



Co-funded by the  
Erasmus+ Programme  
of the European Union



# MODULE 07

PROGRAMME DE FORMATION

# PHOTOGRAMMÉTRIE



Dirección General de Formación  
CONSEJERÍA DE ECONOMÍA,  
HACIENDA Y EMPLEO



Desarrollo de Estrategias Exteriores



Habitat, énergies renouvelables  
et éco-construction  
Occitanie



Ollscoil Teicneolaíochta na Mumhan  
Munster Technological University



BZB

Bildungszentren des  
Baugewerbes e.V.



UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES



Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.

# Table des matières

<b>1. Objectifs du module</b> .....	<b>6</b>
<b>2. Principes de la photogrammétrie</b> .....	<b>7</b>
2.1 Histoire de la photogrammétrie .....	7
2.2 Qu'est-ce que la photogrammétrie ?.....	8
<b>3. Prises de vue photogrammétriques</b> .....	<b>10</b>
3.1 Principes généraux.....	10
3.2 Mode manuel.....	12
3.3 Principe de la photogrammétrie terrestre avec un drone.....	13
3.4 Positionnement des cibles de géolocalisation (géoréférencement).....	15
3.5 Cibles ou mesures dimensionnelles sur les bâtiments.....	16
3.6 Cas d'un modèle complété par un scan.....	17
3.7 Principe de la photogrammétrie de façade par drone.....	18
3.8 Principe de la photogrammétrie de l'ensemble d'un bâtiment :.....	21
<b>4. Vol programmé</b> .....	<b>23</b>
4.1 Principes de programmation.....	23
<b>5. Traitement</b> .....	<b>28</b>
5.1 Exemple de logiciel : Agisoft Metashape.....	28
5.2 Chargement des images.....	29
5.3 Aligner les photos .....	30
5.4 Création d'un nuage de points.....	31
5.5 Mise à l'échelle et géoréférencement d'un nuage de points.....	34
Contrôle du système de coordonnées des photos.....	34
5.6 Mise à l'échelle du nuage de points par des marqueurs dimensionnels .....	41
Méthode : Metashape Barres d'échelle.....	42
<b>6. Obtention d'un maillage simple ou d'un maillage avec textures</b> .....	<b>45</b>
6.1 Élaboration d'un maillage 3D .....	45
6.2 Création d'une texture sur le maillage.....	48
6.3 Générer un modèle tuilé.....	50
<b>7. Obtention d'une orthophoto ou d'une orthomosaique</b> .....	<b>53</b>
<b>8. Créer un modèle numérique d'élévation</b> .....	<b>55</b>

Construire un DSM (digital surface model).....	55
<b>9. Classification d'un nuage de points.....</b>	<b>62</b>
<b>10. Exporter un modèle numérique et créer une vidéo.....</b>	<b>67</b>
10.1 Exporter un modèle.....	67
Ouvrir dans une visionneuse.....	68
10.2 Enregistrement de vidéo par Metashape.....	69
Vidéo simple " modèle tournant.....	69
Vidéo avec un chemin de caméra spécifique.....	71
<b>11. Dessiner un plan à partir d'un modèle ou d'une orthomosaïque.....</b>	<b>72</b>

## **DRONES4VET : participants et auteurs du projet Erasmus+**

### **Equipe du CMQE HEREC Occitanie. France:**

Régis Lequeux – professeur et ingénieur en génie civil, Lycée Dhuoda, Nîmes –  
coordinateur des 10 modules

Nicolas Privat - professeur et ingénieur en génie civil, Lycée Dhuoda, Nîmes

Eric Remola – professeur de génie civil, Lycée Dhuoda, Nîmes

Nicolas Vassart - professeur et docteur en génie civil, Lycée Dhuoda, Nîmes

Valerie Poplin - Directrice exécutive du CMQE

### **Equipe du MTU Ireland:**

Sean Carroll, Maître de conférence, ingénieur en génie civil

Michal Otreba Inz, Maître de conférence, ingénieur en génie civil

coordinateurs des “Levelling & Follow-up sessions for educators”

### **University of Applied Sciences Kufstein Tirol, Autriche**

Emanuel Stocker, Enseignant-chercheur en gestion des infrastructures et de  
l'immobilier. Manuel coordinateur.

Sarah Plank, Contrôleur de la Recherche et Développement

### **Equipe CRN Paracuellos. (DG Formación. Comunidad de Madrid) Espagne :**

José Manuel García del Cid Summers, Directeur

Daniel Sanz, directeur de Dron-Arena

Santos Vera, technicien

Jorge Gómez Sal, chef de l'unité technique

Fernando Gutierrez Justo. Erasmus coordinateur

Promoteurs du projet

### **Equipe BZB Düsseldorf. Allemagne :**

Frank Bertelmann-Angenendt, chef de projet

Markus schilaski, chef de projet

### **Equipe DEX. Espagne – Gestion Erasmus+ :**

Ainhoa Perez

Ignacio Gomez Arguelles

Diego Diaz Mori

Yvan Corbat

# 1. Objectifs du module

Ce module permet tout d'abord de comprendre ce qu'est la photogrammétrie, puis de voir les techniques pour réaliser des vols automatiques ou manuels de drones pour cette activité et enfin de traiter les images pour obtenir des modèles 3D et les exploiter.

Module de base pour l'utilisation de drones dans la construction, considérant que toutes les connaissances énoncées ici sont essentielles.

## 2. Principes de la photogrammétrie

### 2.1 Histoire de la photogrammétrie

Cette méthode ancienne, inventée en France (façade de l'hôtel des Invalides pour Aimé Laussedat en 1849), est basée sur le principe de la corrélation d'images acquises à partir de différents points de vue qui permet la reconnaissance automatique des points homologues.

La photogrammétrie s'est industrialisée entre les deux guerres mondiales grâce au développement des photographies aériennes qui ont permis de produire des cartes beaucoup plus précises de régions ou de pays entiers.

Ce travail, très fastidieux, nécessite une puissance de calcul considérable. Il est donc assez logique que les applications professionnelles ne se soient démocratisées que depuis quelques années, les supercalculateurs autrefois dédiés à ce type d'opération sont remplacés par les ordinateurs de bureau modernes qui intègrent désormais la puissance de calcul nécessaire.



← Modèle 3D de Google Maps obtenu par photogrammétrie (Lyon, France)

Figure 2-1 modèle google maps (Google)

Les drones facilitant l'acquisition de photos aériennes ou de façades accélèrent encore le développement de la photogrammétrie.

## 2.2 Qu'est-ce que la photogrammétrie ?

La photogrammétrie est "l'ensemble des techniques permettant de déterminer la forme, les dimensions et la position dans l'espace d'un objet à partir de photographies" (dictionnaire Larousse). Le modèle 3D ainsi créé est une copie exacte des objets originaux (si les informations dimensionnelles sont données), mais sur un écran d'ordinateur.



Figure 2-2 exemple de modèle 3D (<https://numerisation3d.construction>)

Si l'homme peut voir en 3 dimensions, c'est parce qu'il a deux yeux. Le fait de pouvoir voir un objet simultanément à partir de deux points de vue nous donne une appréciation tridimensionnelle de cet objet. Ce principe, appelé stéréoscopie, est utilisé en photogrammétrie.

On dispose de plusieurs points invariants appartenant à une surface (quels que soient les mouvements de la surface dans l'espace, ces points ont toujours les mêmes coordonnées dans le repère objet) et de plusieurs points de vue dont la position 3D dans l'espace n'est pas connue (positions successives de la caméra) mais qui "ciblent" ces points appartenant à la surface. Plusieurs "points de vue" (positions successives de la caméra) génèrent des lignes de vue passant par les points identifiés sur la surface.

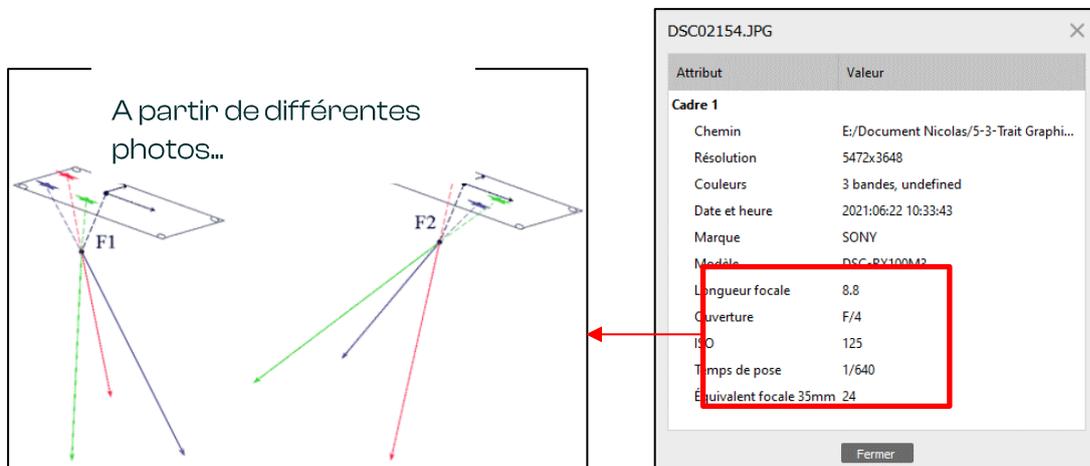


Figure 2-3 photos indépendantes du même objet (techno-science.net)

Par itérations successives des coefficients des équations des droites (logiciel ad hoc) on peut calculer les coordonnées X, Y Z de chaque point dans le repère objet.

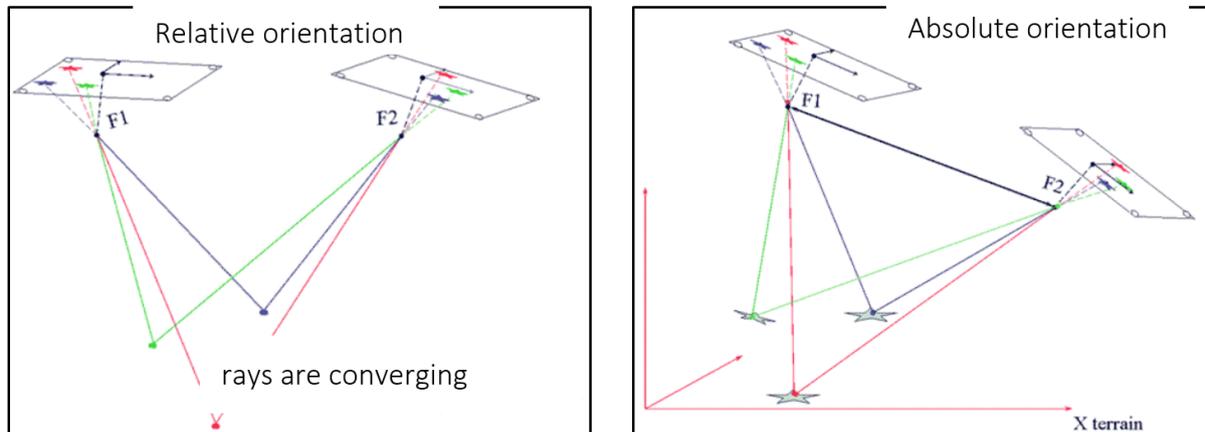


Figure 2-4 orientation relative et absolue des photos par le logiciel

En effet, la corrélation d'images consiste en la reconnaissance automatique de pixels homologues sur une surface définie. L'objectif est alors de déterminer l'orientation relative des images (photos) à partir de ces points identifiés comme homologues entre ces images.

Les algorithmes d'analyse d'images remplacent la vision humaine en associant à tout point d'une image A un point homologue dans une image B. A ce stade, l'ordinateur procède algorithmiquement à une lecture stéréoscopique de la scène pour déterminer les positions relatives de chaque point. La multiplication du processus à un grand nombre de points de vue rend le calcul de la position de chaque pixel plus fiable en divisant l'erreur tout en augmentant l'étendue de la modélisation 3D. A ce stade, on obtient un modèle 3D homothétique aux objets réels photographiés. Pour obtenir une copie numérique de la taille réelle des objets, il est nécessaire de donner au logiciel des indications de mesures : Soit des indications de distance entre différents points (après mesures sur le terrain ou en ajoutant une règle ou une mire sur les photos), soit des coordonnées de points de référence topographiques sur les objets et sur les photos.

# 3. Prises de vue photogrammétriques

## 3.1 Principes généraux

Les critères suivants doivent être respectés lors de la prise de photos :

- Longueur focale constante de l'objectif, pas de zoom pour la même série de photos traitées ensemble
- Luminosité constante des photos : Pour éviter les ombres noires, il est préférable de les prendre par une journée nuageuse, mais pas trop sombre (et sans pluie). L'alternance soleil/nuages n'est pas bonne, les jours ensoleillés il faudra ajouter des photos dans les zones d'ombre.
- Netteté : Pour éviter les flous de bougé, ne filmez pas par grand vent, pas plus de 30 km/h, en fonction de la stabilité de votre drone. En particulier, lorsque vous photographiez des bâtiments, des façades ou des montagnes escarpées, les turbulences du vent peuvent secouer le drone et accentuer le flou de bougé. Une caméra avec obturateur mécanique est meilleure qu'un obturateur électronique.
- précision : utiliser la meilleure définition du capteur d'image, 15 Mpx est le minimum
- Distance constante par rapport au sol, à la façade ou au bâtiment, même en cas de vol circulaire
- Inclinaison constante de la caméra pour le vol, le groupe d'images traitées ensemble
- 70 % minimum de **chevauchement** des photos entre elles dans toutes les directions, 80 % est mieux, sinon le traitement est impossible.

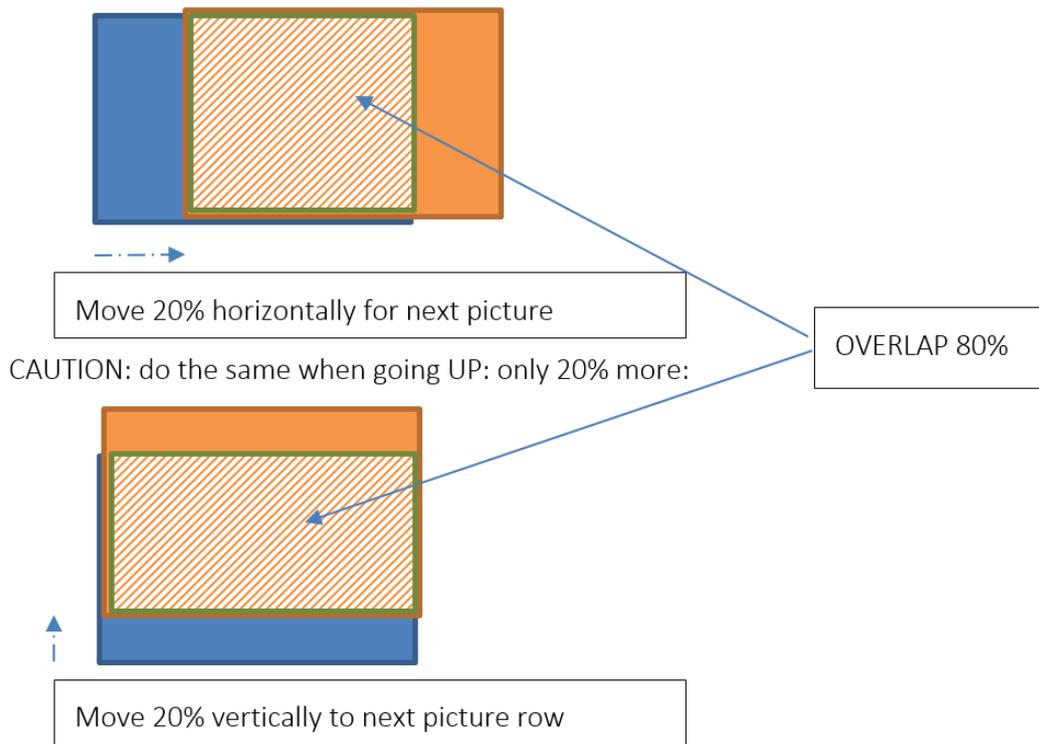


Figure 3-1 chevauchement horizontal et vertical

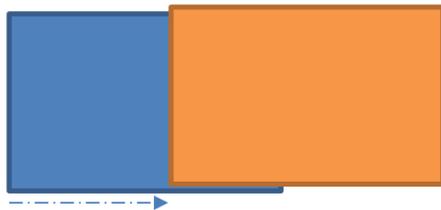
- Résolution maximale de la caméra, adaptée au niveau de détail recherché : la télécommande indique généralement la taille d'un pixel au sol en fonction de l'altitude. Le pixel étant le plus petit détail d'une image, cette taille en mm donne la taille du plus petit détail 3D visible sur le modèle.
- La compression doit être aussi faible que possible, mais les traitements d'amélioration de l'image propres à l'appareil photo peuvent être conservés (correction des aberrations de l'objectif, amélioration du contraste et des couleurs, égalisation des différences de luminosité). Le format .tiff est très bon mais produit de gros fichiers, le .jpg perd quelques détails mais est correct pour apprendre ou faire des modèles simples avec des fichiers de moyenne gamme.

