



ÉCOLE NATIONALE DES SCIENCES
GÉOGRAPHIQUES

RAPPORT

Etude qualitative géométrique d'une
modélisation lasergrammétrique de la
Grotte Cosquer

Élèves :

Jules FAGUET
Suzanne LIZOT
Tom MATEUS
Vanessa MONNIER

Enseignant :

Jean-Pierre PAPELARD

Commanditaire :

LAMPEA

19 juillet 2023

Table des matières

1	Introduction	2
2	Processus de mise en référence	2
2.1	Différentes techniques de mise en référence relative	2
2.2	Données en entrées : Référentiels utilisés	3
2.3	Mise en référence absolue	4
2.4	Troncature	5
2.5	Choix méthodologique	5
3	Initialisation du traitement	6
3.1	Initialisation des données	6
4	Traitement permettant l'assemblage	6
4.1	Nettoyage des données	6
4.1.1	Fichier d'entrée	6
4.1.2	Traitement	6
4.2	Principe d'appariement et filtrage	8
4.2.1	Extraction des points d'appariement	8
4.2.2	Remarque	9
4.2.3	Filtrage des points faux	9
4.2.4	Filtrage de station non verticalisée	11
5	Assemblage final de la salle 101	12
5.1	Calcul Comp3D	12
5.2	Résultat de l'assemblage	12
6	Mise en référence absolue	12
6.1	Levé GNSS sur le terrain	13
6.1.1	Contexte	13
6.1.2	Principe	13
7	Données contextuelles	13
8	Conclusion	13

Résumé

L'objectif de notre projet a été de réaliser un assemblage par point de la grotte Cosquer depuis les scans réalisés par les stations composant la grotte. Notre assemblage doit ainsi être comparé à celui de l'équipe scientifique du LAMPEA chargée de la grotte pour pouvoir vérifier leur résultat. La présence d'ornement et de gravure (dessin d'animaux, de mains...) menacée par la montée de l'eau dans la grotte induit l'urgence d'extraire toutes les informations constituant le patrimoine archéologique de cet endroit. En effet, cette zone est difficile d'accès, car l'entrée est située à 37m sous l'eau et une partie de la surface de la grotte est immergée.

Notre travail s'est déroulé en plusieurs étapes. Tout d'abord, une partie traitement constituée du nettoyage des données, suivit de l'appariement des images et d'une mise en référence relative. Suite à cela, il a fallu mettre en référence absolue nos données. Cela fut permis grâce à un déplacement sur le terrain afin de lever les points repérés par des clous d'arpentage. Une antenne GNSS ainsi que son récepteur ont été utilisés.

1 Introduction

La grotte Cosquer a été découverte en 1985. Elle est classée monument historique, car elle présente plus de 500 figures d'art pariétal (gravures et peintures). On estime qu'elles ont été réalisées en deux phases distinctes : une durant le Gravettien, vers 29 000 ans avant le présent (AP), et une plus tardive durant l'Épigravettien, aux alentours de 16 000 ans AP.[1]

Depuis 1992 des campagnes de recherche sont régulièrement menées. En effet, l'urgence de récolter les traces du passé se fait ressentir à cause de la montée des eaux, qui risque d'engloutir la grotte et de faire disparaître la richesse et la diversité des gravures et peintures de la cavité.

Notre commanditaire est le Laboratoire Méditerranéen de Préhistoire Europe Afrique (LAMPEA). C'est l'un des dix laboratoires de la Maison Méditerranéenne des Sciences de l'Homme. Il est sous la tutelle du CNRS. Ce laboratoire supervise l'étude de la grotte Cosquer.[2]

L'équipe scientifique du projet collectif de recherche du Lampea a réalisé un assemblage numérique avec les données des différentes stations Lidar[3]. Notre rôle est de qualifier cet assemblage tant au niveau géométrique qu'au niveau référencement dans un repère local et référencement absolu.

2 Processus de mise en référence

2.1 Différentes techniques de mise en référence relative

Il existe plusieurs méthodes d'assemblage relatif (cette liste n'est pas exhaustive) :

- l'assemblage par point

- l'assemblage par plan
- l'assemblage nuage par nuage

L'assemblage par point est une méthode traditionnelle de lasergrammétrie qui donne la meilleure exactitude. En effet, il s'appuie sur des mesures ponctuelles, prend en compte la verticalité du scanner et effectue une supervision de l'assemblage à travers les résidus par moindres carrés. En règle générale, cet assemblage utilise des cibles et des sphères : il se sert des différentes cibles et sphères mises en place sur le terrain pour recalibrer de manière semi-automatique les nuages entre eux. Cette méthode réalise un contrôle numérique c'est-à-dire qu'elle utilise la qualité de la géométrie de la grotte pour avoir ces points communs. [4]

La méthode par plan utilise principalement dans le contexte de la numérisation intérieure des bâtiments (BIM). On trouve un meilleur ajustement entre les stations. Elle utilise des éléments structurés comme les murs ou le sol pour réaliser l'assemblage. Cependant, elle est longue, car elle nécessite une préparation pour nettoyer les éléments parasites et atténuer les bruits de surfaces pour que les points deviennent interprétables par l'algorithme.

Pour l'assemblage nuage à nuage, elle nécessite de multiplier les positions de scans pour avoir un recouvrement suffisant. C'est une très bonne méthode si l'objet à numériser et la façon de lever sont adéquats. Pour réaliser l'assemblage, un logiciel détecte les similitudes entre les différents scans isolés du nuage de points et se charge de reconstruire une représentation globale de la scène en se basant sur les points détectés par l'algorithme ou renseignés par l'utilisateur. Cette méthode se base sur la détection d'informations connexes et reconnaissables. Le résultat final se trouve dans un système de coordonnées arbitraire et relatif à la position du premier scan de nuage de points. Cette méthode ne permet pas d'avoir une supervision numérique, mais est quand même adaptée à notre cas.

Pour l'étude de la grotte Cosquer, nous avons choisi d'utiliser le principe de l'assemblage par point qui va nous permettre d'obtenir une estimation numérique de la qualité de l'assemblage, même si la configuration du chantier ainsi que la grande densité de stations auraient permis d'utiliser l'assemblage nuage à nuage.

