



Volume: 09/ N°: 03 (2024),

P 603-620

*Techniques de relevé des gravures rupestres, exemple : relevé 3D par photogrammétrie de la station de Ain Naga (région de Djelfa)*

*Techniques for surveying rock engravings, example: 3D survey by photogrammetry of the Ain-Naga station (Djelfa region)*

Ahman Faiza \*

Laboratoire d'histoire et de sciences humaines,  
Université Djelfa  
(Algérie)

[faiza.ahman@univ-djelfa.dz](mailto:faiza.ahman@univ-djelfa.dz)

Pr. Sahed Aziz Tarek

Université Alger 2  
(Algérie)

[aziz.tarik.sahed@univ-alger2.dz](mailto:aziz.tarik.sahed@univ-alger2.dz)

Résumé:	informations sur l'article
<p><i>L'étude des gravures rupestres nécessite le recours à de nouvelles approches, pour mieux exploiter les données recueillies tel que La photogrammétrie, un procédé indirect qui permet de réaliser un relevé numérique en 3D de la paroi gravée. Nous présenterons dans ce travail un essai de numérisation par photogrammétrie des gravures rupestres de la station de Ain Naga dans la région de Djelfa, en exposant les différentes étapes du procédé, son potentiel et ses avantages ainsi qu'inconvénients et difficultés d'exécution.</i></p>	<p>Reçu 14 février 2024 Acceptation 02 Mai 2024</p> <p><b>Mots clés:</b> ✓ photogrammétrie ✓ gravures rupestres ✓ Djelfa</p>
Abstract :	Article info
<p><i>The study of rock engravings requires the use of new approaches, to better exploit the data collected, such as photogrammetry, an indirect process which makes it possible to produce a 3D digital survey of the engraved wall. In this work, we will present an attempt to digitalize by photogrammetry the rock engravings of the Ain Naga station in the Djelfa region, exposing the different stages of the process, its potential and its advantages as well as disadvantages and difficulties of execution.</i></p>	<p>Received February 14.2024 Accepted May 02;2024</p> <p><b>Keywords:</b> ✓ Photogrammetry ✓ Rock engravings ✓ Djelfa</p>

\* Auteur expéditeur

## 1. INTRODUCTION

L'étude des vestiges archéologiques en général et celle des gravures rupestres en particulier se fait selon des étapes scientifiques précises et le relevé est une étape cruciale dans ce processus. Depuis la découverte des premières stations de gravures rupestres en Algérie pendant la colonisation française au dix-neuvième siècle les chercheurs ont appliqué des techniques de relevé des gravures selon les moyens de l'époque et ces techniques furent développées au fur et à mesure.

L'avènement récent des outils informatiques permettant la reconstitution 3D à partir de plusieurs photographies numériques prises de différents points de vue a véritablement révolutionné les pratiques de plusieurs disciplines notamment l'archéologie.

La photogrammétrie est une des techniques de reconstitution 3D à partir d'une série de photographies prises dans le cadre d'un protocole précis selon les objectifs définis et l'objet à modéliser, c'est une technique très prisée dans le domaine de la protection du patrimoine et de l'Archéologie depuis l'essor des outils numériques et des logiciels informatiques de plus en plus performants, qui sont de surcroît d'accès et d'utilisation facile.

L'utilisation de la photogrammétrie et de la numérisation des gravures rupestres de l'Atlas saharien est une expérience inédite, la problématique qui se pose est donc: quelle méthode appliquer pour pouvoir obtenir des relevés tridimensionnels de bonne qualité? Mais aussi quel est le matériel adéquat pour cette tâche? Et quel logiciel utiliser pour pouvoir mener à bien ce projet?

L'objectif de notre projet est d'essayer d'établir un protocole de numérisation adapté aux parois de gravures rupestres préhistoriques de l'Atlas saharien de la région de Djelfa, afin de réaliser un relevé 3D pouvant servir d'une part comme support aux chercheurs dans le domaine de l'art rupestre et d'autre part contribuer à la préservation et à la sauvegarde de ce patrimoine culturel vieux de plusieurs milliers d'années.

Nous exposerons les différentes étapes et le type de matériel nécessaire à la réalisation du projet, nous évoquerons aussi les difficultés et les obstacles confrontés tout au long du processus.

Enfin nous analyserons les résultats obtenus afin de déterminer le degré d'efficacité et de réussite de notre projet, nous mettrons aussi le point sur les erreurs et les dysfonctionnements des choix du matériel ou des méthodes appliquées afin de les rectifier dans l'objectif de parfaire les procédures en vue de projets à venir.

## 2. Relevé de gravures rupestres

### traditionnel :

#### 2.1. Définition :

Le relevé d'art pariétal en générale consiste à reproduire les traits, les figures gravés, les empreintes, les dessins, les formes et les couleurs sur un support en papier ou alors à effectuer des moulages dans le cas des traits et figures gravées. Le relevé est donc un délicat travail de copie long et généralement fort pénible, qui nécessite rigueur et précision, (Chabredier. L, 1966, p. 501) car il est une étape cruciale dans l'étude de l'art rupestre, il constitue un support de base pour l'identification, l'analyse, la comparaison et l'inventaire des gravures et peintures.

Les méthodes traditionnelles comprennent deux types de procédés: des procédés directs et des procédés indirects.

## 2.2 Procédés directs :

### 2.2.1 Le relevé sur calque par contact:

Est une méthode de relevé direct des peintures et des gravures rupestres, qui s'effectue en appliquant le papier calque (qui a la faculté d'être transparent) et de le maintenir sur la paroi puis de suivre le tracé des figures et formes gravées ou peintes au crayon approprié. (Chabredier. L, 1966, p. 502) (Figure 01)

**2.2.2 Le relevé par estampage:** est aussi une technique de relevé direct utilisé uniquement pour les gravures rupestres, il est effectué sur du papier qui est fixé sur la paroi gravée mais cette fois si il se fait à l'aide de cayons pastels qui vont venir colorier toute la surface de la paroi, pour produire des estampes ou le tracé des formes gravées apparaîtra non colorié ou vide. (Figure 02)

**2.2.3 Le relevé par moulage:** encore une technique de relevé direct qui consiste à appliquer une substance molle et suffisamment malléable (latex, plastiline, argile ou terre glaise) directement sur la paroi gravée et qui en séchant garde l'empreinte négative des tracés gravés dans la roche. (Martin, Y, 1974, p. 146). L'une des premières applications archéologiques du moulage au latex est celle du Dr G.G.Cameron qui rapporte à l'université du Michigan en (1949) le négatif du moulage au latex réalisé d'un bas relief iranien. C'est ainsi que lors de la mission H.Lohte (1959) le même procédé a été utilisé pour effectuer le relevé en relief de plus de 100 m<sup>2</sup> de surface gravée à l'Oued Djerat (Tassili-N-Ajjer). (Brésillon , M, 1965, p. CIX).

