

C3DC

Culture 3D Cloud

Culture 3D Cloud est une plateforme d'informatique en nuage pour la numérisation 3D, la documentation, la conservation et la diffusion du patrimoine culturel

Guide pour la prise de vue photogrammétrique
à destination de la plateforme C3DC.

Sommaire

Introduction.....	3
1 Préalables.....	4
1.a Pour quelles utilisations ?.....	4
1.b Représentation graphique de la pyramide dans les protocoles.....	5
2 L'objet d'intérêt et son contexte.....	6
La photogrammétrie est adaptée pour relever différents objets ou espaces intérieurs et extérieur de différentes échelles et de complexités variables. Pour autant, la texture et la matière de l'objet peuvent apporter des complications voire une incompatibilité quant à son application.....	6
2.a Typologies.....	6
2.b Composition.....	7
2.c Environnement de prise de vue.....	8
2.d Texture de l'objet.....	9
2.e Éclairage.....	9
3 Section photographie : matériels et réglages.....	11
3.a Matériel photographique.....	11
<i>Choix de l'appareil.....</i>	<i>11</i>
<i>Objectif.....</i>	<i>12</i>
<i>Trépied.....</i>	<i>13</i>
<i>Entretien.....</i>	<i>14</i>
3.b Réglages de l'appareil photo.....	14
<i>Mode « Manuel ».....</i>	<i>14</i>
<i>Balance des blancs.....</i>	<i>14</i>
<i>Sensibilité.....</i>	<i>15</i>
<i>Ouverture.....</i>	<i>15</i>
<i>Vitesse.....</i>	<i>16</i>
<i>Enregistrement des fichiers sur l'appareil.....</i>	<i>16</i>
<i>Traitement des fichiers.....</i>	<i>17</i>
4 Méthode de prise de vue linéaire.....	19
4.a Recouvrement.....	19
4.b Parcours linéaire direct.....	19
4.c Parcours linéaire multiple.....	22
5 Méthode de prise de vue pour un petit objet.....	23
5.a Recouvrement des images à 360°.....	23
5.b Photographies supplémentaires et objets complexes.....	26
6 Synthèse.....	28
7 Glossaire.....	29

Introduction

Ce guide est à destination des utilisateurs du service C3DC et propose une approche pour la prise de vues photogrammétriques optimisée pour l'utilisation de cette plateforme.

Pour rappel, le principe est basé sur ce que l'on appelle le « Structure From Motion » (SfM) et qui repose sur la multiplication des prises de vues photographiques en déplaçant l'appareil dans les trois dimensions (translation et ou rotation). Théoriquement, deux photos sont nécessaires pour créer un couple stéréoscopique, pour autant ce minimum n'est généralement pas suffisant pour restituer l'intégralité d'un objet complexe avec fidélité. L'acquisition photogrammétrique nécessite un respect de quelques règles expliquées dans ce guide ainsi qu'une maîtrise technique de certains réglages photographiques. Afin de garantir la précision de la reconstruction 3D, il est nécessaire de prendre en compte différents paramètres lors de la prise de vue.

La qualité métrique et visuelle d'un résultat sera notamment relative à :

- D'un point de vue photographique, par un bon usage de l'appareil photo avec les réglages adaptés.
- D'un point de vue photogrammétrique, le respect de la notion de recouvrement* entre les images sur l'ensemble de la scène.
- Du contexte, par la prise en compte et l'adaptation à l'environnement de prise de vue et des conditions d'éclairage.

A l'instar des paramètres de prise de vue, le nombre d'images à réaliser varie selon le niveau de détail désiré et l'objet choisi. Ces besoins vont définir les protocoles d'acquisition, dont des modèles sont justement fournis au long de ce guide. Ce document propose d'initier aux principes de l'acquisition photogrammétrique afin de garantir et d'optimiser la reconstruction géométrique.

Les photographies réalisées par les utilisateurs sont envoyées sur la plateforme en ligne C3DC où elles seront traitées par une chaîne de traitement modulaire et automatique utilisant le logiciel MicMac développé par l'Institut National de l'Information Géographique et Forestière au sein du laboratoire Méthodes d'Analyses pour le Traitement d'Images et la Stéréorestitution (IGN/Matis).

Ce programme traite les photos des utilisateurs, en passant par toutes les étapes essentielles de la photogrammétrie numérique :

- La détection des points homologues* pour la mise en correspondance des différentes images de la série.
- La calibration* et l'orientation globale* permettant de corriger les déformations photographiques afin de spatialiser les relations entre l'objet et les prises de vues.
- La corrélation* multistéréoscopique dense, permettant de construire un nuage de points*, qui peut être transformé ultérieurement en un modèle 3D* maillé et texturé.

Le guide est complété par un glossaire ainsi qu'une annexe à destination des utilisateurs avancés désirant une meilleure compréhension du traitement effectué par la plateforme. Ce guide complémentaire détaille les étapes du traitement et explique les options disponibles.

1 Préalables

Ce guide détaille les règles de prise de vue à suivre pour garantir un bon déroulement lors du traitement des photographies par la plateforme C3DC. Le traitement est automatique et propose des paramètres prédéfinis correspondant aux différentes méthodes de numérisation 3D de ce guide.

Voici les étapes à suivre pour numériser un objet :

- Choix d'une méthode de numérisation présentée ici en fonction de la forme de l'objet
- Si possible, aménager l'espace de prise de vue et optimiser les conditions d'éclairage
- Paramétrer son appareil photographique
- Réalisation des prises de vues selon la méthode choisie en respectant les règles de composition
- Envoi des fichiers sur la plateforme

1.a Pour quelles utilisations ?

La photogrammétrie utilise la photographie pour restituer la géométrie d'un objet ou d'un espace. C'est une technique plus flexible et moins coûteuse que la lasergrammétrie*, qui fournit des informations sur la surface d'un objet d'un point de vue à la fois géométrique (morphologie, dimensions) et colorimétrique (texture).

La plateforme C3DC offre la possibilité de générer un modèle 3D de l'objet à différent niveau de résolution et de définition.

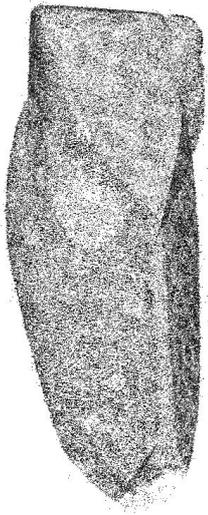
La prise de mesure

La photogrammétrie permet de prendre des mesures à partir de deux photographies. On peut mesurer l'écartement entre deux points sur le modèle produit pour connaître la distance réelle qui les sépare, si on y intègre un élément de référence aux dimensions connues pour une mise à l'échelle.

Nuage de points et maillage

En suivant les méthodes présentées plus loin, une empreinte numérique d'un objet peut être calculée. Elle est constituée d'un grand nombre de points caractérisés par des coordonnées dans l'espace et des informations de couleurs de la même manière qu'un pixel. On parle d'un nuage de points* comme visible ci-dessous.

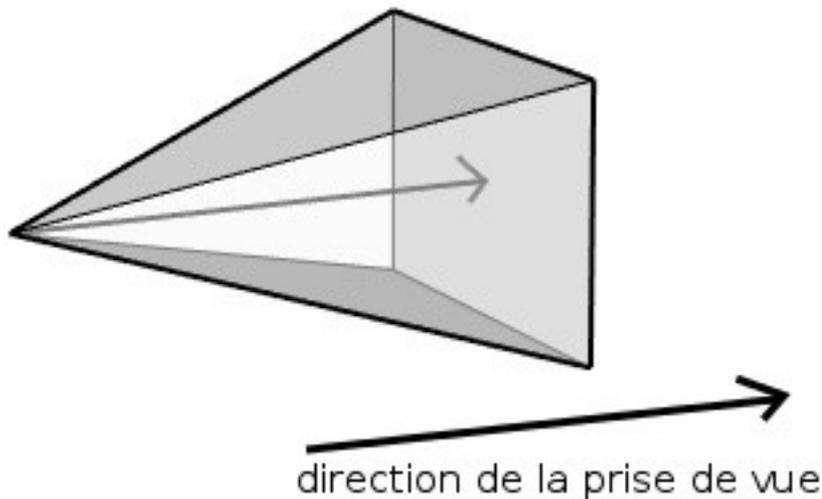
Ces points peuvent être « reliés » pour obtenir un modèle 3D polygonal. On parle de maillage* suite à un processus de reconstruction surfacique.



1.b Représentation graphique de la pyramide dans les protocoles

Pour la description des protocoles présentés dans ce guide, nous représenterons schématiquement l'appareil photographique sous forme d'une pyramide.

Ci-dessous, le sommet de la pyramide représente le centre optique, et la base est dirigée vers l'objet photographié.