2.2 Données en entrées : Référentiels utilisés

Nous divisons notre calcul en deux parties, car nous n'avons récupéré que deux jeux de données qui sont tous deux éloignés au sein de la grotte et cela affecterait le calcul car il n'existe aucun lien entre les salles 101 et 200.

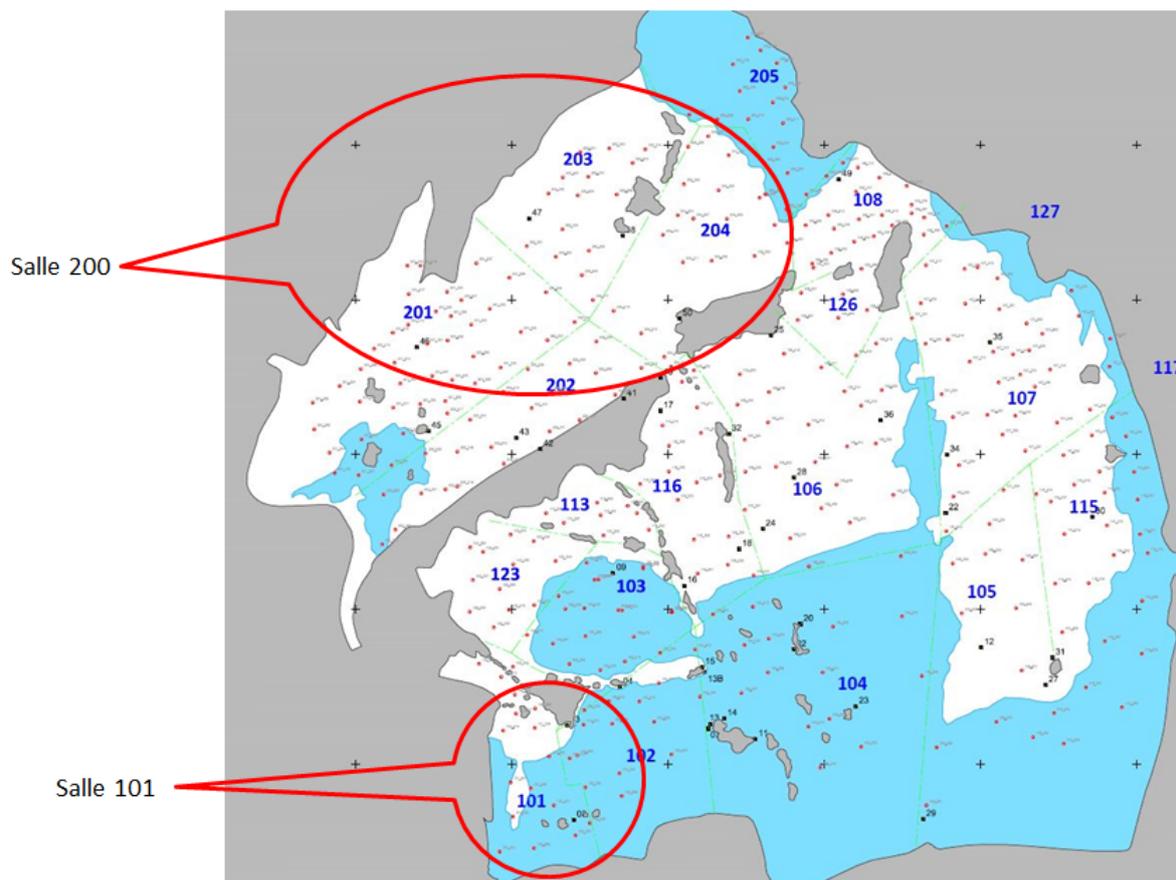


FIGURE 1 – Plan des salles

Nous remarquons qu’au fur et à mesure que nous traitons les stations, de nombreuses stations lasers ont été renommés ou supprimés et la nomenclature ne correspond pas entre le plan fourni et les noms des stations lasers. Nous recréons un plan intérieur de la cavité pour mieux visualiser la situation des points. Cela va faciliter le choix pour l’appareillement de notre station. De plus, nous choisissons de changer la nomenclature afin de se restreindre à cinq caractères maximum au lieu de sept initialement inscrits. Cela réduira les temps de calculs lors de la nomination des points de liaisons.

2.3 Mise en référence absolue

Dans les jeux de données fournis, plusieurs fichiers nous donnent des correspondances entre les différents systèmes utilisés par le prestataire : - un repère local d’assemblage des stations lasers - un repère local pour les coordonnées des cibles de calage déterminées pas topométrie à l’intérieur de la cavité - un repère cartographique en projection CC44 de mise en référence.

Le passage entre le repère local de la cavité et le repère cartographique CC44 a été réalisé par des mesures de centrage sur des positions de balises électromagnétiques positionnées dans la cavité. Cependant, nous n’avons pas d’information sur la manière dont la mise en référence altimétrique a été réalisée.

Les coordonnées cibles sont fournies en repère local et en CC44. Les coordonnées des stations laser sont fournies en CC44 tronquées et en repère local. Nous avons donc

cherché une transformation à sept paramètres entre les différents repères, local cible, local scanner et CC44 avec les coordonnées des stations laser issues du calcul. Pour calculer la transformation, nous pouvons utiliser la transformation de Helmert 3D pour s'assurer de la cohérence entre des systèmes de coordonnées car leurs facteurs d'échelle doivent tous être très proches de 1.

Ces transformations nous sont utiles pour comprendre dans un premier temps les différents jeux de données et nous permettrons également de comparer le résultat de notre assemblage avec celui fourni par le commanditaire.

2.4 Troncature

Afin de publier les nuages de points finaux dans un encodage permettant de générer un moins grand fichier de données et de charger plus facilement le nuage de points en mémoire, il est traditionnel d'utiliser un offset. Ayant constaté dans un fichier livré par le prestataire que les coordonnées CC44 avaient été tronquées, nous avons repris l'offset utilisé par l'équipe scientifique, sa valeur en X est de 1890000 et 3110000 en Y.

Cette troncature est utilisée sur le lidar HD et les données litto 3d afin d'encoder les nuages de point en quatre octets, donc de les rendre moins lourd et plus facile à manipuler.

