

**UNE INSTALLATION AUTOMATIQUE DE MESURE ET DE
TELETRANSMISSION DES NIVEAUX D'EAU
LE LONG DE L'ESCAUT MARITIME.**

par

J. DE RIES, I.C.E.

Directeur Général de l'Administration de l'Electricité et de l'Electromécanique
du Ministère des Travaux Publics,

et

P. WILLEMS, I.C.M.E., M.Sc.

Docteur en sciences appliquées - Chef de Département
aux Ateliers de Constructions Electriques de Charleroi - Chargé de cours
à l'Université Libre de Bruxelles.

INTRODUCTION.

L'Escaut maritime est la partie de l'Escaut qui se trouve en libre communication avec la mer et qui, de ce fait, est soumise à l'action des marées. Il est limité, à l'amont, par l'écluse de Gentbrugge, près de Gand, et reçoit les eaux de trois affluents principaux : la Dendre, la Durme et le Rupel.

La connaissance précise des phénomènes de marée sur l'Escaut maritime, et plus spécialement sur la partie du fleuve qui s'étend en aval d'Anvers, revêt un grand intérêt d'un double point de vue : elle conditionne la navigation et elle permet l'étude de l'évolution des fonds et des mesures à prendre pour améliorer et maintenir les profondeurs. En ce qui concerne la navigation, il faut remarquer, en effet, que, sur le trajet d'Anvers à la mer, les navires de fort tonnage règlent leur marche en fonction de la marée, de façon à disposer en tout lieu de profondeurs leur assurant une marge de sécurité suffisante. Les services portuaires, auprès desquels les capitaines et les pilotes prennent leurs informations, doivent, dès lors, être renseignés eux-mêmes à tout instant, non seulement sur l'état actuel des niveaux, mais également sur l'évolution ultérieure probable de ceux-ci. Quant à l'étude du lit du fleuve, elle s'effectue principalement sur modèle réduit au Laboratoire d'hydraulique de l'Etat à Borgerhout. Il est essentiel pour ces recherches, que les niveaux dans le modèle varient suivant les mêmes lois que les niveaux réels. Il importe donc d'en-

registrar l'évolution des niveaux en divers endroits caractéristiques du fleuve et de transmettre cette documentation au Laboratoire d'hydraulique sous une forme aisément utilisable.

L'étude du régime hydraulique de l'Escaut et l'établissement de prévisions quant aux marées à venir exigent, d'autre part, la connaissance de certaines données essentielles relatives aux marées actuelles. Parmi ces données figurent les instants et les cotes de marée haute et de marée basse en un certain nombre d'endroits convenablement choisis.

En résumé, il convient de mesurer à tout instant le niveau de l'eau en un certain nombre de points de l'Escaut, de transmettre instantanément ces indications à quelques services intéressés, d'enregistrer ces mêmes indications sous une forme adéquate et de traiter l'information ainsi recueillie, afin d'en extraire certains renseignements importants.

Il y a bien longtemps que, sous une forme extrêmement rudimentaire, une solution partielle a été donnée à ce problème. Elle consiste à installer, le long de l'Escaut, un certain nombre d'appareils enregistreurs de niveau. Ces appareils, appelés limnigraphes ou marégraphes, comportent essentiellement un flotteur pouvant se mouvoir dans un tube vertical assurant à la fois le guidage et la protection mécanique de ce flotteur. Celui-ci est suspendu à un câble qui s'enroule sur un tambour, auquel est également suspendu un contre-poids, maintenant en toutes circonstances une certaine tension dans le câble du flotteur. L'axe du tambour actionne un stylet qui se déplace verticalement, parallèlement aux génératrices d'un cylindre entraîné par un mouvement d'horlogerie. Le stylet trace ainsi des courbes de marée sur une feuille graduée, s'enroulant autour du cylindre en question. Ce procédé, qui possède l'avantage de la simplicité, présente néanmoins l'inconvénient de requérir des visites régulières et fréquentes à chaque point de mesure, afin d'y prélever le diagramme tracé et de munir l'appareil d'une nouvelle feuille graduée. En outre, il ne renseigne évidemment pas les services intéressés sur la valeur actuelle du niveau et requiert un travail fastidieux de dépouillement des enregistrements.

Un système déjà nettement plus perfectionné fut réalisé vers 1950. Il comportait cinq points de mesure, l'un établi sur la rive droite, à hauteur du bâtiment du Pilotage à Anvers, les quatre autres répartis le long de la rive gauche entre Anvers et

la frontière hollandaise. La mesure s'effectuait toujours par flotteur comme décrit ci-dessus. Toutefois, au lieu d'actionner un stylet, le tambour du limnigraphe entraînait l'émetteur d'une transmission à distance, dont le récepteur était installé au bâtiment du Pilotage. Dans ce bâtiment, l'on disposait ainsi à tout instant de la cote en chacun des cinq points de mesure. En outre, ces valeurs y étaient enregistrées, ce qui réduisait très sensiblement la durée nécessaire à la récolte des enregistrements et à la recharge des enregistreurs. Les résultats ne répondirent cependant pas aux espérances. La télé-transmission, qui s'opérait par voie analogique, s'avéra sujette à de nombreuses causes de perturbations, de sorte que les valeurs affichées par les récepteurs étaient souvent entachées d'erreurs sensibles. Les mises au point furent laborieuses et précaires et jamais l'installation ne fonctionna de façon pleinement satisfaisante. Sa carrière fut d'ailleurs interrompue brutalement, lorsque la marée-tempête du 1^{er} février 1953 emporta les digues dans lesquelles était enfoui le câble de liaison entre les points de mesure et le Pilotage. Pendant des années, les travaux d'amélioration entrepris le long de l'Escaut interdirent la restauration de ce câble, qui avait été sectionné en plusieurs endroits et fortement endommagé sur une grande partie de son parcours. Une remise en service complète de l'installation aurait pratiquement exigé la pose d'un nouveau câble, suivant un tracé moins exposé à l'action des éléments naturels. Devant l'importance de la dépense et la médiocrité des résultats, l'on y renonça.

Le problème cependant subsistait. Dès 1960, l'administration de l'Electricité et de l'Electromécanique du ministère des Travaux publics en reprit l'étude sur des bases nouvelles, tenant compte de l'expérience acquise et des possibilités offertes par les techniques les plus récentes. Peu à peu se dégagèrent les traits généraux, puis se précisèrent les caractéristiques particulières d'une solution susceptible de satisfaire de façon rationnelle aux besoins les plus urgents et d'être étendue pour faire face à un programme sensiblement plus vaste. Nous nous proposons de consacrer le présent article à une description sommaire de l'installation conçue de la sorte et dont la réalisation, après mise en compétition du projet élaboré par l'Administration, fut confiée à la S.A. Ateliers de Constructions Electriques de Charleroi. Dans un premier chapitre nous nous attacherons à définir le problème posé et, en particulier, à énoncer en les justifiant, les caractéristiques qui furent imposées à l'installation. Dans les chapitres suivants nous décrirons sommairement les moyens mis en œuvre par le constructeur pour satisfaire à ces impositions.

1. DEFINITION DU PROBLEME.

1.1. Principes de base.

Avant de rechercher les performances dont l'installation doit être capable, nous esquisserons quelques principes généraux, suivant lesquels il convenait de la concevoir, afin de lui conférer l'efficacité la plus grande.

Un premier principe ne demande guère d'explications : il est clair, en effet, que l'installation rendra des services d'autant plus appréciés, que l'intervention humaine sera plus réduite. Si possible, elle devrait se limiter à une surveillance générale et peu astreignante et aux opérations strictement nécessaires à la recharge des appareils enregistreurs, ces opérations étant d'ailleurs aussi espacées que possible et faciles à exécuter. Ces conditions impliquent un haut degré d'automatisme dans l'exécution et la collecte des mesures, ainsi que dans le dépouillement des enregistrements. Elles nécessitent, d'autre part, la centralisation de l'information, afin que la surveillance et la recharge des enregistreurs puissent s'effectuer en quelques minutes, par une seule personne opérant en un seul lieu. L'installation doit donc comporter un poste central, auquel seront transmis constamment et instantanément les cotes relevées automatiquement en un certain nombre de points de mesure et dans lequel cette information sera traitée et enregistrée. En toute logique, il fut décidé d'établir ce poste central dans le bâtiment du Pilotage à Anvers, bâtiment qui abrite le service de l'administration des Voies hydrauliques — les « Antwerpse Zeediensten » — ayant en charge l'Escaut en aval d'Anvers.

La centralisation de l'information ne constitue d'ailleurs pas uniquement un avantage pour l'exploitation du système; elle répond également à un impératif économique. Les ordinateurs et les équipements annexes, effectuant le traitement de l'information, sont des appareils très coûteux. Il est donc avantageux d'en limiter le nombre. La solution optimale consiste évidemment à n'en prévoir qu'un seul, capable de traiter l'ensemble de l'information reçue. Cela implique que toute cette information soit centralisée à proximité immédiate de l'ordinateur. Mais il résulte également de ces considérations, que l'installation sera d'autant plus rentable et d'autant mieux justifiée, que le volume d'information à traiter est plus important. C'est pourquoi — ce sera notre deuxième principe — il fut décidé que l'installation projetée ne devrait pas seulement être capable de traiter le problème de l'Escaut en aval d'Anvers, mais qu'elle devrait pouvoir

couvrir l'ensemble de l'Escaut maritime et de ses affluents soumis aux marées. Compte tenu d'une marge de sécurité raisonnable, cela revient à concevoir le système pour 40 points de mesures. Toutefois, afin de ne pas alourdir exagérément la dépense de premier investissement et afin de se ménager l'occasion d'expérimenter l'installation avant de la réaliser avec sa pleine extension, il fut décidé de la limiter

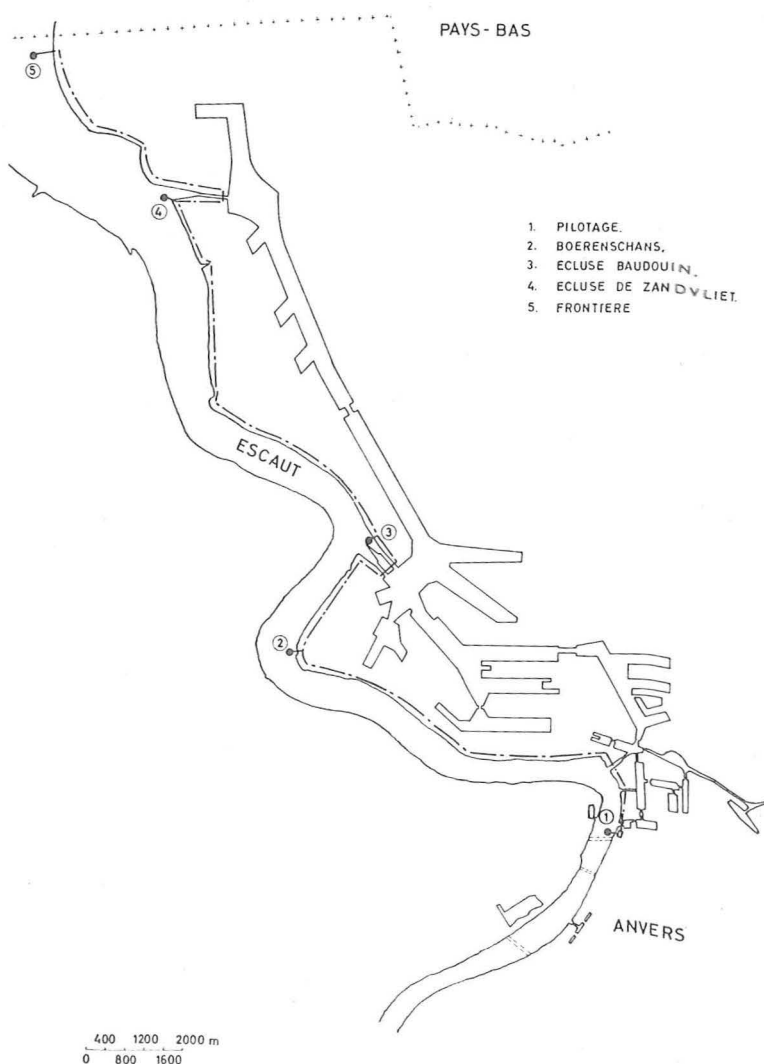


Fig. 1.1.

Plan de situation.

provisoirement à 5 points de mesure, dans la première phase de son exécution.