## 3.2 Mode manuel

Le drone sera piloté directement à partir de la commande, à la main, mais les photos pourront être prises automatiquement.

Rappel : remplir la "fiche de mission drone" et effectuer un contrôle complet avant le vol (Module 2 : préparation et rapports ; module 5 : entraînement au vol).

o Il est possible d'utiliser la prise de vue "**time-lapse**" qui prendra une photo toutes les "x" secondes (en fonction du drone ou de l'appareil photo) faire un essai puis analyser ensuite le résultat en superposition pour ajuster la vitesse.



Too fast... not enough overlap... and risk of motion blur. Lower the inclination angle to adjust speed.



Too slow... lots of pictures, long time to process. Increase the inclination angle to adjust speed.

Figure 3-2 chevauchement erroné dû à un mauvais réglage du time-lapse ou à une vitesse incorrecte

- Si le GPS a une bonne réception, on peut aussi mettre en place un "**GPS-lapse**" qui prend une photo tous les "x" mètres, à ajuster pour avoir un bon chevauchement. Normalement, la distance est calculée en 3D, donc cela fonctionne également lors de la montée.
- Vous pouvez également programmer des photos automatisées "**timelapse ou GPS-lapse**" et analyser le résultat.

Le vol consistera à effectuer une couverture complète de la zone avec les chevauchements nécessaires.

Voir ci-dessous le vol programmé pour les trajectoires possibles, car il s'agit du même principe.

Le vol manuel est nécessaire en photogrammétrie de façade, même s'il existe des systèmes automatiques avec des points de passage programmés.

NB : en mode manuel, un court vol d'essai est nécessaire pour ajuster les paramètres de vitesse et de "xxx-lapse" de prise de vue afin d'obtenir le bon recouvrement.

## 3.3 Principe de la photogrammétrie terrestre avec un drone

Survolez l'endroit à numériser en 3D et couvrez toute la zone avec des images qui se chevauchent.

- meilleurs résultats avec un vol en grille
- meilleurs résultats avec un deuxième vol avec un angle sur la caméra et un vol en grille
- voler loin du périmètre vers le modèle pour assurer un bon chevauchement sur les bords.

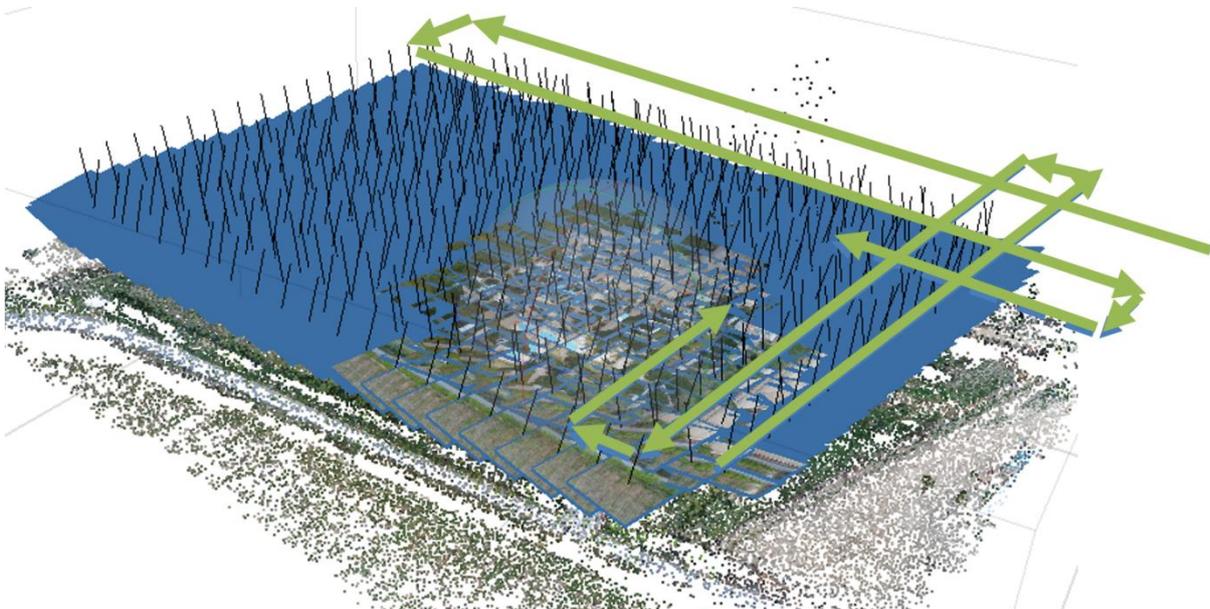


Figure 3-3 Grille de vol du drone et superposition des photos pour la photogrammétrie 3D au sol

↑ dans l'exemple ci-dessus, vous pouvez voir les lignes noires indiquant la direction et la position de chaque prise de vue. La photo prise est représentée dans un cadre bleu avec son inclinaison. Les flèches indiquent le vol du drone, ici un vol en grille. Remarque :

- le chevauchement des images
- l'altitude constante
- la régularité de l'espacement
- l'angle (environ 10°) de la caméra par rapport à la verticale



Figure 3-4 séquence de photos avec un bon chevauchement et une bonne inclinaison de l'appareil photo



## 3.4 Positionnement des cibles de géolocalisation (géoréférencement)

Afin de géolocaliser le modèle obtenu, et/ou d'ajuster ses dimensions, il est indispensable de positionner des cibles bien visibles sur les photos. **Voir le module 6 Géolocalisation.**

En général, les points ou marqueurs de géolocalisation sont définis par des cibles carrées ou circulaires sur un support en bois ou en métal. Pour les photos ou vidéos prises à une hauteur de 20 m ou 30 m, des cibles d'une taille (ou d'un diamètre) de 20 cm ou 30 cm sont généralement suffisantes.

Toutefois, à faible hauteur de vol, de simples piquets en bois marqués d'une bombe fluorescente peuvent suffire.

Les points ou marqueurs de géolocalisation doivent, dans la mesure du possible, être aussi espacés que possible, bien répartis sur l'ensemble de la zone à modéliser (périphérie et zone centrale si possible). Si ces marqueurs ne doivent pas apparaître dans le modèle, il sera nécessaire d'étendre la zone de levé pour placer les marqueurs à la périphérie extérieure de la zone à modéliser.

- Au minimum 4 cibles (nombre recommandé : au moins 5 marqueurs pour avoir des contrôles sur la qualité de ces points et pouvoir éliminer ceux qui ne sont pas très fiables, le logiciel Metashape en recommande 10).
- absolument immobiles pendant toute la durée de la prise de vue
- Levés GNSS RTK avec une précision centimétrique obligatoire
- Différents numéros sur les cibles pour les reconnaître rapidement sur les photos.



Figure 3-6 Cible de géolocalisation au sol relevée par GNSS



Figure 3-7 cible de géolocalisation au sol avec numéro

## 3.5 Cibles ou mesures dimensionnelles sur les bâtiments

Il est nécessaire de calibrer (donner les bonnes dimensions) un modèle non géoréférencé par des cibles au sol :

- Soit positionner sur le bâtiment deux mires graduées (mires de nivellement par exemple), l'une à l'horizontale, l'autre à la verticale. Cependant, ces mires apparaîtront sur le modèle 3D et peuvent nuire à l'esthétique, elles peuvent être positionnées en bordure puis retirées du cadre final.
- Ou mesurer à l'aide d'un mètre ruban une distance entre deux éléments bien identifiés et précis afin de pouvoir reporter cette mesure sur le modèle par la suite (entre deux fenêtres par exemple).
- ou placer des cibles sur les murs et/ou les sols comme ci-dessus §0 et mesurer les dimensions entre elles.

Voir le chapitre "traitement".

## 3.6 Cas d'un modèle complété par un scan

Si le modèle photogrammétrique doit être complété par un modèle de scan laser, il est intéressant d'avoir des cibles communes pour les deux modèles afin d'assurer une bonne correspondance.

Dans ce cas, les cibles suivent les spécifications de l'analyse : au moins 4, à différentes hauteurs sur les murs.

Si le drone est équipé d'un récepteur GNSS RTK, la précision du nuage de points est améliorée et sa géolocalisation native facilite l'enregistrement avec un nuage de points géolocalisés par lidar.

## 3.7 Principe de la photogrammétrie de façade par drone

- Se placer à 10 ou 15 m devant la façade d'un bâtiment, à une altitude de 3 m, le drone faisant face à la façade, l'axe horizontal de la caméra étant perpendiculaire à la façade.

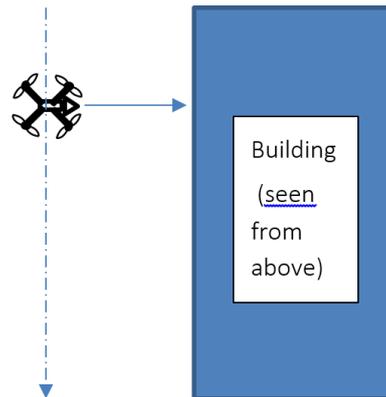


Figure 3-8 drone face à un bâtiment

- Trajectoire de vol en translation horizontale parfaitement parallèle à la façade. Voler de 20 à 30m.

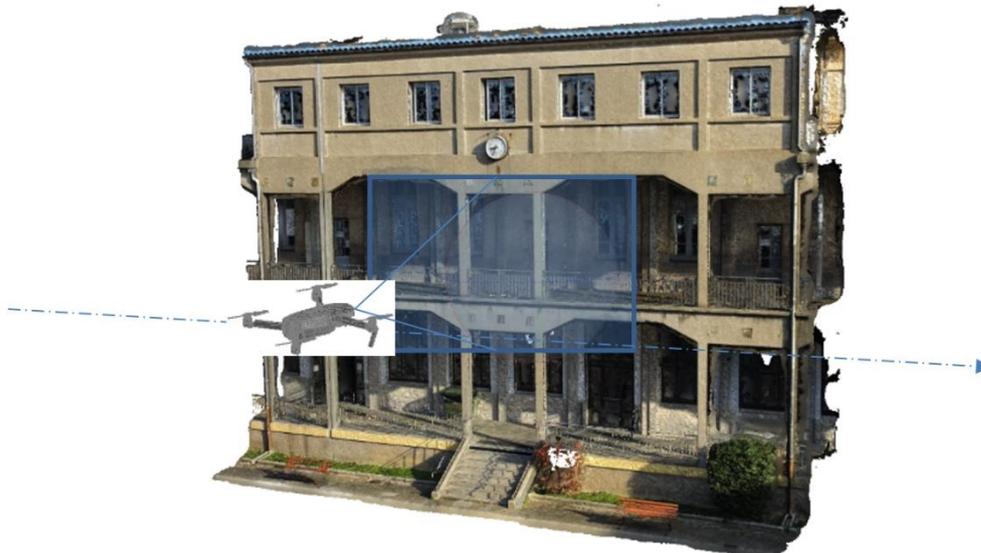


Figure 3-9 photos d'un bâtiment pour la photogrammétrie de façade

- Monter verticalement de 5m à l'extrémité de la façade
- Répéter un passage dans l'autre sens, à 8m de hauteur
- ...etc.



Figure 3-10 trajectoire de vol pour la photogrammétrie de façade

Photos :

**Manuellement :** regardez l'écran, utilisez la grille pour détecter le moment où vous vous êtes éloigné d'environ 20 % de l'image précédente. Appuyez sur le déclencheur. Passez à l'image suivante en vous éloignant de 20 %, appuyez sur ... vous devez assurer un chevauchement de 80 %.



Move 20% horizontally for next picture

Figure 3-11 chevauchement horizontal

Voici un conseil :



Mémoriser la position de l'image suivante :  
Ici, le milieu de la poutre



Sur la photo suivante, le milieu de la poutre  
est le bord de la photo.

Figure 3-12 repères de chevauchement horizontal

La même technique est nécessaire pour le chevauchement vertical

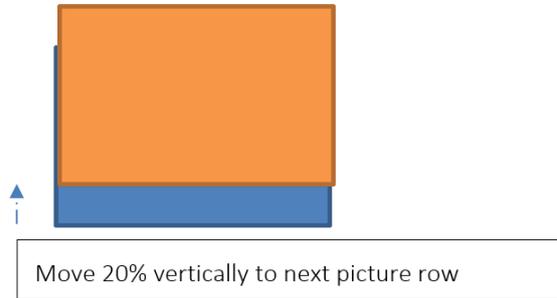


Figure 3-13 chevauchement vertical

Voici un conseil, pour un chevauchement vertical :



Mémoriser la position de l'image suivante:  
Ici, la bordure de plantation au pied de la  
façade

Sur l'image suivante, la bordure de  
plantation est le bord de la photo.

Figure 3-14 pointe de chevauchement vertical

Automatiquement : utilisez le time-lapse ou le GPS-lapse comme expliqué ci-dessus.

NB : un chevauchement important (95% par exemple) ne pose pas de problème.

## 3.8 Principe de la photogrammétrie de l'ensemble d'un bâtiment :

**Par façade après façade :** Procéder façade après façade, les angles ont dû être tirés à chaque fois.

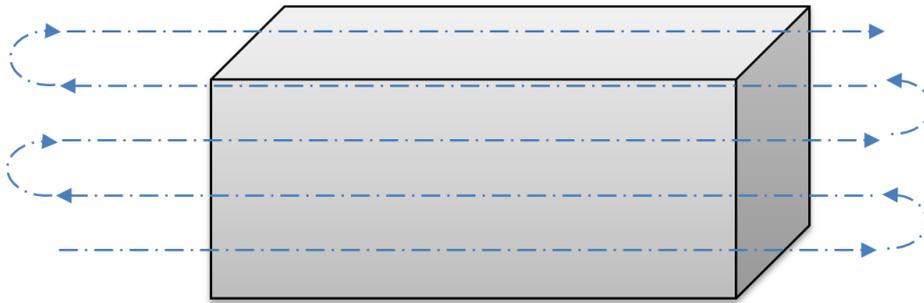


Figure 3-15 chemin pour la façade et le bâtiment 3D qui dépasse largement sur les cotés

Il est nécessaire de "voir" les façades connectées.

Une prise de vue des angles, à 45° des façades et face aux angles est très intéressante.

Par vol circulaire :

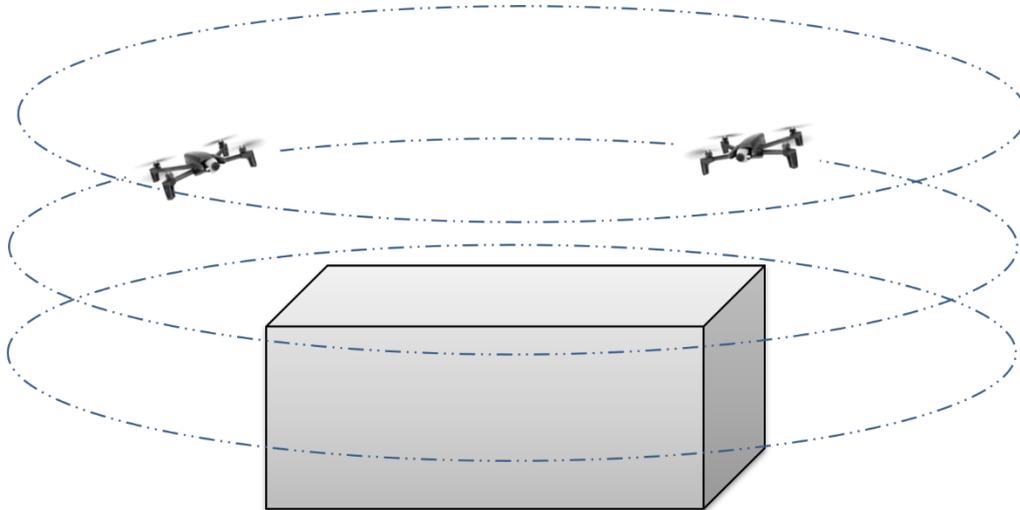


Figure 3-16 vols circulaires pour la construction en 3D

- Sur le vol circulaire le plus bas, la caméra est horizontale, voire inclinée vers le haut pour "voir" sous les balcons ou les passerelles extérieures (dans ce cas, la luminosité doit être ajustée pour obtenir de bons détails dans l'ombre).
- Lorsque vous montez, inclinez l'appareil photo vers le bas pour que le bâtiment reste centré.
- Si des arbres entourent le bâtiment, il peut être nécessaire d'effectuer un vol de façade rapproché (voir ci-dessus). Ce vol sera traité séparément du reste des images, puis fusionné avec le reste du modèle.

- La variation du diamètre des cercles n'est généralement pas nécessaire et peut induire le logiciel en erreur, en essayant de faire correspondre une photo prise en gros plan avec une photo prise de plus loin.

Un vol circulaire est également utile autour d'un sommet de montagne ou d'une colline.

