



**HAL**  
open science

## Relevé 2D & 3D du marégraphe de Marseille

Emmanuel Clédat, Clovis Bergeret, Marius Dahuron, Lilian Wecker, Frédéric Ye

► **To cite this version:**

Emmanuel Clédat, Clovis Bergeret, Marius Dahuron, Lilian Wecker, Frédéric Ye. Relevé 2D & 3D du marégraphe de Marseille. Revue XYZ, 2022, 173, pp.55 - 62. hal-04424613

**HAL Id: hal-04424613**

**<https://hal.science/hal-04424613>**

Submitted on 29 Jan 2024

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

# AVZ

**aft**  
association francophone de topographie



n° 173



**Relevé 2D & 3D  
du marégraphe  
de Marseille**  
page 55

# Relevé 2D & 3D du marégraphe de Marseille

■ Emmanuel CLÉDAT - Clovis BERGERET - Marius DAHURON - Lilian WECKER - Frédéric YE

*Le marégraphe de Marseille est un monument historique de l'IGN. Pour permettre au plus grand nombre de le visiter (virtuellement), et pour préparer d'éventuels travaux de restauration, l'association des amis du marégraphe a commandité une modélisation 3D. Effectués par les élèves de l'ENSG-Géomatique en utilisant les méthodes de photogrammétrie et de scanner laser terrestre, ces relevés ont permis de produire un modèle 3D intérieur et extérieur, mais aussi des produits 2D : coupes, plans, écorchés.*

## MOTS-CLÉS

Photogrammétrie, lasergrammétrie, drone, nuage de points, maillage, visite virtuelle, géoréférencement, contrôle qualité, coupe, écorché, multitechnique

## Pourquoi un modèle 3D ? Pourquoi pas plus simple ?

Suite à la commande de l'association des amis du marégraphe de Marseille, le premier réflexe de photogrammètre moderne consisterait à délivrer un modèle 3D numérique, c'est-à-dire une représentation du bâtiment sous forme d'un ensemble de points et/ou de surfaces connus en coordonnées 3D, visualisable sur un ordinateur. Ce type de produit cartographique a l'avantage d'être versatile : il est possible d'y mesurer des cotes précises, de le superposer avec d'autres données 3D pour effectuer des analyses quantitatives de différences ou de déformation, de créer des vues en perspective et des vidéos.

Les modèles 3D peuvent être classés en quatre catégories (possiblement combinées) :

- **le nuage de points** : un ensemble de points (souvent colorés) non structurés répartis sur les surfaces matérielles des objets ;
- **le maillage (*mesh*)** : un nuage (souvent un peu moins dense) où les points sont reliés par des triangles adjacents représentant la surface des objets ;
- **reconstruction en primitives géométriques** : les objets de la scène sont représentés par les formes géométriques de leurs conceptions : plans, cylindres, cônes, tores, etc. ou par des surfaces paramétrées quelconques ;
- **BIM (*Building Information Modeling*)** : les données 3D, souvent des primitives géométriques, sont référencées dans une base de données de manière à pouvoir facilement effectuer des recherches et analyses combinant géométrie et sémantique, à la manière d'un SIG.

Le BIM est adapté pour un bâtiment contenant de nombreux éléments et réseaux complexes de natures

Les grands chantiers d'aménagement et de génie civil du XIX<sup>e</sup> siècle ont nécessité l'harmonisation de l'intégralité des réseaux de nivellement. Le niveau zéro a été choisi comme la surface de la mer Méditerranée à Marseille pour fixer une référence unique pour toutes les altitudes de France métropolitaine. Ce niveau d'eau est relevé depuis 1885 par un marégraphe : un instrument de mesure couplé à un mouvement d'horlogerie. Ce marégraphe est lui-même abrité dans un bâtiment construit entre 1883 et 1884 qui par synecdoque est appelé le marégraphe de Marseille (une section entière de notre bibliographie est dédiée à l'historique du marégraphe de Marseille).

Le réseau a été fixé en 1897 en effectuant une pseudomoyenne sur les 12 premières années de mesure. L'observatoire est de nos jours un élément (N° 205) du réseau mondial permanent d'observatoires du niveau de la mer GLOSS [1], et constitue la station GNSS permanente MARS00FRA [9]. Depuis 1998, le système de flotteur fonctionne en même temps que le système numérique, mesurant le niveau de la mer par ultrason d'abord, puis par laser depuis 2009. En outre, les mesures continues depuis presque un siècle et demi permettent d'étudier un phénomène qui intéresse les lecteurs d'XYZ depuis plusieurs décennies [3] : la montée des eaux, et donc indirectement les effets du réchauffement climatique.

## Contexte de la numérisation

Le marégraphe de Marseille, possédé et géré par l'IGN, a donc une valeur scientifique et historique qui lui aura valu son classement aux monuments historiques en 2002. Pour promouvoir et faire rayonner cet instrument et ce bâtiment, une association a été fondée en 2021 : L'association des amis du marégraphe de Marseille [8, 7]. Les différentes actions de cette association nécessitent une documentation visuelle décrivant de manière métrique la géométrie du marégraphe qui peut prendre la forme de plans, de coupes et de modèles 3D. Les plans de conception et d'exécution du XIX<sup>e</sup> ont une valeur historique et esthétique mais il était nécessaire de les réactualiser avec des méthodes modernes pour relever le bâtiment tel qu'il existe aujourd'hui. Dans la mesure où ces produits cartographiques ont une vocation pédagogique, il était naturel de faire intervenir des étudiants de l'ENSG-Géomatique (l'École nationale des sciences géographiques qui dépend de l'IGN) pour le travail du relevé 3D des bâtiments. Cette mission a trouvé sa place dans le cursus des élèves du cycle ingénieur, en tant que stage ouvrier. Traditionnellement, les futurs ingénieurs effectuent ce stage en fin d'année scolaire de première année au centre IGN de Forcalquier. Quatre étudiants, encadrés par un enseignant, les auteurs de cette publication, ont été détachés pour numériser le marégraphe de Marseille.