Ceci nous amène, en troisième lieu, à choisir judicieusement ces 5 points de mesure. Il va sans dire que ce choix doit être tel, que l'installation soit susceptible de répondre le plus rapidement possible aux besoins les plus urgents. Ce que nous en avons dit dans l'introduction montre clairement qu'il convient de s'attacher en premier lieu aux problèmes concernant l'Escaut en aval d'Anvers. L'expérience acquise avec l'installation précédente ayant démontré la vulnérabilité des câbles de liaison posés sur la rive gauche, il fut convenu de choisir cette fois des points de mesure répartis le long de la rive droite (figure 1.1.). Leurs emplacements furent fixés respectivement :

- à hauteur du Pilotage;
- au lieu dit « Boerenschans »;
- au débouché de l'écluse Baudouin;
- au débouché de l'écluse de Zandvliet (Fort Frederik);
- à hauteur de la frontière hollandaise.

Le tracé du câble, joignant ces divers points de mesure au poste central, a évidemment été étudié de façon à présenter un maximum de garanties quant à la bonne tenue de cette liaison.

La quatrième décision de principe se rapporte aux informations que l'installation doit être à même de fournir. Au poste central doivent évidemment être affichées, en tout temps, les valeurs instantanées des diverses cotes mesurées, ainsi que certaines autres indications utiles. De plus, ces valeurs doivent y être enregistrées sous une forme permettant un dépouillement automatique. A cet égard, une attention toute particulière doit être accordée aux indications relatives aux instants et aux cotes de marée haute et de marée basse en chaque point de mesure, indications qui doivent pouvoir être enregistrées séparément et notées avec précision. En vue de faciliter la navigation entre Anvers et la mer, une autre condition doit encore être satisfaite : certaines cotes mesurées à proximité des écluses mentionnées ci-dessus et à hauteur de la frontière, doivent être retransmises immédiatement à ces écluses. En effet, à chacune d'elles sont établis des services chargés de régler la navigation sur le fleuve et devant pouvoir renseigner les navires sur les profondeurs disponibles et sur l'évolution probable des marées.

La dernière question de principe dont nous traiterons ici, concerne la transmission à distance des cotes entre les points de mesure et

le poste central et, accessoirement, entre ce dernier et les deux écluses maritimes déjà citées. Les expériences passées ayant démontré la difficulté de réaliser une transmission analogique stable et d'une précision suffisante, il fut décidé, dès le départ, de s'affranchir de toute erreur de transmission en recourant à un procédé numérique. Chaque mesure sera donc transmise sous forme d'un train d'impulsions codées. A première vue, un tel système présente un inconvénient par rapport à une transmission analogique : la mesure ne peut être transmise de façon continue. Les trains d'impulsions ne peuvent, en effet, se suivre qu'à des intervalles finis et l'indication reçue au poste central représente la valeur de la grandeur mesurée à des instants plus ou moins espacés les uns des autres. Cet inconvénient est cependant mineur, voire tout à fait négligeable, quand il s'agit de phénomènes évoluant lentement, comme c'est le cas ici. Il suffit, en tout état de cause, que la cadence de transmission soit suffisamment élevée et convenablement proportionnée à la vitesse d'évolution de la grandeur mesurée, pour que l'information reçue présente autant de valeur que si la transmission s'effectuait de façon strictement continue. Par ailleurs, le procédé adopté présente un avantage décisif : les indications relatives à divers points de mesure peuvent être acheminées successivement vers le poste central par les mêmes conducteurs. L'on accroît ainsi, dans une très large mesure, le nombre de voies de transmission disponibles dans un câble donné. L'achat et la pose des câbles de liaison représentant une part importante — souvent même la part prépondérante — d'une installation telle que celle que nous envisageons ici, l'on conçoit que l'amélioration du facteur d'utilisation de ce réseau de liaisons constitue un critère essentiel dans l'appréciation de divers systèmes de transmission. L'adoption de transmissions numériques s'avère donc particulièrement avantageuse.

1.2. Considérations générales sur les phénomènes à observer.

En un point déterminé d'un cours d'eau soumis à l'effet des marées, le niveau varie en fonction du temps suivant une loi assez complexe, qui, en première et assez grossière approximation, peut être décrite comme se composant d'une suite d'alternances de sinusoïdes, d'une période légèrement supérieure à 12 h. L'oscillation du niveau s'accompagne d'un phénomène de propagation le long du cours d'eau, de sorte que non seulement l'amplitude de cette oscillation varie d'endroit en endroit, mais également sa phase. En particulier, le maximum et le minimum de niveau, appelés respectivement « marée

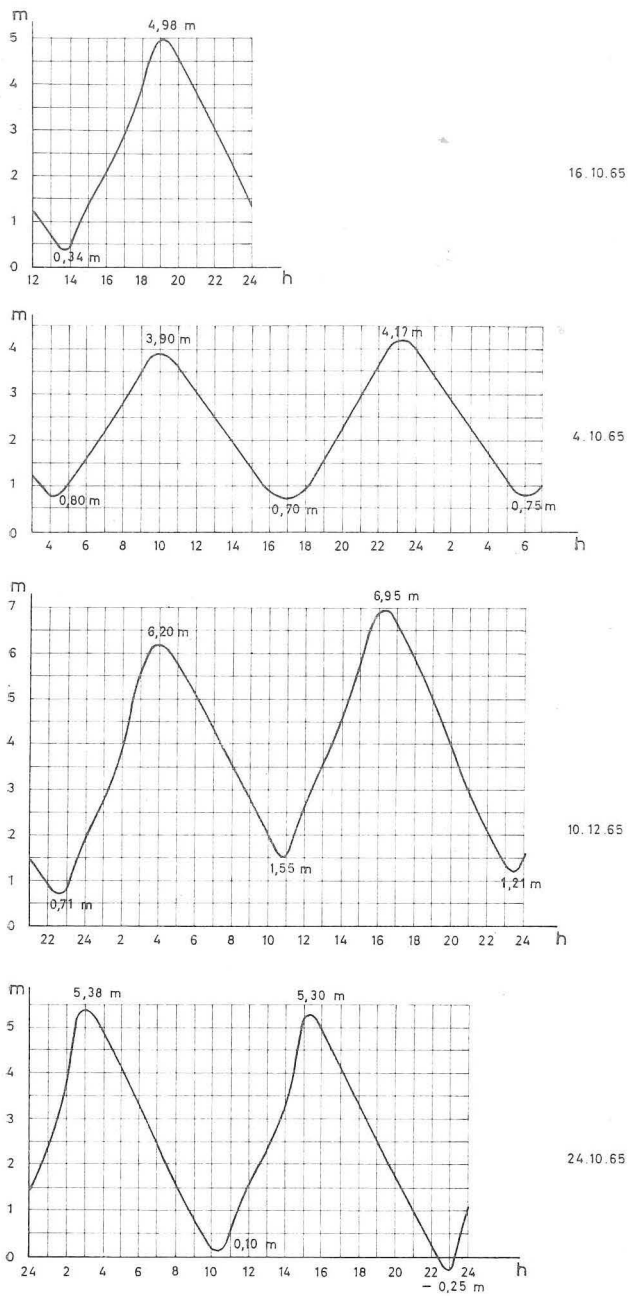


Fig. 1.2.1.
Courbes de marées.

haute » et « marée basse », ne se produisent-ils pas simultanément sur toute l'étendue du cours d'eau considéré, mais se propagent-ils le long de celui-ci.

La figure 1.2.1. représente des courbes de marée relevées sur l'Escaut maritime à proximité de l'écluse Baudouin. L'on remarque que l'allure générale de ces courbes peut être très différente d'une marée à l'autre et qu'en particulier, l'amplitude du mouvement peut être très variable. Exceptionnellement l'on a enregistré des cotes de marée haute au voisinage de $+ 8,00$ m et des cotes de marée basse d'environ $- 0,50$ m. Pour couvrir avec certitude toute l'étendue des possibilités, il fut imposé à l'installation projetée de pouvoir mesurer, transmettre, afficher et enregistrer des cotes comprises entre $- 1,50$ m et $+ 8,50$ m, c'est-à-dire de couvrir une amplitude totale de $10,00$ m.

D'autre part, il est souhaité que la lecture de la cote soit correcte jusque et y compris l'indication du centimètre. Cela impose que la mesure s'effectue avec une précision de $\pm 0,005$ m. La transmission et le traitement de l'information s'opérant par un procédé numérique n'affectent guère cette précision. Celle-ci détermine cependant la définition du système qui doit être de

$$\frac{0,01}{10,000} = \frac{1}{1000}$$

Les courbes de la figure 1.2.1. ne sont pas inscrites telles quelles par un appareil enregistreur; il s'agit de courbes tracées par un dessinateur à partir d'enregistrement, lors du dépouillement de ces derniers. La figure 1.2.2. reproduit une portion d'enregistrement réel.

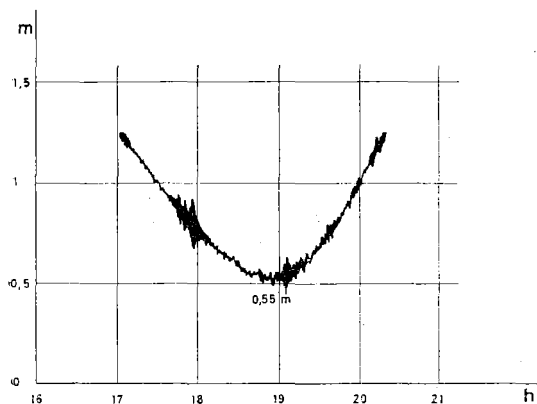


Fig. 1.2.2.

Extrait d'une courbe de marée.

L'on constate qu'aux courbes idéales de la figure précédente se superpose une oscillation rapide, d'une amplitude atteignant parfois plusieurs dizaines de centimètres. Ces oscillations peuvent être dues à des causes fortuites, telles que les ondes de surface provoquées par le passage d'un navire ou par le vent. Elles peuvent aussi résulter

des oscillations propres du système physique constitué par l'eau contenue entre les berges du fleuve. Il convient, dès lors, de séparer le phénomène principal des perturbations qu'il subit ou, en d'autres mots, de séparer le signal du bruit. Il est très difficile de définir le signal de façon rigoureuse. C'est pourquoi nous devons nous contenter d'une séparation conventionnelle. Le passage des navires et l'effet du vent appartiennent certainement aux causes perturbatrices du phénomène. Or, elles donnent lieu à des oscillations dont la période, ainsi que le montre l'observation, ne dépasse pas 20 s et reste généralement bien en-dessous de cette valeur. Nous conviendrons de considérer comme bruit toute oscillation dont la période ne dépasse pas 20 s. Il importe donc d'éliminer de pareilles oscillations du signal transmis ou, tout au moins, des valeurs affichées. En ce qui concerne les valeurs enregistrées, bien que des oscillations d'une période de 60 s ou de 120 s puissent résulter des caractéristiques physiques du fleuve et appartenir donc, en fait, au signal proprement dit, elles ne présentent pas grand intérêt par suite de la quasi impossibilité d'en contrôler la reproduction dans le modèle réduit, où leur amplitude serait minime et leur fréquence trop élevée. Il n'est donc pas nécessaire d'enregistrer des oscillations dont la période est inférieure à 3 ou 4 minutes.

Une autre caractéristique des courbes de marées contribue à fixer les performances de l'installation envisagée. Il s'agit de la vitesse maximum de variation du niveau d'eau. Le système doit évidemment être capable de « suivre » cette variation, sans introduire d'erreur supérieure à la tolérance admise. La courbe à suivre est naturellement la courbe de marée idéale, abstraction faite des fluctuations qui s'y superposent. L'examen d'un grand nombre d'enregistrements montre que la vitesse maximum avec laquelle la cote idéale peut varier, est de l'ordre de 8,5 cm/min. soit environ 1,4 mm/s.

1.3. Considérations relatives à la mesure du niveau.

Après examen de divers types de capteurs de niveau ou limnimètres, le choix s'est porté sur le système à flotteur, dont nous avons déjà donné plus haut une description sommaire et dont on trouvera une représentation schématique à la figure 1.3.1. Ce système présente l'avantage d'être simple et robuste. Le niveau de l'eau à l'intérieur du tube se traduit, pratiquement sans erreur, par l'angle de rotation de l'axe du tambour. Il suffit de caler sur cet axe un disque codeur, pour être assuré que la valeur transmise et traitée au poste central, correspond bien à la mesure du niveau de l'eau à l'intérieur du tube.

