

**MANUEL SUR LA MESURE  
ET L'INTERPRÉTATION  
DU NIVEAU DE LA MER**

## AVANT-PROPOS

---

A sa treizième session, l'Assemblée de la COI a, par la Résolution XIII-7, adopté la proposition relative à la mise en place d'un réseau mondial de stations d'observation du niveau de la mer élaborée avec le concours de MM. D. Pugh (Royaume-Uni) et K. Wyrski ; celle-ci devrait servir de base à l'extension, sous les auspices de la COI, du réseau marégraphique existant (figurant dans l'Annexe au rapport succinct sur la treizième session de l'Assemblée de la COI). Par cette résolution, les Etats membres ont été priés instamment de participer à la mise en place du Système mondial d'observation du niveau de la mer dont la communauté océanographique a besoin aux fins de recherches, en particulier à l'appui des expériences et des programmes océanographiques entrepris au titre du Programme mondial de recherches sur le climat, ainsi que d'applications pratiques nationales.

De même que d'autres programmes internationaux, ce projet nécessite des actions tant au niveau national qu'international. Le Manuel sur la mesure et l'interprétation du niveau de la mer va utilement contribuer à unifier les méthodes de mesure et d'analyse et à aider les Etats membres qui souhaitent installer ou remettre en service des stations marégraphiques.

Ce Manuel a été établi par le personnel de l'Institute of Oceanographic Sciences du Royaume-Uni en liaison avec des cours d'été sur l'observation du niveau de la mer et la réduction des données, qui ont été organisés sous les auspices de la Commission océanographique intergouvernementale. Il s'appuie essentiellement sur des résultats obtenus au Royaume-Uni, mais les analyses portent également sur des relevés fournis par différents types de marégraphes dans un grand nombre de stations côtières du monde entier. Toutefois, dans d'autres pays, des procédures légèrement différentes pourraient être plus appropriées. Cet ouvrage devrait aider les pays qui envisagent de mettre en place un réseau national d'observation du niveau de la mer pour répondre à des besoins pratiques et scientifiques reconnus, conformément à la Résolution XIII-7 adoptée par l'Assemblée de la COI en mars 1985.

TABLE DES MATIERES

	<u>Page</u>
1. INTRODUCTION . . . . .	1
2. LES BASES SCIENTIFIQUES DES VARIATIONS DE NIVEAU DE LA MER ET LEURS APPLICATIONS . . . . .	3
2.1 Généralités . . . . .	3
2.2. Marées . . . . .	5
2.3 Effets météorologiques . . . . .	5
2.4 Niveaux extrêmes nécessaires à la conception des ouvrages de défenses côtière . . . . .	6
2.5 Tsunamis . . . . .	7
2.6 Niveaux moyens de la mer . . . . .	7
2.7 Tendances à long terme . . . . .	8
2.8 Témoignages géologiques . . . . .	10
3. MAREGRAPHES . . . . .	12
3.1 Choix du site d'implantation d'un marégraphe . . . . .	12
3.2 Marégraphe à flotteur . . . . .	14
3.2.1 Installations . . . . .	16
3.2.2. Nivellement et niveau de référence . . . . .	23
3.2.3 Entretien . . . . .	32
3.3. Autres types de marégraphes . . . . .	39
3.4 Surveillance à distance . . . . .	43
4. REDUCTION DES DONNEES . . . . .	45
4.1 Nature de l'enregistrement marégraphique . . . . .	45
4.2 Interprétation des relevés . . . . .	49
4.2.1 Etiquetage des diagrammes et niveaux zéro . . . . .	50
4.2.2 Anomalies d'origine mécanique . . . . .	51
4.2.3 Effets des conditions météorologiques. . . . .	55
4.3 Relevé des niveaux . . . . .	59
4.4 Statistiques . . . . .	63
5. PROCEDURES D'ECHANGE DES DONNEES . . . . .	67
5.1 Généralités . . . . .	67
5.2 Banques nationales de données . . . . .	67
5.3 Aspects internationaux . . . . .	67
5.4 Service permanent du niveau moyen des mers (PSMSL) . . . . .	68
5.5. Soumission des données au PSMSL . . . . .	68

	<u>Page</u>
<b>APPENDICES</b>	
Appendice 1	Résumé des contrôles essentiels que doivent effectuer les opérateurs de marégraphes . . . . . 70
Appendice 2	Fournisseurs de matériel marégraphique . . . . . 72
Appendice 3	Application du filtre XO pour le calcul du niveau moyen de la mer . . . . . 73
Appendice 4	Sous-ensemble type du GF-3 pour le niveau moyen de la mer (PSMSL) . . . . . 74
GLOSSAIRE . . . . .	80

## 1. INTRODUCTION

La mesure du niveau de la mer remonte à des temps très reculés. Dans bien des pays, les peuples anciens étaient capables de relier les mouvements réguliers de la mer à ceux de la lune et du soleil. Beaucoup également considéraient les marées comme l'expression de la puissance des dieux.

Au XIXe siècle, on croyait que le niveau moyen de la mer était constant sur de longues durées et on rattachait ses variations aux mouvements terrestres verticaux. Il est généralement reconnu désormais que ni le niveau du sol, ni celui de la mer ne sont permanents. Il existe des mouvements verticaux de l'écorce terrestre, associés aux variations des glaciations et à d'autres processus tectoniques. Les changements du niveau moyen de la mer sont liés à ceux du volume d'eau dans les océans et aux variations des courants océaniques.

Les études modernes relatives au niveau de la mer ont des implications sur les problèmes des transports maritimes, de l'érosion côtière et sur les projets d'ouvrages de défense contre les inondations. Il est prouvé scientifiquement que les marées et les variations du niveau de la mer ont une influence déterminante sur de nombreux processus biologiques et géologiques marins. Sur de longues périodes, ces variations ont des incidences importantes sur les populations côtières et les changements climatiques.

Récemment, des études coordonnées sur les variations climatiques ont mis en évidence que le niveau moyen de la mer était un indicateur indirect, mais important, de ces variations et des processus qui leur sont associés, tels que la fonte des glaces, l'expansion du volume de l'eau de mer due au réchauffement et les modifications des gradients relatifs à la surface de la mer, en fonction des variations des courants résultant de l'équilibre géostrophique. Les variations de ces courants entraînent à leur tour des changements dans le transfert de chaleur des tropiques vers les pôles. Le projet 200 du PICG sur la variation du niveau de la mer au cours des temps géologiques récents constitue un autre exemple des diverses applications des études sur les changements du niveau moyen de la mer.

Les études de portée planétaire nécessitent un réseau mondial de stations bien réparties et la définition, résultant d'une collaboration internationale bien menée, de règles d'observation, de procédures de collecte des données et de systèmes de publication des résultats. La Commission océanographique intergouvernementale a patronné une série de cours au Laboratoire de Bidston de l'Institute of Oceanographic Sciences du Royaume-Uni, sous les auspices du Service permanent du niveau moyen des mers (PSMSL).

Le présent manuel récapitule les informations présentées dans le cadre de ces cours en insistant sur les techniques et sur les aspects pratiques du choix de l'emplacement, de l'entretien et de la réduction des données déterminantes. Une documentation complémentaire place ces considérations pratiques dans un contexte scientifique et technique. Les cours et le manuel ont été mis au point par une équipe composée de :

Bill Ainscow	Professeur (instruments)
David Blackman	Coordonnateur des cours
John Kerridge	Administration
David Pugh	Président, directeur du PSMSL
Sheila Shaw	Professeur (réduction des données)

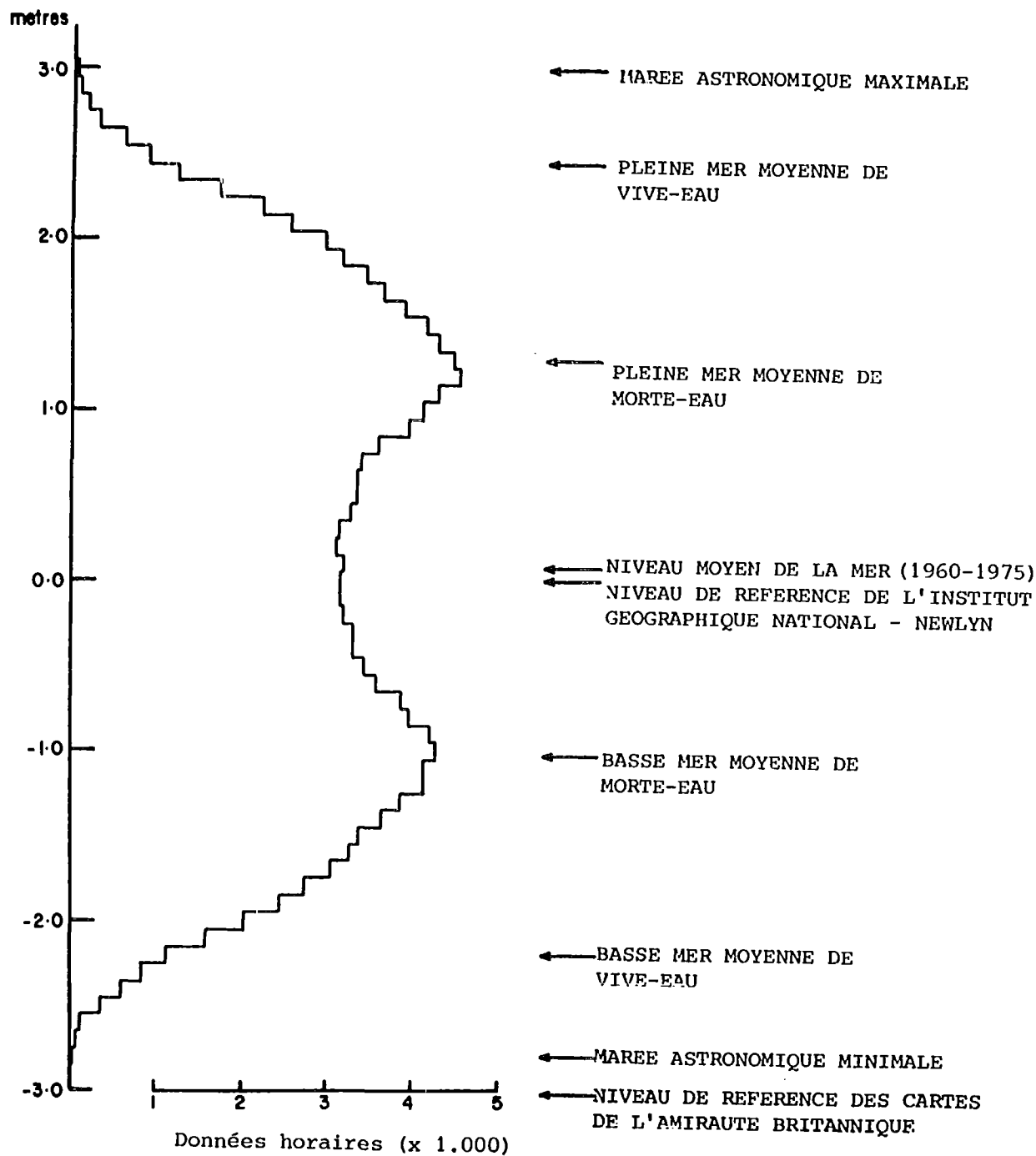


Figure 2.1 Répartition des fréquences des niveaux marégraphiques horaires à Newlyn (1951-1969) montrant que les niveaux des pleines mers et des basses mers des marées de morte-eau sont les plus probables. L'influence des conditions météorologiques peut étaler cette distribution vers des niveaux supérieurs et inférieurs.

## 2. LES BASES SCIENTIFIQUES DES VARIATIONS DU NIVEAU DE LA MER ET LEURS APPLICATIONS

### 2.1 GENERALITES

Le fondement de toute analyse scientifique du niveau de la mer repose sur de longues séries de mesures très soigneuses. Toute mesure instantanée du niveau de la mer dans une série peut être considérée comme la somme de trois composantes :

niveau observé = niveau moyen + marée + résidus météorologiques  
de la mer

Chacune de ces composantes est déterminée par des processus physiques distincts et ses variations sont essentiellement indépendantes de celles des autres.

On peut donner de multiples définitions de ces composantes et notamment la série suivante :

La marée est un mouvement périodique de la mer, dont l'amplitude et les phases sont liées de façon cohérente à une force géophysique périodique. La force dominante est la variation du champ de gravitation à la surface de la terre due aux mouvements réguliers des systèmes terre-lune et terre-soleil. Ces derniers entraînent des marées astronomiques. Il existe aussi de faibles marées produites par les variations périodiques de la pression atmosphérique et par les vents d'afflux et de reflux que l'on appelle des marées météorologiques.

Les résidus météorologiques sont les composantes qui demeurent après l'élimination de la marée par l'analyse. Ils sont irréguliers comme le sont les changements de temps. Quelquefois, on utilise le terme d'onde résiduelle, mais plus communément, ce terme s'applique à un phénomène particulier au cours duquel intervient une très importante composante indépendante de la marée.

Le niveau moyen de la mer est la valeur moyenne généralement obtenue à partir de valeurs horaires relevées sur une période d'au moins un an. Pour des utilisations géodésiques, le niveau moyen doit être calculé à partir d'observations portant sur plusieurs années.

La courbe de fréquence des différents niveaux observés toutes les heures sur une longue période présente une configuration bien déterminée. Lorsque les marées semi-diurnes sont dominantes, les niveaux les plus fréquents sont proches des niveaux des pleines mers et des basses mers des marées de morte-eau moyenne (voir Figure 2.1).

Des techniques d'analyse plus poussées permettent de décomposer l'énergie des variations du niveau de la mer en une série de fréquences ou de composantes spectrales. L'énergie est principalement concentrée dans les bandes relatives aux marées semi-diurnes et diurnes, mais il y a un fonds permanent d'énergie d'origine météorologique qui devient plus important pour les périodes plus longues ou les fréquences plus basses.

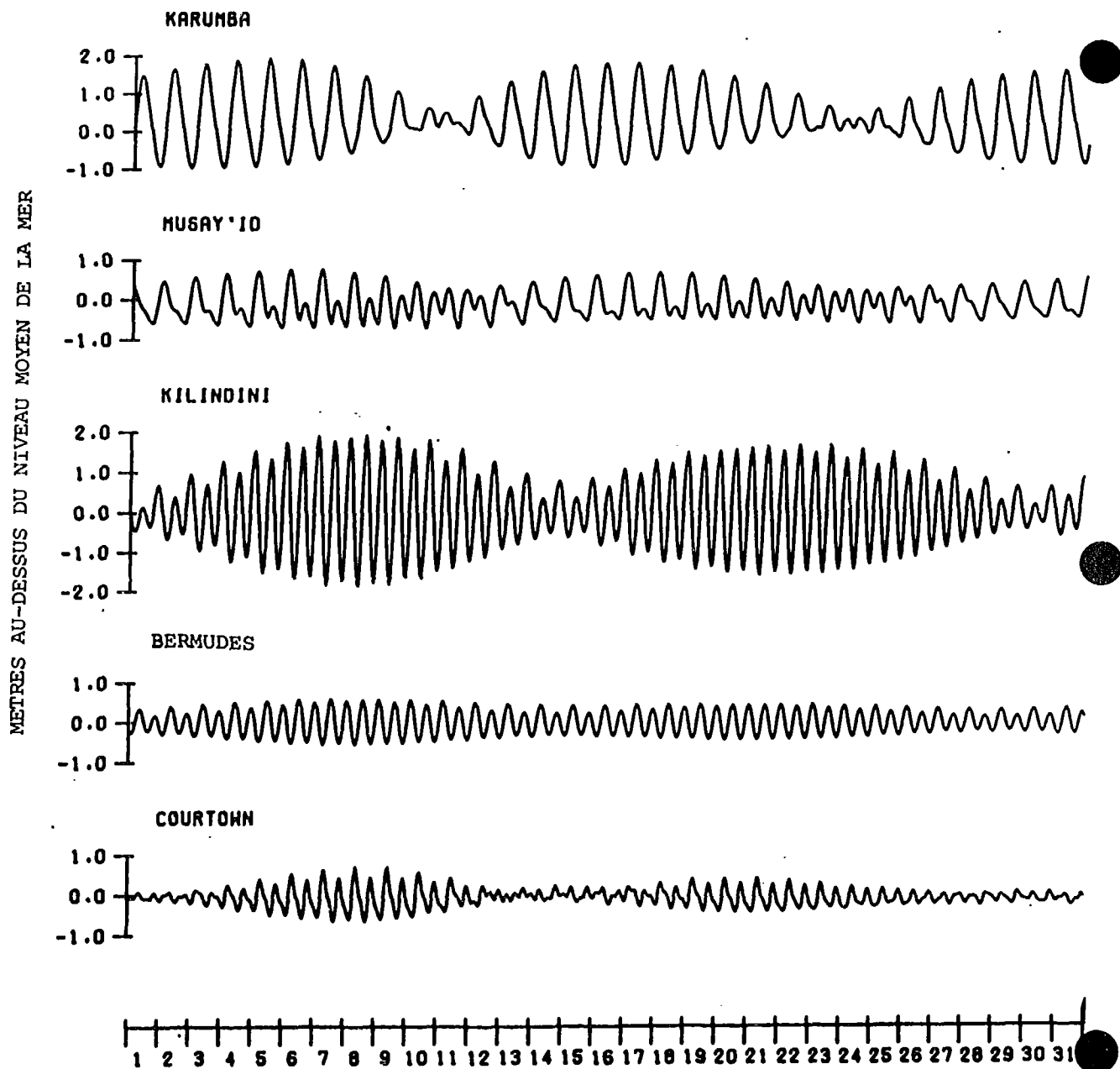


Figure 2.2 Caractéristiques des marées observées dans cinq stations, montrant différents régimes : marées diurnes, marées mixtes, marées semi-diurnes avec une importante modulation vive-eau - morte-eau dans l'océan Indien, marées semi-diurnes avec une modulation météorologique dans l'océan Atlantique Nord et d'importantes déformations dues aux petits fonds.



## 2.2 MAREES

Selon la théorie de l'attraction gravitationnelle de Newton, deux renflements symétriques de l'océan liés à la marée se trouveraient, l'un, juste au-dessous de la lune ou du soleil, et l'autre exactement à l'opposé. L'amplitude des marées atteindrait sa valeur maximale d'environ 0,5 m à la latitude équatoriale. Chaque masse de renflement de la mer progresserait régulièrement autour de la terre d'est en ouest, en même temps que la terre tourne sous la lune ou le soleil. Il est évident que ces caractéristiques ne sont pas celles des marées que nous observons.

Les marées observées dans les principaux océans ont une amplitude d'un mètre environ, mais il y a des variations comme l'indique la Figure 2.2. Dans quelques zones du plateau continental, l'amplitude peut dépasser 10 mètres. On constate un cas extrême dans la baie de Fundy, où elle atteint quelquefois 15 mètres. Le type de marée le plus fréquent est la marée semi-diurne, mais il existe aussi des lieux où les marées diurnes prédominent. Ailleurs, il y a des régimes mixtes dont les aspects varient entre le type semi-diurne et diurne. Dans certains points où l'eau est peu profonde, le profil des marées présente des distorsions extrêmes.

La marée se propage comme des ondes longues sur une surface en rotation. Leur comportement peut être représenté par des cartes d'isoamplitude et des cartes cotidales. La réflexion d'ondes progressives produit des ondes stationnaires qui, étant donné la rotation de la terre, deviennent des systèmes amphidromiques. Ceux-ci sont des points où la marée est nulle et autour desquels les ondes de marée progressent dans le sens des aiguilles d'une montre dans l'hémisphère Sud et en sens inverse dans l'hémisphère Nord. Lorsque les dimensions naturelles d'un bassin sont proches du quart de la longueur d'une onde de marée progressive, il se produit un phénomène de résonance et les amplitudes qui en résultent à l'extrémité du bassin peuvent devenir très importantes.

Les marées se déplacent des régions océaniques vers les zones moins profondes du plateau continental où leur vitesse de propagation est beaucoup plus lente. Une perte d'énergie intervient pour surmonter la résistance due au frottement sur le fond des forts courants de marée. La distorsion finale de l'onde de marée sinusoïdale se produit dans les estuaires et dans les cours d'eau où la profondeur est trop faible pour permettre une bonne propagation de l'onde. Il en résulte des mascarets qui sont souvent spectaculaires et qui peuvent être très dangereux.

## 2.3 EFFETS METEOROLOGIQUES

Même les prédictions de marée les plus minutieuses diffèrent des niveaux de la mer véritablement observés en raison des effets des conditions météorologiques. L'importance relative des mouvements dus aux marées ou indépendants de celles-ci dépend de l'époque de l'année, de la latitude et de la proximité de vastes zones peu profondes. L'écart type entre les niveaux observés et les niveaux prédits varie entre 0,03 mètres dans les îles des océans tropicaux et 0,25 mètres ou davantage dans les zones tempétueuses des hautes latitudes où les eaux du plateau continental sont peu profondes.

Les modes géologiques de formation des lignes de côtes et de la sédimentation ont souvent pour résultat la juxtaposition de terres fertiles, basses et plates et de vastes zones marines peu profondes. Le nord du golfe du Bengale en constitue un exemple remarquable. Les populations ont tendance à s'établir sur ces terres basses. Si des ondes de tempête coïncident avec de fortes marées, il peut se produire des inondations catastrophiques dont le danger le plus immédiat est la noyade des populations. Elles peuvent entraîner également la désorganisation de services normalement assurés, tels que la distribution d'eau et l'évacuation des rejets, ce qui entraîne d'autres calamités. En outre, après avoir été recouvertes d'eau de mer,

les terres précédemment fertiles sont impropres à la culture pendant plusieurs années en raison des dépôts salins qui demeurent après le retrait des eaux.

L'atmosphère exerce sur la mer deux actions physiques distinctes. Les variations de la pression atmosphérique se répercutent sur les pressions qui agissent verticalement sur la surface de la mer. Une augmentation de un millibar de la pression atmosphérique fait baisser le niveau de la mer de un centimètre : c'est ce qu'on appelle l'effet de baromètre inversé. La force d'entraînement qu'exerce le vent sur la surface de la mer est proportionnelle au carré de la vitesse du vent en première approximation. Ce frottement met l'eau en mouvement - en eau peu profonde, le flux va dans la direction vers laquelle souffle le vent, mais en eau plus profonde, le transport est perpendiculaire à cette direction (à droite dans l'hémisphère Nord). Lorsque le transport d'eau est gêné par les limites continentales, il se produit une surélévation du niveau de l'eau : l'onde de tempête.

Aux fins de l'analyse scientifique et des systèmes destinés à prédire l'imminence de ces ondes, on distingue habituellement les ondes de tempête tropicales et extratropicales.

#### Ondes de tempête tropicales

Elles sont produites par des tempêtes tropicales qui sont très localisées et très intenses. Ces tempêtes prennent naissance en mer et se déplacent de façon irrégulière jusqu'à ce qu'elles rencontrent la côte. Elles provoquent des inondations exceptionnellement importantes dans un rayon de 10 à 50 km. Les tempêtes tropicales sont difficiles à surveiller au large et leurs effets sur une zone particulière du littoral ne peuvent être estimés à partir des statistiques relatives aux inondations observées parce qu'elles sont trop rares. Une combinaison de modèles numériques et de modèles statistiques simples peut servir à calculer les niveaux d'inondation maximaux, mais leur localisation exacte dépend du trajet de chaque tempête.

#### Ondes de tempête extratropicales

Elles sont produites par des tempêtes qui se déplacent généralement lentement sur plusieurs centaines de kilomètres. Ces tempêtes touchent de vastes zones côtières et peuvent durer plusieurs jours. Elles ont pour centre une région de pression atmosphérique basse. On doit tenir compte des effets de la rotation de la terre, lorsque l'on établit des prédictions numériques du comportement des tempêtes et des risques d'inondation qui peuvent en résulter.

### 2.4 NIVEAUX EXTREMES NECESSAIRES A LA CONCEPTION DES OUVRAGES DE DEFENSE COTIERE

Il faut tenir compte pour la conception des ouvrages de défense côtière des niveaux d'eau maximaux qui peuvent résulter de la combinaison de très grandes marées et d'ondes de tempête particulièrement fortes, auxquelles on peut s'attendre au cours d'une période déterminée de 50 ou 100 ans: La méthode la plus simple consiste à calculer le rapport entre un paramètre normal lié à la marée et le niveau ayant une période de récurrence de N années. Ce facteur pourra être déterminé pour un port ordinaire de la région et utilisé pour calculer les paramètres non liés à la marée dans d'autres endroits où il n'existe pas de longues séries de données, aux fins d'une analyse indépendante. Selon une autre méthode, on procède à un classement statistique des niveaux les plus élevés observés chaque année pendant une certaine période, afin d'estimer par extrapolation les niveaux maximaux qui pourraient être atteints. Les niveaux annuels maximaux relevés pendant au moins 25 ans sont généralement nécessaires pour ce genre d'analyse. La méthode la plus directe pour estimer la probabilité des niveaux extrêmes consiste en une combinaison statistique des

probabilités séparées des marées et des ondes de tempête permettant de calculer la probabilité des niveaux totaux. Lorsque les inondations sont provoquées par des ondes de tempête extratropicales, ces techniques d'analyse des données sont valables, mais lorsque les inondations les plus graves risquent d'être dues à des ondes de tempête tropicales, la quantité de données disponible sera insuffisante pour permettre un traitement statistique satisfaisant des phénomènes extrêmes en tel ou tel point. Dans ce cas, on a généralement recours à des modèles numériques ou à des modèles empiriques simples qui relient les niveaux maximaux à des valeurs variables de la vitesse et de la direction du déplacement de la tempête et de la largeur du plateau continental.

## 2.5 TSUNAMIS

Un tsunami est une onde engendrée par une activité sismique et en tant que telle, il ne relève pas des deux catégories de forces responsables des variations normales du niveau de la mer : les marées et les phénomènes météorologiques. Les tremblements de terre sous-marins ne produisent pas tous des tsunamis. L'élément important est un mouvement vertical de l'écorce terrestre, qui déplace le fond de la mer. Les caractéristiques de l'onde de tsunami dépendent de l'ampleur du déplacement et des dimensions des fonds marins intéressés. Les déplacements horizontaux du fond sont relativement sans effet. Les ondes se propagent à une vitesse donnée par (profondeur de l'eau x accélération de la pesanteur)<sup>1/2</sup>. En eau profonde, les amplitudes sont faibles et ne dépassent probablement pas un mètre. L'océan Pacifique et les côtes qui le bordent sont particulièrement vulnérables aux tsunamis, parce qu'ils correspondent à des frontières sismiquement actives entre des plaques tectoniques. A mesure que l'onde approche des eaux côtières peu profondes, son amplitude augmente et de multiples réflexions et réfractions se combinent pour donner des amplitudes locales très importantes. Dans le Pacifique, un réseau de marégraphes permet d'avertir de l'arrivée d'un tsunami plusieurs heures à l'avance.

## 2.6 NIVEAUX MOYENS DE LA MER

Le niveau moyen de la mer se calcule à partir de longues séries d'observations effectuées toutes les heures (ou quelquefois toutes les trois heures). Le moyen le plus simple est de prendre la moyenne arithmétique, mais des méthodes plus poussées prévoient l'application de filtres numériques passe-bas pour éliminer les marées et les houles avant de faire la moyenne. La moyenne de tous les niveaux de pleine mer et de basse mer est appelée le niveau moyen de la marée ; il est voisin du niveau moyen de la mer, mais ne lui est pas identique.

Le Service permanent du niveau moyen des mers recueille et publie des séries de données mensuelles et annuelles sur le niveau moyen de la mer provenant d'un réseau mondial de stations, ainsi que des précisions concernant l'emplacement des marégraphes et la définition des niveaux de références par rapport auxquels sont effectuées les mesures. Plus de mille stations fournissent des données dont 112 ont commencé leurs relevés avant 1900. C'est Brest, en France, qui détient la plus longue série qui part de 1806. La répartition géographique des marégraphes du réseau n'est pas idéale : la grande majorité des appareils fonctionnent dans l'hémisphère Nord et une analyse minutieuse est nécessaire pour éviter les erreurs d'interprétation. On a besoin en permanence d'un plus grand nombre de données concernant l'hémisphère Sud et les îles océaniques.

La variation du niveau moyen de la mer par rapport à un point fixe sur terre est une mesure de la différence entre les mouvements verticaux de la surface de la mer et ceux de la terre elle-même. Les variations à long terme du niveau de la mer sont appelées variations séculaires. Les variations du niveau moyen de la mer à l'échelle mondiale sont appelées variations eustatiques. Les mouvements terrestres verticaux à l'échelle régionale sont appelés mouvements épirogéniques.

La Figure 2.3 montre les variations du niveau de la mer mensuel sur dix ans, relevées dans cinq stations bien établies.

RELEVES DECENNAUX DU NIVEAU MOYEN DE LA MER MENSUEL

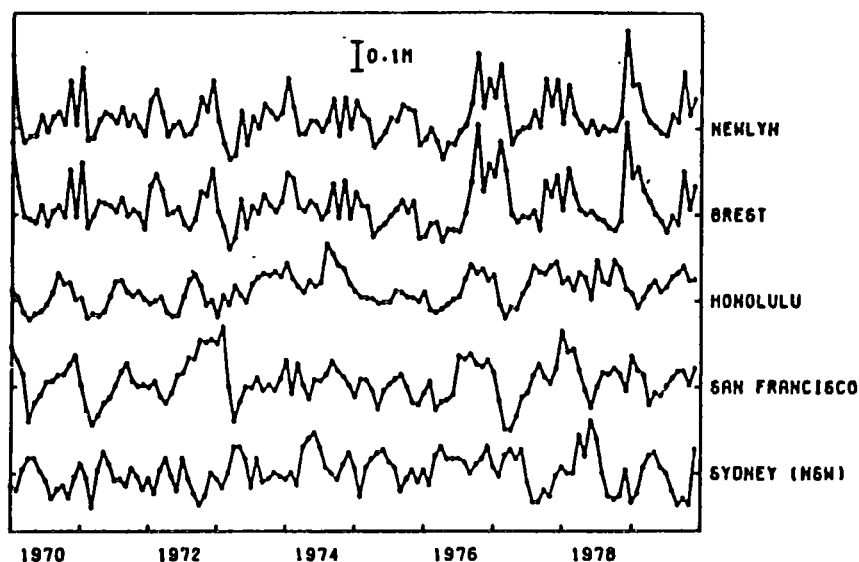


Figure 2.3

Les variations à Newlyn et à Brest qui ne sont qu'à 200 km de distance sont très semblables. En ce qui concerne Honolulu et San Francisco, qui sont séparées par la moitié de la largeur de l'océan Pacifique, on constate de nombreuses similitudes, mais aussi beaucoup de différences. L'étroite concordance entre les variations observées à Newlyn et à Brest, qui sont mesurées de façon tout à fait indépendante au moyen d'appareils différents, montre que la variabilité océanographique que nous nous efforçons de décrire et de comprendre l'emporte de beaucoup sur les erreurs de mesure éventuelles.

Le niveau moyen de la mer présente des variations annuelles et semi-annuelles prononcées dues aux changements saisonniers de la pression atmosphérique, de la densité de l'eau et de la circulation océanique. L'été, ce sont les variations de densité qui ont tendance à dominer et l'hiver, ce sont celles des phénomènes météorologiques.

## 2.7 TENDANCES A LONG TERME

La Figure 2.4 montre les tendances à long terme du niveau de la mer établies dans plusieurs stations, tendances qui sont récapitulées dans le tableau 2.1. Le niveau moyen de la mer présente une élévation générale de 0,10 à 0,15 m par siècle sur la période qui a fait l'objet de mesures détaillées. Toutefois, il existe des variations considérables par rapport à ce chiffre moyen.