2.5 Choix méthodologique

Nous faisons le choix de travailler en repère local pour s'affranchir de l'altération linéaire sur le chantier. Après l'avoir calculé grâce à deux logiciels indépendants, nous nous rendons compte que nous pouvons la négliger. En effet, en CC44 l'altération linéaire vaut 10.7 ppm (mm/km). Nous décidons tout de même de manipuler les coordonnées du repère local pour des raisons de confidentialité.



FIGURE 2 – Calcul altération linéaire

3 Initialisation du traitement

3.1 Initialisation des données

On dispose du jeu de donnée brut en sortie du scanner Faro. On commence par importer ces données dans Cyclone, qui va nous permettre au moment de l'import de filtrer les voiles de mariée.

Le processus de réalisation est illustré par le diagramme fonctionnel (Figure 12 Annexe). On dispose du jeu de donnée brut en sortie du scanner Faro. On commence par importer ces données dans le logiciel Cyclone, qui va nous permettre au moment de l'import de filtrer les voiles de mariée qui sont des artefacts d'acquisition qui se produisent au niveau des discontinuités. Cyclone permet ensuite d'exporter le fichier au format PTX. Le format PTX est un format matriciel permettant de conserver la structure de l'acquisition originale et qui permet de manipuler ensuite des données dans une géométrie capteur en 2D. Ce principe est utilisé dans la suite de la méthodologie en réalisant les différents traitements à travers une représentation image des scans (RVB ou intensité).

4 Traitement permettant l'assemblage

4.1 Nettoyage des données

Une étape de l'assemblage consiste à pointer les cibles présentes dans différentes stations pour obtenir leurs coordonnées dans le référentiel du scanner. On détermine ensuite les écarts-types de précision en fonction de la profondeur du point visé déterminée par interpolation bilinéaire, de la distance (plus le faisceau s'éloigne, plus il s'élargit) et de la résolution du point acquit dépendant de la résolution angulaire. On travaille sur des images en intensité et non sur des images en couleur car une parallaxe peut être présente entre les deux informations.

4.1.1 Fichier d'entrée

Le format PTX est converti dans un format PLY spécifique de la chaîne de traitement PLYXDROP. Le fichier plyX (format matriciel) est composé d'un en-tête et d'une partie en binaire. L'en-tête nous renseigne sur la structure du point. En effet, chaque point a un double jeu de coordonnées, une coordonnée dans le repère du scanner et une coordonnée dans le repère terrain. De plus, l'en-tête contient la couleur du point et la valeur de l'intensité, et un code qui permet de désactiver un point.

4.1.2 Traitement

Pour nettoyer les données, nous utilisons le logiciel PlyXDrop. Le logiciel génère une image matricielle RVB. Le rouge permet de visualiser les points non acquis. Lorsque l'on glisse l'image d'intensité (valeur flottante codée entre 0 et 1) dans la case viewer, on obtient l'image en .tiff retranscrite en niveau de gris. On pointe un point de l'image afin d'avoir les coordonnées du point. Le viewer permet également de numériser dans l'image des polygones qui vont permettre de supprimer les artefacts extérieurs aux parois. Dans

un premier temps, on supprime manuellement les opérateurs visibles, les pieds de trépied, les morceaux de rubalise et d'autres objets sur les images.

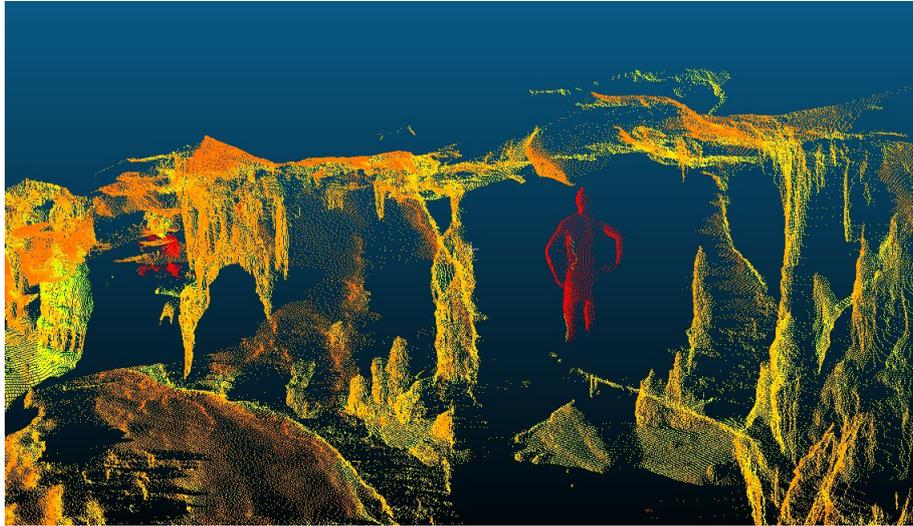


FIGURE 3 – Scan avant nettoyage

On élimine ensuite les points faux dus à la réflexion du faisceau laser sur l'eau. Les points créés de cette façon se situent tous sous le niveau de l'eau. On se place donc en géométrie capteur et pour chaque point, on sélectionne un point correspondant au niveau de l'eau et on supprime tous les points d'altitude inférieure, en faisant glisser notre fichier .ply dans PlyXDrop.

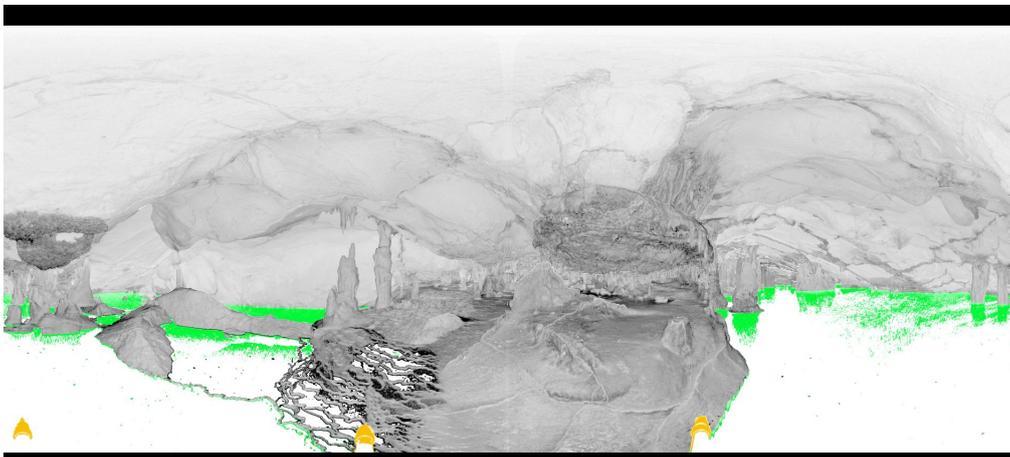


FIGURE 4 – Scan durant la phase de nettoyage

On se limite au nettoyage nécessaire pour préparer les images à la phase de détection automatique de points d'assemblages utilisés dans notre méthodologie d'assemblage géométrique. Pour des besoins esthétiques, il serait également possible de masquer les points de réflectance trop faible ou trop lointain par rapport à la station car ils occasionnent une perte de qualité.