L'application du procédé direct par calque requiert une dextérité et une très grande légèreté de main, mais dès que la roche est accidentée il devient d'une exactitude très relative car les failles, les creux, les bosses et niches ...etc de la paroi provoquent le plissement du calque et par conséquent des déformations des figures copiées, plus la paroi est accidentée, plus les figures sont déformées et le relevé inexact. (Chabredier. L, 1966, p. 502).

Cette méthode de relevé graphique direct ou par contact ne peut être employée que pour des gravures de petites dimensions sur des parois sèches, dures et planes. (Chabredier. L, 1966, p. 502).

Les parois de gravures rupestres de l'Atlas saharien sont effectivement sèches parce qu'elles sont situées dans une zone aride à semi aride et également dures car produites sur des roches en grès, mais par contre elles sont de grandes dimensions ce qui est un inconvénient majeur pour le relevé de la totalité de la paroi, elles sont rarement planes ce qui va influencer sur la précision des formes et des dimensions des figures et des traits gravés qui vont être exagérés ou diminués selon que la paroi soit convexe ou concave voir les deux en même temps.

En ce qui concerne la méthode du relevé par moulage (lorsque l'état de conservation de la paroi le permet) la technique doit être exécutée par des spécialistes du domaine avec une extrême prudence, sans négliger le choix de la substance utilisée afin d'éviter d'endommager la paroi gravée.

Enfin, il faut impérativement prendre en considération l'état de conservation des parois gravées, d'autant plus que certaines

d'entre elles sont fragilisées par les conditions naturelles au fil des années, elles se fissurent, s'effritent et s'écaillent en perdant des fragments de la croûte de la roche, évidemment les relevés par contact direct sont dans ce cas précis strictement interdit car il mettrait en danger imminent ce qui reste des gravures rupestres et risquerait de provoquer des dégâts irréversibles voir de les détruire définitivement.

### 2.3 Procédés indirects:

**2.3.1 Le relevé par miroir:** IL consiste à disposer un miroir de bonne dimension recouvert d'une feuille de matière transparente (cellophane, vinyle) face à la paroi à relever, cela permet de suivre les traits d'une figure à l'envers par réflexion. (Chabredier. L, 1966, p. 504)

L'application de cette méthode nécessite de prendre en considération les déformations qui proviennent d'une part des angles formés par le pendage et le centrage du miroir, et d'autre part de la situation de l'observateur par rapport au miroir, mais aussi les distances figure-miroir et miroir-observateur sont des éléments réducteurs de dimensions, il faut donc rectifier le relevé à l'aide des dimensions réelles prises directement sur la paroi. (Chabredier. L, 1966, p. 505).

**2.3.2 Le relevé par dessin à vue :** c'est la représentation en deux dimensions de la paroi par dessin, longtemps et largement utilisée cette méthode est sujette aux difficultés liées à l'angle de vision, la stabilité du corps, la fatigue oculaire ou manuelle dues aux positions inconfortables, plusieurs facteurs qui rendent le relevé imparfait même s'il est exécuté par

d'excellent dessinateurs. (Chabredier. L, 1966, p. 505).

Si le dessin à vue ne peut prétendre au titre de « relevé » il est cependant excellent pour l'établissement de croquis d'appoint: situation des figures, dimensions, orientations. (Chabredier. L, 1966, p. 505).

**2.3.3 Le relevé par la chambre claire:** cette méthode a été parfois employée comme moyen de relevé, l'instrument est excellent pour reproduire, agrandir ou réduire un plan, un dessin établis sur une surface plane. (Chabredier. L, 1966, p. 505).

Il existe de nombreuses versions de la chambre claire. La plus basique consiste en une vitre, inclinée de 45° par rapport à l'horizontale. Lorsque vous placez votre œil au dessus de la vitre, vous voyez à la fois votre stylo et votre papier par dessous, et à la fois le paysage environnant se reflétant sur la vitre. ([www.beink.fr](http://www.beink.fr)).

Avec le procédé de la chambre claire les déformations sont provoquées par les défauts de centrage et de parallélisme par rapport à la paroi et la figure, et la restitution à l'échelle est très difficile voire impossible à réaliser. (Chabredier. L, 1966, p. 505)

**2.3.4 Le relevé par photographie:** la prise de photographie procédé indirect incontournable pour la documentation des gravures rupestres, et moyen d'attestation, de publication, de contrôle mais également un très bon moyen d'investigation. (Chabredier. L, 1966, p. 505)

Ceci dit, à présent le numérique a complètement révolutionné le domaine de la photographie et les appareils photos

numériques sont de plus en plus performants permettant d'obtenir des images d'une grande qualité avec une haute résolution, s'ajoute à cela les différents outils numériques comme les logiciels qui permettent de traiter, modifier et d'ajuster les photographies pour en améliorer l'aperçu, tous ses avantages jouent en faveur de cette méthode.

### **3. La photogrammétrie: nouvelle technique de relevé:**

#### **3.1 Définition de la photogrammétrie:**

La photogrammétrie est une technique qui permet de reconstituer une scène en trois dimensions à partir d'une série de photographies prises selon un protocole adapté. (Samaan, M et Al, 2014, p. 60).

Elle permet aussi la mesure d'un objet par l'étude de sa reproduction en perspective, à l'aide de photographies ou d'images numériques. Chaque point saisi par cette méthode a une définition mathématique ce qui rend cette technique rigoureusement exacte. (Maumont, M, 2008, p. 7) .

La photogrammétrie est utilisée depuis plus d'un demi-siècle dans plusieurs domaines notamment en cartographie, en industrie, en architecture mais aussi en archéologie (Maumont, M, 2008, p. 7) et en protection du patrimoine.