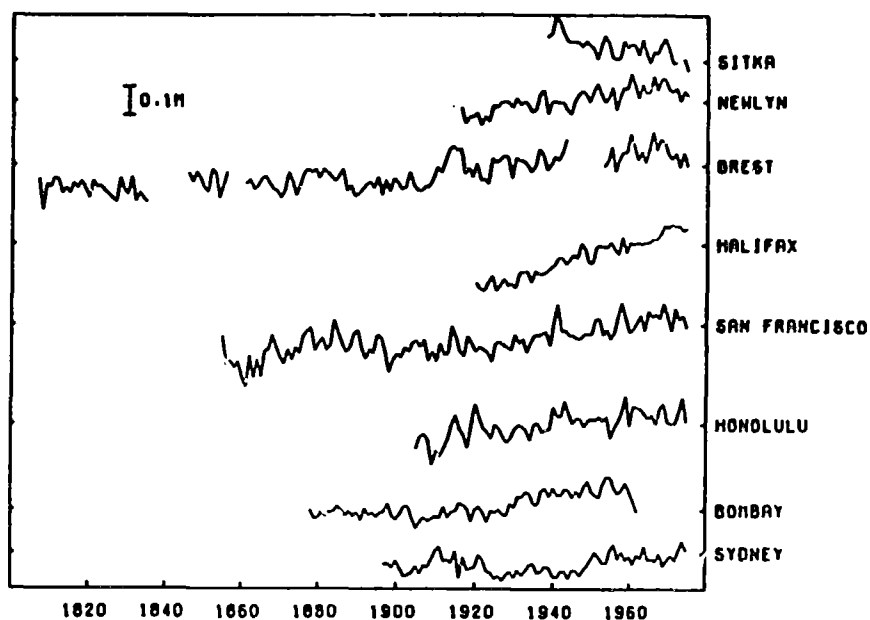


Figure 2.4 Variations à long terme du niveau de la mer observées dans huit stations présentant une tendance générale à l'élévation, à l'exception de Sitka, et d'importantes variations interannuelles

	Séries complètes		A partir de 1940	
	Latitude	Nbre total d'années	Période	
SITKA (Alaska)	57° 03'N	42	1939-1979	-2,5(0,4) -2,6(0,3)
NEWLYN	50° 06'N	65	1916-1980	1,7(0,2) 1,5(0,4)
BREST	48° 23'N	141	1807-1981	0,9(0,1) 0,0(0,5)
HALIFAX (Nouvelle-Ecosse)	44° 40'N	62	1897-1980	3,7(0,1) 3,2(0,3)
SAN FRANCISCO	37° 48'N	127	1854-1979	3,8(1,5) 1,5(0,4)
HONOLULU	21° 19'N	76	1905-1980	1,6(0,2) 0,8(0,4)
BOMBAY	18° 55'N	101	1878-1978	1,0(0,1) -1,0(0,4)
SYDNEY (Nouvelle Galles du Sud)	33° 51'S	85	1897-1981	0,7(0,1) 2,0(0,3)

Tableau 2.1 Ajustement des tendances linéaires à de longues séries de niveaux moyens annuels de la mer ; les taux estimés de l'élévation du niveau de la mer sont donnés en mm par an et les erreurs types de ces estimations figurent entre parenthèses.

Au cours des périodes de glaciation, le niveau de la mer baisse, parce que l'eau est immobilisée dans les calottes polaires glaciaires ; avec le recul des glaciers, le niveau de la mer monte à l'échelle mondiale, mais cette élévation générale peut ne pas être évidente le long des côtes qui viennent seulement d'être délestées de leur charge de glace. Il se produit en ces endroits un soulèvement isostatique des terres qui se mesure sous la forme d'un abaissement du niveau local de la mer (voir Sitka, Alaska, Figure 2.4). A ces tendances à long terme s'ajoutent des variations de plusieurs centimètres d'amplitude, qui présentent une cohérence à l'échelle des océans, mais non pas à l'échelle mondiale, et qui ont des périodes de plusieurs années. On connaît mal ces variations interannuelles, mais elles sont liées aux changements qui interviennent dans le stockage de la chaleur, la circulation et le transport de chaleur. Une meilleure connaissance de ces changements du niveau de la mer fera progresser les études sur la stabilité et la variabilité climatiques.

En l'absence de variations de densité et de circulation océanique, la surface de la mer prendrait une forme à laquelle on donne le nom de géoïde. Cependant, il y a des variations de densité et des courants qui provoquent des écarts du niveau moyen de la mer par rapport au géoïde atteignant un mètre. Un gradient dans la pente de la surface du niveau moyen de la mer perpendiculaire aux courants océaniques est nécessaire pour équilibrer la force de Coriolis sur notre globe en rotation. Les variations de la force des courants entraîneront des variations des gradients et donc de la surface du niveau moyen de la mer. La différence de niveau moyen de la mer entre deux marégraphes de stations insulaires pourra donc être une indication de la force du courant qui passe entre eux.

## 2.8 TEMOIGNAGES GEOLOGIQUES

Au cours des temps géologiques se sont produits de considérables mouvements verticaux de la terre par rapport à la mer portant sur plusieurs milliers de mètres. Le niveau de la mer a été plus bas qu'actuellement, comme en témoignent des lignes de rivage et des deltas submergés, des vallées fluviales qui se prolongent sur le plateau continental et, quelquefois, jusqu'à des canyons sous-marins à la rupture de pente du plateau. Pour étudier ces changements, on peut dater des forêts, des couches de tourbe et des replats submergés qui contiennent de la matière organique. L'exhaussement relatif du sol se traduit par des plages surélevées, des schorres et des marais salés, ainsi que par des plates-formes d'abrasion littorale et des grottes surélevées dans les falaises. Lorsque l'amplitude de la marée est faible, comme dans la mer Méditerranée, on peut suivre les variations relatives du niveau de la mer par des études archéologiques des anciens ports.

Dans certains cas, les variations du niveau de la mer sont très brusques comme lorsqu'elles résultent de séismes locaux. Dans d'autres cas, comme l'isostasie glaciaire, les variations sont progressives.

La combinaison des variations du niveau de la mer mesurées par différentes techniques montre une élévation relativement rapide du niveau de la mer il y a 20.000 ans, qui s'est ralentie progressivement il y a 8.000 ans, lorsque le niveau était à une quinzaine de mètres au-dessous de celui d'aujourd'hui. L'élévation s'est ensuite poursuivie plus progressivement jusqu'au niveau actuel qui a été atteint il y a environ 4.000 ans. Depuis lors, les variations ont consisté en oscillations de faible amplitude.

La dernière glaciation n'est que la plus récente d'une succession d'expansions et de reculs des glaciers qui se sont répétés tout au long des deux derniers millions d'années. Au cours de cette période du Quaternaire, dix-sept cycles glaciaires-interglaciaires ont été recensés. Toutefois, sur l'ensemble des temps géologiques, ces périodes présentant de vastes oscillations glaciaires sont inhabituelles et n'ont pu être observées qu'en quatre autres occasions en 900 millions d'années.

## BIBLIOGRAPHIE

- BARNETT, T.P. 1983 : Recent changes in sea level and their possible causes. Climatic change, 5, 15-38.
- DOODSON, A.T. & WARBURG, H. 1941 : Admiralty manual of tides. London : HMSO. 270 pages.
- GORNITZ, V., LEBEDEFF, S. & HANSEN, J. 1982 : Global sea level trend in the past century. Science, 215, 1611-1614.
- KASAHARA, K. 1981 : Earthquake mechanics. Cambridge University Press. 284 pages.
- LISITZIN, E. 1974 : Sea level changes. Amsterdam : Elsevier. 286 pages.
- MURTY, T.S. 1977 : Seismic sea waves - tsunamis. Bulletin du Conseil de recherches sur les pêcheurs du Canada, n° 198, 337 pages.
- MURTY, T.S. 1984 : Storm surges - meteorological ocean tides. Bulletin canadien des pêches et des sciences aquatiques, n° 212, 897 pages.
- PATTULLO, J.G., MUNK, W.H. REVELLE, R. & STRONG, E. 1955 : The seasonal oscillation in sea level. Journal of Marine Research, 1, 88-155.
- PUGH, D.T., & FAULL, H.E. 1983 : Tides, surges and mean sea level trends. P. 59-69 in Shoreline protection. (Actes d'une conférence organisée par l'Institution of Civil Engineers, Southampton, 1982). London : Thomas Telford, 248 pages.
- ROSSITER, J.R. 1967 : An analysis of annual sea level variations in European waters. Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society, 12, 259-299.
- THOMPSON, K.R. 1980 : An analysis of British monthly mean sea level. Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society, 63, 57-73.
- WUNSCH, C. 1967 : The long-period tides. Reviews of Geophysics, 5, 447-475.
- WYRTKI, K. 1979 : Sea level variations : monitoring the breath of the Pacific. EOS, Transactions of the American Geophysical Union, 60 25-27.

### 3. MAREGRAPHES

#### 3.1 CHOIX DU SITE D'IMPLANTATION D'UN MAREGRAPHE

Avant de choisir le site d'implantation d'un marégraphe, il faut tenir compte des considérations suivantes :

- 1) Le type du marégraphe à installer ; s'il s'agit d'un marégraphe à flotteur, les dimensions du puits et les structures portantes nécessaires.
- 2) La zone pour laquelle on désire recueillir des informations relatives aux marées et l'usage que l'on veut en faire.

Dans les limites côtières envisagées et en fonction des exigences ci-dessus, le site sera alors choisi. Dans certains cas, ce choix est très simple, car il s'agit de surveiller des niveaux de marée en un point précis, par exemple, à la sortie d'un émissaire d'eaux usées ou près d'une porte d'écluse. Mais, dans la plupart des cas, le choix ne sera pas aussi simple, et il ne pourra être réalisé qu'en déterminant, parmi les contraintes énumérées ci-après, celles qui sont les plus importantes et celles qui peuvent être plus ou moins négligées.

a) Une fois terminée, l'installation doit pouvoir résister aux plus fortes tempêtes que l'on peut prévoir. C'est pourquoi, sont à éviter, dans toute la mesure du possible, les emplacements connus comme étant exposés à des risques de dégâts provoqués par les tempêtes. Si cela est impossible, il faudra tenir compte de cette situation au stade de la conception de l'installation. Lorsque de fortes houles ou des tsunamis sont possibles, il sera peut-être nécessaire de surélever le bâtiment pour éviter qu'il ne soit inondé ou détruit.

b) Le sol sur lequel la station sera construite doit être stable et ne présenter aucun risque d'affaissement, soit en raison de travaux souterrains, soit parce qu'il s'agit d'un terrain récent conquis sur la mer au moyen de remblais. En outre, il ne doit présenter aucun risque de glissement en cas de pluies fortes et prolongées (il doit donc être bien drainé) et ne pas être soumis à une érosion fluviale ou marine. La construction directe sur une roche dure est la solution idéale.

c) La profondeur de l'eau doit être d'au moins deux mètres au-dessous du niveau de la plus basse marée astronomique pour que le puits fonctionne correctement. L'orifice du puits doit être nettement au-dessus du fond de la mer et se trouver à une profondeur suffisante pour permettre au flotteur de fonctionner à environ un mètre au-dessous du niveau atteint par la marée astronomique la plus basse.

d) On évitera autant que possible les estuaires. L'eau qui s'écoule dans le fleuve se mélange avec l'eau de mer, ce qui provoque des variations de densité dans la zone de mélange et parce que, en raison de la stratification, la densité de l'eau qui pénètre dans le puits peut être différente de celle de l'eau qui entoure le puits. Les courants provoqués par l'écoulement de l'eau dans le fleuve peuvent provoquer une baisse du niveau dans le puits et à la suite de fortes pluies d'orages, des débris entraînés par le fleuve peuvent pénétrer dans le puits, l'obstruer ou même l'endommager.



MAREGRAPHE ELEMENTAIRE

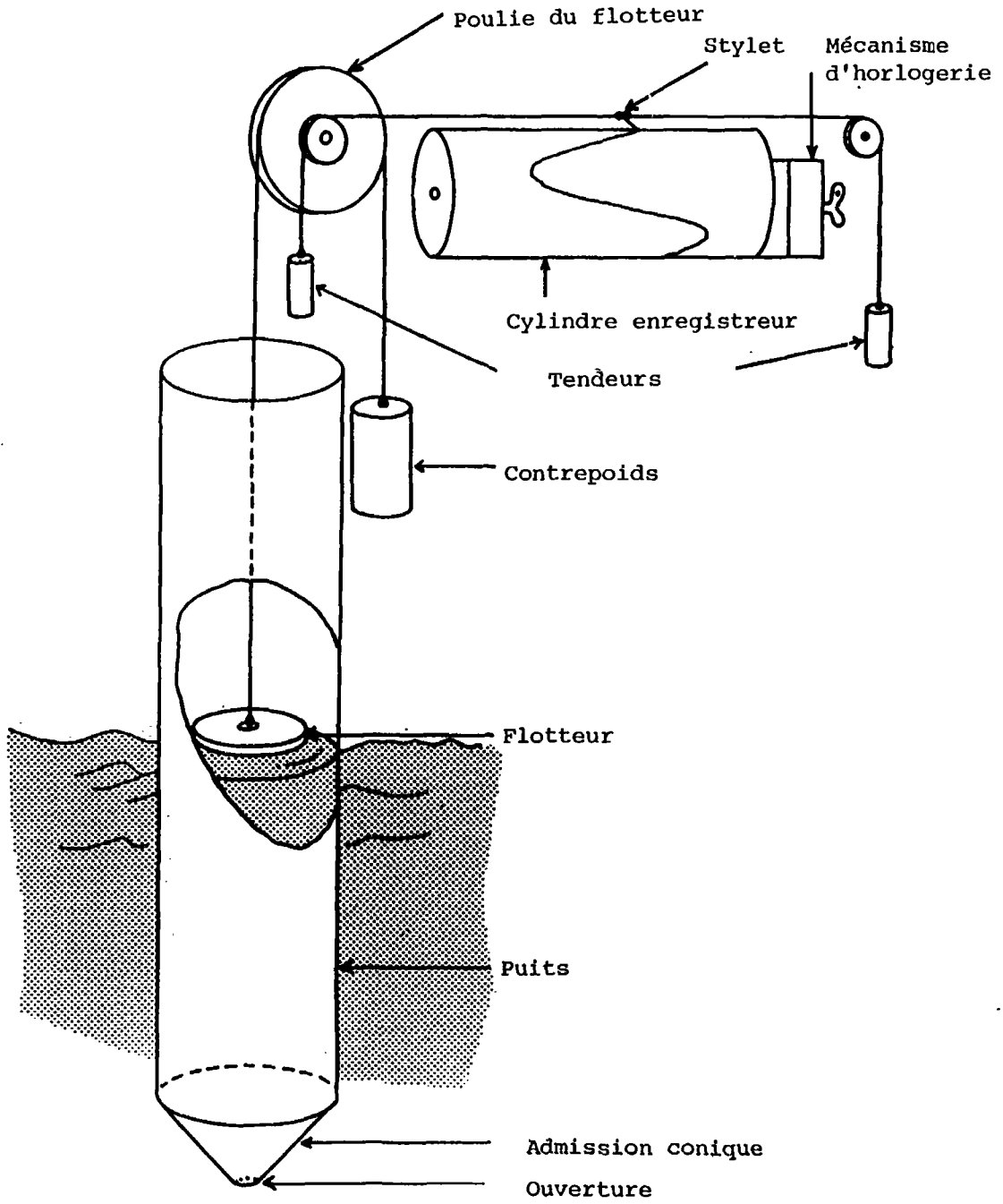


Figure 3.1

e) Sont à éviter les zones qui peuvent être coupées de la mer libre lors de très fortes basses mers. De même, la présence de bancs de sable légèrement en dessous de la surface de la mer entre le site envisagé et la haute mer peut avoir comme conséquence la mesure de niveaux non significatifs. Les observations systématiques sur des plages peu profondes en longues pentes douces doivent également être évitées pour les mêmes raisons.

f) Les promontoires aigus et les goulets sont déconseillés, car ils sont le siège de courants violents.

g) On devra éviter d'installer un marégraphe au voisinage d'émissaires où se produisent divers phénomènes : turbulences, courants, dilution et dépôts.

h) Il faudra étudier le problème des navires faisant mouvement, ou mouillant, au voisinage du site proposé, car il y aura un risque de collision et de turbulences dues aux hélices qui pourraient occasionner des mises en suspension de vase.

i) Des investigations devront être entreprises pour savoir si des travaux de construction risquent d'être entrepris dans la zone, travaux qui, à plus ou moins long terme, pourraient modifier le régime des marées au voisinage du site ; on peut citer à cet égard la construction de nouveaux quais, brise-lames, écluses, ou grandes usines ayant des émissaires et des décharges.

j) Lorsqu'une quantité appréciable d'énergie sera nécessaire en permanence, le site devra être raccordé au réseau électrique. Si cela est impossible, il faudra prévoir une autre source d'énergie, par exemple des batteries et une génératrice. Si du courant électrique est indispensable uniquement pour l'enregistrement ou la télémesure, des batteries pourront suffire.

k) On devra pouvoir accéder facilement au site, d'abord pour y apporter les matériaux pendant la construction, et ensuite pour des visites d'observation et d'entretien.

### 3.2 MAREGRAPHE A FLOTTEUR

#### (i) Marégraphe élémentaire

Dans sa forme la plus simple, un marégraphe à flotteur pourrait être installé comme il est indiqué à la Figure 3.1. Le flotteur qui repose à la surface de l'eau est relié à un contrepoids par un câble passant sur une poulie, de telle sorte que la position du contrepoids soit déterminée par celle du flotteur. Lorsque le flotteur s'élève en même temps que l'eau monte dans le puits, le poids descend d'une même longueur et le câble passant sur la poulie fait tourner celle-ci, l'angle de rotation étant directement proportionnel au changement du niveau de l'eau. La deuxième poulie fixée sur le même axe tournera selon le même angle que la première, mais comme son diamètre est plus petit, le stylet fixé sur le câble passant sur cette poulie se déplacera sur une plus faible distance que le flotteur, mais exactement de la même manière. Le stylet peut être disposé de telle sorte qu'il trace un trait sur une feuille d'enregistrement et reproduit le mouvement du flotteur, et donc de la surface de l'eau dans le puits, mais à une échelle réduite. Le rapport de réduction du marégraphe exprime la relation entre le déplacement du stylet inscripteur et le déplacement effectif de l'eau. Ce rapport est dans cet exemple déterminé par les diamètres respectifs des deux poulies.

Si la feuille d'enregistrement est disposée de telle sorte qu'elle tourne perpendiculairement au trajet du stylet à une vitesse uniforme, une courbe sera tracée, qui donnera un enregistrement continu de la hauteur de l'eau en fonction du temps.

Le flotteur est placé à l'intérieur d'un puits, ce qui est indispensable pour assurer un fonctionnement satisfaisant. Le puits constitue une enceinte qui empêche le flotteur de dériver sous l'action des vents. En limitant le débit de l'eau qui entre et sort du puits, on réalise un certain amortissement des mouvements de l'eau et on élimine les oscillations dues aux vagues de courte période.

(ii) Marégraphe utilisé dans la pratique

Tous les modèles analogues de marégraphes à flotteur dérivent de l'appareil élémentaire que l'on vient de décrire. Les marégraphes utilisés dans la pratique ne diffèrent du modèle de base que dans la mesure où ils possèdent certaines caractéristiques visant à améliorer leur précision et leur fiabilité.

(iii) Système à flotteur

En général, on n'utilise pas le système du câble reliant le flotteur et le contrepoids et passant sur une poulie, car le câble a tendance à glisser sur la poulie et peut au mieux transmettre un faible couple de torsion, sans qu'il se produise d'entraînement. Le fil du flotteur est en général enroulé sur un cylindre ayant une rainure en spirale dans laquelle se loge le fil, au fur et à mesure qu'il s'enroule, et qui empêche le chevauchement des spires. De même, le contrepoids est suspendu à un cylindre semblable. En général, pour des raisons de commodité, on s'arrange pour que le contrepoids ne se déplace pas sur la même distance que le flotteur, car il se trouverait au contact de l'eau pendant un certain temps, ce qui pourrait créer des risques de corrosion et réduire son effet de poussée due à sa flottabilité. Le contrepoids est généralement suspendu à un tambour d'un diamètre beaucoup plus petit et se déplace donc sur une distance beaucoup plus courte que le flotteur. Le déplacement peut être encore réduit en faisant passer le fil sur une ou plusieurs poulies. La course du contrepoids étant inférieure à celle du flotteur, sa masse doit être accrue dans le même rapport pour que le système soit en équilibre. Dans plusieurs marégraphes, il existe une liaison directe entre le flotteur et le contrepoids ; dans ce cas, on utilise soit un ruban perforé pour l'enregistrement, entraîné par une roue dentée, soit une poulie spéciale autour de laquelle le fil est enroulé plusieurs fois. Les flotteurs les plus récents sont en nylon ou PVC, matériaux peu sensibles à l'action corrosive de l'eau de mer. On utilise aussi des matériaux naturels anti-fouling, tels que le cuivre. Pour être fiable, un flotteur doit être étanche, et il doit être fabriqué avec des matériaux résistants à la corrosion et la fissuration. Les propriétés anti-fouling sont importantes, car de nombreux organismes marins paraissent avoir une grande affinité pour les objets flottants à la surface de la mer. Il en résulte que les dimensions du flotteur augmentent au fur et à mesure que ces organismes s'accumulent et finissent par remplir l'intervalle entre le flotteur et les parois du puits, ce qui retarde la réponse du flotteur. On ne doit pas laisser le flotteur lui-même entrer en contact avec les parois du puits, car il risquerait de s'y accrocher, en particulier sur les joints, ce qui finirait par l'user et lui faire perdre son étanchéité.

Les fils du flotteur et du contrepoids doivent être fabriqués à partir de matériaux résistants à la corrosion et non extensibles. Des fils en acier inoxydable ou en bronze phosphoreux sont couramment utilisés. Il est indispensable d'utiliser un fil de diamètre correct, quel que soit le type de marégraphe, car un changement de diamètre du fil aura une incidence sur le rapport de réduction du marégraphe. Le contrepoids peut être fabriqué à partir de tout matériau lourd tel que fonte, acier, laiton ou plomb. Sa masse est un facteur important, car elle doit être suffisante pour compenser toute friction dans le mécanisme du marégraphe, mais elle ne doit pas être si excessive qu'elle diminuerait l'effet du flotteur au point qu'il serait insuffisant pour compenser la friction dans la direction opposée.

#### (iv) Engrenages

La transmission du mouvement, depuis l'axe de la poulie sur laquelle passe le fil du flotteur jusqu'au mécanisme du stylet, peut prendre des formes variées ; toutes ont pour principal objectif de réduire au minimum le jeu. Dans certains marégraphes, ce résultat est obtenu en serrant le train d'engrenages dans une direction, dans d'autres en utilisant des engrenages à rattrapage de jeu, et dans d'autres, en utilisant uniquement des pièces usinées avec une grande précision.

#### (v) Stylets et plumes

Des stylets encreurs et à mine de plomb très divers ont été utilisés dans les marégraphes pour produire une trace sur la feuille d'enregistrement, et certains n'ont pas donné de très bons résultats. Le trait doit être déposé très lentement, et pour cela, le stylet encreur ne doit ni sécher ni couler excessivement. A l'heure actuelle, on utilise dans la plupart des marégraphes, soit des stylets à pointe de fibre, soit des stylets à capillarité à capsule d'encre rechargeable. Chaque type de stylet fonctionne en moyenne deux mois et doit ensuite être changé. L'avantage du stylet à pointe de fibre est qu'il est complètement interchangeable et n'exige aucun entretien alors qu'un stylet à capillarité nécessite de fréquents nettoyages à l'alcool à brûler.

#### (vi) Feuilles d'enregistrement

La feuille d'enregistrement peut être montée sur un cylindre tournant ou se présenter comme une longue bande de papier enroulée et défilante. La feuille montée sur un cylindre, quand elle est déroulée, a une forme rectangulaire, elle porte un quadrillage marquant la hauteur dans une direction et le temps dans l'autre. Ces cylindres sont généralement calculés pour faire un tour complet en 24 heures et la feuille d'enregistrement est donc marquée en heures de zéro à 24 heures. Lorsqu'on fixe la feuille sur le cylindre, il est nécessaire d'aligner exactement le quadrillage, afin que les deux lignes, celle du zéro, et celle de 24 heures, coïncident et qu'il n'y ait aucun décalage dans les lectures des hauteurs à la jonction des extrémités de la feuille.

L'enregistrement sur bande défilante se présente comme un rouleau de papier qui à partir d'une bobine-magasin va s'enrouler sur une bobine avaleuse à une vitesse constante. La bande de papier est graduée en largeur en unités de hauteur et en temps selon la longueur. Les cylindres enregistreurs et les bobines sont entraînés à une vitesse constante par un mouvement d'horlogerie. Les mécanismes sont le plus souvent remontés à la main tous les huit jours, mais certains marégraphes ont des horloges remontées électriquement ou des horloges synchrones reliées au secteur électrique.

#### (vii) Enregistreur sur bande perforée

Certains marégraphes à flotteurs n'enregistrent pas les données sur de tels diagrammes continus, mais repèrent des hauteurs ponctuelles à des intervalles de temps fixes sur une bande de papier sous la forme d'une série de perforations. Un appareil lecteur compatible est nécessaire pour décoder les données recueillies.

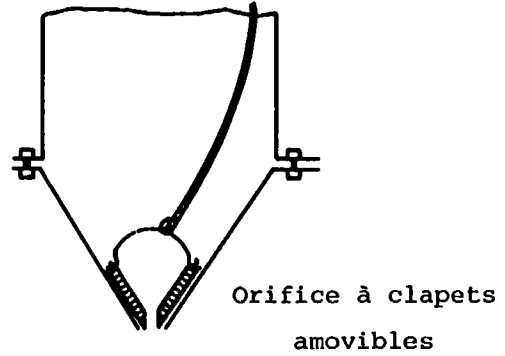
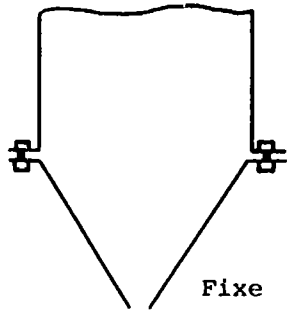
### 3.2.1 INSTALLATIONS

#### (i) Puits

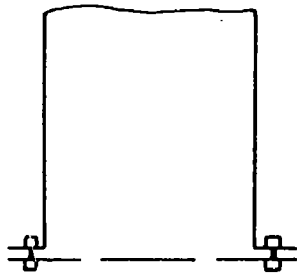
Un puits de marégraphe consiste en un tube placé verticalement dans l'eau et dont la longueur soit suffisante pour couvrir l'étendue de tous les marnages observables sur le site particulier. Le fond du puits est fermé à l'exception d'une petite ouverture qui permet à l'eau d'entrer et de sortir, le sommet du puits est laissé

SYSTEMES D'ADMISSION

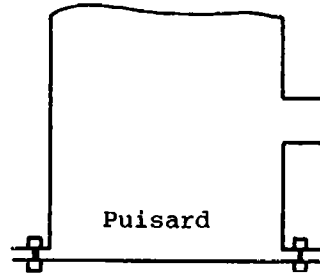
Lac conique



A fond plat



Plaque de fond  
à perforations multiples



Admission latérale

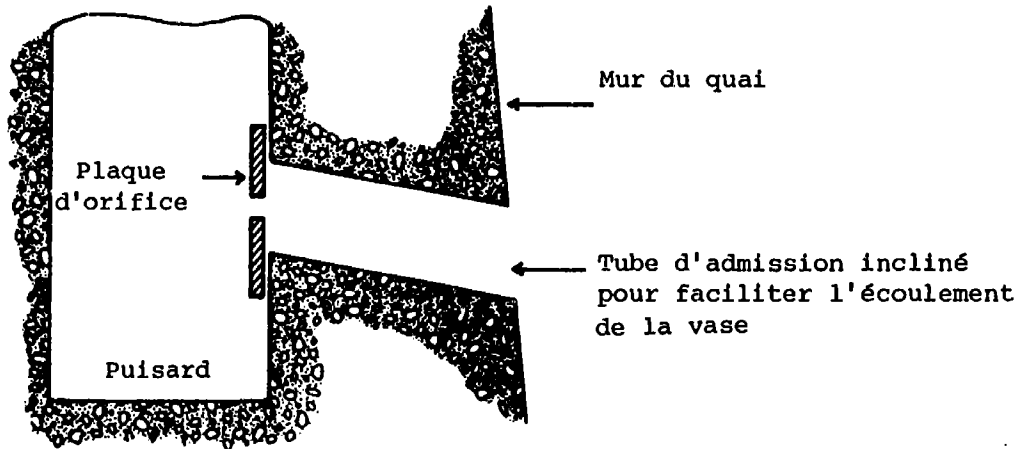


Figure 3.2

ouvert. Il existe deux principaux types de puits : l'un a une petite ouverture à la partie inférieure et l'autre est muni d'un tube d'admission relié à la partie inférieure du puits. Les deux types remplissent à peu près la même fonction, c'est-à-dire qu'ils amortissent les perturbations de haute fréquence telles que celles provoquées par la houle et les remous causés par les navires, mais les variations de plus longue période, telles que les marées et les seiches, ne sont pas modifiées. La principale différence entre les deux systèmes réside dans le fait que le puits à tube d'admission est plus performant et peut être plus facilement adapté aux besoins de l'utilisateur.

#### (ii) Admission par une ouverture

Il existe plusieurs types d'ouvertures et certaines sont représentées sur la Figure 3.2. L'ouverture conique est la plus utilisée, car elle offre l'avantage de laisser la vase s'écouler d'elle-même et nécessite donc un nettoyage moins fréquent. Une variante de ce type est l'admission conique avec obturateur réglable amovible qui donne la possibilité de procéder à un nettoyage simple pour enlever la vase et les organismes marins et permet, en outre, de faire des essais sur les dimensions de l'orifice.

La Figure 3.3 représente les caractéristiques d'amortissement du puits pour une gamme de fréquence allant de quelques secondes à 24 heures. Le degré d'amortissement réalisé par une ouverture est fonction de l'amplitude de la perturbation, les perturbations les plus grandes étant les plus fortement réduites. La fréquence pour laquelle l'atténuation devient insignifiante est fonction des dimensions de l'ouverture : il est recommandé que son diamètre soit égal au dixième de celui du puits. Or, sur certains sites, on peut s'apercevoir qu'une ouverture plus petite est souhaitable pour réduire les perturbations indésirables. L'optimum ne peut être atteint qu'en procédant à des essais dans le but d'arriver à une réduction maximale des oscillations indésirables des vagues sans affecter d'une manière significative la réponse du puits aux fréquences des marées.

#### (iii) Admission par tube

La Figure 3.3 montre également l'atténuation des oscillations produites dans un puits muni d'une admission par tube. On constate qu'il y a une fréquence critique au-dessus de laquelle les perturbations externes sont virtuellement éliminées et au-dessous de laquelle il n'y a pratiquement aucune atténuation. En combinant d'une manière appropriée les longueurs et les diamètres du tube, la fréquence critique peut être fixée là où on le souhaite. Toutefois, la théorie dont cette relation est dérivée suppose des conditions d'écoulement laminaire et celles-ci ne peuvent être réalisées qu'en utilisant des tubes d'un diamètre relativement important et qui doivent donc être assez longs. Les systèmes d'admission par tube sont rarement utilisés, à moins qu'ils ne soient nécessaires pour atteindre une profondeur suffisante dans la mer, car ils sont coûteux à fabriquer, sensibles au colmatage par la vase et difficiles à nettoyer.