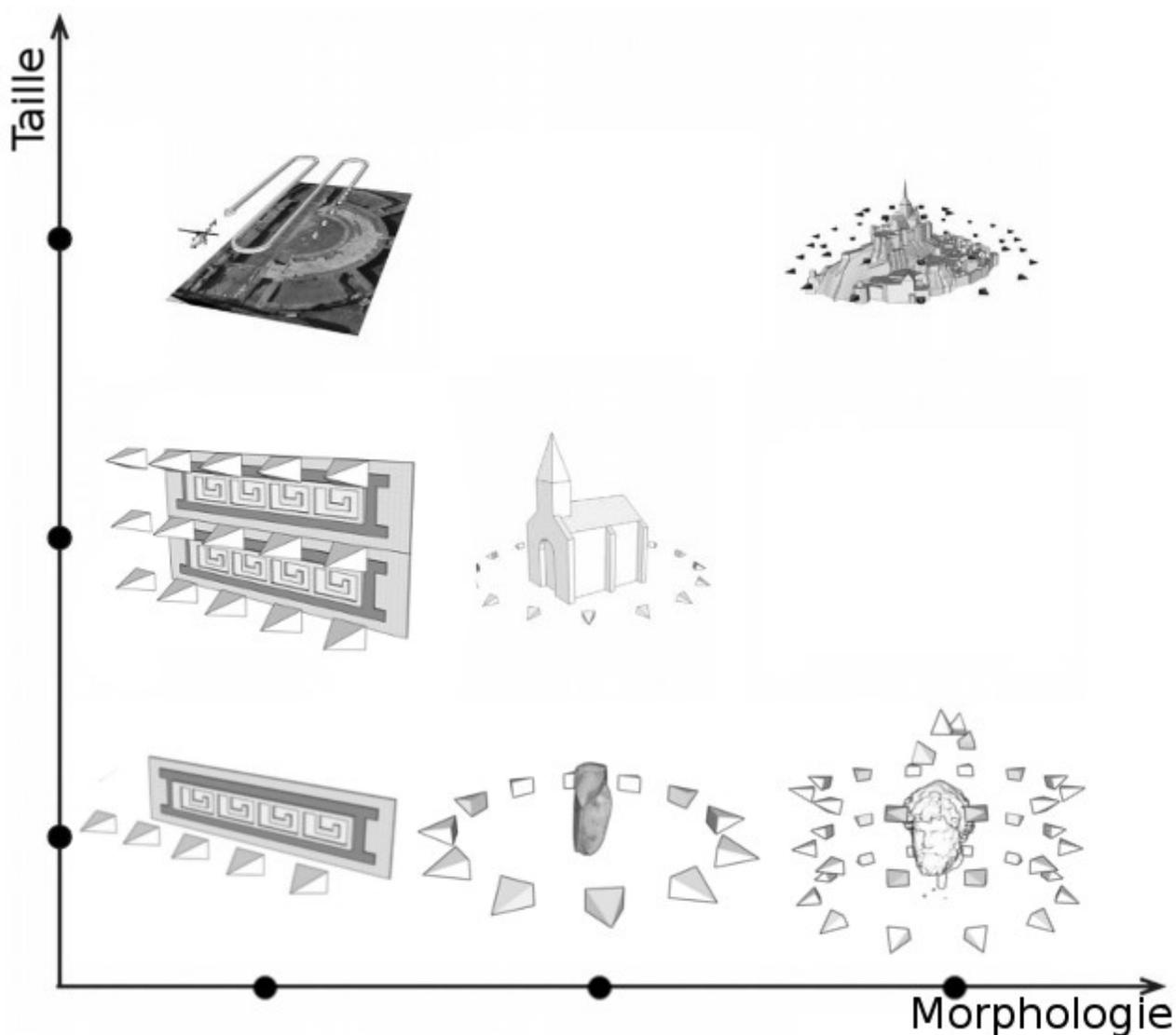
Représentation de la position et de la direction d'un appareil photographique

2 L'objet d'intérêt et son contexte

La photogrammétrie est adaptée pour relever différents objets ou espaces intérieurs et extérieur de différentes échelles et de complexités variables. Pour autant, la texture et la matière de l'objet peuvent apporter des complications voire une incompatibilité quant à son application.

2.a Typologies

Selon la taille et la morphologie de l'objet, le protocole utilisé pour sa numérisation va varier. La figure suivante propose des exemples d'objets auxquels la photogrammétrie peut s'appliquer et dont les méthodes de numérisation pour certains de ces objets seront détaillées plus loin dans ce guide.

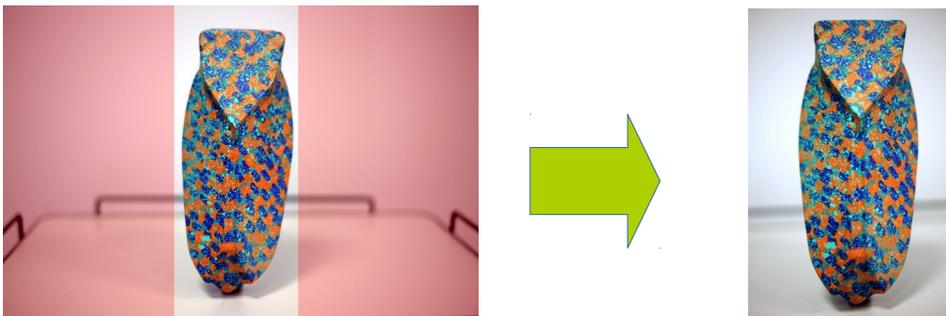


La difficulté pour relever l'objet d'intérêt ainsi que le temps de traitement sont relatifs à l'augmentation de la taille et de la complexité sa morphologie. La plateforme dans sa version actuelle est plus directement adapté aux acquisitions terrestres de petites et moyennes dimensions, le traitement de couverture aérienne (par drone) peut fonctionner mais sans la prise en compte de données GPS et des GCP généralement utile dans ce type de traitement.

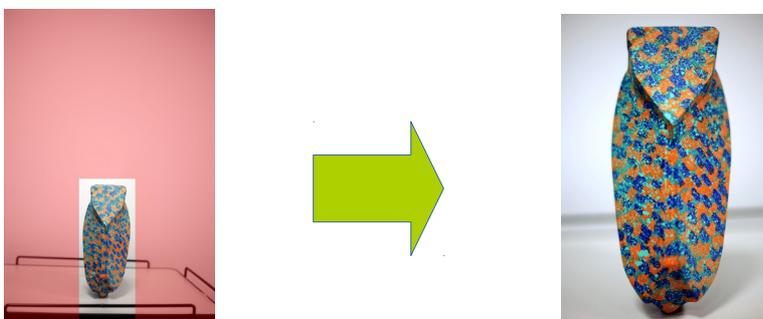
Le document ci-présent décrit des protocoles d'acquisitions basiques ; en prise de vues en axes parallèles (stratégie linéaire), en prise de vues convergentes ou divergentes (stratégie circulaire), ou mixte (stratégie aléatoire). Ces différentes méthodes de relevés devront s'adapter et se combiner à la complexité de l'objet ainsi qu'au contexte de prise de vues.

2.b Composition

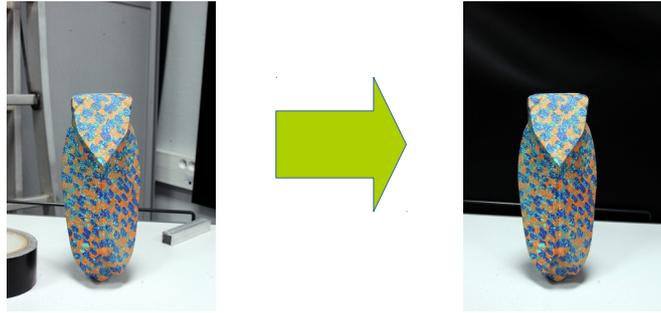
Adaptez l'orientation (vertical ou horizontal) de l'appareil à la forme de l'objet. Cadrez afin d'englober celui-ci. Pour cela, pensez également à optimiser votre éloignement vis à vis de l'objet d'étude, physiquement en modifiant la distance au sujet et/ou optiquement en ajustant votre distance focale.



En maximisant l'emprise de l'objet sur la surface de l'image, on augmente le nombre de pixels effectifs utiles pour la reconstruction qui permettent d'améliorer globalement la qualité la numérisation.



2.c Environnement de prise de vue



En remplissant au maximum le cadre avec l'objet, les chances d'avoir un élément parasite sont réduites. Pour un objet fortement texturé, il est préférable de photographier l'objet sur un fond uniforme afin que le fond ne se retrouve pas dans le résultat final. Cependant, les éléments présents dans l'environnement de la prise de vue peuvent aussi servir de points de comparaison d'une image sur l'autre pour faciliter la corrélation, dans le cas où l'objet ne présente pas assez de points d'accroches.

2.d Texture de l'objet

La photogrammétrie n'est pas adaptée aux objets dont la texture est uniforme. En effet, la première étape du processus est la détection des points homologues et permettant la reconnaissance des paires d'images, l'objet d'intérêt doit impérativement posséder une texture, grâce à des motifs ou des irrégularités de surface.



Attention également au revêtement de l'objet (vernis, brillance, reflets) peuvent induire des erreurs dues à la réflexion et devra conditionner l'éclairage pour atténuer ce phénomène.



L'objet ne doit pas avoir une texture trop uniforme , avec un revêtement brillant ni être transparent !

2.e Éclairage

Les conditions lumineuses idéales pour une acquisition photogramétrique sont un éclairage (naturel ou artificiel) permettant d'avoir une luminosité suffisante, constante et diffuse.

En extérieur, cela correspond à une couverture nuageuse et sans éclaircies. Une prise de vue sous grand soleil peut créer des contrastes trop importants (ombres portées), et la gestion d'une prise de vue en contre-jour peut être délicate. Dans ce cas, un réflecteur ou une surface réfléchissante permettra de compenser les zones moins éclairées en réduisant la différence de lumière qui existe entre les différentes faces de l'objet. Si l'objet est assez petit, l'entourer d'une tente à lumière permet de diffuser la lumière extérieure tout autour de l'objet.

