

xyz

Éditée par l'
Association
Française de
Topographie
n°118

- topographie
- géodésie
- photogrammétrie
- SIG
- géomatique
- métrologie
- hydrographie
- topométrie
- cartographie
- génie civil
- histoire

Histoire des SIG

Nouvel Essai
de Paul Courbon
Page 47

**Le marégraphe
de Marseille :
patrimoine
et modernité**



Le marégraphe de Marseille : patrimoine et modernité



Alain COULOMB

Le Marégraphe de Marseille, construit en 1884, présente un tel intérêt patrimonial qu'il a été classé en 2002 parmi les monuments historiques. Mais ce site magnifique abrite aussi un observatoire moderne, équipé d'appareils sophistiqués, et intégré dans plusieurs réseaux géodésiques ou programmes d'observation du niveau des mers.

MOTS-CLÉS

Marégraphe, médimarémètre, nivellement, géodésie, gravimétrie

Le marégraphe de Marseille : un élément peu connu du patrimoine national

Un marégraphe est un instrument permettant de mesurer et d'enregistrer en continu le niveau de la mer à un endroit donné.

Les premiers marégraphe ont été des marégraphe à flotteur. Ce flotteur suit les variations de l'eau dans un puits en



Les bâtiments du Marégraphe de Marseille

communication avec la mer. Ses mouvements verticaux sont transmis à une poulie par l'intermédiaire d'un fil métallique tendu par un contrepoids puis, au moyen d'un système de pignons, à un organe scripteur (crayon, plume ou

pointe) qui se déplace sur un papier enroulé sur un cylindre mù par une horloge. On obtient ainsi une courbe traduisant, à l'échelle de réduction choisie, les variations avec le temps de la hauteur du flotteur. En France, c'est l'ingénieur

hydrographe Rémi Chazallon qui aurait mis au point en 1842 le premier appareil opérationnel de ce type.

L'implantation d'un marégraphe est généralement liée à des activités maritimes et la plupart des marégraphes français sont aujourd'hui gérés par le Service Hydrographique et Océanographique de la Marine (SHOM). Mais l'ensemble immobilier du marégraphe de Marseille a la particularité d'avoir été attribué à l'Institut Géographique National par un arrêté du 6 janvier 1993. Pourquoi donc cette décision qui peut paraître a priori étonnante et saugrenue? Parce que l'édification du Marégraphe de Marseille a été intimement liée à une technique fondamentalement terrestre qui est celle du nivellement.

L'association de l'observation du niveau de la mer et du nivellement, d'ailleurs beaucoup plus récente que les occupations en question, est fondée sur la notion de surfaces équipotentielles du champ de pesanteur terrestre, que l'on appelait autrefois surfaces de niveau. Les surfaces de niveau sont des surfaces normales en chacun de leurs points à la direction du fil à plomb et sur lesquelles, par suite, un déplacement quelconque s'effectue sans travail de la pesanteur. Par chaque point du globe, il passe une surface de niveau et une seule.

On appelle alors différence de niveau de deux points, ou dénivelée, la distance de l'un de ces points à la surface de niveau qui passe par le second. L'idée la plus claire des surfaces de niveau nous est donnée par l'état de repos d'un liquide libre à sa partie supérieure. La mer, dans son état d'équilibre, c'est-à-dire si elle n'était soumise ni à l'action des astres, ni à celle des vents et des courants, serait une surface de niveau.

Le niveau de la mer s'est donc imposé, dès la fin du XVIII^e siècle, comme la surface de référence à laquelle pourraient être rapportées toutes les opérations de nivellement. Dans la première moitié du siècle suivant, on a d'ailleurs vu apparaître un mot nouveau, encore réservé à l'usage de spécialistes : le nom "altitude". L'altitude d'un point de

la surface topographique était définie de façon un peu simpliste comme l'élévation verticale de ce point au-dessus du niveau de la mer. Les altitudes du premier réseau de nivellement d'envergure nationale, opéré par les équipes du conducteur des Ponts et Chaussées Paul Adrien Bourdalouë [1], ont donc été rapportées à ce niveau.

Comme le niveau d'équilibre de la mer est une surface évidemment théorique, impossible à mesurer, les ingénieurs ont essayé, avant l'invention du marégraphe, de s'en approcher, avant l'invention du marégraphe, en mesurant ce qu'ils appelaient alors un niveau moyen, obtenu en calculant la moyenne entre des observations de pleine et de basse mer (ce niveau est aujourd'hui appelé niveau de mi-marée). Bien que le réseau de nivellement Bourdalouë soit postérieur à l'invention du marégraphe, c'est de cette façon qu'a été déterminée son altitude zéro, fixée en 1860 à la graduation 0,40 mètre de l'échelle de marée implantée dans le Vieux Port de Marseille.