#### (iv) Construction

Le puits peut être construit en utilisant divers matériaux, le choix étant fonction des matériaux disponibles localement et des conditions extérieures les plus sévères qui risquent d'être rencontrées sur le site envisagé. Les matériaux couramment utilisés sont le plastique renforcé par des fibres de verre, le PVC, ou l'acier à revêtement bitumineux. La structure sur laquelle le puits sera fixé a une importance décisive dans la conception de l'installation. Lorsqu'il s'agit d'une jetée à claire-voie, on pourra peut-être l'installer à l'intérieur même de la jetée en l'assujettissant par de simples brides. Dans la plupart des cas, le marégraphe doit

REPONSE DU PUIT

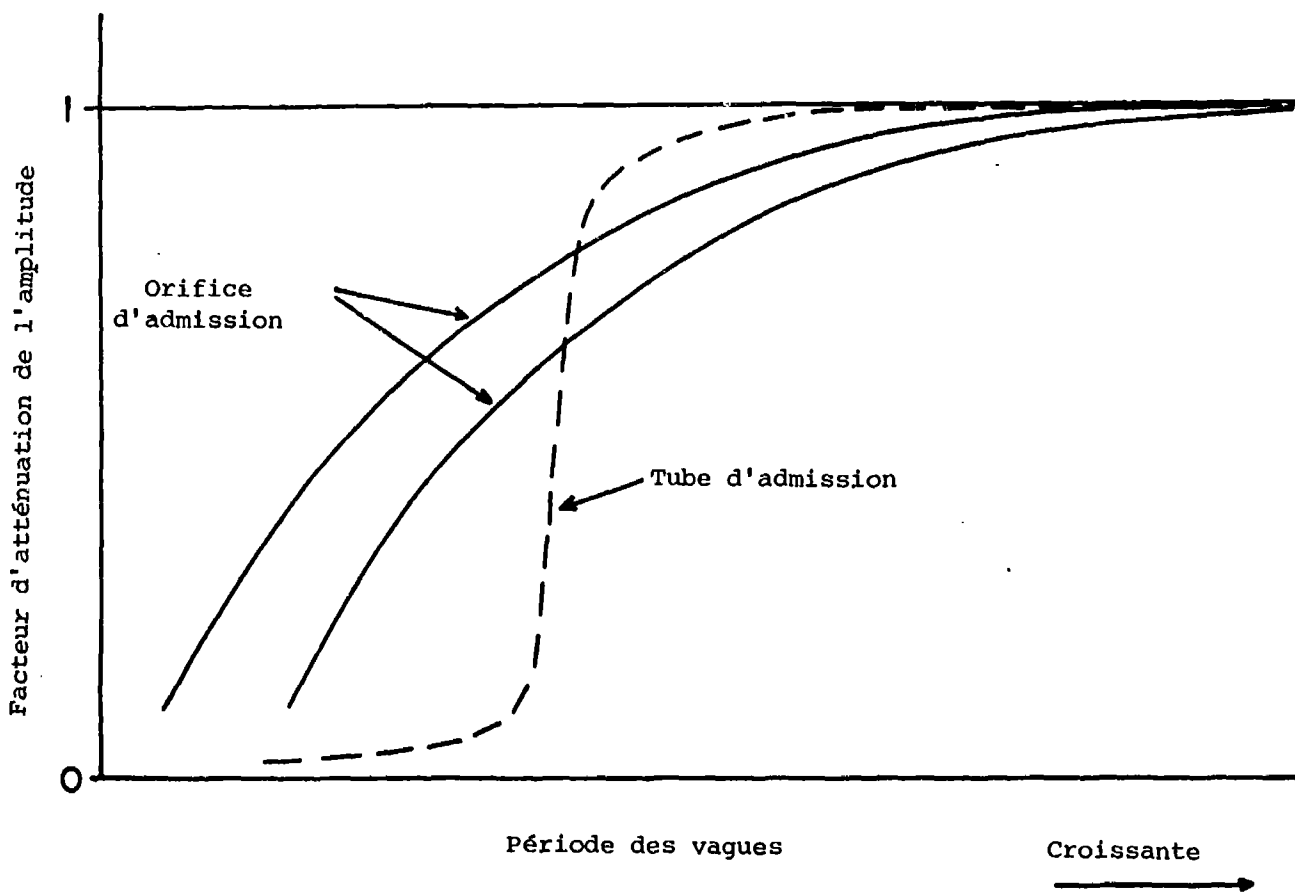


Figure 3.3

être installé à l'aplomb d'un quai, le puits étant soutenu à un certain nombre de points par des étriers qui font saillie sur la paroi du quai. Il est recommandé de fixer la section inférieure au moyen de boulons et d'écrous en acier inoxydable ou en bronze phosphoreux, ce qui permet de l'enlever facilement pour des opérations de maintenance ou de nettoyage.

(v) Erreurs de mesures inhérentes au marégraphe à puits

Les erreurs de mesures dues au puits peuvent avoir pour origine plusieurs facteurs. La présence de vase et d'organismes marins au voisinage de l'ouverture a déjà été citée. Elle a pour conséquence de réduire le diamètre de l'ouverture et, au bout d'un certain temps, de la boucher complètement. L'ouverture peut également être obstruée par une accumulation de vase ou de sable à l'extérieur du puits sous l'action des courants naturels, des tempêtes ou des perturbations provoquées par les hélices des navires. Il est donc important de choisir un site où la profondeur de l'eau sous l'orifice est suffisante pour empêcher ces phénomènes de se produire. Ce problème peut être très difficile à résoudre dans le cas de l'emploi de tubes d'admission.

Le fait que l'eau contenue à l'intérieur du puits n'a pas la même densité que l'eau qui est à l'extérieur peut être une autre cause d'erreur. Lorsqu'un phénomène de stratification se produit, et ceci est très important au voisinage des estuaires, la densité des couches d'eau supérieures est plus faible que celle des couches inférieures. Etant donné que l'admission se trouve à une certaine profondeur dans la mer, seules les parties plus denses de l'eau pénétreront dans le puits avec la marée montante, et l'eau contenue dans le puits étant plus dense, son niveau sera plus bas. Au contraire, si de l'eau à faible densité pénètre dans le puits à marée basse, elle sera retenue à l'intérieur du puits, et donc, l'effet opposé pourra se produire, c'est-à-dire que l'eau qui se trouve dans le puits aura une densité plus faible que l'eau qui se trouve à l'extérieur.

En présence de courants, l'eau qui s'écoule au voisinage de l'admission provoquera une diminution locale de la pression au voisinage de l'admission et réduira le niveau de l'eau à l'intérieur du puits. Cet effet est connu sous le nom de "draw down", et on peut l'observer lorsque la vitesse des courants est supérieure à environ 1,25 noeud.

(vi) Locaux

Il s'agit du local utilisé pour l'installation du marégraphe. Il est toujours recommandé que le marégraphe soit installé dans un bâtiment ou un abri, afin de protéger les appareils contre les conditions météorologiques extrêmes, et de pouvoir réaliser un milieu à faible hygrométrie où les effets de l'humidité, du brouillard salin et des températures extrêmes sont réduits au minimum. Au Royaume-Uni, en raison du climat généralement froid et humide, les locaux sont chauffés à une température constante et pourvus d'une ventilation suffisante pour disperser l'humidité atmosphérique. Lorsqu'il est impossible d'assurer une protection adéquate contre l'humidité, on doit placer dans le coffret contenant le marégraphe un produit absorbant tel que le gel de silice (silicagel), afin que le mécanisme et la feuille d'enregistrement soient maintenus en atmosphère sèche.

Il est indispensable que le local puisse résister aux plus fortes tempêtes pouvant se produire, car c'est à ce moment-là que les enregistrements ont la plus grande importance. Si cette exigence ne peut être satisfaite, c'est que le site a été mal choisi et, dans ce cas, le marégraphe doit être transféré en un lieu où il peut être mieux protégé contre les fortes tempêtes.



Le local doit être muni d'un éclairage suffisant permettant d'accomplir toutes les tâches nécessaires. Il est recommandé de prévoir au moins une fenêtre dispensant un éclairage naturel pour que le personnel puisse se déplacer en toute sécurité en cas de panne d'électricité.

Un marégraphe à flotteur doit être installé directement au-dessus du puits, afin que le flotteur puisse fonctionner en prise directe et sans frottement. Lorsque cette condition est impossible à remplir, un système de poulies est indispensable pour diriger le fil du flotteur vers le marégraphe. En toutes circonstances, le marégraphe doit être placé sur une table assez lourde, solidement fixée au sol, et suffisamment rigide pour ne pas se déplacer si l'on s'appuie sur elle. L'extrémité supérieure du puits doit être munie d'une coiffe de protection pour les raisons suivantes :

- 1) La sécurité, pour empêcher une personne de tomber dans le puits, car il serait pratiquement impossible de la sauver.
- 2) Pour éviter que divers objets tombent dans le puits (livres, stylos, vêtements, etc.).
- 3) Pour empêcher la montée d'air humide dans le local. Lorsqu'une table est placée au-dessus du puits, la méthode la plus pratique consiste à fixer un panneau devant cette table, ce qui permet de clore l'espace au-dessus du puits. La table doit être d'une surface suffisante pour pouvoir manipuler les feuilles d'enregistrement pendant la maintenance de routine.

#### (vii) Observation visuelle des marées

Dans chaque station marégraphique, il est indispensable de disposer d'une échelle de marée qui constitue le seul moyen permettant de faire une lecture directe du niveau de la mer par l'observation. Ceci permet une vérification rapide du niveau indiqué par le marégraphe. L'échelle de marée est normalement constituée par une perche graduée fixée verticalement sur un support rigide et dont l'intervalle entre le minimum et le maximum est au moins égal à la plus forte amplitude de marée à laquelle on peut s'attendre.

Le modèle utilisé au Royaume-Uni pour le réseau de classe A est représenté à la Figure 3.4. Les couleurs utilisées sont le noir et le jaune, qui offrent un bon contraste facilitant la lecture.

Le matériau utilisé doit être indéformable et résister à une forte corrosion. Il doit également être facile à nettoyer. Le modèle indiqué sur la Figure 3.4 répond à ces exigences en ce sens que l'échelle est en matière plastique renforcée par des fibres de verre et le marquage imprimé dans la résine ne comporte aucun élément en relief. L'échelle doit être installée aussi près que possible du marégraphe et disposée de telle sorte qu'elle soit facile à observer et de préférence visible depuis l'abri du marégraphe. Elle ne doit pas être installée à un endroit où elle risque d'être heurtée ou éraflée par des navires ou des embarcations, ou masquée lorsque les embarcations sont au mouillage dans le port. Il est important que l'échelle soit fixée verticalement. Si cela est impossible, par exemple si elle est fixée sur un quai incliné, où il est impossible d'édifier une structure verticale, les graduations doivent être ajustées pour donner une échelle exacte compte tenu de l'angle de la pente.

L'observation d'une échelle de marée peut être difficile dans certaines conditions et les valeurs notées doivent donc être accompagnées de la marge d'erreur possible au moment de la lecture. En présence de vagues, on prend généralement la moyenne des valeurs maximales et minimales et cette méthode peut être une source

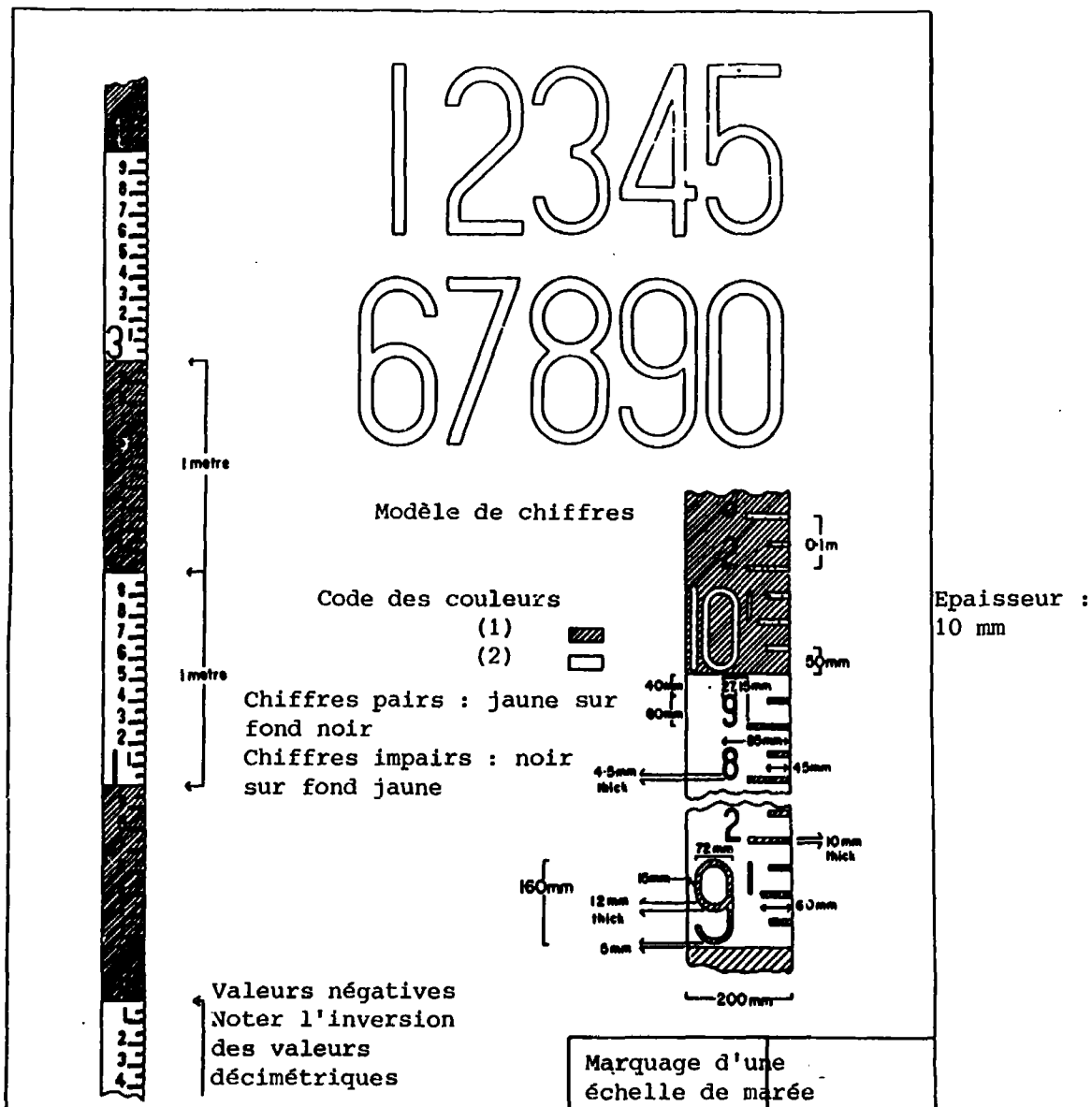


Figure 3.4

- (1) Noir avec hachures
- (2) Jaune "signalisation routière"

d'erreurs, car toutes les vagues n'ont pas une forme symétrique. En général, on donne une valeur plus élevée que la vraie moyenne. Etant donné que l'échelle des marées est un objet solide, elle fera obstacle à l'écoulement de l'eau et provoquera quelques perturbations dans le niveau de surface, ce niveau ayant tendance à être surélevé en amont et abaissé en aval. Lorsque l'échelle est vue sous un angle aigu, une erreur de lecture peut facilement être commise, en particulier par soleil brillant et lorsque l'eau est claire. Une ligne de visée faisant environ 20° par rapport à la surface de l'eau représente l'optimum.

### 3.2.2 NIVELLEMENT ET NIVEAU DE REFERENCE

#### (i) Repère

Dans la vie quotidienne, nous utilisons sans le savoir des éléments de référence : par exemple, lorsque nous affirmons qu'un arbre a 10 mètres de haut, nous admettons tout naturellement que la surface du sol est l'élément de référence à partir duquel nous mesurons cette hauteur. Mais, si nous voulons donner la hauteur d'un grand édifice construit sur une pente, nous avons besoin d'informations complémentaires pour la déterminer, car notre élément de référence ne peut plus être le sol, puisqu'il n'est pas horizontal. Dans ce cas, nous avons besoin d'un point clairement défini comme élément de référence. De la même manière, pour être pleinement utiles, les observations relatives aux marées doivent être rapportées à un élément de référence fixe.

Pour l'observation des marées, on utilise un repère comme point de référence primaire. Ce repère est un point clairement marqué situé sur une surface stable, par exemple une roche découvrant, bien visible, le mur d'un quai ou un bâtiment élevé. Lorsqu'un repère est sur une surface horizontale, il se présente en général sous la forme d'un rivet à tête ronde de cuivre ou de bronze, le point le plus élevé de cette tête étant le niveau de référence. S'il se trouve sur une surface verticale, il peut prendre la forme d'une rainure horizontale pratiquée sur cette surface ou sur un cadre en métal fixé à cette surface et qui a un bord de référence horizontal auquel on peut ajouter un support qui recevra une règle graduée.

Il est déconseillé de miser sur la stabilité d'un seul repère et il est préférable d'en avoir au minimum trois répartis sur une distance de 1.800 mètres, et dont l'altitude est la même pour les trois. Si aucun changement n'est observé sur une longue période, on peut considérer que tous les repères sont stables, mais il est indispensable qu'ils soient rattachés au réseau de nivellement national et périodiquement vérifiés. On attribuera alors aux repères une altitude rapportée à l'élément de référence du réseau national. Il est indispensable que les repères soient non seulement stables mais clairement identifiés, à la fois individuellement et par référence au quadrillage d'une carte.

#### (ii) Niveau de référence du marégraphe

Le niveau de référence d'un marégraphe est le niveau de la surface plane pour laquelle on lit zéro sur le marégraphe. Le niveau utilisé dépendra des besoins des usagers. Au Royaume-Uni, on utilise en général l'Admiralty Chart Datum (niveau de référence des cartes marines) comme niveau de référence pour les appareils enregistreurs des marées, mais certaines autorités portuaires utilisent leur propre niveau de référence. L'élément de référence habituellement choisi dans ce cas est le seuil d'une écluse ou un point peu profond du port, de sorte que le niveau indiqué par le marégraphe montre la profondeur d'eau au-dessus de ces accidents de terrain pris comme repères.

#### (iii) Admiralty Chart Datum (Niveau de référence des cartes marines)

Le niveau de référence des cartes marines est la surface de la mer à marée basse en dessous de laquelle les profondeurs indiquées sur une carte marine sont mesurées et en dessus de laquelle les niveaux des marées sont mesurés. Le niveau de référence des cartes marines est un plan horizontal d'une superficie limitée et l'altitude de ce plan variera au voisinage du trait de côte en fonction de l'amplitude des marées aux lieux considérés.

(iv) Ordnance Datum (Niveau de référence des levés terrestres)

Il s'agit d'un plan horizontal de référence imaginaire qui couvre une vaste superficie (pour le Royaume-Uni, sur l'ensemble du territoire de la Grande-Bretagne). L'altitude de ce plan est déduite d'observations du niveau moyen de la mer en un point de référence sur une longue période et l'Ordnance Datum est donc en général identique ou pratiquement identique au niveau moyen de la mer. Une fois qu'il a été défini, l'Ordnance Datum reste fixe.

Pour un point quelconque de la côte, il y a une différence fixe entre le "Chart Datum" et "l'Ordnance Datum". Les tables de marées, les rapports entre l'Ordnance Datum et le Chart Datum, pour un certain nombre de lieux proches de la côte et ses valeurs, restent généralement inchangées et elles sont approximativement égales à la moitié de l'amplitude maximale des marées auxquelles on peut s'attendre.

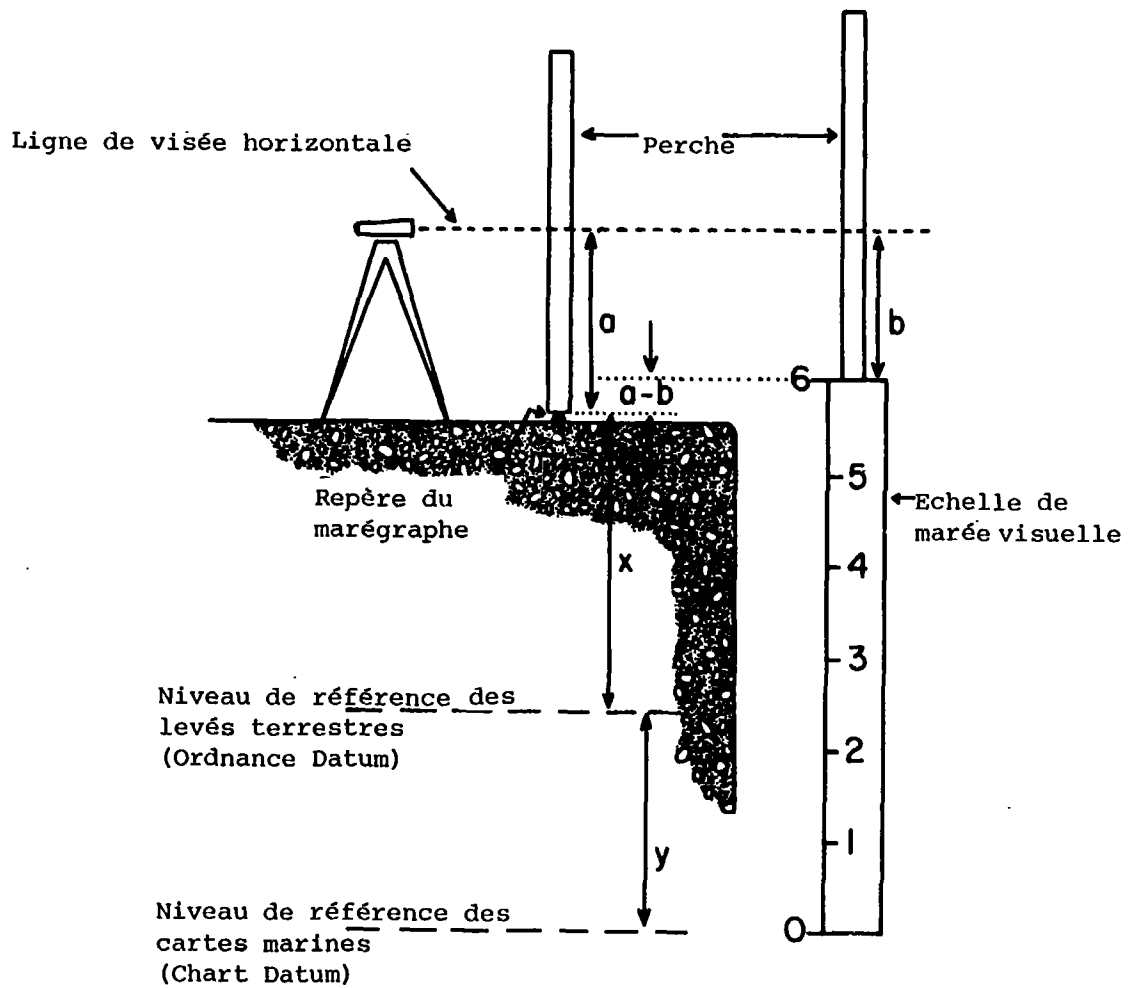
(v) Réglage du niveau de référence du marégraphe

Examinons tout d'abord l'échelle de marée qui est le type le plus simple d'appareil servant à mesurer la hauteur de la marée. Si elle est correctement fixée, l'échelle de marée sera verticale, c'est-à-dire perpendiculaire au plan horizontal dans toutes les directions, et le zéro sera juste au contact du plan horizontal de référence imaginaire. Pour des raisons pratiques, il est beaucoup plus simple pour nous de considérer le sommet de l'échelle et si, par exemple, cette échelle est graduée de zéro à plus six mètres, nous devons faire en sorte que son sommet se trouve bien à six mètres au-dessus du plan horizontal de référence. Dans la pratique, ce résultat est obtenu en transférant le niveau d'un repère local d'une altitude connue à la position de l'échelle (voir Figure 3.5). En appliquant cette méthode de nivellement, on peut déterminer l'altitude de n'importe quelle surface par rapport au plan de référence choisi.

Avec un marégraphe à flotteur, il est nécessaire de déterminer avec précision le niveau de l'eau dans le puits rapporté au plan de référence et ensuite de régler le marégraphe en fonction de cette valeur.

Un point de repère est établi au voisinage du bord supérieur du puits et une sonde à main, mise à zéro sur le repère, est descendue dans le puits jusqu'à ce que son extrémité entre en contact avec la surface de l'eau. Par conséquent, connaissant l'altitude du point de repère et en soustrayant la distance de ce point à la surface de l'eau, telle qu'elle est indiquée par la sonde à main, on obtient la valeur que le marégraphe devrait indiquer. Lorsque le marégraphe est correctement réglé, de nouveaux relevés effectués à la même heure que ceux effectués à la sonde à main devraient donner une valeur constante, c'est-à-dire l'altitude du point de repère au-dessus du plan de référence (voir Figure 3.6).

CONTROLE DU NIVEAU DE REFERENCE  
D'UNE ECHELLE DE MAREE



Altitude du sommet de l'échelle par rapport au repère =  $a - b$

Altitude du repère par rapport à l'Ordinance Datum =  $x$

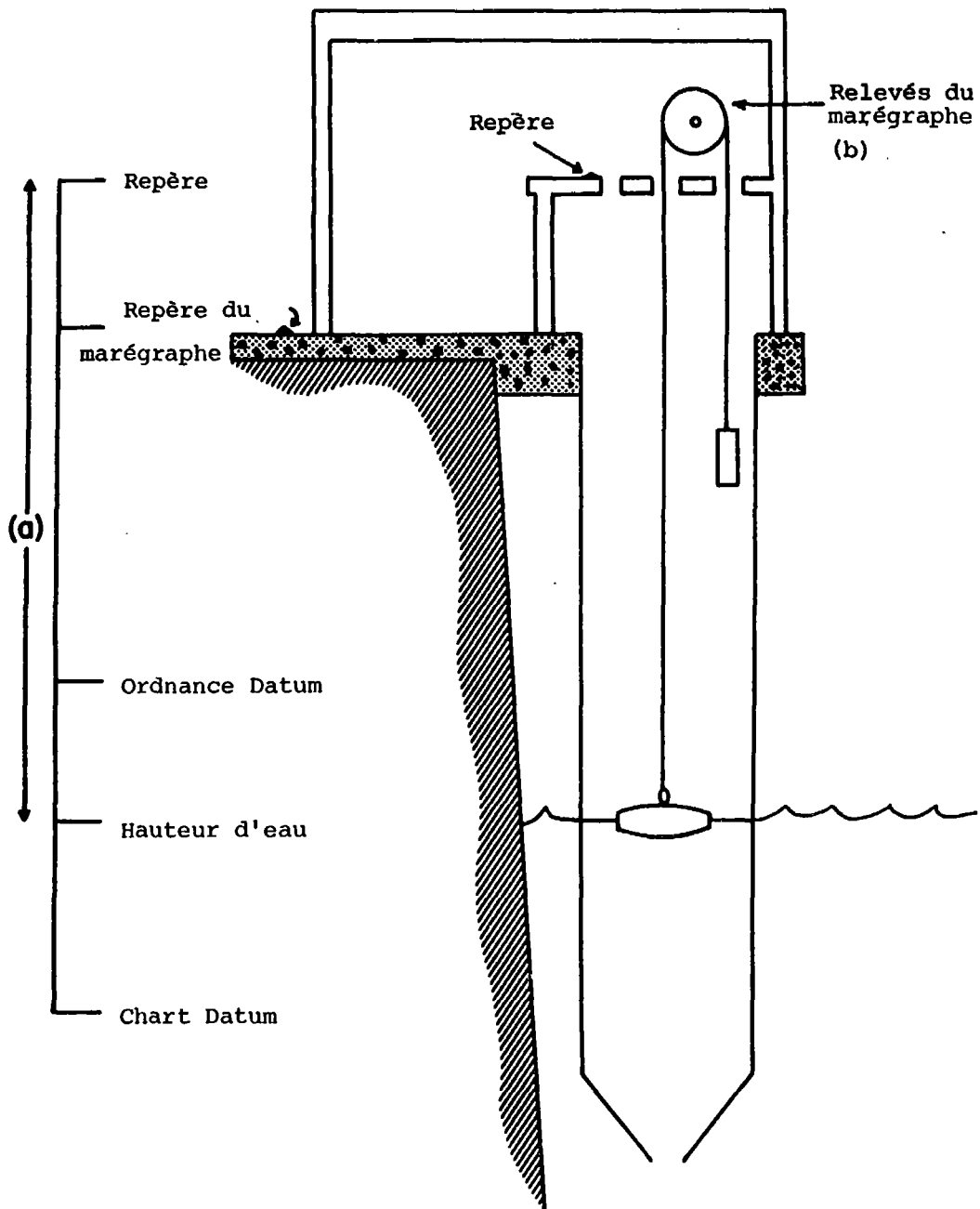
Altitude du repère par rapport au Chart Datum =  $x + y$

Altitude du sommet de l'échelle par rapport au Chart Datum =  $x + y + (a - b)$

Zéro de l'échelle de marée par rapport au Chart Datum =  $x + y + (a - b) - 6$

Figure 3.5

CONTROLE DU NIVEAU DE REFERENCE  
D'UN MAREGRAPHE A FLOTTEUR

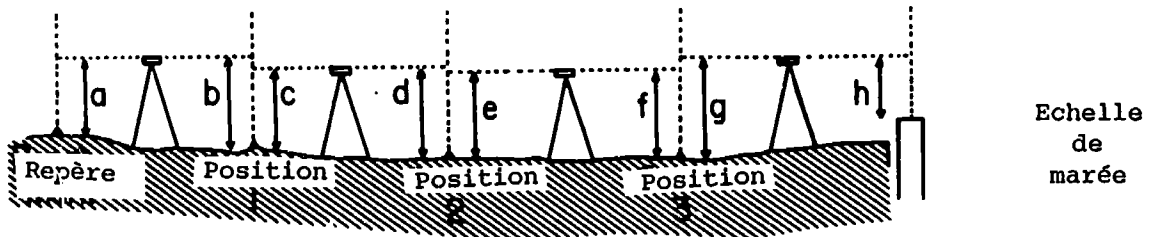


Une sonde manuelle est utilisée pour obtenir les relevés (a).  
La somme  $a + b$  doit être constante et égale à l'altitude du repère par rapport au Chart Datum.  
Les écarts proviennent d'erreurs inhérentes au marégraphe.

Figure 3.6

(vi) Nivellement

Si le repère se trouve à une très grande distance de l'échelle de marée, le nivellement entre les deux points devra être opéré en plusieurs étapes. Auparavant, il est nécessaire de déterminer les points intermédiaires et de les marquer clairement, en les espaçant d'une cinquantaine de mètres sur une surface dure. Pour cela, on peut tracer à la peinture un petit cercle autour du point et sur les surfaces non rigides, enfoncer un rivet à tête ronde (voir Figure 3.7).



L'altitude de l'échelle de marée par rapport au repère est :

$$(a - b) + (c - d) + (e - f) + (g - h)$$

Figure 3.7

L'instrument de nivellement est alors disposé entre le repère et le premier point intermédiaire et les relevés sont effectués sur les deux mires. On chemine de proche en proche jusqu'à l'échelle de marée. Il est indispensable que les couples de relevés soient faits dans la séquence correcte, sinon la différence d'altitude sera fausse.

(vii) Test de Van de Castele

Il consiste à faire des relevés avec une sonde à mains, résultats que l'on compare aux relevés du marégraphe pendant un cycle de marée complet. Comme on l'a déjà indiqué, la somme de ces deux valeurs devrait rester constante, mais ceci n'est vrai qu'avec un marégraphe parfait. C'est pourquoi le test de Van de Castele a pour but de déterminer la précision du marégraphe, étant donné que les résultats obtenus pour un cycle complet de la marée sont ensuite utilisés pour produire un diagramme dont la forme permettra de repérer les défauts de fonctionnement du marégraphe. (Voir un exemple de test sur la Figure 3.8 et des exemples de diagrammes indiquant les divers défauts sur la Figure 3.9).

(viii) Test du puits

Bien qu'un test de Van de Castele puisse montrer qu'un marégraphe fonctionne de manière satisfaisante, l'information enregistrée par le marégraphe ne sera suffisamment précise que si le puits fonctionne lui aussi d'une manière satisfaisante. C'est seulement lorsque le diamètre de l'admission sera fortement réduit que l'on pourra s'en apercevoir en observant la feuille d'enregistrement (tracés très aplatis, retard important à la marée montante et à la marée descendante, en particulier à mi-marée).

Pour déterminer la performance du puits, il est nécessaire de faire en même temps des relevés du niveau de l'eau à l'intérieur et à l'extérieur du puits pendant un cycle de marée. Le niveau intérieur peut être mesuré à l'aide de la sonde à main, et le niveau extérieur en le lisant sur l'échelle de marée. Lorsque la mer est agitée, les relevés sur l'échelle de marée seront évidemment moins précis, et le test doit donc être réalisé lorsque les conditions sont favorables. Ce test peut être combiné avec celui de Van de Casteele, les lectures du niveau de l'eau sur l'échelle de marée étant faites toutes les heures.