#### **3.2 Historique de la photogrammétrie :**

L'officier de l'armée française Aimé Laussedat est le premier à avoir effectué un relevé sur la façade de l'hôtel des invalides par photogrammétrie en 1849, il a publié des méthodes de mesure à partir de relevés photographiques en 1862. En parallèle l'ingénieur allemand Albrecht Maydenbauer a publié la technique de mesure dite « photométrie » en 1867, aujourd'hui devenue la

photogrammétrie. (Nguyen, T.G, 2018, p. 18).

#### **3.3 Les bases de la photogrammétrie:**

La restitution photogramétrique est basée sur la vision stéréoscopique couplée avec un système de mesures qui permet de définir les coordonnées de points sur le terrain à partir d'un couple d'images orientées. Il existe trois types de photogrammétrie selon les caractéristiques des photographies utilisées et des données exportées : la photogrammétrie analogique (qui est la plus ancienne), la photogrammétrie analytique et la photogrammétrie numérique. (Nguyen, T.G, 2018, p. 18).

#### **3.4 La photogrammétrie numérique :**

Aujourd'hui, grâce au développement des algorithmes de reconstitutions 3D la photogrammétrie numérique se fait sur ordinateur d'une manière quasiment automatique avec une faible interaction manuelle. (Nguyen, T.G, 2018, p. 20).

A partir des années 1990, tout devient numérique et cela bouleverse les pratiques puisque de nombreuses étapes de la photogrammétrie peuvent être automatisées, dès lors les produits se diversifient: du dessin 3D au format vecteur, on peut aussi réaliser des modèles numériques de terrain (MNT) et des ortho-images. Au début des années 2000, l'apparition des algorithmes d'appariement dense (SFM pour structure from motion) révolutionne la photogrammétrie. Il s'agit de méthodes de traitement d'une série de photographies numériques d'un même objet prises selon différents angles de prises de vues, produisant un nuage de points tridimensionnels en couleur, il existe plusieurs logiciels pour le traitement des

données par méthodes (SFM). (Samaan, M, 2016, p. 30).

En vue de la qualité des résultats obtenus et de leur précision nous avons choisis d'appliquer la photogrammétrie numérique afin de bien mener notre projet de relevé tridimensionnel (3D) d'une paroi de gravures d'art rupestre préhistorique.

### 3.5 Les objectifs de la photogrammétrie :

La photogrammétrie ou la reconstruction 3D du patrimoine culturel tangible et des sites archéologiques sont sollicitées dans différents buts :

- La documentation de bâtiments ou d'objets historique pour la reconstruction ou la restauration ;
- La création de sources d'informations et de bases de données pour les étudiants et les chercheurs dans le domaine de l'histoire et du patrimoine ;
- Visualiser des scènes de différents points de vue chose impossible à réaliser sur le terrain en vue de la taille et de l'inaccessibilité de certain vestiges culturel ;
- Interagir avec les objets sans risquer de les endommager ;
- Promouvoir le tourisme et les musés virtuels ; (Pitzalis, D, 2013, pp. 15-16)

La photogrammétrie est en train de devenir un outil indispensable dans l'étude et la sauvegarde des biens culturels car ce dispositif permet de réaliser de nombreux documents et supports utiles à la recherche et à la protection du patrimoine culturel tels que:

- Des relevés de haute précision réalisés dans un temps réduit permettant le gain de temps surtout dans le cadre de l'archéologie préventive ;

- Des profils horizontaux, transversaux et ortho-plans et même les associer à un seul et même relevé pour avoir une vision globale ;

- L'archivage et l'inventorisation scientifique des sites et des biens culturels afin d'assurer la bonne gestion et la conservation de l'existant et de son identité. (Younsi, S, 2015, p. 28).

### 3.6 Matériel utilisé dans la photogrammétrie:

L'avènement de nouveaux outils de la photogrammétrie autorise l'utilisation de matériels photographiques grand public, il existe, néanmoins différents types d'appareils photographiques on peut citer les compacts, les bridges et les réflex. Pour la photogrammétrie les caméras reflex sont préférées pour les raisons suivantes:

- Possibilité de régler manuellement et de manière indépendante tous les paramètres (mise au point, ouverture de diaphragme, vitesse, sensibilité, ISO...);
- Objectif interchangeable: on peut monter des objectifs de différentes distances focales sur le même boîtier, Ce qui permet d'adapter l'appareil à toutes les situations sur le terrain. (Samaan, M, 2016, p. 33).

Dans le cadre de notre travail nous avons utilisé un appareil numérique réflex qui est le plus approprié à la photogrammétrie.

## 4. Les étapes de la photogrammétrie:

### 4.1 Acquisition des données:

La première étape de l'enregistrement d'un objet ou de la scène par photogrammétrie est l'acquisition de données, qui est concrètement la prise d'une série de photographies de la scène

ou du bâti à numériser. Cette prise de photographies se fait selon un protocole effectué suivant des principes généraux puis adapté au préalable à la forme et à la taille de l'objet ou de la scène (Madeleine, S et al, 2019, p. 7). Il existe toutefois quelques stratégies d'acquisitions bien connues sur le terrain comme la stratégie d'acquisition convergente ou l'on tourne autour de l'objet (Figures 05-06) ou encore la stratégie d'acquisition parallèle (Samaan, M, 2016, pp. 42-43) ou globale. (Figure 07).

Pour la photogrammétrie numérique il est indispensable d'utiliser un appareil numérique de type reflex avec une bonne résolution, car ce type d'appareil permet d'utiliser des objectifs à focale fixe de bonne qualité (Seguin, M, 2012/2013, p. 51).

La réussite de cette étape est crucial pour la suite du processus car des photographies mal prises ou ne recouvrant pas la totalité de l'objet donnera au final un relevé 3D de mauvaise qualité il sera inexploitable, il faut donc veiller à ce que cette étape soit exécutée d'une manière très précise afin d'obtenir de bons résultats en l'occurrence un relevé 3D d'une bonne qualité prêt à être exploité soit par des chercheurs (formlabs.com), soit dans le domaine de la sauvegarde du patrimoine culturel tangible.

#### 4.2 Traitement des données:

Les photographies numériques prises de l'objet doivent être transférées dans un logiciel de modélisation 3D afin de créer un model tridimensionnel, pour cette tache il existe différent type de logiciel certain requiert de l'expérience dans la matière mais pour la plupart ce sont des logiciels

qui demande très peu d'intervention de l'utilisateur.