En intérieur, le mieux est de se placer dans des conditions optimales en maîtrisant l'éclairage, en ajoutant des sources ponctuelles et utilisant le matériel et les techniques d'un

studio photo. Il est possible d'utiliser la lumière naturelle d'une fenêtre tant que celle-ci n'est pas présente dans le cadre, car cela pourrait produire des zones sur-exposées. L'éclairage artificiel courant, tel des tubes fluorescents au plafond ou des lampes de bureau, permettent d'obtenir de bons résultats lorsque la lumière est diffuse et homogène sur l'objet. Si une source produit une lumière avec des ombres trop marquées, on peut obtenir une lumière douce en y plaçant devant des rideaux fins ou du papier calque.



**L'utilisation du flash pop-up intégré à l'appareil photo doit être
prohibée !**

La lumière doit être suffisante, constante et uniforme.

3 Section photographie : matériels et réglages

De nos jours, la plupart du matériel photographique grand-public est adapté à la photogrammétrie. Pour autant, la prise de vue photogramétrique réponds à de nombreuses contraintes et s'adresse aux personnes connaissant les principes de la photographie ou désirant s'y initier. Gardez en mémoire qu'il s'agit d'une prise de vue technique et non artistique. Le jeu de photographies définit le résultat du calcul photogrammétrie et la qualité de celui-ci. Un bon résultat peut seulement être garanti par une acquisition optimale et maîtrisée. Dans la plupart des cas, l'amélioration d'un résultat passe par l'amélioration des de l'acquisition ou des conditions de prises de vues.



Les images doivent réalisées avec des paramètres constant, permettant de garantir leur netteté, une exposition correcte et à une définition suffisante.

3.a Matériel photographique

Choix de l'appareil

Boitier :

Théoriquement, tout type d'appareil photo numérique permet de réaliser une acquisition photogramétrique. Pour autant, le besoin de maîtriser les différents réglages et d'obtenir une qualité d'image adaptée orientent le choix de l'appareil vers les catégories ; reflex ou hybride ou encore compact expert. La plupart des appareils de gamme type grand-public seront généralement tout à fait adaptés à nos attentes. L'appareil standard pour la pratique photogramétrique serait donc un appareil reflex au format APS.

Capteur :

La qualité d'image est très importante en photogrammétrie, à l'instar de la photographie, de nos jours celle-ci n'est pas définie par le nombre de mégapixel mais par les dimensions de la surface photosensible, le capteur. Il existe différentes technologies (CCD, CMOS, Foveon, X-Trans...) qui offrent chacune leurs lots d'avantages ou d'inconvénients. Les capteurs « plein-format » (reprenant les dimensions 24x36 de la pellicule 35mm), offre bien évidemment des performances intéressantes mais non sans conséquences sur les temps de traitement accompagné d'une surcharge de données. A l'inverse, les capteurs des smartphones, tablettes et compacts grand public peuvent s'avérer fonctionnel mais reste

déconseillée. Divers problèmes peuvent survenir en partie lié à la petite taille de leurs capteurs. De plus, l'optique est généralement encastrée et de moins bonne qualité, la mise au point est moins précise et le mode manuel et les réglages d'enregistrement des fichiers RAW* et jpeg ne sont pas toujours accessibles.

Objectif

Si votre capteur est plus petit qu'un «plein-format »*, la focale effective (dite nominale) de votre objectif sera différente que celle indiquée par convention pour des capteurs « Full-Frame ». Vous trouverez en annexe un tableau de conversion vers la focale effective correspond à la taille de votre capteur ou renseignez vous sur la notion de « Crop-Factor ».



La focale doit rester la même tout au long de l'acquisition !

Préférez des focales fixes plutôt que des zooms. Ainsi, la focale utilisée ne changera pas d'une vue sur l'autre, ce qui permettra d'obtenir un meilleur résultat lors de l'étape de calibration de l'objectif par la plateforme. De plus, une focale fixe fournit une image généralement meilleure grâce à une meilleure qualité optique de l'objectif. Si un zoom est utilisé, utilisez la butée de l'objectif pour garder la même distance focale tout au long de la numérisation.

Le choix de la focale à utiliser dépend de la distance à l'objet et de la taille de ce dernier. A titre indicatif, un objectif « 50 mm » utilisé sur un capteur « Full Frame » correspond à ce qu'on appelle la focale normale, soit plus ou moins l'angle de champ de la vision humaine. Pour éviter des déformations optiques importantes, il est déconseillé d'utiliser un objectif fish-eye. Inversement, une longue focale rend le calcul difficile également car l'angle de champ est très réduit, et les déformations trop peu importantes. L'utilisation d'une focale entre 24mm et 60mm permet les meilleurs résultats, en format APS cela correspond à une plage entre 16mm et 40mm..

Il existe plusieurs couples focale-distance à l'objet. Voici quelques exemples de focales utilisées selon l'objet à numériser. Ces ordres de grandeur devraient vous permettre de prévoir approximativement la focale à choisir. Elles sont données à titre indicatif pour un capteur « Full Frame », et varieront selon la taille de l'objet et la distance à celui-ci disponible dans son environnement :

Pour une acquisition linéaire simple de petites surfaces :

Une fresque de 60cm de haut, à 1m de distance : Focale de 40mm

Un bas-relief de 1m de haut, à 1m de distance : Focale de 24mm

Pour une acquisition linéaire simple de grandes surfaces:

Façade d'un monument de 3m de haut, à 5m de distance : Focale de 50mm

Façade d'un monument de 6m de haut, à 5m de distance : Focale de 24mm

Pour un petit objet :

Artefact de 20cm de haut, à 50cm de distance : Focale de 70mm

Artefact de 40cm de haut, à 50cm de distance : Focale de 35mm

Si disponible, l'utilisation d'un pare-soleil sur l'objectif doit être systématique, par toutes conditions d'éclairage. Il fournit un bonus de contraste non-négligeable ce qui permet de mieux identifier les micro-détails. Lors d'un temps dégagé ensoleillé, le pare-soleil bloque les rayons incidents venant directement du soleil. Lors d'un temps nuageux, la source lumineuse est diffuse et correspond à la totalité du ciel. Les rayons incidents sont plus nombreux à arriver sur la lentille frontale et requiert d'autant plus une utilisation du pare-soleil.

Trépied

Il est recommandé d'utiliser un trépied, ou un monopode, afin de positionner précisément l'appareil photo par rapport à l'objet pour obtenir le recouvrement désiré, comme détaillé ultérieurement.

De plus, un trépied permet d'utiliser des vitesses lentes sans avoir de flou de bougé, ainsi que de réaliser facilement des plongées et contre-plongées. Ces changements d'orientation de l'appareil photo doivent obligatoirement s'accompagner d'un mouvement du boîtier.



Entretien

Utilisez un capteur et un objectif propre. Les tâches et poussières sur les images peuvent entraîner une altération de la qualité du résultat voire faire échouer le processus de traitement.

Pour détecter la présence de poussière, mettez votre mise au point à l'infini et photographiez une surface blanche à 10 cm. Si des poussières apparaissent comme ci-contre, référez-vous au mode d'emploi de votre boîtier pour le nettoyer.



3.b Réglages de l'appareil photo

Mode « Manuel »

Il est préférable de pouvoir accéder à un mode Manuel (M) pour nos réglages. Il faut éviter le mode Automatique pour lequel tout les paramètres varient à chaque prise de vues. Pour les appareils bénéficiant d'un mode priorité Ouverture (A), ce mode peut tout à fait être adapté à l'exercice photogrammétrique.

Si votre appareil est obligatoirement en mode Automatique, il faudra veiller à garder un éclairage homogène sur l'objet et qui ne varie pas dans le temps, afin que la mesure de lumière reste constante.



Le mode priorité Ouverture (A) va calculer l'exposition automatiquement. Il n'est pas adapté à un objet dont la texture est hétérogène. Si l'objet a par exemple une face dans un matériau plus sombre, la mesure de lumière viendra compenser cette particularité. Dans ce cas, passez en mode Manuel (M).

Balance des blancs



Sélectionnez celle qui se rapproche de l'éclairage utilisé ou personnalisez-en une, et effectuez éventuellement une correction en post-traitement. Ne laissez pas la balance des blancs en automatique car celle-ci varierait d'une image sur l'autre.



La balance des blancs doit être fixée pour toutes les images de la série.

Sensibilité

Préférez toujours le plus faible ISO accessible en fonction de la luminosité de la scène, ceci afin de limiter le bruit dû à une extrapolation de la réception du signal lumineux. Un bruit trop important augmentera le ratio signal/bruit et nuira à l'étape de corrélation. Les bonnes conditions permettent une prise de vue entre 100 et 400 ISO, jusqu'à 800 ISO le résultat peut être correct, ne jamais aller au-delà de ce seuil (sauf si votre appareil est spécialement à ce type de prise de vue en très faible luminosité)

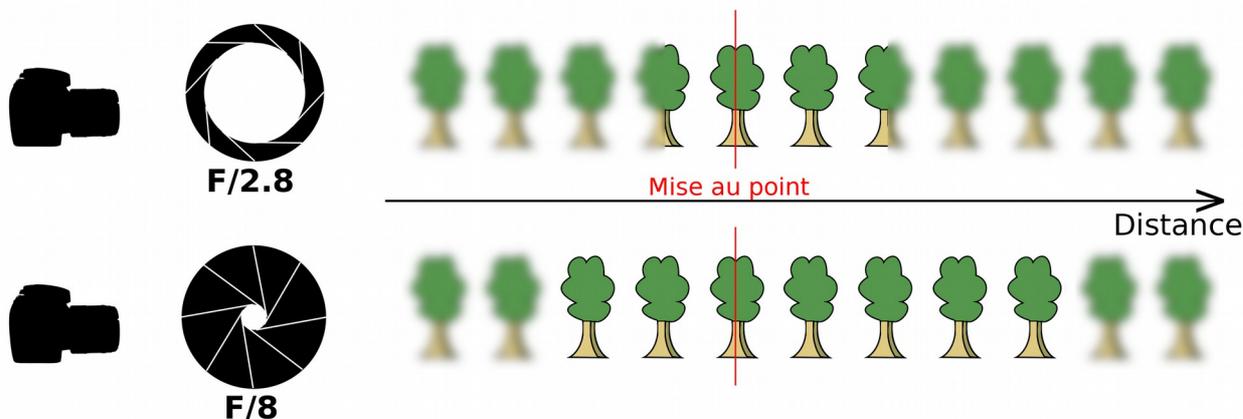


En règle générale, évitez de monter en ISO, préférez un trépied.