(ix) Précision du marégraphe

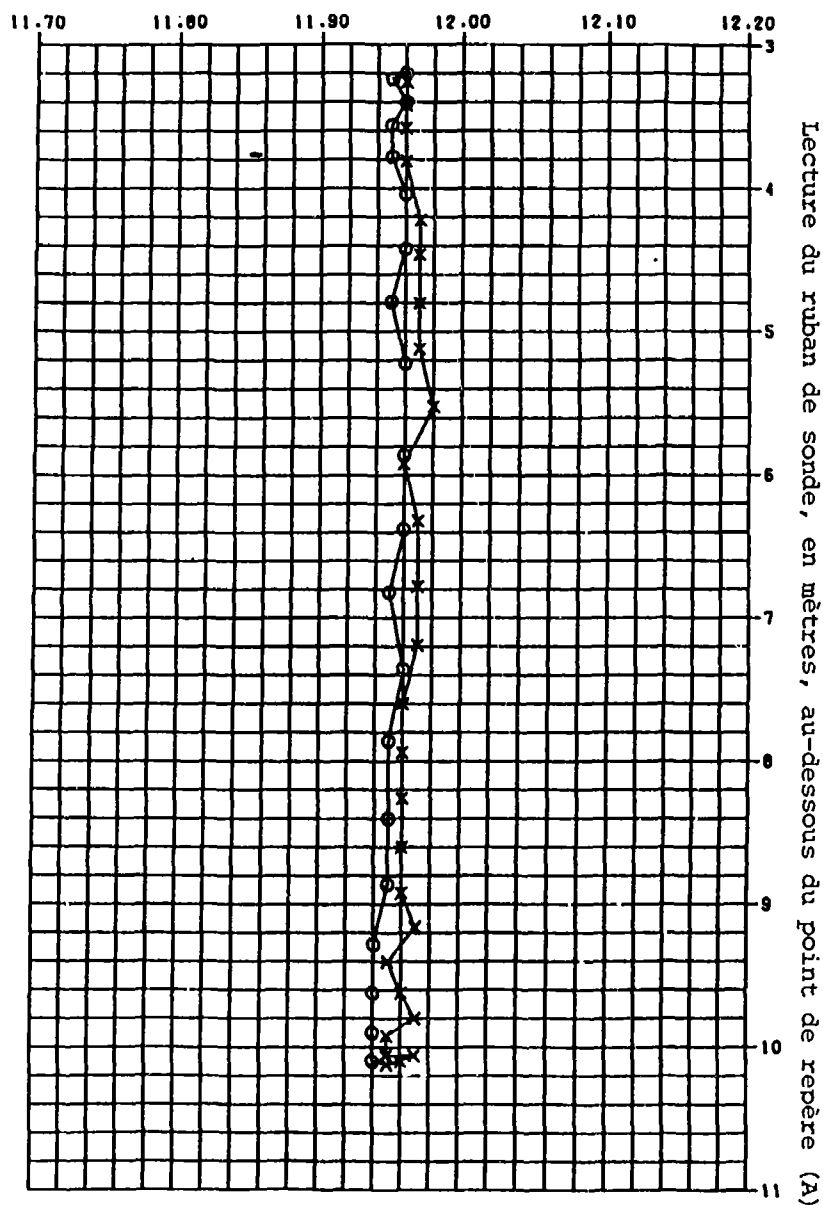
Un enregistrement idéal fera apparaître les hauteurs vraies de l'eau rapportées au niveau de référence utilisé pendant toute la période d'enregistrement. En général, il n'en est pas ainsi et la plupart des enregistrements comportent certaines erreurs qui ne sont pas toujours identifiées. Cette situation peut occasionner un travail supplémentaire au stade de l'analyse, et si les erreurs ne sont pas corrigées d'une manière appropriée à ce stade, des données inexactes vont s'accumuler. On souhaite donc enregistrer des données dont le degré de précision est le plus élevé possible, et lorsque cette exigence est impossible à satisfaire avec l'équipement utilisé, il faut fournir des informations suffisantes pour que des corrections puissent être effectuées au stade de l'analyse.



GRAPHIQUE VAN DE CASTEELE

STATION MAREGRAPHIQUE : HILBRE ISLAND DATE : 23.8.79

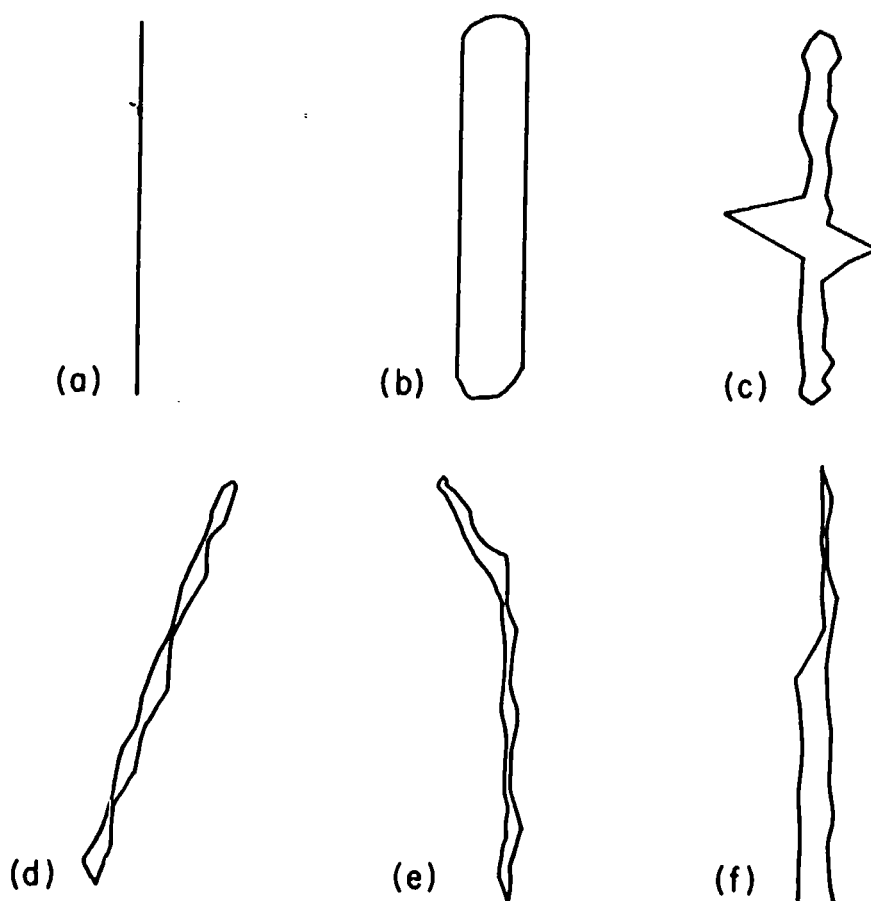
ZERO EN METRES EN DESSOUS DU REPERE (A + B)



Moyenne, marée montante = 11,95  
 Moyenne, marée descendante = 11,96  
 Moyenne, relevés dans le puits = 11,96  
 Echelle horizontale : 5 mm = 0,02 mètre  
 Echelle verticale : 5 mm = 0,20 mètre  
 Marée montante O Marée descendante X

Figure 3.8

## DIAGRAMMES DE VAN DE CASTEELE



### INTERPRETATION DES DIAGRAMMES

- (a) Marégraphe parfait
- (b) Jeu dans le mécanisme du marégraphe
- (c) Frottements (mécanisme du marégraphe ou flotteur)
- (d) Erreur d'échelle (diamètre du fil, rapport d'engrenage ou feuille-diagramme)
- (e) Erreur d'échelle sur une partie du tracé (chevauchement de spires sur le cylindre)
- (f) Décalage dans les mécanismes du marégraphe

Figure 3.9

(x) Stabilité du niveau de référence

La stabilité du niveau de référence est impossible à réaliser si l'on ne dispose pas d'une combinaison marégraphe-feuille d'enregistrement qui donne le facteur d'échelle correct. Si le marégraphe a une erreur d'échelle celle-ci doit être éliminée ou le marégraphe doit être remplacé par un meilleur appareil. Dans un marégraphe à flotteur, des variations aléatoires du niveau de référence peuvent être dues à un ou plusieurs des facteurs ci-après :

a) mauvaise fixation de la feuille d'enregistrement.

La feuille peut être mal fixée sur le cylindre enregistreur, les deux extrémités n'étant pas jointives ou au contraire se recouvrant. Le joint peut également former une "marche" ce qui a pour effet de faire monter brusquement la trace du stylet à la jonction. Normalement le cylindre est muni d'une bride à une de ses extrémités de sorte que la feuille peut toujours être fixée de telle sorte que son bord entre en contact avec cette bride. Si l'on ne procède pas ainsi lorsqu'on fixe la feuille d'enregistrement, il faudra changer le niveau de référence chaque fois que l'on remplacera la feuille.

b) allongement du fil du flotteur

Il est possible que le fil du flotteur s'allonge un peu, en particulier lorsqu'il vient d'être installé. Des vérifications régulières du niveau de référence du marégraphe seront nécessaires jusqu'à ce que l'allongement cesse. Il est important d'utiliser des fils de flotteurs spécifiés par le fabricant car ils ont été spécialement choisis pour leurs caractéristiques de non-allongement qui sont les meilleures possibles.

c) jeu dans le mécanisme du marégraphe

Le jeu dû à un mauvais ajustement peut être éliminé en réglant à nouveau le train d'engrenage. Le jeu résultant de l'usure des engrenages ne peut être éliminé qu'en remplaçant les engrenages suspects. Le diagramme obtenu au cours d'un test de Van de Castele mettra en évidence un jeu excessif sous la forme d'un écartement du contour des diagrammes pour la marée montante et la marée descendante ; le jeu sera d'autant plus important que l'écartement sera plus grand.

d) détérioration du flotteur

Tous les flotteurs se détériorent sous l'effet de la corrosion après une période prolongée d'immersion dans l'eau de mer. Un flotteur creux dont la paroi est attaquée par la corrosion va progressivement perdre son étanchéité et de l'eau pénétrera et, s'alourdissant, il va descendre de plus en plus et finir par couler au fond du puits. Les organismes marins vont également s'accumuler sur un flotteur et la partie d'entre eux qui se trouvent au-dessus de la ligne de la flottaison vont augmenter la masse effective du flotteur qui va descendre plus bas sous la surface de l'eau. Ces organismes marins peuvent également réduire l'espace entre le flotteur et les parois du puits jusqu'à ce que le mouvement du flotteur soit freiné à un tel point qu'il réagit avec retard aux changements du niveau de l'eau. Il est donc particulièrement important que les flotteurs soient périodiquement remontés pour nettoyage, examen, réparation ou remplacement si l'on constate qu'ils sont défectueux.

### e) déplacements des supports du marégraphe

On doit s'assurer que les supports sur lesquels sont fixés un marégraphe sont stables et rigides. Une flexion de la table ou de la plate-forme sur laquelle l'appareil est posé peut provoquer un brusque déplacement du fil du flotteur qui se traduit par un chevauchement des spires sur le cylindre enregistreur. De nombreux abris de marégraphes sont installés sur des structures en porte-à-faux au dessus du bord d'un quai. Ces structures doivent être rigides et résister à la flexion, sinon il se produira un mouvement vers le haut ou vers le bas du bâtiment et de l'enregistreur. Ce mouvement apparaîtra sur l'enregistrement comme un "bruit de fond" et il sera particulièrement important dans les périodes de grands vents ou lorsque les personnes se déplaceront à l'intérieur du bâtiment.

Il se peut également que le bâtiment s'affaisse graduellement sur une longue période, mais ce phénomène sera mis en évidence en procédant à un nivellement de contrôle, à partir du repère du marégraphe, par rapport à un point de référence situé sur le support de l'enregistreur. Le repère ne doit pas être utilisée comme point de référence car il se trouve parfois sur le bord supérieur du puits et il n'est pas nécessairement relié à la structure du bâtiment.

Avec un marégraphe de bonne qualité correctement installé et régulièrement entretenu, ces sources d'erreurs peuvent être minimisées et dans la plupart des cas éliminées.

Il est particulièrement important que la feuille d'enregistrement soit correctement fixée sur le cylindre enregistreur. Toute nécessité de régler à nouveau le niveau de référence ne doit pas être considérée comme une affaire de routine, mais faire l'objet de recherches afin de trouver la raison pour laquelle ce nouveau réglage est nécessaire. Il faut aussi se rappeler que si l'orifice d'admission du puits d'amortissement est partiellement bouché, il en résulte des erreurs d'enregistrement qui peuvent se manifester comme des changements du niveau de référence ; c'est pourquoi, le fonctionnement du puits doit être fréquemment surveillé.

### 3.2.3. ENTRETIEN

Selon les situations locales et les types d'appareils utilisés, un opérateur pourra ou non être indispensable. En général, avec les instruments munis d'une feuille d'enregistrement fixée sur un cylindre, celle-ci devra être remplacée chaque semaine et un opérateur sera alors indispensable. Lorsque les appareils utilisés enregistrent sur bande perforée ou bande magnétique, ou lorsque aucun enregistrement local n'est réalisé (par exemple, lorsqu'il s'agit de la surveillance d'une station éloignée), des visites d'entretien régulières, à un mois d'intervalle ou plus, sont seulement nécessaires. Dans le cas d'une station éloignée exigeant les services d'un opérateur local, les tâches de celui-ci se répartissent en deux catégories : l'entretien et l'observation.

#### (1) Entretien par un opérateur

L'opérateur a pour fonction principale d'assurer le bon fonctionnement des appareils conformément au programme d'entretien recommandé par le fabricant. Pour que son travail soit efficace, il doit pouvoir disposer de l'outillage, des lubrifiants et des pièces détachées dont il aura probablement besoin. Voici une liste type des pièces détachées pour un marégraphe à flotteur :

- stylets ou plumes à réservoir
- fils et raccords de fils du flotteur et du contrepoids
- flotteur
- mouvement d'horlogerie

L'entretien est simple mais néanmoins indispensable. Le mécanisme doit être suffisamment lubrifié, en particulier les roulements et les pièces coulissantes. Les fils doivent être régulièrement examinés pour déceler toute trace de détérioration et remplacés au premier signe d'usure. Les mouvements d'horlogerie doivent être vérifiés régulièrement chaque jour et les erreurs notées. Les mouvements mécaniques peuvent être réglés pour corriger les variations constantes mais ils doivent être remplacés, ou réparés, si les variations sont aléatoires. Les mouvements d'horlogerie doivent être nettoyés périodiquement et réglés, cette opération étant de préférence confiée à un horloger qualifié.

L'opérateur doit également s'assurer que le bâtiment est maintenu en bon état et s'occuper des réparations en cas de tempête ou de tout autre dommage. Un programme régulier de nettoyage de l'orifice d'admission du puits doit être établi, le délai entre chaque opération de nettoyage étant fonction des conditions locales de dépôt des organismes marins et de la vase. Une inspection périodique de l'échelle des marées est nécessaire pour vérifier les fixations et nettoyer la partie graduée.

Il est nécessaire d'opérer un nivellement de contrôle au moins une fois par an entre le groupe de repères locaux, le point de repère du marégraphe et l'échelle de marée.

#### (ii) Mesure du temps

La plupart des marégraphes de ce type utilisent des mécanismes d'horlogerie pour faire tourner le cylindre enregistreur ou avancer la bande d'enregistrement. Dans certains marégraphes, ces fonctions sont assurées par des mécanismes électriques synchrones branchés sur le réseau local. Tous les mouvements d'horlogerie sont sujets à des écarts de fonctionnement.

La vitesse de rotation d'un mouvement mécanique peut varier en fonction de la tension du ressort et de la température. Les mouvements synchrones réagissent aux variations de fréquence du réseau qui peuvent se produire de jour, en particulier dans les périodes de charge maximale, et qui sont ensuite corrigées pendant la nuit à la centrale électrique. Il en résulte que l'horloge peut paraître exacte à la même heure d'un jour à l'autre mais varier en dehors de cette heure lorsque la charge du réseau se modifie. Il est très difficile de corriger d'une manière satisfaisante les variations d'un mouvement d'horlogerie mais lorsqu'on les constate, elles doivent être notées afin que des corrections puissent être apportées au stade de l'analyse. Un mouvement mécanique de bonne qualité doit avoir une précision d'une minute par semaine et cette précision est généralement suffisante.

Les erreurs de temps peuvent également résulter d'une mauvaise fixation de la feuille d'enregistrement sur le cylindre, par exemple lorsque les extrémités ne se rejoignent pas ou au contraire se chevauchent. Dans ce cas, l'heure n'est exacte qu'une fois toutes les 24 heures, avec un erreur cumulée sur le reste de la période.

Note : Les erreurs de temps non corrigées auront comme conséquence que l'on acceptera des valeurs inexactes de la hauteur d'eau. Ceci est particulièrement important lorsque les niveaux de marée changent rapidement. Les vérifications de l'heure ne peuvent être effectuées qu'en utilisant une montre ou une horloge de précision qui a été récemment réglée sur un signal horaire.

#### (iii) Horloges mécaniques

Elles doivent être périodiquement nettoyées et réglées par un réparateur qualifié puis essayées avant d'être mises en service. L'horloge doit également être remontée à des intervalles de temps égaux, par exemple toutes les semaines ; elle doit être remontée à fond mais sans forcer. Elle doit être protégée contre la poussière. Un fonctionnement à température constante est également recommandé. Au moment de l'installation, l'engrènement des pignons doit être soigneusement vérifié pour éviter le jeu ou le grippage.

#### (iv) Horloges synchrones

La régulation de la fréquence du réseau échappe à la volonté de l'utilisateur. Si de grandes variations se produisent souvent, un autre type d'horloge doit être utilisé.

Les horloges électromécaniques sont probablement plus précises que les horloges entièrement mécaniques. Les horloges à quartz sont encore plus précises, mais il en existe très peu qui ont un couple suffisant pour entraîner un cylindre d'enregistrement ou un rouleau de bande d'enregistrement.

Lorsqu'une feuille d'enregistrement ne s'adapte pas exactement au cylindre, ou bien ce cylindre n'a pas le diamètre qui convient, ou il est endommagé, ou la feuille n'a pas la longueur qui convient. La feuille ou le cylindre, selon le cas, doit être remplacé.

Nous avons déjà examiné la possibilité dans toute la mesure du possible de corriger les erreurs par une préparation et un mode opératoire méthodiques. Toutefois, on ne peut être certain que de petites erreurs ne se produisent pas occasionnellement si des contrôles journaliers ne sont pas effectués correctement et consciencieusement. Lorsque de plus longues périodes séparent deux vérifications, par exemple dans le cas des marégraphes sans opérateur, les erreurs peuvent passer inaperçues. Dans ce cas, il est utile d'avoir à sa disposition un système automatique de vérification du niveau de référence et de correction des erreurs de temps équivalant à un contrôle journalier.

#### (v) Contrôle journalier

Avant de commencer le contrôle journalier, il est indispensable de disposer d'une montre ou d'une horloge de précision qui a été synchronisée sur un signal horaire standard dans les heures qui précèdent. La feuille standard de contrôle journalier utilisée par le Réseau national britannique de marégraphes est représentée sur le tableau 3.1. Les instructions d'utilisation de cette feuille figurent au verso (tableau 3.2).

Dans certains cas, il sera peut-être impossible de lire l'échelle de marée à la même heure que l'enregistreur, sauf si deux personnes sont présentes à la station. S'il n'y en a qu'une, la procédure recommandée consiste à vérifier d'abord que l'enregistreur est à l'heure exacte, à lire l'échelle des marées à une heure lue avec précision et à lire la hauteur de l'eau sur l'enregistreur pour cette même heure en utilisant le quadrillage de temps. Avec les marégraphes enregistreurs numérisés, on doit suivre une autre méthode :

par exemple Lire le marégraphe à 10 h. 15 = 6,230 mètres

Lire l'échelle de marée à 10 h . 20 = 6,25 mètres

Lire à nouveau le marégraphe à 10 h. 25 = 6,272 mètres

Inscrire sur la feuille de contrôle la hauteur  
lue sur l'échelle de marée

Le marégraphe donne :

$$\frac{6,230 + 6,272}{2}$$

= 6,251, chiffre qui  
est inscrit sur la  
feuille de contrôle

CONTROLE D'UN MAREGRAPHE AUTOMATIQUE

TABLEAU RECAPITULATIF

Semaine commençant le .....

Lieu : ....

Temps adopté : (GMT ou BST ou Zone)

Date et heure du début de l'enregistrement : ..... Date et heure du prélèvement .....

Date	Heure exacte	Heure de la feuille-diagramme	Hauteur de l'eau sur l'échelle de marée	Hauteur de l'eau sur la feuille-diagramme	Montée de l'eau sur les graduations	VENT		Observations (y compris heures des changements soudains de la force ou de la direction du vent)	Paraphe du contrôleur
						D*	F*		

- 36 -

Tableau 3.1

Responsable du marégraphe .....

\* D = Direction  
F = Force



INSTRUCTIONS POUR REMPLIR CET IMPRIME

1. Les contrôles doivent être quotidiens et exécutés de préférence à peu près à la même heure à moins que les conditions météorologiques ne permettent pas de procéder à un contrôle précis.
2. Si les conditions sont défavorables, c'est-à-dire s'il est impossible d'estimer la hauteur de l'eau sur l'échelle de marée à 2 cm près, la montée de l'eau, ainsi que la force et la direction du vent doivent néanmoins figurer sur l'imprimé et la mention "conditions défavorables" doit être inscrite dans la colonne observations.
3. L'heure exacte doit être donnée par une montre ou une horloge indépendante des installations du marégraphe et qui doivent être vérifiées chaque jour par un signal horaire.
4. La hauteur de l'eau sur l'échelle de marée et sur la feuille d'enregistrement doit être lue à 2 cm près, mais lorsque le quadrillage de la feuille permet une plus grande précision, une lecture au centimètre près peut être inscrite sur l'imprimé.
5. Les contrôles doivent être opérés en faisant les relevés dans l'ordre suivant :
  - i. Lire la hauteur de l'eau sur l'échelle de marée et l'inscrire sur l'imprimé.
  - ii. Lire la hauteur du stylet sur la feuille d'enregistrement et l'inscrire.
  - iii. Inscrire l'heure exacte.
  - iv. Lire l'heure indiquée par le stylet sur la feuille-diagramme et l'inscrire.
  - v. Remplir les autres colonnes.
6. Le "scend" ou montée de l'eau est le mouvement vertical de l'eau le long de l'échelle, distinct de la marée montante et de la marée descendante ; l'amplitude totale du mouvement doit être indiquée en mètres et en dixièmes de mètre (par exemple 0,3 m).
7. En ce qui concerne le vent, on doit indiquer la direction d'où il souffle à 45° près, par exemple nord, sud-ouest, nord-est, etc.
8. La force du vent doit être indiquée en miles nautiques par heure lorsqu'elle peut être mesurée par un anémomètre. Lorsqu'il n'existe pas d'anémomètre à la station, la force du vent doit être indiquée en termes généraux, par exemple, calme, très légère brise, jolie brise, vent frais, coup de vent, ouragan\*.
9. La colonne observations doit contenir, outre les observations relatives aux conditions météorologiques, tout élément intéressant ou important concernant le marégraphe, par exemple la raison des pannes, l'heure à laquelle le stylet a été réglé après une réparation ou une correction des erreurs, etc.
10. La feuille de contrôle doit être jointe à la feuille d'enregistrement et envoyée chaque mois à l'autorité compétente.

\* Terminologie OMM

Quand un mouvement vertical de l'eau ("scend") le long de l'échelle de marée, est appréciable, le relevé deviendra moins précis et on devra faire une réserve concernant la précision de ce relevé qui sera consignée sur la feuille de contrôle (par exemple 6,2 mètres  $\pm$  0,1 mètre).

Les renseignements inscrits sur la feuille de contrôle journalier doivent être le compte rendu sincère d'observations qui ne doivent être en aucune façon modifiées pour donner aux résultats une apparence plus satisfaisante car ces renseignements peuvent servir à déceler les erreurs sur le temps et sur le niveau de référence et à contrôler le fonctionnement du puits.

Lorsqu'il s'agit d'installations doubles, c'est-à-dire lorsqu'il y a deux marégraphes sur le même site, un contrôle réciproque des relevés des deux appareils peut également être utile pour déceler un mauvais fonctionnement du système.

#### (vi) Contrôles hebdomadaires

Chaque semaine, lorsque l'on change les feuilles d'enregistrement, on procède aux vérifications complémentaires suivantes :

- changement de la feuille d'enregistrement exigeant un collage,
- contrôle, et peut-être changement du stylet ou remplissage de la plume-réservoir,
- remontage de l'horloge,
- alignement de la nouvelle feuille sur l'heure exacte. Elle doit être contrôlée à nouveau après quelques minutes pour pouvoir observer les effets d'un jeu éventuel et les corriger,
- inscription de la date et de l'heure du début d'enregistrement sur la nouvelle feuille.

Un contrôle réciproque de l'échelle de marée et de la feuille d'enregistrement doit faire apparaître la même concordance qu'avec la feuille précédente. Si tel n'est pas le cas, on doit rechercher la raison de l'écart, il ne suffit pas de recalibrer le stylet.

Si la station dispose d'une sonde manuelle, elle peut être utilisée chaque semaine pour s'assurer que le niveau de référence n'est pas modifié.

Lorsque d'autres types de marégraphes sont utilisés, les procédures de contrôle seront bien entendu différentes de celles que l'on vient de citer mais, en général, elles seront indiquées dans le manuel du constructeur.

#### (vii) Détermination des défauts de fonctionnement

Des défauts pourront se produire occasionnellement mais avec un bon entretien préventif, ils seront rares. Chaque fois qu'un tel défaut se produira, il faudra en rechercher la cause afin de pouvoir y remédier. Certains défauts peuvent passer inaperçus si les procédures d'observation ne sont pas strictement respectées. Le test de Van de Castele permettra d'identifier la plupart des défauts du marégraphe. Des enregistrements simultanés du niveau de l'eau à l'intérieur et à l'extérieur du puits permettront d'identifier les défauts de celui-ci. Les écarts horaires non linéaires peuvent être mis en évidence en examinant la feuille de contrôle journalière. D'une manière générale, plus les observations seront notées avec précision, plus grande sera la possibilité d'identifier rapidement les défauts. Les observations réellement effectuées devront être notées sur la feuille de contrôle et aucun chiffre

ne doit être modifié pour faire apparaître une bonne concordance ; par exemple, en présence d'une forte houle, il sera impossible de faire un relevé exact sur l'échelle de marée et ce fait devra être mentionné sur la feuille de contrôle.

Un livre-journal devra être obtenu à la station marégraphique, dans lequel la date et l'heure de chaque visite seront inscrites en mentionnant la raison de la visite et les travaux réalisés et toute autre information méritant d'être notée.

Un tableau récapitulatif des contrôles essentiels que doivent effectuer les opérateurs figure à l'Appendice 1.

### 3.3 AUTRES TYPES DE MAREGRAPHES

Si de tels marégraphes enregistreurs à flotteur sont les plus répandus, bien d'autres types d'appareils sont couramment utilisés et nous allons en décrire quelques-uns. On trouvera à l'appendice 2 une liste des fournisseurs de marégraphes connus des auteurs de la présente étude.

#### (i) Marégraphe à flotteurs avec enregistreur à bande perforée

Le principe de fonctionnement de ces instruments est semblable à celui du marégraphe analogique, que l'on a déjà exposé, la seule différence étant la manière dont les informations sont enregistrées. Ces appareils ne donnent pas un enregistrement continu du niveau des marées ; ils enregistrent des hauteurs d'eau ponctuelles à des intervalles de temps déterminés à l'avance, en général tous les quarts d'heure. Ils contiennent un dispositif de codage qui est actionné par le mécanisme du flotteur. Ce dispositif a pour but de transférer un relevé de hauteur d'eau sur une bande à chaque période d'enregistrement. La hauteur d'eau est représentée par des perforations et un code binaire comme on peut le voir sur la figure 3.10.

La lecture de ces enregistrements par un opérateur est particulièrement fastidieuse et un appareil lecteur automatique est nécessaire pour traduire l'information contenue sur la bande en une autre forme plus utilisable.

#### (ii) Marégraphe pneumatique ou marégraphe à bulles

La description qui suit est limitée au marégraphe qui fonctionne avec un système à barboteur pneumatique. La figure 3.11 représente les éléments essentiels d'un tel système. De l'air dont le débit est régulé est envoyé dans un tube de faible diamètre jusqu'à une prise de pression fixée sous l'eau bien en dessous du niveau de marée le plus bas que l'on peut escompter. Cette prise de pression se présente en général sous la forme d'un cylindre vertical de faible hauteur fermé en haut et ouvert en bas. Un petit orifice est percé à mi-hauteur et l'air, dont le débit est régulé, pénètre dans le cylindre par l'intermédiaire d'un raccord fixé sur la face supérieure. Au fur et à mesure que l'air pénètre dans la prise de pression il se comprime et repousse l'eau vers le bas jusqu'au niveau de l'évent, et l'air s'échappe alors sous forme de bulles et revient à la surface. A condition que le débit de l'air soit faible et que le tube d'alimentation ne soit pas trop long, la pression de l'air dans le système est désormais égale à la somme de la pression due à la hauteur d'eau au-dessus de l'évent et de la pression atmosphérique. Un appareil enregistreur est relié au tube d'alimentation et il va enregistrer les variations du niveau de l'eau sous forme de variations de pression, selon la formule suivante :

$$P_m = \rho gh + P_A$$

dans laquelle

$\rho$  = densité de l'eau

g = constante gravitationnelle

h = hauteur de l'eau au-dessus de l'évent

$P_A$  = pression atmosphérique.

La plupart des appareils pneumatiques fonctionnant selon le principe du barboteur opèrent selon le mode différentiel, les capteurs étant conçus de telle manière que la pression du système est équilibrée par la pression atmosphérique à l'intérieur de l'appareil. La pression qui en résulte, saisie par le capteur, est donnée par la formule  $P_m = \rho gh$ , la hauteur d'eau étant directement proportionnelle à la pression.

Certains principes de conception doivent être observés dans le fonctionnement des systèmes à barboteur ; on peut citer les suivants :

a) niveau de référence du système

Le niveau de référence d'un système à barboteur est l'évent situé sur la paroi de la prise de pression. Il est essentiel que sa position ne soit pas modifiée et donc que la prise de pression soit solidement fixée au moment de l'installation.

b) volume de la prise de pression

La prise de pression joue un rôle de tampon, de sorte que les variations de pression induites par les vagues de surface ne provoquent que de petites variations de la hauteur de l'interface eau/air à l'intérieur de la prise de pression. L'amplitude de cette oscillation est non seulement fonction de l'amplitude des vagues mais aussi du rapport entre le volume du tube d'alimentation et celui de la prise de pression.

c) longueur du tube

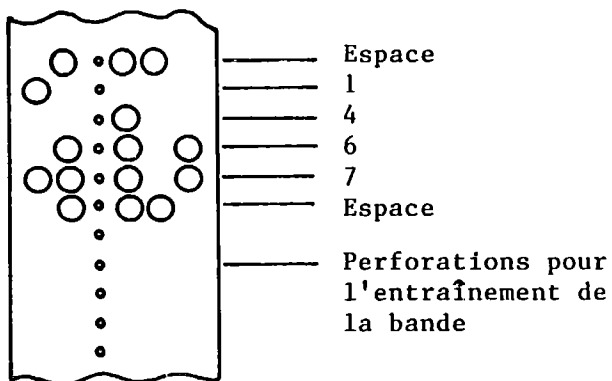
La longueur du tube d'alimentation est un facteur important, car elle commande les dimensions de la prise de pression, et le volume de celle-ci est proportionnel à la longueur du tube, plus il y a des pertes par frottement à l'intérieur du tube, et plus le tube est long plus les pertes sont importantes.

d) débit de l'air

Le débit de l'air doit être réglé de telle sorte que les bulles s'échappent par l'évent pendant toute la durée du cycle de marée. A la marée descendante, il n'est pas nécessaire que l'air soit introduit dans le tube puisque les bulles continueront à s'échapper de l'évent par suite de la diminution de la pression de l'eau. Mais à la marée montante, de l'air doit être introduit dans le système à un débit suffisant pour maintenir la position de l'interface eau/air à l'intérieur de la prise de pression. Le débit requis pour un système quelconque peut être déterminé par le calcul si l'on connaît le volume du système et la valeur maximale de l'élévation du niveau de l'eau. Lorsque des seiches se produisent, la valeur maximale de l'élévation du niveau de l'eau augmentera pour atteindre celle de la seiche de sens positif à la marée montante.