Les logiciels existants sont soit payant tels que : Agisoft Photoscan, Pix4D, Smart 3D capture..., soit en open source comme : Bundler, MicMac (Samaan, M, 2016, p. 37), ou encore Meshroom.

Les logiciels de photogrammétrie dans cette partie recherchent dans les photographies des caractéristiques qui peuvent être reconnus sur plusieurs images, la plupart des outils utilisent la technique plus générique de la (structure From Motion ou SFM) qui recherche des structures denses sur l'objet (formlabs.com).

#### 4.3 Résultat du traitement de données :

Après un long calcul suivant des algorithmes très complexes la création de tous model 3D se fait comme suit :

- le nuage de Point : qui est un ensemble de sommet connues en coordonnées tridimensionnelles (Seguin, M, 2012/2013) (X, Y, Z) ;
- le maillage : consiste à organiser les points d'un nuage en les reliant par un réseau de lignes, ces lignes décrivent un ensemble de facettes connectées entre elles (Seguin, M, 2012/2013, p. 58) ;
- le remesh : qui est une adaptation du nombre de points à la géométrie de la surface numérisée (Bourdier,C et al, 2007/ 2008, p. 127);
- Le mapping: ou l'habillage en texture de la base qui est conçu à partir des clichés ou des photographies numériques prises au début du processus de modélisation 3D par photogrammétrie (Bourdier,C et al, 2007/ 2008, p. 127).

Une fois les étapes de traitement terminées, le model tridimensionnel de

l'objet enregistré par photogrammétrie est en fin prêt à être exploité selon l'usage auquel il était destiné au départ.

Toutefois pour être exploitable de façon correcte il devra encore être transféré vers des logiciels de post traitement pour encore quelques retouches, ce traitement finale est lui aussi effectué à l'aide de logiciels conçus pour cette tâche nous citerons à titre d'exemple : Cloud compare et Meshlab (Seguin, M, 2012/2013, pp. 61-64).

## 5. Modèle d'étude station de Aïn Naga :

### 5.1 Situation géographique:

Le village de Aïn Naga se trouve à 45Km au sud-est de Djelfa (Lohte, H, 1984, p. 93) sur la route reliant Moudjebara à Messâad, (figure 08) la station de gravures rupestres se trouve pas loin du village. La station de Aïn Naga est un site classé au patrimoine national et cela depuis 1976 et sous la protection de l'état.

La station de Aïn Naga comporte quatre parois gravées deux d'entre elles sont visible depuis la route pour les deux autres il faut s'en éloigner un peu, à quelques centaines de mètres de la route. (figure 09).

### 5.2 Description de la station :

Le premier ensemble de gravures est situé tous près du village, sur une grande paroi se trouve deux buffles antiques de grande taille de type classique de la période d'Art rupestre préhistorique dite de grande dimension et un grand éléphant au tracé très altéré, à gauche de cette ensemble se trouve aussi un lion et un cheval de petite taille (Lohte, H, 1984, p. 93). La paroi des buffles mesure près de 4m10 de long.

Le second ensemble de gravures est la paroi d'un bélier à sphéroïde et d'un homme levant les bras, tous deux de haute

taille. Du bélier il ne reste que le cou et la tête car une partie de la paroi s'est écaillée. Le personnage lui fait 1m66 de haut levant ces bras vers la droite et regardant dans la même direction que le bélier (Lohte, H, 1984, p. 100). Le bélier à sphéroïde a des cornes recourbées en avant désigné comme étant *Ovis longipes*, la paroi est connue sous le nom de « l'orant et le bélier » (Huard, P. Allard, L, 1976) en raison des bras levés du personnage.

Le troisième ensemble de gravures rupestres est la paroi nommée « Les amoureux timides » la scène est considéré comme un chef d'œuvre sur laquelle est représenté un homme portant sur le dos un bouclier et des flèches portant un casque ou une coiffure avec une mèche qui dépasse sur le front et trois mèches sur la nuque. L'homme est à genou devant une femme assise avec une chevelure soigneusement coiffée en arrière et maintenue avec une barrette (Lohte, H, 1984, p. 115). L'homme mesure 1m 20 avec un corps rectangulaire sa tête présente un profil à nez saillant et pointu, la femme qui lui fait vis-à-vis au profil moins saillant et au front haut, selon Lhote les deux personnages seraient de type euroïde (Lohte, H, 1984, p. 104).

Au dessus des bras des amoureux on trouve trois empreintes de pattes de félin, à leur gauche un petit bovidé soigneusement exécuté semble faire partie de la scène, à leurs droite deux personnages aux bras et aux jambes très allongées (Lohte, H, 1984, p. 106).

La deuxième paroi de l'ensemble est celles de deux ânes avec de longues oreilles qui ne correspondent pas aux oreilles de chevaux, ils portent également



une crinière courte est raide ce qui correspond aussi à celle des Asiniens en général (Lohte, H, 1984, p. 106).

### 5.3 Datation de la station :

L'Art rupestre atlasique a été généralement considéré comme un art pleinement néolithique en raison de la présence du fameux bélier à sphéroïdes dès sa période la plus ancienne dite « naturaliste », ce bélier est la raison de cette affirmation puisque il a été considéré comme une espèce domestiqué et introduite du Proche-Orient mais selon M. Hachid : « certainement les premières tentatives (de la domestication) datent déjà de la période naturaliste, mais le stade de la maîtrise économique de l'élevage ne se fera que postérieurement » (Hachid, M, 2001, pp. 30-33).

Selon H. Lhote la station de Aïn Naga comporte des gravures du bélier à sphéroïde, du buffle antique et de l'éléphant qui appartiennent tous à la l'école bubaline de grandes dimensions le couple des amoureux timides fait également partie de ce groupe (Lohte, H, 1984, p. 107).

## 6. Application de la photogrammétrie sur terrain :

### 6.1 Matériel de la prise de vue:

Pour l'acquisition des images on a utilisé un appareil photographique de la marque Nikon D3300 afin d'obtenir des résultats satisfaisant nous avons choisis d'utiliser cet appareil photographique numérique de type réflex qui peut être réglé manuellement, les réglages automatiques sont strictement interdit car cela peut créer des divergences entre les photographies qui rendront impossible le processus de traitement et de modélisation de la scène.

