Conclusion générale

L'étude préalable du système climatique de la Terre montre que sa modélisation est fort complexe. La complexité des modèles n'est pas tant liée à la diversité des sous-systèmes du climat et aux processus physiques considérés, qu'à leur formulation mathématique compliquée, reposant sur des équations souvent non linéaires.

Dans ce cadre difficile, le niveau de la mer et notamment ses variations eustatiques présentent un intérêt scientifique certain comme indicateur et paramètre climatiques. Les données sur le niveau de la mer sont variées: géomorphologiques, archéologiques, isotopiques, biologiques, etc. La revue de ces données montre que chacune présente un intérêt dans l'étude et la compréhension des causes de variations à long terme du niveau des mers. Des chronologies ont été proposées pour ces variations, parfois elles remontent dans les temps géologiques jusqu'au Trias, voire le Cambrien. Au sujet de ces reconstitutions, Pirazzoli rappelle très justement que les difficultés rencontrées aujourd'hui pour séparer les variations du niveau de la mer des mouvements verticaux du sol dans les données récentes de marégraphie existent également dans les indicateurs du passé géologique. Elles sont souvent de nature locale. Aussi, toute extrapolation à l'échelle globale nécessite des hypothèses sur les mouvements du sol, hypothèses qui par ailleurs restent le plus souvent à confirmer.

La marégraphie et l'altimétrie radar sont les sources de données les plus récentes dont on dispose, ou plutôt, qui témoignent du passé le plus récent. En particulier, la marégraphie remonte au début du XIX^{e} siècle. De nombreux auteurs ont analysé les données des marégraphes afin d'estimer les variations séculaires du niveau des mers et d'étudier leur relation avec le changement climatique qui devrait accompagner l'injection massive de gaz à effet de serre dans l'atmosphère. Nous avons effectué une analyse aussi critique que possible de ces études, tout en traitant en parallèle les données diffusées par le PSMSL. Nous avons ainsi dégagé les problèmes inhérents à cette base de données, à savoir que peu de marégraphes ont des séries temporelles assez longues pour filtrer les variations interdécennales du niveau de la mer, et que le caractère relatif de leur mesure est à l'origine de la présence de signaux épirogéniques dans les enregistrements. Après examen, il s'avère que l'incertitude des corrections apportées par les modèles géophysiques est encore trop importante, et que la couverture des données intéressantes est fortement biaisée géographiquement vers l'hémisphère nord. Aussi, tant qu'une référence « absolue » ne sera pas disponible pour surveiller les déformations verticales de l'écorce terrestre, les déterminations resteront incertaines.

La valeur de (1.6 ± 0.3) mm/an que nous avons estimée pour la tendance séculaire récente du niveau des mers à partir de certains enregistrements marégraphiques est discutable à maints égards. Outre les critiques sur les différents choix réalisés, le principal reproche que l'on peut faire à l'égard de ce calcul est encore d'en afficher le résultat alors que le problème de la stabilité des repères de marée est au préalable reconnu important, et ne peut être traité de manière rigoureuse aujourd'hui par manque de données pertinentes. Le calcul et sa présentation dans ce mémoire avaient cependant pour seul objet de montrer qu'il est relativement aisé de produire une estimation cohérente avec la littérature, au niveau d'incertitude que l'on peut attendre de l'analyse des marégraphes seuls, mais qu'il est important de se garder de valider le résultat sur la base de son accord avec les résultats déjà publiés en raison des multiples sources potentielles de biais qui ont jusqu'à présent été mal appréhendées dans ce type d'entreprise. Une critique scientifique ne se laissera pas abuser par ce mécanisme de légitimation que nous cherchions justement à dévoiler par l'ironie. Toutefois, n'étant pas sûrs d'avoir atteint le but recherché et le risque subsistant que certains agents

profanes, notamment les médias, succombent une fois de plus à imposer d'autorité et de l'extérieur du champ scientifique une valeur en omettant les limites exprimées dans les hypothèses qui ont permis le calcul et qui restent encore à vérifier, nous insistons dans cette conclusion sur ce point que nous jugions annexe dans le mémoire.

Au cours de ce travail de thèse, nous avons examiné les données du marégraphe centenaire de Marseille (Anse Calvo) qui appartient à l'IGN. Personne ne s'y était vraiment intéressé dans cet institut depuis une vingtaine d'années. Nous avons repris des opérations d'étalonnage pour contrôler son fonctionnement et recaler son zéro instrumental. Les diagrammes de van de Casteele que nous avons établis ne sont pas toujours aisés à interpréter. Ils montrent un appareil fiable et relativement stable, mais qui accuse quelques imperfections inhérentes à l'action du temps, propres aux systèmes mécaniques. La compilation des étalonnages passés montre que les calages réguliers de la référence instrumentale sont indispensables pour se prémunir d'une dérive qui ne peut être négligée lorsqu'on s'intéresse à des signaux aussi ténus que les variations eustatiques.