Pascal, ingénieur en chef des Ponts et Chaussées à Marseille, a indiqué que le niveau moyen était considéré "comme se trouvant à 0,40 m au-dessus du zéro de l'échelle des marées" et qu'il n'avait été fait "aucune observation pour déterminer ce niveau", choisi par les ingénieurs du port de Marseille en se gui-

dant sur les seules "traces plus ou moins apparentes que les eaux, dans leurs mouvements de hausse et de baisse, laissent contre les murs de quai."

En 1864, les pays européens réunis à Berlin ont adopté les dispositions suivantes : "Les hauteurs de chaque pays seront rapportées à un seul point zéro, solidement établi ; tous ces points de départ seront reliés entre eux par un nivellement de précision. Le niveau moyen des différentes mers devra être déterminé dans le plus grand nombre de ports, et de préférence au moyen d'appareils enregistreurs (...). Selon les résultats de toutes ces mesures, on choisira plus tard le plan général de comparaison pour toutes les hauteurs de l'Europe."

Un autre nouveau vocable est alors apparu avant que la France ne se conforme à ce vœu : le nom géoïde. On définit un géoïde comme "une surface équipotentielle du champ de pesanteur coïncidant au mieux avec le niveau moyen des mers. En raison des variations de la masse volumique de l'eau, des vents et des courants dominants, des variations de pression atmosphérique, la surface moyenne des mers n'est pas une surface équipotentielle. D'autre part, la façon dont le géoïde coïncide au mieux avec la surface moyenne des océans est ambiguë. Il



Contrôles de nivellement dans la cour du Marégraphe de Marseille.



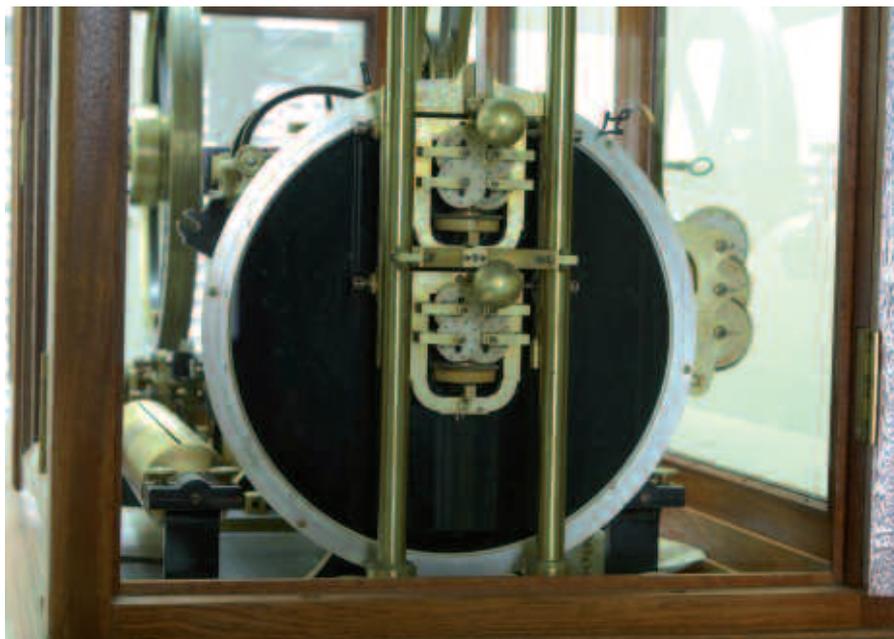
s'ensuit que le géoïde ne peut pas être défini de manière univoque. Pour réaliser un modèle de géoïde, on peut convenir par exemple qu'il contient un point particulier : le niveau moyen enregistré par un marégraphe pendant une période donnée." L'altitude d'un point est alors définie comme "la coordonnée par laquelle on exprime l'écart vertical de ce point à une surface de référence proche du géoïde." [2]

Quelques années après la création du nom géoïde, dans la dynamique créée par le plan de travaux publics lancé par Charles de Freycinet, et alors que le nivellement de Bourdalouë était tombé un peu en discrédit, en partie à cause de l'imprécision de son zéro, on a décidé une refonte totale du réseau de nivellement français. La Commission centrale du Nivellement Général de la France a été instituée en 1878. Lors de sa première réunion, elle a chargé une Sous-commission de préparer des projets de résolution, sur lesquels elle aurait ultérieurement à délibérer et à statuer.

En juillet 1879, cette Sous-commission a demandé l'installation à Marseille d'un marégraphe, dont les relevés devaient permettre la détermination exacte du niveau moyen de la mer dans ce port et l'établissement dans cette même ville du repère fondamental du futur réseau de nivellement.