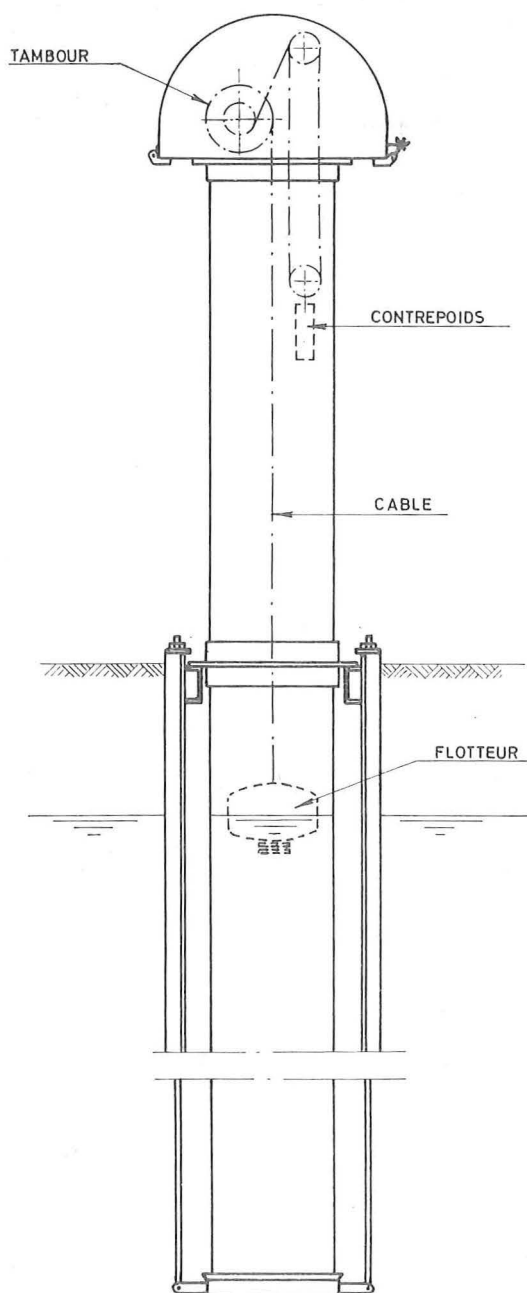


Fig. 1.3.1.
Capteur de niveau.

Il reste cependant à examiner dans quelle mesure ce niveau correspond à la cote à l'extérieur du tube. Il faut remarquer, en effet, qu'il est de pratique courante et d'ailleurs fort avantageux, de ne pas laisser l'intérieur du tube en libre communication avec l'extérieur, mais de pourvoir sa base d'un couvercle muni d'un orifice, étranglant la veine liquide entrant dans le tube ou en sortant. On peut espérer amortir de la sorte l'effet des oscillations des fréquences les plus élevées, lesquelles, nous l'avons vu, doivent être considérées comme des perturbations par rapport au phénomène analysé. Il est évident que cet amortissement sera d'autant plus efficace, que l'orifice à la base du tube est plus petit. Par contre, si la section de cet orifice devient trop faible, il se pourrait que le niveau intérieur ne puisse suivre l'évolution de la marée avec la précision requise. De trop petits orifices courent d'ailleurs le risque d'être rapidement obstrués par

des brindilles ou autres corps en suspension ou par des inscrustations de mollusques.

Il est possible de se faire une idée des valeurs admissibles pour la section de l'orifice et des résultats qu'elle permet d'obtenir.

Appelons (figure 1.3.2.) :

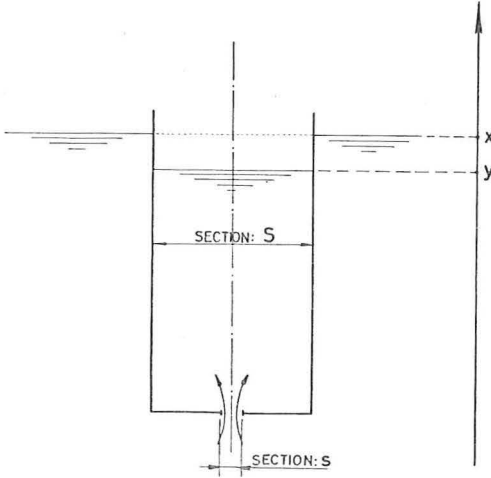


Fig. 1.3.2.

Schéma de la base d'un capteur.

- x le niveau de l'eau à l'extérieur du tube;
- y le niveau de l'eau à l'intérieur du tube;
- S la section transversale intér. du tube;
- s la section de l'orifice de communication à la base du tube;
- α le coefficient de contraction de la veine liquide au passage de l'orifice susnommé;
- g l'accélération due à la pesanteur;
- t le temps.

La loi suivant laquelle le niveau x varie en fonction de t étant connue, l'évolution de y est définie par l'équation différentielle :

$$S \frac{dy}{dt} = \varepsilon \alpha s \sqrt{2g |x-y|} \quad (1.3.1.)$$

dans laquelle

$$\begin{aligned} \varepsilon &= +1 \quad \text{pour } x > y; \\ &= -1 \quad \text{pour } x < y. \end{aligned}$$

En posant

$$2g \alpha^2 \left(\frac{s}{S}\right)^2 = \beta \quad (1.3.2.)$$

cette équation peut s'écrire sous la forme

$$\frac{dy}{dt} = \varepsilon \sqrt{\beta |x-y|} \quad (1.3.3.)$$

qui montre que le comportement du système dépend exclusivement

du rapport $\frac{S}{s}$ entre la section du tube et celle de l'orifice de communication.

Recherchons d'abord la valeur maximale que l'on peut adopter pour ce rapport, si l'on veut que le niveau intérieur puisse suivre en toutes circonstances la variation du niveau extérieur idéal. Supposons que ce dernier s'élève à vitesse constante v . La fonction x est donc de la forme

$$x = vt \quad (1.3.4.)$$

Supposons, en outre, qu'à l'instant initial $t = 0$, les niveaux intérieur et extérieur soient égaux, c'est-à-dire que $y = 0$. Appelons maintenant y_1 l'écart, à l'instant t , entre ces deux niveaux. y_1 résulte donc de la relation

$$y = vt - y_1 \quad (1.3.5.)$$

En introduisant la valeur de x , fournie par (1.3.4.), dans l'équation (1.3.3.) et en intégrant cette dernière, l'on obtient la relation :

$$t = -\frac{2}{\sqrt{\beta}} \sqrt{y_1} + \frac{2v}{\sqrt{\beta}} \ln \frac{v}{v - \sqrt{\beta} y_1} \quad (1.3.6.)$$

qui détermine la loi de variation de y_1 en fonction de t . Les courbes de la figure 1.3.3. représentent cette loi, pour diverses valeurs du

rapport $\frac{S}{s}$ et pour diverses valeurs de la vitesse v , le coefficient de

contraction α ayant été pris égal à 0,7. L'écart y_1 tend asymptotiquement vers une valeur $y_1(\infty)$, donnée par

$$y_1(\infty) = \frac{v^2}{\beta} \quad (1.3.7.)$$

qui croît proportionnellement au carré du rapport $\frac{S}{s}$. Nous avons

vu au paragraphe 1.2. que v pouvait atteindre 1,4 mm/s, cependant que l'écart y_1 ne pouvait dépasser 5 mm. Pour réaliser cette condition,

le rapport $\frac{S}{s}$ doit rester inférieur à 156.

Il reste à déterminer dans quelle mesure le dispositif est alors capable d'amortir les oscillations dont la période est inférieure ou

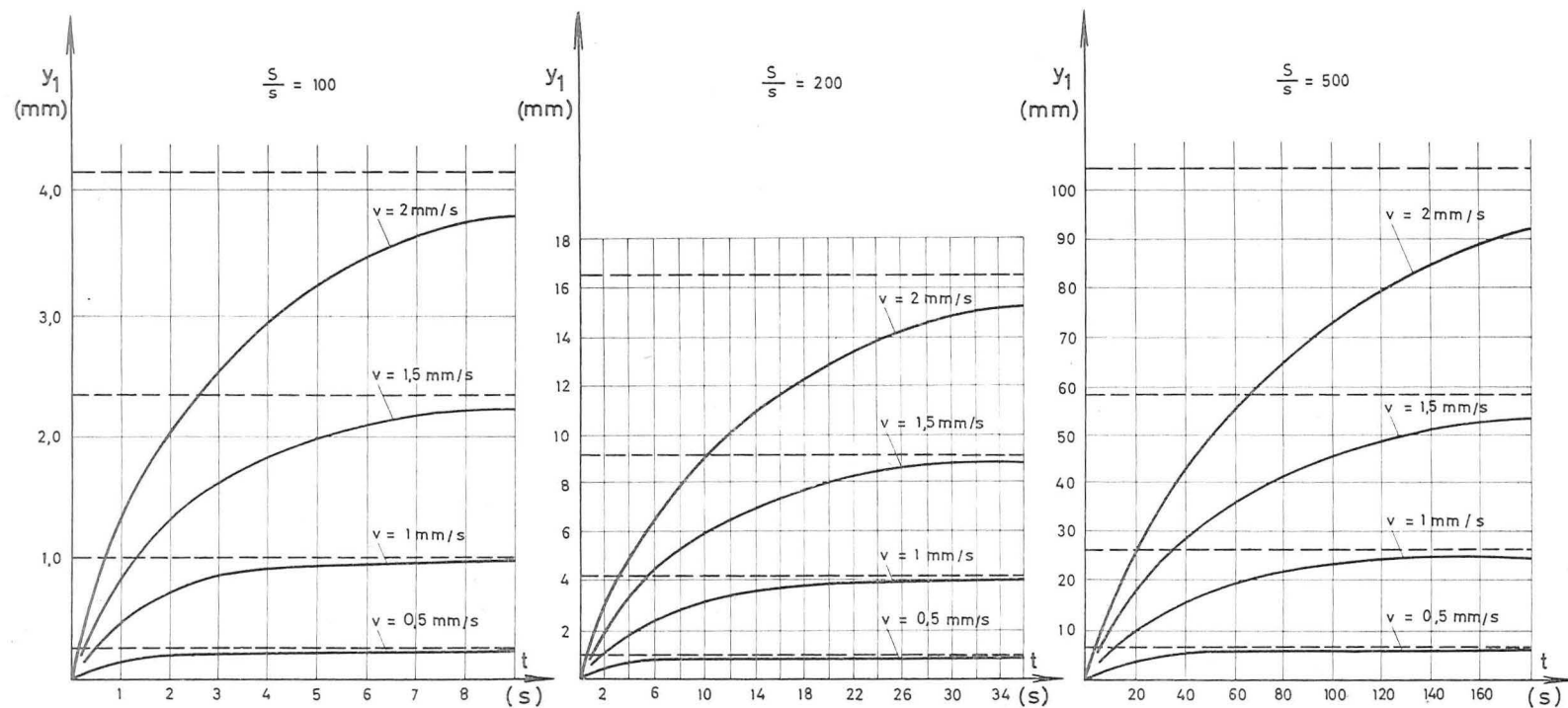


Fig. 1.3.3.

Courbes de réponse à une variation uniforme du niveau extérieur.

égale à 20 s. Cette fois, nous supposons que x varie suivant une loi de la forme

$$x = d \cos \frac{2\pi t}{T} \quad (1.3.8.)$$

où d est une constante et où T représente la période de l'oscillation du niveau extérieur au tube. Si nous introduisons cette valeur de x dans l'équation (1.3.3.), celle-ci décrira l'évolution du niveau y intérieur au tube. L'intégration s'effectue aisément au moyen d'un ordinateur électronique. L'étude de ce problème pour des valeurs de $\frac{S}{s}$

comprises entre 50 et 600, des valeurs de d compris entre 0 et 200 mm et des valeurs de T comprises entre 0 et 20 s, ont montré qu'après une phase transitoire plus ou moins brève, un régime était atteint, au cours duquel y varie suivant une loi périodique en fonction de t . L'analyse de y en série de Fourier montre, en outre, que cette loi est quasi sinusoïdale (l'amplitude de l'harmonique d'ordre 3 ne dépasse jamais 5 % de l'amplitude de l'oscillation fondamentale) et déphasée en arrière de 70° à 90° par rapport à x . En première approximation l'on peut donc représenter y par une loi de la forme

$$y = d_1 \cos \left(\frac{2\pi t}{T} - \varphi \right) \quad (1.3.9.)$$

où d_1 et φ sont des constantes. Pour des valeurs données de $\frac{S}{s}$

et de d , l'atténuation $\frac{d_1}{d}$ du système est proportionnelle à T , ainsi

qu'il ressort de la figure 1.3.4. La figure 1.3.5. représente la variation de d_1 en fonction de $\frac{S}{s}$ pour $T = 20$ s et pour diverses valeurs de d .