4.2 Principe d'appariement et filtrage

4.2.1 Extraction des points d'appariement

On utilise le logiciel Siftpp_tgi (Arnaud Le-Bris/IGN) pour extraire tous les points d'intérêts des images, image par image. Ces derniers sont décrites par des descripteurs qui correspondent à un fichier en .key. On utilise ensuite le logiciel AnnSamplekey (Arnaud Le-Bris/IGN) pour effectuer l'appariement entre les point d'intérêts des différentes images. On obtient alors un fichier en .result contenant les coordonnées des points homologues dans chacune des images.

p1.X	p1.Y	p2.X	p2.Y
1639.860	2093.560	528.120	2040.000
1525.320	1933.820	476.972	1977.800
1522.520	1968.600	475.974	1990.090
1616.670	1977.780	504.924	1993.110
1642.470	1948.760	513.271	1984.160

FIGURE 5 – fichier .result

Après cela, on utilise CompDroopTools pour récupérer dans les fichiers PLYX, à partir des mesures 2D, les coordonnées 3D dans le référentiel des scanners. On passe ici d'un fichier en .result à un fichier en .RVX.

ld	p1.X	p1.Y	posPlyX1.X	posPlyX1.Y	posPlyX1.Z	ect1d	ect1r	p2.X	p2.Y	posPlyX2.X	posPlyX2.Y	posPlyX2.Z	ect2d	ect2r
no_ld	1639.86	2093.56	0.691	-2.297	-0.088	0.0064	0.0010	528.12	2040.00	5.081	-2.225	0.013	0.0068	0.0023
no_ld	1525.32	1933.82	0.589	-1.469	0.136	0.0014	0.0006	476.97	1977.80	4.415	-1.727	0.236	0.0037	0.0019
no_ld	1522.52	1968.60	0.598	-1.483	0.094	0.0024	0.0007	475.97	1990.09	4.431	-1.729	0.193	0.0056	0.0019
no_ld	1616.67	1977.78	0.440	-1.371	0.075	0.0044	0.0006	504.92	1993.11	4.243	-1.766	0.177	0.0074	0.0019
no_ld	1642.47	1948.76	0.412	-1.379	0.107	0.0013	0.0006	513.27	1984.16	4.229	-1.794	0.208	0.0025	0.0019
no_ld	1537.90	2013.59	0.555	-1.423	0.037	0.0010	0.0006	480.66	2004.56	4.359	-1.719	0.138	0.0010	0.0019
no_ld	1574.40	1946.01	0.522	-1.460	0.119	0.0011	0.0006	492.73	1981.57	4.367	-1.770	0.223	0.0025	0.0019
no_ld	1598.59	1941.48	0.487	-1.449	0.122	0.0013	0.0006	500.69	1980.57	4.332	-1.787	0.225	0.0020	0.0019
no_ld	1621.39	2154.47	0.804	-2.539	-0.223	0.0082	0.0011	522.98	2069.69	5.332	-2.309	-0.119	0.0125	0.0024
no_ld	1453.78	2023.07	0.202	0.016	0.021	0.0004	0.0004	459.25	2000.22	5.002	1.422	0.031	0.0018	0.0017

FIGURE 6 – fichier .rvx

Il faut convertir le dernier format de fichier obtenu en .rvx dans Comp3D pour obtenir un fichier de points de liaison.

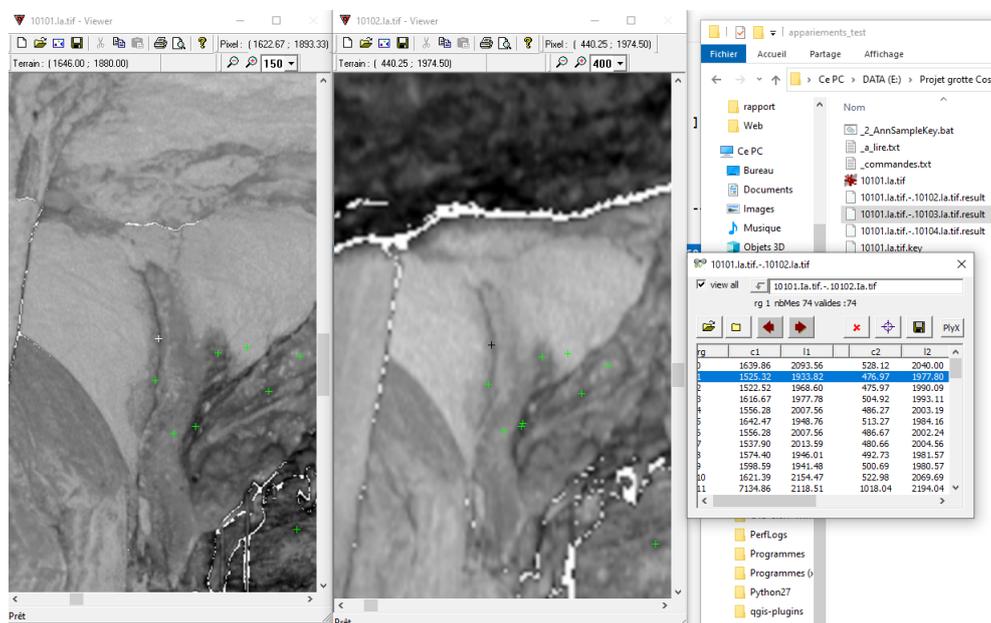


FIGURE 7 – Points de liaison

4.2.2 Remarque

On associe les images en fonction de la ressemblance de leurs descripteurs sans tenir compte de la ressemblance géométrique de la localisation. Un descripteur détecte les endroits où l'information est multidirectionnelle et multirésolution. Cela permet ainsi de prendre des images ayant des orientations différentes.