différentes sur lesquels des acteurs variés doivent collaborer pour sa conception (le cas échéant), son entretien, des restaurations ou encore des extensions. Dans un premier temps, une telle représentation des données du marégraphe semblait superflue. Au vu des nombreuses formes complexes des rochers entourant le marégraphe un maillage semblait adapté pour l'extérieur. L'intérieur est représenté par un nuage de points qui pourra, dans un second temps, être maillé ou reconstruit en primitives géométriques.

En revanche, si un modèle 3D semble être une méthode exhaustive pour représenter un bâtiment, il pose des questions de facilité d'utilisation, de pérennité des données et de sobriété numérique.

- Facilité d'utilisation : la visualisation des données 3D a été facilitée ces dernières années par la hausse de la puissance des ordinateurs particuliers, la diffusion des logiciels libres et les visualisateurs en lignes fonctionnant sur un navigateur internet qui permettent de s'affranchir de l'installation d'un logiciel spécifique. Cependant, naviguer fluidement dans des données 3D complexes n'est pas forcément ergonomique ni intuitif pour les personnes qui n'ont pas été habituées à manipuler des objets virtuels ou qui ont des difficultés à voir la 3D.

- Pérennité des données : il est toujours possible de visualiser et de comprendre des cartes datant de l'Antiquité. Pourra-t-on dire la même chose d'un modèle 3D virtuel dans quelques décennies (voire quelques années) ? La pérennité des géodonnées est un sujet complexe [15] qui nécessite une perpétuelle rétrocompatibilité des logiciels de visualisation, et une puissance informatique convenable.

- Sobriété numérique : un modèle 3D de type nuage de points ou maillage peut être très lourd (un modèle basé sur des primitives géométriques est beaucoup plus léger), et donc consommateur de ressources. L'ensemble des données brutes collectées lors de la semaine d'acquisition

totalisent 150 Go, le poids final de notre modèle 3D sous-échantillonné à un point tous les centimètres est de 0,5 Go.

Pour ces trois raisons, il nous a paru nécessaire de panacher les types de nos livrables pour les rendre faciles à consulter et à utiliser, imprimables (donc plus pérennes) et sobres en données.

Les plans, coupes et élévations de façades sont des produits 2D qui, en plus de présenter l'avantage d'être pérennes, sont appréciés par les architectes pour aider à la compréhension de la structure des bâtiments et servir de base à la conception.

Nous avons aussi choisi de créer une visite virtuelle sous forme de "vue-bulle". Cette méthode de visualisation (popularisée par *Google Street-View*) consiste à créer des images panoramiques  $360^\circ * 180^\circ$  qui s'affichent à l'intérieur d'une sphère au centre de laquelle l'observateur est placé. Il est possible de se déplacer d'une vue-bulle à une autre pour explorer la suite du bâtiment.

Une telle diversité de produits cartographiques pour représenter un même bâtiment a prouvé son utilité dans le cas des bâtiments contenant des réacteurs de centrales nucléaires visualisés

sous forme de plans, de modèles 3D reconstruits en primitive géométrique et sous forme de visite virtuelle par vues-bulles [16; 17].

## Méthodes d'acquisition

Le besoin précis explicité dans la section précédente doit être satisfait avec des méthodes versatiles permettant de créer l'ensemble des produits nécessaires à partir d'une seule acquisition.

La mise en œuvre des méthodes employées : photogrammétrie et scanner laser terrestre géoréférencés par GNSS et par des points de nivellement est un processus de production relativement classique, décrit dans [13, 14] et détaillé dans le rapport rédigé par les étudiants dans le cas du marégraphe [11]. Cet article approfondira les spécificités de ce chantier induites par sa topographie complexe, ses points de nivellement très précis et la variété des produits cartographiques à créer.

### ■ Acquisition photogrammétrique aéroportée par drone

Plus de 600 photos obliques et nadi-ales ont été acquises avec un appareil photo composé d'un capteur CMOS 1/2 *Global Shutter* et d'un objectif dont

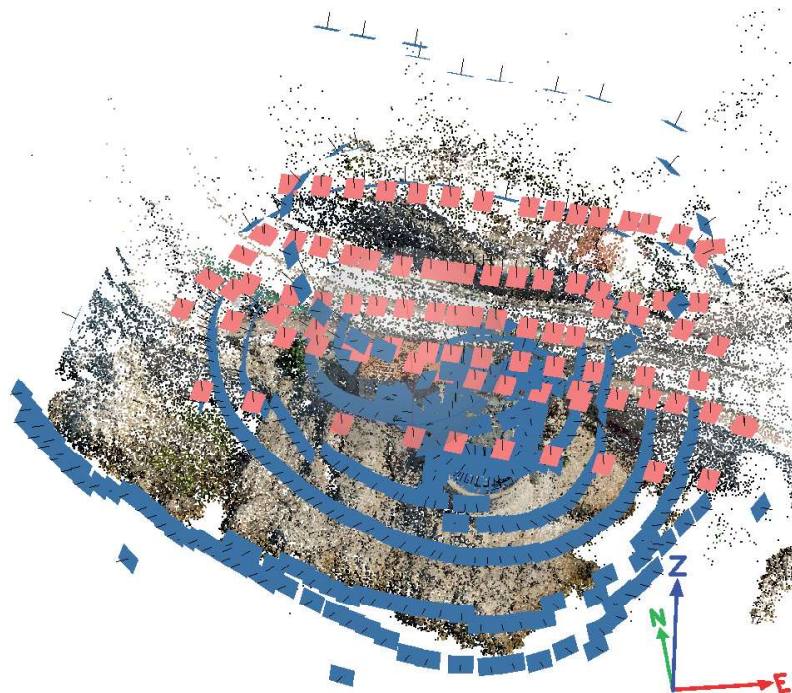


Figure 1. Orientation externe (position et orientation) des photos et position 3D des points homologues.