## 4. Vol programmé

Le drone est piloté par un logiciel qui va analyser le périmètre à relever et déterminer un parcours idéal tout en respectant les besoins de couverture des photos.

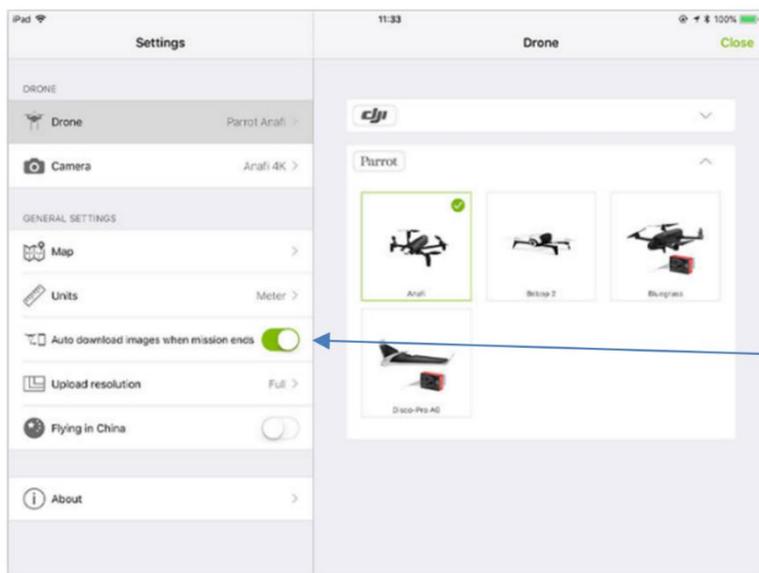
Ce vol ne s'applique qu'à une surface au sol ou à un bâtiment en vol circulaire.

- Pas de photogrammétrie de la façade
- Pas de photogrammétrie des bâtiments complexes ou élevés

### 4.1 Principes de programmation

Illustré avec le logiciel "PIX 4D Capture" qui est gratuit et européen.

- Choix du drone et des paramètres généraux



Nous vous recommandons de ne pas télécharger automatiquement les images du drone : cela épuise la batterie, remplit la mémoire du smartphone utilisé avec la télécommande et prend du temps. Utilisez directement la carte du drone.

Figure 4-1 Paramètres de Pix4Dcapture

- Chevauchement des photos longitudinales et transversales
- Vitesse du drone
- Angle de la caméra

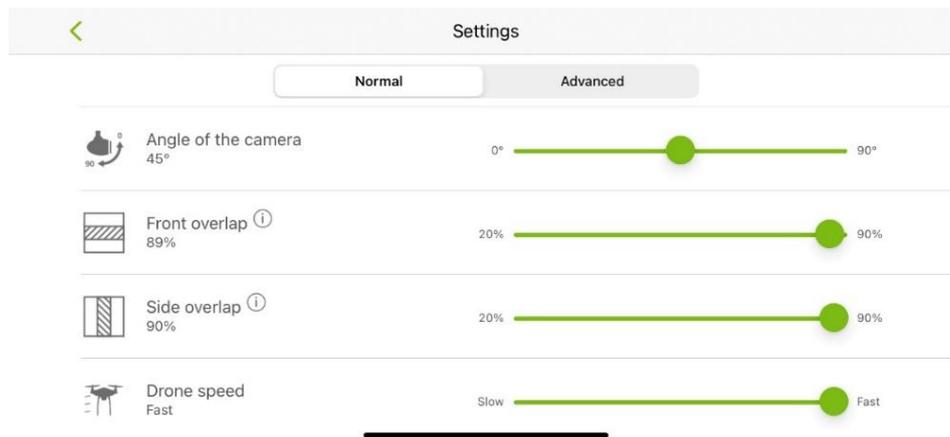


Figure 4-2 Paramètres de chevauchement de Pix4DCapture

Un premier vol à un angle de caméra vertical vers le bas (90°) est essentiel.

Un autre vol à un angle de caméra différent, par exemple 60°, peut être ajouté pour capturer des détails verticaux ou sous de grands arbres (il faut pouvoir voir sous le feuillage, le tronc doit être dégagé).

Un chevauchement de 80 % est normalement suffisant, dans les deux sens.

Une vitesse rapide peut conduire à un manque de détails si la lumière est faible (couverture nuageuse importante) par effet de rotation car l'ouverture sera longue (temps d'exposition) et le diaphragme très ouvert (manque de profondeur de champ donc léger flou possible).

Plus l'appareil photo vole bas, plus sa vitesse doit être lente pour éviter le flou.

Écran suivant : **Type de vol**

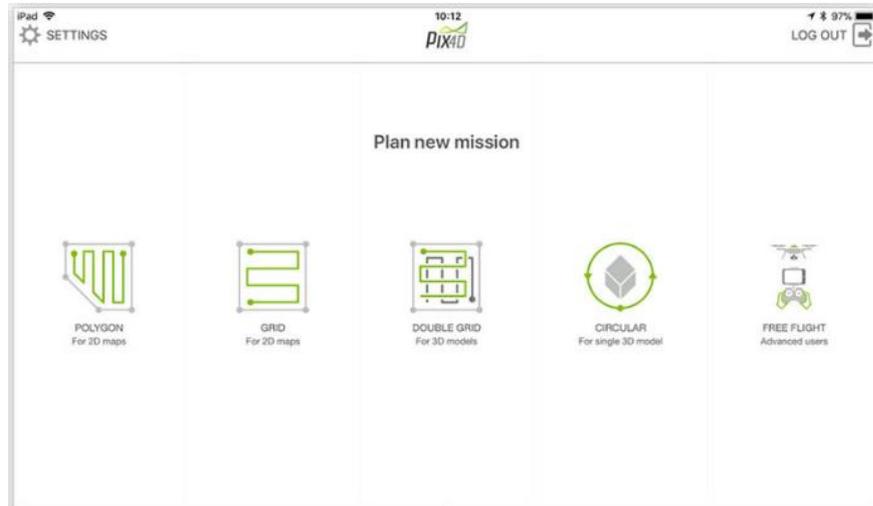


Figure 4-3 Sélection de la trajectoire de vol de Pix4DCapture

Vol en grille : le programme sélectionne la trajectoire en fonction des paramètres de la caméra et de l'altitude afin d'assurer un bon chevauchement. Il définit également la vitesse afin de garantir une bonne qualité d'image.

Pour obtenir un bon modèle 3D, vous devez disposer d'une double grille et d'une caméra orientée à 80° vers le bas. Sélectionnez "polygone" si la zone à étudier n'est pas rectangulaire, ou pour éviter de survoler le domaine public ou des propriétés sans autorisation.

Vol circulaire : recommandé pour un bâtiment, voire plusieurs cercles à différentes hauteurs et inclinaisons de la caméra.

Écran suivant : **position et forme de la mission de vol**

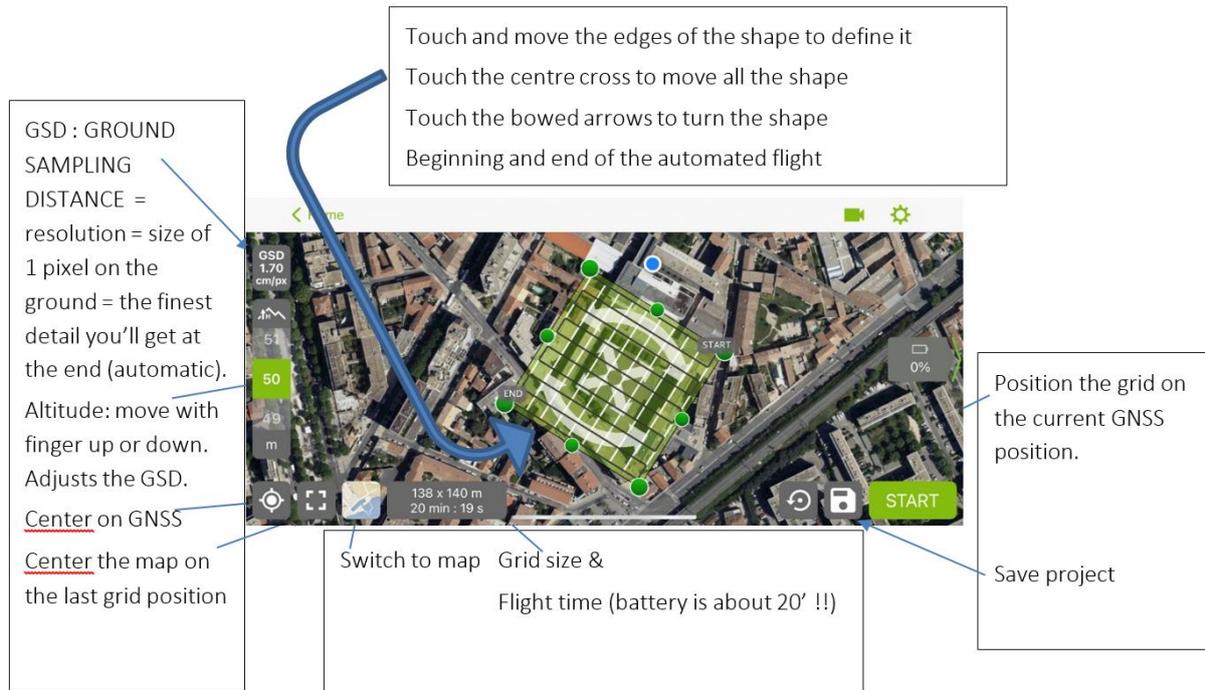


Figure 4-4 Pix4DCapture : réglage de la trajectoire de vol sur la carte

Sélectionnez toujours une zone plus grande que la partie à cartographier afin d'éviter les chevauchements manquants sur les bords. **ATTENTION** : si vous devez cartographier une parcelle entière, cela signifie que vous aurez besoin d'une autorisation de survol pour les parcelles voisines, et souvent aussi pour le domaine public... vol en catégorie spécifique !

Altitude : attention au réglage, le drone peut heurter un obstacle qui serait plus haut que son altitude, **un vol d'essai manuel avec localisation du point le plus haut peut être nécessaire**. Une altitude trop élevée donnera une moins bonne résolution au sol (GSD). Le programme ne survole pas les obstacles : l'altitude reste **constante**. **L'altitude n'est mesurée qu'à partir du point de décollage !**

Temps de vol : vérifiez le temps de vol pour éviter d'interrompre le vol automatique si la batterie est épuisée. Le logiciel reprend généralement là où il a été interrompu. Il est possible de programmer 2 vols dans une même grille pour changer de batterie, le 2ème vol étant tourné de 90° par rapport au premier, ce qui fait au final une double grille...

Le **GSD** : Ground Sampling Distance (distance d'échantillonnage au sol). C'est la taille d'un pixel de la photographie projetée au sol. Elle dépend de l'altitude, de la distance focale, de la résolution et de la taille du capteur de la caméra... vous ne pouvez ajuster que l'altitude, mais rappelez-vous que s'il y a du relief, alors la GSD changera en fonction de la hauteur du drone au dessus du sol ou de la construction. Le GSD est le plus petit détail que vous obtiendrez sur votre modèle final (si le traitement conserve la précision...).

Écran suivant : **Liste de contrôle et démarrage**

### DRONE TAKEOFF CHECKLIST

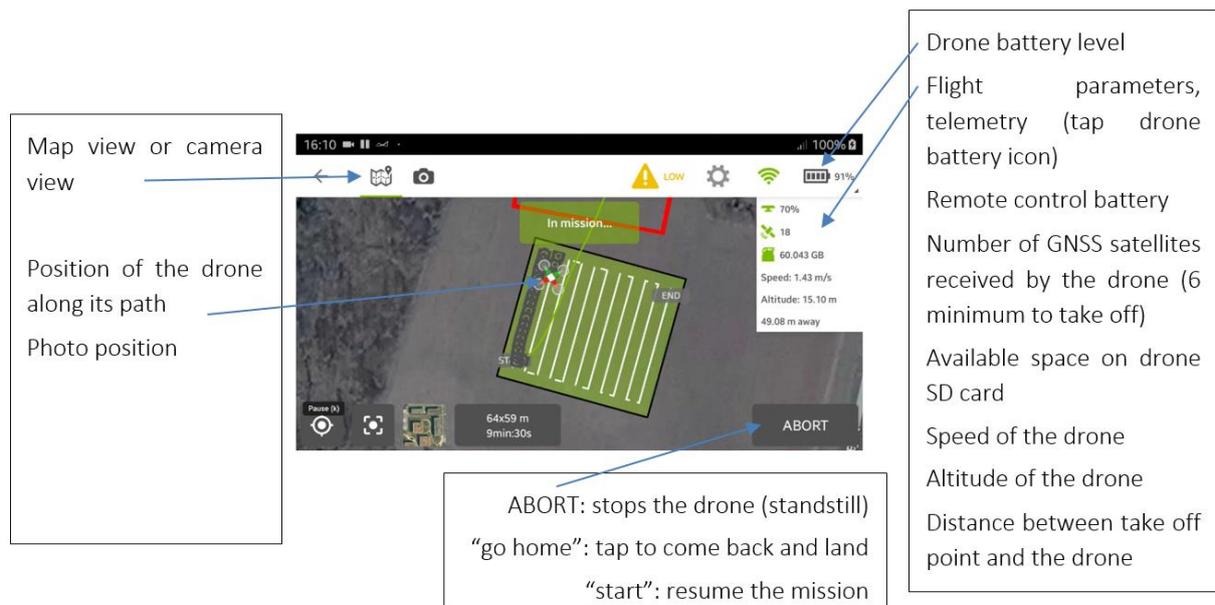
- ✓ Connected to drone
- ✓ Camera is ready
- ✓ Drone is calibrated
- ✓ Homepoint set
- ✓ Mission is within range
- ✓ Mission uploaded to drone
- ✓ Drone storage (6986 MB found)
- ✓ Drone GPS satellites
- ✓ Switch is in "P" position

CANCEL

PRESS AND HOLD (3 S) TO TAKEOFF

... suivre les instructions ...

Écran suivant : **vol de drone**



Map view or camera view

Position of the drone along its path

Photo position

ABORT: stops the drone (standstill)  
"go home": tap to come back and land  
"start": resume the mission

Drone battery level

Flight parameters, telemetry (tap drone battery icon)

Remote control battery

Number of GNSS satellites received by the drone (6 minimum to take off)

Available space on drone SD card

Speed of the drone

Altitude of the drone

Distance between take off point and the drone

Figure 4-5 Affichage de la mission de Pix4DCapture pendant que le drone vole

Écran suivant : **téléchargement d'images**

Vérifiez la qualité des images en sélectionnant certaines d'entre elles. En cas de flou ou de manque de détails, modifiez les paramètres et relancez la mission.

Il est recommandé de ne pas télécharger les images du drone : cela épuise la batterie et remplit la mémoire du smartphone utilisé avec la radiocommande. Choisissez-le sur le premier écran.

Il est possible de sécuriser les images en les téléchargeant dans un cloud en ligne.

# 5. Traitement

## 5.1 Exemple de logiciel : Agisoft Metashape

Il existe de nombreux logiciels de photogrammétrie (pix4DMapper, Meshroom, Recap pro, 3DF Zephyr...), nous prendrons l'exemple de ce logiciel assez répandu, sans prétendre qu'il est meilleur que les autres. Le fonctionnement global de tous les logiciels est très similaire. Ici, toutes les étapes, parfois cachées dans d'autres logiciels, sont clairement visibles et progressives.