L'on constate que pour $\frac{S}{s} = 150$, $T = 20$ s et d compris entre 100 et

200 mm, il subsistera à l'intérieur du tube une oscillation dont la demi-amplitude d_1 est comprise entre 24 et 33 mm. Pour $T = 10$ s cette demi-amplitude est réduite de moitié. Avec le dispositif de mesure adopté, il est donc impossible d'éliminer totalement la perturbation déformant le signal. Cette tâche d'élimination doit, dès lors, être reportée sur le traitement de l'information.

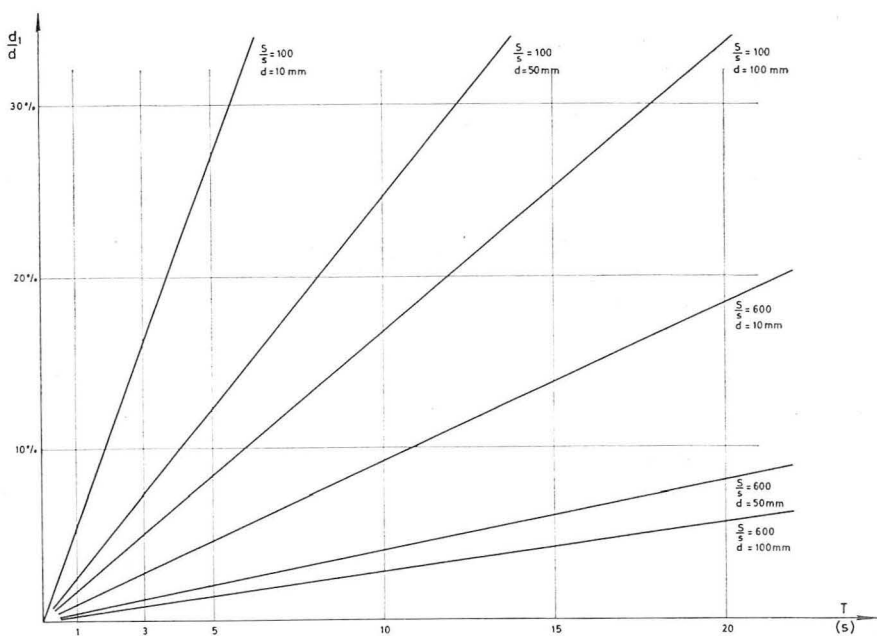


Fig. 1.3.4.

Diagramme de l'atténuation en fonction de la période.

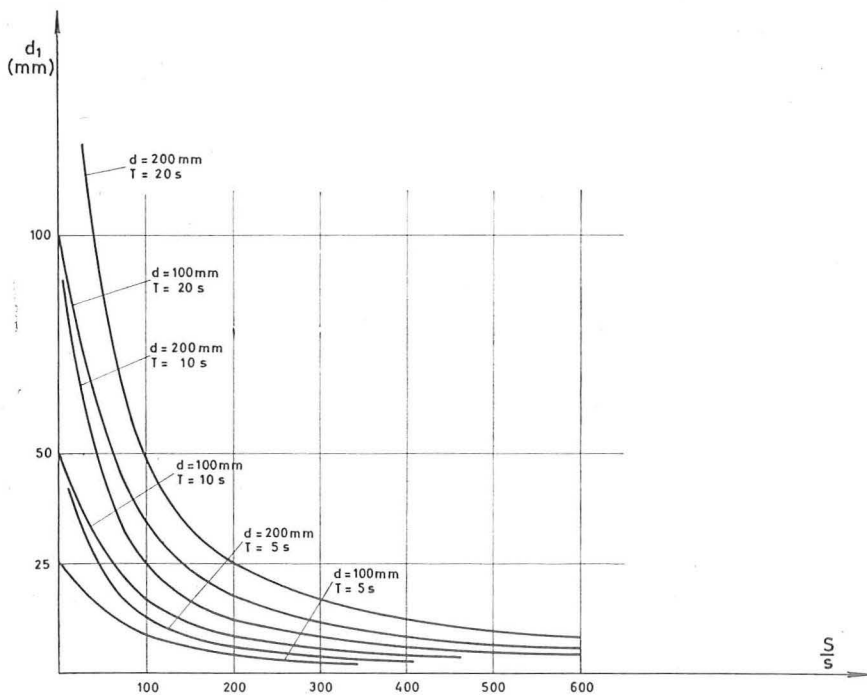


Fig. 1.3.5.

Diagrammes de l'amplitude en fonction de la section relative de l'orifice.

Les mesures de la cote étant transmises à intervalles réguliers vers le poste central, un moyen simple pour éliminer ou atténuer fortement la perturbation, consiste à ne pas adopter comme définitive la dernière cote reçue, mais à adopter, par contre, comme telle la moyenne des n dernières cotes reçues, n étant un nombre à déterminer convenablement. Il reste d'ailleurs à déterminer la cadence à laquelle les transmissions, issues d'un même point de mesure, se succéderont. Si l'on désire que l'erreur n'excède pas 5 mm, alors que le niveau varie à une vitesse de 1,4 mm/s, l'intervalle séparant deux transmissions successives ne peut dépasser

$$\frac{5}{1,4} = 3,6 \text{ s}$$

Toutefois, comme la vitesse de 1,4 mm/s est assez exceptionnelle, l'on a adopté une cadence d'une transmission toutes les 4 s, soit 15 transmissions par minute, laquelle s'avère particulièrement prati-

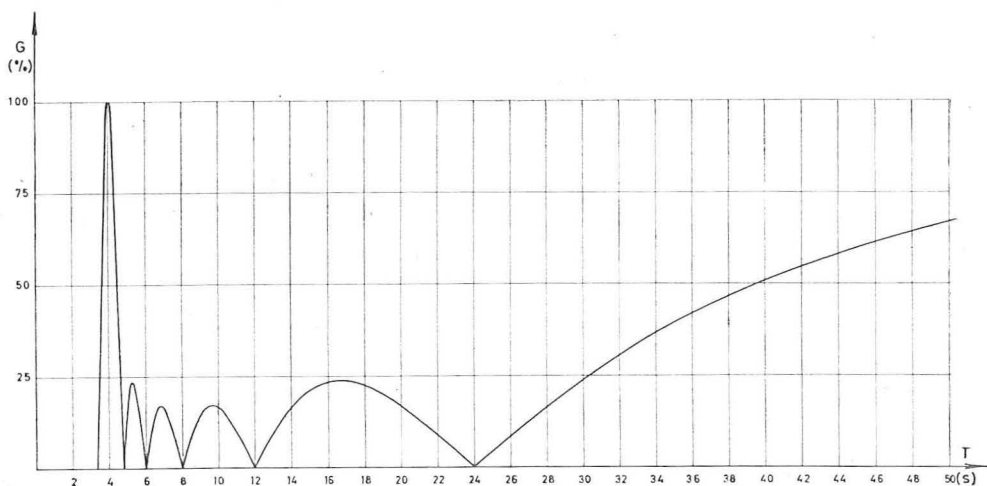


Fig. 1.3.6.

Diagramme du gain en fonction de la période.

que pour certains problèmes d'enregistrement. D'autre part, diverses considérations conduisent à prendre $n = 6$. Le diagramme de la figure 1.3.6. représente en ordonnée le gain G , en régime sinusoïdal, du système dont l'entrée est constituée par la cote dans le tube du limnimètre et la sortie par la moyenne des six dernières mesures reçues au poste central, au rythme d'une cote toutes les 4 s. En abscisse, l'on a reporté la période T de la sinusoïde. L'on constate que

dans la totalité de l'intervalle $4,6 \text{ s} < T < 31,3 \text{ s}$ G reste inférieur à 25 % et qu'il reste le plus souvent bien en-dessous de cette valeur. Les oscillations d'une période inférieure à 4,6 s étant fortement réduites par le capteur lui-même, ainsi qu'il ressort des figures 1.3.4. et 1.3.5., l'on peut conclure que le choix effectué est satisfaisant.

1.4. Conditions relatives à la transmission et aux valeurs affichées.

Les considérations des paragraphes précédents permettent, à présent, de préciser les conditions imposées quant à la transmission et aux valeurs affichées.

Toutes les 4 s la cote relevée en chaque point de mesure est transmise au poste central. Afin d'utiliser le câble de liaison au mieux de sa capacité, il est prévu qu'une seule paire de conducteurs téléphoniques, suffira pour transmettre les indications de huit points de mesure. Chacun de ceux-ci dispose donc de la liaison pendant une durée de 0,5 s, ce qui est suffisant pour transmettre, sous forme d'un train d'impulsions codées, non seulement la valeur de la cote mesurée, mais également une adresse identifiant le point de mesure. Le système doit présenter de sérieuses garanties de fidélité : chaque signal reçu doit subir automatiquement un contrôle sévère à la réception avant d'être accepté.

Le poste central comporte un ordinateur électronique chargé de traiter l'information reçue. L'une de ses tâches consistera à mettre en mémoire les mesures transmises et à effectuer, pour chacun des points de mesure, la moyenne de six dernières valeurs reçues. Cette moyenne sera recalculée à chaque réception d'une nouvelle valeur et pourra donc varier de 4 en 4 s. C'est cette valeur moyenne qui sera adoptée comme représentant la cote définitive pour le point de mesure considéré. C'est donc elle qui sera utilisée, tant pour l'affichage des valeurs instantanées que pour l'enregistrement des courbes de marée. C'est encore cette valeur moyenne que nous entendrons dorénavant lorsque, dans la suite de ce chapitre 1, nous parlerons de la cote d'un point de mesure.

Au poste central est prévu un tableau sur lequel seront affichées, outre la date et l'heure, les valeurs instantanées se rapportant à tous les points de mesure. Pour chacun de ceux-ci, ces valeurs instantanées comprendront la cote proprement dite et une indication relative à la vitesse et au sens d'évolution de cette cote. Cette dernière indication est fournie par l'ordinateur, qui prélève, à intervalles réguliers, un

terme dans la suite des cotes successives provenant du point de mesure considéré et qui effectue et affiche après chaque prélèvement, la différence algébrique entre la dernière et l'avant-dernière valeur prélevée. Afin de fournir une valeur suffisamment significative et d'éliminer autant que possible l'influence de diverses causes perturbatrices, l'intervalle entre deux prélèvements a été pris égal à une minute.

Ainsi qu'il a déjà été signalé précédemment les cotes relatives au débouché de l'écluse Baudouin et au poste situé à hauteur de la frontière, sont retransmises immédiatement au bâtiment de la Capitainerie du Port, situé sur l'écluse Baudouin. De même, la cote relative au débouché de l'écluse de Zandvliet, est retransmise aux services établis sur le plateau de cette dernière écluse.

1.5. Conditions relatives à l'enregistrement des mesures.

Les mesures doivent être enregistrées automatiquement, sous une forme peu encombrante et permettant un dépouillement aisé, voire automatique. Ces conditions conduisent à prévoir l'enregistrement sur bande perforée, suivant un code permettant la lecture et le traitement direct au moyen des ordinateurs dont dispose le Ministère des Travaux publics.

L'enregistrement d'une cote toutes les 4 s pour chaque point de mesure conduirait à un volume excessif de bandes perforées. Il n'est d'ailleurs pas nécessaire de disposer d'une documentation aussi abondante, pour avoir des courbes de marée une connaissance suffisante aux besoins de l'analyse et de la reproduction en laboratoire. Dans la suite de cotes déterminées successivement par l'ordinateur pour un point de mesure donné, seuls des termes prélevés à intervalles réguliers seront enregistrés. Un commutateur permet de choisir à volonté une fréquence de prélèvement d'un terme sur 15, sur 30, sur 45, sur 60, sur 90 ou sur 180, ce qui revient à enregistrer, pour chaque point de mesure, une cote toutes les minutes ou toutes les deux, trois, quatre, six ou douze minutes. Chaque enregistrement comporte, outre la cote proprement dite, l'adresse du point de mesure et l'indication de l'instant d'enregistrement.

Dans ces conditions, un rouleau normal de bande perforée peut contenir les cotes en provenance de cinq points de mesure pendant une durée de 175 h, c'est-à-dire pendant un peu plus d'une semaine, au rythme d'un enregistrement par minute. A priori, il semble qu'une

cadence d'un enregistrement par période de trois minutes puisse suffire aux besoins actuels. Un enregistreur ne devrait alors être rechargé que toutes les trois semaines, ce qui est très satisfaisant. Toutefois, pour améliorer encore la facilité d'utilisation du système et pour faire face à une défaillance éventuelle d'un enregistreur, l'on a prévu l'installation d'une batterie de trois enregistreurs branchés en tandem. Si la bande d'un enregistreur est entièrement chargée ou si cet appareil subit une défaillance quelconque, les valeurs à enregistrer sont acheminées automatiquement vers l'un des deux autres enregistreurs, qui prend alors la relève.