L'appareil est à grand angle pour faciliter la prise de vue de la totalité de la paroi, l'appareil Nikon D3300 est aussi doté des caractéristiques suivantes :

-Type : appareil photo numérique de type réflex

-Résolution : 24,2 Millions de pixels

-Stockage format de fichier : NEF (RAW)

12 bits compressé - JPEG ([www.nikon.fr](http://www.nikon.fr))

Nous avons aussi essayé d'utiliser un trépied lorsque cela était possible car le terrain était souvent inapproprié. Au cours de la prise de vue nous avons enregistré les photographies en deux formats disponibles sur l'appareil : en fichiers NEF (RAW) qui sont des fichiers au format brut contenant toutes les données, et aussi en format JPEG qui sont des formats compressés.

### 6.2 Stratégie de la prise de vue :

Nous avons pour objectif de modéliser des parois en grès gravées qui sont d'une taille conséquente et d'une morphologie plutôt irrégulière, c'est pour cela que l'on a exclu la prise de vue parallèle ou globale qui correspond plus aux scènes d'une forme linéaire et régulière, notre choix c'est donc porté sur la stratégie de prise de vue convergente partielle, c'est-à-dire que nous n'avons pas fait une boucle autour de la paroi seulement un demi cercle pour concentrer le travail sur la partie gravée du bloc de grès car il est très difficile et de plus inutile d'en photographier la totalité de la roche.

Le premier obstacle que nous avons rencontré lors de la prise de vue – hormis la taille des parois – c'est la nature du terrain accidenté qui ne permet pas l'utilisation du trépied garant de la stabilité de l'appareil photographique. Mais encore les clôtures installées pour

protéger les sites sont parfois trop proches de la paroi et qui ne permettent pas d'avoir la distance de recul nécessaire à la prise de vue.

### 6.3 Traitement des données:

Une fois que nous avons obtenus une couverture photographique de chaque paroi nous avons débuté la phase du traitement de données pour réaliser les relevés tridimensionnels. Les fichiers en format NEF (RAW) nécessitent un prétraitement avant de pouvoir être exploités, nous avons alors traité les photographies en Format JPEG. Le logiciel de photogrammétrie qu'on a utilisé pour la réalisation du modèle 3D est Agisoft Metashape.

Le traitement des données est un processus qui nécessite un ordinateur puissant et doté d'une grande capacité car il doit effectuer des calculs selon des algorithmes de reconstruction géométriques d'une grande complexité, un ordinateur de capacité ordinaire mettra plusieurs heures voire plusieurs jours à traiter les données, et parfois le traitement n'aboutira même pas.

### 6.4 La création du nuage de points :

La première étape de modélisation est d'importer les fichiers photos et de les aligner dans l'espace prévu pour cela dans l'interface du logiciel et de lancer le processus. Le logiciel effectue des calculs sur la base d'algorithmes complexes pour construire le nuage de points dense (Figure 10). Le logiciel attribue à chaque point du nuage des coordonnées (X, Y, Z).

### 6.5 Le maillage et le remesh:

Une fois que le nuage de point dense est créé le logiciel relie les points par un réseau de lignes qui constitue le maillage reproduisant les angles et les arrêtes de la

paroi (Figure 11). Pour venir ensuite recouvrir le maillage d'une surface conforme à la morphologie de la paroi: le remesh (Figure 12)

### 6.6 La création de texture (le mapping) :

La phase finale de la modélisation 3D par photogrammétrie consiste à habiller le modèle de la texture de base (Figure 13) de la paroi avec ses couleurs et ces nuances capturées par l'objectif de notre appareil photo numérique au début de notre projet (prise de vue). Le rendu final du relevé tridimensionnel est enfin prêt, il pourra si besoin être transféré vers d'autres logiciels précédemment cités pour nettoyer et affiner l'aspect général du modèle.

## 7. Résultats et analyse:

Suite à notre traitement photogrammétrique des trois parois de gravures rupestres de la station de Aïn Naga trois modèles de relevé tridimensionnels ont été calculés, les trois modèles représentent à l'identique les scènes gravées sur les parois et offre un rendu fidèle tant pour le contenu que pour la morphologie et les couleurs des parois gravées, on peut s'en rendre compte en comparant les photographies numériques (Figures : 15-17) avec les modèles de relevé tridimensionnels correspondants (Figures : 14- 16 -18).

Le choix de la stratégie de prise de vue convergente était à notre avis un choix judicieux étant donné que les trois modèles sont réussis puisque les zones ciblées comportant les gravures ne présentent pas de trous ni de vide ce qui est très positif, toutefois la résolution des photographies numériques et l'éclairage

sont des points qui devront être améliorée pour un meilleur rendu des détails.

Le point positif dans la réalisation d'un relevé par photogrammétrie est que le procédé soit indirect donc n'ayant aucun contact direct avec les parois, ce qui est plutôt bénéfique pour la conservation et la préservation des parois gravées.

L'avantage dans la réalisation d'un relevé tridimensionnel par rapport au relevé traditionnel réalisé par calque, estampage, dessin à vue, chambre claire ou par photographie c'est de retrouver la troisième dimension qui est un élément perdu dans les méthodes de relevé traditionnelles (tous réalisés en deux dimensions) et qui constitue un atout majeur dans la reconstitution des gravures rupestres à l'identique en respectant les dimensions et les proportions des formes et des figures ainsi que la morphologie des parois.

D'autant plus que les modèles de relevé tridimensionnels sont des relevés numériques donc ils peuvent être traités, modifié, amélioré et comparé de manière numérique sans craindre de les abimer. Ils sont aussi enregistrés dans des fichiers numériques faciles à copier, à stocker, à répertorier et à transmettre un atout non négligeable dans le domaine de la recherche scientifique.

## 8. Conclusion:

L'objectif premier de notre projet était d'appliquer un nouveau procédé de relevé indirect qui soit à la fois précis, pratique et fonctionnel mais aussi qui apporte ce qui manque aux anciennes méthodes. Nous avons opté pour l'application de la photogrammétrie sur des parois de gravures rupestres de l'atlas saharien

comme une première expérience dans le domaine, nous avons essayé de trouver un protocole d'acquisition de données simple à reproduire et une méthodologie standard mais efficace pour réaliser des modèles de relevé tridimensionnels. Nous avons pu mener le projet à terme et nous avons obtenu des relevés 3D d'assez bonne qualité, qui peuvent très bien être des supports à la fois pour la recherche et pour la valorisation et la sauvegarde du patrimoine culturel matériel. Nous avons toutefois en perspective de mener d'autres projets pour parfaire la méthode et améliorer la précision des résultats par l'utilisation d'un matériel plus performant, il faudra aussi trouver des solutions aux obstacles liés à la nature accidenté du terrain et pouvoir utiliser un matériel adéquat pour améliorer la stabilité de l'appareil photographique.