Qu'est-ce qu'un repère fondamental et à quoi sert-il ? Une fois déterminé le niveau moyen de la mer, il faut le repérer par un point matériel, par rapport auquel sera définie la référence de la surface de niveau zéro. Le repère fondamental est ce repère de nivellement, choisi comme étant le plus stable possible, dont l'altitude est fixée conventionnellement et qui sert de point de départ aux calculs de toutes les altitudes d'un réseau de nivellement.

Les bâtiments du Marégraphe de Marseille ont été construits en 1883 à moins de trois kilomètres de l'échelle de marée utilisée par Bourdalouë, le long de la toute nouvelle promenade de la Corniche, une des plus élégantes de la cité phocéenne. L'ensemble immobilier comprend deux bâtiments principaux : un solide refuge pour l'appareil marégraphe et une maison d'habitation



© Photo Daniel Mener-IGN

Partie totalisatrice du marégraphe Reitz.

destinée à héberger le gardien des lieux. La chambre souterraine du premier édifice abrite, dans des conditions particulièrement favorables de stabilité et de conservation, le repère fondamental du futur Nivellement Général de la France. Ce repère est constitué par un rivet en bronze dont la calotte supérieure est faite en un alliage très dur de platine et d'iridium. Ce rivet est scellé dans un bloc cylindrique de granit, lui-même incrusté dans le rocher compact qui forme le promontoire sur lequel le Marégraphe est construit.

Sur proposition de Charles Lallemand, secrétaire de la Sous-commission, le choix de l'instrument s'est porté sur un type de marégraphe que l'ingénieur civil hambourgeois Reitz avait déjà installé sur l'île d'Helgoland (mer du Nord) et dans le port de Cadix (Océan Atlantique).

Avant l'invention de F. H. Reitz, le niveau moyen calculé sur une période de temps pouvait être déterminé, soit par un lourd calcul arithmétique, soit en mesurant sur les marégrammes (diagrammes fournis par les marégraphe), au moyen d'un planimètre, l'aire formée par la courbe de marée, l'axe des temps et les deux droites figurant les bornes de la période considérée. De cette dernière façon, le résultat était obtenu beaucoup plus rapidement mais manquait un peu de précision. Le



marégraphe totalisateur mis au point par F. H. Reitz remplaçait tout ce travail par une simple division de deux chiffres fournis par l'instrument et dont l'un était proportionnel au temps écoulé. Et comme, dans l'appareil nouveau, la détermination du niveau moyen se faisait automatiquement, sans l'aide d'aucun diagramme, on obtenait par cette méthode directe une précision extraordinaire, bien supérieure à celle qui était obtenue avec un planimètre.

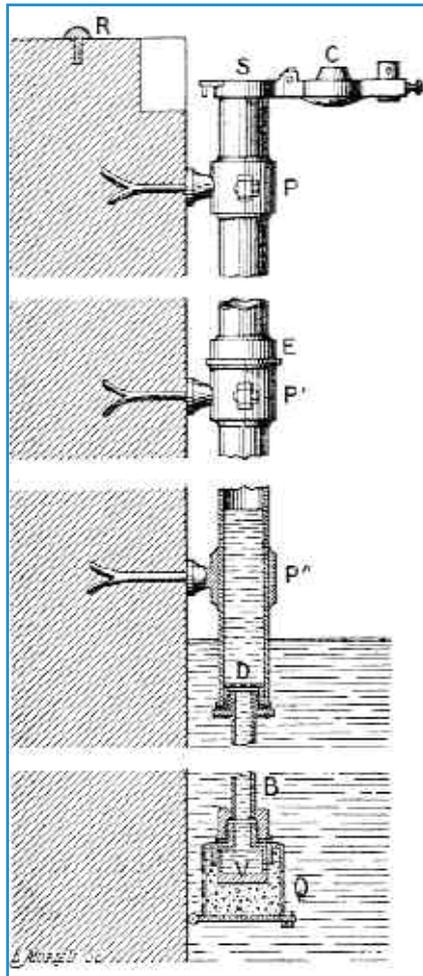


La mise au point du Marégraphe de Marseille, appareil plus élaboré que ses homologues d'Helgoland et de Cadix, a été le fruit d'un long échange de vues entre Monsieur F. H. Reitz et Charles Lallemand. Le marégraphe a ensuite été construit par la maison Dennert & Pape, installée dans la coquette ville d'Altona, dans la banlieue de Hambourg. Cet atelier de mécanique de précision avait déjà assemblé les appareils d'Helgoland et de Cadix. Les ateliers Dennert & Pape ont confié l'appareil destiné au Marégraphe de Marseille à un bateau à vapeur qui est arrivé à Marseille en novembre 1884 et l'installation de l'appareil a été assurée par Monsieur Johann Christian Dennert, en présence de Charles Lallemand. Le marégraphe a commencé à fonctionner au début du mois de février 1885.