Faute d'une référence altimétrique stable de façon « absolue », toute tentative de détermination précise des variations eustatiques à partir des enregistrements marégraphiques semble incertaine. Le caractère absolu est cependant un concept abstrait idéal et inaccessible a priori. Les éléments que l'on souhaite voir allouer du caractère absolu sont la stabilité du système et son étendue. On recherche en effet un référentiel universel, de façon à permettre l'accès à celui-ci en tout marégraphe côtier du globe, et une stabilité totale, de sorte que tout déplacement d'un repère de marée puisse être déterminé sans ambiguïté. En pratique, on se définit un degré d'imperfection du caractère absolu au dessous duquel le système est considéré comme tel. La définition s'effectue en relation avec l'application visée. Dans notre cas, un niveau d'instabilité acceptable du référentiel serait d'au plus 10% de l'amplitude des signaux que l'on cherche à déterminer, soit quelques dixièmes de millimètres par an.

Après un panorama des références verticales qui sont accessibles à proximité des marégrahes, nous nous sommes consacrés à étudier la qualité du système de référence terrestre établi par l'IERS. Les résultats sont encourageants, mais ils s'avèrent encore insuffisants dans le cadre de notre problème. D'une précision de l'ordre de plusieurs centimètres pour l'ITRF89, les résultats de positionnement sont d'ordinaire du centimètre aujourd'hui. Mais force est de constater que la composante verticale est la moins bien déterminée, d'un facteur deux environ par rapport à la composante horizontale. La précision des vitesses verticales de l'ITRF94 paraît, en termes d'écart-type, inférieure à 2 mm/an dans presque 40% des cas. L'indicateur de précision relative fourni par le coefficient de variation montre que les vitesses sont souvent peu significatives. En effet, dans au moins 65% des cas, nous ne sommes pas en mesure de discriminer si le point fait l'objet d'un affaissement, ou d'un soulèvement, avec un niveau de confiance statistique d'au moins 75%. Il est toutefois possible que les points soient effectivement stables, auquel cas cet indicateur relatif de qualité paraîtra trop fort, ceci quelque soit la précision absolue de l'estimation. Rappelons par ailleurs que les mesures précises sont récentes, et par conséquent trop brèves pour fournir des résultats clairs et significatifs. Il est donc encore difficile de les interpréter comme des mouvements réels de l'écorce terrestre. C'est ainsi que la technique spatiale DORIS, récemment introduite dans le calcul de l'ITRF, donne en général des estimations moins fiables. Enfin, il convient de constater que la qualité des différentes solutions de l'ITRF n'a cessé de progresser et l'on attend avec impatience la prochaine réalisation[i] qui prendra en compte les énormes progrès réalisés en trois ans dans le traitement des données de géodésie spatiale et dans leur combinaison.

[i] Cf. Annexe E.

Les éléments de base du rattachement géodésique des marégraphes sont étudiés en distinguant les différentes grandeurs indépendantes. Le succès du processus synergique marégraphie - géodésie spatiale réside dans les progrès récents réalisés dans les techniques spatiales radioélectriques de positionnement en termes d'exactitude et de mise en oeuvre. Un inventaire aussi exhaustif que possible des sources d'erreur systématique est dressé pour chaque « maillon » de la chaîne du processus.

Au sein de chaque technique les sources d'erreur systématique sont nombreuses et variées. Une négligence ou un manque d'attention sur l'une des grandeurs du processus synergique affecte les résultats au bout de la chaîne. Les expériences menées dans le site de Kerguelen sont particulièrement édifiantes à ce sujet. Aussi, il est important que des experts en chaque domaine interviennent dans un cadre bien défini et spécifique. C'est en particulier sur ce constat que s'est bâti notre projet SONEL, Système d'Observation du Niveau des Eaux Littorales [Wöppelmann et al, 1996]. Le système prévoit de collecter les données de chacun des maillons du processus de rattachement des marégraphes par techniques spatiales. Il fournira d'une part des données de niveau moyen de la mer exprimées dans une référence géodésique mondiale et, d'autre part, la meilleure estimation possible du mouvement vertical de chaque repère de marée. L'atout principal de SONEL réside dans une participation active et coordonnée des différents acteurs, aussi bien des organismes producteurs des divers types de données qui peuvent garantir le suivi et l'analyse de ces données, que des utilisateurs qui donneront leur avis sur l'intérêt scientifique de tel ou tel site. Tant qu'un tel système intégré n'existera pas aux niveaux national et international, l'obtention de résultats de qualité restera incertaine.

Enfin, outre l'apport à la connaissance des phénomènes géophysiques qui sont inclus dans le signal séculaire du marégraphe, d'autres applications sont intéressées par cette synergie entre les techniques de la géodésie spatiale et de la marégraphie. Nous en mentionnons deux dans le mémoire. La première concerne l'unification des systèmes d'altitude. Nous avons vu que les surfaces de référence des systèmes d'altitude nationaux sont a priori cohérentes au niveau du mètre en raison de l'origine de chacune, fixée au niveau moyen de la mer en un point de la côte. Mais elles sont plus ou moins directement liées entre elles par différents types d'information. La deuxième application concerne le calage du biais de l'altimètre radar, mais aussi l'évaluation de sa dérive de basse fréquence. En rattachant les marégraphes dans le même système de référence terrestre que celui de l'orbite du satellite, nous disposons de mesures indépendantes de la même grandeur physique. Leur confrontation permet alors d'évaluer l'ensemble du système altimétrique: erreurs instrumentales mais aussi erreurs issues des corrections qui sont appliquées aux données satellitaires.