le champ angulaire (sur le long côté de l'image) est de 84°. Lors du vol, le réglage était en prise de vue unique à 12MP de résolution (4000x3000 px) pour un enregistrement plus rapide des photos. Cet appareil est nativement embarqué sur le quadrirotor DJI Mavic Air 2. Les conditions de vol étaient bonnes pour la stabilité du drone avec peu de vent (il faut prendre en compte ce paramètre en bord de mer car, les jours suivants, le mistral aurait empêché tout vol). Le fort ensoleillement rend hétérogène la radiométrie sur les différentes façades, mais dans la mesure où le temps d'acquisition était limité, les couleurs restent cohérentes pour le moment de la journée auquel a été effectué le vol drone.

Le plan de vol (conçu par Rémi Bruno, le pilote du drone) est constitué de bandes d'images nadirales (ce qui suit un plan de vol classique, en rouge sur la figure 1) et de photos obliques visant vers le marégraphe organisées le long d'arcs de cercle formant une sphère autour du marégraphe (en bleu sur la figure 1).

### ■ Scanner laser terrestre pour acquisition de nuages de points et de vues-bulles

Le scanner laser permet d'acquérir des données pour tous les types de produits cartographiques à réaliser. En particulier, il permet d'acquérir avec le même appareil – pour chaque station – un nuage de points 3D et des images destinées à coloriser le nuage de points et à créer les vues-bulles constituant la visite virtuelle. Le géoréférencement des stations de balayage (détermination de la position et de l'orientation) est utile à la fois pour l'assemblage du nuage de points final et pour la navigation au fur et à mesure de la visite virtuelle (pour proposer à l'utilisateur qui visualise une vue-bulle la position des autres positions qu'il est possible de visiter).

Les 49 stations sont recalées relativement les unes par rapport aux autres avec une méthode nuage à nuage [12] qui prend en compte le fait que les stations de scan sont déjà verticalisées lors du calage et grâce au

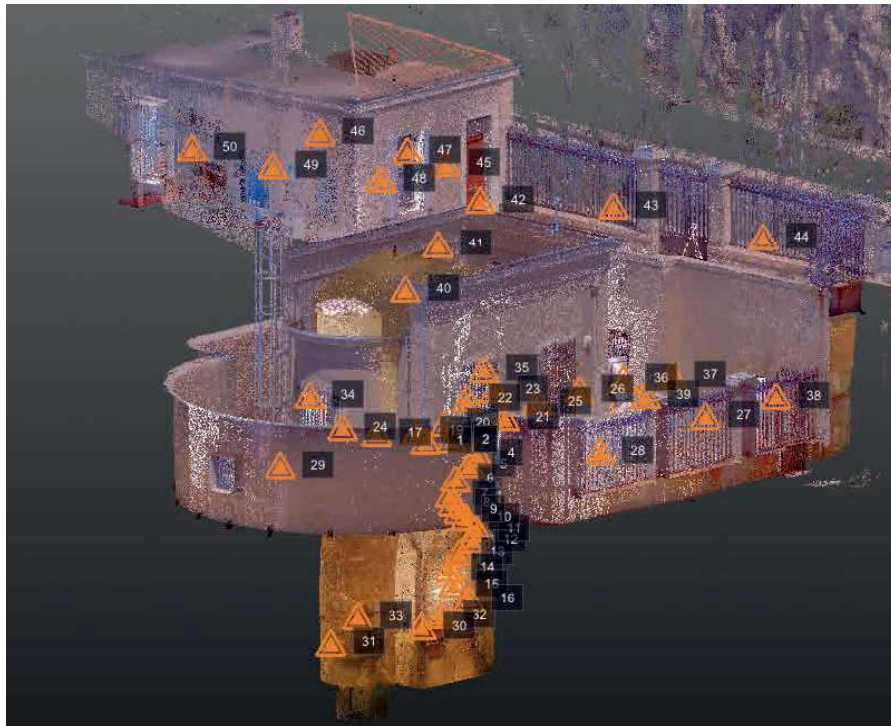


Figure 2. Nuage de points laser recalés en relatif. Les triangles oranges représentent la position des stations de scan.

compensateur biaxial. Ainsi, trois paramètres de translation + un paramètre de rotation seulement sont à déterminer pour chaque station. Ce recalage a l'avantage d'utiliser les nuages de points représentant chaque scène, et donc de ne pas nécessiter de cibles ce qui simplifie la mise en place du chantier, réduit considérablement les opérations de nettoyage des nuages de points et réduit les masques induits par ces cibles. Cependant, cette méthode nécessite un grand recouvrement entre deux stations successives, et donc beaucoup de stations, en particulier dans les endroits exigus. L'escalier en colimaçon en fonte reliant la chambre des appareils à la chambre souterraine (figure 8), particulièrement étroit, a nécessité à lui seul 14 stations (figure 2) pour en relever tous les détails et assurer un référencement relatif de l'extérieur jusqu'aux tréfonds du marégraphe.