■ Les médimarémètres

Les dépenses pour la construction des bâtiments du marégraphe se sont élevées à environ 38 000 francs, et l'instrument a coûté, mis en place, 10 500 francs. Cet ingénieux marégraphe totalisateur était donc très coûteux et, par suite, ne pouvait être multiplié autant qu'il était nécessaire le long des côtes françaises. Charles Lallemand a donc imaginé un nouvel appareil, appelé médimarémètre (mesure de la mer moyenne), qui échappait à cet inconvénient et qui permettait d'obtenir, sans le secours d'aucun mécanisme et avec une dépense insignifiante (moins de deux cents francs), le niveau moyen de la mer en un point donné.

La partie principale de l'instrument était un grand tube parfaitement étanche, que l'on fixait verticalement dans un puits en communication avec la mer ou le long d'un mur de quai. A sa base, ce tube était en relation avec un vase nommé plongeur, immergé au-dessous du niveau des plus basses mers. Une cloison poreuse divisait ce plongeur en deux parties. Le compartiment extérieur était rempli de sable, dont l'objet était de filtrer les impuretés de l'eau et d'empêcher un engorgement trop rapide de la cloison poreuse. L'enveloppe de ce compartiment était



Coupe d'un médimarémètre.

percée de trous qui permettaient à l'eau d'y pénétrer.

La détermination du niveau de l'eau se faisait simplement au moyen d'une sonde graduée, formée d'un tube mince en cuivre, qu'on laissait descendre dans le grand tube jusqu'à une butée. La graduation de la sonde tenait compte de la surélévation du niveau de l'eau créé par le volume de la sonde. Pour faciliter la lecture du niveau de l'eau, on fixait, le long de la tige, une bande de papier préalablement sensibilisé qui noircissait au contact de l'eau.

La bande de papier étant en place sur la sonde, l'opérateur introduisait dans le tube la sonde suspendue au moyen d'un fil. Une ou deux secondes après qu'elle soit arrivée en butée, il la retirait et il lisait la cote du niveau de l'eau, en regard de la limite du noir sur le papier. Il consignait le résultat sur un registre d'observation qui permet-

tait le calcul du niveau moyen sur une période de temps donnée.

Charles Lallemand a fait construire son premier médimarémètre en mai 1885. Installé dans le puits du marégraphe totalisateur de Marseille, ce prototype a été immédiatement opérationnel. Il a été le premier d'une longue série qui a bientôt équipé la plupart des ports de métropole et d'Afrique du Nord. Tout au long de son histoire, le Marégraphe de Marseille a ainsi été un véritable laboratoire d'expérimentation de matériels destinés à mesurer le niveau moyen de la mer.

A la fin de l'année 1896, alors que les observations du réseau de nivellement de base se terminaient, il devenait urgent de fixer un niveau de référence. On a alors constaté que le diagramme figurant le niveau moyen de la mer à Marseille depuis l'origine des mesures (1^{er} février 1885) était une hyperbole qui tendait vers un niveau situé à 71 millimètres au-dessous du zéro du nivellement Bourdalouë.

Charles Lallemand, devenu Directeur du Service du Nivellement général de la France institué en 1891, a donc décidé d'adopter cette limite comme nouveau zéro des altitudes du réseau de nivellement continental français. Le centenaire de cet événement a été dignement commémoré par un article de Robert Vincent, Président honoraire de l'AFT [3]. Il est à noter que cette origine est purement conventionnelle et pratique, on aurait pu choisir un autre lieu ou une autre période et le résultat aurait pu être sensiblement différent. En Corse, l'origine des altitudes a été fixée à l'issue d'observations de la marée réalisées à Ajaccio de 1912 à 1937.

Le Marégraphe de Marseille a été édifié pour durer : il suffit d'apprécier le volume total de l'édifice et la qualité de sa construction pour s'en persuader ! Il ne s'agissait pas seulement d'établir un observatoire pour définir le zéro du nivellement national (opération réalisée après quelques années d'observations). Le Marégraphe de Marseille a aussi été conçu pour étudier les variations du niveau moyen de la mer avec le temps. Sans doute

les ingénieurs français caressaient-ils aussi le secret espoir que cet observatoire abriterait un jour le zéro unique d'un nivellement européen. A partir de 1897, les observations du niveau de la mer se sont donc régulièrement poursuivies. En 1940, le Service du Nivellement Général de la France a été rattaché à l'Institut Géographique National.