Outre l'utilisation directe des valeurs enregistrées dans un ordinateur, les bandes perforées rendent également possible le dessin automatique des courbes de marées. Un convertisseur numérique analogique permet de sélectionner toutes les cotes se rapportant à un même point de mesure, grâce à l'adresse enregistrée en même temps que cette cote, et il peut tracer, point par point, la courbe représentant l'évolution de ladite cote en fonction du temps. Le tracé s'exécute au rythme d'un point par seconde.

Comme nous l'avons déjà signalé, les cotes et instants de marée haute et de marée basse, présentent un intérêt tout particulier et il convient de les enregistrer sous une forme spéciale. Mais auparavant, il appartient à l'ordinateur de déterminer ces données. Pour permettre d'effectuer cette opération, il a été stipulé qu'une cote pouvait être considérée comme représentant la cote de marée haute, si elle n'était pas dépassée au cours de la période de 30 minutes suivant l'instant auquel elle a été mesurée. La définition correspondante s'applique évidemment pour la cote de marée basse.

Les données relatives aux cotes et instants de marée haute et de marée basse sont enregistrées sur une bande spéciale, par un enregistreur particulier. Simultanément elles sont imprimées automatiquement en clair par une machine à écrire. Pour éviter que ces renseignements ne se perdent en cas de défaillance de l'enregistreur en question, ils sont notés également, au moyen d'un code spécial, sur la bande enregistrant les courbes de marée. Ils peuvent en être extraits par lecture au moyen d'un ordinateur.

1.6. Sommaire des fonctions à réaliser.

Les considérations qui précèdent ont conduit à envisager une installation assurant :

- d'une part, la transmission par télémesure des niveaux instantanés du fleuve;

— d'autre part, le traitement des mesures reçues.

L'équipement comporte donc :

— la transmission au Pilotage, toutes les quatre secondes et avec une précision de 1 centimètre, des niveaux instantanés mesurés en cinq points de l'Escaut.

Le nombre de points de mesure pourra ultérieurement être étendu jusqu'à quarante.

— le calcul de la valeur moyenne (effectué toutes les quatre secondes) des six dernières mesures instantanées reçues de chaque point de mesure. Cette valeur moyenne est ensuite affichée sur des indicateurs décimaux du tableau de la salle de contrôle; elle est également enregistrée, avec l'indication de son origine et de l'instant de son apparition, sur bande perforée pour utilisation ultérieure par la calculatrice du ministère des Travaux publics.

— le calcul de l'écart effectué toutes les minutes entre la valeur moyenne et celle l'ayant précédé d'une minute. Cet écart, nanti de son signe, est également affiché sur des indicateurs décimaux incorporés dans le même tableau de la salle de contrôle.

— le calcul des maxima et minima de niveau effectué toutes les minutes pour chacun des points de mesure, en considérant que toute valeur moyenne calculée est un maximum (ou un minimum) si elle n'est pas suivie, dans un délai de 30 minutes, d'une autre valeur moyenne plus grande (ou plus petite).

Les valeurs extrêmes ainsi obtenues sont enregistrées immédiatement sur machine à écrire et sur bande perforée, avec indications d'origine et de temps.

— le tracé de diagrammes de marées à partir des valeurs consignées dans les bandes perforées.

— la retransmission instantanée des valeurs moyennes de certains points de mesure aux services de la Capitainerie du port et de l'écluse de Zandvliet.

2. DESCRIPTION GENERALE DES EQUIPEMENTS.

Une compréhension générale des liaisons structurelles des divers équipements peut être déduite de l'examen du schéma fonctionnel de la fig. 2.0.

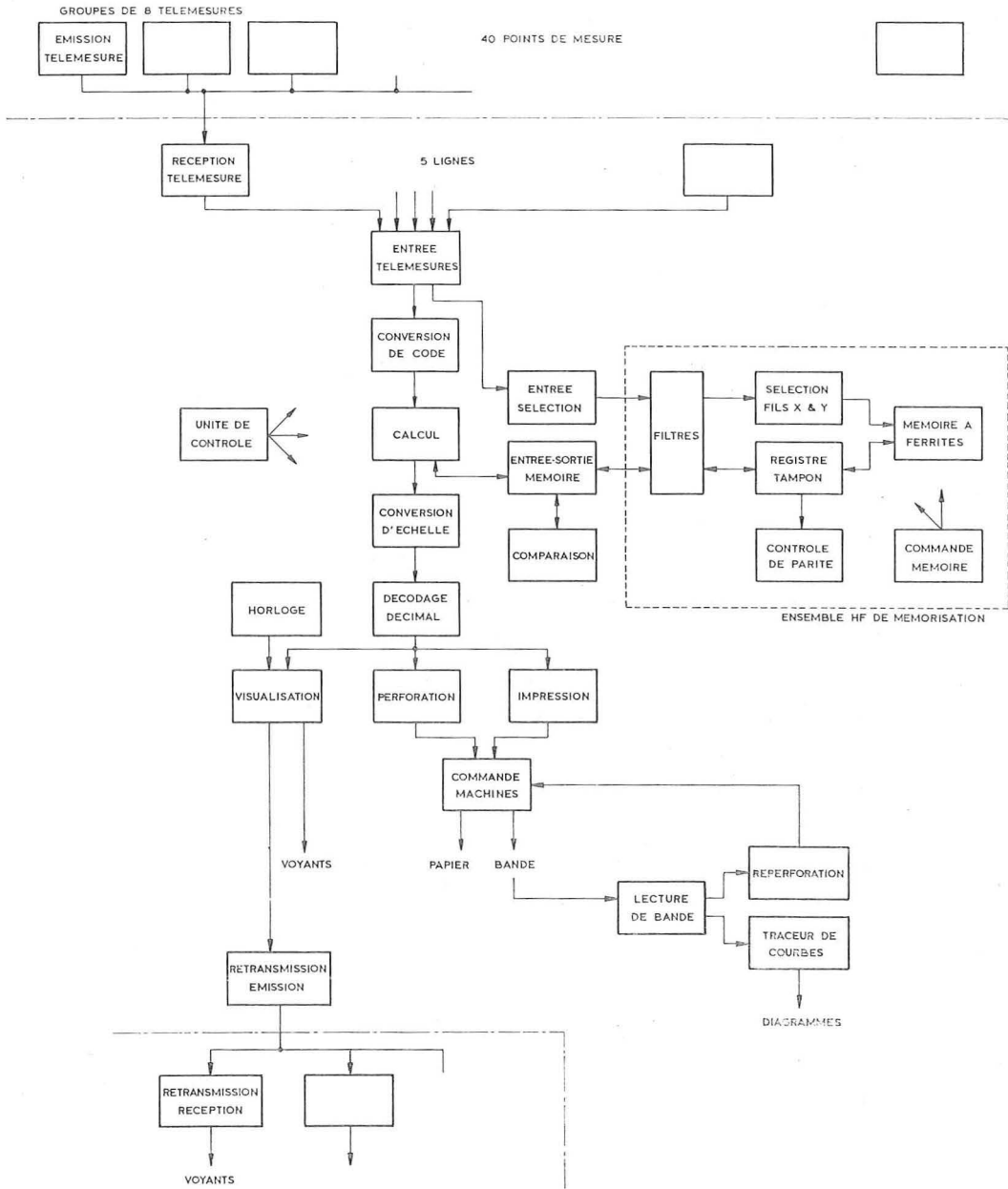


Fig. 2.0.

Schéma fonctionnel de l'installation.

2.1. Transmission des mesures au bâtiment du pilotage.

2.1.1. Principe de la mesure du niveau.

Il a été en partie décrit sous 1.3. et par la figure 1.3.1. Un réducteur sans jeu (fig. 2.1.1.) ramène la rotation de l'axe de 10 tours à un seul tour pour toute la plage de variation du niveau (— 1,50 à + 8,50 m) et le disque codeur donne sous forme codée au moyen de balais et de segments conducteurs la mesure du niveau à 3 chiffres significatifs.

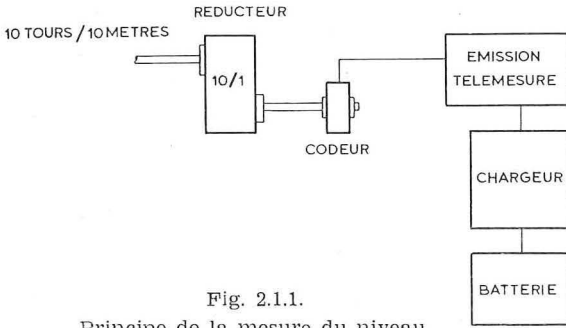


Fig. 2.1.1.

Principe de la mesure du niveau.

décimal-binaire:

cyclique décompté compté

binairé naturel 8 moments

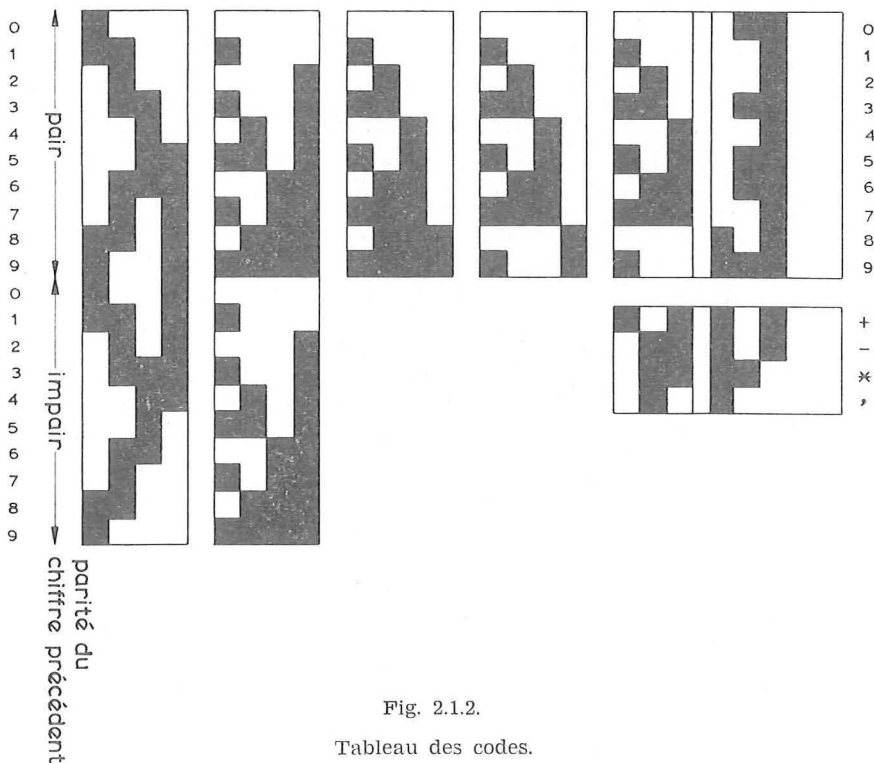


Fig. 2.1.2.

Tableau des codes.

Le code décimal — binaire — cyclique (fig. 2.1.2.) choisi pour les signaux logiques codant la mesure, présente l'avantage que deux nombres consécutifs ne diffèrent que par le changement d'état d'une seule variable binaire, matérialisée par son balai correspondant.

L'ambiguïté qui pourrait survenir avec deux balais changeant d'état en même temps est ainsi évitée. La lecture de la cote est correcte jusqu'à l'indication du centimètre avec un disque codeur à 1000 points.

2.1.2. Principe de transmission.

Le système repose sur le principe de l'interrogation successive

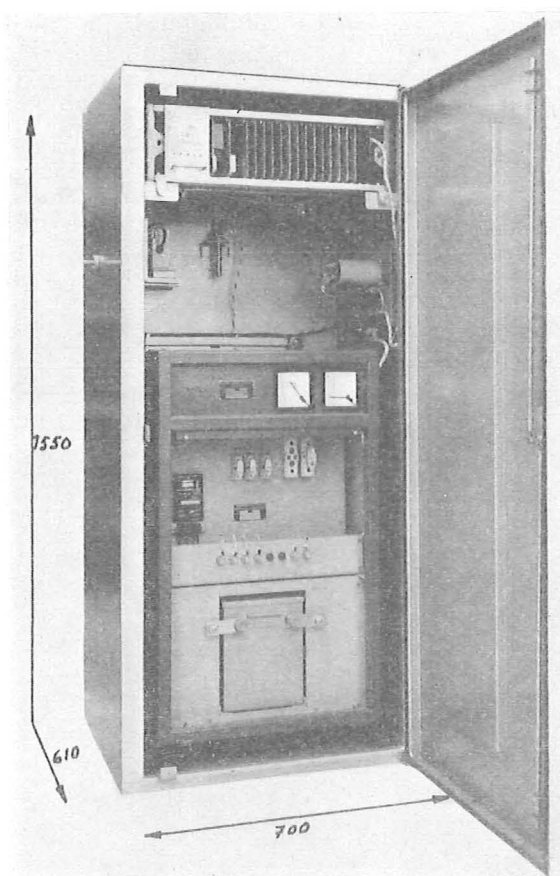


Fig. 2.1.3.