Lorsque l'on change de date, on remarque que les dates de certaines cibles n'ont pas été posées toutes le même jour. Par exemple, les cibles numérotées ont été placées en premier, et les cibles Black and White ensuite.

4.2.3 Filtrage des points faux

Le filtrage permet ici de supprimer les points fa, c'est-à-dire un point que le logiciel n'arrive pas à situer sur deux images du même endroit qui ont un point de vue différent.

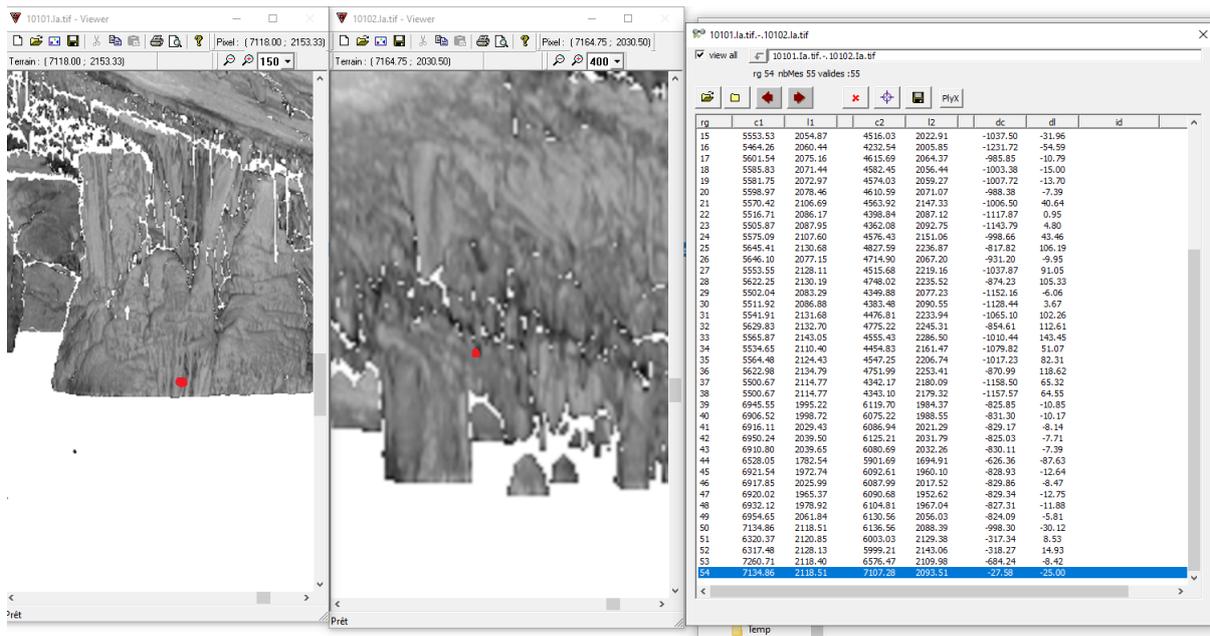


FIGURE 8 – Exemple de point faux

Cette méthode consiste à utiliser différents filtres pour supprimer ou non les points faux sur l'image. Nous avons donc réalisé plusieurs tests pour savoir quel filtre est le plus efficace. Nous utilisons un filtrage de voisinage. Les logiciels utilisés sont le samplekey (par défaut, il contient un filtre), le lowe (avec filtre et sans filtre) qui ont été développés par Arnaud Lebris.

Le diagramme fonctionnel (Figure 13 annexe) décrit le processus de filtrage en partant de deux images au format .tiff. Il permet d'apparier deux images avec un filtre différent à chaque fois, sur lesquels on peut observer les points faux. L'objectif ici étant que notre filtre ne supprime pas de points vrais en même temps que de supprimer des points faux.

Les premiers tests s'effectuent sur les stations 1001, 1002, 1003 et 1004. Il faut mettre en relation les stations disponibles en générant des couples (1001-1002, 1001-1003, 1001-1004). Cela permet de faire varier la distance entre les stations pour observer des changements ou non dans le filtrage. Il y a un point qui est visible sur toutes les stations, ce qui facilite l'assemblage des stations de la salle 1001. On constate qu'avec filtrage (que ce soit le samplekey ou le lowe), le pourcentage de points faux est plus faible que sans filtrage, mais la différence n'est pas significative (étant donné le nombre important de points initiaux), ce qui nous rassure sur l'impact de la suppression potentielle de points vrais.

Nous réalisons ensuite d'autres tests sur des images panoramiques issues d'une chapelle réalisées par les géomètres deuxième année. L'objectif étant de vérifier nos résultats précédents avec des images contenant un nombre bien plus conséquents de points homologues (l'image contient une meilleure géométrie). Les résultats sont similaires aux anciens tests.

		Pourcentage des points faux parmi les mesures				
		Avec filtre lowe	Sans filtre lowe	Avec samplekey	Différence entre les appariements d'image avec filtre et sans filtre	Comparaison des deux méthodes de filtrage
Image de la chapelle avec un décalage croissant entre chaque image	décalage 200	1,79	1,91		0,12	
	décalage 400	1,77	1,85		0,08	
	décalage 600	1,81	1,82		0,01	
	décalage 1000	1,85	1,88		0,03	
Image de chaque station de la grotte	1001-1002	3,63	20,2	13,5	16,57	9,87
	1001-1003	25	40,9	13,6	15,9	-11,4
	1001-1004	6,84	12,8	5,1	5,96	-1,74

FIGURE 9 – Tableau récapitulatif des résultats

Le décalage correspond à l'orientation différente des images entre elles. On constate que plus le décalage est grand et plus le nombre de points faux semblent élevés. Le pourcentage de points faux est non négligeable pour les stations de la grotte et diminue fortement quand le filtre lowe est appliqué. Le filtrage intervient sur un voisinage proche des points, donc la géométrie de l'image n'a pas d'impact sur la possibilité de perdre des points bons.