Dans les années 1960, le réseau NGF-Lallemand s'étant dégradé, l'IGN a décidé sa réfection, en conservant son origine. Le réseau de base étant terminé en 1969, le nouveau réseau a été baptisé NGF-IGN1969. Le type d'altitude du réseau NGF-IGN1969 étant différent du type d'altitude adopté par Charles Lallemand (le type d'altitude résulte du choix de la formule de calcul des altitudes, prenant en compte ou non la pesanteur), l'altitude du repère fondamental, arrêtée en 1897 à 1,660 m (altitude dite orthométrique) dans le système d'altitude NGF-Lallemand est devenu 1,661 m dans le système NGF-IGN69 (altitude dite normale).

En 1985, l'IGN a décidé d'arrêter l'enregistrement graphique de la courbe de marée et de se contenter des relevés journaliers effectués par le dernier gardien du Marégraphe de Marseille. En 1988, celui-ci a définitivement quitté la Corniche et, à partir de cette date, les relevés, dont la périodicité est rapidement passée à une semaine, ont été réalisés par un agent du centre IGN d'Aix-en-Provence.

Voici, très brièvement résumée, la riche histoire du Marégraphe de Marseille. En 2002, jugeant que la conservation de cet édifice présentait un intérêt public, le Ministère de la Culture a classé l'ensemble immobilier et l'appareil Reitz parmi les monuments historiques. En 2006 et 2007, l'IGN a entrepris d'importants travaux de rénovation de ces bâtiments. Espérons que Marseille, choisie pour être capitale européenne de la culture en 2013, capitale européenne de la culture, saura à cette occasion et avec l'aide de l'IGN, mettre encore plus en valeur cette partie de son patrimoine, jusqu'à présent très mal connue de ses habitants.



Le Marégraphe de Marseille : un observatoire vivant et moderne

Le Marégraphe de Marseille n'est pas seulement un lieu chargé d'histoire, c'est aussi une station de surveillance de haute qualité, équipée d'appareils modernes qui en font un observatoire essentiel des programmes actuels d'observation du niveau des mers.

Alors que l'altimétrie radar embarquée sur satellite a révolutionné notre connaissance des océans, la marégraphie a connu, depuis environ deux décennies, un essor sans précédent, aussi bien dans ses technologies que dans ses applications. Aujourd'hui, le besoin accru en observations côtières du niveau de la mer, accessibles de manière aisée, sous forme numérique, par des moyens modernes de communication, dépasse le cadre traditionnel de l'hydrographie, de la prédiction de la marée ou de la navigation. Les séries temporelles de longue durée sont par exemple les seules à permettre des analyses statistiques sur les niveaux extrêmes, et par suite à conduire à des études de dimensionnement de travaux maritimes, de protection du littoral, de

classification des zones inondables, de permis de construire et de remboursements par les assurances... Les enjeux économiques sont importants !

Ces séries concourent aussi à des études scientifiques menées notamment par le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC). Le niveau moyen de la mer monte-t-il ? Où ? Comment ? Pourquoi ? Les ondes de tempête sont-elles plus fréquentes aujourd'hui ?... La réponse à ces questions dépend notamment de l'acquisition de longues séries temporelles d'enregistrement du niveau marin, dont l'interprétation est facilitée par l'association de la marégraphie avec d'autres techniques de mesure, en particulier avec les techniques spatiales de positionnement précis (GPS, DORIS...) qui permettent de s'assurer de la stabilité géodésique du socle sur lequel reposent les marégraphes... Les enjeux sont là considérables !

■ La numérisation des marégrammes de Marseille

La sauvegarde des données fournies par les diagrammes (courbes des hauteurs d'eau en fonction du temps) fournies par le Marégraphe totalisateur de Marseille entre 1885 et 1985 (dont le

► papier se détériore avec le temps) et l'exploitation de ces données par des moyens informatiques nécessitaient leur conversion sous un format compatible avec les ordinateurs.

Ce travail colossal de numérisation de 1200 marégrammes a été effectué entre 1996 et 2001, grâce à une action concertée de l'IGN et du SHOM.

■ *L'intégration du Marégraphe de Marseille dans les programmes nationaux et internationaux d'observation du niveau des mers*

La série temporelle de mesures fournie par le Marégraphe de Marseille est, avec celle de Brest, l'une des plus longues dans le monde. De ce fait, le marégraphe de Marseille a attiré l'attention de la Commission Océanographique Intergouvernementale (COI) de l'UNESCO, qui assure depuis 1985 la coordination des efforts nationaux en vue de mettre en place un réseau mondial permanent d'observatoires du niveau de la mer, connu sous le nom de Global Sea Level Observing System (GLOSS).