### Géoréférencement

Le géoréférencement des données photogrammétriques et lasergrammétriques a été effectué grâce à des mesures GNSS sur des points de

calage (GCPs : *Ground Control Points*) matérialisés par des cibles horizontales de type damier 2x2 noir et blanc posées au sol pour la photogrammétrie (en bas de la figure 3) doublées de cibles verticales montées sur trépieds (à une hauteur mesurée au mm près) facilement détectables dans les nuages de points LiDAR (en haut de la figure 3).

Certaines de ces cibles ont servi de points de calage pour la photogrammétrie uniquement (1<sup>re</sup> ligne du

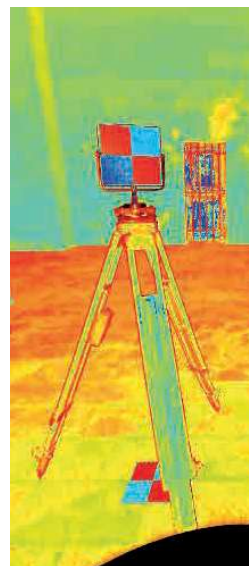


Figure 3. Matérialisation d'un point de calage par des cibles damier 2x2 noir et blanc. Le point correspond au centre de la cible au sol. La cible montée verticalement sur trépied a la même position planimétrique et une différence altimétrique mesurée au mm. Vue en intensité retour par le LiDAR : rouge : faible intensité retour, bleu : forte intensité retour.

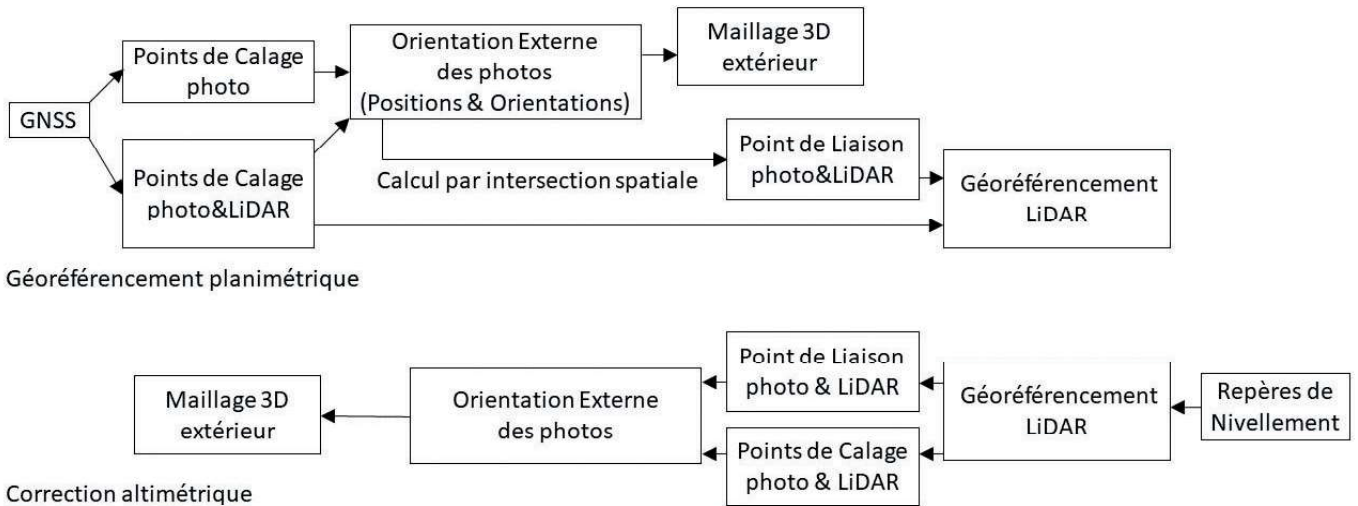


Figure 4. Procédure de géoréférencement des données photogrammétriques et LiDAR.

tableau 1). Ces cibles au sol n'étaient pas doublées d'une autre verticale sur trépied, et étaient réparties à l'intérieur et à l'extérieur de l'enceinte du marégraphe, suffisamment loin pour caler précisément le modèle 3D photogrammétrique. D'autres cibles ont servi pour le géoréférencement des photos et du LiDAR (2<sup>e</sup> ligne du tableau 1). Enfin, certaines cibles n'ont pas pu être déterminées par GNSS, du fait des fortes occlusions entre le bâtiment du marégraphe et la terrasse au niveau de la corniche du Président-John-Fitzgerald-Kennedy (cf figure 8). Ces cibles ne sont pas des points de calage, mais peuvent être déterminées par intersection spatiale en photogrammétrie, pour mieux géoréférencer les nuages de points LiDAR (3<sup>e</sup> ligne du tableau 1).

	GNSS	Photo	LiDAR
Calage photo	X	X	
Calage photo&LiDAR	X	X	X
Liaison photo&LiDAR		X	X

Tableau 1. Usage des points de calage et de liaison. La première ligne correspond à des cibles damier placées au sol, les deux dernières lignes correspondent à un couple de cibles : une au sol, l'autre sur trépied comme sur la figure 3.

Le site du marégraphe se distingue par une particularité en géomatique : la présence de nombreux points de nivellement de précision submillimétrique. En particulier, le repère fondamental peut être considéré par convention comme

de précision absolue. Les observations GNSS, en revanche, ont une précision altimétrique de 3 cm. Ainsi, si la planimétrie peut être déterminée par GNSS, l'altimétrie peut être corrigée grâce aux repères de nivellement. La comparaison entre les données géoréférencées et les repères de nivellement ont fait apparaître un systématisme de 22 mm qui peut être corrigé par simple translation verticale des données. La procédure de géoréférencement est résumée par la figure 4.