Après filtrage, nous obtenons un fichier .rvx . On décide ensuite de superviser nos résultats avec les moindres carrés.

4.2.4 Filtrage de station non verticalisée

En sortie du nettoyage, nous obtenons un fichier .rv qui contient deux jeux de coordonnées. Les points serviront à faire la liaison entre les deux stations. Le fichier contient donc les coordonnées des points dans le référentiel de chacune des stations.

La transformation pour obtenir les coordonnées de la deuxième image à partir de ceux de la première est une transformation d'Helmert avec 6 paramètres : 3 paramètres de translation et 3 paramètres de rotation (Le facteur d'échelle étant égal à 1) qui peuvent être amenés à 2 paramètres de rotation si le scanner est verticalisé. On considère que les points d'assemblages, dit justes, ont tous la même transformation. On cherche donc à estimer cette transformation pour pouvoir éliminer les points faux.

Pour calculer la transformation, nous utilisons les moindres carrés. Nous mettons sous forme matricielle les paramètres (1) et calculons le système normal puis les paramètres à déterminer et enfin la matrice des résidus.

$$\begin{pmatrix} E1 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ En \\ N1 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ Nn \\ Z1 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ Zn \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & e1 & n1 & 0 \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ 1 & 0 & en & nn & 0 \\ 0 & 1 & n1 & e1 & 0 \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ 0 & 1 & nn & en & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & z1 \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ 0 & 0 & 0 & 0 & zn \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} Te \\ Tn \\ x \\ y \\ ZnZ \end{pmatrix} \quad (1)$$

En, Nn, Zn : coordonnée du point n dans l'image 1

en, nn, zn : coordonnée du point n dans l'image 2

Te, Tn, x, y, Zn : paramètres de transformation

Nous supprimons les points dont les résidus sont élevés et nous réitérons jusqu'à ce que tous les résidus soient inférieurs à 3. La théorie des moindres carrés nous indique que dans ces conditions, nous atteignons une bonne approximation de la transformation et que les points homologues restants sont justes (le programme a été prototypé en python).

5 Assemblage final de la salle 101

5.1 Calcul Comp3D

Pour le calcul final Comp3D, nous avons combiné les mesures sur les cibles FUGRO auxquels nous avons ajouté les points de liaisons générés automatiquement. Pour la première salle, nous obtenons plus de 4 000 observations de liaisons différentes pour 11 stations scanners et certains points de liaisons sont visés par six stations différentes. Le calcul nous fournit donc des coordonnées couvrant l'entièreté de la zone concernée avec une redondance de calcul très importante, ce qui favorise la précision de nos résultats. Pour calculer la position des stations laser dans le référentiel local des cibles fourni par Fugro nous utilisons le logiciel Comp3D, qui se base sur des estimations par moindres carrés pour calculer les coordonnées compensées des points observés. Les mesures préalablement présentées dans les images matricielles sont intégrées en tant qu'observations dans le calcul et les cibles sont utilisées comme références.



FIGURE 10 – Visualisation des observations dans Comp3D

5.2 Résultat de l'assemblage

Le calcul nous fournit des coordonnées compensées précises inférieures ou égales à 1 cm et une matrice de rotation (ellipsoïde de confiance Figure 11 Annexe). Ces coordonnées sont ensuite utilisées pour l'assemblage des nuages de points entre eux et créent un nuage de points en coordonnées relatives. On applique une transformation sur le nuage de points à l'aide du logiciel PLYXGeoref.

6 Mise en référence absolue

Dans la mesure où nous n'avons pas d'information ou de mesure permettant de contrôler la qualité de la mise en référence du levé, la seule intervention possible était de contrôler

si possible une coordonnée en CC44 des points de calage placé à la vertical des balises électromagnétiques.

6.1 Levé GNSS sur le terrain

6.1.1 Contexte

Nous avons effectué une sortie terrain dans l'objectif de vérifier la matérialisation de ces points et de relever leurs coordonnées au GNSS avec un appareil spectra. Le commanditaire nous a fournis un jeu de coordonnée en surface qui dispose de balises magnétiques. Ces dernières font la liaison entre le repère local de la grotte et la surface. Nous avons aussi une information sommaire de l'emplacement des balises dans la grotte au moment des mesures[5].

6.1.2 Principe

Nous avons utilisé une canne GNSS avec à son extrémité une antenne connectée en 4G, et un récepteur sur lequel était déjà entré les coordonnées des points en surface faits par l'équipe Fugro. Notre méthode consistait à repérer les clous d'arpentage visés sur des roches correspondant à un point à relever puis à faire le levé des coordonnées.

Nous ne trouvons pas le point 2 sur le terrain, et les points SP_arbre et SP_Pierre sont couverts par des masques, il est impossible de les capter (mode DGPS au lieu de fixed). Nous effectuons ensuite des fiches signalétiques sur lesquels on indique le nom du point, sa localisation et un descriptif de la zone accompagnée d'image de l'endroit.

7 Données contextuelles

Il y a trois données contextuelles : - Le lidarHD - La litho 3D - PVA IGN 2014 à 15 cm de résolution Ces données nous permettent de fabriquer le modèle 3D pour situer la grotte.

Pour obtenir le lidarHD, nous téléchargeons les données sur Geoservices en L93. Ce fichier a été exporté au format plyX puis convertit en Lambert conique conforme 44 (CC44). Nous avons appliqué l'offset préalablement calculé au nuage de points LIDAR. La prise de vue n'est pas mise en rapport avec son environnement, d'où l'intérêt d'associer les points pris sur le terrain avec le lidarHD.

Nous réalisons une colorisation oblique du lidar HD car le relief est très fort. Cette colorisation utilise le cliché orienté de sorte à ce qu'on voit au mieux la calanque.

8 Conclusion

Ce projet a été une réelle découverte tant sur l'aspect du contexte archéologique de la grotte, que sur l'aspect informatique. Nous avons appris à nous servir de nouveau logiciel tel que PlyXDrop et Cloud Compare. Ce stage était aussi une nouvelle expérience dans le monde de la recherche, puisque nous avons pu collaborer avec des chercheurs et les aider

dans leurs travaux. Il peut être aussi, un tremplin dans le monde du travail car notre aide sur ces recherches sera mentionné dans le rapport de fin d'année sur la grotte. Nous sommes reconnaissants envers Lampea de nous avoir fait confiance et de nous avoir donné l'opportunité de travailler sur ce projet de grande envergure.