ENREGISTREURS A BANDE PERFOREE

OTT



Hauteur de l'eau : 1,467 mètre

FISHER & PORTER

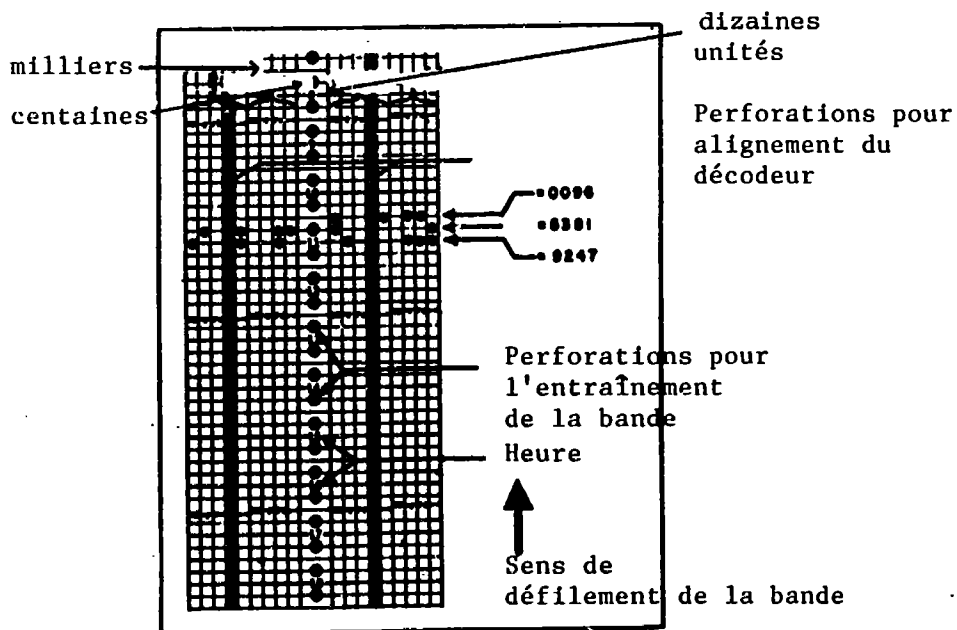
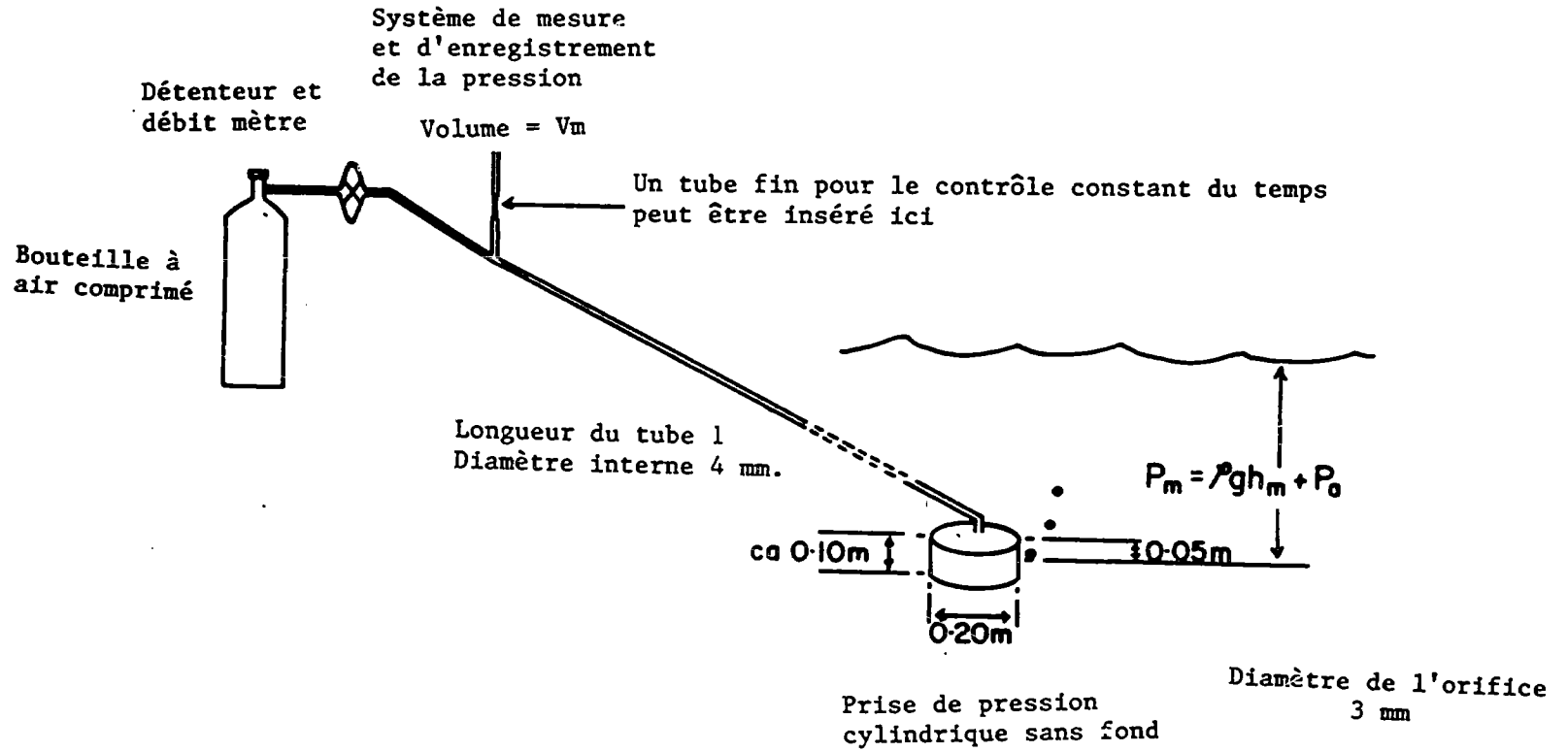


Figure 3.10

SYSTEME PNEUMATIQUE ELEMENTAIRE A BARBOTEUR



- 42 -

Figure 3.11

Il ressort ce qui précède que pour chaque installation envisagée il y a des limites dont on doit tenir compte si l'on veut que la pression surveillée soit la même que celle qui existe à l'évent de la prise de pression, compte tenu des tolérances requises.

Les marégraphes à pression installés sur le fond de la mer et qui enregistrent la pression à des intervalles d'un mois ou même d'un an sortent du cadre de cette étude. Les lecteurs sont priés de se reporter à Howarth and Pugh (1983) pour une étude plus approfondie de cette question.

### 3.4 SURVEILLANCE A DISTANCE

L'appareillage permettant d'assurer une surveillance à distance utilisera normalement une "sortie" prévue à cet effet sur le marégraphe. De très nombreux systèmes sont couramment utilisés mais ils se classent en général dans les catégories suivantes :

#### (i) Surveillance locale

Le dispositif utilisé peut se présenter sous la forme d'un indicateur à cadran, d'un enregistreur sur feuille-diagramme ou d'un affichage numérique relié par un câble électrique à liaison directe à un transmetteur placé sur le marégraphe.

#### (ii) Télésurveillance

Ce dispositif fonctionne selon le même principe que le système précédent mais on utilise une ligne téléphonique privée pour transmettre les signaux.

#### (iii) Télésurveillance avec dispositif d'interrogation

Ce système est relié à la ligne téléphonique du réseau public qui se trouve dans l'abri du marégraphe ; il est déclenché par l'appel et transmet les relevés du niveau de la marée au moment de l'appel.

#### (iv) Enregistrement chronologique automatique des données\*

Ce système est relié au réseau téléphonique public mais il est conçu pour transmettre une partie ou l'ensemble des données accumulées au moyen d'un terminal compatible situé à l'arrivée. L'accès au réseau téléphonique exige normalement un modem.

La norme de précision exigée pour les marégraphes est également valable pour tous les appareils de télé-surveillance. Lorsque le matériel de transmission est alimenté par le réseau électrique on doit prévoir une batterie de secours qui s'enclenche automatiquement en cas de panne.

---

\*. Vocabulaire international de l'informatique  
Isonorme Z 61.000

## BIBLIOGRAPHIE

- GREAT BRITAIN. Ministry of Agriculture, Fisheries and Food. 1965.  
Advisory committee on Oceanographic and Meteorological Research.  
Tides Gauges : Requirements.
- GREAT BRITAIN. Ministry of Agriculture, Fisheries and Food. 1979  
Committee on Tide Gauges. Operating instructions of tide  
gauges in the national network.
- HOWARTH, M.J. & PUGH, D.T. 1983 : Observations of tide over the  
continental shelf of North-West Europe. p. 135-188 in  
Physical Oceanography of Coastal and Shelf Seas (ed. B. John).  
Amsterdam : Elsevier. 470 p. (Elsevier Oceanography Series, 35).
- LENNON, G.W. 1968 : The evaluation of tide gauge performance  
through the Van de Castele test. Cahiers Océanographiques,  
20, 867-877.
- LENNON, G.W. 1971 : Sea level instrumentation, its limitations  
and the optimisation of the performance of conventional  
gauges in Great Britain. International Hydrographic Review,  
48(2), 129-147.
- LENNON, G.W. 1976 : National network to monitor sea level and the  
committee on tide gauges. Dock and Harbour Authority, 57,  
53-54.
- PUGH, D.T., 1972 : The physics of pneumatic tide gauges.  
International Hydrographic Review, 49(2), 71-97.
- PUGH, D.T., 1976 : Methods of measuring sea level. Dock and Harbour Authority,  
57, 54-57.
- PUGH, D.T. 1976 : The design of coastal tide gauges. p. 51-73 in,  
Symposium on tide recording (ed. R. Britton). London :  
Hydrographic Society. 200 p. (Hydrographic Society Special  
Publication n° 4).
- SEELIG, W.N. 1977 : Stilling well design for accurate water level  
measurement. U.S. Army, Coastal Engineering Research Center,  
Technical Paper n° 77-2.



#### 4. REDUCTION DES DONNEES

##### 4.1 NATURE DE L'ENREGISTREMENT MAREGRAPHIQUE

L'enregistrement du niveau de la mer peut s'effectuer à l'aide d'un grand nombre de moyens d'observation. L'enregistrement graphique à l'aide d'un cylindre actionné par un dispositif d'horlogerie et sur lequel court un stylet relié à un flotteur introduit dans un puits constitue, dans le cas d'un enregistrement local, le moyen le plus pratique d'observer le phénomène ; c'est par conséquent le système le plus couramment utilisé.

Il est possible d'améliorer ce système de diverses façons :

- (1) en remplaçant le puits par un système sensible à la pression ;
- (2) en enregistrant sur des bandes magnétiques ou des bandes de papier ;
- (3) en transmettant des signaux à un dispositif d'enregistrement à distance.

Toutes ces améliorations supposent que l'on dispose de moyens complémentaires de traduction des signaux et de spécialistes pour leur interprétation. L'expérience prouve qu'en cas de défaillance, l'enregistrement graphique permanent est une solution de remplacement indispensable.

La présente section traite essentiellement de l'enregistrement graphique et de l'interprétation précise des relevés de façon à obtenir des statistiques significatives.

##### (1) L'enregistrement graphique

Pour que l'interprétation puisse être valable, tous les diagrammes doivent comporter les renseignements suivants :

- (1) Indication claire de l'échelle de temps ou de la vitesse de déroulement du papier ;
- (2) Indication claire de l'échelle de hauteur ;
- (3) Unités utilisées ;
- (4) Temps local utilisé, soit par exemple : - 0100 = heure d'été britannique (BST).  
+ 0400 = Antilles, Venezuela
- (5) Heure du début et de la fin de l'enregistrement, cette marque de temps devant être effectuée à l'aide d'un chronomètre indépendant et précis.
- (6) Contrôle de la hauteur effectuée à l'aide d'une échelle de hauteur indépendante et de points de référence nationaux ainsi que d'une échelle marégraphique visible ou de repères du marégraphe ;
- (7) Les feuilles de contrôle, une fois remplies, doivent comporter toutes les indications nécessaires concernant les points 4 à 6 ci-dessus ET faire apparaître toutes les erreurs relevées ou corrigées ainsi que tous les problèmes rencontrés.

a) Utilisation d'un cylindre tournant en 24 heures et pouvant enregistrer durant 14 jours en continu.

Etant donné que les marées se produisent essentiellement en fonction du temps lunaire, la mer atteint son niveau maximal, dans la plupart des régions du monde, un peu plus tard chaque jour par rapport au jour solaire. (La journée lunaire compte environ 24 heures 50 minutes tandis que la journée solaire est de 24 heures).

L'opérateur d'un marégraphe peut donc laisser un certain nombre de jours un enregistrement sur un cylindre tournant en 24 heures, ce qui fait que les enregistrements se chevauchent sur la même échelle. Afin de faciliter l'interprétation, la limite du temps de sécurité est fonction des conditions locales (voir figures 4.1 a, b et c).

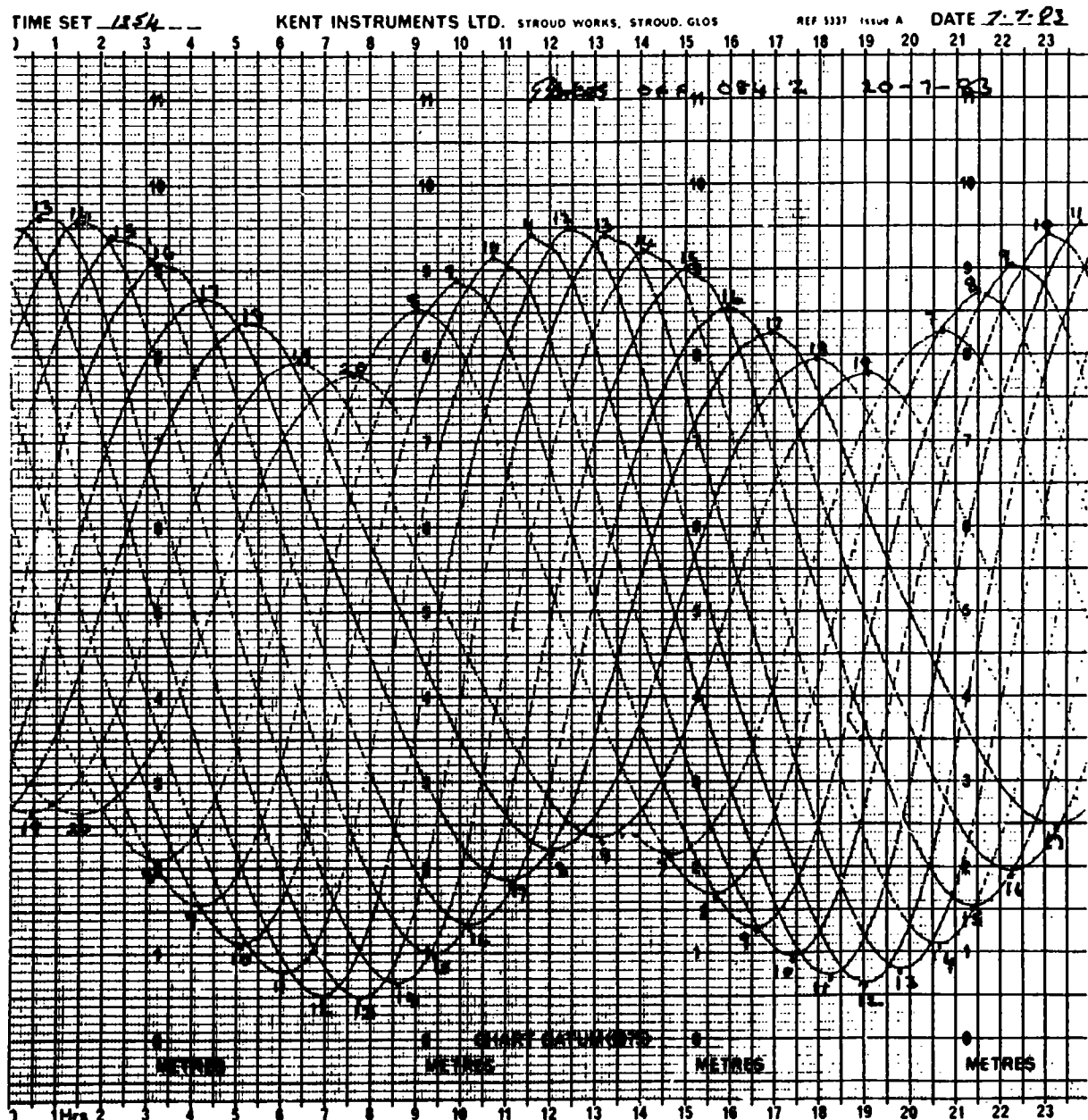


Figure 4.1a - Relevé effectué à Liverpool (Angleterre) sur cylindre d'enregistrement tournant en 24 heures, pendant 13 jours.

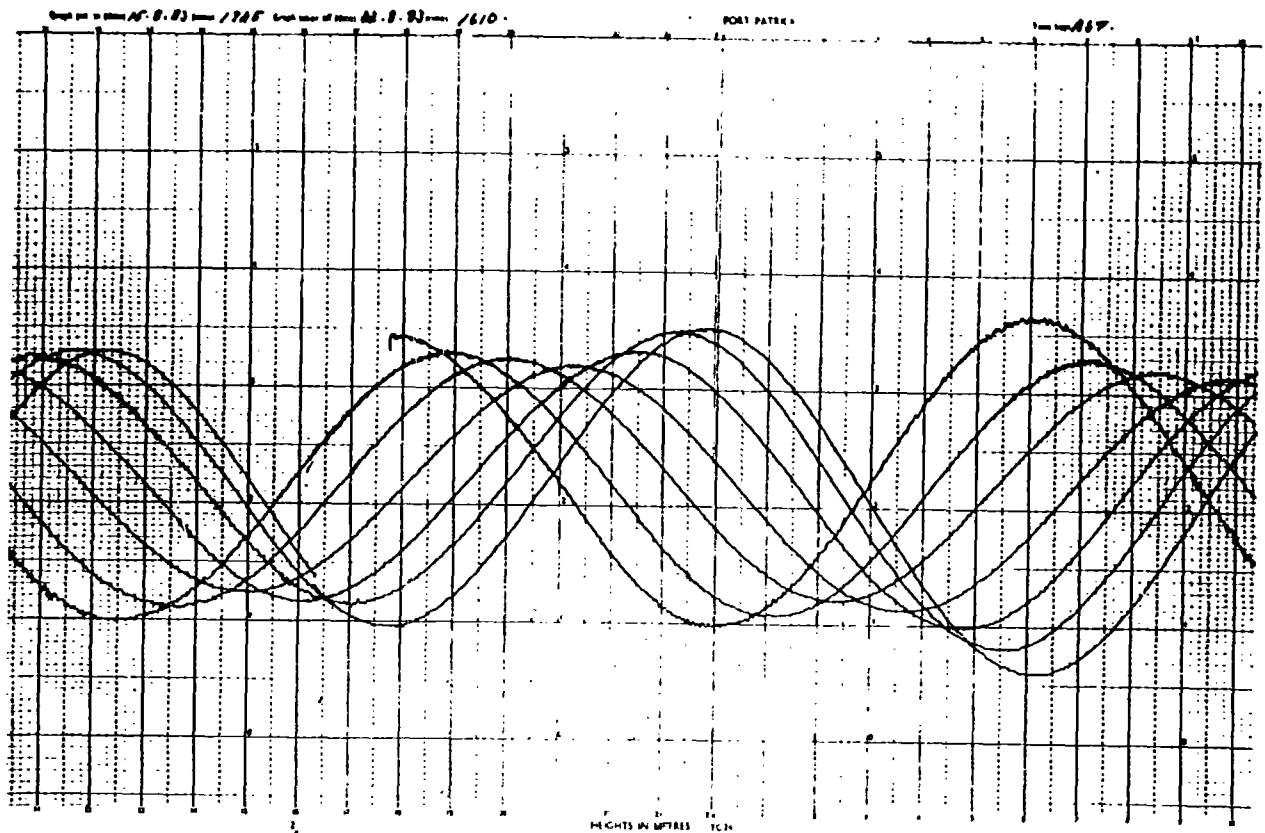


Figure 4.1b - Relevé effectué à Portpatrick (Ecosse) sur cylindre d'enregistrement tournant en 24 heures, pendant 7 jours.

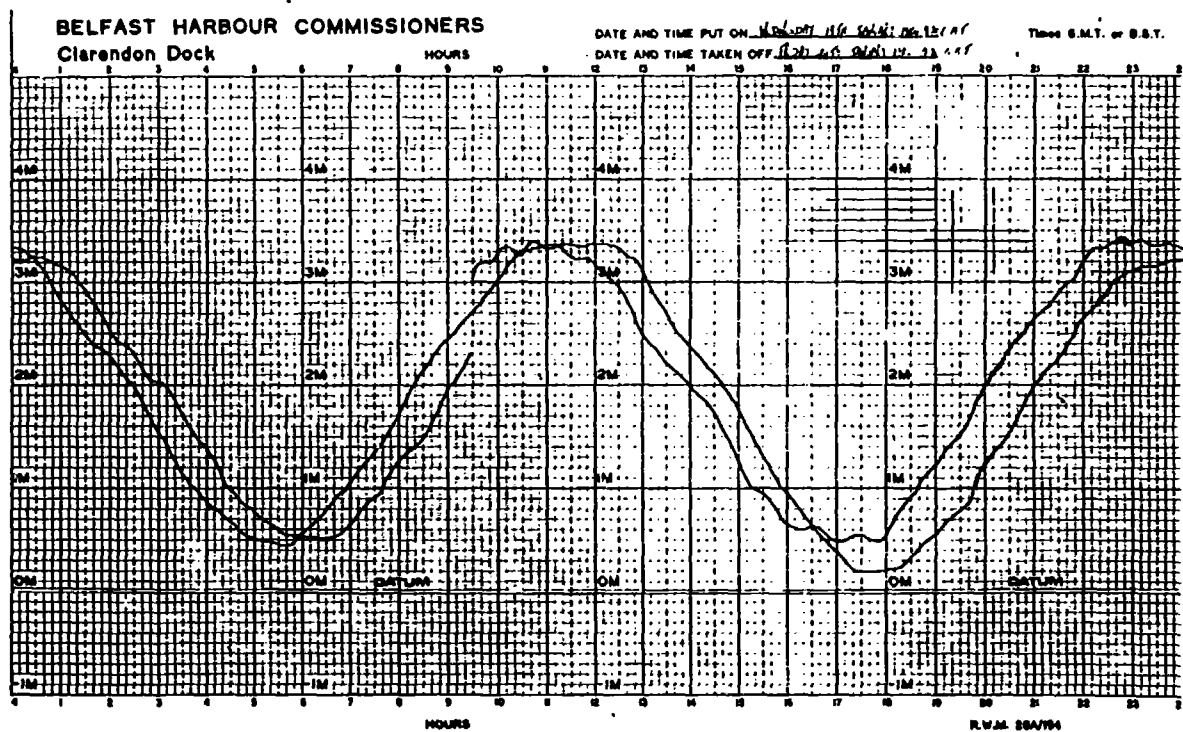


Figure 4.1c - Relevé effectué à Belfast (Irlande du Nord) sur cylindre d'enregistrement tournant en 24 heures, pendant 2 jours.

- b) Cylindre d'enregistrement de 7 jours dont la feuille est en général changée une fois par semaine

Du point de vue de l'interprétation, ce type de marégraphe est rarement recommandé, l'ampleur de l'échelle de temps étant fonction de la circonférence du cylindre. Dans la plupart des sites marégraphiques, l'échelle obtenue est fréquemment trop petite pour permettre de déterminer avec précision les niveaux horaires, en particulier lorsque l'écart entre les niveaux excède 2 mètres (voir fig. 4.2).

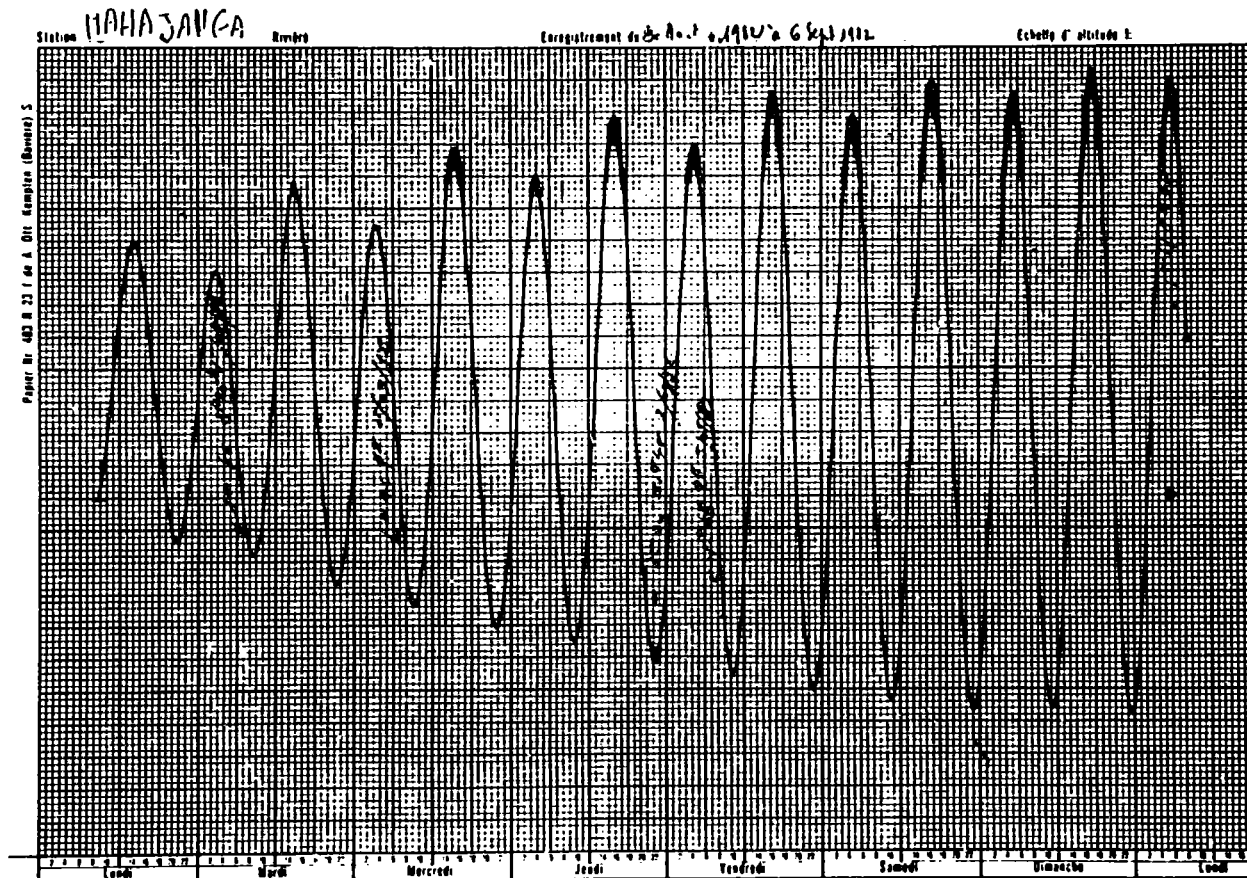


Figure 4.2 - Relevé effectué à Madagascar durant sept jours.  
Ecart entre les niveaux supérieurs et inférieurs de la marée : 4 mètres.  
Echelle sur l'original : 2 mm = 1 heure, 5 cm = un mètre.

- c) Enregistrement sur bande continue - l'enregistrement dure autant que la longueur de la bande de papier.

Dans bien des cas, pour ce type de relevé, on utilise un marqueur de temps indépendant dont le tracé permet en outre, éventuellement, de vérifier l'alignement de la feuille au fur et à mesure qu'elle se déplace sur le marégraphe.

L'interprétation est facilitée par de fréquentes vérifications du déplacement du stylet par rapport à la ligne du zéro qui constitue un point de référence pour le temps et la hauteur (voir fig. 4.3).

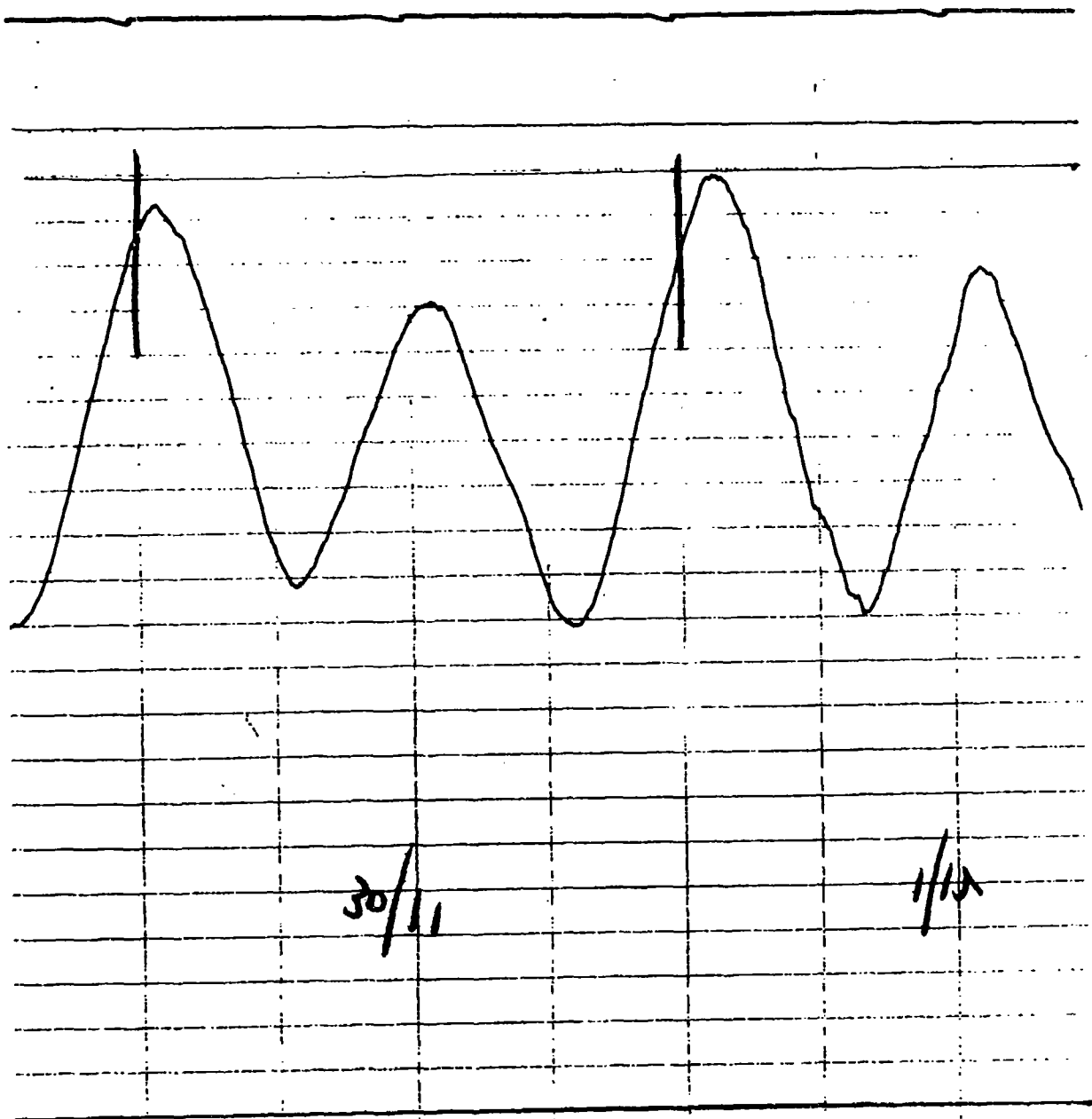


Figure 4.3 - Enregistrement sur bande continue effectuée en Australie

#### 4.2 INTERPRETATION DES RELEVÉS

Une fois extraits du marégraphe, les relevés graphiques contiennent encore une masse de données qu'il faut collationner et interpréter avec précision afin de pouvoir en faire le meilleur usage possible. Ces données doivent être étiquetées de façon claire par l'opérateur qui doit mentionner les dates et les heures ; elles doivent en outre être référencées par rapport à un niveau de référence connu. La ligne du tracé marégraphique constituant un enregistrement unique des événements qui se produisent en un lieu donné, il est possible par exemple de prendre connaissance des effets des tempêtes ou des vents violents, ou de détecter toute anomalie de fonctionnement de l'instrument grâce à un examen de la configuration du tracé. Les trois sections suivantes donnent un aperçu des problèmes que l'opérateur peut rencontrer.

#### 4.2.1 ETIQUETAGE DES DIAGRAMMES ET NIVEAUX ZERO

##### (i) Temps local

Lorsque l'enregistrement ne comporte aucune indication concernant le temps local adopté ou si l'on ignore ce paramètre, il est tout à fait possible de le définir en reportant sur la courbe marégraphique les heures auxquelles on prévoit des marées hautes.

##### (ii) Niveau de référence

Les relevés concernant le niveau de la mer ne présentent réellement d'intérêt que s'ils sont effectués par rapport à un point de référence. Tout marégraphe doit comporter un repère pouvant être relié au niveau de référence national (voir figure 4.4).

