalisation d'air. Si, à un instant donné, on fait communiquer la canalisation avec un réservoir d'air comprimé à une pression suffisante, et qu'on ferme ensuite la communication, il est clair que l'eau sera expulsée du tube, ainsi que l'air en excès ; la pression de l'air restant sera celle que nous avons admise. Supposons ce réglage effectué à marée haute ; il pourra servir, du moins en théorie, jusqu'au moment de la marée basse. A mesure que le niveau de l'eau descendra dans la rivière, la diminution de pression permettra à une partie de l'air de s'échapper insensiblement et l'eau continuera à affleurer l'extrémité du tube, sans pouvoir y pénétrer. Mais, dès le début de la marée montante, l'accroissement de pression déterminera une réduction de volume de l'air et l'eau pénétrera dans la canalisation. La hauteur enregistrée sera dès lors plus petite que $h-a$ et l'erreur augmentera avec la montée de l'eau ; elle variera de plus avec la température de l'air. Il est donc nécessaire d'alimenter la canalisation pendant la marée montante, et cette alimentation doit se faire de manière à équilibrer à chaque instant la colonne d'eau de hauteur $h-a$. On atteint ce but à l'aide d'un tube 'T' (schéma ci-dessus) relié à

un réservoir d'air comprimé, avec interposition des organes de réglage que nous décrivons plus bas.

En fait, il n'est pas possible d'obtenir un réglage aussi rigoureux que nous venons de le supposer ; d'autre part, il faut une alimentation supplémentaire pour parer aux pertes pouvant provenir soit de fuites imperceptibles dans la canalisation, soit de la dissolution de l'air dans l'eau avec laquelle il se trouve en contact. En conséquence, on produit dans la canalisation une pression légèrement supérieure à celle qui est nécessaire pour empêcher la rentrée de l'eau. Dans ces conditions, l'appareil débite en réalité de l'air en tout temps et la pression à la surface du mercure dans la branche fermée du siphon diffère légèrement de celle qui règne à l'extrémité libre du tube. Cette différence n'est pas de nature à altérer, d'une manière sensible, le bon fonctionnement de l'appareil. Si elle était parfaitement constante, elle n'exercerait même aucune influence, car seul le premier membre de l'équation (1) s'en trouverait modifié et non l'équation (2). Cette constante n'intervient donc pas plus dans le fonctionnement que le poids de la colonne d'air, que nous avons négligé. Ce que nous venons de dire suppose, bien entendu, que le débit d'air se fasse bulle à bulle, donc sans vitesse sensible, et que l'air contenu dans la canalisation T soit pratiquement immobile ; or, il en est ainsi lorsque l'appareil est bien réglé et pourvu que le tube T' débouche assez près de l'extrémité libre du tube T, c'est-à-dire que la longueur du parcours commun soit très faible vis-à-vis de celle de la canalisation.

On remarquera que, dans la théorie qui précède, nous n'avons pas tenu compte des changements de volume du mercure sous l'influence de la température. Le coefficient de dilatation cubique du mercure étant inférieur à $1/5000^e$, il est facile de voir que l'influence en question peut être négligée, lorsque l'écart entre les températures extrêmes est limité à quelques degrés, ce qui s'obtient sans peine en abritant convenablement l'appareil enregistreur.

Le système décrit présente la sujétion d'exiger la mise en œuvre d'une pompe, donc le travail d'un homme ou d'un moteur mécanique, pour alimenter le réservoir à air. Par contre, il s'applique à de très grandes différences de hauteur, soit entre les niveaux extrêmes à enregistrer, soit entre la rivière ou la mer et l'enregistreur. La précision des résultats

qu'il donne n'est pas inférieure à celle que l'on obtient par l'emploi des marégraphes du type ordinaire.

Nous compléterons cette notice en décrivant quelques détails de construction de l'appareil, reproduits sur la planche-annexe.