## 9. liste Bibliographique :

1. Bourdier Camille et Al, (2007), Technologies 3D appliquées à la sculpture pariétale magdalénienne, Images et relevés Archéologiques : de la preuve à la démonstration, Actes du 132-1 Congrès national des sociétés historiques et scientifiques, « Image et imagerie », Arles, 2007, Paris, Editions du CTHS, 2008 ;
2. Brésillon Michel, (1965), Applications archéologiques du moulage au latex, Bulletin de la Société préhistorique française, Comptes rendus des séances mensuelles, Tome 62, N° 3 ;
3. Chabredier.L,(1966),Etude méthodologique des relevés d'art pariétal préhistorique, Bulletin de la société préhistorique française, Tome 63, n°3;
4. Hachid Malika, (2001), les premiers Berbères entre méditerranée, Tassili et Nil, Ed : INA-YAS, Alger;
5. Huard. P / Allard. L, (1976), les figurations rupestres de la région de Djelfa Sud Algérois, Libyca, tome XXIV, Alger;
6. Lohte Henry, (1984), les gravures rupestres de l'Atlas saharien, monts des Ouled-Naïl et région de Djelfa, Ed : Entreprise National des Arts Graphiques, Alger;
7. Madeleine,S, Garnier,X et al (2019) réaliser un projet de model numérique 3D pour le patrimoine, Guide de rédaction d'un cahier de charge, les recommandations du consortium 3D SHS ;
8. Martin Yves, (1974), Technique de moulage de gravures rupestres, Bulletin de la Société préhistorique française. Comptes rendus des séances mensuelles, Tome 71, n° 5 ;
9. Maumont Michel, (2008), L'espace 3D : de la photogrammétrie à la lasergrammétrie, Communication présentée lors du séminaire Art rupestre : la 3D un outil de médiation du réel invisible , 4 – 6/06/ 2008, Angles-sur-l'Anglin, France;
10. Nguyen Truong Giang , (2018), Géo-référencement précis d'acquisition photogrammétrique de « longues » scènes d'intérieur, thèse de doctorat, Université de Paris-Est, 2018;
11. Pitzalis,D, (2013) 3D and semantic web: new tools to document artefacts and explore cultural heritage collections, Thèse de Doctorat, Université Pierre et Marie Curie, Paris;
12. Samaan Mariam et Al, (2014), La photogrammétrie rapprochée pour la modélisation en 4D d'une structure archéologique, Revue française de photogrammétrie et de Télédétection, n° 207;
13. Samaan Mariam, (2016), la photogrammétrie rapprochée au service de l'archéologie préventive, thèse de doctorat, Université Paris-Est, soutenue le: 20/06/2016 ;
14. Seguin Maxime, photogrammétrie numérique et architecture : apport et application de la corrélation épipolaire dense (CED) à l'archéologie du bâti, mémoire de master, Université d'Aix-Marseille, France, 2012/2013 ;
15. Younsi Siham, (2015), la photogrammétrie numérique appliquée à l'archéologie et au patrimoine culturel , Revue d'études archéologiques, Vol :13, n° 02 ;
16. Fromlabs, Photogrammétrie : étape par étape et comparaison de logiciels, <https://formlabs.com/fr/blog/photogrammetrie-guide-et-comparaison-logiciels/> consulté le : 04/11/2022 ;
17. [https://www.nikon.fr/fr\\_FR/product/discontinued/digital-cameras/2018/d3300-black#overview](https://www.nikon.fr/fr_FR/product/discontinued/digital-cameras/2018/d3300-black#overview) consulté le : 30/10/2022;
18. <https://www.beink.fr/post/reproduire-%C3%A0-l-identique-sans-rien-mesurer> Consulté le : 31/07/2023;
19. <https://www.hominides.com/articles/les-methodes-de-releve-dans-art-prehistorique-avant-1966> Consulté le : 31/07/2023
20. [http://expositions.bnf.fr/chine/grand/c104\\_f.htm](http://expositions.bnf.fr/chine/grand/c104_f.htm) Consulté le : 31/07/2023
21. [https://www.youtube.com/watch?v=7atno\\_xWAwqA](https://www.youtube.com/watch?v=7atno_xWAwqA) Consulté le 31/07/2023
22. [file:///D:/Etudes/doctorat/th%C3%A8se/bibliographie%20th%C3%A8se/articles/Art%20Orup-num%C3%A9rique/Culture3DCloud\\_UsersGuideline.pdf](file:///D:/Etudes/doctorat/th%C3%A8se/bibliographie%20th%C3%A8se/articles/Art%20Orup-num%C3%A9rique/Culture3DCloud_UsersGuideline.pdf) Consulté le 31/07/2023
23. google.com/maps/dir/Djelfa/'Aïn+Na ga, Moudjebara,

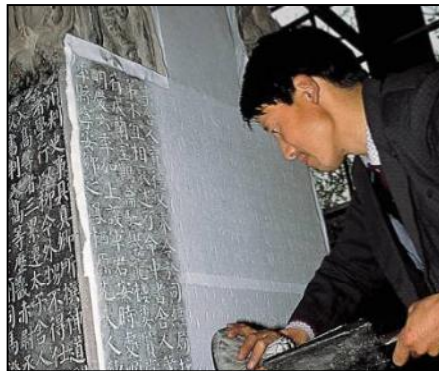
10. Annexes :

Figure N° 01. Relevé par calque direct



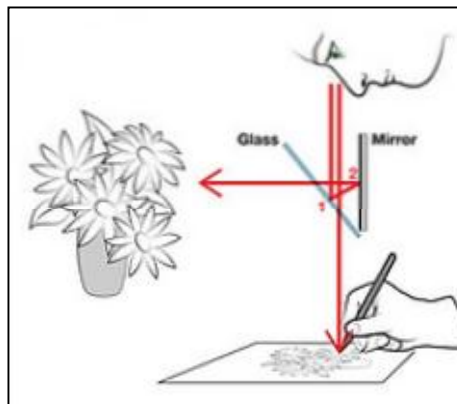
Source : <https://www.hominides.com/articles/les-methodes-de-releve-dans-art-prehistorique-avant-1966>