Vue de l'armoire contenant l'équipement électrique d'un point de mesure.

des divers postes subordonnés par le poste chef situé dans le bâtiment du pilotage à Anvers; chaque poste subordonné est sensible à une fréquence déterminée et la réception de cette fréquence provoque chez lui l'émission du message contenant la valeur de mesure qui lui est propre, valeur qui est prise sur le disque codeur. La fig. 2.1.3. montre l'équipement électrique d'un point de mesure. On distingue l'axe d'entraînement du disque codeur entrant dans la paroi latérale gauche de l'armoire. Lorsque le poste chef a reçu et enregistré le message d'un poste subordonné, l'émetteur d'interrogation émet la fréquence interrogeant le poste suivant et ainsi de suite.

Après réception du message en provenance du dernier poste, le poste chef reprend automatiquement le cycle par l'interrogation du premier.

Au poste chef pour chaque message reçu, l'équipement de réception fournit deux données : la valeur de mesure relevée au poste interrogé à ce moment et l'identité de ce poste ou « adresse du message ». Ces deux données sont fournies à l'ensemble de calcul dont il sera question en 2.2.3.

2.1.3. Forme des messages.

A la réception de la fréquence d'appel qui le caractérise, chaque poste subordonné envoie un message composé de 40 variables binaires (fig. 2.1.4.) ordonnées comme suit :

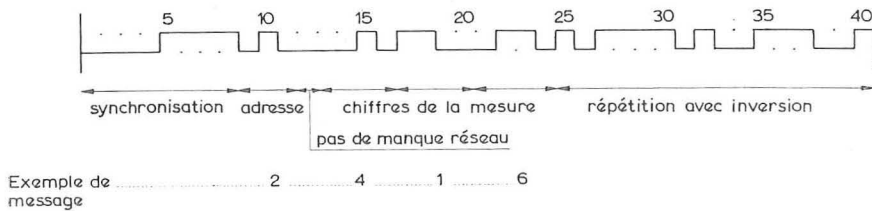


Fig. 2.1.4.

Forme du message transmis par chaque point de mesure.

- 4 variables binaires « ZERO » (zéro logique).
- 4 variables binaires de synchronisation (un logique).
- 3 variables binaires caractérisant l'adresse de la télémesure.
- 1 variable binaire « Manque réseau » signalant une disparition du réseau d'alimentation au point de mesure.
(Notons que dans ce cas, le point de mesure aura, grâce à sa batterie tampon, qu'on aperçoit au bas de la figure 2.1.3., une alimentation assurée pendant 40 h).
- 12 variables binaires correspondant à la valeur codée du signal de mesure du niveau.
- la répétition des 16 dernières variables binaires inversées.

2.1.4. Durée de transmission.

Chaque variable binaire a une durée de 10 ms adaptée aux voies télégraphiques à 100 bauds; la totalité du message d'un poste subordonné dure donc $10 \times 40 = 400$ ms tandis que la fréquence d'appel du poste subordonné est émise durant 80 ms.

Pour respecter le temps de 4 s prescrit par le cahier des charges, les 40 postes sont répartis sur 5 lignes téléphoniques de 8 postes chacune.

2.1.5. *Sûreté de fonctionnement.*

La sûreté de fonctionnement de l'ensemble de télémesure est assurée par le fait qu'en cas de défaillance d'un poste satellite, le poste chef continue à appeler régulièrement et les transmissions des autres satellites ne sont donc pas perturbées.

La sécurité de chaque transmission individuelle est garantie par la répétition de la mesure avec inversion et le contrôle de l'opposition des variables binaires correspondantes effectué à la réception; ce n'est qu'en cas de conformité des deux moitiés du message que celui-ci est accepté et pris en considération.

La concordance de l'adresse de la télémesure et de l'adresse de l'appel émis par le poste chef est également vérifiée avant que la valeur de la mesure ne soit considérée comme valable.

2.2. *Traitement des données.*

Cet équipement peut être décomposé en sous-ensembles à fonctions spécifiques bien déterminées.

2.2.1. *Mémoire à tores de ferrite et circuits de commande associés.*

Ce sous-ensemble réalise toutes les fonctions de mémorisation de longue durée (plus de 100 ms) et est constitué essentiellement d'une

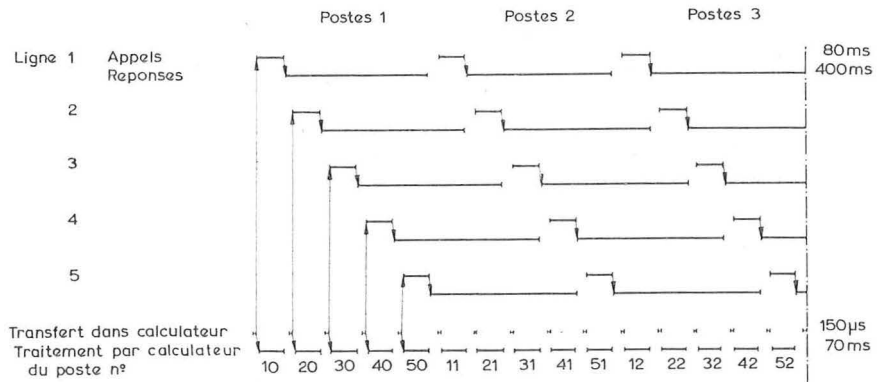


Fig. 2.2.1.

Synchronisation des télémesures.

mémoire à tores de ferrite à accès rapide et des circuits de commande associés. L'ensemble de calcul lui fournit l'adresse d'un « mot » et l'indication « lecture » ou « inscription » et selon le cas il reçoit ou donne la valeur du mot à traiter.

Le sous-ensemble possède ses circuits de séquence autonomes et effectue l'ordre en quelques microsecondes. Un contrôle de parité est effectué à chaque cycle.

2.2.2. Sous-ensemble d'entrée des télémesures.

Cet ensemble raccordé aux récepteurs de télémesures des différentes lignes reçoit toutes les 100 ms les informations intéressant un point de mesure et les transmet à l'ensemble de calcul.

Les données sont prises successivement dans les divers récepteurs, au moyen d'un système de portes piloté par l'horloge. Le récepteur de télémesures reçoit une impulsion de synchronisation qui lui permet de passer au poste suivant dès qu'une mesure a été exploitée. Cette impulsion de synchronisation entre dans un compteur qui joue le rôle de pas à pas. A chacune de ses positions correspond une fréquence d'appel d'un des points de mesure.

On obtient ainsi les mesures des postes 1 de toutes les lignes, des postes 2 de toutes les lignes, et ainsi de suite. Le temps maximum permis pour l'appel et la réponse d'un poste est donc de 500 ms (fig. 2.2.1.).

2.2.3. Sous-ensemble de calcul.

Le sous-ensemble de calcul effectue séquentiellement les diverses fonctions de traitement de l'information. Cette séquence porte non seulement sur les divers points de mesure, traités l'un à la suite de l'autre, mais aussi sur les calculs à effectuer pour chaque point. En effet, pour chaque point de mesure, il y a lieu d'une part de calculer toutes les quatre secondes la moyenne des six dernières mesures et d'autre part toutes les minutes de déterminer l'écart de la moyenne actuelle par rapport à celle la précédant d'une minute et d'effectuer la recherche des valeurs maximum et minimum avec leur moment d'apparition.

Afin d'effectuer ces calculs avec un équipement économique, on est conduit à utiliser certains éléments deux fois au cours des divers calculs relatifs au même point de mesure. L'existence d'une mémoire

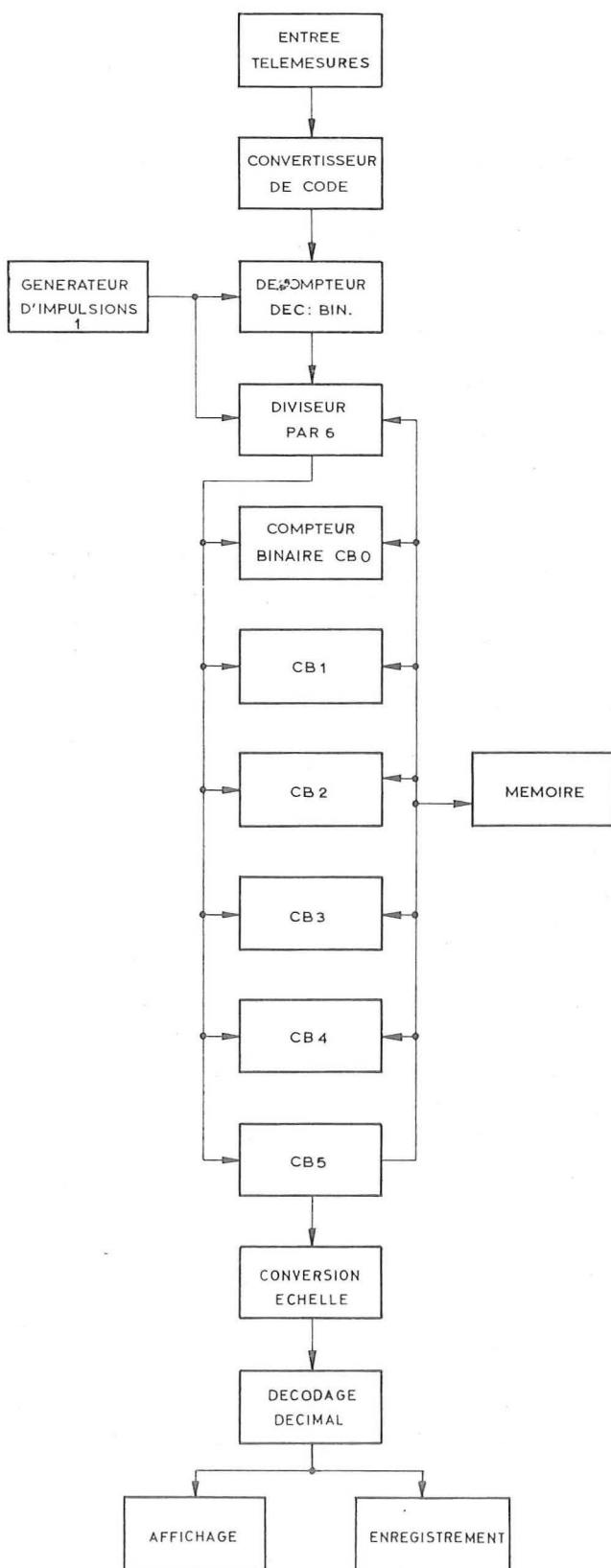


Fig. 2.2.2.

Schéma de principe du sous-ensemble de calcul de la moyenne.

à tores de ferrite permet en outre d'utiliser un seul et même sous-ensemble de calcul pour les calculs relatifs à tous les points de mesure.

Il est bien connu que la compréhension intime d'un équipement, dont le fonctionnement présente un caractère séquentiel, ne peut être obtenue par le simple examen d'un schéma de principe, mais bien qu'il faut en outre présenter un diagramme séquentiel montrant les débuts et fins d'opération de chaque organe de l'équipement, ainsi que les conditions qui régissent son enclenchement et son déclenchement.

Il est bien évident que le sous-ensemble de calcul présente une certaine complexité. Notre désir est de faire comprendre les principes utilisés bien plus que de donner une description exhaustive.

Afin de nous limiter, nous expliquerons comment s'effectue toutes les 0,1 s un calcul de moyennes, puisqu'il faut traiter 40 nouvelles mesures en 4 s. A cette fin, nous donnerons d'abord une courte description de chaque organe rencontré dans le schéma de principe relatif à ce calcul de moyenne (fig. 2.2.2.). Un convertisseur de code permet la conversion des mesures fournies par le sous-ensemble d'entrée des télémesures du code décimal — binaire cyclique vers le code décimal — binaire. Le convertisseur de code fournit la valeur initiale d'un décompteur décimal binaire, dont la fonction sera de convertir la valeur numérique de mesure en un nombre proportionnel d'impulsions.

Un décompteur est appelé décimal — binaire lorsqu'il fournit le résultat de décomptage selon le code décimal — binaire décompté (fig. 2.1.2.).