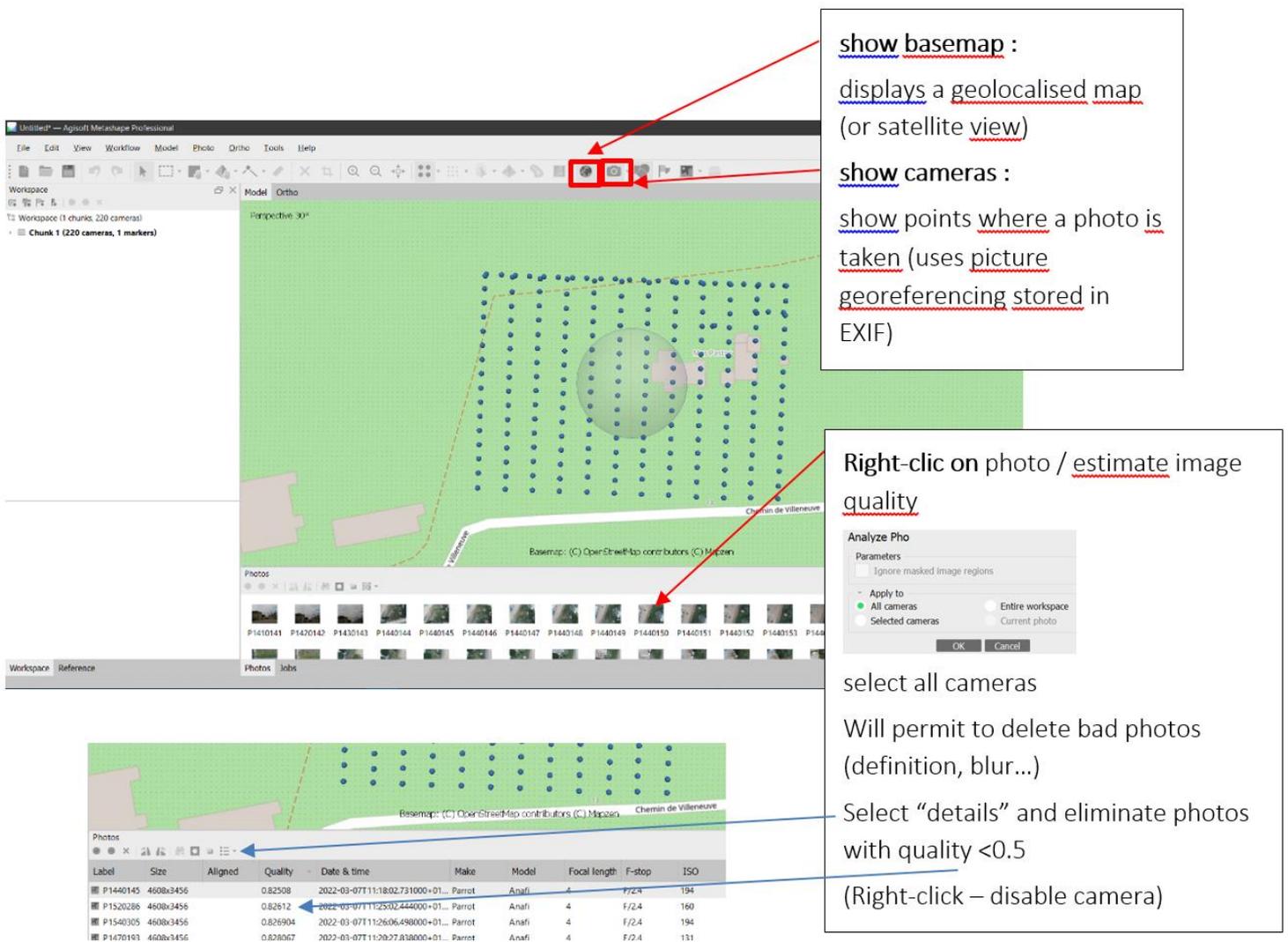
## 5.2 Chargement des images

Menu flux de travail : Ajouter des photos (sélectionner les photos une par une ou par liste)

ou Ajouter un dossier... (meilleure option pour ajouter toutes les photos prises par le drone et présélectionnées dans un dossier) (sélectionner "single camera")

Note : il est possible d'échantillonner une vidéo (avec un logiciel spécifique) pour en extraire des photos, mais la résolution est souvent inférieure en video qu'en photo.

Un "shunk" est un groupe de photos traitées ensemble.



**show basemap :**  
displays a geolocalised map (or satellite view)

**show cameras :**  
show points where a photo is taken (uses picture georeferencing stored in EXIF)

**Right-click on photo / estimate image quality**

Analyze Photo

Parameters

Ignore masked image regions

Apply to

All cameras  Entire workspace

Selected cameras  Current photo

OK Cancel

select all cameras

Will permit to delete bad photos (definition, blur...)

Select "details" and eliminate photos with quality <0.5

(Right-click – disable camera)

Label	Size	Aligned	Quality	Date & time	Make	Model	Focal length	F-stop	ISO
P1440145	4608x3456		0.82508	2022-03-07T11:18:02.731000+01...	Parrot	Anafi	4	F/2.4	194
P1520286	4608x3456		0.82612	2022-03-07T11:25:02.444000+01...	Parrot	Anafi	4	F/2.4	160
P1540305	4608x3456		0.825904	2022-03-07T11:26:06.498000+01...	Parrot	Anafi	4	F/2.4	194
P1470193	4608x3456		0.828067	2022-03-07T11:29:27.838000+01...	Parrot	Anafi	4	F/2.4	131

Figure 5-1 Images chargées de Metashape

## 5.3 Aligner les photos

À ce stade, le logiciel recherche des points communs entre les images, puis trouve les positions relatives et l'orientation des photos, afin de construire un modèle de nuage de points clairsemé.

Menu flux de travail : **Aligner les photos...**

La haute qualité est bonne pour le reste du processus, mais elle prend beaucoup de temps.

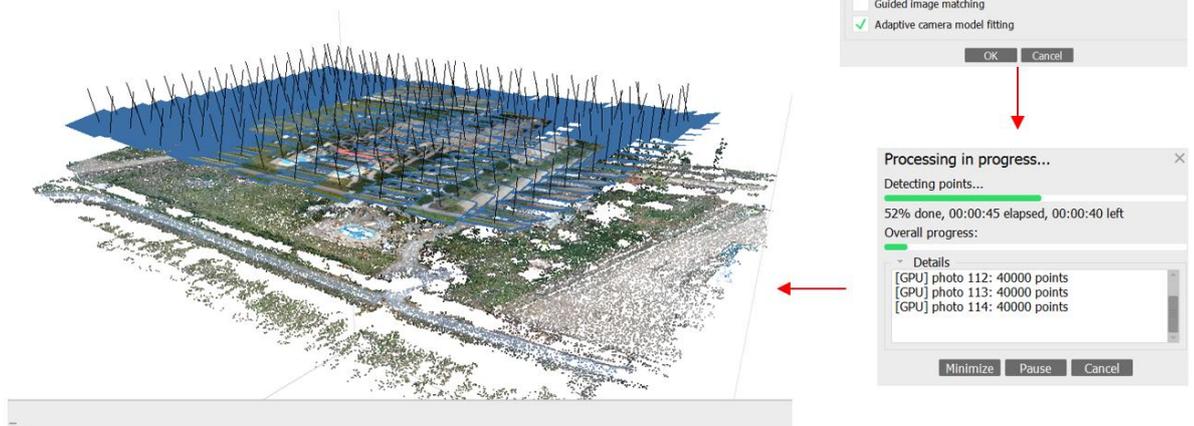


Figure 5-2 Metashape aligne les photos avec les hauteurs et les lignes de vue

Cette première étape est essentielle pour commencer le processus, c'est le cœur de la photogrammétrie.

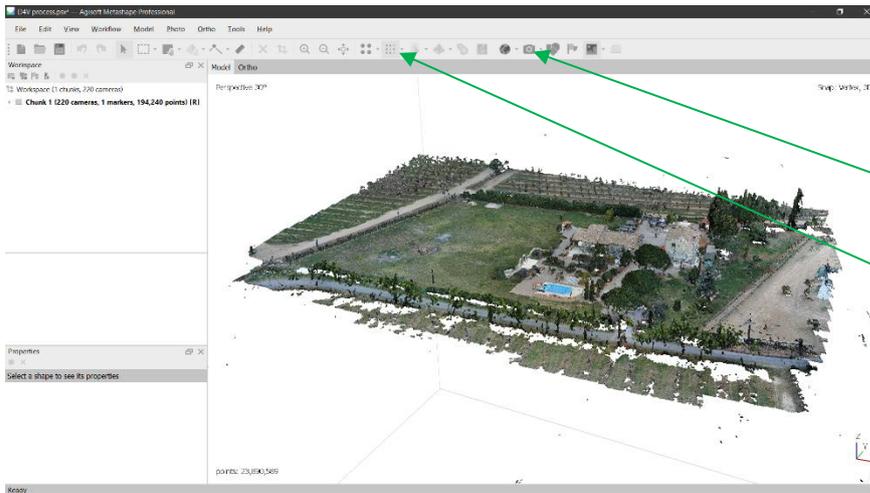
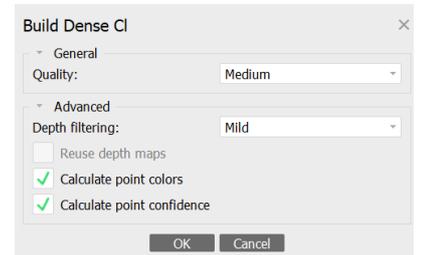
L'alignement des photos utilise différentes informations pour procéder :

- Numérotation des photos : en général, une photo de numéro "x" se trouve à côté de la photo de numéro "x-1", de sorte qu'elles doivent se chevaucher.
- Géolocalisation : le drone enregistre pour chaque photo une position géographique (lat., long., hauteur) même si elle n'est pas très précise, elle est utile car d'une photo à l'autre, la précision relative est bonne. Elle est bien meilleure avec un drone RTK (précision centimétrique).
- Correspondance des points : c'est le cœur du processus, le logiciel reconnaît les formes, les couleurs, les contours qui correspondent (minimum 4 similitudes) et calcule la position relative de l'appareil photo pour deux photos, puis pour 3, etc.

## 5.4 Création d'un nuage de points

Sur la base des positions des photos, le programme calcule la profondeur des points de chaque photo pour les combiner en un nuage de points unique et dense.

Menu workflow : construire un nuage dense...



Pour  
activer/désactiver  
en les images  
Pour voir le  
nuage dense

Figure 5-3 Nuage de points dense Metashape

Bas : Sur cet écran, certains endroits sont blancs : aucun point n'est présent, c'est un "trou" dans le nuage de points.

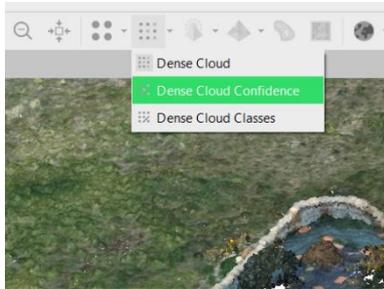
- Sous le débord de toit
- Sous les arbres
- Dans l'ombre
- Du côté caché (des caméras)

Chaque point est coloré en fonction de son emplacement d'origine sur la photographie.



Figure 5-4 Nuage de points Metashape avec des espaces blancs où aucun point n'a été construit

En sélectionnant "confiance dans les nuages denses", vérifiez la qualité.



L'échelle se trouve en bas à droite : **bleu** 100% de confiance, **vert** moyen, et **rouge** mauvaise confiance !

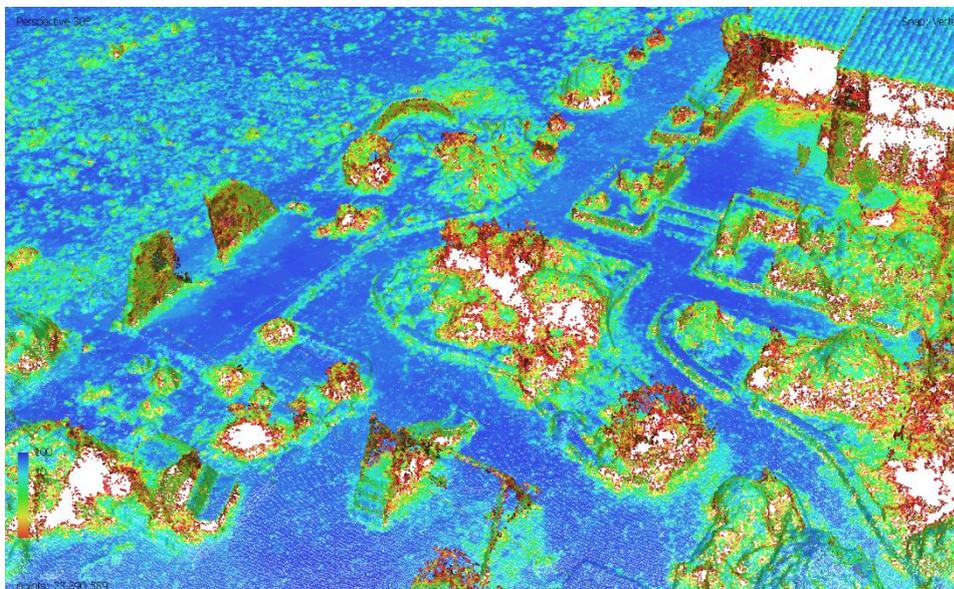


Figure 5-5 Confiance dans le nuage de points Metashape

Ce nuage de points n'est pas très bon pour les arbres et les façades, mais correct pour le sol, les terrasses, les petits murs et les toits.

Il suffit de dessiner le plan, d'obtenir les dimensions, le relief du terrain, de préparer un projet.

Vérification du chevauchement des caméras : pour s'assurer que les points seront définis par un nombre suffisant de chevauchements dans la zone à étudier, cliquez sur le menu "outils // statistiques d'étude".

Dans la couleur bleue, les points sont présents dans plus de 7 photos, très bon, cela facilite la création du modèle 3D par le logiciel.

Si la zone du terrain ou de l'objet à modéliser est entièrement couverte par la couleur bleue, c'est idéal. En vert c'est tangent, en jaune ou rouge insuffisant.

Si ce n'est pas suffisant, des photos devraient être ajoutées par un vol complémentaire.

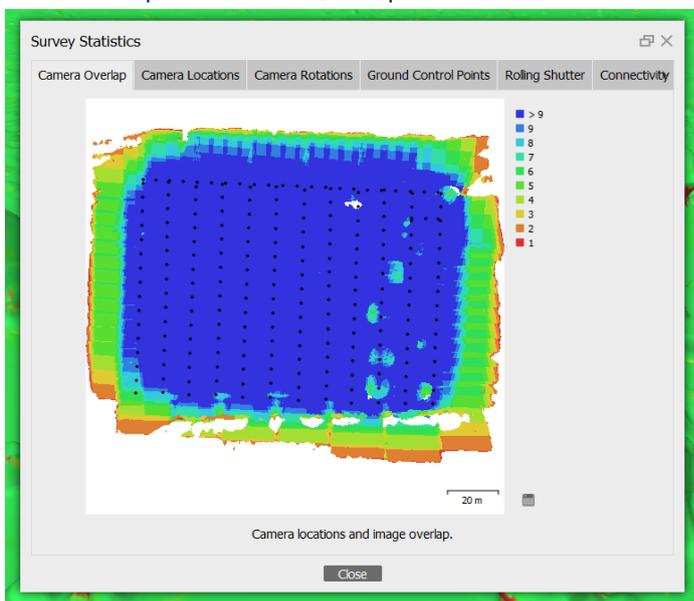


Figure 5-6 Carte de chevauchement de Metashape

## 5.5 Mise à l'échelle et géoréférencement d'un nuage de points

Il est très important de mettre à l'échelle le nuage de points : aucun plan, aucune mesure, aucune insertion dans un autre projet n'est possible sans cela.

Nous verrons deux méthodes :

- Par coordonnées : certains points ont été levés à l'aide d'un GNSS ou d'une station totale reliée, au moins 4 points, mais mieux avec plus. Il faut les trouver sur les photos, y placer un marqueur et faire correspondre le nuage de points aux coordonnées levées de ces marqueurs. L'avantage est qu'en même temps d'être dimensionné, le nuage de points est localisé avec précision.
- Par distances mesurées : sur le chantier, la distance entre les points marqués ou remarquables est mesurée et reportée dans le modèle. Cette solution ne localise pas précisément le nuage de points, la précision reste celle des photos, donc celle du GNSS du drone, mais les dimensions sont bonnes pour faire un plan.

### Contrôle du système de coordonnées des photos

Les photos ont été géoréférencées par le drone, mais sans RTK, la précision est métrique : elle n'est pas bonne pour la mise à l'échelle et la liaison à un système de coordonnées légal.

NB : exemple avec le système juridique français : RGF93.

Affichez la fenêtre "référence" en cliquant sur View // Reference puis sur l'onglet "reference" dans la fenêtre de l'espace de travail.

-Identifier le système de coordonnées dans lequel les photos sont référencées

Il s'agit généralement du système international WGS84, utilisé par le GNSS du drone.