1° *La Canalisation.* La canalisation double T, T' (fig. 1 et 3) peut être en cuivre ou en plomb. Son diamètre intérieur est de 5 à 6 millimètres. Elle est disposée en pente légère vers la rivière, de manière à permettre l'évacuation facile de l'eau de condensation. Dans sa partie souterraine, elle est abritée dans un caniveau en briques ou en béton, en vue d'éviter son écrasement et sa corrosion. Le parcours horizontal est d'environ 80 mètres à Anvers et d'une vingtaine de mètres à Malines.

La canalisation commune est constituée soit par le prolongement d'un des tubes, soit par un tube spécial, de plus fort diamètre, auquel les deux autres viennent se souder. Cette extrémité doit évidemment déboucher à l'abri des envasements. Le tube est simplement agrafé au mur de quai à Anvers et au mur en retour de l'écluse à Malines.

2° *L'Enregistreur.* L'appareil enregistreur du nouveau marégraphe d'Anvers, établi à 18 mètres environ au-dessus des plus basses marées basses, a été installé dans un local dépendant des bureaux du service spécial de l'Escaut maritime; il donne à tout instant la hauteur exacte de l'eau dans la rade, alors que les diagrammes des marégraphes voisins ne sont recueillis que tous les dix jours environ. A Malines, l'enregistrement s'opère dans la demeure de l'agent préposé aux manœuvres de l'écluse.

L'enregistreur comprend essentiellement le siphon d'acier S (fig. 1), le flotteur *f*, relié à la plume *p* et le cylindre C, mû par le mouvement d'horlogerie H. Le cylindre fait un tour en 24 heures. L'échelle des temps est d'environ 0^m.03 par heure et celle des hauteurs de 1/30^e ($P = 13.59, \frac{S}{s} = 1.21$).

3° *L'Alimentation d'air.* L'air sous pression est emmagasiné dans le réservoir métallique A (fig. 1), dont la capacité dépend du régime local de la marée, ainsi que des conditions de manœuvre de la pompe. Il est clair, en effet, que le débit d'air indispensable au fonctionnement de l'appareil augmente avec la durée de la marée montante, avec la rapidité de son

ascension et avec la cote des plus hautes eaux. Quant à la manœuvre de la pompe, il convient de prévoir le cas où elle ne pourrait se faire qu'à des intervalles assez éloignés, 48 heures par exemple. D'autre part, si la pompe est malœuvrée à la main, l'avantage de réduire les dimensions du réservoir, en le chargeant à une tension assez forte, est bien vite compensé par la difficulté du travail correspondant. En définitive, la capacité du réservoir est déterminée empiriquement, par comparaison avec les résultats obtenus dans des cas analogues. A Malines, cette capacité est de 200 litres et, en temps ordinaire, on maintient le réservoir à une tension comprise entre 1 et 2 atmosphères; les niveaux extrêmes qu'on peut enregistrer diffèrent de 5 mètres environ. La manœuvre de la pompe se fait à la main et donne lieu à un travail moyen de quelques minutes tous les deux jours. A Anvers, la charge totale sur l'orifice du tube peut atteindre 8^m.50 environ; le réservoir, de 300 litres de capacité, est rechargé, deux ou trois fois par semaine, à une tension d'environ 3.5 atmosphères. Dans ce dernier cas la manœuvre à la main a été reconnue trop pénible; on y a substitué le travail d'un moteur électrique d'un demi-cheval, branché sur le courant de la distribution; il faut environ un quart d'heure par opération, lorsque la tension accusée par le manomètre G (fig. 1) est tombée à 2 atmosphères.

A la sortie du réservoir A, la tension de l'air est réduite par l'intermédiaire d'un détendeur D (fig. 1 et 2), analogue à ceux qu'on emploie dans les bouées à gaz. On en connaît le dispositif :

Une membrane métallique *m* (fig. 2), serrée sur son pourtour dans un joint hermétique et soumise à l'action de deux ressorts antagonistes *r* et *r'*; communicque d'une part avec l'air libre, d'autre part avec la canalisation. Mais ce dernier passage est étranglé par le clapet *s* à siège conique, surmonté d'un piston T qui touche la face inférieure de la membrane. Aussitôt que la pression tend à augmenter, le soulèvement du centre du diaphragme détermine la fermeture plus complète de l'orifice d'accès; l'inverse se produit sous l'action du ressort supérieur, lorsque la pression diminue.