Figure N° 02. Relevé par estampage

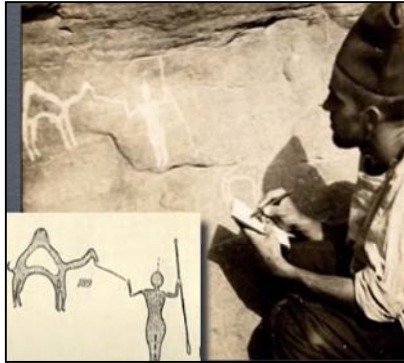


Source: <http://expositions.bnf.fr/chine/grand/c104f.htm>

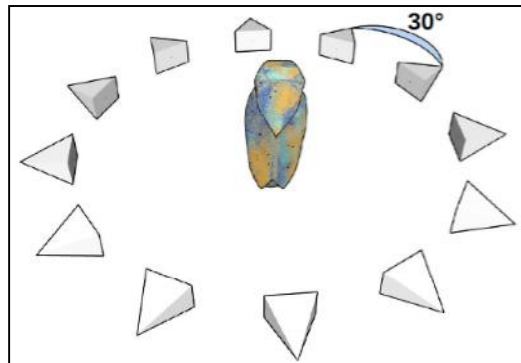
Figure N° 03. Relevé par la chambre Claire



Source: <https://www.beink.fr/post/reproduire-%C3%A0-l-identique-sans-rien-mesurer>

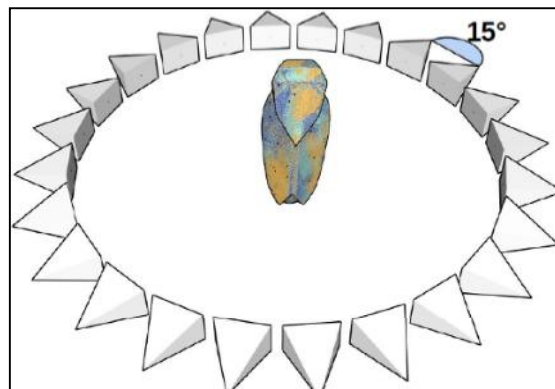
**Figure N°04. Relevé par dessin à vue**

Source: <https://www.youtube.com/watch?v=7atnoxWAwqA>

**Figure N°05. Prise de vue convergente**

Source:

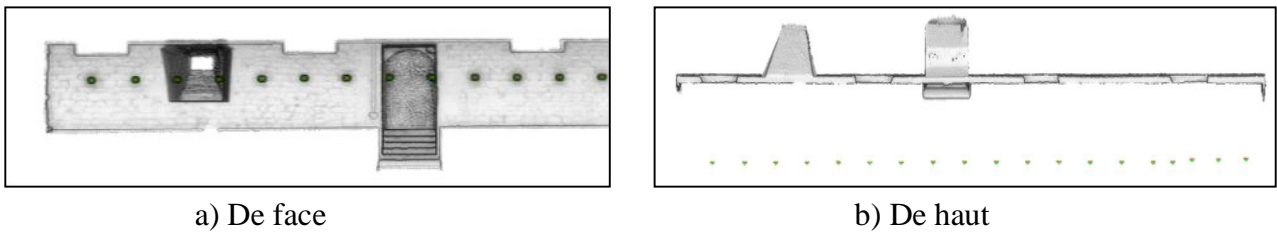
[file:///D:/Etudes/doctorat/th%C3%A8se/bibliographie%20th%C3%A8se/articles/Art%20rup-num%C3%A9rique/Culture3DCloud\\_UsersGuideline.pdf](file:///D:/Etudes/doctorat/th%C3%A8se/bibliographie%20th%C3%A8se/articles/Art%20rup-num%C3%A9rique/Culture3DCloud_UsersGuideline.pdf)

**Figure N°06. Prise de vue convergente**

Source:

[file:///D:/Etudes/doctorat/th%C3%A8se/bibliographie%20th%C3%A8se/articles/Art%20rup-num%C3%A9rique/Culture3DCloud\\_UsersGuideline.pdf](file:///D:/Etudes/doctorat/th%C3%A8se/bibliographie%20th%C3%A8se/articles/Art%20rup-num%C3%A9rique/Culture3DCloud_UsersGuideline.pdf)

Figure N°07. *Prise de vue globale parallèle*



a) De face

b) De haut

Source:

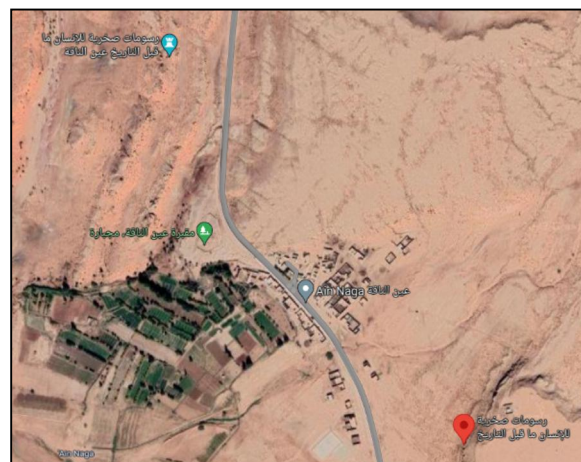
[file:///D:/Etudes/doctorat/th%C3%A8se/bibliographie%20th%C3%A8se/articles/Art%20rap-num%C3%A9rique/Culture3DCloud\\_UsersGuideline.pdf](file:///D:/Etudes/doctorat/th%C3%A8se/bibliographie%20th%C3%A8se/articles/Art%20rap-num%C3%A9rique/Culture3DCloud_UsersGuideline.pdf)