### Vérifications qualitative et quantitative des résultats

Les critères de qualité que nous avons vérifiés sont la résolution, la précision, l'exactitude, l'exhaustivité. Le mode opératoire choisi permet de couvrir l'extérieur du marégraphe par photogrammétrie avec une résolution (taille du pixel au sol) semi-centimétrique, ce qui permet d'obtenir un nuage de points dense peu bruité avec un pas (distance maximale entre deux points) centimétrique. En lasergrammétrie, la résolution de scan était de 2,6 mm à 5 m, ce qui permet de couvrir l'intérieur du marégraphe avec un espacement de 1 point tous les 3 mm.

L'exhaustivité désigne le fait que l'ensemble des objets à cartographier l'ont été. Malgré le soin apporté lors de la numérisation pour effectuer suffisamment de stations pour scanner l'intégralité des salles et des objets sans masque, une vérification visuelle du nuage de points final est nécessaire.

Finalement, seul le mécanisme du marégraphe présente une densité non convenable, du fait de la présence de surfaces très réfléchissantes. Un relevé photogrammétrique a alors été effectué (figure 7), mais celui-ci reste incomplet et n'est pas suffisamment détaillé pour décrire suffisamment finement les mouvements d'horlogerie.

Le passage le plus crucial en matière de précision est la descente de l'escalier en colimaçon (voir page de couverture de ce numéro et figure 2) pour accéder à la chambre souterraine (figure 7). Les stations effectuées dans cette pièce constituent une antenne sans aucun lien vers l'extérieur. Les erreurs de recalage relatif des stations par méthode nuage à nuage s'accumulent au fur et à mesure de la descente. Une vérification planimétrique est effectuée grâce aux points mesurés sur le fil de suspension du flotteur (cf. [5] section "le fil de suspension du flotteur" page 193) qui joint la chambre des appareils à la chambre souterraine. Une vue en coupe permet de vérifier l'alignement de ce fil au-dessus et au-dessous de son passage à travers un orifice percé dans une plaque qui sépare les deux étages (figure 5).

Les points mesurés au-dessus et au-dessous de cette plaque peuvent être visualisés en planimétrie (avec une vue de dessus, figure 6). La différence de la moyenne des coordonnées X et Y est de 1,5 mm alors que la dispersion des mesures sur le fil a pour écart-type 3 mm.

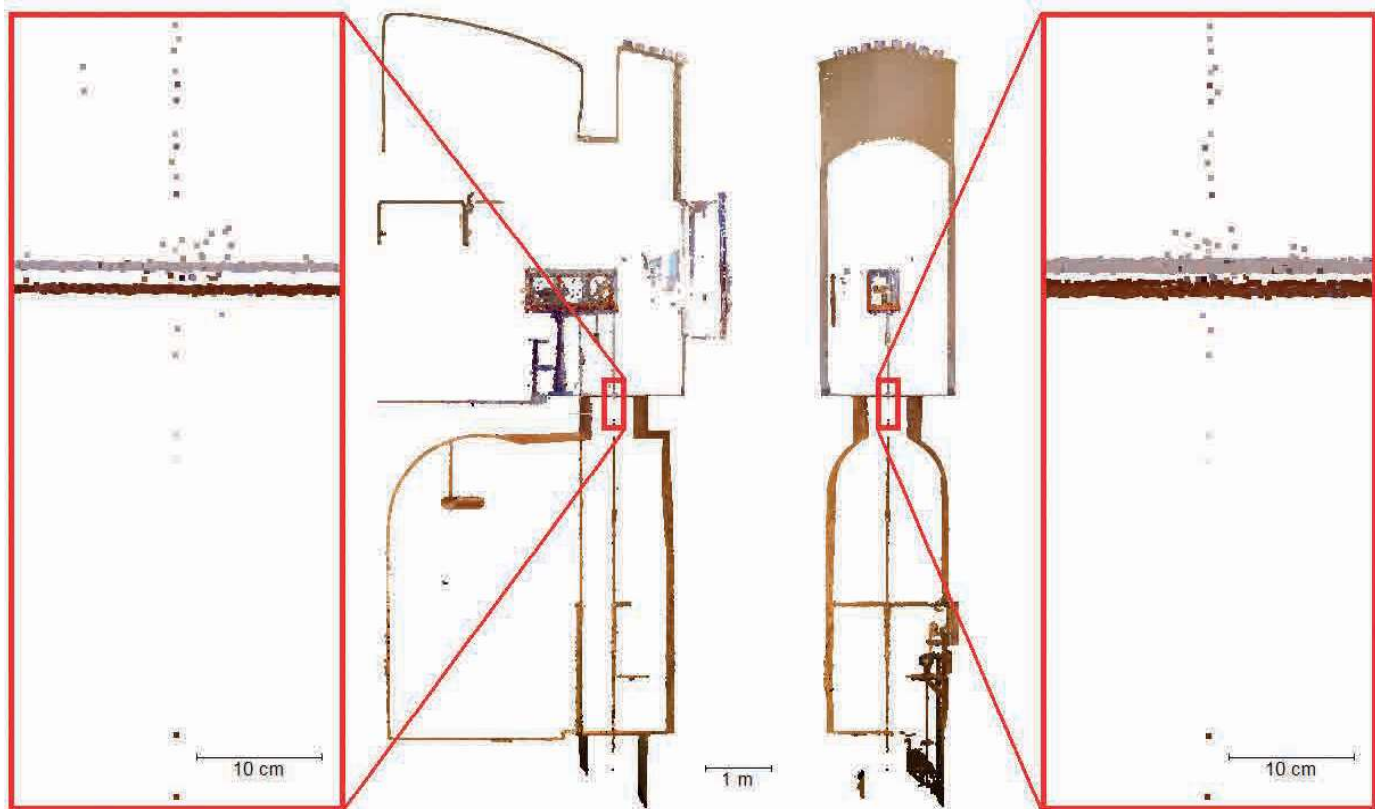


Figure 5. Coupes longitudinale et latérale du marégraphe avec un zoom sur le fil de suspension du flotteur .