#### SCHEMA DE LA RELATION ENTRE LES NIVEAUX DE REFERENCE DES MAREGRAPHERS

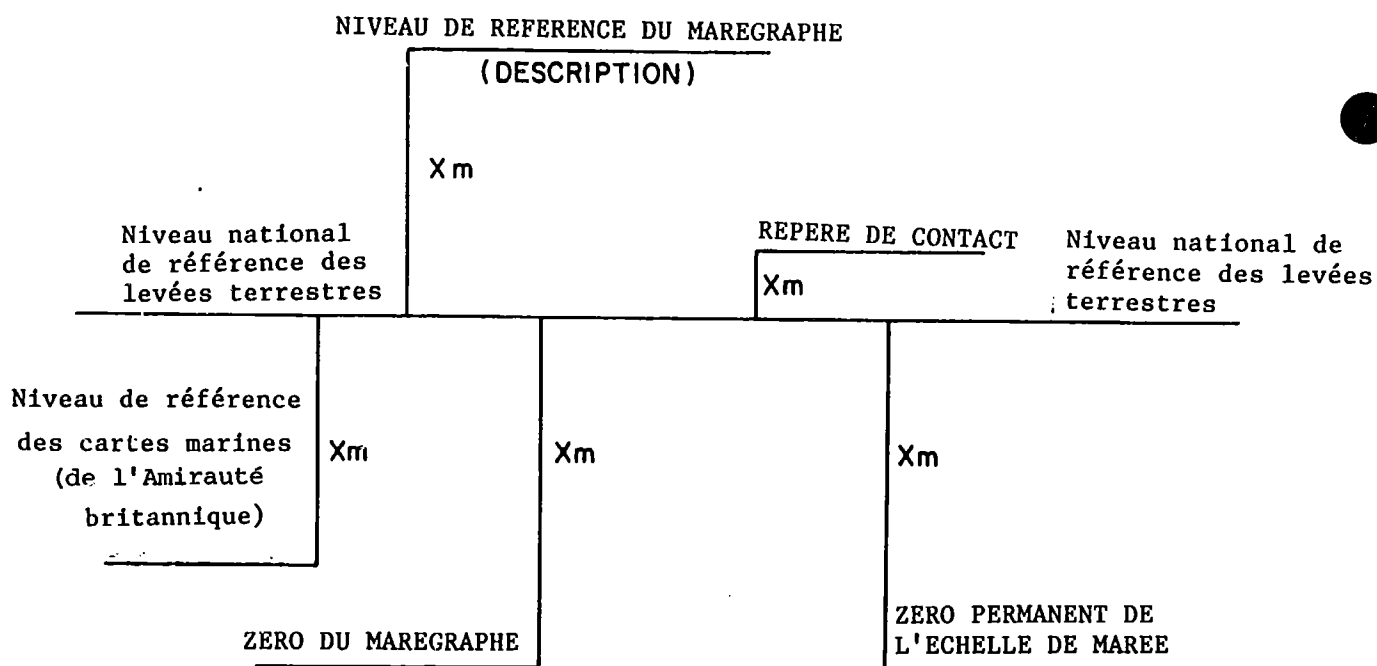


Figure 4.4

Figure 4.4

##### (iii) Datation des relevés

Il importe de s'assurer constamment que le nombre de courbes marégraphiques correspond aux dates indiquées sur le diagramme. En effet le stylet peut se trouver à court d'encre, le dispositif d'horlogerie peut être arrêté ou les étiquettes peuvent comporter une erreur.

(iv) Notes complémentaires

Tout relevé doit être assorti d'un contrôle visuel de comparaison des échelles de marée ou d'une vérification du type Van de Castele effectuée à l'intérieur du puits.

Le relevé précis des valeurs (voir la feuille de contrôle figurant au tableau 4.1) est grandement facilité par la prise de notes concernant les conditions météorologiques ou tout autre problème d'ordre mécanique.

H.516

**SUMMARY OF CHECKS ON AUTOMATIC TIDE GAUGE**

(For instructions on completing this form—see back)

Work commencing 22 October 1984

Place LARNACK SHEPHERD

Time kept (GMT or BST or Zone) GMT

Date and time of starting record 22-10-84 0830 Date and time of removing record 28-10-84 0830

Date	Correct Time	Time on Chart	Height of tide on tide scale	Height of tide on Chart	Sound on tide scale	WIND		Remarks (including times of sudden changes in wind force or direction)	Initials of Checker
						Direction	Force		
22-10-84	0930	0930	2.24	2.04	0.2	SE	6/7	SILT CLEARED BY DIVER 1200. Overcast with rain.	JD
23-10-84	0940	0939	2.20	2.18	0.1	WSW	6/7	Clock not corrected	RD
24-10-84	0935	0933	1.80	1.80	NIL	WSW	5	Clock not corrected	SA
25-10-84	0930	-	1.62	-	NIL	WSE	6/7	Clock not corrected	JD
26-10-84	0930	0830	1.3	1.29	0.1	Nly.	3/4	Four started at 1700 hours. Contin. rain. Corrected at 1230. Clock not corrected.	SA
27-10-84	0926	0925	1.00	1.00	NIL	Wly.	2-3	Overcast / drizzle.	AS
28-10-84	0928	0926	1.02	1.02	NIL	SE	7-8	Clock not corrected	JD
29-10-84	0930	0925	0.90	0.90	NIL	SE	4	Fin. Pen 5 min stop on removal	RD

..... James Kaye/John .....  
Officer in charge of group

Table 4.1

FEUILLE DE CONTROLE D'UN MAREGRAPHE AUTOMATIQUE

Tableau 4.1

4.2.2 ANOMALIES D'ORIGINE MECANIQUE

Quel que soit le cas, les remarques portées par l'opérateur sur les bordereaux de contrôle ou directement sur les diagrammes facilitent l'identification des problèmes rencontrés.

En effet certains problèmes d'ordre mécanique bien que différents peuvent avoir les mêmes aspects visuels sur le tracé des diagrammes et l'absence de remarques à ce sujet rend difficile leur distinction et classification. S'il n'y a pas de remarques pouvant aider, il est recommandé de vérifier tout profil marégraphique présentant des anomalies en le confrontant aux relevés éventuellement effectués dans un emplacement situé à proximité. Il est ainsi possible de savoir si l'effet produit est d'origine mécanique et s'il constitue d'nc une anomalie en soi ou s'il tient aux conditions météorologiques. L'erreur mécanique peut dans des cas être interpolée ou corrigée d'une certaine manière tandis que les effets météorologiques doivent toujours être conservés.

Quelle que soit l'erreur mécanique, du point de vue de la réduction des données (et de l'analyse définitive), l'important est de réduire au minimum les lacunes rencontrées.

Mais cette pratique de combler les lacunes doit être utilisée avec précaution et, le cas échéant, prendre connaissance sur place du profil marégraphique. Il ne sert en effet à rien de chercher à combler une lacune à l'aide d'observations contenant des valeurs prédites ou tout simplement à l'aide d'une évaluation vague lorsqu'il y a une possibilité de tempête ou de vents violents (voir fig. 4.5 a, b et c).

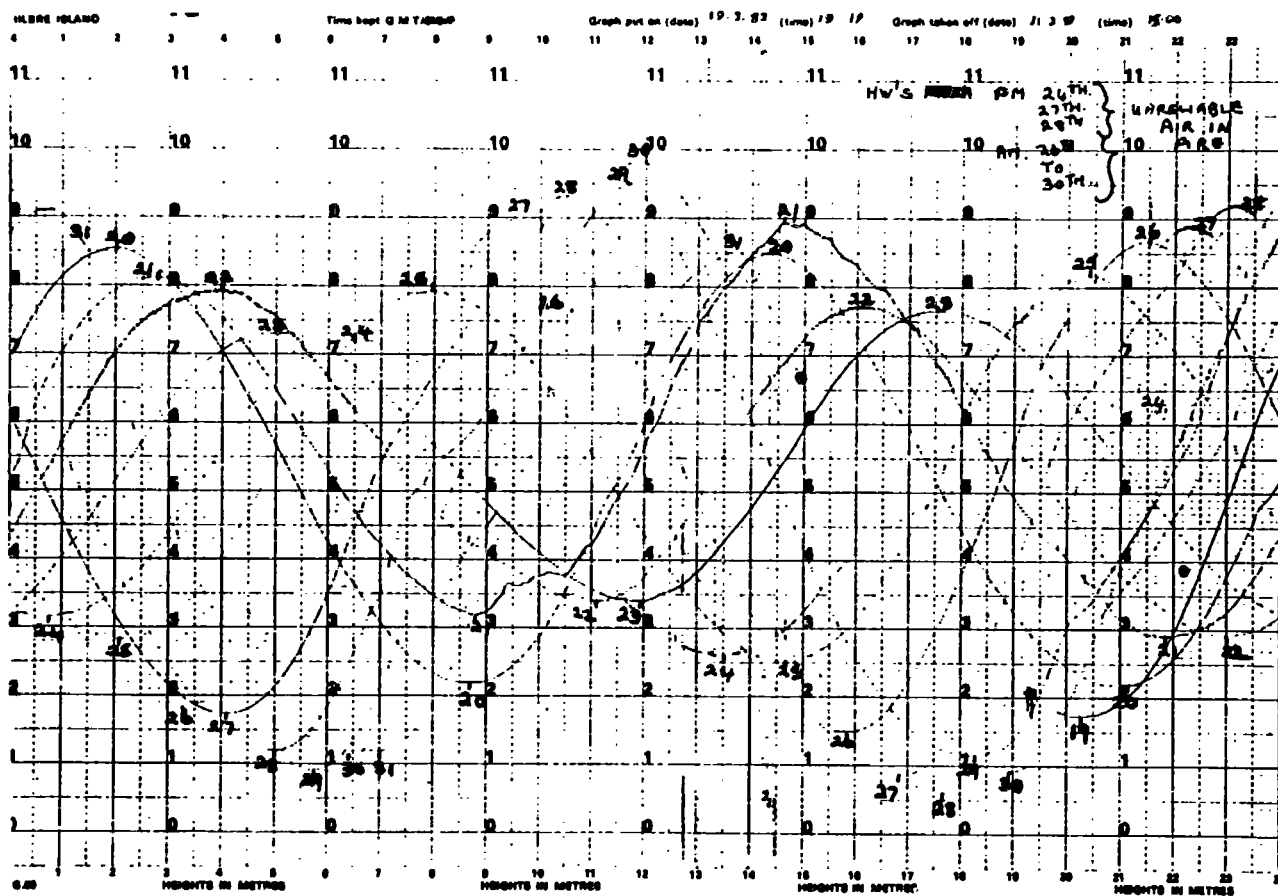


Figure 4.5 a - Décalage dans l'enregistrement dû à un grave problème mécanique



(i) Anomalies du dispositif d'horlogerie

Les erreurs de temps sont traitées à la section 4.3 ; toutefois, tout arrêt du dispositif d'horlogerie est aisément détectable parce qu'il provoque la formation d'une ligne verticale.

Pour autant qu'il ne s'est pas produit plus d'une marée haute et plus d'une marée basse avant la découverte de l'anomalie, il est possible de dresser le profil marégraphique probable.

Le tracé du stylet (dont le mécanisme est relié au flotteur) indique la hauteur respective de la haute mer et de la basse mer, ce qui permet d'esquisser la partie manquante du profil. Il convient néanmoins d'user de circonspection lors de l'évaluation du moment où se produisent ces extrêmes. Si les conditions météorologiques ont été très mauvaises, il est préférable de ne pas tenir compte du relevé.

S'il s'est produit plus d'une marée avant la découverte de l'anomalie, le tracé du stylet n'indiquera que les niveaux extrêmes obtenus ; l'interpolation ne doit pas être tentée.

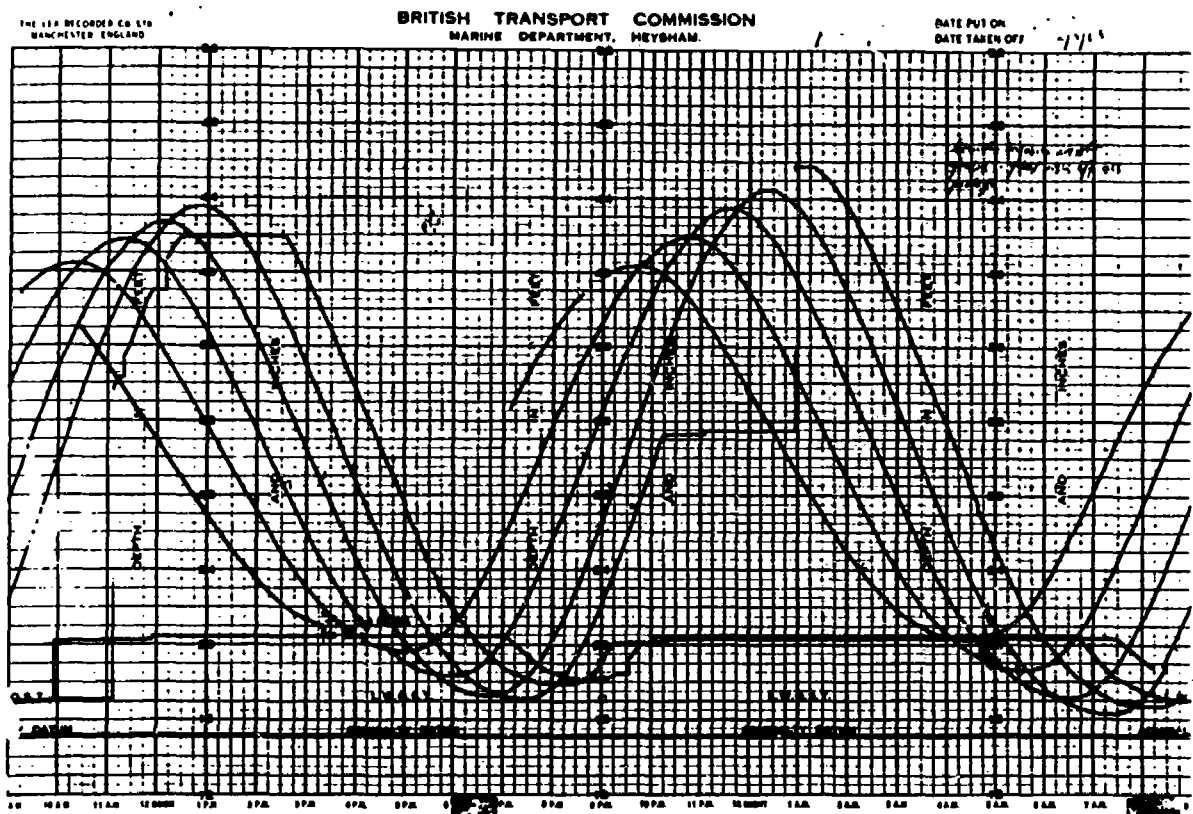


Figure 4.5. b - Problèmes causés par le contrepoids et le cable du flotteur. L'interpolation est dans une certaine mesure possible.

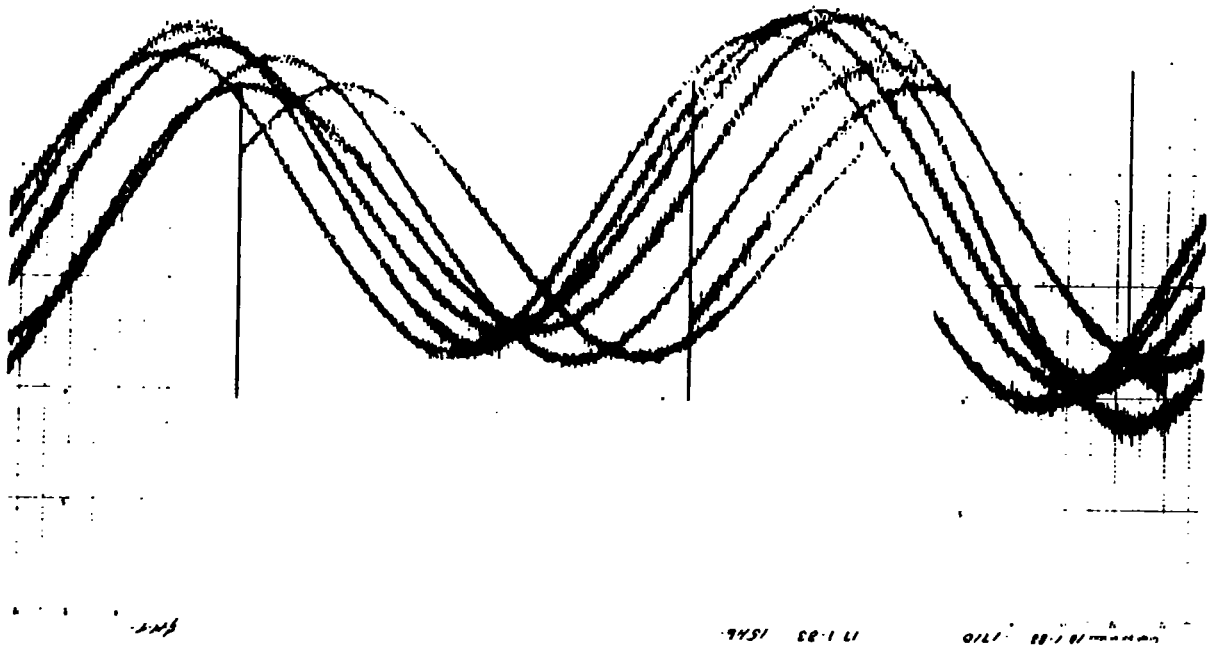


Figure 4.5. c - Arrêts du mécanisme d'horlogerie

La présence de tempêtes empêche toute interpolation

(ii) Manque d'encre ou dérapage du stylet

Lorsqu'un profil se dessine d'un côté ou de l'autre d'une portion manquante du relevé, il est possible de retracer ladite portion. Il ne faut cependant pas chercher à retracer un profil correspondant à plus de six ou sept heures d'enregistrement. Comme dans le cas ci-dessus de la défaillance du système d'horlogerie, les moments les plus importants de la marée, qu'il ne faut pas chercher à estimer, sont ceux qui correspondent à la haute mer et à la basse mer.

(iii) Blocage du flotteur

Ce problème se manifeste sous la forme de soubressauts du tracé, le flotteur se coinçant puis se libérant. On peut sans aucun problème interpoler de brèves périodes allant jusqu'à une heure. Toutefois, si le flotteur est très couvert d'organismes marins, les enregistrements montreront aussi les effets de l'envasement.

#### (iv) Envasement

L'envasement du puits provoque un ralentissement du débit de l'eau correspondant à la marée. Ce phénomène peut dans certains cas apparaître sur l'enregistrement (en particulier si son allure normale est bien connue de l'opérateur) ; toutefois, la plupart du temps, il n'est possible de s'en rendre pleinement compte qu'au terme d'une analyse approfondie, sauf si l'envasement s'élève à un niveau si haut que le profil de l'enregistrement est totalement altéré. Il arrive que l'envasement provoque la formation de "tracés plats" à marée basse et à marée haute surtout lors des marées de vives-eaux. Lorsque le relevé porte sur plusieurs jours, il est souhaitable de laisser un blanc tant que le puits n'est pas dégagé et d'indiquer sur les diagrammes ou sur les bordereaux de contrôle que l'on a procédé ainsi.

#### (v) Chevauchement des spires du câble du flotteur

Ce problème ne se voit pas toujours sur les enregistrements marégraphiques, notamment lorsqu'il se produit de manière constante. Le seul cas dans lequel la détection et l'interpolation sont possibles, c'est lorsque le câble se libère soudain au bout de quelques tours. Au même titre que le blocage du flotteur, ce phénomène se traduit par de légers soubresauts dont le tracé peut être corrigé.

#### 4.2.3 EFFETS DES CONDITIONS METEOROLOGIQUES

Liée à l'action du soleil et de la lune sur l'océan mondial, l'énergie des marées a ses effets perturbés par la présence des masses continentales ainsi que par les variations de la profondeur de la mer et les conditions atmosphériques.

Certains de ces effets apparaissent avec netteté sur les relevés marégraphiques.

#### (i) Seiches

Ce sont de brèves oscillations, typiques des bassins fermés peu profonds tels que la mer du Nord et certains mouillages fermés.

Ces effets doivent être régularisés ou filtrés lors du relevé des niveaux marégraphiques à partir des enregistrements (voir figure 4.6)

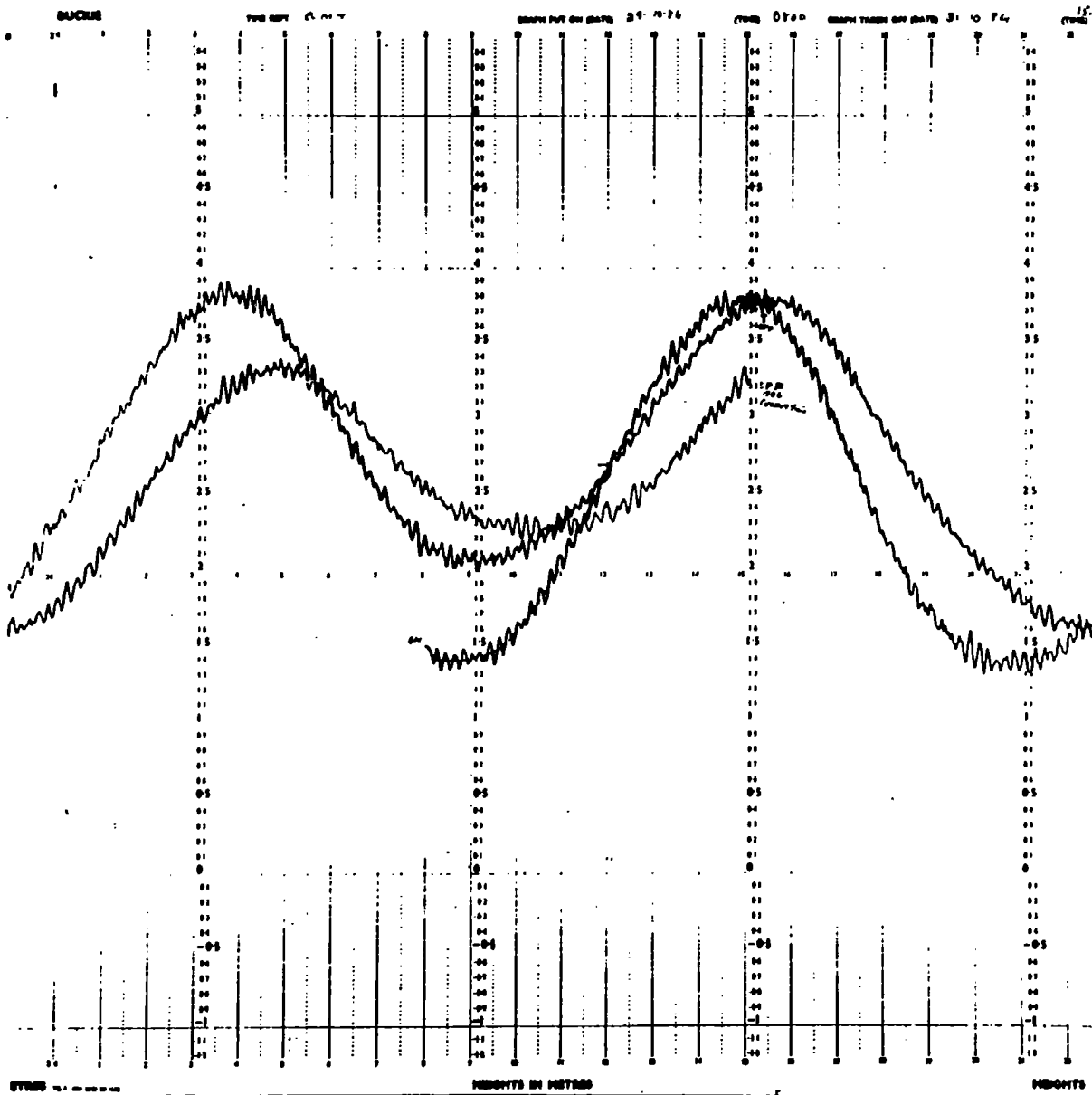


Figure 4.6 - Les seiches apparaissant sur les relevés peuvent être avec soin défalquées de part et d'autre de l'axe du tracé

(ii) Ondes de tempête

Du fait des variations des vents et de la pression atmosphérique, le niveau marégraphique observé peut être très différent de la valeur prédite, en particulier en cas de tempête. Ces variations peuvent entraîner la formation de marées exceptionnellement hautes (ondes positives) ou exceptionnellement basses (ondes négatives). Le calendrier des marées peut en être aussi considérablement modifié, ce qui rend difficile le marquage des jours lorsque ceux-ci ne sont pas déjà inscrits.

Ces effets ne doivent être ni régularisés ni filtrés lors du relevé des niveaux marégraphiques à partir des enregistrements (voir figure 4.7).

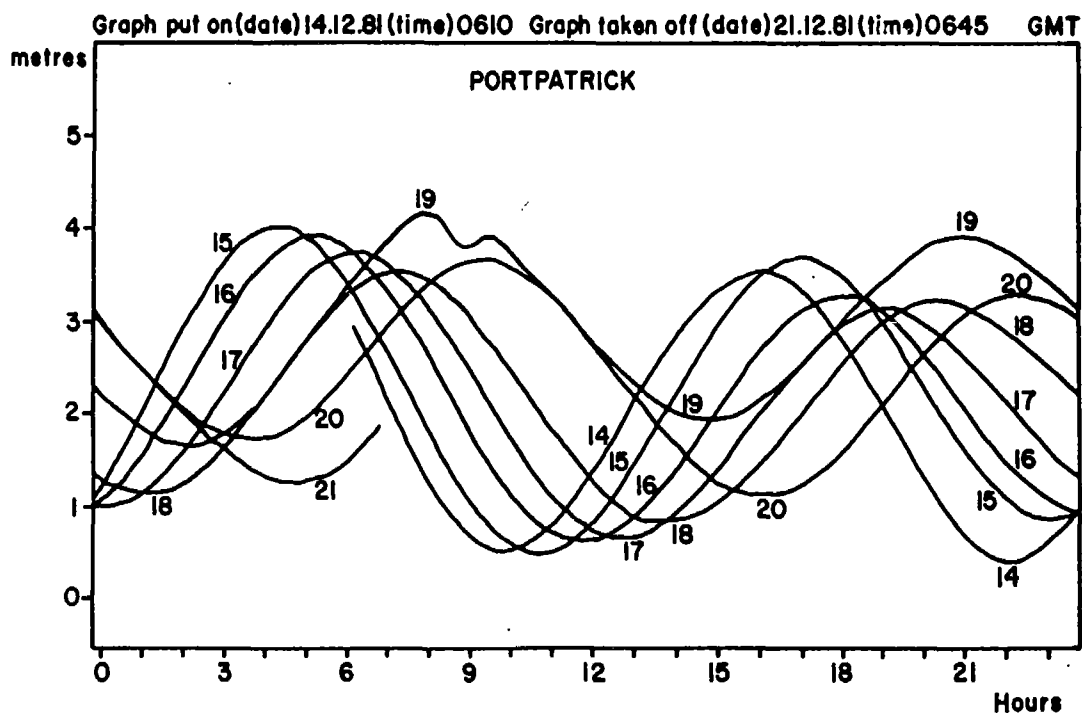


Figure 4.7 - Les ondes de tempête apparaissant sur les relevés ne doivent pas être régularisées..

(iii) Tsunamis

Les tsunamis ou ondes sismiques océaniques, aux effets destructeurs, sont la conséquence des tremblements de terre et des éruptions volcaniques. Dans les régions où ces phénomènes se produisent (essentiellement dans les Iles du Pacifique), leur effet sur les marégraphes sont dévastateurs. Il faut donc s'attacher, tout particulièrement dans ces secteurs, à protéger les installations contre les "tempêtes de forte intensité" (voir fig. 4.8).

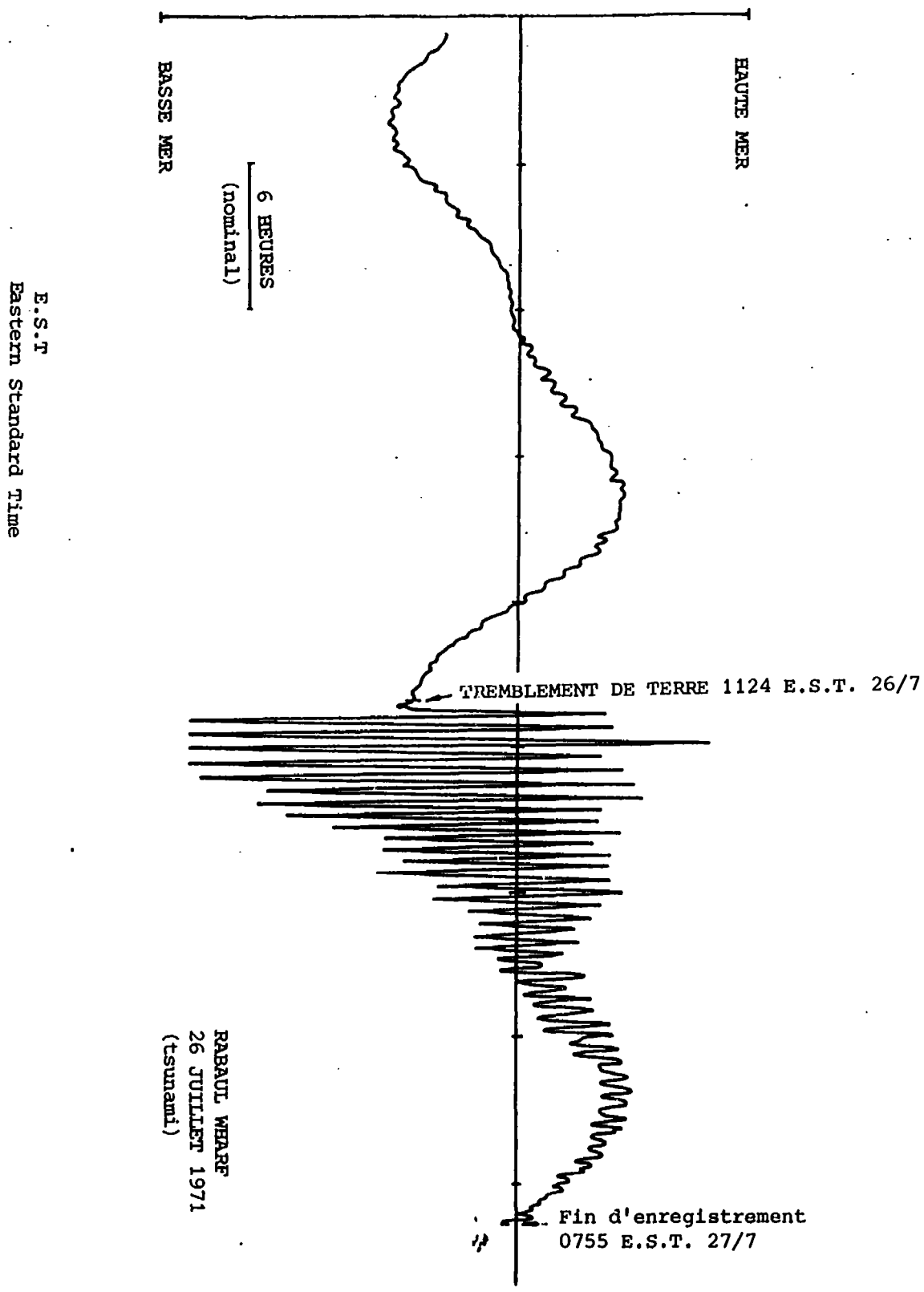


Figure 4.8 - Effets d'un tsunami sur un marégraphe

### 4.3 RELEVÉ DES NIVEAUX

D'une manière générale, les niveaux observés sont d'autant plus utiles que le degré de précision avec lequel leur relevé a été effectué est plus élevé.

Le relevé, quotidiennement, de la hauteur de la basse mer et de la haute mer et la moyenne des résultats obtenus sur un mois et sur un an produisent des NIVEAUX MAREGRAPHIQUES MOYENS

Le relevé :

(a) des hauteurs sur 3 heures,

ou (b) des hauteurs toutes les heures

et la moyenne des résultats obtenus sur un mois et sur un an produisent les VALEURS MOYENNES DU NIVEAU DE LA MER.

Le relevé toutes les heures des hauteurs corrigées intégralement en fonction de la marche de l'horloge et des erreurs de hauteur sur une longue période peut être utilisé :

(a) Pour procéder à l'analyse intégrale des marées,

(b) Pour établir des statistiques du niveau moyen de la mer

(c) Pour étudier le régime des marées.

En conséquence, afin d'utiliser au maximum ces données, il est préférable de procéder avec précision à l'ensemble des corrections lors du relevé des niveaux. Cette opération peut nécessiter de la part de l'opérateur une attention soutenue grâce à laquelle il puisse être en mesure de poser les questions suivantes et d'obtenir des réponses à ces questions :

#### (i) Enregistrements

1) Quelle est l'heure du lieu ?