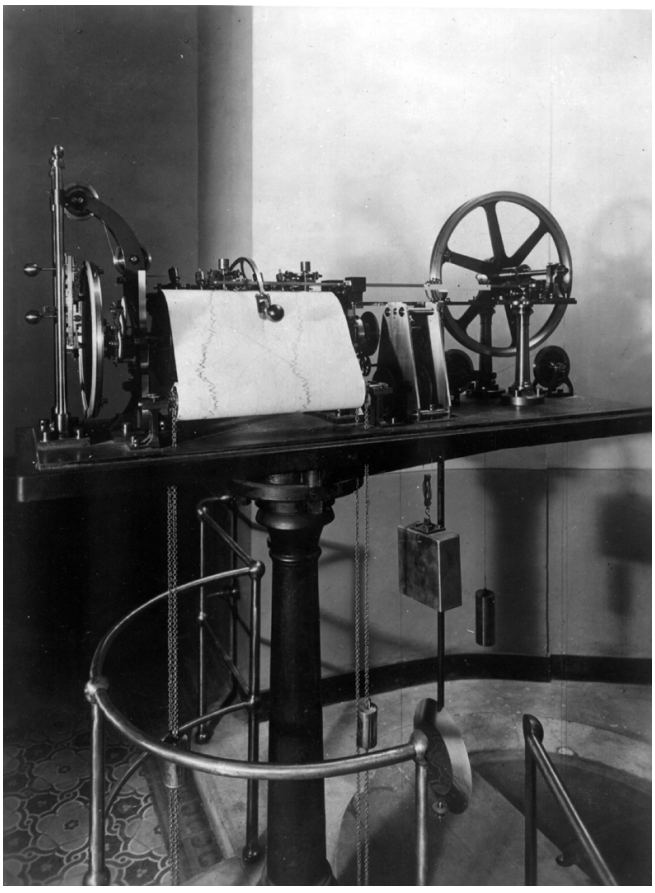
Annexe A: les données du marégraphe totalisateur de Marseille

L'objet de cette annexe est de fournir les éléments techniques nécessaires pour comprendre le fonctionnement du marégraphe de Marseille, appareil unique au monde, et la nature de ses données. Les informations présentés ici sont tirées de l'étude des nombreuses archives de l'IGN, et notamment d'une note provisoire qui fût établie en avril 1963, alors que la marégraphie connaissait un intérêt important dans cet établissement.

A.I. Description du marégraphe de Marseille

Construit par les ingénieurs du port de Marseille en 1884, sur un point dégagé de la côte, à l'abri de tout apport notable d'eau douce, le marégraphe de Marseille de l'Anse Calvo constitue un observatoire du niveau de la mer doté de deux bâtiments solidement ancrés sur le rocher, l'un abritant les instruments de mesure et l'autre destiné au gardien chargé de sa surveillance et des relevés (cf. photo de la figure 1 dans l'avant-propos). Il fût établi à la demande du Service du Nivellement Général de la France afin de déterminer l'origine du système d'altitude français (NGF), le plus proche possible d'un niveau moyen de la mer sur plusieurs années, de fait, sur douze ans, entre 1885 et 1897.

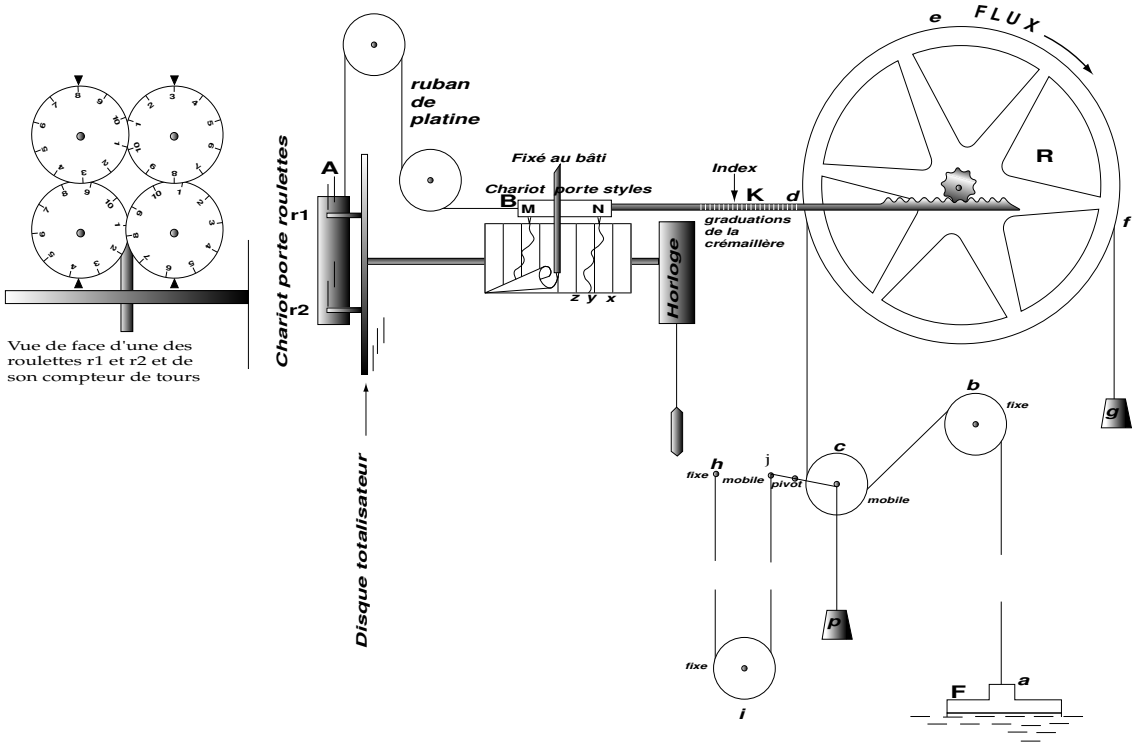
Figure A.1 : Vue du marégraphe totalisateur de Marseille. (Image numérisée à partir d'une photo trouvée dans les archives de l'IGN).