Le repère fondamental de nivellement est ancré sur le sol de la chambre souterraine. Un étage plus haut, un second repère est situé sous l'appareil du marégraphe. La mesure de la différence altimétrique entre ces deux repères est connue de manière submillimétrique. La méthode mise en œuvre par les topographes de l'IGN utilise deux mires —une à l'endroit, une à l'envers— mises talon contre talon (cf. [5] section "Transport de l'altitude depuis le repère fondamental vers

*l'extérieur"* page 440). Cette différence altimétrique, représentée par la double flèche bleue dans la figure 8, peut être comparée à la différence altimétrique mesurée dans le nuage de points résultant de l'assemblage nuage à nuage des stations laser. Le calcul de ces doubles différences fit apparaît une erreur de 2 mm.

L'estimation de l'exactitude a été effectuée ponctuellement de manière très classique en étudiant les écarts de fermeture sur des points de contrôle. En supposant une absence de systématisme sur les coordonnées des

points de calage (mesurés par GNSS avec des durées d'observation de plus d'une heure répartie sur une période de trois jours), on peut alors estimer l'exactitude de notre modèle à 3 cm (plus de détails dans le rapport rendu par les étudiants [11]).

## Conclusion

Une fois les différents produits 3D créés et validés, il a été possible d'en dériver des produits 2D : coupe (figure 7), plans (figure 9), écorché (couverture).

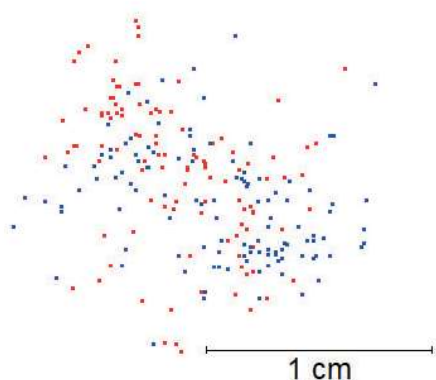


Figure 6. Points relevés sur le fil, vu de dessus, en rouge pour les points au-dessus de la plaque, en bleu pour les points en dessous.



Figure 7. Premier modèle 3D du mécanisme du marégraphe.