A cette fin, le décompteur reçoit les impulsions d'un générateur d'impulsions travaillant à 500 kHz. Il suffira de bloquer le générateur d'impulsions lorsque le décompteur indiquera la valeur zéro pour avoir obtenu le nombre d'impulsions désiré. Ce train d'impulsions est fourni à un diviseur par six qui, comme son nom l'indique, délivre à sa sortie une impulsion chaque fois qu'il a lui-même reçu six impulsions à l'entrée.

Les impulsions à la sortie du diviseur sont fournies en parallèle à six compteurs binaires CB_0 à CB_5 . Un compteur est appelé binaire lorsqu'il fournit le résultat de comptage selon le code binaire naturel (fig. 2.1.2.).

Le calcul de la moyenne des six valeurs de mesure successives relatives à un même point est effectué en numération binaire, ce qui conduit à la plus grande économie de matériel. La méthode de calcul

Tableau indiquant les contenus des diviseurs par six
et des compteurs binaires lors de deux fins de calcul successives.

Temps	
div 6	Rf
CB 0	$\frac{\text{Nf} + \text{Re}}{6}$
1	$\frac{\text{Ne} + \text{Rd}}{6} + \frac{\text{Nf} + \text{Re}}{6}$
2	$\frac{\text{Nd} + \text{Re}}{6} + \frac{\text{Ne} + \text{Rd}}{6} + \frac{\text{Nf} + \text{Re}}{6}$
3	$\frac{\text{Nc} + \text{Rb}}{6} + \frac{\text{Nd} + \text{Re}}{6} + \frac{\text{Ne} + \text{Rd}}{6} + \frac{\text{Nf} + \text{Re}}{6}$
4	$\frac{\text{Nb} + \text{Ra}}{6} + \frac{\text{Nc} + \text{Rb}}{6} + \frac{\text{Nd} + \text{Re}}{6} + \frac{\text{Ne} + \text{Rd}}{6} + \frac{\text{Nf} + \text{Re}}{6}$
5	$\frac{\text{Na}}{6} + \frac{\text{Nb} + \text{Ra}}{6} + \frac{\text{Nc} + \text{Rb}}{6} + \frac{\text{Nd} + \text{Re}}{6} + \frac{\text{Ne} + \text{Rd}}{6} + \frac{\text{Nf} + \text{Re}}{6}$

Temps	t + 4 s.
div 6	Rg
CB 0	$\frac{\text{Ng} + \text{Rf}}{6}$
1	$\frac{\text{Nf} + \text{Re}}{6} + \frac{\text{Ng} + \text{Rf}}{6}$
2	$\frac{\text{Ne} + \text{Rd}}{6} + \frac{\text{Nf} + \text{Re}}{6} + \frac{\text{Ng} + \text{Rf}}{6}$
3	$\frac{\text{Nd} + \text{Re}}{6} + \frac{\text{Ne} + \text{Rd}}{6} + \frac{\text{Nf} + \text{Re}}{6} + \frac{\text{Ng} + \text{Rf}}{6}$
4	$\frac{\text{Nc} + \text{Rb}}{6} + \frac{\text{Nd} + \text{Re}}{6} + \frac{\text{Ne} + \text{Rd}}{6} + \frac{\text{Nf} + \text{Re}}{6} + \frac{\text{Ng} + \text{Rf}}{6}$
5	$\frac{\text{Nb} + \text{Ra}}{6} + \frac{\text{Nc} + \text{Rb}}{6} + \frac{\text{Nd} + \text{Re}}{6} + \frac{\text{Ne} + \text{Rd}}{6} + \frac{\text{Nf} + \text{Re}}{6} + \frac{\text{Ng} + \text{Rf}}{6}$

Fig. 2.2.3.

choisie de façon à minimiser le nombre de variables binaires est basée sur la propriété

$$\frac{Na + Nb + \dots + Nf}{6} = \frac{Na}{6} + \frac{Nb}{6} + \dots + \frac{Nf}{6}$$

Na, Nb, ..., Nf étant les 6 mesures successives de niveau sur lesquelles porte la moyenne, c'est-à-dire qu'avant de mettre le niveau en mémoire, on le divise par 6. Le nombre mis en mémoire est ainsi plus petit. En pratique, le reste Ra qui apparaît dans le diviseur par six lors de la division $\frac{Na}{6}$ est envoyé en mémoire et remplacé dans

le diviseur avant d'effectuer l'opération $\frac{Ra + Nb}{6}$, quatre secondes plus tard.

De même, le contenu de CB₀ sera remplacé dans CB₁ et ainsi de suite.

On comprend aisément que la mise à jour toutes les quatre secondes de la moyenne portant sur les six dernières mesures (moyenne glissante) justifie l'existence des six compteurs binaires CB₀ à CB₅.

Le tableau de la figure 2.2.3. montre en fin d'opération de calcul les contenus du diviseur par six et des six compteurs à l'instant t de la mesure N_f et à l'instant suivant (t + 4 s) de la mesure N_g.

On constate ainsi que le résultat du calcul à l'instant t est la valeur de la moyenne par défaut, l'erreur étant $\frac{Rf}{6}$.

Enfin, la moyenne ainsi calculée en valeur numérique binaire doit encore être convertie.

Cette conversion s'effectue en deux stades : le premier est une conversion d'échelle car la plage de variation du niveau a été divisée en 1000 niveaux discrets de 000 à 999 pour la transmission et le calcul et la moyenne obtenue doit maintenant être transposée en numération — 1,50 à +8,50 m pour l'exploitation.

Pour ce faire, on ajoute algébriquement — 150 à la moyenne. Le deuxième stade est la conversion du code binaire pur en code décimal — binaire compté (fig. 2.1.2.) mieux adapté au décodage requis par l'affichage et l'enregistrement des valeurs numériques décimales.

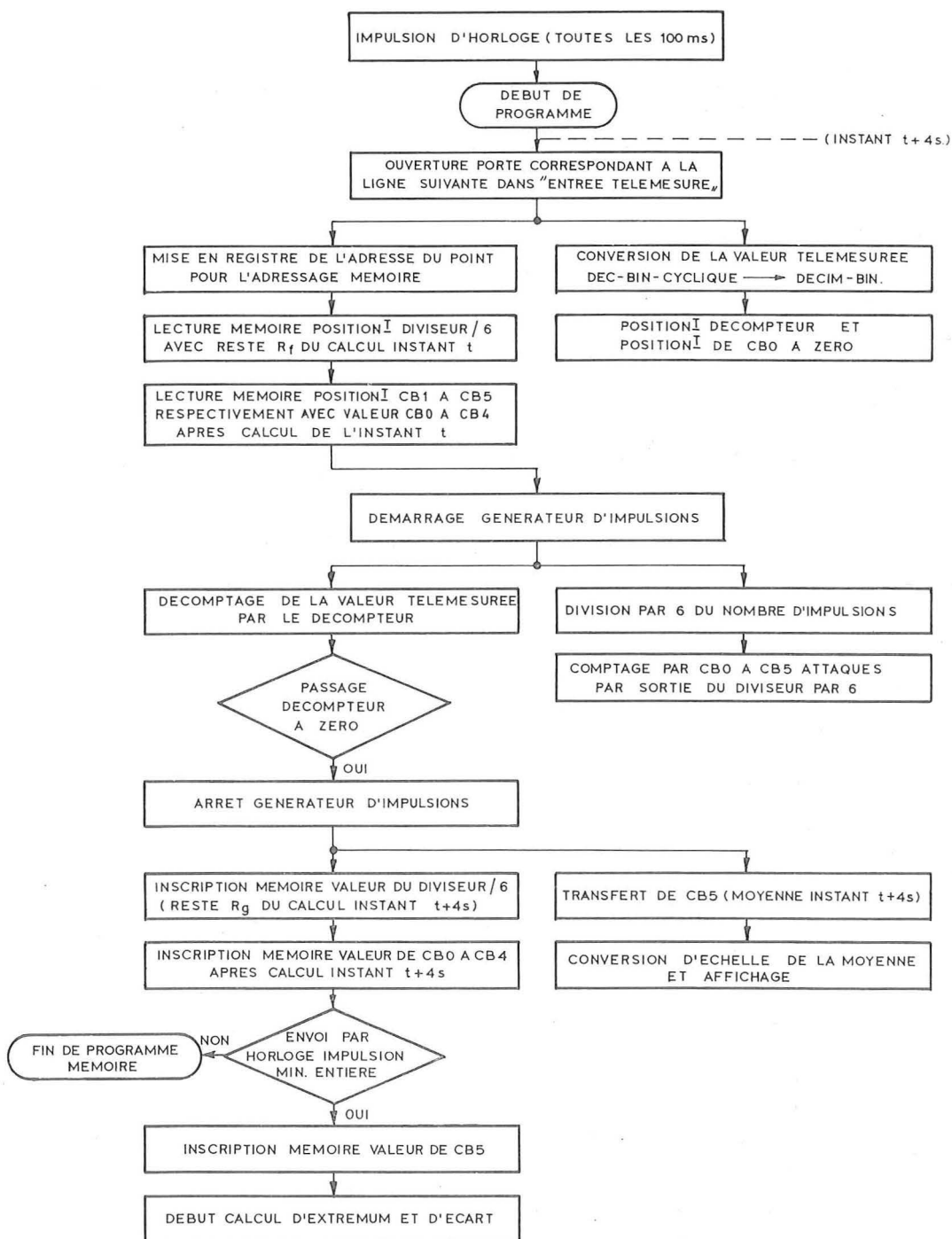


Fig. 2.2.4.

Diagramme séquentiel du calcul de la moyenne.

Le diagramme séquentiel (fig.2.2.4.) montre comment est organisée la séquence de ce calcul de moyenne. On y voit que l'horloge démarre chaque 0,1 s un nouveau programme de calcul de moyenne. On commence par prélever la nouvelle mesure à considérer. Ensuite, on lit dans la mémoire les valeurs initiales du diviseur par six et des compteurs CB_1 à CB_5 . La valeur initiale de CB_0 est zéro. Ensuite, on démarre le processus de conversion de la nouvelle mesure en un train d'impulsions qui, après division par six, est compté par CB_0 à CB_5 .

Ainsi est obtenue en CB_5 une nouvelle moyenne qui est affichée, après conversion d'échelle.

Les résultats intermédiaires (contenus du diviseur par six et des compteurs CB_0 à CB_4) sont inscrits en mémoire, afin de pouvoir être réutilisés 4 s plus tard.

Cette séquence de calcul se prolonge, à chaque minute entière, par un calcul d'écart et un calcul d'extremum. Il est intéressant de noter que les compteurs CB_1 à CB_5 sont à nouveau utilisés pour ces calculs, ce qui démontre le souci d'utiliser l'équipement au mieux.

2.2.4. Horloge.

L'horloge fournit la date complète et l'heure aux fins de visualisation et d'enregistrement. La fréquence mère est donnée par un diapason et divisée successivement de façon à obtenir des impulsions séparées de 100 et 500 ms pour la synchronisation des télémessures et les indications de temps de la minute jusqu'au mois. Le passage d'un mois au suivant se fait automatiquement toutefois, le nombre de jours du mois en cours doit être affiché au moyen d'un commutateur rotatif. Pour la remise à l'heure, on affiche au moyen des différents commutateurs rotatifs l'heure et la date et on enfonce le poussoir d'exécution.

Une deuxième horloge qui retarde systématiquement d'une demi-heure sur la première permet l'enregistrement du moment d'apparition des extrema.

Des circuits annexes fournissent les impulsions de déclenchement d'un cycle d'enregistrement de moyennes (voir ci-dessous).

L'horloge joue également un rôle dans la synchronisation de l'ensemble de calcul car elle pilote les circuits de contrôle.