Ce réseau est composé d'environ trois cents marégraphes (celui de Marseille, numéroté 205, est important parce qu'il représente la Méditerranée quasiment à lui tout seul), formant l'ossature autour de laquelle se rattachent les projets plus denses, régionaux ou nationaux.

Parmi ceux-ci, figure le Réseau d'Observatoires du Niveau de la Mer (RONIM), que le Service Hydrographique et Océanographique de la Marine (SHOM) a mis en place sur l'ensemble des côtes françaises à partir de 1992. Le RONIM gère les mesures de 26 Marégraphes Côtiers Numériques (MCN) et des sonars. Le principe de mesure des MCN est fondé sur la mesure du temps de parcours aller-retour d'une onde acoustique émise au-dessus du plan d'eau et réfléchi par ce dernier. La connaissance de la vitesse de propagation de l'onde dans l'atmosphère permet alors de convertir la mesure de temps en mesure de hauteur. Ces appareils effectuent automatiquement une mesure toutes les dix minutes.

Sur proposition du Conseil National Français de Géodésie et de Géo-



© Photo Alain Coulomb-IGN

L'antenne de la station RGP installée sur le toit du Marégraphe de Marseille.

physique (CNFGG), et de manière à mieux répondre aux spécifications internationales en vigueur, l'IGN a donc, en juillet 1998, équipé l'observatoire de Marseille d'un marégraphe numérique. Jusqu'en 1998, les moyennes mensuelles et annuelles collectées par le Permanent Service for Mean Sea Level (PSMSL), service scientifique international créé en 1933, étaient établies à partir des données fournies par le marégraphe installé en 1885.

Depuis 1998, les données transmises au PSMSL sont donc celles du MCN à ultrason. L'ancien marégraphe de 1885 n'est pas pour autant mis à la retraite. Il est toujours entretenu et, comme le marégraphe numérique, fait l'objet d'un étalonnage annuel. Des mesures hebdomadaires y sont constamment effectuées, en parallèle des mesures faites par le marégraphe à ultrason. La comparaison et l'analyse des deux séries d'observations prouve même que les données fournies par l'ancien appareil sont toujours d'excellente qualité et en particulier que sa référence est bien calée, au niveau du millimètre.

Signalons que, par l'intermédiaire de l'exploitation du Marégraphe de Marseille, et plus généralement de la surveillance géodésique des marégraphes, l'IGN entretient aussi d'étroites relations avec le Système d'Observation

National des Eaux Littorales (SONEL), coordonné depuis l'université de La Rochelle. L'objectif principal de SONEL est de rassembler et de diffuser à la communauté scientifique des observations du niveau de la mer enregistrées par des marégraphes (données horaires par exemple alors que le PSMSL ne diffuse que des moyennes) afin de mieux comprendre et décrire les variations de cette grandeur à la côte donnée.

■ *Une station GNSS permanente au Marégraphe de Marseille*

Les techniques spatiales de positionnement précis, telles que celles offertes par les GNSS (Global Navigation Satellite Systems (GNSS)), constituent aujourd'hui un outil qui permet un positionnement tridimensionnel dans un système de référence mondial lié à la Terre. Le GPS (Global Positioning System) et son équivalent russe GLO-NASS (GLOBAL NAVIGATION Satellite System) ont été les premiers systèmes en exploitation ; ils seront bientôt complétés par le système européen Galileo.

Dans sa proposition évoquée ci-dessus, le CNFGG proposait aussi d'équiper le Marégraphe de Marseille d'un récepteur GPS permanent, permettant la surveillance en continu par les techniques de géodésie spatiale des mouvements du marégraphe. Notre globe est en effet



maintenant couvert par des réseaux internationaux de stations fixes et permanentes dont les données sont mises à la disposition de la communauté scientifique. Sur le territoire français, dans le cadre de sa mission de service public, l'IGN fédère l'installation et la gestion d'un Réseau GPS Permanent (RGP) en partenariat avec des universités, des instituts de recherche, des collectivités territoriales et des entreprises du secteur privé.

Les données de ces stations permanentes couvrent la grande majorité des applications possibles du GNSS. Grâce à elles, les géodésiens et les hydrographes espèrent, par exemple, pouvoir distinguer dans le signal marégraphique les mouvements de la croûte terrestre des variations du niveau moyen de la mer, et d'autre part, comparer les résultats obtenus pour divers marégraphes, même très éloignés, puisque leurs coordonnées sont exprimées dans le même système global de référence.