Le principal instrument de l'observatoire, qui d'ailleurs donne son nom à ce dernier, est le marégraphe. Il s'agit d'un appareil classique à flotteur, muni toutefois d'un planimètre totalisateur du système Reitz, qui lui procure toute son originalité. L'image de la figure A.1 présente une vue de cet appareil. Il fût construit par M. Dennert suivant les modifications indiquées par M. Lallemand. Selon Vignal [1935], seuls deux autres appareils de type marégraphe-totalisateur aurait existé en Europe, l'un à Cadix, en Espagne, et l'autre sur l'île d'Helgoland, en Allemagne. Le totalisateur est un dispositif ingénieux d'intégration mécanique qui facilite le calcul du niveau moyen de la mer en faisant automatiquement la somme des valeurs partielles de cette grandeur, obtenues de manière continue. Autrement dit, il intègre les valeurs instantanées du niveau de la mer en fonction du temps.

La chaîne de mesure est schématisée dans la figure 10 du chapitre II que nous reprenons ci-après. Les fluctuations du plan d'eau agissent sur le flotteur (F) situé au fond du puits de tranquilisation qui communique avec la mer par une galerie d'accès. Cette galerie voûtée, de 80 centimètres de largeur et 2,70 mètres de hauteur, est protégée des apports de galets et de sable par divers écrans, certains réglables. Son radier est à environ 60 centimètres au-dessous de la basse mer. Les déplacements verticaux du flotteur entraînent une roue (R) par un fil de suspension (abcdef). Ils sont réduits par pignon et crémaillère dans un rapport de un sur dix, puis transmis aux chariots porte-styles (B) et porte-roulettes (A). Notons que le flotteur, de 90 centimètres de diamètre et 10 centimètres de hauteur, est muni de rouleaux de guidage qui glissent sur trois rails de bronze fixés dans le puits de tranquilisation, qui a un mètre de diamètre. Par ailleurs, les variations thermiques de la longueur du fil de suspension du flotteur sont rigoureusement compensées par les variations thermiques d'un fil (hij) de même nature.

Figure 10 (rappel) : Principe de mesure du marégraphe totalisateur de Marseille.



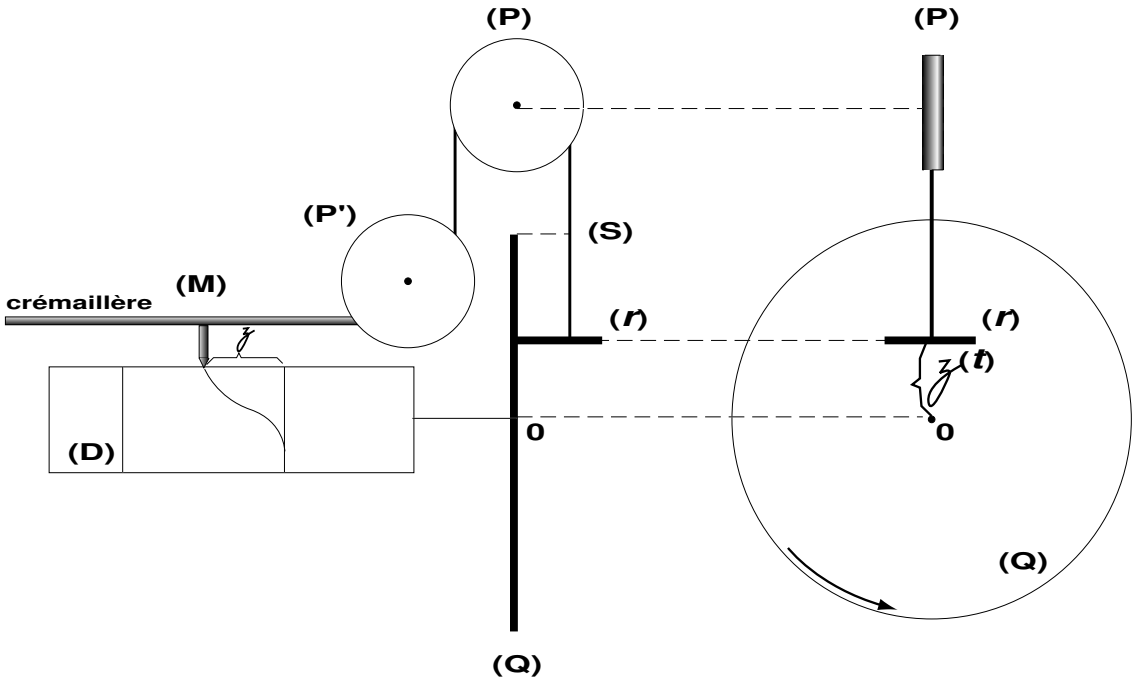
Les variations du niveau de la mer sont transmises à deux dispositifs enregistreurs différents. D'un côté, le chariot (B) est équipé de deux styles (M) et (N) qui inscrivent leur déplacement horizontal sur deux rouleaux de papier ajustés sur le cylindre enregistreur mû par