Ouverture

L'ouverture va déterminer non seulement la quantité de lumière qui va rentrer dans l'objectif mais aussi déterminer un phénomène très important en photogrammétrie, la profondeur de champs et qui correspond la zone de netteté de l'image. Par conséquent le réglage de l'ouverture doit non seulement permettre une bonne exposition mais aussi faire en sorte que la totalité de l'objet d'intérêt soit situé dans la zone nette de l'image. Il est fortement conseillé de d'utiliser un petit logiciel de calcul (DoF calculator, ...) afin de garantir que ce réglage est correctement effectué.

Au delà d'exploiter le meilleur de la qualité optique d'un objectif, choisir une ouverture à F/8 permet d'obtenir une profondeur de champ suffisamment importante tout en limitant l'effet de la diffraction qui pourrait survenir en fermant davantage. Cependant, pour le cas de prises de vues rapprochées sur petits objets, vérifiez que votre ouverture permet d'avoir une profondeur de champ suffisante, et fermez davantage si nécessaire. Dans la mesure du possible on évite donc d'utiliser les ouvertures extrême tel que F/2,8 ou F22.



Le choix de l'ouverture peut aussi être déterminée en fonction des éléments en avant ou arrière plan. Dans le cas où l'objet d'intérêt manque de texture, augmenter la zone de netteté permet d'obtenir plus de points d'accroches autour de l'objet et ainsi faciliter la reconnaissance de la scène. À l'inverse, elle permet d'isoler l'objet de son contexte et éviter la reconstruction de l'environnement si celui n'a pas d'intérêt ou s'il comporte des éléments parasites tel que des objets en mouvement.



Choisissez une ouverture suffisamment petite pour que l'intégralité de l'objet soit nette.

Vitesse



En mode Manuel (M), choisissez une vitesse qui expose correctement l'image, en utilisant une cellule externe ou celle intégrée dans votre appareil. En mode Priorité Ouverture (A), la cellule de l'appareil photo calculera automatiquement le temps de pose adapté au couple iso/vitesse.

Compte tenu du fait que la sensibilité ISO doit être la plus faible possible et que l'ouverture du diaphragme doit rester modérée, la vitesse correspondante sera certainement lente. Il est conseillé d'utiliser un retardateur de 2 secondes ou un système de déclenchement à distance (télécommande IR, déclencheur souple, logiciel...) en plus du trépied pour éviter le flou de bougé au moment du déclenchement.

Si vous ne disposez pas de trépied et que vous manquez de lumière, une sous-exposition de 1 EV* reste acceptable. Vous pouvez ensuite ajuster votre sensibilité en veillant à ce que cela ne génère pas un bruit trop important (cf. Annexes 6.b).

À main levée, votre vitesse ne devrait pas être plus lente que 1/F seconde, avec F la focale utilisée. Si vous utilisez un 50mm, évitez donc les vitesses plus lentes que 1/50s.



La vitesse doit être réglée pour permettre une exposition correcte.

Enregistrement des fichiers sur l'appareil

Si votre boîtier vous propose l'enregistrement en RAW et que vous êtes familier avec ce format, réalisez vos prises de vues en RAW, développez-les ensuite dans le logiciel propriétaire et exportez dans un format sans compression.

Si vous devez utiliser le format JPG, réalisez vos images à sa qualité maximum et évitez de multiplier les réenregistrements du fichier. En ouvrant un fichier JPG pour le redimensionner ou le retoucher, puis en le réenregistrant en JPG, vous appliquez à nouveau une compression avec perte. À terme, la multiplication de ces compressions produit une dégradation importante de l'image.

Réalisez vos images avec des paramètres colorimétriques et d'exposition correctes dès la prise de vue afin d'éviter à devoir rouvrir et réenregistrer votre image pour une phase de retouche. Cela permet de gagner du temps et de maintenir une chaîne de traitement identique avec le maximum d'informations.

Il est primordial de désactiver la rotation automatique des images. Par conséquent, aucune rotation manuelle ne doit par conséquent être appliquée même si votre jeu de photographies comportent des cadrages horizontaux, verticaux et/ou obliques.



**Enregistrez vos images en RAW ou en JPEG « fine » (qualité maximale).
Désactivez la rotation automatique des images.**

Traitement des fichiers

Préférez toujours faire le développement de vos fichiers RAW dans le logiciel propriétaire de votre boîtier. Les algorithmes y sont plus performants. Si vous devez retoucher vos images, il faut garder des paramètres de développement identiques sur toutes les images de la série. Par exemple, il faut éviter de faire des modifications différentes de contraste ou de luminosité d'une image sur l'autre.

Prenez garde à ne modifier que l'exposition et non les paramètres de netteté/gain/vignettage, ou la correction des déformations de l'objectif.



Toutes les images doivent être développées avec les mêmes paramètres.

Lors de l'enregistrement du fichier traité via votre logiciel, vous pouvez exporter vos images en Tiff sans compression, afin de ne pas perdre d'information. Toutefois, si votre prise de vue compte un nombre important d'images, le format Tiff va produire des images très lourdes et peuvent être longues à téléverser sur la plateforme. Dans ce cas, exportez-les au format JPEG à qualité maximale.



Vérifiez les images avant de les mettre sur la plateforme et systématiquement supprimer celles qui sont floues !

Veillez également à ne pas supprimer les métadonnées* associées à vos images (focale utilisée, nom du boîtier...). Les métadonnées sont essentielles pour le traitement, et peuvent parfois être perdues selon les manipulations au moment de l'enregistrement ou lorsque l'on recadre une image.



Ne jamais recadrer une image !

4 Méthode de prise de vue linéaire

Ce protocole est adapté pour numériser un mur, une fresque, un sol ou une surface. L'acquisition se fera en déplaçant l'appareil photo parallèlement à la surface photographiée.

4.a Recouvrement

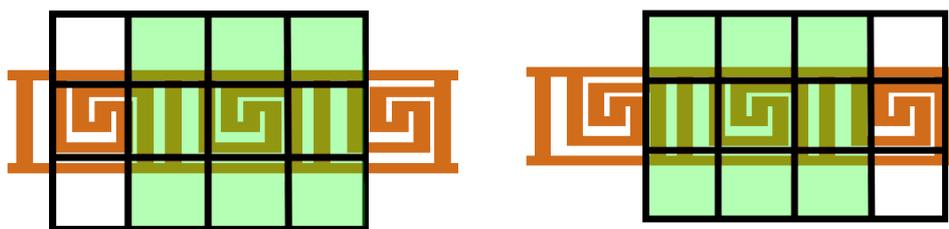
Afin d'avoir une qualité et une précision suffisantes, nous chercherons à obtenir un taux de recouvrement minimum d'une image sur l'autre de 75 %.



Exemple de recouvrement de 75 % (en vert) sur deux images consécutives

Par exemple, pour une première image représentant une longueur de 5m, on se décale parallèlement à la surface numérisée de 25 % de cette longueur, soit 1,25m, pour réaliser l'image suivante.

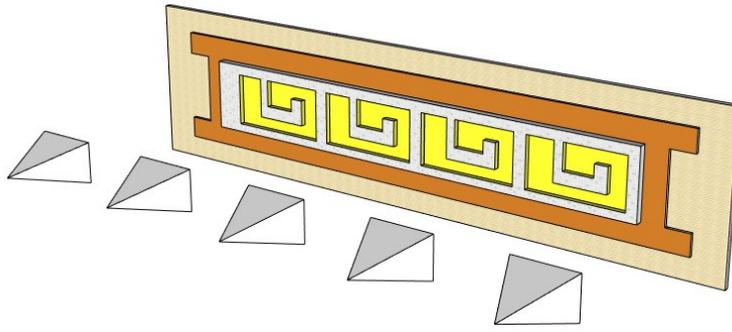
Selon l'appareil utilisé, on peut utiliser le quadrillage du viseur ou de l'écran LCD pour composer en respectant le recouvrement. Ne pas oublier de toujours se déplacer parallèlement à la surface au lieu de simplement pivoter l'appareil.



Utilisation du quadrillage de la visée pour prévoir le recouvrement (en vert dans le quadrillage). Il suffit de repérer les 3/4 du cadre pour se déplacer latéralement et faire correspondre la zone.