Une station GNSS permanente, désignée par l'acronyme MARS et intégrée au réseau européen EUREF Permanent Network (EPN), est donc installée depuis le 1^{er} août 1998 au Marégraphe de Marseille. Elle reçoit aujourd'hui les données des deux constellations GPS et GLONASS.



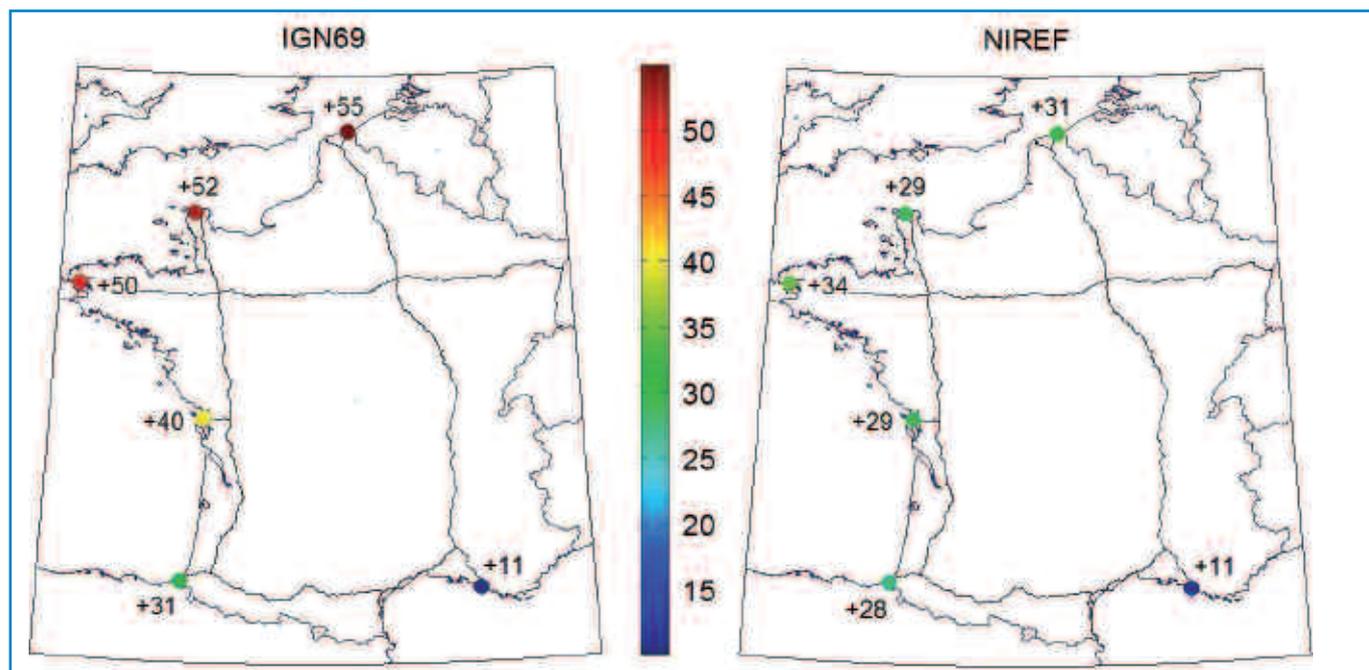
© Daniel Menet - IGN

Gravimétrie : Mesure de gravimétrie absolue dans le bâtiment du Marégraphe de Marseille.

■ *Le marégraphe de Marseille et la gravimétrie*

Nous avons vu au début de cet article que la théorie du nivellement est fondée sur la notion de surfaces équipotentielles du champ de pesanteur terrestre et que l'altitude d'un point est définie comme la coordonnée par laquelle on

exprime l'écart vertical de ce point à une surface de référence proche du géoïde. Pour améliorer la connaissance du géoïde, l'IGN a entrepris, depuis 2000, des mesures de gravimétrie (technique de mesure de l'intensité de la pesanteur) sur tous les sites du réseau matérialisé de géodésie appelé Réseau de Base Français (RBF). L'observatoire de



© Paul Reibschung-IGN

Niveaux moyens des mers exprimés (en centimètres) dans les deux systèmes altimétriques NIREF et IGN69.

► Marseille, qui constitue un des 23 sites du Réseau de Référence Français (RRF), formant l'ossature de ce RBF, abrite donc plusieurs points où l'on mesure l'intensité de la pesanteur. Grâce à la complémentarité de ces équipements (station RGP, points de mesure de l'intensité de la pesanteur, marégraphe numérique, points de nivellement), l'observatoire de Marseille est un élément essentiel de la contribution française au réseau européen ECGN (European Combined Geodetic Network).

■ Est-ce que la mer monte ?