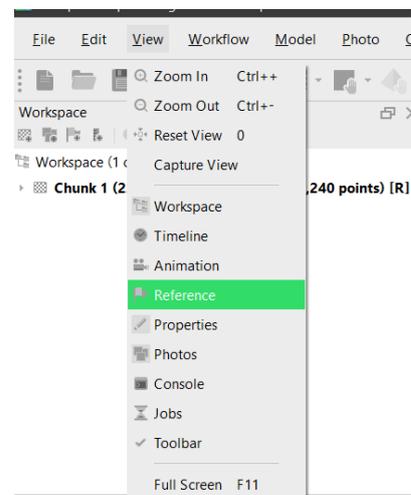


Figure 5-7 Les références de Metashape affichant le choix

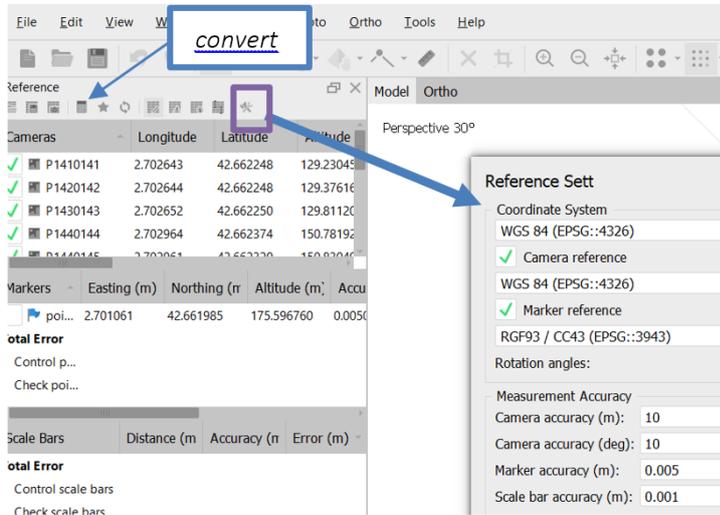
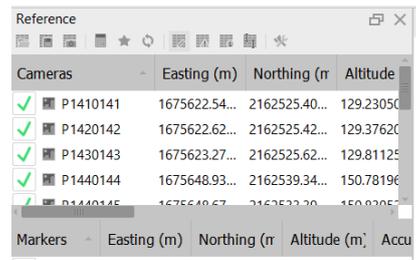
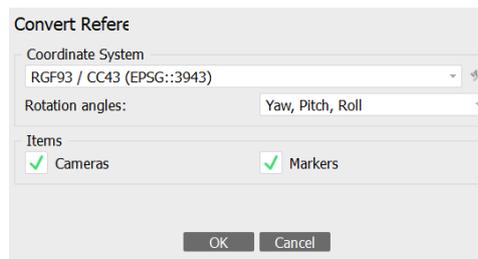


Figure 5-8 Réglage et conversion du système de coordonnées Metashape

(EPSG = European Petroleum Survey Group, code tous les systèmes euro, voir module géolocalisation)

- Si les photos ne sont pas dans le même système de coordonnées que les références, il faut convertir les photos dans le système des références avec la commande **Convert**. Ici c'est le cas : le contrôle indique que les coordonnées sont WGS84 en latitude/longitude, mais nos références sont en RGF93.
- Sélectionnez le système d'arrivée : le système dans lequel vous souhaitez géolocaliser votre nuage de points, le système dans lequel se trouvent les coordonnées de votre référence.



résultat :

Figure 5-9 Point focal des caméras dans le nouveau système de coordonnées

- Importer les références d'un fichier CSV : nom, abscisse, ordonnée, altitude,

	A	B	C	D	
1		1	1675604.889	2162482.927	122.820
2		2	1675530.730	2162457.044	123.990
3		3	1675604.861	2162472.851	122.800
4		4	1675623.422	2162525.086	122.570
5		5	1675629.056	2162494.879	122.610
6					

Figure 5-10 Fichier Excel CSV contenant les noms des références (A) et les coordonnées (B, C, D)

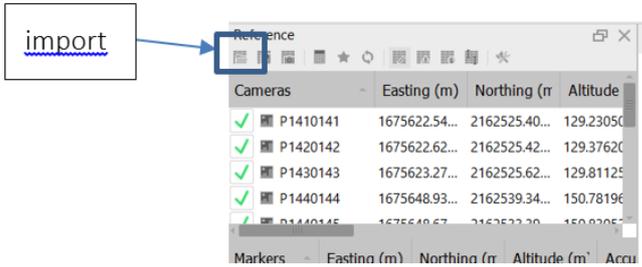


Figure 5-11 icône d'importation

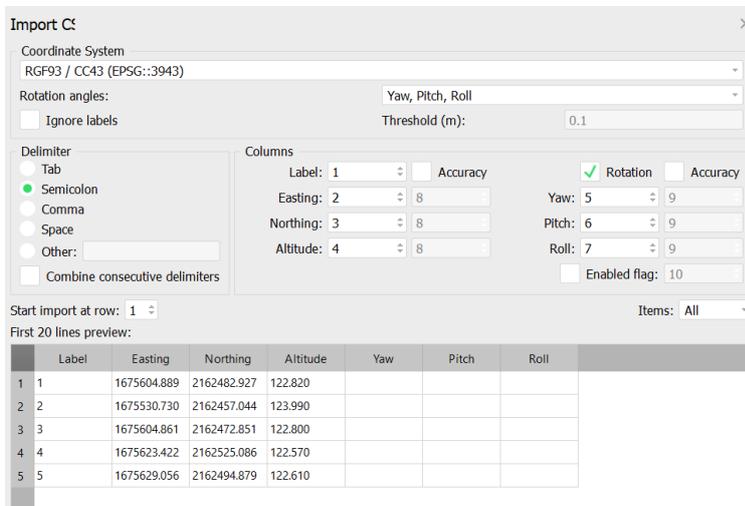


Figure 5-12 liste de référence chargée pour l'importation

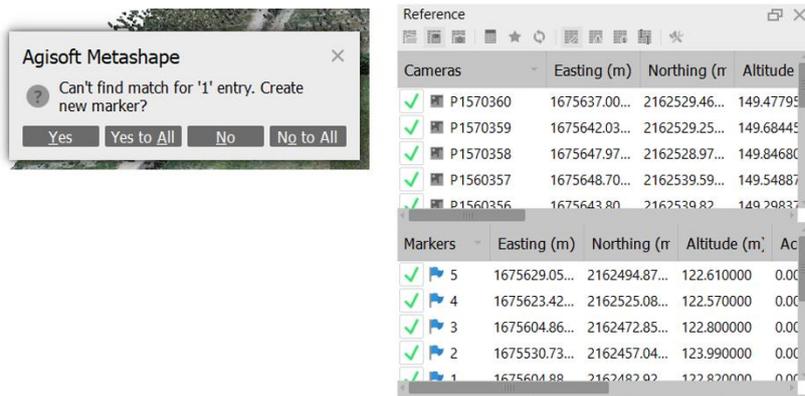


Figure 5-13 marqueurs créés après l'importation de références

Tapez "oui à tous" et le logiciel créera des marqueurs avec le nom des références.

Les points apparaissent sur le nuage dense :

Sur cet exemple, le travail n'est pas très professionnel : les références sont des angles ou des points naturels, et non des cibles comme indiqué ci-dessus... pour l'instant, elles ne sont pas exactement au bon endroit.



Figure 5-14 marqueurs créés sur le nuage de points

Les photos contenant un marqueur sont identifiées par un drapeau :

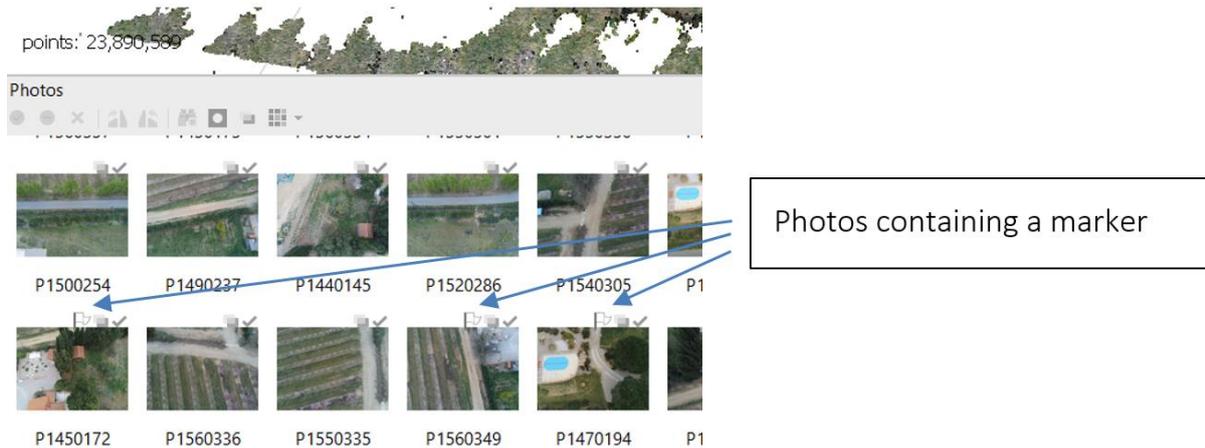


Figure 5-15 photos contenant des marqueurs identifiés par un drapeau

Note : Un clic droit sur le numéro d'un marqueur (dans l'onglet référence ou sur lui-même) permet d'afficher uniquement les photos dans lesquelles ce marqueur est présent.

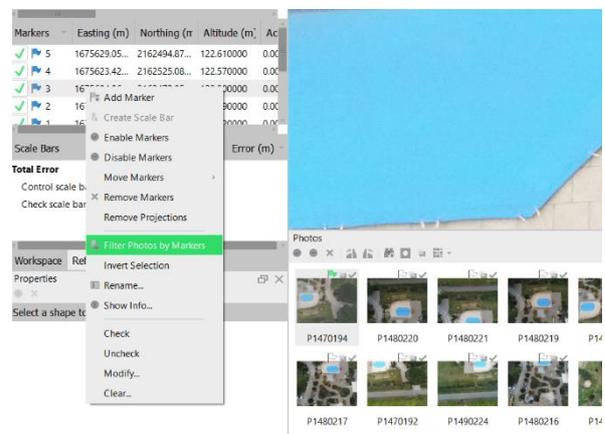


Figure 5-16 sélection automatique des photos avec un marqueur spécifique

Pour réafficher toutes les photos, cliquez sur la jumelle (réinitialiser le filtre).

Double-cliquez sur une photo et repositionnez chaque marqueur à sa position précise directement sur la photo.

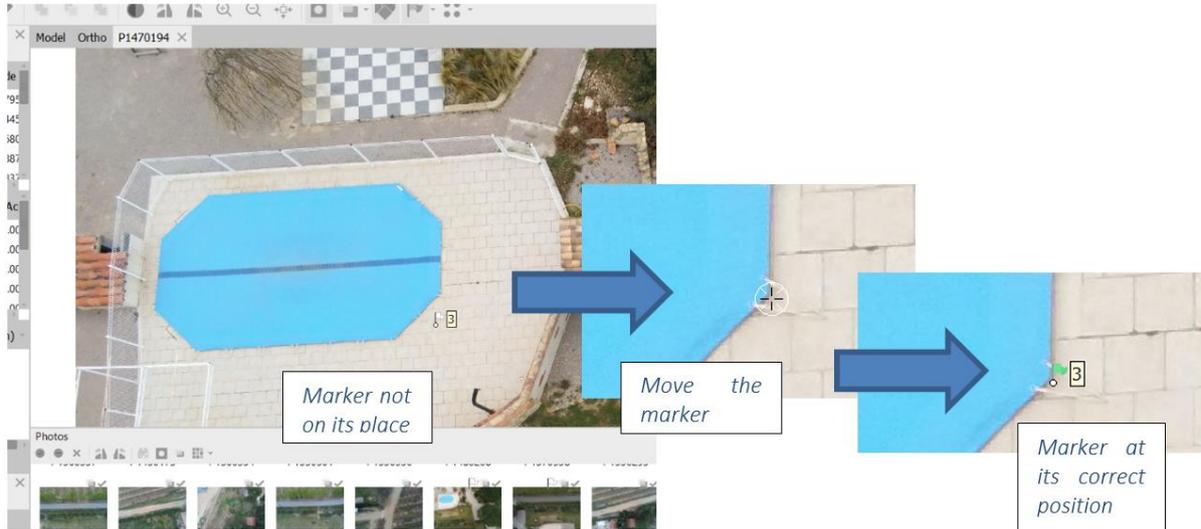


Figure 5-17 positionnement des marqueurs

Sur une première photo, sélectionnez un marqueur (en cliquant dessus) et placez-le sur la référence identifiée (croix, marque de peinture, ...). Vérifiez ensuite sur 2 ou 3 photos contenant le même repère, le bon positionnement du repère.



Note : il est préférable de ne pas oublier de placer les cibles ( ) sur le sol !

- Les points d'échelle qui doivent être utilisés pour le calcul de l'échelle du nuage de points doivent être cochés et ceux (généralement moins fiables) qui doivent simplement être utilisés comme points de contrôle doivent être décochés.
- Une fois les points repositionnés et les points d'échelle vérifiés, il faut lancer le calcul qui transforme le nuage de points pour l'adapter aux points de référence.

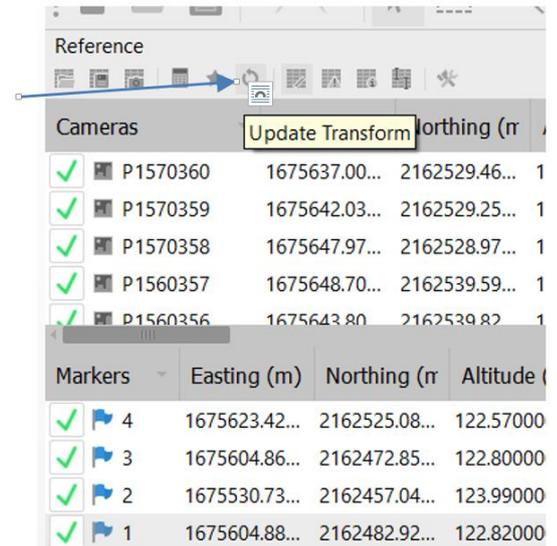
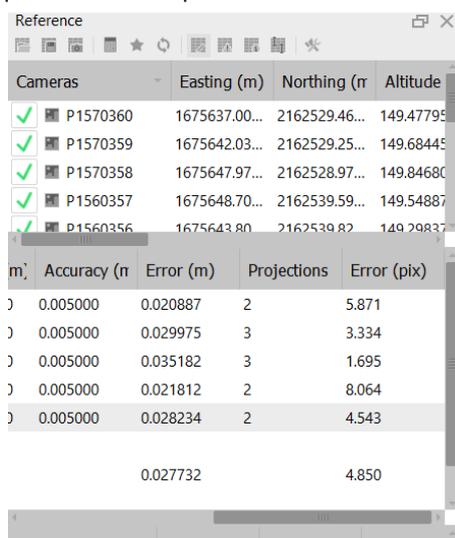


Figure 5-18 calcul de la transformation de lancement

Le **contrôle de la qualité** de la transformation et des points utilisés doit être surveillé afin d'ajuster les points utilisés si nécessaire.

Si les erreurs semblent cohérentes pour les points de référence utilisés, il est possible de passer à l'étape suivante.



m	Accuracy (n)	Error (m)	Projections	Error (pix)
)	0.005000	0.020887	2	5.871
)	0.005000	0.029975	3	3.334
)	0.005000	0.035182	3	1.695
)	0.005000	0.021812	2	8.064
)	0.005000	0.028234	2	4.543
		0.027732		4.850

Faites glisser les coordonnées de référence pour visualiser les résultats de la transformation : ici, l'erreur moyenne n'est que de 2,78 cm, ce qui est acceptable.

Figure 5-19 erreurs relatives de positionnement des marqueurs après transformation



*Figure 5-20 nuage de points mis à l'échelle et géoréférencé avec précision*

## 5.6 Mise à l'échelle du nuage de points par des marqueurs dimensionnels

Cela permet de mettre à l'échelle le nuage de points, mais pas de le géoréférencer.

Principalement utilisé pour les bâtiments (ou les objets).

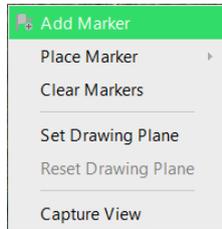
Pour ce travail, une ou plusieurs références dimensionnelles sont nécessaires : mesurer certains éléments du bâtiment sur place.



Figure 5-21 dimensions mesurées sur une porte

## Méthode : Metashape Barres d'échelle

Double-cliquez sur une photo en bas de l'écran pour l'afficher au centre, cliquez avec le bouton droit de la souris : Choisir : Ajouter un marqueur



- Positionner sur les photos concernées les marqueurs (Point 1, Point 2 ...) correspondant aux distances connues et si nécessaire les repositionner sur d'autres photos, jusqu'au positionnement correct de celles-ci.