2) Quel est le niveau de référence ?

3) Les dates données concordent-elles avec les enregistrements ?

4) Les relevés comportent-ils des notes complémentaires ?

5) A-t-on procédé à des contrôles du temps ou des niveaux et ces vérifications sont-elles visibles ou ont-elles été notées ?

6) La feuille d'enregistrement a-t-elle été correctement placée sur le cylindre ?

7) Y-a-t-il eu des modifications de l'heure ou des niveaux de référence ? Ces modifications sont-elles visibles ou ont-elles fait l'objet de notes ?

8) Les contrôles de la continuité font-ils apparaître une tendance ?

9) Existe-t-il des tendances qui contredisent d'autres données ?

- 10) Y a-t-il des défauts mécaniques visibles ? Peut-on remédier à ces défauts ?
- 11) Y a-t-il trace d'effets des conditions météorologiques ?
- 12) Dispose-t-on de relevés effectués dans un site voisin et pouvant être utilisés pour établir une comparaison ?

(ii) Marégraphes à enregistrement numérique

(l'interprétation de la bande nécessite des moyens complémentaires)

- 1) Quelle est l'heure du lieu ?
- 2) Quel est le niveau de référence ?
- 3) Les heures du début et de fin de l'enregistrement ont-elles été notées ?
- 4) Le nombre de valeurs obtenues concorde-t-il avec les heures de début et de fin de l'enregistrement ?
- 5) Dans le cas du marégraphe à pression, dispose-t-on de tous les paramètres nécessaires, c'est-à-dire des données concernant la densité, la pression du gaz, la longueur du tube, etc ?

(iii) Erreurs du dispositif d'horlogerie

La plupart des systèmes d'horlogerie qui équipent les marégraphes retardent ou avancent naturellement sur une certaine période et/ou du fait de la FRICTION.

Il peut y avoir trop de jeu dans le mécanisme ; autrement dit, même si le stylet et le dispositif d'horlogerie sont correctement réglés, le cylindre enregistreur peut mettre quelques minutes à faire démarrer l'ensemble c'est-à-dire à surmonter les frictions du mécanisme.

(iv) Contrôle de la continuité

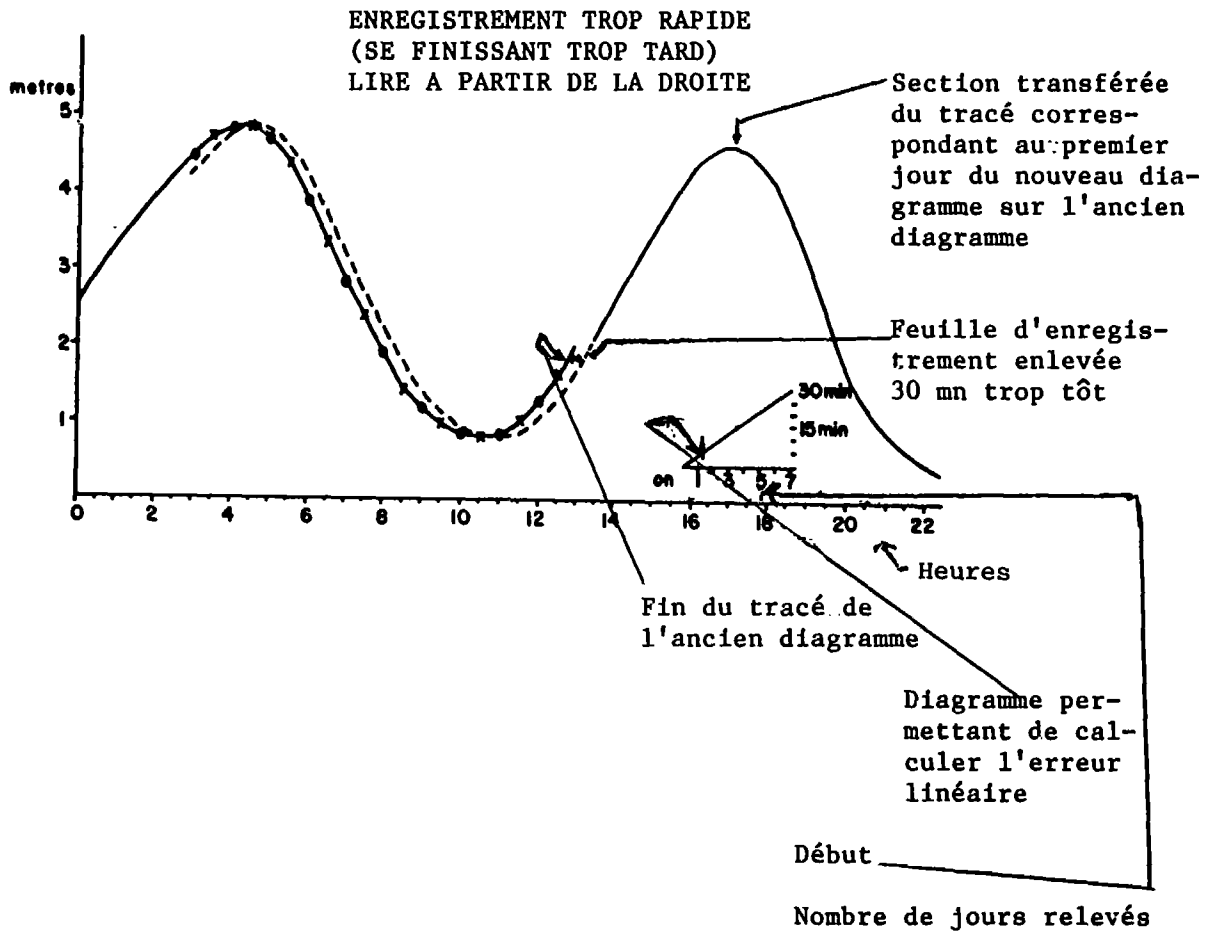
Il est possible de vérifier le bon fonctionnement du dispositif d'horlogerie en repérant l'endroit où se termine le tracé du stylet sur chacun des diagrammes d'un nombre de relevés donné ou, dans le cas de l'enregistrement en continu, en procédant à un certain nombre de contrôles.

En reportant une section du tracé du diagramme a (sortie) sur le diagramme b (entrée), on doit normalement obtenir une ligne continue. Toute solution de continuité dénote une défaillance du dispositif d'horlogerie ou une erreur de l'opérateur. Il convient de garder mention des erreurs apparues en examinant chacun des enregistrements ou en procédant à chacun des contrôles.

On applique alors aux niveaux les résultats obtenus, par exemple de la manière suivante :

- 1) Aucune erreur apparente - relever les hauteurs obtenues en utilisant l'échelle du diagramme.
- 2) Par rapport au diagramme suivant, le tracé du stylet se termine en retard - s'assurer que le diagramme suivant ne commence ni ne finit trop tôt (enregistrement réglé à une mauvaise heure par l'opérateur) - puis se reporter à droite pour effectuer la correction nécessaire ; peu de corrections ou aucune correction au début de l'enregistrement (ou dernière heure correcte connue), d'où accroissement par rapport à l'échelle d'erreur (voir figure 4.9 a).





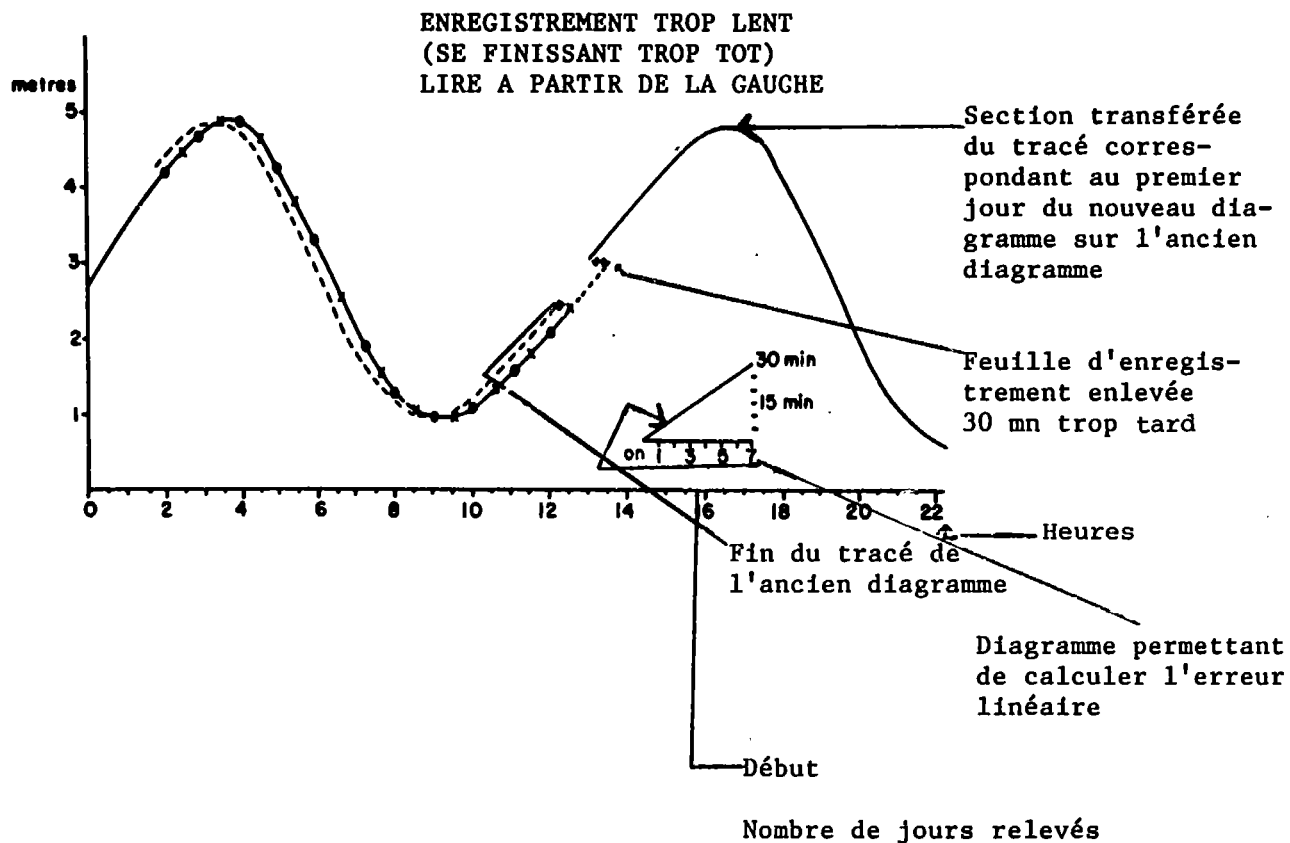
o = hauteur horaire normale (échelle du diagramme)

x = relevé de la hauteur pour corriger l'erreur

--- : tracé obtenu après correction de l'heure

Figure 4. 9 a

- 3) Le tracé du stylet s'arrête trop tôt au moment de l'extraction du diagramme : s'assurer que le diagramme suivant ne commence ni ne finit trop tard (diagramme réglé à la mauvaise heure par l'opérateur) puis, lire à partir de la gauche pour corriger l'erreur ; peu de correction ou aucune correction au début de l'enregistrement (ou de la dernière heure correcte connue) augmentant en fonction de l'échelle d'erreurs (voir figure 4. 9 b).



o = hauteur horaire normale (échelle du diagramme)

x = relevé de la hauteur pour corriger l'erreur

--- : tracé obtenu après correction de l'heure

Figure 4. 9 b

- 4) Effet du jeu dans le mécanisme. C'est là un phénomène très difficile à détecter sans le concours d'un bon opérateur de marégraphe étant donné que le cylindre d'enregistrement ne fait que tourner un peu trop lentement. Des petites portions de tracés verticaux apparaissent sur le tracé sinusoïdal de la marée sont un indice de cet effet, mais ils ne sont visibles que lorsque l'effet du jeu est important.

En règle générale, tout bon opérateur disposant d'un chronomètre indépendant et précis et remplissant les bordereaux de vérification ou portant clairement les remarques nécessaires sur les relevés est en mesure de détecter toute tendance du mécanisme d'horlogerie ; ce n'est donc qu'une activité de routine.

Vérifier le nombre d'heures ou de jours prévus - il doit y avoir un rapport relativement logique entre les erreurs détectées. Si tel n'est pas le cas, le fonctionnement du chronomètre doit être mis en cause.

(v) Autres erreurs à prendre en considération

- 1) Diagramme placé du mauvais bord du cylindre. La continuité des tracés sera soit élevée, soit faible, ce qui peut être interprété à tort comme une erreur de réglage de l'heure, incompatible avec d'autres tracés d'enregistrements.

Sur le nouveau diagramme la continuité est élevée lors de la marée descendante et faible lors de la marée montante.

Mais attention aux seichés !

- 2) La feuille est fixée de travers. La feuille n'est pas alignée correctement sur les pignons ou sur le cylindre. Si la feuille a été coupée, vérifier en réalignant les traces de l'encre, c'est-à-dire en repositionnant la feuille sur le cylindre. Un trop mauvais alignement peut être difficile à corriger. Il peut être alors nécessaire de redessiner complètement l'échelle hauteur-durée. Ne pas oublier que l'ensemble stylet/flotteur est indépendant du dispositif d'horlogerie et du diagramme imprimé. Quel que soit son degré d'endommagement (à la suite d'une chute par exemple), le cylindre enregistreur continue de tourner UNE FOIS par 24 heures ou une fois par semaine. Du fait de la distorsion, le diagramme peut être incorrectement fixé dans des proportions plus ou moins grandes indépendamment de toute erreur inhérente au système d'horlogerie.
- 3) Feuilles humides ou froissées à la suite d'un stockage défectueux ou du fait de l'humidité du lieu. Là encore, il faut reconstituer l'échelle pour régler ce problème.
- 4) La vitesse du papier varie sur les diagrammes à enregistrement continu. D'une manière générale, les marégraphes à enregistrement continu sont équipés d'un marqueur horaire indépendant qui fait une marque à intervalles réguliers. Vérifier la vitesse en mesurant la distance. On peut aussi utiliser ce marqueur pour indiquer que le papier d'enregistrement se déroule correctement ou s'est déplacé; auquel cas il faut introduire une correction de hauteur.

#### 4.4 STATISTIQUES : Etablissement de statistiques

(i) Niveau moyen des marées

Il s'agit de faire la moyenne des hauteurs de la haute mer et de la basse mer en prenant soin d'obtenir un nombre égal de données dans chacun des cas, pour pouvoir obtenir des valeurs mensuelles et annuelles. (Voir l'exemple donné au tableau 4.2).

(ii) Niveau moyen de la mer

1. On fait la moyenne des hauteurs horaires afin d'obtenir des valeurs mensuelles et annuelles (voir l'exemple donné au Tableau 4.3)
2. Moyenne filtrée de relevés sur 3 heures - filtre Z0
3. Moyenne filtrée de relevés horaires - filtre X0.

N.B. Ces deux dernières méthodes permettant d'obtenir des statistiques relatives au niveau moyen de la mer font normalement appel à l'ordinateur, qui permet d'obtenir une application correcte. Le filtre le plus couramment utilisé pour calculer le niveau moyen de la mer est le Doodson X0. (Voir appendice n° 3).

SOUTHEND 1981 MEAN TIDE LEVELS

JAN		FEB		MAR		APR	
HWS	LWS	HWS	LWS	HWS	LWS	HWS	LWS
1	5.42 2.11	1	4.82 1.44	1	4.40 1.11	1	5.11 1.23
	5.12 2.34		4.92 1.23		4.64 1.56		5.04 1.14
2	4.23 1.24	2	4.77 1.11	2	4.55 1.47	2	5.44 0.92
	4.92 0.61		5.08 0.70		4.95 1.34		5.40 1.08
3	5.10 1.36	3	6.14 0.50	3	5.22 1.38	3	5.70 0.65
	5.63 1.30		5.60 1.15		5.07 1.33		5.54 0.75
4	5.33 1.61	4	X 1.02	4	5.22 0.89	4	X 0.32
	5.83 0.95		5.87 1.37		5.29 0.77		5.78 0.48
5	X 1.10	5	5.72 0.66	5	5.60 0.58	5	5.78 0.18
	5.38 0.77		5.65 0.68		X 0.74		6.03 0.38
6	5.05 0.60	6	5.66 0.20	6	5.64 0.34	6	5.91 0.06
	5.67 0.85		5.67 0.54		5.52 0.31		6.10 0.33
7	5.53 0.62	7	6.31 0.75	7	5.71 0.17	7	6.00 0.20
	5.45 0.44		5.95 0.51		5.81 0.27		5.92 0.25
8	5.20 0.14	8	5.40 0.11	8	5.80 0.50	8	5.93 0.11
	5.50 0.50		6.43 1.12		6.04 0.50		5.83 0.34
9	5.48 0.42	9	5.81 0.35	9	6.36 0.32	9	5.88 0.37
	5.60 0.92		5.66 0.44		6.23 0.72		5.60 0.55
10	5.70 0.84	10	5.70 0.44	10	6.17 0.20	10	5.63 0.72
	5.90 1.20		5.85 1.03		5.50 0.01		5.38 0.86
11	5.38 0.18	11	5.61 0.64	11	5.52 0.25	11	5.42 1.02
	5.15 0.43		5.14 0.65		5.95 0.95		4.96 0.97
12	4.83 0.23	12	5.17 X	12	5.90 0.77	12	5.08 X
	5.78 1.77		5.20 0.77		5.57 0.99		4.96 1.35
13	5.75 1.04	13	5.04 1.12	13	5.63 1.15	13	5.07 1.23
	4.83 0.36		4.85 0.95		5.35 X		4.67 1.59
14	4.83 X	14	4.94 1.03	14	5.48 1.44	14	4.94 1.11
	4.90 0.64		4.99 1.26		5.05 1.42		4.88 1.38
15	5.88 2.10	15	5.10 1.11	15	5.13 1.34	15	5.19 0.95
	5.18 1.66		5.07 1.05		4.89 1.37		5.22 1.24
16	5.45 1.93	16	5.28 0.93	16	5.09 1.13	16	5.25 0.90
	4.68 0.87		5.21 0.94		5.06 1.26		5.23 0.94
17	5.29 0.80	17	5.24 0.57	17	5.22 0.95	17	5.41 0.57
	5.81 0.93		X 0.67		5.15 1.06		X 0.93
18	5.30 1.14	18	5.31 0.48	18	5.09 0.56	18	5.47 0.48
	4.90 0.44		5.65 0.90		5.38 0.92		5.39 0.58
19	5.40 0.00	19	5.64 0.62	19	X 0.46	19	5.42 0.75
	X 1.12		5.71 0.76		5.48 0.71		5.91 1.08
20	5.81 0.84	20	5.64 0.38	20	5.58 0.40	20	5.81 0.63
	5.71 0.49		5.74 0.50		5.75 0.67		5.49 0.54
21	5.47 0.10	21	5.62 0.30	21	5.75 0.44	21	5.46 0.46
	5.49 0.49		5.80 0.60		5.46 0.32		5.61 0.63
22	5.74 0.35	22	5.65 0.60	22	5.73 0.43	22	5.61 0.72
	5.80 0.35		5.55 0.48		5.95 1.70		5.42 0.39
23	5.52 0.22	23	5.40 0.50	23	6.08 0.68	23	5.46 0.21
	5.59 0.51		5.35 0.80		5.41 0.33		5.37 0.71
24	5.52 0.36	24	5.32 0.65	24	5.64 0.73	24	5.28 0.75
	5.64 1.11		5.18 0.80		5.87 0.95		5.12 0.90
25	5.64 0.62	25	5.15 0.67	25	5.71 0.62	25	5.10 1.00
	5.44 0.98		4.92 0.94		5.36 0.75		5.06 1.31
26	5.26 0.60	26	5.00 1.02	26	5.43 0.86	26	5.02 1.12
	5.00 0.72		4.83 1.24		5.53 1.25		4.88 1.17
27	5.03 0.85	27	4.68 1.30	27	5.30 1.12	27	4.79 1.80
	4.99 1.12		4.56 1.51		5.10 1.18		4.65 1.14
28	4.81 0.98	28	4.13 X	28	4.93 1.23	28	4.57 X
	4.68 1.29		3.88 1.11		4.65 1.30		4.40 1.23
29	4.55 X			29	4.95 2.15	29	4.86 1.26
	4.52 1.18				4.90 X		4.74 1.32
30	4.80 1.53			30	4.69 1.75	30	5.12 1.05
	4.27 1.39				4.54 1.72		3.11 1.21
31	4.61 1.42			31	4.78 1.59		
	4.60 1.28				4.78 1.60		
315.87 54.54		288.36 43.64		322.52 53.03		307.40 47.74	
NTL=3.087m		NTL=3.074m		NTL=3.146		NTL=3.061	

TABLEAU 4.2

HWS High waters  
LWS Low waters  
MTL Mean Tide Water

CALCUL DU NIVEAU MOYEN DE LA MER

Toutes les valeurs sont réduites au niveau du zéro des cartes marines de l'Amirauté britannique.

Day	0000	0100	0200	0300	0400	0500	0600	0700	0800	0900	1000	1100	1200	1300	1400	1500	1600	1700	1800	1900	2000	2100	2200	2300	Sum	
1	0.56	1.17	1.88	2.58	3.21	3.89	3.27	2.69	2.00	1.23	0.7	0.51	0.78	1.43	2.25	3.06	3.70	4.05	3.97	3.44	2.66	1.80	1.01	0.43	52.02	
2	0.36	0.78	1.23	2.12	2.83	3.35	3.40	3.01	2.40	1.78	1.14	0.63	0.57	1.06	1.80	2.52	3.26	3.81	4.04	3.76	3.12	2.36	1.60	0.91	52.10	
3	0.48	0.55	1.12	1.78	2.38	2.95	3.34	3.29	2.84	2.23	1.62	1.05	0.73	0.84	1.26	2.05	2.75	3.26	3.79	3.84	3.46	2.95	2.15	1.44	52.25	
4	0.84	0.61	0.83	1.34	1.94	2.52	3.01	3.23	3.05	2.60	2.07	1.50	1.04	0.88	1.18	1.58	2.14	2.75	3.34	3.65	3.45	3.17	2.65	2.05	51.47	
5	1.36	0.87	0.78	1.07	1.55	2.02	2.48	2.93	3.09	2.93	2.51	2.05	1.63	1.27	1.13	1.31	1.77	2.26	2.71	3.15	3.44	3.43	3.05	2.54	51.32	
6	1.99	1.48	1.13	1.01	1.22	1.64	2.05	2.45	2.83	3.02	2.92	2.57	2.18	1.81	1.48	1.34	1.44	1.74	2.14	2.54	2.95	2.18	3.22	3.02	51.38	
7	2.36	2.04	1.57	1.24	1.13	1.25	1.54	1.93	2.37	2.80	3.02	2.95	2.76	2.46	2.04	1.65	1.43	1.45	1.63	1.92	2.28	2.72	3.05	3.13	50.96	
8	2.93	2.57	2.21	1.71	1.27	1.12	1.22	1.49	1.84	2.35	2.84	3.14	3.17	3.04	2.72	2.25	1.73	1.37	1.33	1.44	1.67	2.06	2.66	2.96	51.01	
9	2.1	2.49	2.73	2.79	1.78	1.30	1.08	1.11	1.38	1.85	2.40	2.95	3.24	3.51	3.33	2.90	2.38	1.75	1.31	1.08	1.11	1.45	1.91	2.44	51.40	
10	2.9	3.15	3.11	2.80	2.31	1.73	1.20	0.91	0.95	1.30	1.85	2.49	3.15	3.63	3.70	3.25	2.98	2.28	1.54	0.99	0.77	0.88	1.26	1.80	51.16	
11	2.43	2.97	3.26	3.17	2.80	2.24	1.87	1.00	0.78	0.84	1.31	1.95	2.70	3.45	3.87	3.89	3.65	2.92	2.12	1.29	0.78	0.57	0.76	1.21	51.35	
12	1.86	2.55	3.13	3.36	3.19	2.74	2.10	1.34	0.77	0.60	0.85	1.40	2.14	2.77	3.63	4.06	3.97	3.46	2.73	1.89	1.04	0.67	0.37	0.73	51.42	
13	1.32	2.00	2.73	3.29	3.45	3.15	2.58	1.86	1.16	0.66	0.84	0.88	1.61	2.42	3.20	3.84	4.12	3.90	3.28	2.45	1.55	0.78	0.34	0.36	51.46	
14	0.84	1.50	2.27	2.92	3.57	3.40	3.00	2.34	1.58	0.91	0.89	0.50	1.04	1.85	2.67	3.40	3.93	4.05	3.67	2.96	2.10	1.24	0.54	0.28	50.81	
15	0.47	1.01	1.70	2.45	3.11	3.43	3.24	2.72	2.08	1.36	0.72	0.43	0.68	1.35	2.10	2.86	3.55	3.95	3.38	3.36	2.62	1.85	1.05	0.46	50.43	
16	0.32	0.70	1.36	2.01	2.64	3.20	3.36	3.05	2.43	1.78	1.17	0.66	0.55	0.94	1.62	2.57	3.05	3.57	3.82	3.63	3.05	2.32	1.57	0.90	50.07	
17	0.49	0.96	1.01	1.60	2.24	2.85	3.19	3.15	2.77	2.23	1.61	1.05	0.73	0.81	1.29	1.91	2.55	3.15	3.57	3.43	3.30	2.75	2.09	1.41	49.94	
18	0.84	0.65	0.89	1.35	1.88	2.46	2.98	3.14	2.97	2.56	2.09	1.55	1.08	0.93	1.15	1.63	2.17	2.78	3.23	3.43	3.37	2.98	2.48	1.97	50.50	
19	1.26	0.87	0.85	1.18	1.63	2.12	2.61	2.95	3.04	2.85	2.44	1.98	1.54	1.22	1.17	1.44	1.86	2.31	2.76	3.12	3.25	3.11	2.72	2.24	50.50	
20	1.72	1.28	1.04	1.08	1.41	1.83	2.24	2.59	2.85	2.87	2.65	2.31	1.95	1.57	1.36	1.34	1.59	1.93	2.38	2.63	2.93	2.97	2.79	2.45	49.72	
21	2.05	1.65	1.29	1.10	1.24	1.60	1.91	2.18	2.54	2.91	2.79	2.54	2.28	2.04	1.75	1.47	1.43	1.65	1.97	2.24	2.49	2.73	2.80	2.44	49.19	
22	2.35	2.00	1.67	1.37	1.24	1.38	1.66	1.95	2.24	2.53	2.82	2.80	2.63	2.40	2.14	1.8	1.68	1.92	1.65	1.85	2.10	2.35	2.57	2.66	49.30	
23	2.51	2.26	2.05	1.73	1.41	1.31	1.44	1.68	1.91	2.20	2.58	2.85	3.10	2.75	2.55	2.28	1.89	1.55	1.44	1.53	1.70	1.95	2.25	2.55	49.25	
24	2.64	2.51	2.30	2.06	1.74	1.45	1.30	1.38	1.64	1.93	2.27	2.67	3.08	3.10	2.91	2.61	2.26	1.84	1.45	1.25	1.30	1.55	1.85	2.18	49.26	
25	2.49	2.46	2.63	2.57	2.05	1.70	1.36	1.19	1.35	1.53	1.92	2.37	2.86	3.23	3.31	3.04	2.63	2.17	1.64	1.1	1.00	1.15	1.45	1.79	48.97	
26	2.23	2.63	2.83	2.70	2.39	2.03	1.57	1.17	1.00	1.16	1.56	2.06	2.61	3.14	3.49	3.46	3.11	2.59	1.96	1.33	0.87	0.80	1.01	1.39	49.11	
27	1.88	2.43	2.88	2.97	2.75	2.39	1.87	1.33	0.91	0.84	1.15	1.61	2.23	2.85	3.54	3.7	3.41	3.07	2.46	1.72	0.98	0.60	0.45	0.94	49.41	
28	1.43	2.05	2.71	3.06	3.03	2.73	2.18	1.64	1.05	0.69	0.75	1.18	1.76	2.48	3.25	3.78	3.85	3.54	2.98	2.23	1.37	0.69	0.40	0.54	49.54	
29	1.01	1.60	2.31	2.94	3.23	3.10	2.65	2.06	1.41	0.82	0.51	0.68	1.29	2.06	2.85	3.52	3.93	3.46	2.71	1.86	1.07	0.45	0.27	0.54	49.77	
30	0.58	1.20	1.90	2.58	3.15	3.35	3.06	2.45	1.78	1.10	0.55	0.38	0.76	1.49	2.32	3.12	3.73	3.99	3.82	3.26	2.44	1.54	0.74	0.25	49.54	
31																										

Tableau 4.3

Divisor for 28 days = 672  
29 .. = 696

30 days = 720  
31 .. = 744

2	1514.63
Mean	2.104

(iii) Basses eaux moyennes et hautes eaux moyennes

La moyenne de toutes les observations concernant la hauteur des hautes eaux permet d'obtenir la haute mer moyenne et, de la même façon, la moyenne de toutes les hauteurs concernant les basses eaux, d'obtenir la basse mer moyenne.

(iv) Niveaux de marée extrêmes

L'enregistrement des hautes eaux et des basses eaux extrêmes est d'une manière générale effectué tous les mois. Les données correspondant aux points (iii) et (iv) peuvent être relevées à partir de l'enregistrement de la hauteur des basses eaux et des hautes eaux et de leur durée ; ces données complètent donc fort utilement celles qui concernent les niveaux horaires.

BIBLIOGRAPHIE

- GRAFF, J. & KARUNARATNE, D.A. 1980 : Accurate reduction of sea level records. International Hydrographic Review, 57(2), 151-166.
- KARUNARATNE, D.A. 1980 : An improved method for smoothing and interpolating hourly sea level data. International Hydrographic Review, 57(1), 135-148.
- LENNON, G.W. 1968 : The treatment of hourly elevations of the tide using an IBM 1620. International Hydrographic Review, 42(2), 125-148.
- MINAKER, E.J. 1979 : A proposed system for the handling of tide and water level data at MEDS. Canada, Marine Science Directorate, Manuscript Report Series, n° 52, 154-159.
- NOYE, B.J. 1974 : Tide-well systems. 3. Improved interpretation of tide-well records. Journal of Marine Research, 32, 183-194.

## 5. PROCEDURES D'ECHANGE DES DONNEES

### 5.1 GENERALITES

Le présent manuel accorde une très grande importance aux méthodes d'analyse et de réduction des données. Quoique les mesures relevées en un seul emplacement soient précieuses, les informations que l'on peut obtenir en comparant des mesures effectuées en plusieurs endroits rendent éminemment souhaitable la définition de méthodes communes de mesure et d'analyse ainsi que la constitution systématique de banques de données dont l'accès serait généralisé. Si l'on veut dégager des tendances relatives au niveau de la mer, il devient impératif, en raison des nombreux facteurs régionaux en jeu, de constituer des banques de données relatives aux paramètres choisis à l'échelle mondiale. La présente section récapitule brièvement les mesures qui ont été prises pour faciliter un échange international des données et le rôle du Service permanent du niveau moyen des mers dans la coordination des valeurs moyennes mensuelles et annuelles.

### 5.2 BANQUES NATIONALES DE DONNEES

Les banques nationales de données relatives au niveau de la mer centralisent habituellement des valeurs horaires ainsi que les moyennes quotidiennes, mensuelles et annuelles. Disposer de séries de valeurs sous forme de tableaux serait une nécessité de base mais à mesure que le volume des données augmente, la technologie moderne s'impose, tel le stockage des données sur bande magnétique en utilisant les procédures appropriées. Les banques nationales de données océanographiques sont généralement les mieux équipées pour s'acquitter de cette tâche.

### 5.3 ASPECTS INTERNATIONAUX

L'échange international des données relatives au niveau de la mer se pratique à des fins opérationnelles et à l'appui d'activités de surveillance à plus long terme.

Le système mondial intégré de services océaniques (SMISO), qui est une activité conjointe de la Commission océanographique intergouvernementale et de l'Organisation météorologique mondiale, prévoit l'échange de moyennes mensuelles sur le niveau de la mer dans les semaines qui suivent la fin du mois civil en question. L'objectif est d'obtenir les données très rapidement et non d'en recevoir une version définitive affinée et abondamment contrôlée. On a d'ores et déjà entrepris un système pilote de publication de cartes des écarts des niveaux de la mer mensuels par rapport au niveau moyen calculé sur une longue période dans l'océan Pacifique. Ce système devrait être étendu ultérieurement à d'autres océans dans le cadre du soutien général apporté à la recherche sur le climat.