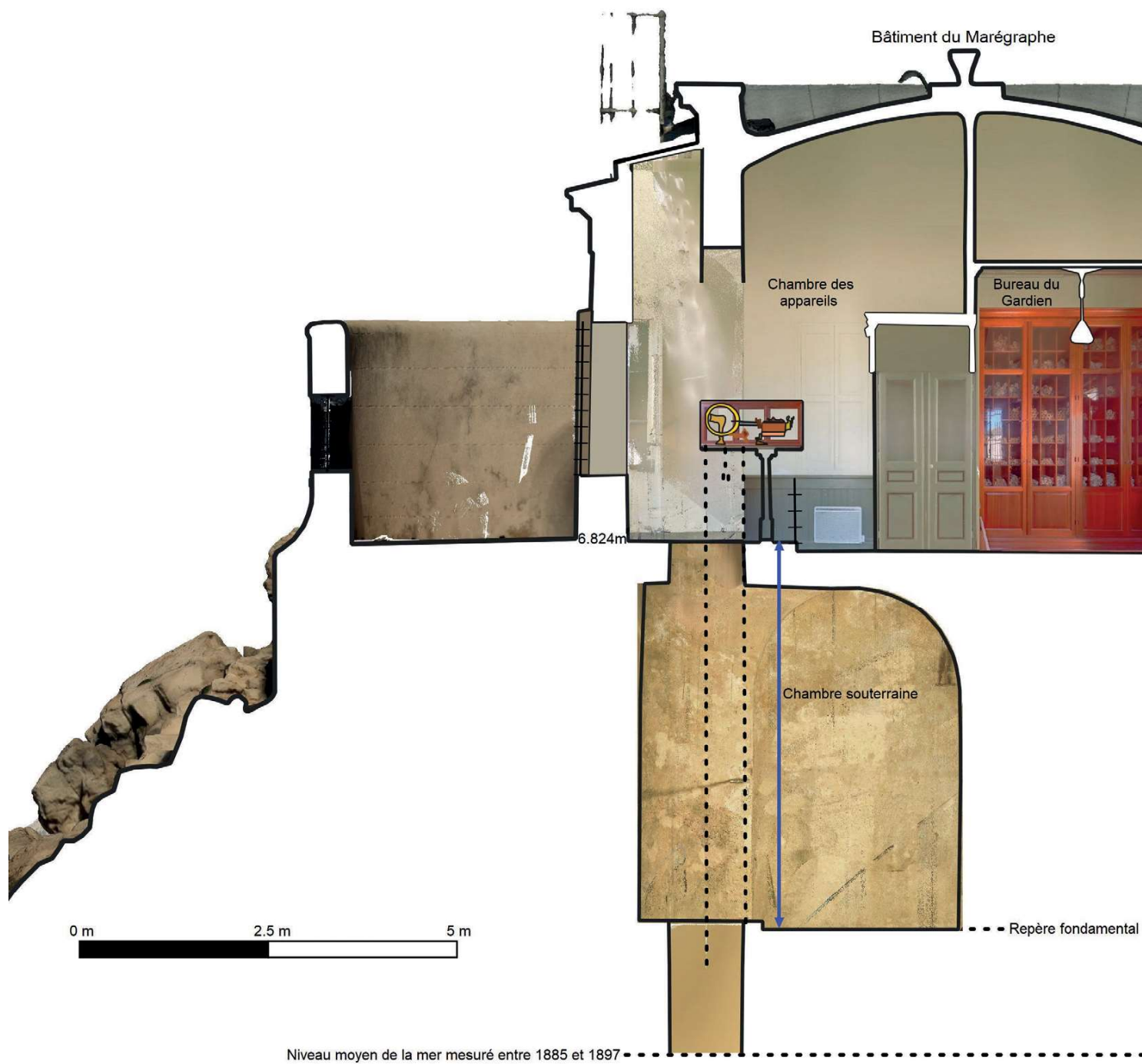


Figure 8. Coupe longitudinale du marégraphe de Marseille par photogrammétrie et lasergrammétrie.



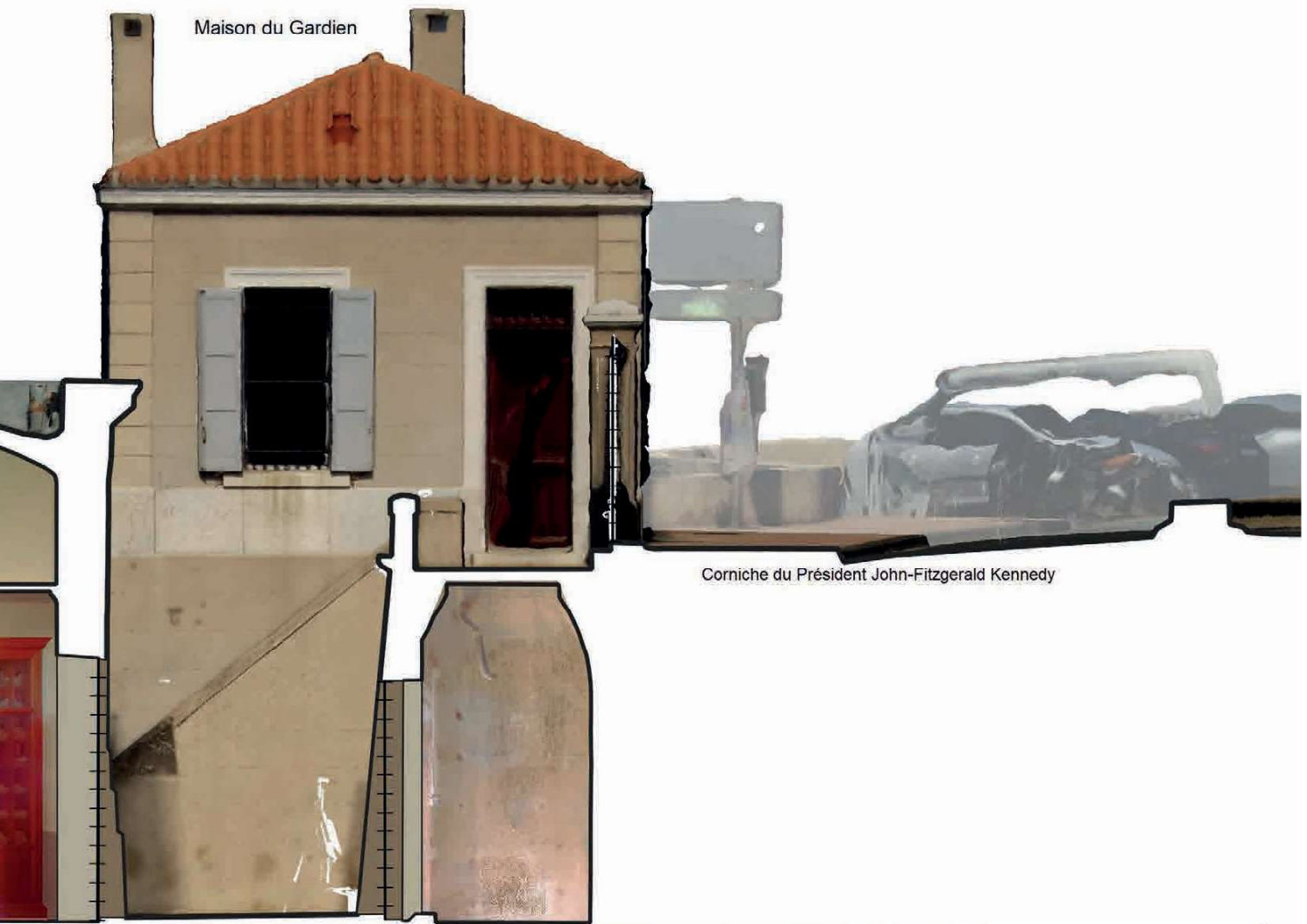


Figure 9. Orthophoto du marégraphe de Marseille par photogrammétrie.



Ces données vont être valorisées en étant diffusées sur Internet pour permettre à tous de découvrir le marégraphe sans se déplacer physiquement. En particulier, la visite virtuelle du marégraphe sera l'occasion de tirer parti des compétences d'étudiants dans un autre domaine : le tourisme. L'exercice, qui sera proposé par Emmanuelle Prevost, enseignante pour le BTS Tourisme du Lycée La Cadennelle, aura pour but de rendre cette visite plus ludique et ergonomique.

Toutes les étapes qui ont été effectuées pour le bâtiment du marégraphe, allant de la redéfinition du cahier des charges jusqu'à la valorisation des données, pourraient être répétées pour le mécanisme du marégraphe lui-même. Sa restauration [6] a mis en exergue sa haute complexité. Les centaines de pièces qui ont été répertoriées par les horlogers pourraient être modélisées sous forme d'un modèle 3D CAO mécanique (Conception assistée par ordinateur) pour assister la conservation.