Les observations continues effectuées à Marseille depuis 1885 ont montré que l'écart entre le niveau moyen de la mer et le repère fondamental du réseau de nivellement français allait en diminuant. Ceci pouvait être interprété de plusieurs façons : soit cette diminution mettait en évidence un exhaussement du niveau de la mer, soit elle montrait un tassement du Marégraphe de Marseille ou de son substrat, soit encore elle était due à une combinaison des deux phénomènes.

Les bâtiments du Marégraphe étant établis sur des rochers offrant a priori de bonnes garanties de stabilité, et les différents nivellements exécutés au cours des ans n'ayant montré aucun mouvement local, de nombreux auteurs avaient déjà conclu à un exhaussement du niveau de la mer.

Les moyens modernes dont nous disposons aujourd'hui confirment cette hypothèse. Les dix années d'observation GPS permanentes permettent d'abord d'écarter l'hypothèse d'un tassement du Marégraphe de Marseille ou du socle sur lequel il est construit. L'établissement en cours d'un réseau de Nivellement de Référence (NIREF) apporte aussi de nouveaux éléments de réflexion énoncés ci-dessous.

Signalons d'abord que NIREF est destiné à être utilisé dans la recherche sur les systèmes de référence altimétriques, l'unification de ces systèmes, l'étude des déformations de la croûte terrestre, l'étude des variations temporelles et spatiales du niveau des mers... Il n'est pas conçu pour devenir le nou-

veau système altimétrique officiel en France, qui reste le système NGF-IGN1969, mais il est envisagé que NIREF devienne la nouvelle contribution française au Réseau Européen Unifié de Nivellement (REUN) ou United European Levelling Network (UELN).

Les niveaux moyens de la mer enregistrés par six marégraphes français ont été exprimés récemment dans les deux systèmes altimétriques NGF-IGN1969 et NIREF. Les résultats obtenus permettent de formuler une première remarque : étant donné que l'origine du système NGF-IGN1969 est le niveau moyen enregistré au Marégraphe de Marseille durant les années 1885-1896, la valeur de + 11 cm (voir graphique p. 21) peut être lue comme la hausse du niveau moyen de la mer, à Marseille, depuis la fin du dix-neuvième siècle jusqu'à aujourd'hui. NIREF permet également d'estimer la dénivellée entre le niveau moyen de la Méditerranée et le niveau moyen océanique : la surface méditerranéenne serait (du moins à Marseille) environ 19 cm plus basse que la surface océanique. [2]

■ L'actualité

Au mois d'avril, grâce aux efforts conjugués de l'IGN et du SHOM, l'observatoire de Marseille doit être équipé d'un nouveau MCN, plus moderne et plus performant que celui de 1998 (marégraphe radar). Le nouvel instrument, compatible avec le réseau RONIM, comprendra notamment un télémètre à émission radar et une centrale d'acquisition numérique. La centrale permettra de recueillir les mesures de hauteur de niveau de la mer à une période d'échantillonnage inférieure ou égale à 10 minutes. Son fonctionnement sera permanent. La précision des mesures attendue est meilleure que 2 cm à 99,5%. Une nouvelle période de recouvrement durant laquelle le nouveau MCN et l'ancien marégraphe totalisateur vont fonctionner simultanément, assurera la continuité de la série de données établie à Marseille... L'observatoire marégraphe de la cité phocéenne a donc encore de beaux jours devant lui ! ●



Repère de nivellement implanté dans le mur de la maison de l'ancien gardien du Marégraphe, à droite de la porte d'entrée. Ce repère immatriculé M.abc, est à 11,450 m au-dessus du niveau moyen de la mer déterminé au même endroit en 1897.

Contact

Alain COULOMB

Institut Géographique National
Service de Géodésie et Nivellement
Chef du Département Réseaux de référence matérialisés
alain.coulomb@ign.fr

Bibliographie

Archives du Marégraphe de Marseille –
IGN - SGN 100 13 05

- [1] **Robert Vincent XYZ n°68** – Paul-Adrien Bourdalouë
- [2] **Alain Coulomb et al.** – IGN - SGN - IT n° 272, *Spécifications du produit Réseaux de nivellement* – Juillet 2008
- [3] **Robert Vincent XYZ n° 73** – Il y a 100 ans le marégraphe de Marseille
- [4] **Paul Rebuschung et Henri Duquenne**, IGN – Colloque CNFG2, Paris, 2008

ABSTRACT

Key words: Tide gauge, mean sea level, levelling, geodesy, gravimetry

The Marseille tide gauge, built in 1884, is such an important heritage that it was registered historic monument in 2002. But that beautiful site also houses a modern observatory equipped with sophisticated devices, and belongs to several geodetic networks and sea level observation programmes.