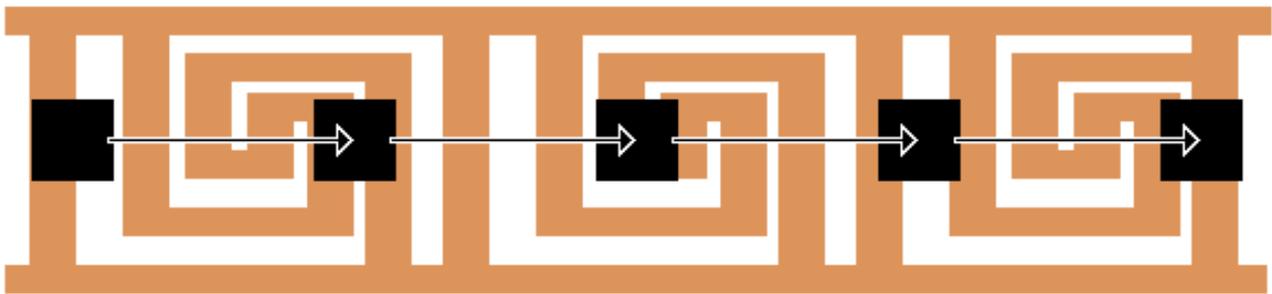
4.b Parcours linéaire direct

On réalise les images en ligne pour être sûr de bien recouvrir l'image précédente. Ici, chaque pyramide représente l'emplacement de l'appareil photo au moment de l'acquisition.



Exemple de disposition des appareils pour une numérisation linéaire unique

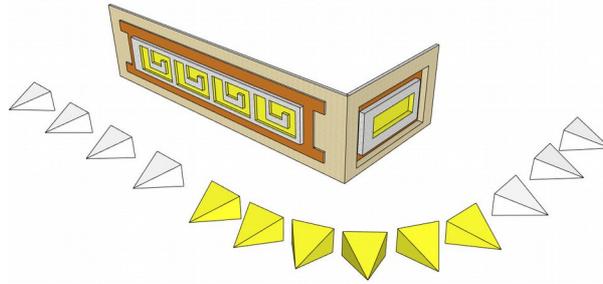
Après chaque image on se décale de 25 % de la longueur photographiée, jusqu'au bout de la ligne.



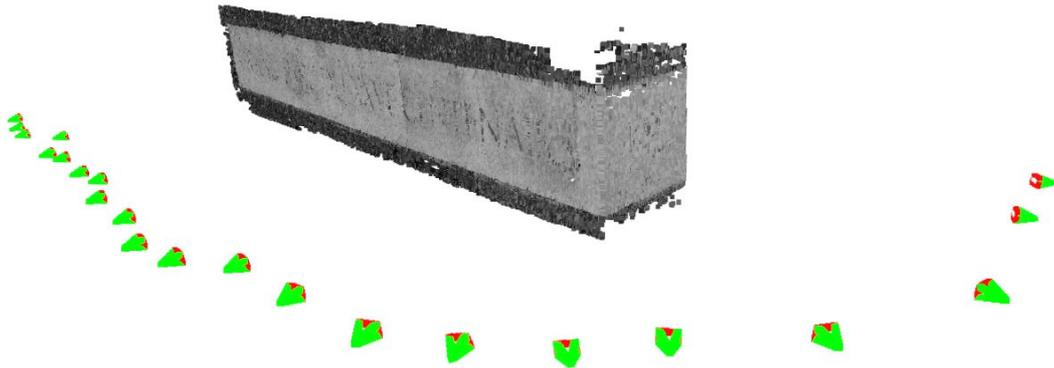
Exemple de parcours de numérisation sur une ligne unique

Il faudra être particulièrement vigilant à ce que les bords de l'objet soient présents sur plusieurs images pour ne pas recouvrir que les éléments centraux. Pour cela, on réalisera des images au-delà de l'objet désiré pour avoir un recouvrement dans les angles et sur les bords de l'objet. Il faut garder en mémoire qu'un même point de l'objet doit être visible au strict minimum sur 2 images afin de pouvoir être reconstitué.

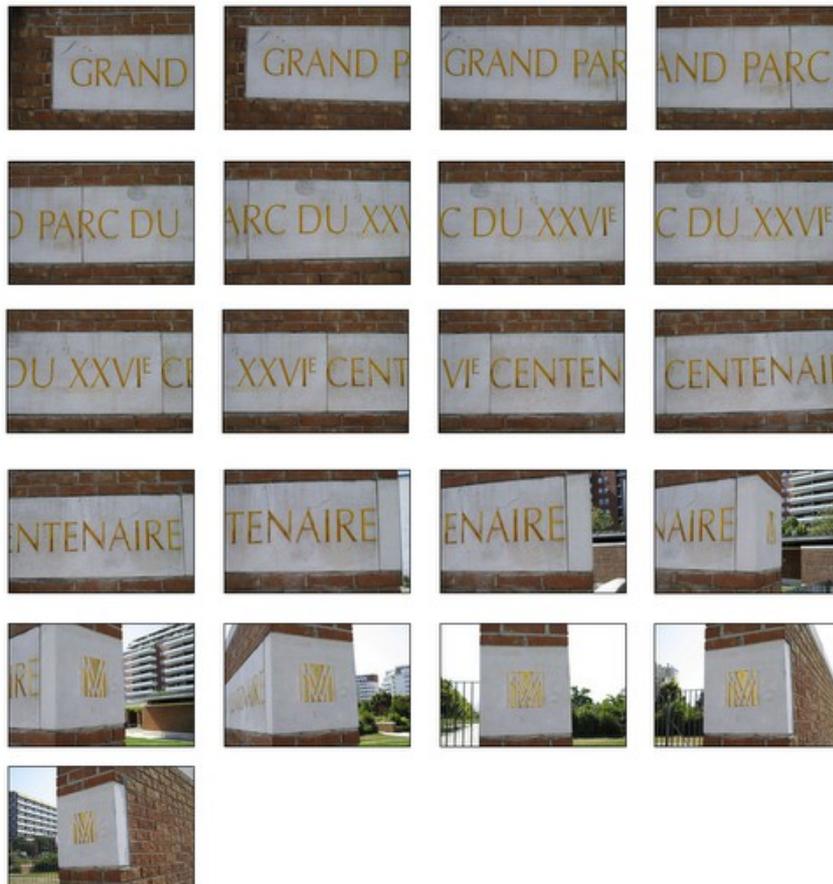
Si la surface à numériser présente un angle, comme un angle de mur, il faudra amorcer un mouvement autour de l'angle pour relier les deux surfaces, comme présentée dans le schéma ci-dessous. Ce mouvement devra toujours respecter un recouvrement minimum de 75 %, et compter en règle général au minimum 6 photographies sur un angle.



Exemple de disposition des appareils pour une numérisation linéaire unique



Positionnements de l'appareil pour la numérisation de l'angle



Série d'images correspondantes pour numériser une surface avec un angle



Exemple de série d'images pour numériser une surface en plusieurs lignes

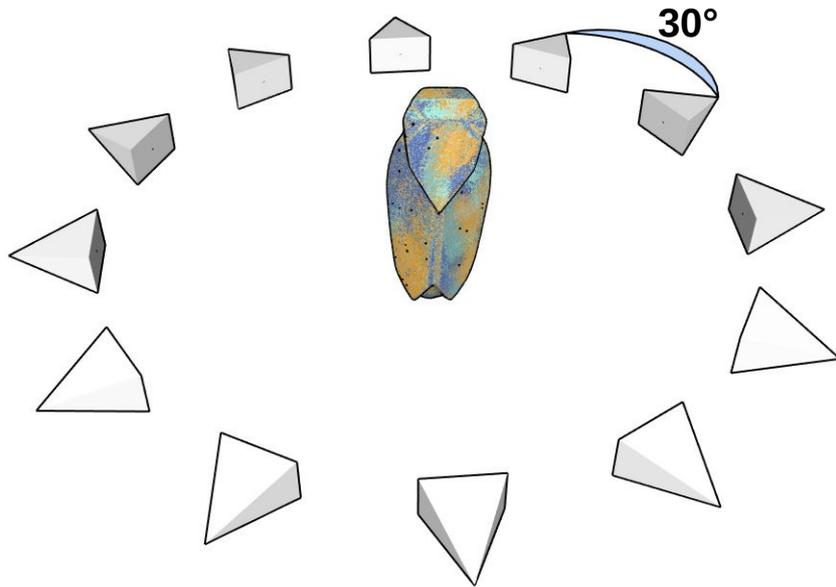
5 Méthode de prise de vue pour un petit objet

Nous adapterons la méthode pour numériser un petit objet selon sa complexité et ses dimensions. Un objet simple, sans zones d'occlusions*, ni détail trop fin, sera plus rapide à numériser qu'un objet complexe présentant des angles et des creux plus nombreux.

5.a Recouvrement des images à 360°

Afin d'obtenir un grand nombre de points homologues entre les images, chaque image possédera un recouvrement minimum de 75 % avec la précédente. Puisque l'on tourne autour de l'objet, on parle d'une « acquisition convergente ».

Pour une numérisation à 360° autour de l'objet, il faudra au minimum effectuer 12 pas de 30° chacun. Pour un objet très simple et fortement texturé, le modèle ci-dessous en « cadran horaire » permet d'obtenir le recouvrement désiré, même s'il est fortement recommandé de doubler le nombre de prises de vues.