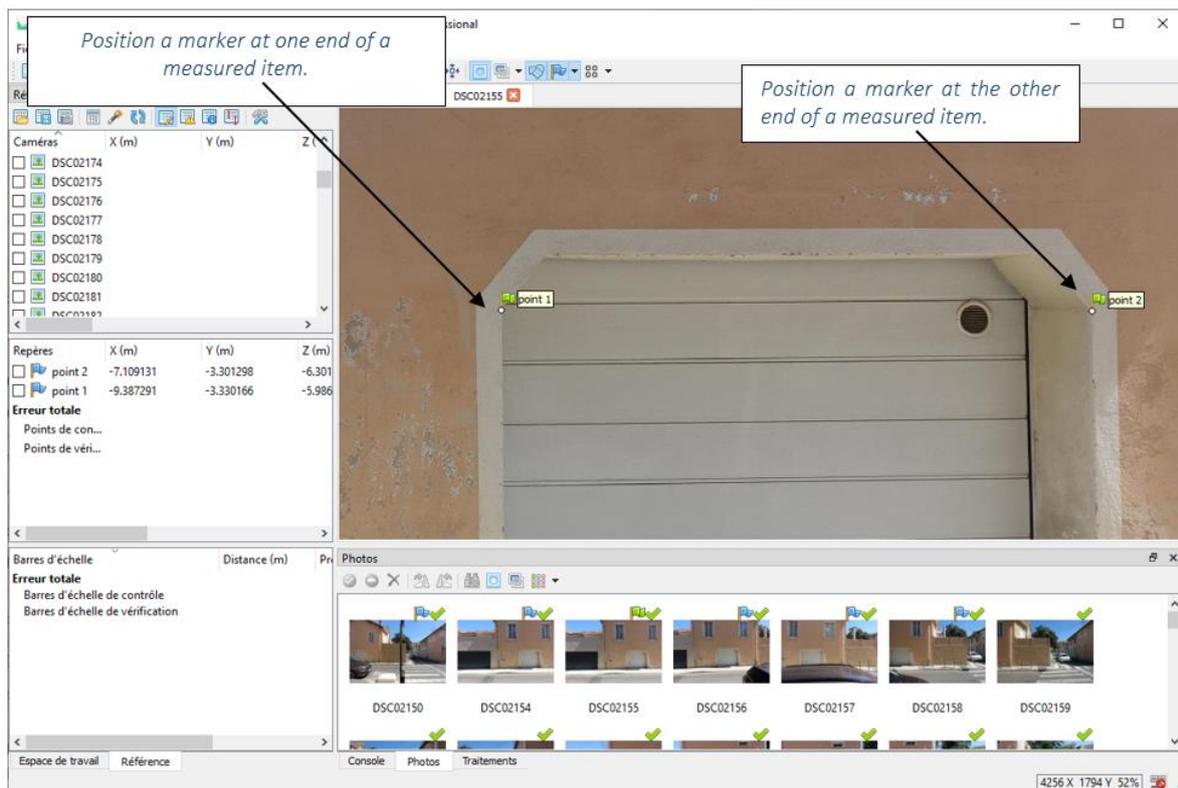
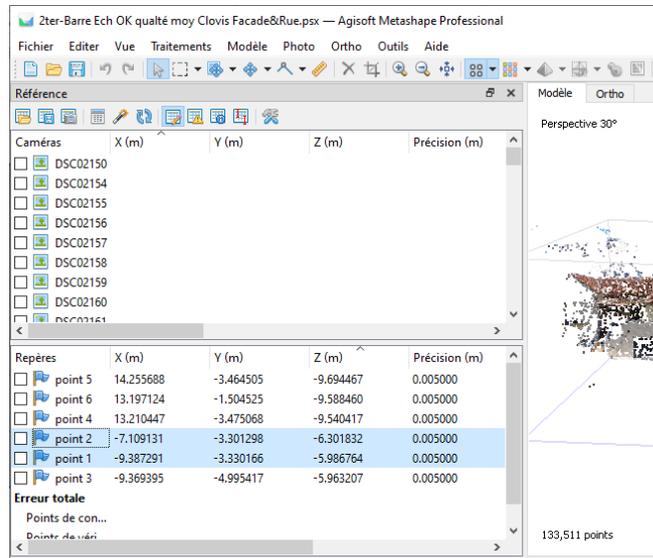


Figure 5-22 marqueurs sur une photo

- Sélectionnez à l'aide de touche Ctrl l'onglet Référence, sélectionnez les 2 marqueurs concernés une distance connue.



la  
par

Figure 5-23 points de mise à l'échelle sélectionnés

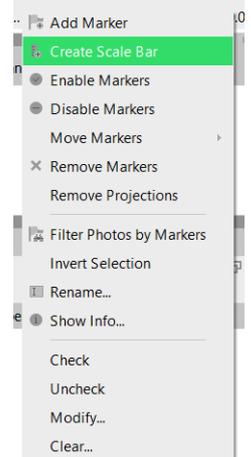
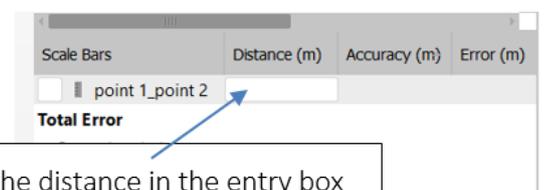


Figure 5-24 menu contextuel pour créer une barre d'échelle

- En cliquant avec le bouton droit de la souris sur un point sélectionné, affichez le menu contextuel et sélectionnez :
- Créer une barre d'échelle.
- Double-cliquez dans la zone de distance située après la barre d'échelle nouvellement créée et saisissez sa longueur connue en mètres.

Faites-le avec toutes les longueurs mesurées sur le chantier.



Set the distance in the entry box

Figure 5-25 réglage de la distance

- Mettre à jour la transformation pour prendre en compte la barre d'échelle créée.

Nota : En ce qui concerne les points de référence, les barres d'échelle vérifiées sont prises en compte pour les calculs de transformation, tandis que ceux qui n'ont pas été vérifiés sont utilisés uniquement à titre de contrôle.

- Vérifier la qualité de la transformation en vérifiant les valeurs des erreurs résultant de la transformation.

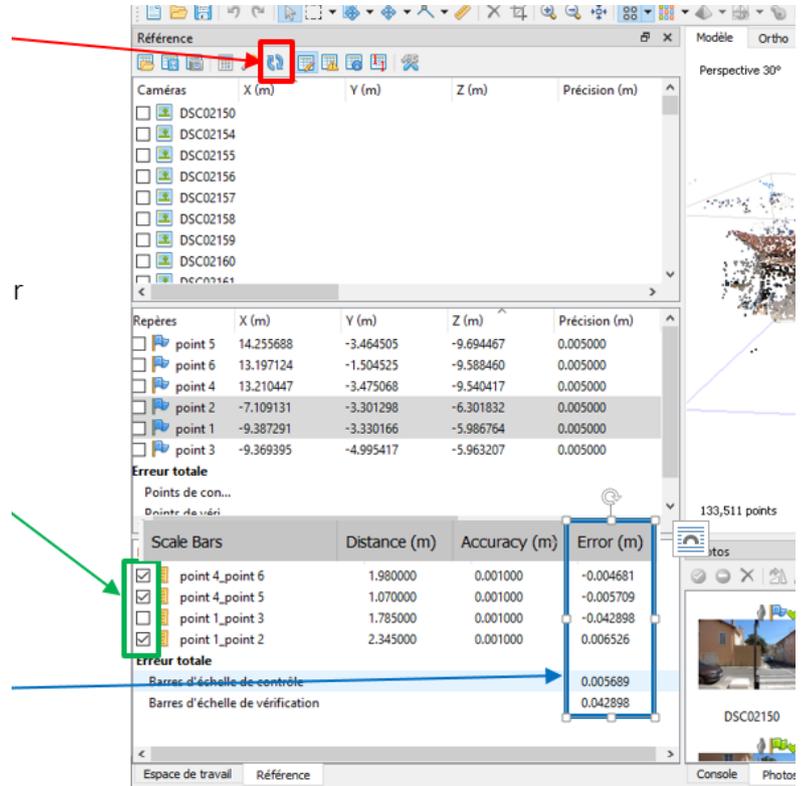


Figure 5-26 vérification de la précision après transformation du nuage de points

- Vérifier la mise à l'échelle

Une fois la mise à l'échelle effectuée, peu importe la méthode, il est possible de mesurer les distances entre différents points à l'aide de la commande Ruler (touche espace pour effacer).

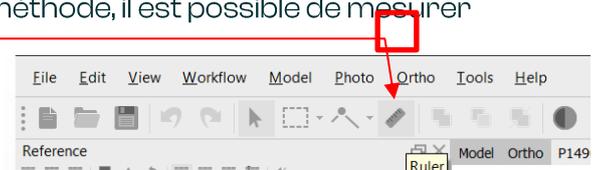


Figure 5-27 contrôle dimensionnel manuel après transformation du nuage de points

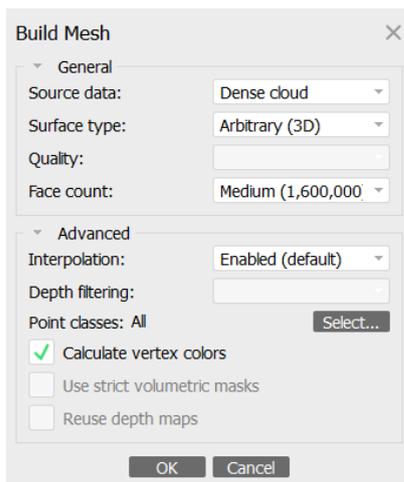
# 6. Obtention d'un maillage simple ou d'un maillage avec textures

## 6.1 Élaboration d'un maillage 3D

Cette étape permet de créer des surfaces polygonales à partir du nuage dense, on a des surfaces colorées au lieu d'avoir des points, ce qui est plus réaliste en général. Cette étape est indispensable pour obtenir l'orthophoto.

Il est alors possible de visualiser la modélisation avec différents modes d'affichage (ombré, solide, filaire).

Menu workflow : construire le maillage...

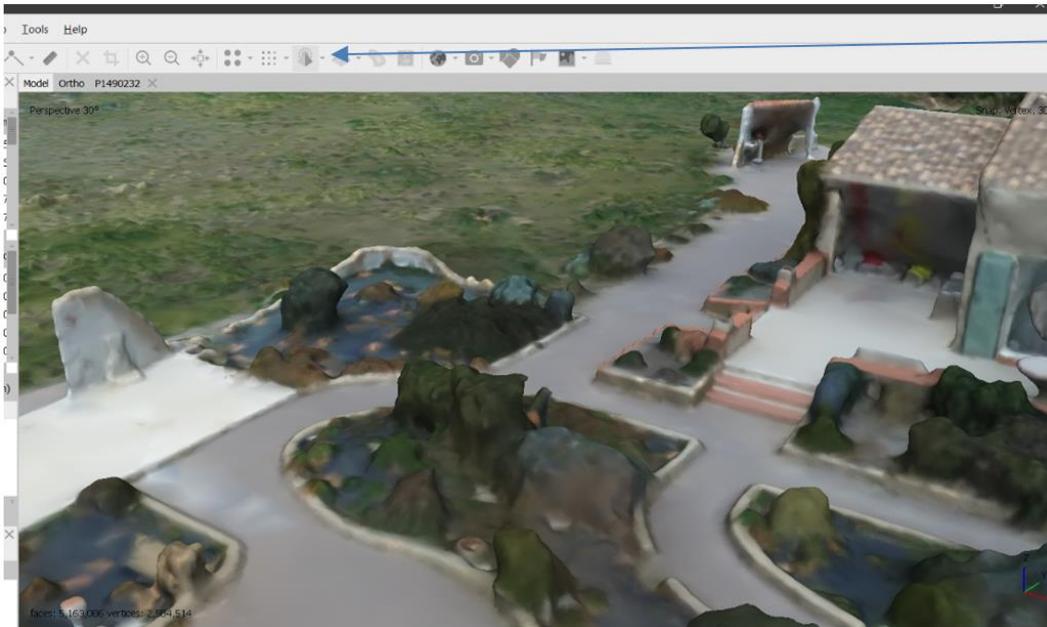


L'utilisation de "**arbitraire**" crée un maillage 3D habituel avec des faces tout autour des objets ; "**height field**" est une surface qui monte verticalement, ce qui est mieux pour les terrains, les surfaces planes, les paysages, le volume d'un tas dans une carrière... cela utilise moins de mémoire et d'énergie de la part de l'ordinateur mais a un rendu moins réaliste.

**Le nombre de face** dépend de votre ordinateur, du résultat attendu, et de la capacité de l'ordinateur de votre client à visualiser le maillage...

**L'interpolation** réduit le nombre et la taille des trous dans le modèle ; si elle est désactivée, tous les trous sont conservés et doivent être traités ultérieurement.

**L'extrapolation** remplit tous les trous, mais elle génère parfois une fausse géométrie ; elle peut également être traitée ultérieurement.



Cliquez pour  
sélectionner la  
vue du  
maillage

Ci-contre : Le  
maillage avec  
un nombre  
élevé de faces

Figure 6-1 maillage fabriquée avec un nombre de faces "élevé"

Ci-dessous : Le maillage avec un nombre de faces moyen



Figure 6-2 Maillage réalisé avec un nombre de faces "moyen"

NB : plus l'alignement est élevé, meilleur est le maillage.

Avec l'icône "mesh view"  vous pouvez voir

- Le maillage sans couleurs "vue solide"

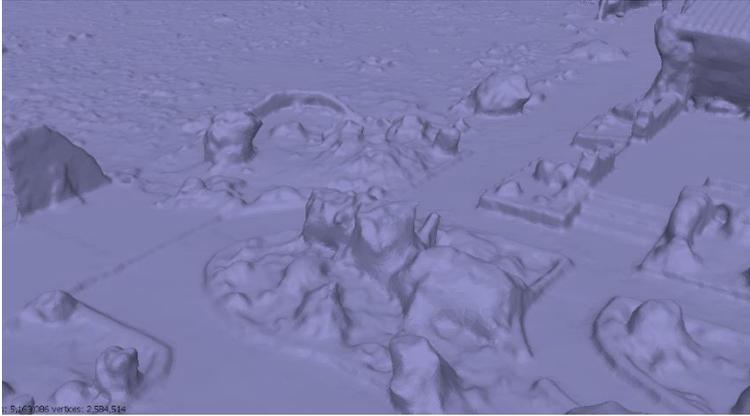


Figure 6-3 Maillage en vue solide

- L'image filaire du maillage

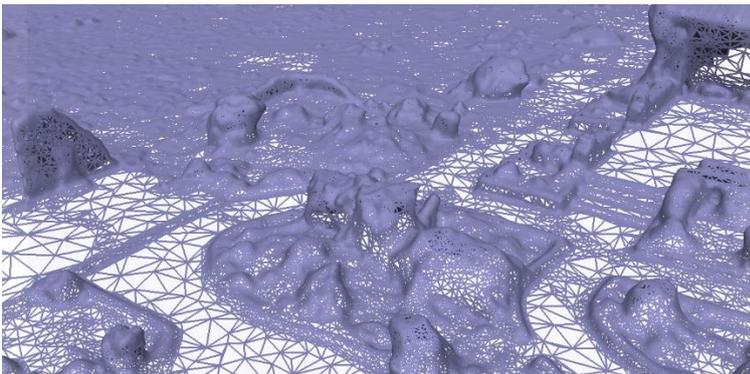


Figure 6-4 maillage en vue filaire

- La confiance du maillage, ici, n'est pas très bonne :

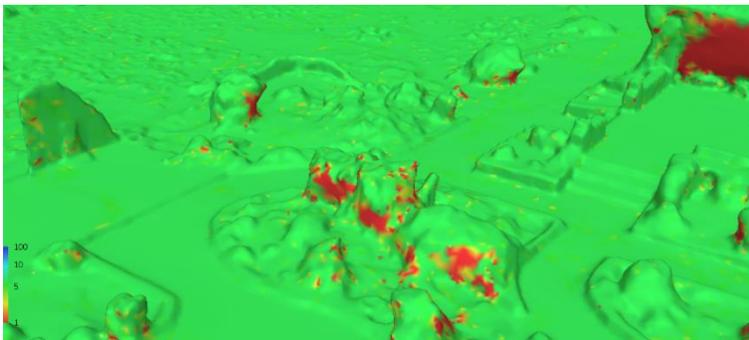


Figure 6-5 confiance dans le maillage

bleu= 100%,  
vert= moyen,  
rouge= mauvais

## 6.2 Création d'une texture sur le maillage

Précaution : si les photos ne sont pas uniformes en termes de luminosité ou de couleur, utilisez "outils // calibrer les couleurs" et le logiciel effectuera une standardisation des couleurs pour obtenir une meilleure texture.

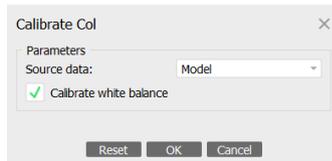


Figure 6-6 étalonnage des couleurs des photos avant la création d'une texture

Cette étape permet de choisir et d'appliquer les paramètres de création des textures (à partir des photos) qui seront appliquées au modèle 3D dans l'étape suivante. Une bonne texture permet d'obtenir une bien meilleure qualité visuelle du modèle final.

Flux de travail : **construire la texture...**

"diffuse map" est le mode de texturation normal ("normal" calcule l'éclairage pour le post-traitement et "occlusion" applique les nuances de l'arrière-plan).

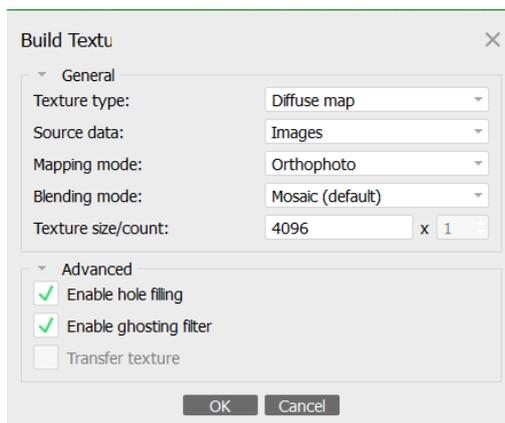


Figure 6-7 menu de traitement des textures de construction

La source d'images est la plus précise

Le mapping "orthophoto" place les couleurs pour la vue ortho, et le mapping "orthophoto adaptative" place les couleurs avec une meilleure précision sur les objets verticaux (mieux pour les façades ou les falaises photographiées depuis le haut).