Le service d'Echange international des données océanographiques (IODE) a été établi par la Commission océanographique intergouvernementale en 1961. Son principal objectif est la collecte, le traitement, l'archivage, la récupération et l'échange des données et des informations océanographiques à l'échelle mondiale afin d'assurer des services à la communauté scientifique, aux entreprises d'exploitation industrielle en mer et aux gouvernements. Dans le cadre de l'IODE, des centres nationaux de données océanographiques responsables ont été désignés pour contribuer à l'élaboration de programmes spéciaux. Par exemple, en tant que centre responsable du niveau de la mer, le Service permanent du niveau moyen des mers a joué un rôle dans la mise au point de l'expérience MEDALPEX. En outre, l'IODE définit des formats normalisés pour l'échange international des données. L'appendice 4 donne des précisions sur le sous-ensemble type du GF-3 approuvé permettant de fournir des données sur le niveau moyen de la mer au PSMSL. Celui-ci, de la même manière, met des données à la disposition des utilisateurs en employant le même format.

#### 5.4 SERVICE PERMANENT DU NIVEAU MOYEN DES MERS

Le Service permanent du niveau moyen des mers (PSMSL) a été créé en 1933 en tant que centre international des données relatives au niveau moyen de la mer. Il est actuellement chargé de la collecte, de la publication et de la distribution des données ainsi que de leur analyse et de leur interprétation. En outre, il donne des avis sur les aspects pratiques de la mesure du niveau de la mer et de la réduction des données. Le PSMSL encourage l'application de normes et de procédures uniformes, comme en témoigne l'établissement du présent manuel, qui lui-même s'appuie sur des cours donnés à l'Institute of Oceanographic Sciences, Bidston Observatory (Royaume-Uni) qui abrite le PSMSL. Il met les données et autres informations gratuitement à la disposition de la communauté scientifique. Il peut envoyer des listings à jour de moyennes mensuelles et annuelles et les données sont également offertes sur bande magnétique dans le format GF-3. Un catalogue de toutes les données que possède le PSMSL est disponible sur demande.

Le PSMSL reçoit un soutien financier de l'Unesco par l'intermédiaire de la Commission océanographique intergouvernementale et du Natural Environment Research Council du Royaume-Uni. Officiellement le PSMSL est membre de la Fédération des services astronomiques et géophysiques, créée par le Conseil international des Unions scientifiques. Il fonctionne sous l'égide de l'Association internationale des sciences physiques de l'océan (AISPO).

#### 5.5 SOUMISSION DES DONNEES AU PSMSL

Le PSMSL remercie toutes les organisations qui lui fournissent des données sur le niveau moyen de la mer aux fins de publication et ne cherche pas à leur imposer des conditions inutiles. Toutefois, il est recommandé de suivre les règles de base communes suivantes pour la soumission des données :

- 1) Unités (pieds, mètres, etc.).
- 2) Indication du niveau de référence par rapport auquel sont effectuées les mesures.
- 3) Indication de la profondeur de ce niveau de référence au-dessous du principal repère situé près du marégraphe.
- 4) Indication des données incomplètes ou interpolées (voir ci-dessous).
- 5) Information sur les variations du niveau de référence, des repères ou des procédures appliquées depuis la soumission du précédent lot de données.

Les hauteurs moyennes devraient de préférence être exprimées en unités du système métrique au millimètre le plus proche et le niveau de référence par rapport auquel a été calculée la moyenne devrait idéalement être le zéro du marégraphe.

Les utilisateurs des publications consacrées aux données sur le niveau moyen de la mer doivent avant tout être sûrs de l'exactitude des chiffres publiés. Le PSMSL recommande de traiter les relevés incomplets en appliquant les principes directeurs suivants :

1. Les lacunes des relevés marégraphiques doivent être comblées par interpolation, si possible avant le calcul des moyennes mensuelles et annuelles.
2. L'interpolation doit intervenir au début du traitement.
3. Dans les cas où l'interpolation est impossible, la moyenne mensuelle doit être calculée à partir des données incomplètes. Lorsque plus de 15 jours manquent sur un mois, la moyenne ne doit pas être calculée.



4. Lorsque les services compétents transmettent des moyennes au PSMSL, ils sont invités à faire suivre chaque moyenne mensuelle d'un chiffre correspondant au nombre exact de jours pour lesquels les données sont manquantes. Ce chiffre doit figurer entre parenthèses mais si les valeurs manquantes ont été interpolées, il doit être remplacé par xx.

Ainsi : 2487 (9) signifiera que 9 valeurs moyennes quotidiennes manquent et n'ont pas été interpolées lors du calcul de la moyenne de 2487 mm.

913 (xx) signifiera que les données manquantes moyennes ont été interpolées pour le calcul de la moyenne de 913 mm.

5. Il n'est pas nécessaire de faire suivre la moyenne annuelle d'un signe. On suppose que toutes les données utilisées pour obtenir les moyennes mensuelles serviront à calculer la moyenne annuelle lorsque celle-ci est donnée et l'utilisateur des données jugera de la fiabilité de la moyenne annuelle en conséquence.
6. Si les moyennes annuelles sont calculées en faisant la moyenne des moyennes mensuelles, ces dernières doivent d'abord être pondérées. Pour chaque mois, la pondération doit être le nombre de jours pour lesquels des observations ont été faites.

Les services nationaux et autres chargés de la mesure du niveau de la mer sont invités à s'entretenir de leurs problèmes avec le Service permanent du niveau moyen des mers dont l'adresse est la suivante :

Bidston Observatory,  
Birkenhead,  
Merseyside L43 7RA,  
Royaume-Uni.

N° de téléphone : 051-653-8633

Ils pourront prendre contact directement ou par l'intermédiaire des voies d'échange des données appropriées qui ont été créées par la Commission océanographique intergouvernementale avec laquelle le PSMSL entretient des relations étroites.

APPENDICE 1

RESUME DES CONTROLES ESSENTIELS QUE DOIVENT EFFECTUER LES OPERATEURS DE MAREGRAPHES

Les instructions qui suivent sont extraites de la brochure intitulée "Instructions pour l'exploitation des marégraphes du réseau national" distribuée à tous les opérateurs de marégraphes du réseau du Royaume-Uni. Elles récapitulent les contrôles essentiels que doit effectuer l'opérateur et sont normalement affichées bien en vue à l'intérieur du bâtiment abritant le marégraphe.

CONTROLES QUOTIDIENS

COLONNE DE LA FEUILLE DE  
CONTROLE

RELEVER LE NIVEAU INDIQUE PAR L'ECHELLE DE MAREE ET L'HEURE DE LA LECTURE	4
RELEVER LA HAUTEUR INDIQUEE PAR L'ENREGISTREUR	5
RELEVER L'HEURE INDIQUEE PAR L'ENREGISTREUR	3
INSCRIRE L'HEURE DE LA LECTURE DE L'ENREGISTREUR	2
INSCRIRE LA DATE	1
NOTER LES REMARQUES, Y COMPRIS LES INCIDENTS TECHNIQUES, ETC.	6,7,8,9
PORTER LES INITIALES DU CONTROLEUR	10

NE PAS REGLER LE MAREGRAPHE

CONTROLES HEBDOMADAIRES

EFFECTUER LES CONTROLES QUOTIDIENS  
RETIRER LA FEUILLE D'ENREGISTREMENT DU TAMBOUR EN DECOUPANT  
LE LONG DE LA RAINURE PREVUE  
ET L'AGRAFFER A LA FEUILLE DE CONTROLE

REMONTER LE MECANISME D'HORLOGERIE

VERIFIER LA PLUME. LA NETTOYER ET LA RECHARGER SI BESOIN EST. ADAPTER UNE NOUVELLE FEUILLE D'ENREGISTREMENT SUR LE TAMBOUR.

VERIFIER QUE LE BORD INFERIEUR DE LA FEUILLE EST BIEN PLACE CONTRE LA COLLERETTE DU TAMBOUR ET QUE LES GRADUATIONS SONT BIEN ALIGNEES LE LONG DE LA JOINTURE

ECRIRE LA DATE ET L'HEURE SUR LA FEUILLE D'ENREGISTREMENT ET ADAPTER LE TAMBOUR SUR L'APPAREIL

PLACER LE STYLET OU LA PLUME SUR L'HEURE EXACTE ET ELIMINER LE JEU

INSCRIRE SUR LA NOUVELLE FEUILLE DE CONTROLE LA DATE ET L'HEURE  
AUXQUELLES LA NOUVELLE FEUILLE D'ENREGISTREMENT A ETE INSTALLEE

EFFECTUER LES CONTROLES QUOTIDIENS

APPENDICE 2

FOURNISSEURS DE MATERIEL MAREGRAPHIQUE (Connus des auteurs du manuel)

1. A. Ott, GMBH  
8960 Kempten  
Jagerstrasse 4-12  
Postf. 2120  
Allemagne
2. Munro Sestrel Ltd  
Loxford Road  
Barking  
Essex IG11 8PE  
ANGLETERRE
3. Kent Instruments  
Biscot Road  
Luton  
Bedfordshire LU3 1AL  
ANGLETERRE
4. Aanderaa Instruments  
Fanaveien 13  
P.O. Box 160  
5051 Bergen  
NORVEGE
5. Neyrtec  
BP 75 Centre de Tri  
38041 Grenoble Cedex  
FRANCE
6. Leupold & Stevens, Inc.  
P.O. Box 688  
Beaverton  
Oregon, 97005  
ETATS-UNIS D'AMERIQUE
7. Aga Navigation Aids. également Beacon Works  
S-181 8- 77 High Street  
Lidingo Brentford TW8 OAB  
SUEDE ANGLETERRE
8. Instrumenten Fabriek Van Essen  
Delft  
HOLLANDE

### APPENDICE 3

#### APPLICATION DU FILTRE XO POUR LE CALCUL DU NIVEAU MOYEN DE LA MER

Ce filtre passe-bas a pour but d'éliminer des élévations du niveau de la mer l'énergie des marées aux fréquences diurnes et plus hautes et nécessite 39 heures de données pour chaque valeur calculée.

Ce filtre se définit comme suit, pour  $1 \leq t \leq 19$  :

$$F(t) = (2,1,1,2,0,1,1,0,2,0,1,1,0,1,0,0,1,0,1)$$

Le filtre est systématique, de sorte que  $F(t) = F(-t)$ , et est appliqué pour chaque jour, donnant une moyenne calculée comme :

$$X = \frac{1}{T} \sum_{d=-19}^{19} F(d) H(T+d), d \neq 0$$

où  $H(t)$  sont les élévations du niveau de la mer, et  $T = 1.200$  heures.

#### Exemple (calcul manuel)

Si l'on prend une heure centrale de 1.200 heures, le 2 janvier, les calculs portant sur les données relatives à 3 jours :

1er janvier

Heure	1200	1300	1400	1500	1600	1700	1800	1900	2000	2100	2200	2300
Hauteur	3.819	5.286	6.004	6.051	5.735	5.077	4.159	3.217	2.422	1.872	1.699	2.037
						*1		*1			*1	
						-----		-----			-----	
						5.077	+	3.217		+	1.699	

2 janvier

Heure	0000	0100	0200	0300	0400	0500	0600	0700	0800	0900	1000	1100
Hauteur	3.070	4.611	5.825	6.167	5.895	5.267	4.395	3.496	2.663	1.979	1.648	1.774
	*1	*1		*2		*1	*1		*2	*1	*1	*2
	-----	-----		-----		-----	-----		-----	-----	-----	-----
	+ 3.070	+ 4.611	+ 12.334	+ 5.267	+ 4.395	+ 5.326	+ 1.979	+ 1.648	+ 3.548			

Heure	1200	1300	1400	1500	1600	1700	1800	1900	2000	2100	2200	2300
hauteur	2.513	3.855	5.088	5.670	5.668	5.347	4.730	3.888	2.998	2.249	1.804	1.760
		*2	*1	*1	*2		*1	*1		*2		*1
		-----	-----	-----	-----		-----	-----		-----	-----	-----
	+ 7.710	+ 5.088	+ 5.670	+ 11.336	+ 4.730	+ 3.888	+ 4.498	+ 1.760				

3 janvier

Heure	0000	0100	0200	0300	0400	0500	0600	0700	0800	0900	1000	1100
Hauteur	2.256	3.418	4.805	5.676	5.851	5.579	4.987	4.187	3.351	2.578	1.975	1.703
	*1		*1			*1		*1				
	-----		-----			-----		-----				
	+ 2.256	+ 4.805	+ 5.579	+ 4.487								

Somme = 113,978 m / 30 = 3,799 mètres (Niveau moyen de la mer pour le 2 janvier )

## APPENDICE 4

COMMISSION  
OCEANOGRAPHIQUE  
INTERGOUVERNEMENTALE

Approuvé par le Groupe d'experts  
sur la mise au point des formats  
du Comité de travail sur  
l'IODE - juin 1983.

### SOUS-ENSEMBLE TYPE DU GF-3 POUR LE NIVEAU MOYEN DE LA MER (PSMSL)

#### 1. SOUS-ENSEMBLE TYPE

- 1.1 Ce sous-ensemble représente le format de sortie dans lequel le Service permanent du niveau moyen des mers est prêt à communiquer des copies des données de sa banque mondiale de données sur le niveau moyen de la mer réduites à un format de référence locale révisée (RLR).
- 1.2 Les données sont organisées en un seul fichier de données multiséries comme l'illustre la section 3.
- 1.3 Chaque série contient des données relatives au niveau moyen de la mer classées dans l'ordre chronologique pour un seul endroit fixe. Chaque série contient deux types de données ; des moyennes mensuelles et des moyennes annuelles.
- 1.4 Les moyennes annuelles figurent dans les séquences de données placées dans la zone au format de l'utilisateur de l'en-tête de série, dont le contenu est défini par l'enregistrement de définitions présenté dans la section 4.1 Chaque séquence de données contient des valeurs pour les paramètres suivants : année, niveau moyen de la mer annuel et un code de qualité. Le code de qualité (FFFF7AAN) n'utilise qu'une des rubriques de la Table de codage 6 du GF-3 (indicateur de validation), à savoir :

Q - Valeur à remettre en question : ce qui signifie en l'occurrence que dans la moyenne annuelle interviennent des données manquantes ou interpolées.

si non elle est laissée en blanc. Si aucune moyenne annuelle n'a été calculée, le niveau moyen de la mer est représenté par sa valeur nulle (c'est-à-dire à 9).

- 1.5 Un en-tête d'une seule série peut contenir jusqu'à 114 moyennes annuelles. Afin de tenir compte des quelques endroits où l'on dispose de plus de 114 années de données, la zone au format de l'utilisateur de l'en-tête de série comprend le paramètre de l'en-tête CCCC qui est représenté comme suit :

0 : moyennes annuelles complètes dans cet en-tête de série.

1 : moyennes annuelles se poursuivant sur l'en-tête de séries suivant.

Ainsi, si l'on dispose de plus de 114 moyennes annuelles, elles se poursuivent sur un deuxième en-tête de série (suivant immédiatement le premier) avec des octets 1-400 représenté d'une manière identique à ceux du premier en-tête de série (à l'exception bien entendu des octets 2 et 377-386).

- 1.6 Les moyennes mensuelles figurent dans les séquences de données dont le format est déterminé selon l'enregistrement de définitions présenté à la section 4.2. Chaque séquence de données contient des valeurs pour les paramètres : année, mois, niveau moyen mensuel de la mer et un indicateur de qualité de deux chiffres (FFFF6XXN) qui spécifie le nombre de jours de données manquantes dans les données brutes à partir desquelles a été calculée la moyenne mensuelle. Chaque séquence de données peut contenir jusqu'à 138 moyennes mensuelles - des séquences de données supplémentaires peuvent se poursuivre sur des enregistrements de séquence de données suivants.
- 1.7 Les valeurs nulles ne sont pas spécifiées pour les paramètres CCCC et YEAR dans l'en-tête de série et YEAR et MNTH dans la séquence de données. Dans ce sous-ensemble ces zones sont obligatoires.
- 1.8 Afin de répondre aux besoins de ce sous-ensemble, les paramètres suivants ont été ajoutés à la table de codage des paramètres types du GF-3 :

PPPP K MM S

MNTH 7 -- N      MOIS CIVIL (MM)

Codes de méthode identiques à celui du paramètre "YEAR"

CCCC 7 -- M      INDICATEUR DE DEPASSEMENT DE CAPACITE DES SEQUENCES  
DE DONNEES

Cet indicateur est utilisé comme paramètre de l'en-tête pour indiquer si les séquences de données dépassent ou non la capacité d'une zone au format de l'utilisateur. Il n'est normalement utilisé que dans les en-têtes de série mais il pourra l'être aussi dans les séquences de données comprenant des séquences de données emboîtées, par exemple, une série chronologique de spectres où les spectres eux-mêmes sont composés d'une série de séquences de données sur les fréquences. Lorsqu'il y a dépassement de capacité les séquences de données se poursuivent dans un enregistrement suivant du même type - l'information en-tête de l'enregistrement sera normalement répétée.

AA                    Indicateur codé comme suit :

0 : séquences de données complètes dans cet enregistrement

1 : séquences de données se poursuivant dans l'enregistrement suivant.

Les autres paramètres utilisés dans ce sous-ensemble figurent dans la table de codage des paramètres types du GF-3 (1ère édition).

---

Note : Pour une description complète du format GF-3 se reporter, dans la série des Manuels et guides de la COI, au n° 9, Annexe 1, Parties 1 à 3.

## 2. OPTIONS DES UTILISATEURS

Aucune - ce sous-ensemble est utilisé par le Service permanent du niveau moyen des mers (PSMSL) comme format de sortie fixe.

## 3. STRUCTURE D'UNE BANDE

Fichier d'essai

Enregistrement d'essai

EOF

Fichier en-tête de bande

En-tête de bande  
Enregistrement(s) en clair  
Définitions d'en-tête de série  
Définitions de séquences de données

EOF

En-tête de fichier  
Enregistrement(s) en clair  
En-tête de série  
Enregistrement(s) en clair  
Enregistrements de séquences  
de données

Emplacement 1

Fichier de données

En-tête de série  
Enregistrement(s) en clair  
Enregistrements de séquences  
de données

Emplacement 2

etc.

EOF

Fichier fin de bande

En-tête de fichier (valeurs factices)  
Fin de bande

EOF

EOF



4. ENREGISTREMENTS DE DEFINITIONS

4.1 Définitions en-tête de série

	1	2	3	4	5	6	7	8
1234567890	1234567890	1234567890	1234567890	1234567890	1234567890	1234567890	1234567890	1234567890
34	1	3P	(I1,IX,6(I4,I5,A1,3X),18(2X,6(I4,I5,A1,3X)))					001
3								002
3								003
3								004
3	CCCC7XXN	DE L'EN-TETE DE SERIE		I	1	1	0	005
3	YEAR7ZTN	ANNEE		I	4	1	0	006
3	SLEV7XXD	NIVEAU DE LA MER (MOYENNE ANNUELLE)(M)		I	5 95	0.001	0	007
3	FFFF7XXN	INDICATEUR DE QUALITE POUR LE NIVEAU		A	1			008
3		DE LA MER						009
3								010
3								011
3								012
3								013
3								014
3								015
3								016
3								017
3								018
3								019
3								020
3								021
3								022
3								023
3								024

4.2 Définitions des séquences de données

	1	2	3	4	5	6	7	8
1234567890	1234567890	1234567890	1234567890	1234567890	1234567890	1234567890	1234567890	1234567890
45	0	4I	(60X, 23(2X,6(I4,I2,I5,I2)))					001
4								002
4								003
4	YEAR7ZTN	ANNEE		I	4	1	0	004
4	MNTH7ZTN	MOIS		I	2	1	0	005
4	SLEV7XXD	NIVEAU DE LA MER (MOYENNE MENSUELLE)(M)		I	5 95	0.001	0	006
4	FFFF6XXN	INDICATEUR DES JOURS MANQUANTS		I	2 92	1	0	007
4								008
4								009
4								010
4								011
4								012
4								013
4								014
4								015
4								016
4								017
4								018
4								019
4								020
4								021
4								022
4								023
4								024

SOUS-ENSEMBLE TYPE DU GF-3

NIVEAU MOYEN DE LA MER (PSMSL)



5.2 LISTE ANNOTEE D'UN EXEMPLE DE SEQUENCE DE DONNEES PRESENTEE SELON LE FORMAT SPECIFIE PAR LA DEFINITION DONNEE AU 4.2

Partie de l'enregistrement ayant un format fixe		Troisième séquence de données de l'enregistrement				Cinquième séquence de données de l'enregistrement											
Identificateurs des types d'enregistrement  Nombre de séquences de données dans l'enregistrement  N° d'ordre de l'enregistrement et décompte des enregistrements "séquences de données"		Année (1956)  Mois (mars)  Niveau moyen de la mer (aucune valeur)  Indicateur (31 jours de données manquantes)				Année (1956)  Mois (mai)  Niveau moyen de la mer (6,980 m)  Indicateur (aucun jour manquant)											
77	138	1956	1999999311	1956	2999999291	1956	3999999311	1956	4999999301	1956	5	6980	1956	6	6840		
1956	7	6890	1956	8	6830	1956	9	6830	1956	10	6980	1956	11	7040	1956	12	7140
1957	1	7150	1957	2	7050	1957	3	7010	1957	4	6940	1957	5	6980	1957	6	6940
1957	7	6950	1957	8	6880	1957	9	6890	1957	10	7100	1957	11	7000	1957	12	7060
1958	1	7020	1958	2	6840	1958	3	6840	1958	4	6860	1958	5	6790	1958	6	6860
1958	7	6900	1958	8	6980	1958	9	7030	1958	10	7050	1958	11	7110	1958	12	7080
1959	1	6910	1959	2	7030	1959	3	7090	1959	4	6940	1959	5	6990	1959	6	6970
1959	7	7030	1959	8	6950	1959	9	7010	1959	10	7140	1959	11	7100	1959	12	7180
1960	1	7000	1960	2	6920	1960	3	6750	1960	4	6930	1960	5	6920	1960	6	7000
1960	7	7010	1960	8	6930	1960	9	7060	1960	10	7020	1960	11	7190	1960	12	7150
1961	1	7060	1961	2	7110	1961	3	7050	1961	4	6980	1961	5	6940	1961	6	7070
1961	7	6950	1961	8	7020	1961	9	7140	1961	10	6930	1961	11	6890	1961	12	7010
1962	1	7140	1962	2	6970	1962	3	6800	1962	4	6820	1962	5	6850	1962	6	6950
1962	7	6930	1962	8	7030	1962	9	7050	1962	10	7080	1962	11	7020	1962	12	6970
1963	1	6800	1963	2	6950	1963	3	7110	1963	4	6930	1963	5	6760	1963	6	6610
1963	7	6990	1963	8	7000	1963	9	7050	1963	10	7160	1963	11	7130	1963	12	7060
1964	1	7130	1964	2	7070	1964	3	7080	1964	4	6990	1964	5	7060	1964	6	7070
1964	7	7110	1964	8	7010	1964	9	7130	1964	10	7130	1964	11	7150	1964	12	7090
1965	1	7100	1965	2	6830	1965	3	6940	1965	4	7000	1965	5	7000	1965	6	7160
1965	7	7020	1965	8	7080	1965	9	7110	1965	10	7160	1965	11	7040	1965	12	7160
1966	1	7030	1966	2	7050	1966	3	6910	1966	4	6920	1966	5	6930	1966	6	7000
1966	7	6930	1966	8	6760	1966	9	7140	1966	10	7050	1966	11	7030	1966	12	7080
1967	1	6990	1967	2	7110	1967	3	7010	1967	4	6900	1967	5	6930	1967	6	7010

1 2 3 4 5 6 7 8  
1234567890123456789012345678901234567890123456789012345678901234567890

SOUS-ENSEMBLE TYPE DU GF-3

NIVEAU MOYEN DE LA MER (PSMSL)

## GLOSSAIRE

### Analyse

Aux fins d'analyse, les niveaux de la mer observés sont séparés en trois composantes :

- (1) Niveau moyen de la mer
- (2) Niveaux des marées
- (3) Niveaux des ondes de tempête

### Analyse harmonique

Analyse d'une série d'observations du niveau de la mer à partir de laquelle se déduit un ensemble de constantes harmoniques permettant d'effectuer des prédictions de marée.

### Basse mer de vive-eau des Indes

Niveau de référence déterminé par G.H. Darwin lors de son étude des marées indiennes, plus bas que le niveau moyen de la mer, la différence étant égale à la somme des amplitudes des composantes harmoniques M2, S2, K1 et O1.

### Basse mer inférieure (LLW)

La plus basse des basses mers d'un jour donné.

### Basse mer supérieure (HLW)

La plus haute des basses mers d'un jour donné.

### Basse mer moyenne (MLW)

Niveau moyen des basses mers observées pendant une période donnée.

### Basse mer moyenne de morte-eau (MLWN)

Niveau moyen des basses mers de morte-eau.

### Basse mer moyenne de vive-eau (MLWS)

Niveau moyen des basses mers de vive-eau.

### Constantes harmoniques

Les marées sont des oscillations périodiques dues et liées aux mouvements et aux forces d'attraction du système lune-soleil-terre. La marée peut être représentée par la somme d'une série d'ondes sinusoïdales de "composantes harmoniques" de fréquence déterminée. Les paramètres de chaque onde sinusoïdale sont appelés "constantes harmoniques" : ce sont l'amplitude (la moitié de la hauteur) de l'onde et la phase (moment où est atteinte la valeur maximale).

### Echelle de marée permanente

Echelle immergée fixe permettant de lire directement la hauteur de la marée. Si elle est utilisée en liaison avec un marégraphe, elle doit être établie près de celui-ci dans un endroit communiquant avec le large de telle sorte que :

- (1) le zéro de la graduation soit dans le plan du niveau de référence du marégraphe,
- (2) le niveau exact indiqué par l'échelle puisse être lu depuis l'endroit où se trouve l'enregistreur.

Une échelle de marée permanente pourra être une perche, une planche ou des graduations sur un mur.

### Enregistreur

Partie d'un marégraphe automatique qui enregistre la hauteur de la marée en fonction du temps.

L'enregistrement peut se faire sous forme de graphique sur du papier millimétré ou sur fiche perforée ou carte magnétique. L'enregistreur pourra être près du point d'observation ou en être éloigné.

### Hauteur moyenne des basses mers inférieures (MLLW)

Niveau moyen des basses mers inférieures observées pendant une période donnée.

### Hauteur moyenne des pleines mers supérieures (MHHW)

Niveau moyen des pleines mers supérieures observées pendant une période donnée.

### Marée astronomique la plus haute et la plus basse

Les niveaux respectivement les plus hauts et les plus bas qui peuvent être prédits dans des conditions météorologiques moyennes. Ce ne sont pas les niveaux extrêmes qui peuvent être atteints car les ondes de tempête peuvent être à l'origine de niveaux considérablement plus hauts ou plus bas.

### Marée de morte-eau (NT)

Marée de faible marnage se produisant dans une demi-lunaison lorsque la lune est dans son premier ou dans son troisième quartier (dernier quartier).

### Marée de vive-eau (ST)

Marée de fort marnage se produisant dans une demi-lunaison aux époques de la pleine lune et de la nouvelle lune.

### Marée mixte

Type de marée présentant une grande inégalité des hauteurs des pleines mers et/ou des basses mers.

### Marées à longue période

Marées ayant des périodes de un an, 6 mois, 1 mois et 15 jours.

### Marées dues au rayonnement

Variations de la marée dues au rayonnement solaire. Comme les marées astronomiques mais contrairement aux effets météorologiques, elles sont cohérentes dans le temps.

### Marées diurnes

Marées ayant des périodes d'approximativement 1 jour.

### Marées non linéaires

Marées produites en eau peu profonde ou par des effets de frottement, qui ont des périodes équivalant à 4, 6, 8 cycles ou davantage par jour.

### Marées semi-diurnes

Marées ayant des périodes d'approximativement 12 heures.

### Marégramme

Courbe de la hauteur en fonction du temps tracée sur l'enregistreur.

### Marégraphe

Appareil permettant de déterminer la hauteur de la marée.

Ce terme recouvre l'ensemble du matériel utilisé en un endroit pour mesurer la hauteur de la marée, c'est-à-dire le flotteur, le puits, la transmission à l'enregistreur et l'enregistreur. Ce terme s'applique également aux échelles de marée permanentes.

### Modulations saisonnières

Variations du niveau de la mer ayant des échelles de temps de 1 an et de 6 mois et présentant partiellement une cohérence avec les marées à longue période et qui sont, de ce fait, comprises dans les prédictions de marée.

### Niveau de la marée (TL)

Partie du niveau de la mer observé qui est cohérente avec les forces génératrices de la marée et qui est donc prévisible. à partir d'une série de constantes harmoniques.

### Niveau de la mer (SL)

Niveau de la surface de la mer observé par rapport à un niveau de référence prédéfini, à un instant quelconque.

### Niveau de référence des cartes marines (de l'Amirauté britannique)

Niveau des basses mers au-dessous duquel sont mesurées les profondeurs marines et au-dessus duquel sont mesurées les hauteurs de la marée indiquées sur les cartes marines.

### Niveau de référence du marégraphe

Plan horizontal par rapport auquel sont mesurées les hauteurs de la marée dans une installation marégraphique. Il coïncide généralement avec le niveau de référence des cartes marines ou le niveau de référence du port.

### Niveau de référence du port

Plan horizontal défini par les autorités portuaires locales, à partir duquel ces autorités mesurent les niveaux et les hauteurs des marées.

### Niveau de référence national

Référence fixe adoptée comme niveau de référence géodésique type pour les altitudes déterminées par nivellement.

### Niveau des ondes de tempête

Composante due aux facteurs météorologiques, quelquefois appelée "résidu non dû à la marée". Elle n'est pas prévisible dans une série chronologique mais ses statistiques présentent une certaine régularité.

### Niveau moyen de la marée

Moyenne arithmétique de la pleine mer moyenne et de la basse mer moyenne.

### Niveau moyen de la mer

Valeur moyenne du niveau de la mer calculée à partir d'une série suffisamment longue de données.

### Orifice d'entrée d'eau

Un ou plusieurs orifices situés au fond ou près du fond du puits permettant à l'eau de la marée d'entrer et de sortir. La surface et la forme de l'orifice sont déterminées par rapport à la surface de la coupe transversale du puits, de façon à assurer un amortissement maximal des oscillations indésirables sans provoquer un écart inacceptable par rapport à la hauteur de la marée à enregistrer.

### Pleine mer inférieure (LHW)

La plus basse des pleines mers d'un jour donné.

### Pleine mer moyenne (MHW)

Niveau moyen des pleines mers observées pendant une période donnée.

### Pleine mer moyenne de morte-eau (MHWN)

Niveau moyen des pleines mers de morte-eau.

### Pleine mer moyenne de vive-eau (MHWS)

Niveau moyen des pleines mers de vive-eau.

### Pleine mer ou basse mer extrême

Niveau le plus haut ou le plus bas atteint par la mer au cours d'une période donnée.

### Pleine mer supérieure (HHW)

La plus haute des pleines mers d'un jour donné.

### Puits

Tube dans lequel le flotteur monte et descend selon le mouvement des marées.

### Repère de l'enregistreur

Repère permanent situé à une hauteur connue à partir duquel on peut mesurer directement le niveau de l'eau à l'intérieur du puits. Ce repère est utilisé pour contrôler l'exactitude des hauteurs indiquées sur l'enregistreur. Il se trouve soit sur l'armature de l'enregistreur, soit sur un objet stable près du puits.

### Repère du marégraphe

Repère situé près du marégraphe utilisé pour vérifier le nivellement. Des nivellements répétés à partir de ce repère jusqu'à d'autres repères établis à proximité permettent de contrôler la stabilité de l'installation marégraphique.

### Seiche

Oscillations de période brève se produisant dans un port, dans une baie ou dans un golfe, analogues aux oscillations de l'eau dans un plat, indépendantes des marées proprement dites.

### Sondes étalon

Electrode destinée à détecter le niveau de l'eau par contact.

Dans certaines installations une sonde est établie à une hauteur prédéterminée de façon à produire une marque sur la feuille d'enregistrement lorsque le niveau de l'eau atteint cette hauteur. Des sondes portatives servent également à vérifier le niveau de l'eau dans le puits.

### Tendance séculaire

Tendance non périodique du niveau de la mer à monter, à baisser et/ou à rester stationnaire au cours du temps.

### Tsunami

Onde progressive en eau peu profonde déclenchée dans la mer par un séisme ou par une éruption volcanique et pouvant avoir des conséquences catastrophiques.