un mécanisme d'horlogerie. Les deux courbes sont identiques et constituent chacune une courbe de marée; les diagrammes portant le nom technique de marégrammes. L'un était stocké sur place, et l'autre envoyé à Paris pour archivage. D'un autre côté, le chariot (A) se déplace verticalement devant le disque totalisateur (Q) mû par l'horloge. Ce chariot porte deux roulettes (r1) et (r2) frottant sur le disque totalisateur, dont la rotation les fait tourner sur elles-mêmes. Le nombre de tours de chaque roulette est proportionnel à l'aire de la courbe de marée, et celui du disque totalisateur est proportionnel au temps. On déduit alors le niveau moyen de la mer des lectures des compteurs de tours associés aux deux roulettes et au disque. La moyenne correspondant à l'intervalle de temps qui sépare deux lectures successives.

A.II. Totalisateur et niveaux moyen de la mer

La théorie du marégraphe totalisateur est expliquée ici à l'aide du croquis de la figure A.2. Un disque circulaire plan (Q) est calé sur l'axe du cylindre enregistreur. Tous deux sont entraînés par le mouvement de rotation commandé par l'horloge. Sur le disque totalisateur (Q) s'appuie une roulette enregistreuse (r) dont l'axe (rS) parallèle au plan du disque ne peut suivre que des déplacements verticaux. Grâce au système de poulie (pp') ces déplacements, et en particulier ceux du point de contact de la roulette sur le disque, sont égaux à ceux de la crémaillère portant le style (i). Ils traduisent par conséquent les déplacements du plan d'eau au facteur de réduction près.

Figure A.2 : Principe du marégraphe totalisateur.



La roulette (r) est donc soumise à deux mouvements:

- un mouvement de translation le long de son axe;
- un mouvement de rotation imposé par le disque (Q).

Soit {K} la vitesse de rotation uniforme du disque, le nombre de tours effectués par ce disque pendant la durée {δt} est:

$$\delta N = K \times \delta t$$

Soit par ailleurs {z} la distance du centre du disque (Q) au point de contact de la roulette (r) à l'instant {t}, en supposant que l'entraînement de (r) par la rotation de (Q) se fasse sans glissement, l'arc élémentaire que (r) déroule pendant l'intervalle {δt} est proportionnel à sa distance {z} au centre du disque et à l'angle de rotation du disque pendant {δt}, autrement dit, en exprimant les angles en tours:

$$\delta n = k \times z \times \delta N \qquad \text{, soit encore:}$$

$$\frac{\lambda}{2} \times \delta n = z \times \delta N \qquad \text{, avec } \{\delta n\} \text{ : nombre de tours pendant } \{\delta t\}$$

$\{\lambda\}$: diamètre de (r)

La constante {k} est en effet connue, elle est liée au rayon de la roulette (r). La grandeur {z} étant fonction du temps, nous pouvons établir sa moyenne {zm} pendant une période [t0;t1]:

$$z_m = \frac{1}{t_1 - t_0} \times \int_{t0}^{t1} z \cdot \delta t = \frac{\lambda}{2(t_1 - t_0)} \times \int_{t0}^{t1} \frac{\delta n}{\delta N} \cdot \delta t \qquad \text{, avec } \delta N = K \times \delta t$$

$$z_m = \frac{\lambda}{2K \cdot (t_1 - t_0)} \times \int_{n0}^{n1} \delta n = \frac{\lambda}{2K} \cdot \frac{(n_1 - n_0)}{(t_1 - t_0)}$$

Pour des raisons de précision, nous avons vu que le chariot (A) porte deux roulettes (r1) et (r2) situées par construction à une distance fixe. Pour chacune d'entre elles, on a la relation précédente:

soit pour (r1): $$z'_m = \frac{\lambda}{2K} \cdot \frac{(n'_1 - n'_0)}{(t_1 - t_0)}$$

et pour (r2): $$z''_m = \frac{\lambda}{2K} \cdot \frac{(n''_1 - n''_0)}{(t_1 - t_0)}$$

Si {z} désigne à présent la position du centre de l'ensemble des deux roulettes, on a à tout instant:

$$z = \frac{(z' + z'')}{2}$$

et par conséquent, sa valeur moyenne sur l'intervalle [t0;t1] est:

$$z_m = \frac{\lambda}{2K} \cdot \frac{1}{(t_1 - t_0)} \cdot \frac{(n'_1 - n'_0) + (n''_1 - n''_0)}{2}$$

La position des roulettes symétriques par rapport au centre du disque totalisateur (Q) est définie comme le zéro du totalisateur. Aussi, l'ensemble totalisateur-crémaillère a été réglé pour que le zéro du totalisateur corresponde à la division 1000 de la réglette de la crémaillère. En outre, le zéro de la réglette est situé à une hauteur {h} par rapport à la référence arbitraire du marégraphe, c'est-à-dire le zéro NGF. Par ailleurs, considérant que:

- le rapport de réduction par pignon et crémaillère est de dix,
- le disque totalisateur (Q) fait un tour en deux jours (K=0.5),
- la valeur du diamètre des roulettes (λ = 0.03924 mètres),

• les indications de la réglette sont des profondeurs de plan d'eau (le zéro du totalisateur est donc situé à: h-1000-η, η étant une valeur a priori insignifiante de dérèglement),
alors nous obtenons le niveau moyen de la mer {fm} rapporté à la référence du marégraphe, sur un intervalle de temps spécifique exprimé en jours, par la relation:

$$\mathbf{f_m = h - (1000 + \eta) - 0.1962 \times \frac{(\partial n' + \partial n'')}{\partial p}} \text{ en mètres}$$

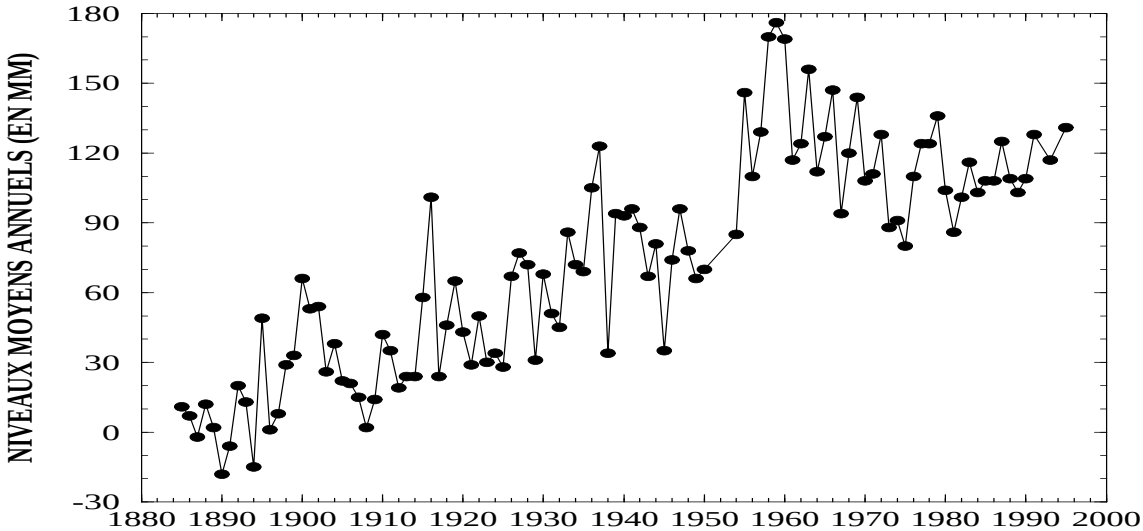
{f_m} : niveau moyen de la mer sur l'intervalle de temps δp;
{δp} : intervalle de temps entre deux relevés des roulettes (en jours);
{δn'} et {δn"} : nombre de tours de roulettes sur l'intervalle δp;
{h} : hauteur du zéro de la réglette au-dessus du zéro NGF;
{η} : le zéro du totalisateur correspond à la graduation 1000 + η de la réglette.

De manière rigoureuse, on peut donc obtenir avec un minimum de calculs le niveau moyen de la mer sur la période de temps désirée: journalière, hebdomadaire, mensuelle, etc.

A.III. Valeurs annuelles à l'IGN et au PSMSL

L'appareil est en service depuis février 1885. Les valeurs moyennes journalières, mensuelles et annuelles obtenues à partir des lectures du totalisateur figurent dans des registres de l'IGN. Cependant, à partir de mars 1988, date du départ à la retraite du dernier gardien, les lectures ne sont plus effectuées journellement. Dès lors, seules les moyennes mensuelles et annuelles sont disponibles. Les données présentes dans la banque de données mondiale du PSMSL proviennent bien entendu de ces registres.

Figure A.3 : Série temporelle des moyennes annuelles du niveau de la mer à Marseille par rapport à l'origine NGF-IGN69 du système d'altitude français. Données obtenues du totalisateur.