Le mélange (blending) "moyen" utilise les couleurs du point le mieux défini des photos.

Le remplissage des trous permet d'obtenir un résultat sans blancs mais il étale « au mieux » la texture.

L'activation du filtre anti-fantômes permet d'éliminer les objets en mouvement qui ne sont pas clairs ou qui ne sont pas présents sur toutes les images (des passants, oiseaux...)

NB : appliquer une seule image comme texture peut donner un effet amusant si vous donnez une autre photo que celle du lieu à modéliser...



Modèle texturé  
Notez les détails  
comme le  
trottoir, les  
bords des  
murets...  
... mais pas  
encore parfait.

Figure 6-8 maillage texturé

## 6.3 Générer un modèle tuilé

Un modèle tuilé permet de stocker des modèles de grandes zones ou des modèles très fins de petites zones : les détails ne sont affichés qu'en cas de zoom.

Menu process : construire un modèle tuilé

Les cartes de profondeur sont généralement choisies et stockées, le nuage dense est une alternative.

Définir la qualité et la taille des pixels (valeurs par défaut)

Si la taille de la tuile est petite, la visualisation est plus rapide.

Les autres options sont par défaut

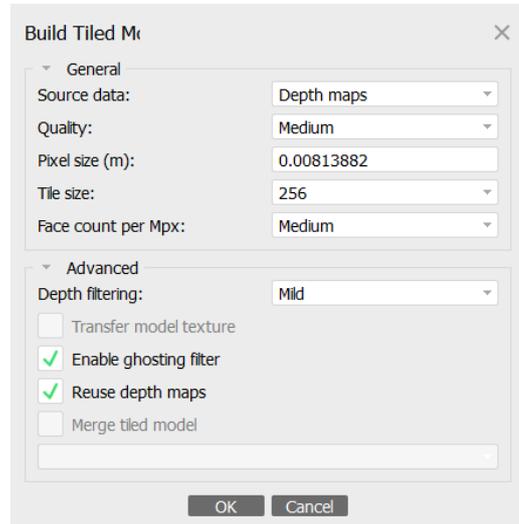


Figure 6-9 menu de traitement des modèles tuilés

Le modèle tuilé est très réaliste :



Figure 6-10 vue du modèle tuilé

Le trottoir est digne d'une photo, de même que les murets, mais regardez l'angle de la maison... ce n'est pas le bon !

A l'intérieur de la terrasse couverte, vous pouvez voir les photos « étalées » de l'option "remplissage des trous".

Le modèle entier, avec les marqueurs, est toujours au même endroit : le maillage n'a pas modifié la géométrie ou la géolocalisation.



Figure 6-11 modèle entièrement tuilé - notez que la position du marqueur est toujours à droite

Voyons quelques détails...

La piscine est entourée d'un  
Le grillage... il a disparu,  
Mais il est visible du côté du mur  
Et du côté de la piscine



Figure 6-12 Le modèle tuilé se positionne par défaut sur la clôture métallique de la piscine.



Figure 6-13 modèles tuilé par défaut

La gouttière n'est pas droite, de même que la porte de garage.

Le tronc d'arbre est absent

Les structures de l'abri de voiture n'ont pas de poteaux.

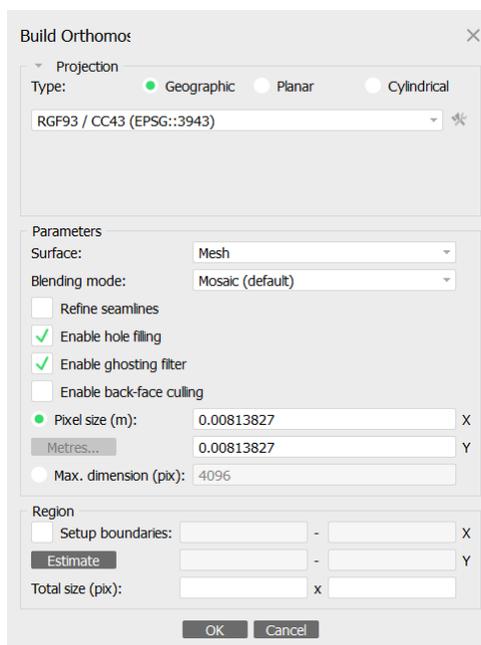
**Cause:** pas de (bonne) photo pour les définir = il faut des photos obliques, par exemple par un vol circulaire autour des maisons, puis fusionner les morceaux et reconstruire le maillage.

## 7. Obtention d'une orthophoto ou d'une orthomosaïque

Cette étape permet de créer une image 2D du modèle obtenue par projection orthogonale du maillage sur une surface plane ou développable.

NB : toutes les erreurs ou trous dans le maillage seront visibles sur l'orthomosaïque, qui n'est qu'une projection du maillage.

Menu process : Construire une orthomosaïque...



Ici, il s'agit d'un terrain, donc la projection est géographique, dans le système géodésique légal du pays. S'il s'agit d'une façade, on choisit "planaire" et on place 3 points sur la façade pour la projeter sur le plan qu'ils définissent.

Nous utilisons toutes les valeurs par défaut

L'activation du filtre anti-fantômes n'est pas prévue par défaut.

Figure 7-1 menu de traitement de l'orthomosaïque

Une région peut être définie pour ne pas générer une orthophoto de l'ensemble du modèle.

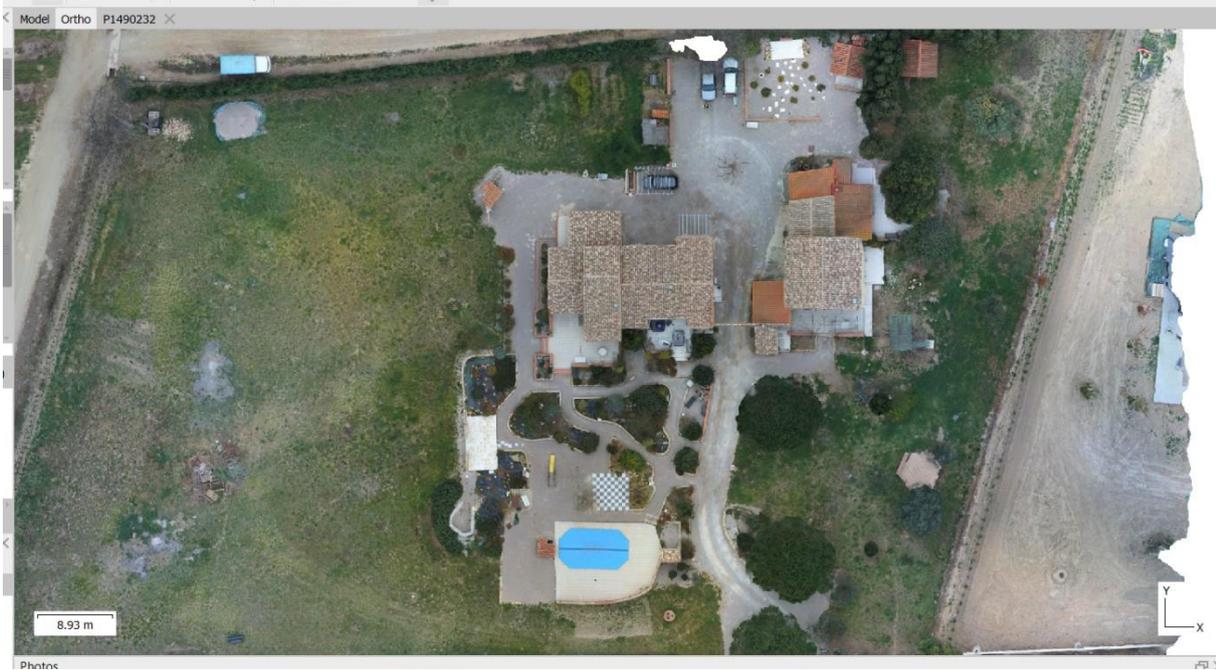


Figure 7-2 résultat de l'orthophoto

Vous pouvez vérifier les dimensions de certains objets pour vous assurer de la mise à l'échelle.

Vous pouvez également comparer certaines coordonnées avec celles obtenues par un relevé aux instruments classiques.

## 8. Créer un modèle numérique d'élévation

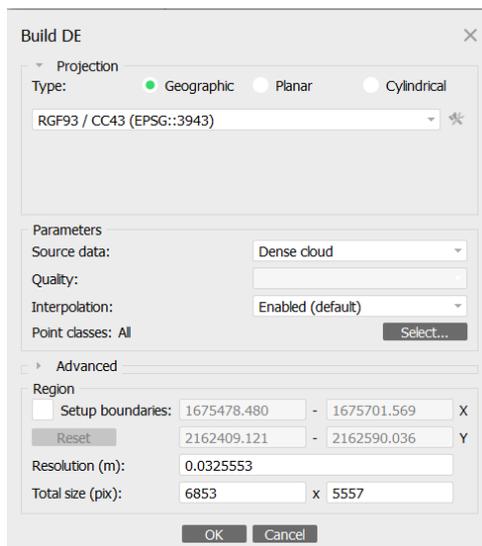
Cette étape crée une "vue en plan 2,5D" avec des élévations stockées dans une grille régulière.

Deux types de résultats peuvent être obtenus :

- Le MNS : modèle numérique de surface = tous les points du modèle avec leur altitude par rapport à la surface de la terre. Tout est sur le MNS : la végétation, les bâtiments, les clôtures... plus le sol.
- Le MNT : modèle numérique de terrain = uniquement le sol = il doit être filtré par une opération préalable sur le maillage : la classification du maillage. Cette opération va faire "automatiquement" la différence entre le sol, les arbres, les bâtiments... et ensuite le sol peut être filtré pour n'obtenir que le terrain 2,5D, le MNT.

### Construire un DSM (digital surface model)

Menu **workflow : construire DEM...** (digital elevation model)



Utilisez une projection plane si vous souhaitez définir une référence "zéro" différente de l'élévation géographique.

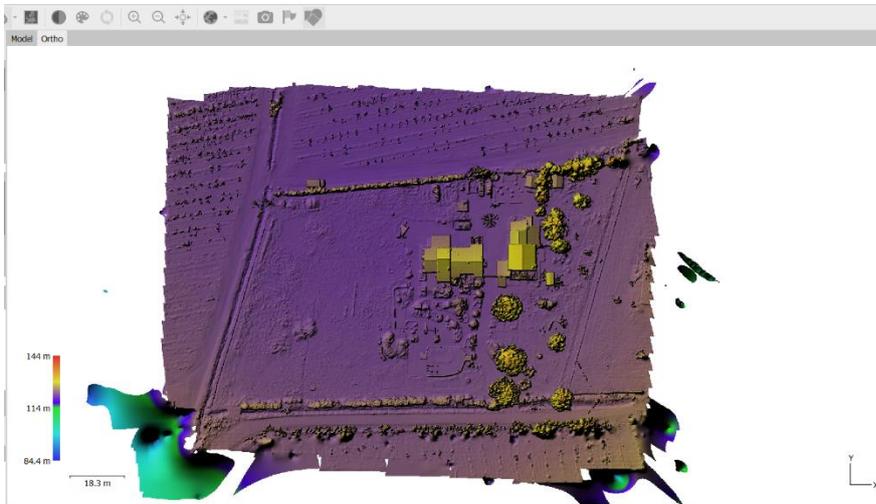
Les nuages denses sont la source recommandée

Pour le DSM, activer l'interpolation

La résolution de la grille d'élévation est automatique, mais il est possible de réduire la zone à traiter

Figure 8-1 Menu de traitement des MNE

Résultat : sans précaution sur les bords du nuage dense



Visualiser le résultat sur l'écran "ortho".

Ici, le travail d'interpolation a créé des aberrations sur les bords.

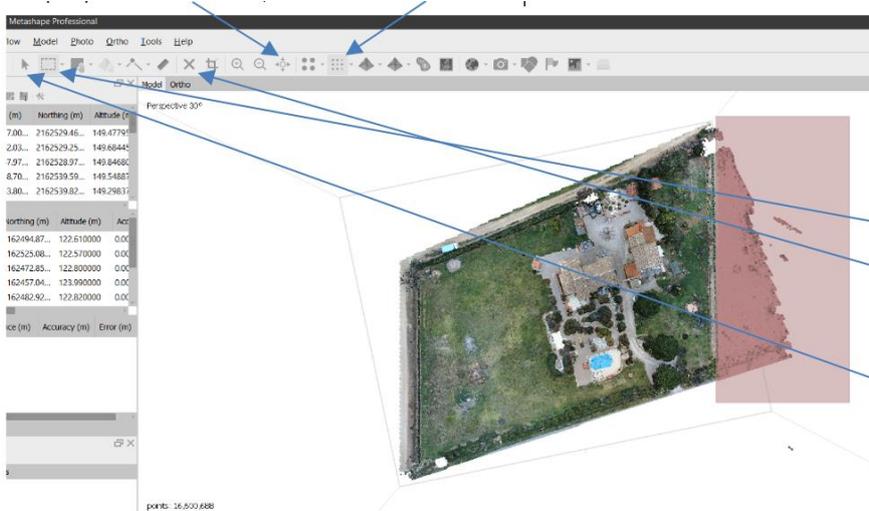
Notre nuage dense était mauvais sur les bords, il faut le découper !

Figure 8-2 Résultat du MNE

Couper le nuage dense

Le nuage dense doit être limité à l'endroit à modéliser et aux points positifs :

Afficher la vue de face et le nuage dense



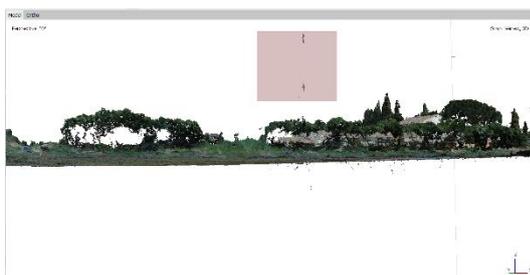
Tournez le nuage pour placer un côté parallèle à la fenêtre (restez dans la vue du plan X,Y, n'allez pas en 3D).

Utiliser la sélection rectangle

Cliquez sur "supprimer"

Revenez au mouvement de la flèche et répétez l'opération avec tous les côtés.

Figure 8-3 coupe de nuages denses en vue plane



le faire également sur le côté, avec une vue X,Z ou Y,Z

Figure 8-4 coupe de nuages denses en élévation (vue latérale)

projet d'enregistrement à finaliser

Le nuage de points ne contient plus que la zone à calculer, les bons points.

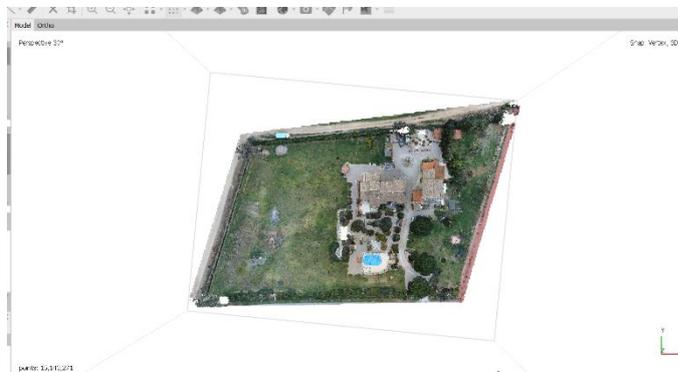
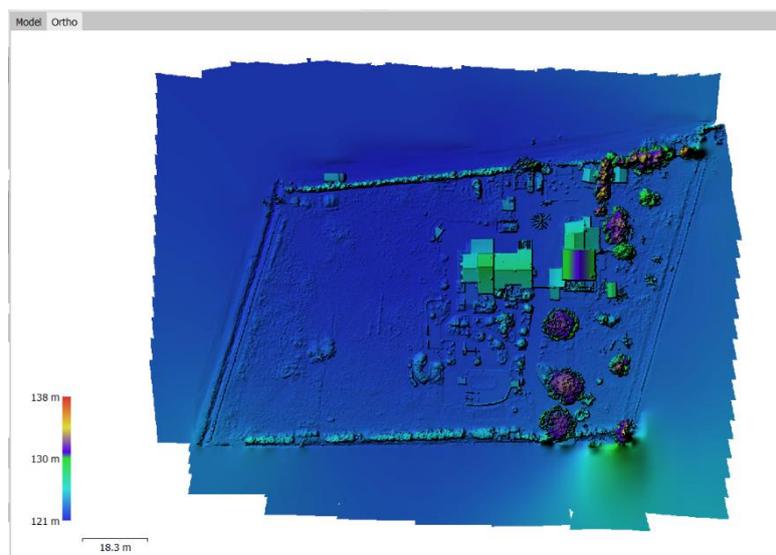


Figure 8-5 nuage dense limité au chantier

Répéter l'opération : Menu **workflow : build DEM...**



le DEM précédent est  
remplacé

Il y a encore des  
incohérences sur l'un des  
bords, mais l'échelle des  
couleurs est maintenant  
correcte.