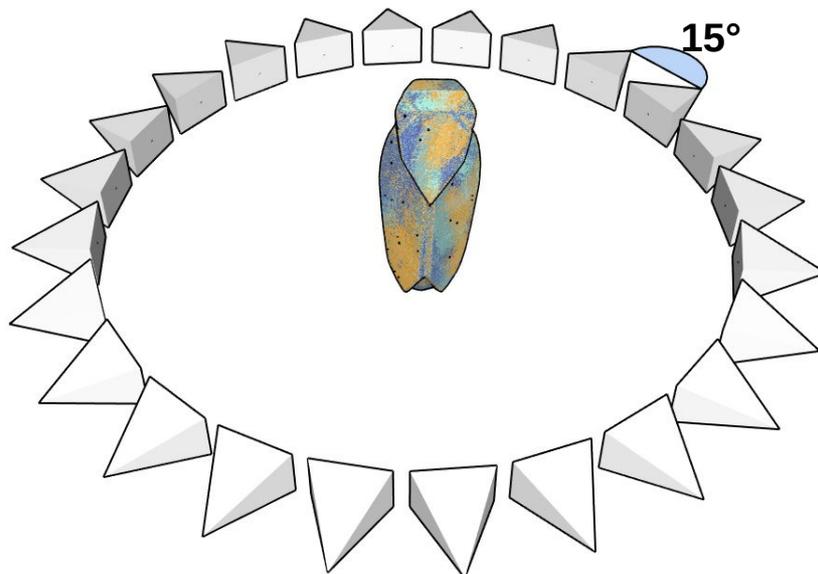


12 positions autour de l'objet permettent d'obtenir le recouvrement minimum

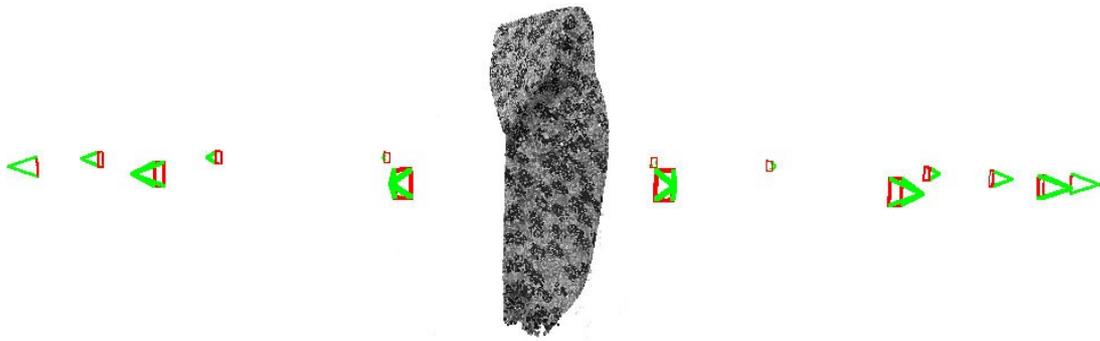


Si l'objet numérisé est simple géométriquement mais peu texturé, ou si l'on pressent que certaines zones ne seront pas couvertes, il faut doubler ou tripler le nombre de vues proposées, et passer à un angle de convergence de 20° voire 10°, soit 18 pas ou 36 pas.

Dans le cas où l'objet serait plus complexe, se référer à la méthode 5.b.



24 positions autour de l'objet permettent d'obtenir un recouvrement beaucoup plus sûr



Positionnements de l'appareil photo autour de l'objet



Série d'images correspondante pour numériser un objet simple à 360°

L'objet présenté ci-dessus est relativement simple géométriquement, et une numérisation avec 24 positions permettra de numériser la quasi-totalité de l'objet. Il faudra cependant réaliser des photographies supplémentaires (5.b) pour son sommet et sa base, en respectant toujours le recouvrement indiqué.

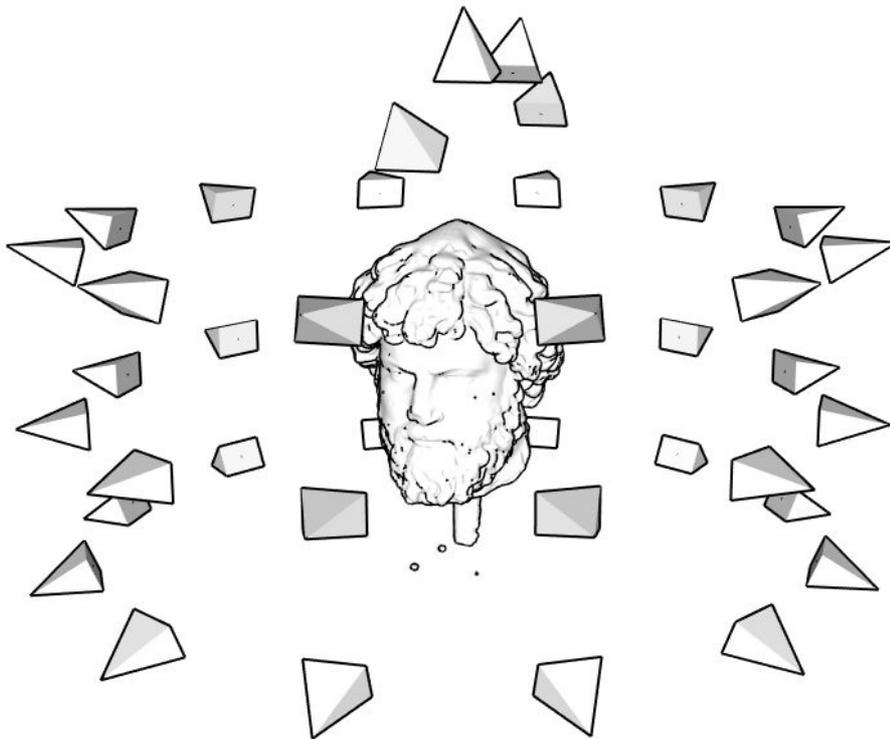
5.b Photographies supplémentaires et objets complexes

La complexité géométrique de l'objet va permettre de déterminer s'il faut augmenter le nombre de photographies à réaliser. Pour qu'un détail soit numérisé, il doit être présent impérativement sur minimum deux images prises de points de vue différents. Le modèle d'acquisition précédent, pour une numérisation à 12 pas, est suffisant pour des objets géométriquement simples, mais pas pour des formes plus complexes.

Pour pouvoir les numériser, il faudra continuer la séquence de prise de vue, soit en effectuant une autre acquisition circulaire en faisant varier au besoin la hauteur de l'appareil photo et l'inclinaison en plongée ou contre-plongée, soit en prenant au minimum trois photos additionnelles en étoile là où se trouve un détail important dont la reconstruction peut s'avérer délicate pour le logiciel.

Généralement, il faut apporter un soin particulier lorsque la surface de l'objet présente beaucoup de variations en relief (angles, bosses, creux), afin de minimiser les zones d'occlusions. Dans ces cas, ne pas hésiter à prendre des images centrées sur ce détail en décalant l'appareil très légèrement à chaque fois en restant centré sur le détail.

Chaque position autour de l'objet dans le schéma précédent peut être multiplié dans la hauteur pour capturer les détails en profondeur cachés par d'autres éléments. Pour chaque pas de 30° , si nécessaire compléter par 5 images de haut en bas, en positionnant l'appareil photo au niveau de la base de l'objet, à sa mi-hauteur, puis au niveau du sommet.



Multiplication des positions autour de l'objet pour un recouvrement suffisant

Dans cet exemple, l'objet a été numérisé par 3 tours complets à des hauteurs différentes, qui pourront également être complétés par des vues zénithales pour numériser le sommet.

Il faut veiller à conserver à un éclairage le plus uniforme possible sur la totalité de l'objet, ce qui peut devenir compliqué selon sa taille, ou sa localisation.

Le sommet ou la base d'un objet nécessite de multiplier les photographies pour ces zones, comme proposé ci-dessus. Les clichés qui couvrent ces zones doivent de la même manière se recouvrir les uns les autres, et avoir des éléments en commun aux côtés déjà photographiés afin de pouvoir faire la corrélation.

La complexité de ces zones peut amener à multiplier les clichés au-delà du recouvrement proposé ici.



Exemple extrait d'une série d'images pour numériser un objet complexe

Il vaut mieux faire plus de photographies que pas assez. En cas de doute sur la netteté d'une image, doubler la prise de vue.



A titre indicatif, pour un petit objet, la taille moyenne d'une série d'images est entre 50 et 100 photographies.

6 Synthèse et limites d'utilisations

Memento / Objet et contexte :

- L'objet ne doit pas avoir une texture trop uniforme , avec un revêtement brillant ni être transparent !
- La lumière doit être suffisante, constante et uniforme.
- L'orientation de l'appareil doit être adaptée à la morphologie de l'objet.
- Cadrer l'objet afin qu'il remplisse au maximum l'image.
- La difficulté pour numériser un objet ou espace avec la photogrammétrie augmente en fonction de sa complexité et de son échelle.

Memento / Photographie :

- Préférer un appareil de type reflex ou permettant de régler manuellement l'ensemble des paramètres photographiques.
- Utilisez de préférence un objectif à focale fixe.
- La focale doit rester la même tout au long de l'acquisition.
- L'utilisation des modes/programmes automatiques ou intelligents est vivement déconseillé.
- L'utilisation du flash pop-up intégré à l'appareil photo doit être prohibée !
- Les images doivent réalisées avec des paramètres constants, permettant de garantir leur netteté, une exposition correcte et à une définition suffisante.
- Utiliser votre appareil en mode Manuel (M).
- Il est possible d'utiliser le mode priorité Ouverture (A) qui va calculer l'exposition automatiquement mais il n'est pas adapté à un objet dont la texture est hétérogène.
- La balance des blancs doit être fixée pour toutes les images de la série.
- La sensibilité ISO doit être la plus faible possible.
- L'usage d'un trépied ou d'un monopode est recommandé.
- Définir l'ouverture et donc la profondeur de champs afin que l'intégralité de l'objet soit net.
- La vitesse doit être réglée pour permettre une exposition correcte.
- Enregistrez vos images en RAW ou en JPEG « fine » (qualité maximale).
- Toutes les images doivent être développées avec les mêmes paramètres.
- Désactivez la rotation automatique des images.
- Ne jamais recadrer une image !
- Vérifiez les images avant de les mettre sur la plateforme et systématiquement supprimer celles qui sont floues !