Plusieurs pistes d'améliorations sont possibles :

- Concernant le nettoyage, il serait possible de masquer les points de réflectance trop faible ou trop lointaine par rapport à la station car ils occasionnent une perte de précision.

- Pour un référencement absolu de meilleure qualité, il aurait fallu relever la position exacte des balises électromagnétiques lors des mesures.

- Nous avons nettoyé tout les scans qui nous avaient été donnés. Mais, nous n'avons pas eu le temps de leur appliquer un filtre sur les points afin de relier les stations entre elles pour la salle 202.

Nous obtenons des coordonnées compensées des stations scanners avec des résidus sub-centimétriques. Les coordonnées locales fournies par Fugro sont donc correctes.

Annexe

Ellipsoïdes de confiance

Nom	1/2 Axe (mm)	Gisement (gr)	Site (gr)					
XYZ 02	0.4	71.8878	0.0000	---	10101018	1.9	169.8424	0.0000
	0.4	171.8878	0.0000			1.6	69.8424	0.0000
	0.4	0.0000	100.0000			1.6	0.0000	100.0000
XYZ 04	0.4	27.0951	0.0000	---	10101019	1.4	181.0652	0.0000
	0.4	127.0951	0.0000			1.0	81.0652	0.0000
	0.4	0.0000	100.0000			1.0	0.0000	100.0000
XYZ 07	0.4	77.0708	0.0000	---	10101020	1.1	170.4456	0.0000
	0.4	177.0708	0.0000			0.7	70.4456	0.0000
	0.4	0.0000	100.0000			0.7	0.0000	100.0000
XYZ 08	0.4	70.4601	0.0000	---	10101021	1.6	182.3426	0.0000
	0.4	170.4601	0.0000			1.2	82.3426	0.0000
	0.4	0.0000	100.0000			1.2	0.0000	100.0000
--- 10101	0.8	108.0734	0.0000	---	10101022	1.3	181.9071	0.0000
	0.7	8.0734	0.0000			0.9	81.9071	0.0000
	0.7	0.0000	100.0000			0.9	0.0000	100.0000
--- 10102	0.9	162.4315	0.0000	---	10101023	1.5	181.8537	0.0000
	0.7	62.4315	0.0000			1.1	81.8537	0.0000
	0.7	0.0000	100.0000			1.1	0.0000	100.0000
--- 10103	1.0	71.0131	0.0000	---	10101024	1.2	180.9851	0.0000
	0.7	171.0131	0.0000			0.8	80.9851	0.0000
	0.7	0.0000	100.0000			0.8	0.0000	100.0000
--- 10104	1.2	82.7493	0.0000	---	10101025	1.4	182.1637	0.0000
	0.7	182.7493	0.0000			1.1	82.1637	0.0000
	0.7	0.0000	100.0000			1.1	0.0000	100.0000
--- 10105	1.0	101.9987	0.0000	---	10101026	1.1	175.3593	0.0000
	0.7	1.9987	0.0000			0.8	75.3593	0.0000
	0.7	0.0000	100.0000			0.8	0.0000	100.0000
--- 10106	0.9	126.4164	0.0000	---	10101027	1.3	171.8671	0.0000
	0.7	26.4164	0.0000			1.1	71.8671	0.0000
	0.7	0.0000	100.0000			1.1	0.0000	100.0000
--- 10107	1.1	127.6783	0.0000					
	0.7	27.6783	0.0000					
	0.7	0.0000	100.0000					