## Remerciements

Nous tenons en premier lieu à remercier Lionel Gaudiot et Patrick Leboeuf, responsables du marégraphe à l'IGN, pour nous avoir permis d'effectuer les relevés dans le bâtiment. Nous souhaitons remercier l'Association des amis du marégraphe de Marseille et en particulier Alain Coulomb et Thierry Person pour avoir commandité ce projet et financé le logement sur place ; Rémi Bruno, le pilote du drone, pour son acquisition photogrammétrique.

Nous souhaitons remercier Patricia Pellardi, responsable du centre IGN de Forcalquier et des travaux terrain de l'ENSG pour avoir mis en relation les commanditaires avec nous, et pour avoir aidé à la gestion logistique et administrative de la mission. Enfin, nous souhaitons remercier Jean-François Hangouet pour sa relecture et son aide à la rédaction. ●

## Contacts

Emmanuel CLÉDAT  
emmanuel.cledat@ensg.eu

Clovis BERGERET  
Clovis.Bergeret@ensg.eu  
Marius DAHURON  
Marius.Dahuron@ensg.eu  
Lilian WECKER  
Lilian.Wecker@ensg.eu  
Frédéric YE  
Frederic.Ye@ensg.eu

## Bibliographie thématique

### Historique du marégraphe de Marseille

- [1] BODC British Oceanographic Data "GLOSS Station Handbook" [https://www.bodc.ac.uk/resources/inventories/gloss\\_handbook/stations/205/](https://www.bodc.ac.uk/resources/inventories/gloss_handbook/stations/205/) site web consulté le 18/08/2022, dernière mise à jour le 04/12/1993
- [2] Lahaye-Collomb A. "Le marégraphe de Marseille" Revue Chasse Marée n° 97 pages 32-33 Avril 1996
- [3] Wöppelmann G., Simon B., Boucher C. "Suivi du niveau moyen de la mer par marégraphe et par GPS" Revue XYZ N° 83 pages 23-29, 2000
- [4] Coulomb A. "Le marégraphe de Marseille : patrimoine et modernité" Revue XYZ N° 118 pages 17-24, 2009
- [5] Coulomb A. "Le marégraphe de Marseille, De la détermination de l'origine des altitudes au suivi des changements climatiques : 130 ans d'observation du niveau de la mer" Presses des Ponts, ISBN : 978-2-85978-481-2, 2014
- [6] Le Garde Temps "Réparation du marégraphe de Marseille le Garde-Temps lui redonne vie, suivez notre aventure !" <https://www.le-garde-temps.fr/reparation-du-maregraphe-de-marseille/> site web consulté le 18/08/2022, remise en état du marégraphe totalisateur en 2018
- [7] AAMM "Les amis du marégraphe de Marseille" <https://amis-maregraphe-marseille.fr/> site web consulté le 18/08/2022, création de l'association en 2021
- [8] Coulomb A. "L'association des amis du marégraphe de Marseille" Revue XYZ N° 166 pages 8-9, 2021
- [9] RGP IGN "Réseau GNSS Permanent" <https://rgp.ign.fr/STATIONS/#MARS> site web consulté le 26/09/2022, Dernière installation d'un récepteur GNSS en 2021
- [10] Coulomb A. "Les hauteurs d'eau mesurées au marégraphe de Marseille" Revue XYZ N° 171 pages 40-42, 2022

[11] Bergeret C., Dahuron M., Wecker L., Ye F. "Projet de modélisation du marégraphe de Marseille du 04/07/2022 au 22/07/2022" Rapport de stage ENSG, IGN <http://dfi.ensg.eu/Terrain/> 2022

### Méthodes topographiques

- [12] Besl P. J., McKay N. D., "A method for registration of 3-D shapes," in IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 14, no. 2, pp. 239-256, doi: 10.1109/34.121791, Feb. 1992
- [13] Grussenmeyer P., Alby E., Assali P., Poitevin V., Hullo J-F, Smigiel E. "Accurate Documentation in Cultural Heritage by merging TLS and high resolution photogrammetric data" Conference Paper in Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering · June 2011
- [14] Héno R., Chandelier L. "Numérisation 3D de bâtiments, cas des édifices remarquables" ISTE Éditions, collection SIG et intelligence territoriale 2014
- [15] Buchaut R. "L'information géographique à l'épreuve de la pérennité" Décryptagéo Les Rencontres <https://www.dailymotion.com/video/x1nnf9s> 2014
- [16] Hullo J-F, Thibault G, Boucheny C, Dory F, Mas A. "Multi-Sensor As-Built Models of Complex Industrial Architectures". Remote Sensing; 7(12): pages 16339-16362. <https://doi.org/10.3390/rs71215827> 2015
- [17] Hullo J-F, Thibault G., Boucheny C. "Advances in multi-sensor scanning and visualization of complex plants: the utmost case of a reactor building" ISPRS Arch. XL-5/W4 pages 163-169 doi:10.5194/isprs-archives-XL-5-W4-163-2015 2015

## ABSTRACT

The tide gauge building of Marseilles is a cultural heritage owned by the French National Institute of Geographic and Forest Information (IGN). Photogrammetry and Terrestrial Laser Scanning have been used to produce a 3D model inside and outside the building, a cross-section and a plan. These mapping products were sponsored by the AAMM (association des amis du marégraphe de Marseilles: Association of the Friends of the Marseilles tide gauge building) to allow virtual visits to a large number, and to help future renovation.