Figure N° 08. *Situation géographique de Aïn-Naga*



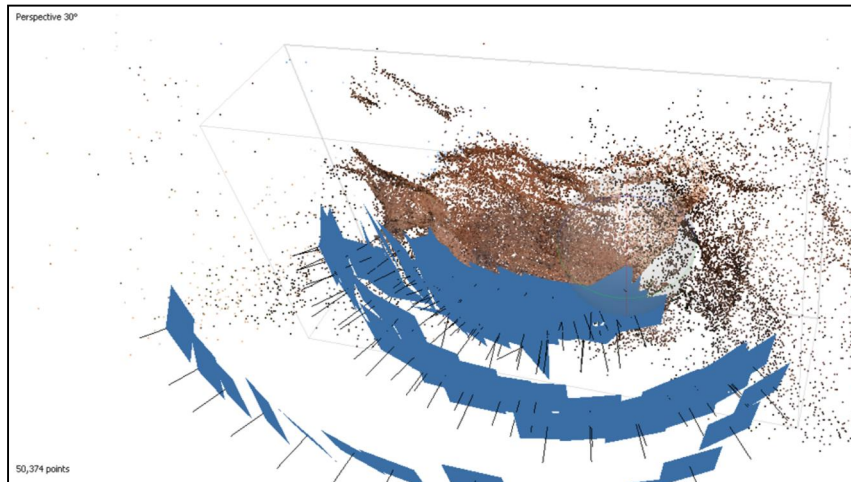
Source: *Google maps*

Figure N° 09. *Situation des stations de gravures*



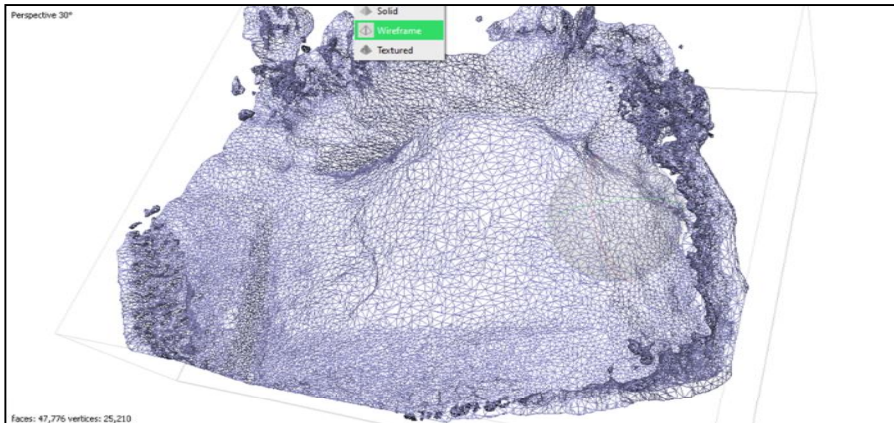
Source: *Google maps*

**Figure N° 10. Nuage de point de la paroi des**



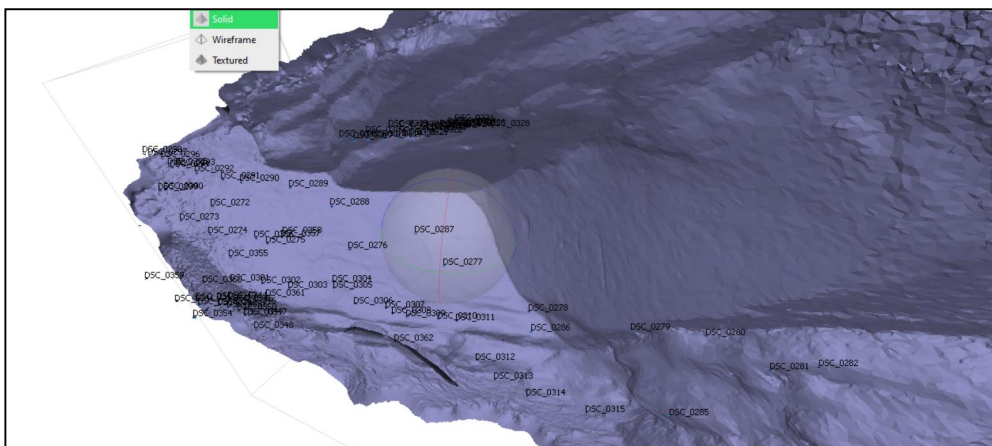
Source: Travaux de l'étudiante.

**Figure N° 11. Le maillage de la paroi de "l'orant et le bélier".**



Source: Travaux de l'étudiante.

**Figure N° 12. Le remesh de la paroi "des Amoureux timides".**



Source: Travaux de l'étudiante.

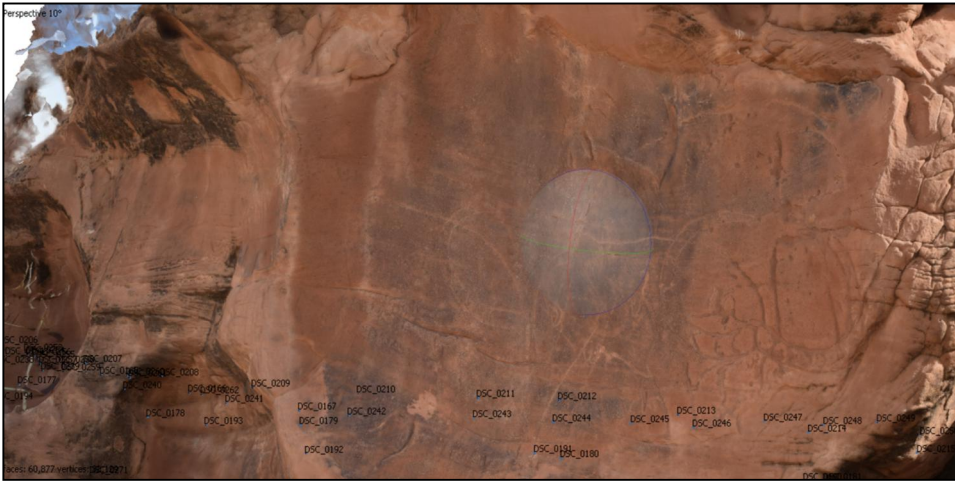


Figure N° 13. La création de texture de la paroi “ des buffles antiques ”.



Source: Travaux de l'étudiante

Figure N° 14. Modèle du relevé 3D de la paroi des “buffles antiques”



Source: Travaux de l'étudiante.

Figure N° 15. Photographie numérique de la paroi des “buffles antiques”.



Source: Travaux de l'étudiante.

Figure N° 16. Modèle du relevé 3D de la paroi de “ l’orant et le bélier ”.



Source: Travaux de l'étudiante.

Figure N° 17. Photographie numérique de la paroi de “ l’orant et le bélier ”.



Source: Travaux de l'étudiante.

Figure N° 18. Modèle du relevé 3D de la paroi “ des Amoureux timides ”.



Source: Travaux de l'étudiante.