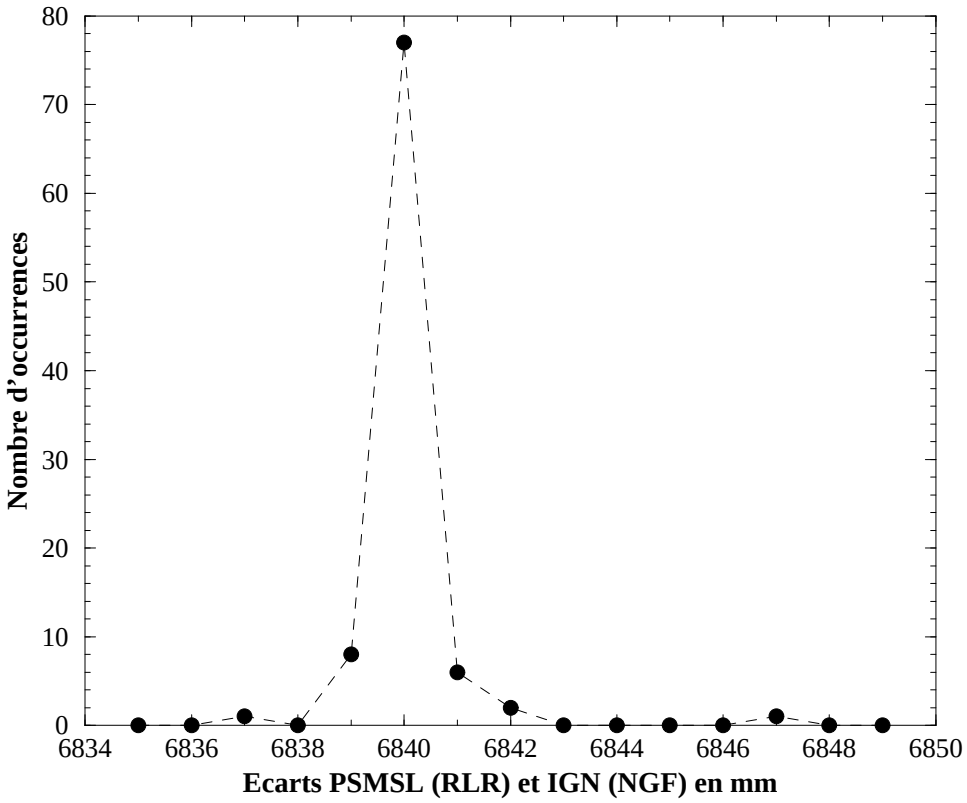
Le tableau de la figure A.4 présente les moyennes annuelles du niveau de la mer à Marseille entre 1885 et 1995. D'une part, nous avons les données prélevées dans les registres de l'IGN. Les valeurs sont exprimées par rapport au zéro NGF (Lallemand ou IGN69) qui est situé à 1.661 mètres sous le repère de marée ϕ, plus connu sous le nom de repère fondamental du réseau de nivellement français. D'autre part, la colonne suivante donne les valeurs diffusées par le PSMSL. Elles sont exprimées par rapport à leur référence propre « RLR » qui se trouve à 8.5 mètres sous ϕ. La dernière colonne donne les écarts observés. L'unité est le mm. Les valeurs entre parenthèse représentent le nombre de mois qui ont servi à calculer la moyenne lorsque les données de tous les mois n'étaient pas disponibles.

Figure A.4 : Tableau des moyennes annuelles du niveau de la mer à Marseille issues des calculs du totalisateur, et exprimées par rapport à deux références locales différentes, NGF et RLR.

ANNEE	NGF	RLR	ECART	ANNEE	NGF	RLR	ECART	ANNEE	NGF	RLR	ECART
1885(11)	11	6851	6840	1923	30	6870	6840	1961	117	6957	6840
1886	7	6847	6840	1924	34	6874	6840	1962	124	6964	6840
1887	-2	6838	6840	1925	28	6868	6840	1963	156	6996	6840
1888	12	6852	6840	1926	67	6907	6840	1964	112	----	----
1889	2	6841	6839	1927	77	6917	6840	1965	127	----	----
1890	-18	6822	6840	1928	72	6912	6840	1966	147	----	----
1891	-6	6834	6840	1929	31	6878	6847	1967	94	----	----
1892	20	6860	6840	1930	68	6908	6840	1968	120	----	----
1893	13	6854	6841	1931	51	6891	6840	1969	144	----	----
1894	-15	6826	6841	1932	45	6885	6840	1970	108	6948	6840
1895	49	6890	6841	1933	86	6926	6840	1971	111(11)	----	----
1896	1	6843	6842	1934	72	6912	6840	1972	128	6968	6840
1897	8	6848	6840	1935	69	6908	6839	1973	88	6928	6840
1898	29	6869	6840	1936	105	6945	6840	1974	91	6930	6839
1899	33	6873	6840	1937	123	----	----	1975	80	6920	6840
1900	66	6906	6840	1938	34	6875	6841	1976	110	6950	6840
1901	53	6893	6840	1939	94	6934	6840	1977	124	6964	6840
1902	54	6894	6840	1940	93	6933	6840	1978	124	6963	6839
1903	26	6866	6840	1941	96	6936	6840	1979	136	6976	6840
1904	38	6878	6840	1942	88	6928	6840	1980	104	6944	6840
1905	22	6862	6840	1943	67	6907	6840	1981	86	6926	6840
1906	21	6861	6840	1944	81	6921	6840	1982	101	6941	6840
1907	15	6854	6839	1945	35	6875	6840	1983	116	6956	6840
1908	2	6842	6840	1946	74	6914	6840	1984	103	6943	6840
1909	14	6855	6841	1947	96	6936	6840	1985(11)	108	6948	6840
1910	42	6884	6842	1948	78	6918	6840	1986	108	6947	6839
1911	35	6875	6840	1949	66	6906	6840	1987	125	6965	6840
1912	19	6859	6840	1950	70	6910	6840	1988	109	6949	6840
1913	24	6865	6841	1951	220(x)	7060	6840	1989	103	6943	6840
1914	24	6864	6840	1952(11)	220(x)	----	----	1990	109	6949	6840
1915	58	6898	6840	1953(10)	79(10)	----	----	1991	128	6965	6837
1916	101	6941	6840	1954	85	6925	6840	1992(7)	----	----	----
1917(10)	24	6864	6840	1955	146	6986	6840	1993	117	----	----
1918	46	6886	6840	1956	110	6950	6840	1994(7)	----	----	----
1919	65	6904	6839	1957	129	6969	6840	1995	127	----	----
1920	43	6883	6840	1958	170	7010	6840				
1921	29	6869	6840	1959	176	----	----				
1922	50	6889	6839	1960	169	7009	6840				