Memento / Photogrammétrie :

- Le recouvrement doit être au minimum de 75 %
- Un point doit être visible au minimum sur 2 photos pour être reconstruit, 3 pour garantir une bonne restitution
- Il vaut mieux faire plus de photographies que pas assez.

Limites d'utilisations

Dans l'état actuel de la plateforme, le processus de traitement automatisé implique certaines limites d'utilisations de la plateforme tel que :

- Un nombre maximum d'images, même s'il n'y a pas formellement de contre indications techniques, aucun résultat ne peut être garanti sur une acquisition comprenant plusieurs centaines de photos. Ce type de traitement nécessite habituellement une structuration particulière du processus de traitement et l'ajout progressif de bloc d'images qui n'est pas encore rendu possible.
- L'utilisation d'objectifs ultra grand-angle a forte distorsion (de type fish-eye) n'est pas supporté.
- L'utilisation de plusieurs longueurs focales ou de différents appareils photos au cours d'une même acquisition n'est pas possible.
- Les images avec des sans métadonnées (exif) ou incomplètes. Les propriétés de chaque image doivent comportées le modèle de la caméra ainsi que les informations relatives à la distance focales nominales et/ou équivalentes au plein-format.
- Les téléversements comprenant plusieurs types d'extension de fichiers. Par exemple, si les images sont au format JPEG, toutes les images mises dans la plateforme doivent être de type « .jpg » ou « .JPG » (insensible à la casse, du moment que les majuscules ou minuscules sont homogènes).

7 Glossaire

Calibration : L'étape de calibration détermine et corrige les paramètres intrinsèques de l'appareil photographique (la focale, le point principal, ainsi que les coefficients de distorsion radiales et tangentielles propre a chaque formule optique) par un calcul sur les images.

Corrélation dense : mise en correspondance de chaque pixel d'une photographie avec ceux des autres photographies choisies.

Diffraction : interférences dans la propagation d'une onde lorsqu'elle rencontre un obstacle.

Full Frame : désigne la taille des capteurs « plein format », équivalent de la surface sensible offerte par les films argentiques 24x36.

IL/EV : acronymes courants en photographie qui désignent l'Indice de Lumination (français), ou Exposure Value (anglais), et permettent de moduler son exposition. Pour cela, on retrouve généralement un indicateur EV dans le viseur de l'appareil photo.

Métadonnées : informations contenues dans un fichier permettant de le décrire. En photographie numérique, on y trouve des données sur les conditions de prises de vues.

Photosite : module électronique sensible à la lumière sur un capteur photographique.

Points homologues : points appartenant à des images différentes mais représentant le même point objet.

Maillage : construction de la surface d'un objet en reliant les points qui le composent et qui donne lieu à un modèle 3D.

Modèle 3D : représentation tridimensionnelle d'un objet sous forme informatique.

Nuage de points : ensemble de points images dont les coordonnées géométriques ont été calculées à partir d'un objet réel par une numérisation 3D. Il s'agit d'un fichier qui contient pour chaque point les coordonnées spatiales (X, Y, Z) et les composantes colorimétriques (Rouge, Vert, Bleu).

Orientation globale : L'étape d'orientation détermine les paramètres extrinsèques tel que la position de l'appareil photo et la direction de la prise de vue.

RAW : désigne une catégorie de fichiers bruts qui devra être traité par un logiciel pour fournir une image visible. Chaque constructeur choisi le format utilisé pour ces fichiers.

Recouvrement : pourcentage de superposition de deux photographies.

Texture : Surface d'un objet composée de données colorimétriques hétérogènes.

Zones d'occlusions : parties non visibles sur les photographies d'un objet, et qui ne sont donc pas pris en compte dans la numérisation 3D.

8 Annexe

Le processus de traitement implémenté dans la plateforme a été conçu pour être à la fois modulaire et robuste, tout en conservant une automatisation complète des différentes étapes de calcul. Un certain nombre d'options et de paramétrages ont été donnés à l'utilisateur afin de s'adapter à différents contextes d'utilisation.

Les calculs concernant la photogrammétrie utilisent le logiciel open-source MicMac. Il s'agit d'une solution logicielle notamment reconnue pour sa flexibilité et la précision métrique des résultats. Afin de garantir une reconstruction aussi fidèle que possible MicMac reste néanmoins exigeant sur la qualité des images ainsi que le respect des protocoles d'acquisitions. Par extension, le traitement des données proposé par la plateforme est soumis aux mêmes conditions. Ainsi, la plupart des échecs lors d'un calcul peut s'expliquer par une mauvaise prise de vue initiale.

Cette annexe a pour but de détailler et d'expliquer les différents types de traitement rendu possible par la plateforme. Ils agissent comme autant de possibilités de préreglages pour garantir le bon déroulement du calcul de reconstruction photogramétrique.

La détection automatique du type de format :

Le script de traitement gère l'intégralité des types de format images de type raster (jpg | jpeg | png | tiff | png | gif) ainsi que l'ensemble des formats RAW propriétaires (3fr | arw | crw | cr2 | kdc | mrw | nef | nrw | orf | ptx | pef | raf | rw2 | srw | x3f) ou générique (dng), sans

condition sur la casse de l'extension. La seule condition est que l'extension des fichiers soit identique pour chaque chantier.

Lecture automatique des métadonnées :

Le script va vérifier la compatibilité des photos avec le processus de traitement, en lisant les métadonnées (exif) pour chaque image téléversée et en extraire les informations essentielles ou utiles au processus. Les métadonnées essentielles pour *MicMac* sont le modèle de la l'appareil (par exemple « Nikon D3100 ») ainsi que la longueur focale nominale (relative à la taille du capteur) ou équivalente au standard du plein format. Les métadonnées utiles au traitement sont la taille de l'image (voir ci-après), la sensibilité ISO (qui ne doit pas dépasser 800) ainsi que la distance au sujet si l'objectif le permet (utile pour calculer le *Ground Sample Distance*).

Adaptation automatique à la complexité du chantier :

Le script va détecter et s'adapter à la complexité du chantier déduite par le nombre de photos chargées sur la plateforme. Il s'agit d'un point important ayant un fort impact sur la robustesse du traitement dans la mesure où les chantiers complexes sont plus susceptibles à l'échec en phase d'orientation, quand les images sont traitées d'un seul blocs. En vue des protocoles d'acquisitions développés dans ce guide, ce seuil a été fixé à 24 images. Pour un chantier simple, l'étape de calibration et d'orientation sera effectué d'une seule traite sur l'ensemble des 24 images. Pour un chantier complexe, un échantillon composé des 10 premières images servira pour effectuer une calibration initiale, qui sera propagée dans un second temps au reste des images. Cette implémentation comporte plusieurs avantages. Un gain en temps de calcul, car l'orientation finale permet d'être trouvé plus rapidement par extension de la calibration initiale. Un gain en robustesse dans la mesure où il peut être trop délicat de trouver la solution permettant directement la calibration et l'orientation au sein d'un système de contraintes trop complexe. Un gain potentiel en précision, si les dix premières images correspondent à une prise de vue spécialement adaptée à la calibration (prise de vue en étoile en faisant tourner l'appareil photo). Une possibilité de déblocage d'un chantier récalcitrant justement en utilisant cette possibilité de créer une calibration initiale optimisée.

Adaptation automatique aux dimensions des images :

Le script effectue une lecture des dimensions de l'image afin d'optimiser la détection des points homologues. Cela permet de fixer un seuil sur le nombre de points homologues qui seront utilisés pour l'ajustement de faisceaux. L'augmentation du nombre de tie-points permet généralement d'améliorer la reconnaissance des paramètres intrinsèques (calibration) permettant de fait une meilleure reconstruction en faisant baisser le résidu. Pour autant, l'augmentation des points homologues accroît proportionnellement le temps de calcul. De plus, on augmente potentiellement le nombre de mauvais points pouvant induire le calcul en erreur voire le faire converger vers une mauvaise solution. Pour autant que les images soient de dimensions correctes (sorties brutes de l'appareil) et que l'objet soient suffisamment texturé (et par conséquent apte pour la photogrammétrie), le script calcule

automatiquement le ratio optimal permettant d'obtenir un bon résidu avec un temps de calcul raisonnable. Pour information, ce facteur de redimensionnement optimal des images pour la recherches des points homologues a été fixé à 50 % de la taille initiale des images.

Le choix des 3 types de traitements :

Les trois types de traitements proposés correspondent aux trois cas typiques de protocoles d'acquisitions décrit dans ce guide. Ils influent sur la stratégie pour l'extraction des points homologues (à l'aide de l'algorithme SIFT) et la reconnaissance des paires d'images. Le script propose ainsi différents pré-réglages spécialement optimisés pour chaque protocoles d'acquisition :

- Le mode linéaire, effectue une recherche optimisée pour les prises de vues linéaires en contraignant la détection seulement sur 6 images adjacentes (ce qui correspond au recouvrement de 75 % imposé par le protocole d'acquisition correspondant).
- Le mode circulaire, effectue une recherche optimisée pour les prises de vues circulaires (convergentes autour de l'objet d'intérêt) en contraignant la détection seulement sur 6 images adjacentes (ce qui correspond au pas entre chaque image imposé par le protocole d'acquisition correspondant). Cependant le mode circulaire recherche aussi les correspondances entre les premières et les dernières images de la série afin de boucler le tour complet autour de l'objet.
- Le mode aléatoire, effectue une recherche globale sur l'ensemble des images sans aucune contrainte. C'est à dire que pour chaque image, une correspondance sera recherchée sur l'ensemble des autres images. Le temps de calcul pour cette stratégie augmente exponentiellement en fonction du nombre d'images, mais elle reste cependant la solution la plus adaptée pour les acquisitions qui ne répondent à aucune structure régulière imposées par les objets complexes.