FIGURE 11 – Ellipsoïdes d'erreurs des coordonnées des stations laser

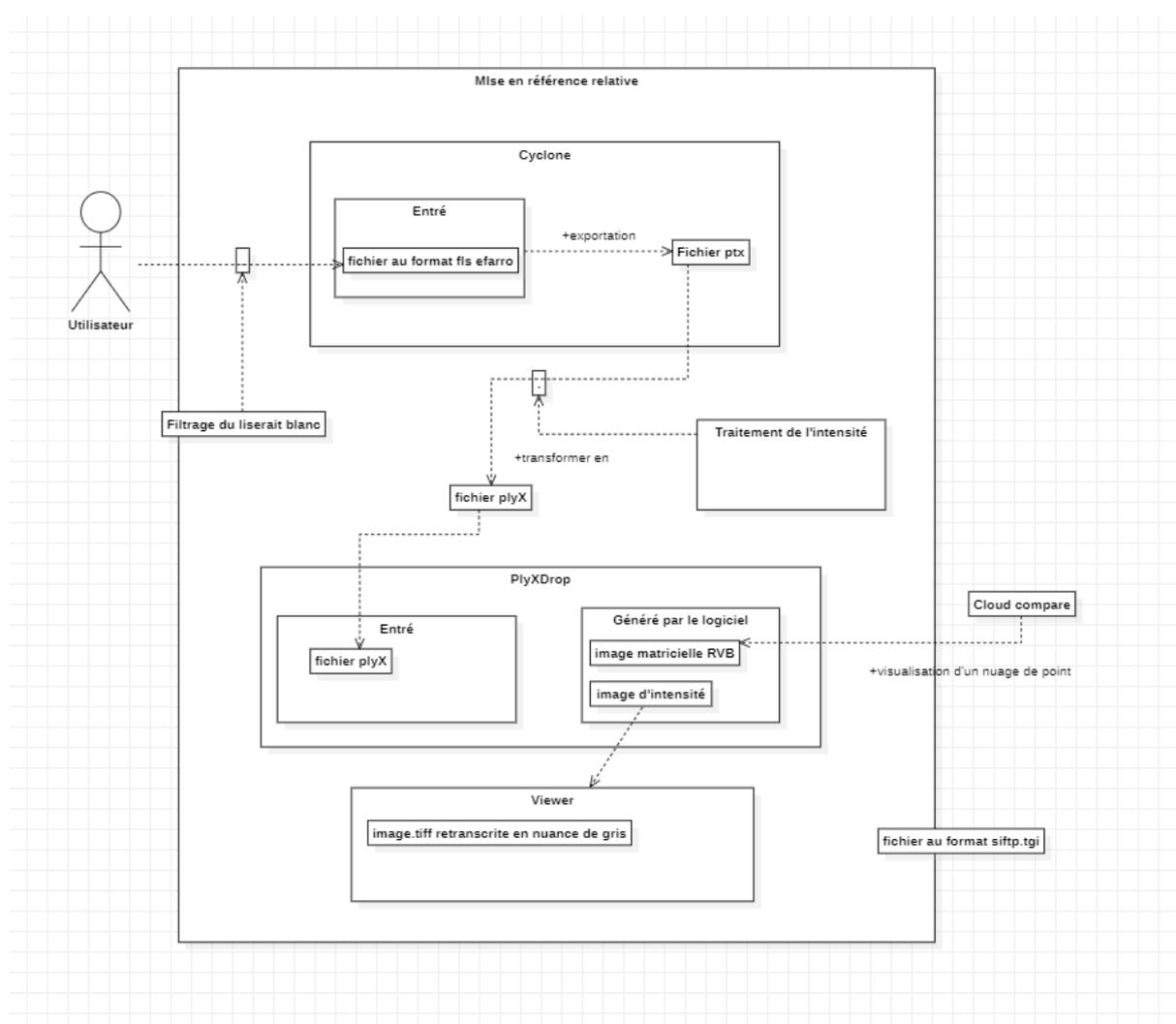


FIGURE 12 – Diagramme de processus de mise en référence relative

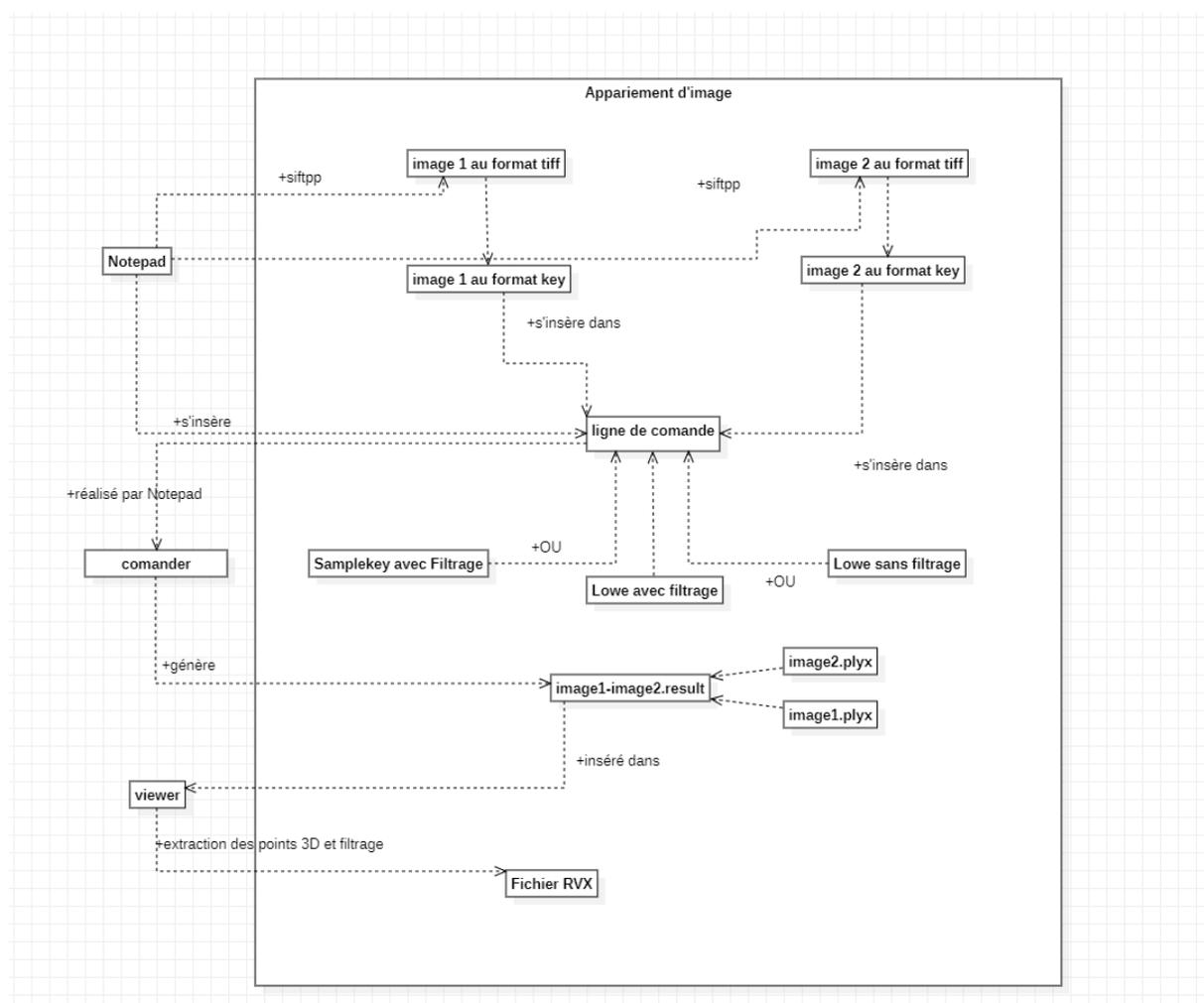


FIGURE 13 – Diagramme d'appariement d'image

Références

- [1] Brigitte PERUCCA. Les mystères de la grotte Cosquer | CNRS Le journal.
- [2] Laboratoire méditerranéen de préhistoire europe afrique - le lampea. <https://lampea.cnrs.fr/spip.php?article3717>, 19/07/2023 09h53.
- [3] Bertrand CHAZALY. Relevés de la grotte Cosquer (partie 2) vers une dématérialisation de la grotte par digitalisation des processus et numérisations 3D. *XYZ*, (N°168) :33–43, 2021.
- [4] Tania LANDES Pierre GRUSSENMEYER Hakim BOULAASSAL. Les principes fondamentaux de la lasergrammétrie terrestre : acquisition, traitement des données et applications (partie 2/2). *XYZ*, (N°129) :25–28, 2011.
- [5] Bertrand CHAZALY. Relevés de la grotte Cosquer (partie 1) la grotte,les premiers relevés, un monument et une histoire chaotique. *XYZ*, (N°168) :25–32, 2021.