2.2.5. Enregistrement.

On procède à l'enregistrement des moyennes et des extrema. Pour les moyennes, un groupe de trois perforatrices de bande est prévu

de telle sorte que si l'une vient à manquer de papier, la suivante prenne automatiquement la relève. Cette conception donne l'autonomie de 175 h demandée. La machine perce, dans une bande commune à tous les points de mesure, les valeurs moyennes échantillonnées suivant la position d'un commutateur avec une période de 1, 2, 3, 4, 6, 12 minutes. Ces valeurs sont accompagnées de leur adresse ainsi que de la date complète et l'heure. Le rythme de perforation est

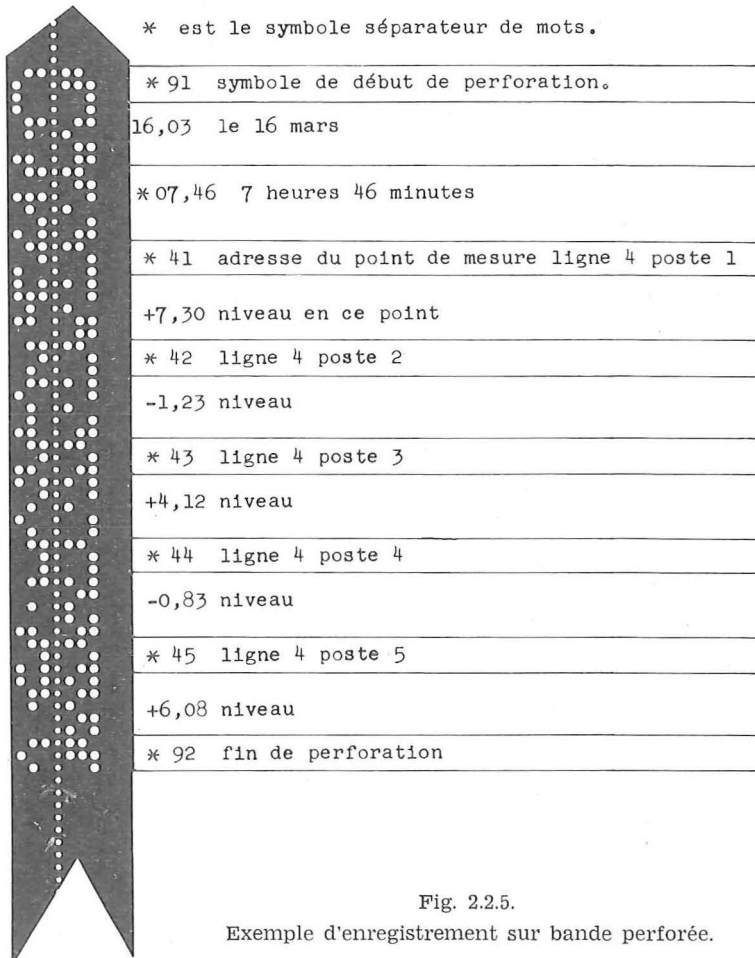


Fig. 2.2.5.

Exemple d'enregistrement sur bande perforée.

de 110 caractères à la seconde et le code de perforation est à 8 moments (fig. 2.1.2.). La figure 2.2.5. montre un exemple d'enregistrement sur bande perforée.

Les extrema eux, sont enregistrés de trois manières : par la perforatrice des moyennes, par une quatrième perforatrice et par

une machine à écrire. On enregistre également la date et l'heure d'apparition de l'extremum et le type de ce dernier par un signe caractéristique (voir exemple fig. 2.2.6.). La machine à écrire travaille au rythme de trois lignes par seconde.

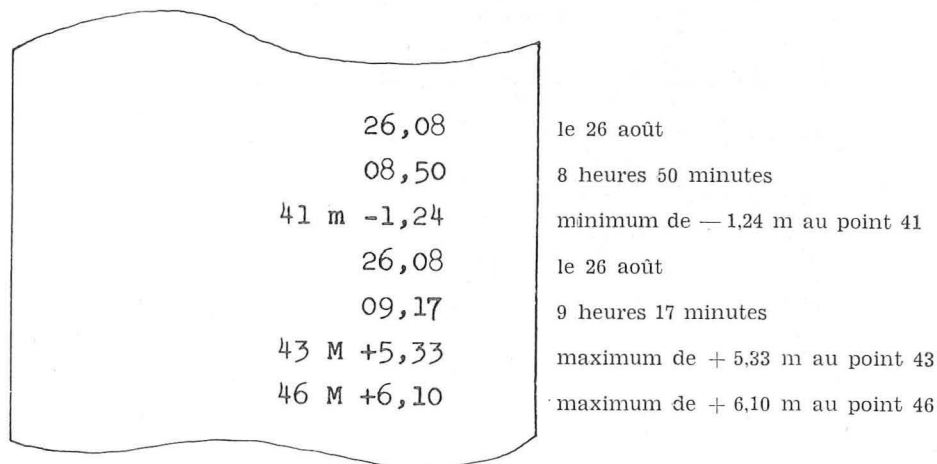


Fig. 2.2.6.

Exemple d'enregistrement sur machine à écrire.

2.2.6. Affichage et signalisation.

Un tableau composé par l'assemblage de différents panneaux recueille les informations instantanées ou qui ne doivent pas être mémorisées (fig. 2.2.7.).

A la fin d'un calcul de moyenne ou d'écart, une porte est ouverte qui raccorde l'ensemble de calcul aux mémoires des circuits terminaux de signalisation correspondant à la valeur traitée, mémoires qui sont chargées de retenir la valeur calculée jusqu'à établissement de la valeur suivante. La valeur enregistrée est décodée et signalée au moyen d'un premier type de panneau par affichage sur indicateurs décimaux lumineux à projection, comprenant 3 chiffres (m, dm, cm) pour la moyenne et 2 chiffres (dm, cm) pour l'écart. Ces chiffres sont précédés d'un signe + ou - les moyennes pouvant varier de - 1,50 m à 8,50 m et les niveaux être croissants ou décroissants.

Outre ces indications, une alarme de fonctionnement et l'alarme manque réseau sont prévues sur chaque panneau de poste. En cas de fonctionnement defectueux, les indications sont effacées. Elles ne

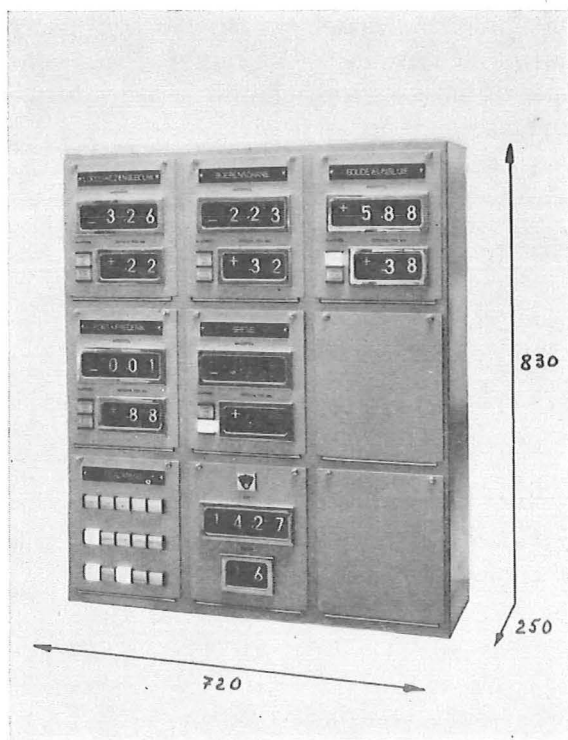


Fig. 2.2.7.
Tableau d'affichage et de signalisation.

2.2.7. Traceur de courbes et extraction de données.

Cet équipement permet, par lecture de la bande perforée, de tracer simultanément les courbes correspondant à cinq points de mesure. Le lecteur de bande et l'enregistreur graphique sont commandés à partir d'un petit pupitre de commutation mobile qui permet également de choisir les points de mesure à traiter au moyen d'un panneau à fiches.

Un équipement d'extraction peut permettre, par simple passage d'une bande dans le lecteur, de reperforer dans une nouvelle bande les données, date, heure, adresse et niveau caractérisant un point de mesure particulier ou les extrema.

La commande se fait par le même pupitre.

2.3. Retransmission des valeurs moyennes.

Les niveaux moyens calculés de l'écluse Baudouin et de la frontière sont retransmis vers la Capitainerie du port, tandis que le niveau moyen de la frontière est retransmis vers Zandvliet.

réapparaissent que 25 secondes après le rétablissement de la situation normale, c'est-à-dire après le temps nécessaire à la réception de 6 valeurs.

Un panneau spécial centralise toutes les alarmes de fonctionnement de l'équipement de traitement de données et leurs poussoirs d'acquiescement. Il permet de localiser rapidement l'ensemble en défaut.

Un panneau d'un troisième type permet d'afficher la date et l'heure fournies par l'horloge.

Le système de retransmission repose sur le principe de l'émission permanente cyclique par le poste chef, vers les deux postes subordonnés.

La particularité du système est donc qu'il ne comprend qu'un émetteur commun aux deux liaisons, qui utilisent des voies télégraphiques à 200 bauds.

Le poste chef envoie un message composé de 96 variables binaires, dont la durée est donc $5 \times 96 = 480$ ms. Comme la valeur de la moyenne ne peut changer que toutes les 4 sec., cette vitesse est largement suffisante.

La sécurité de transmission est garantie par la répétition de la mesure et le contrôle de conformité effectué à la réception.

3. TECHNOLOGIE ET PRESENTATION DES EQUIPEMENTS.

L'équipement des points de mesure est enfermé dans des armoires étanches en aluminium chromaté peint de 3 mm d'épaisseur (voir fig. 2.1.3. précédente).

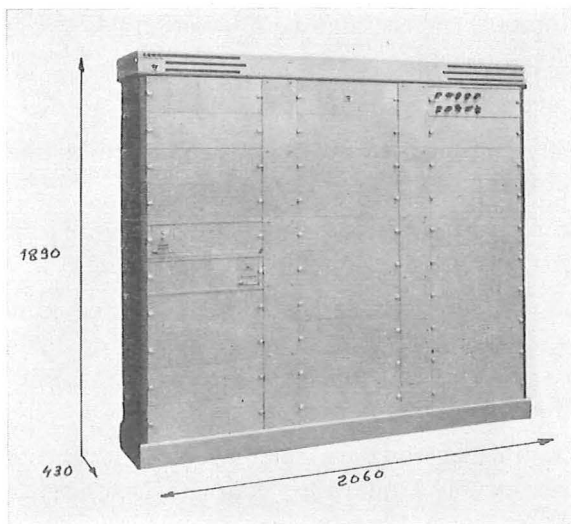


Fig. 3.1.

Vue des baies d'équipement électronique du poste chef.

Le poste chef est constitué de cinq baies placées côte à côte. Les circuits à semi-conducteurs sont montés sur des cartes enfichables à câblage imprimé constituant des unités à fonctions bien spécifiques. Cette conception modulaire procure toutes facilités pour l'entretien et le dépannage; de plus, des points de test accessibles à partir de la face avant permettent un contrôle facile des caractéristiques essentielles du fonctionnement. Des allonges et des cordons de test permettent de vérifier les circuits sortis de leurs casiers en cours de fonctionnement. Les circuits sont placés dans des casiers standards superposés de façon à constituer les baies. La figure 3.1. montre les trois baies contenant tous les circuits électroniques du poste chef comportant :

- les circuits d'interrogation et de réception des télémesures;
- les circuits de calcul et la mémoire à tores de ferrite;
- les circuits de commande des appareils périphériques : perforatrices, machine à écrire, tableau d'affichage, traceur de courbes;
- les circuits de transmission.

Quant aux deux baies d'alimentation, elles contiennent des modules embrochables, avec les fonctions vitales dédoublées. Les limites admises pour les conditions d'environnement des équipements du poste chef et des points de mesure sont :

— 10° à + 50°C

90 % d'humidité relative.

4. POSSIBILITES D'EXTENSION.

La conception du matériel a été largement influencée par le souci de rendre économique le matériel nécessaire pour atteindre le stade final des 40 télémesures envisagé par le cahier des charges.

Cette extension est prévue de la manière suivante :

- chaque point de mesure supplémentaire sera équipé du même matériel que les cinq premiers points de mesure;
- chaque groupe de huit mesure supplémentaires sera transmis au bâtiment de pilotage par une paire téléphonique particulière;
- le récepteur de télémesure est prévu pour la réception de huit mesures. Au-delà de ce nombre, il faudra un récepteur de télémesures supplémentaire par groupe supplémentaire de huit mesures, soit au total cinq récepteurs pour la capacité finale;
- les mémoires et les circuits centraux du calculateur sont prévus au départ en vue de l'extension à quarante mesures. Les circuits terminaux de visualisation sur indicateurs des valeurs moyennes et des écarts sont prévus sous forme d'unités additionnelles;
- les circuits électroniques du traceur de diagrammes de marées sont conçus dès le départ pour permettre le tracé de cinq courbes simultanées, soit des cinq mesures du stade initial, soit de tout autre groupe de cinq mesures faisant partie d'une extension;
- les circuits de retransmission des télémesures vers la Capitainerie et vers Zandvliet sont susceptibles d'extension jusqu'à douze télémesures.

REMERCIEMENTS.

Les auteurs tiennent à exprimer leur appréciation à leurs collaborateurs MM. R. Geets et O. Van De Vijver de l'Administration de l'Electricité et de l'Electromécanique et MM. A. Gillet et C. Van Der Straeten des Ateliers de Constructions Electriques de Charleroi. Leur compétence et leur dévouement ont permis de mener à bien cette importante réalisation.