L'air qui sort du détendeur traverse la petite colonne d'eau du barboteur B (fig. 1), commandé par le robinet R. L'ouverture de ce dernier se règle d'après le nombre de bulles qui traversent le barboteur dans un temps donné. Il est utile de

faire ce réglage une ou deux fois entre chaque manœuvre de la pompe et la suivante, c'est-à-dire d'ouvrir le robinet en raison de la diminution que subit la tension de l'air dans le réservoir. C'est ainsi qu'à Anvers l'expérience a montré qu'il convient de donner passage à un nombre de 150 à 200 bulles d'air par minute.

Comme on ne peut s'astreindre à manœuvrer sans cesse le robinet R, et que l'appareil doit fonctionner nuit et jour, on maintient le débit, même pendant la marée descendante. Pour les mêmes raisons, le robinet R ne suffit pas comme régulateur du débit, puisque celui-ci tend à varier continûment avec la hauteur de la marée. Un réglage étant fait pour une hauteur d'eau déterminée, la vitesse de l'air et sa consommation seraient trop grandes pour les hauteurs d'eau plus faibles; par contre, pour les hauteurs d'eau plus fortes, le débit serait insuffisant.

Il faut donc disposer d'un système de réglage automatique, rendant le débit sensiblement constant, quelle que soit la charge sur l'orifice. On atteint ce but de la manière suivante: En s'échappant du barboteur, les bulles d'air passent par le tuyau mince F, aboutissant à la partie inférieure d'un tube en U, dont les deux branches contiennent du mercure. La branche M communique avec la suite de la canalisation; le réservoir qui surmonte la branche N est ouvert à l'air libre. Les bulles d'air qui s'échappent par le tube M ont à vaincre une résistance composée de la somme de deux pressions: celle qui provient de la hauteur d'eau dans la rivière et celle qui correspond à la hauteur du mercure dans la branche M. Or, la longueur de la branche N est calculée de manière telle que la surface du mercure s'y déplace toujours dans le réservoir supérieur à grande section. Dans ces conditions, la somme dont il vient d'être question est, à peu de chose près, constante, puisqu'elle est équivalente à la charge provenant de la colonne N, dont la longueur varie très peu.

Quant à l'élargissement de la branche M à sa partie supérieure, il constitue une simple précaution contre l'entraînement du mercure dans la canalisation, au cas où celle-ci viendrait à être brusquement mise en communication avec l'atmosphère.

Anvers, novembre 1912.

LES

DISTRIBUTIONS D'EAU

ENVISAGÉES

DANS LA CONCEPTION MÉTHODIQUE

DE LEUR RÉSEAU D'EXPLOITATION

PAR

Ed. DETIENNE

Ingénieur.

I. — THÈSE GÉNÉRALE.

Une ville, dont le site se développe sur les deux flancs d'une vallée, dispose d'une source, naturelle ou artificielle, dont le point d'émergence, cote 100, domine toute la partie agglomérée de la cité. Cette source débite en moyenne 116 litres par seconde ou 10,022.4 mètres cubes par jour.

On a remarqué que la consommation active s'étend sur une période de seize heures et qu'elle pourrait utiliser toute la venue de la source, si elle était mise à sa portée. Mais pendant huit heures de nuit, cette consommation est à peu près nulle.

On demande de composer le réseau de distribution le plus favorable aux intérêts de la cité :

- 1° en utilisant la source seule pendant les seize heures de grande consommation;
- 2° en accolant à la source S un réservoir R₁, qui en retienne le débit nocturne;
- 3° en utilisant en outre un réservoir R₂ d'extrémité, édifié sur le versant sud, opposé à la source.