Nota bene :

La stratégie aléatoire est générique et peut par conséquent être utilisée pour les autres types d'acquisitions. Elle peut permettre de débloquer une situation, par exemple lors d'un parcours linéaire multiple afin d'obtenir une correspondance avec les zones de recouvrement verticales.

Pour les stratégies linéaires et circulaires, le nombre d'images prises en compte pour diriger la recherche des correspondances introduit une marge (+3 images) par rapport au respect strict des protocoles d'acquisitions afin :

- d'une part de palier au manque de point homologues pouvant être extrait d'un objet faiblement texturé
- d'autre part pour permettre d'améliorer un premier résultat non satisfaisant, car cette marge permet d'augmenter le recouvrement en doublant la prise de vue et qui reste le meilleur moyen pour débloquer une situation difficile.

Le choix des 2 modes de corrélation dense :

Les deux modes de corrélation disponibles dans *MicMac* sont accessibles via la plateforme :

- Le mode *Stereo* effectue une reconstruction sur base de couples stéréoscopique (en géométrie épipolaire), c'est à dire en corrélant progressivement sur seulement deux

images. C'est un processus plus long, en temps de calcul mais qui offre des résultats plus fins.

- L'autre mode, est dit *Multiview*, car à la différence du précédent chaque image va être considéré comme une image maitresse et l'algorithme va chercher les meilleures images filles pour effectuer la corrélation, cette fois-ci par blocs d'images. Ce mode permet d'obtenir plus rapidement le nuage de point final, notamment sur des jeux de données complexes.

Les 3 densités possibles :

Un option permettant de choisir la densité finale du nuage de point a été intégré afin de s'adapter aux différents besoin des utilisateurs en faisant varier le niveau de détail. Ce paramètre modifie la taille de l'image sur lesquelles sera calculée la corrélation dense. Ce réglage de densité est basé sur l'approche pyramidale de *MicMac*, comme suit :

- L'option *High* (haute résolution) diminue par 2 les dimensions de l'image, soit 4 fois moins de pixels que dans l'image initiale pour obtenir par conséquent 1 point pour 4 pixels.
- L'option *Medium* (moyenne résolution) diminue par 4 les dimensions de l'image, soit 16 fois moins de pixels que dans l'image initiale pour obtenir par conséquent 1 point pour 16 pixels.
- L'option *Low* (basse résolution) diminue par 8 les dimensions de l'image, soit 64 fois moins de pixels que dans l'image initiale pour obtenir par conséquent 1 point pour 64 pixels.

Nota bene :

La densité maximale accessible par un jeu de données est intrinsèquement lié au résidu (erreur de reprojection en pixel estimée en phase de calibration et d'orientation) obtenu lors de l'ajustement de faisceaux qui dépend lui-même de la qualité des photos, du respect des protocoles d'acquisitions. Voici un moyen simple d'estimer quelle densité il est théoriquement possible d'obtenir en regard du résultat du calcul de calibration/orientation :

- Un résidu moyen final inférieur à 1px permet d'obtenir un résultat fidèle en haute densité.
- Un résidu moyen final situé entre 1 et 1,5px permet d'obtenir un résultat fidèle en moyenne densité.
- Un résidu moyen final situé entre 1,5 et 2px permet d'obtenir un résultat fidèle en faible densité.

Le choix des étapes de calculs :

La conception modulaire du script de traitement et des ses multiples possibilités de pré-réglages permet une flexibilité et une facilité d'usage pour l'utilisateur. Ces cases permettent de stopper temporairement un calcul lors de certaines étapes pour en vérifier le résultat ainsi que moduler le choix des paramètres. De fait, leurs utilisations dépends s'il s'agit d'un premier calcul ou d'une nouvelle itération :

- *Preview* permet de générer la génération d'un nuage de point dit épars permettant de prévisualiser et ainsi de valider les première étapes du calcul, juste avant l'obtention

du nuage dense. Ce nuage de point restitue uniquement les points homologues reconnus et spatialisés, et permet par conséquent de vérifier si l'objet est suffisamment texturé. Il indique généralement, si et où, il pourrait y avoir des lacunes dans la reconstruction finale ; par manque de texture (global ou local), suite à un problème d'exposition des photographies (zones trop sombres ou trop claires) ou encore à cause de zone d'occlusions. Ce nuage comporte aussi le positionnement des caméras et permet par conséquent de vérifier si l'entièreté de la scène (relations contexte/camera/objet) a été correctement reconnue.

Lors d'un calcul initial, *Preview* permet d'exporter ce résultat de prévisualisation ou inversement.

Lors d'une nouvelle itération, si la case *Preview* est cochée le processus dans sa globalité sera recalculé depuis le début, ceci est utile si et seulement si le jeu d'images a été modifié, soit pour enlever des mauvaises images, soit pour en rajouter ou remplacer. Si elle est décochée, seulement le nuage final sera calculé.

- *Dense cloud* permet de générer le nuage de point dense en fonction du mode de corrélation et du paramètre de densité sélectionnés.

Lors d'un calcul initial, si *Dense cloud* est décoché le calcul sera stoppé jusqu'à ce que l'utilisateur fasse la requête d'une reconstruction finale est cochant cette case et en lançant le calcul via *Run Project*.

Lors d'une nouvelle itération, c'est à dire dans le cas où un premier nuage dense a été calculé, cocher cette case permet de générer un nouveau nuage en faisant varier le mode de corrélation et/ou la densité.

- *Mesh* permet de lancer le calcul de reconstruction de surface pour obtenir un modèle polygonal maillé (via l'algorithme *Scale Space Surface Reconstruction* de la librairie *CGAL* développé par l'*INRIA*) et texturé (par la méthode du *Vertex Coloring*) à partir du nuage de point. Bien entendu, cette option n'est utilisable que si un nuage de point dense est disponible.

Lors d'un calcul initial, l'option *Mesh* permet donc de stopper le calcul avant d'effectuer la reconstruction de surface ou de générer directement le modèle maillé dès l'obtention du nuage de point dense.

Lors d'une nouvelle itération, c'est à dire si un nouveau nuage dense a été obtenu cette option permet si besoin, de générer un nouveau modèle maillé.

Les fichiers log :

Des fichiers log pour chaque étape de calcul sont proposés à l'utilisateur essentiellement à titre de débogage. Ils permettent de savoir si, quand et potentiellement pourquoi un processus n'a pas abouti correctement, ou encore s'il est possible d'améliorer un résultat. Les différents logs rendent accessible le contenu détaillé de toutes les étapes de calculs au sein de *MicMac* ou de *SurfRecon*. Ces fichiers nécessitent cependant une bonne connaissance du processus de traitement photogrammétrique afin d'être compréhensibles. Pour les utilisateurs non-experts voici une explication du contenu de ces logs, étapes par étapes ;

- Le log *Metadata* contient les métadonnées qui ont pu être extraites des images téléversées dans le dossier de projet (voir plus-haut). Le calcul ne pourra pas débuter si les champs correspondant au modèle de la caméra et à la focale sont manquants, ou erronés. Il permet de vérifier si la focale n'a pas varié lors de l'acquisition, ce qui

pourrait mettre à défaut la reconstruction. La sensibilité est aussi renseignée car si celle-ci est supérieure à 800ISO, la plateforme ne pourra pas garantir un résultat exempt de bruit.

- Le log *Tapioca* contient des informations utiles pour la phase de détection des points homologues ainsi que de la reconnaissance des paires d'images. Y sont notamment mentionné le nombre de points d'intérêt ayant pu être extraits (via l'algorithme *Sift+*) pour chaque image mais aussi le nombre de points homologues en chaque paires d'images.
- Le log *Tapas* est certainement le plus important de tous car il indique l'évolution du résidu (ou erreur de reprojection en pixel, *ER2*) image par image et global pour chaque étape et itération du calcul de calibration et d'orientation. Il exprime pas à pas si l'algorithme trouve une solution convergente aux calculs de résection spatiale et d'ajustement de faisceaux. D'une part, il permet de vérifier si le résidu moyen final n'est pas trop élevé. D'autre part, il permet de voir si ce résidu est homogène pour l'ensemble des photos, le cas contraire savoir quelle image peut s'avérer problématique. De plus, il renseigne une autre information permettant d'évaluer la qualité des données acquises en exprimant par un pourcentage le nombre de points homologues pouvant être utilisé pour le calcul. Si l'utilisateur a respecté les paramètres de prise de vues et les protocoles d'acquisitions (principalement le recouvrement), ce pourcentage ne devrait pas être inférieur à 90 %.
- Le log *AperiCloud* est principalement indicatif, aucune erreur ne devrait intervenir à cette étape.
- Le log *C3DC* contient des informations importantes lors de l'étape de corrélation dense. Le processus étant entièrement automatique, il permet de savoir quelles images ont été jugées assez bonne pour servir à la reconstruction finale. Elle mentionne un rappel du résidu final pour chaque image. Dans le cas d'un traitement *Stereo*, cela permet de savoir combien et quels sont les couples d'images, dans le cas d'images de bonne qualité et d'une protocole d'acquisition maîtrisé la quasi-totalité des photographies devraient être utilisées. Dans le cas d'un traitement *Multiview*, le fichier mentionne quelles images ont été choisies en tant qu'image maîtresse, combien et quelles sont ses images filles. Un score de couverture (devant être le plus-haut possible) est aussi exprimé en fonction du recouvrement mutuel de ces images.
- Le log *SurfRecon* est relatif à l'étape de reconstruction surfacique (voir avec INRIA pour l'interprétation du log)