Les écarts entre les données du PSMSL et de l'IGN sont essentiellement dus aux erreurs de troncature et d'arrondi effectués aux diverses étapes de calcul et de transcription. Elles sont de nature accidentelles, et assez rares comme le montre l'histogramme de la figure A.5. L'écart moyen est de 6840 mm et la dispersion autour de cette moyenne est de 0.9 mm. La valeur de 6840 correspond de fait à la différence entre les deux plans de référence NGF et RLR.

Figure A.5 : Histogramme des écarts entre les données annuelles du niveau de la mer diffusées par l'IGN, d'une part, et par la banque mondiale du PSMSL, d'autre part.



Entre parenthèses, le lecteur avisé aura certainement remarqué que la référence RLR se trouvant à 8.5 mètres sous ϕ, et la référence NGF à 1.661 mètres sous ce même repère, l'écart devrait être 6839 mm et non de 6840 mm. L'explication provient tout simplement du fait que la valeur de 1.6610 mètres correspond à une altitude de type normale, alors que la valeur de 1.6597 mètres, diffusée auparavant, correspond à une altitude de type orthométrique.

Cette vérification était motivée par l'observation de Stemmelin [1995], qui constatait des écarts plus variables et plus importants sur le marégraphe de Brest. L'auteur note en effet que 61% des écarts se trouvent dans un intervalle de [-1;1] mm et 92% dans l'intervalle [-10;10], sans toutefois affecter les études de tendance à long terme. Dans notre cas, nous sommes à 96% dans l'intervalle [-1;1].

A.IV. Conclusion

Après une longue gestion commune avec le Service des Phares et Balises, le marégraphe de Marseille est désormais sous la seule responsabilité de l'IGN. La série temporelle de données fournie par ce marégraphe est l'une des plus longues dans le monde. De ce fait, le marégraphe de Marseille a attiré l'attention de nombreux chercheurs qui s'intéressent à l'étude des variations à long terme du niveau des mers. Il constitue un des éléments du système de surveillance mondial du niveau des mers, défini en 1985 par la Commission Océanographique Intergouvernementale et connu sous le nom de GLOSS. Mais, le marégraphe de Marseille est également inclus dans de nombreux autres projets d'échelle plus régionale et européenne, tels que EOSS, EPTN, EUVN, SELF...

Son fonctionnement est aujourd'hui loin de répondre aux spécifications internationales en vigueur [IOC, 1990]. Les scientifiques ont besoin de connaître tout le spectre temporel des variations du niveau de la mer. Or, depuis juillet 1987, le marégraphe de Marseille ne trace plus les courbes de marée. De plus, les marégrammes passés ne sont pas exploitables sans une numérisation préalable, longue et fastidieuse, que l'IGN a toutefois démarré récemment sous l'impulsion du Ministère de l'Environnement, avec l'aide incontournable du SHOM, dans le cadre du projet SONEL [Wöppelmann et al, 1996]. Par ailleurs, il ne faut pas oublier que le marégraphe de Marseille fonctionne depuis 1885. Quelques défauts ont d'ailleurs été mis en évidence lors du dernier étalonnage (cf. chapitre III). Son entretien est délicat, d'autant qu'il repose sur des aspects de mécanique de haute précision qui demandent une maintenance d'un niveau technique que l'IGN n'est plus certain de pouvoir assurer de manière correcte et rapide. Les contrôles de qualité et de performance sont nombreux et ne devraient pas se limiter au simple étalonnage. En toute rigueur, chaque composante de l'appareil nécessite une vérification soignée, et une correction adaptée. Parmi les éléments à surveiller, citons par exemple

- l'usure des roulettes du totalisateur;
- leur roulement sur le disque horaire sans glissements parasites variables;
- la réduction mécanique d'échelle;
- le parallélisme des axes des roulettes totalisatrices et de la direction du mouvement du chariot porte-roulettes;
- l'usure et l'inextensibilité des fils porteurs. Ces derniers sont de nature et de diamètre bien spécifiques.
- l'étanchéité absolue et permanente du flotteur. Il ne doit en outre pas immerger de plus de 10 centimètres.

Au regard de ces lacunes et difficultés, le CNFGG a émis, lors de son Assemblée Générale du 6 février 1996, la recommandation de remplacer cet appareil centenaire par un marégraphe moderne, numérique, qui enregistre tout le spectre temporel de variations du niveau de la mer. Selon les spécialistes du SHOM et du PSMSL, il est toutefois impératif, dans la mesure du possible, que le nouvel instrument fonctionne en parallèle avec l'ancien pendant une période de recouvrement d'au moins un an. Le CNFGG recommande par ailleurs le suivi géodésique continu des mouvements verticaux des marégraphes de Brest et de Marseille, en y installant des récepteurs GPS permanents.