Notez que le toit de la  
construction la plus haute  
est de couleur différente,  
c'est normal, la couleur  
dépend de l'altitude.

Figure 8-6 DEM limitée au chantier

Notez que les bords du MNE restent larges : le modèle s'étend toujours jusqu'à la limite des photos. Les photos peuvent être recadrées...

Construire un MNT (modèle numérique de terrain) : la classification d'abord

Avant de passer à la "construction du MNT", il est nécessaire de classer le nuage de points.

Cette opération permet de rattacher chaque point à une catégorie : sol, végétation, bâtiments... Il sera alors possible de créer un nouveau MNE avec uniquement le sol pour obtenir un modèle numérique de terrain approprié.

Menu outils : nuage dense classer les points au sol...

Essayez d'abord avec les valeurs par défaut

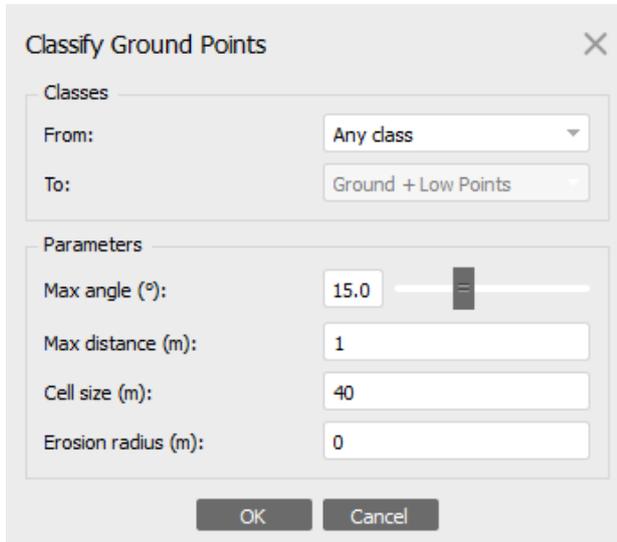


Figure 8-7 menu de classification des nuages denses

L'angle de 15° convient aux pentes douces, si les pentes sont plus fortes, placez un angle plus élevé, ou s'il y a des rochers sur le sol ou des falaises. Cet angle est un test entre deux points à classer.

La distance maximale est la variation verticale maximale entre 2 points proches : élimine les murs, les troncs...

Une cellule ne contient pas de point d'appui, placez-la en grand.

Le rayon d'érosion est une distance qui permet d'exclure un point à la base du point de non-sol, il élimine leur "souche".

Effectuer des tests pour obtenir le bon MNT.

Afficher le résultat avec la barre d'outils

La classe de sol est colorée en marron

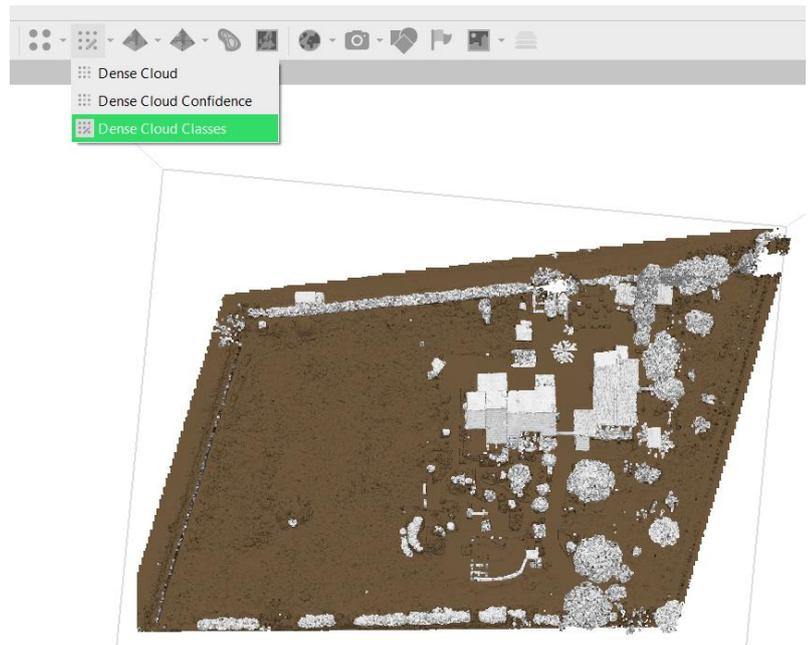


Figure 8-8 nuage dense : points de classe sol

Modifiez les paramètres, et réessayez si ce n'est pas correct : en bas, vous voyez le résultat de la "distance maximale de 1 m" : les murs sont assimilés au sol sur une hauteur de 1m.

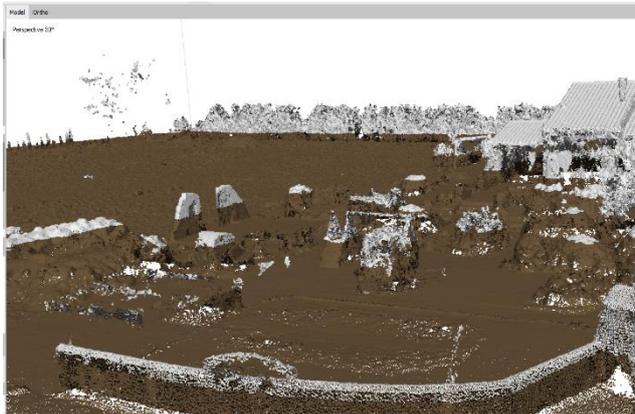


Figure 8-9 nuage dense classe de sol points vus de près : les murs sont dans la mauvaise classe à cause de la distance maximale de 1m.

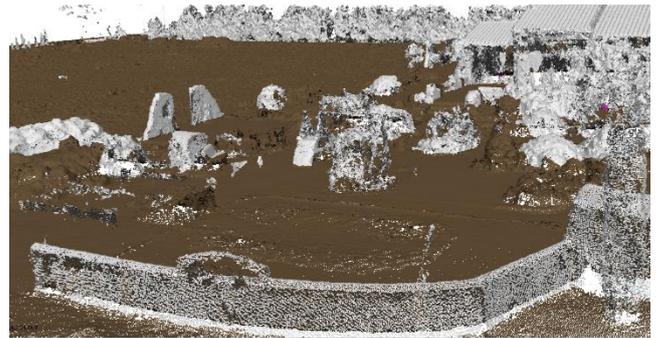


Figure 8-10 nuage dense classe de sol points corrects

Nouvel essai avec une distance maximale de 0,1m et un rayon d'érosion de 0 m :

Les murs sont totalement enlevés, mais pas toute la petite végétation

Menu workflow : **construire MNT...**

Cliquez sur "select" à côté de "point classes" et sélectionnez uniquement "ground"

Interpolation activée

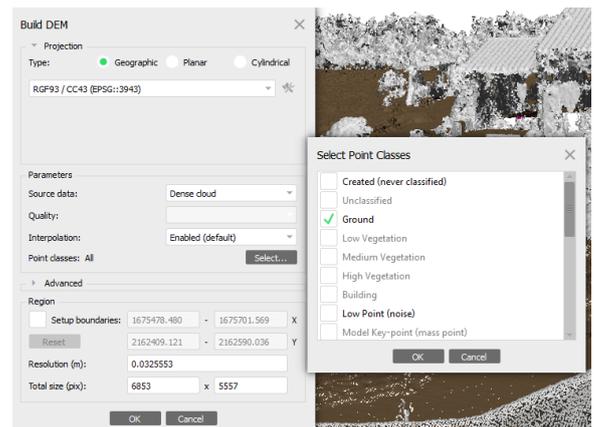


Figure 8-11 construire le menu MNT avec la sélection de la classe sol

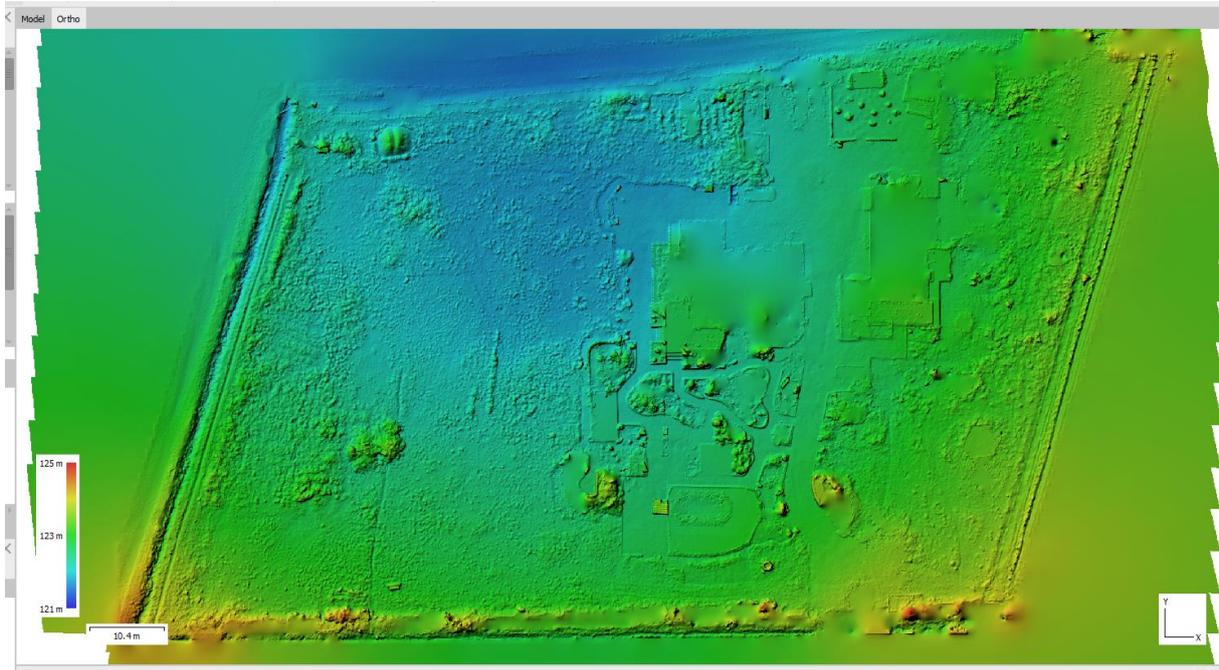


Figure 8-12 obtenue en traitant uniquement les points de la classe de sol

Le MNT exclut les maisons, les murs et les arbres.

Mais il conserve une végétation basse, des constructions basses...

Il ne s'agit pas d'un véritable MNT comme s'il avait été levé à l'aide d'une station totale et d'une perche à prisme, ou d'un vol de drone LIDAR.

La seule façon d'obtenir un véritable MNT par photogrammétrie est de ne pas avoir de végétation du tout, comme dans une carrière :

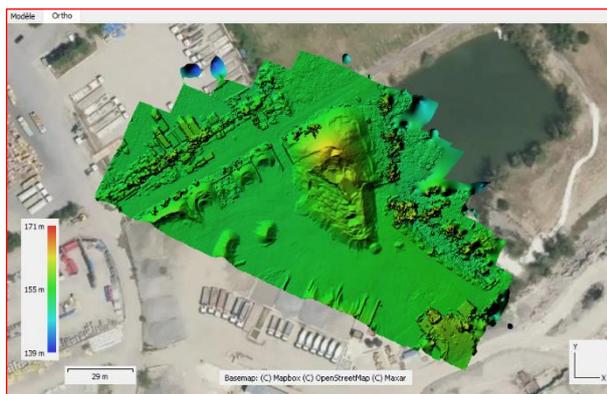
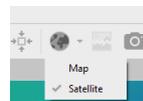


Figure 8-13 MNT d'une carrière

Ce MNT d'une carrière est très précis

La vue satellite s'affiche (cliquez sur ).



Comme le modèle est géoréférencé, il se positionne parfaitement dans la vue satellite. (problème : il n'est pas possible de sélectionner la source de la vue satellite avec une version inférieure à 2.0 de metashape)

Sur cette partie agrandie, voyez comment les parties "sans sol" sont remplies : comme une toile tendue entre les points tout autour.

Sous les maisons, les voitures, les arbres. Voir aussi que la végétation basse est faussement intégrée au MNT...

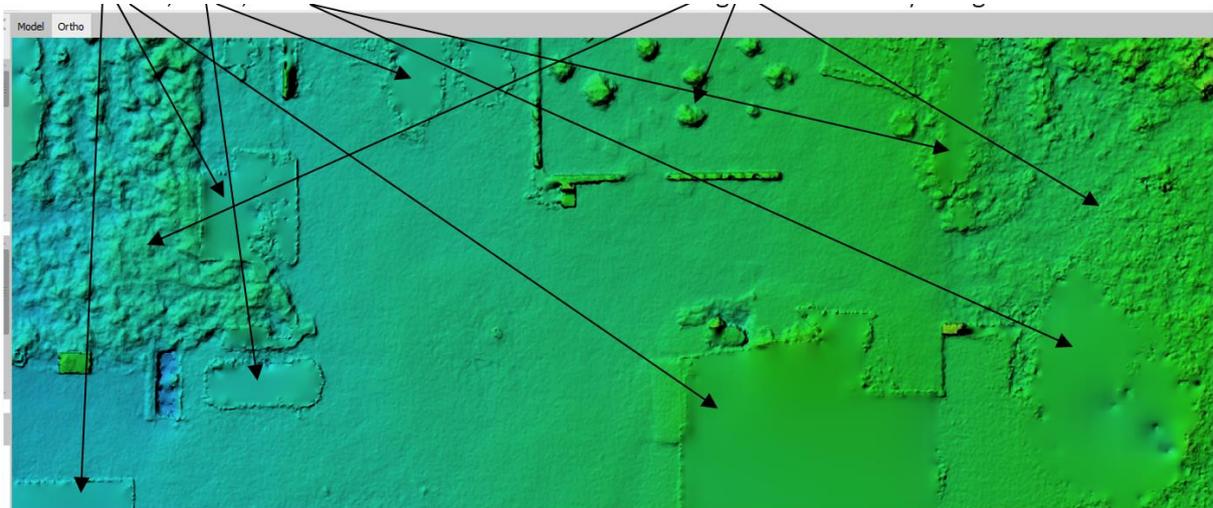


Figure 8-14 MNT après traitement

Le même endroit dans le modèle tuilé:

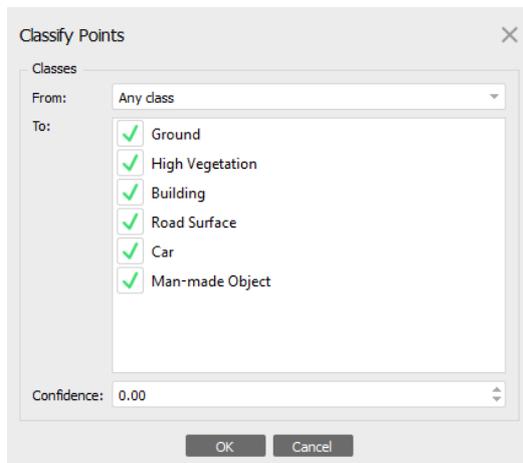


Figure 8-15 modèle tuilé, on y voit tous les éléments retirés par la classification pour obtenir le MNT

## 9. Classification d'un nuage de points

Dans l'étape précédente, la classification ne concernait que le sol, affinons la classification, pour ne supprimer que certains objets, et peut-être obtenir un meilleur MNT...

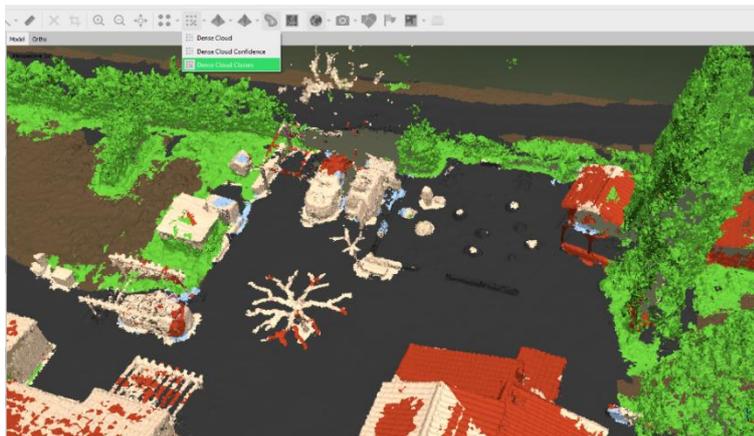
Menu outils : nuage dense **classer les points**



Sélectionner tout, ou pas.

La confiance varie de 0 : tous les points seront classés... à 1 : un point qui ne peut être clairement classé restera non classé

Figure 9-1 menu classification des points



résultat : (cliquer sur les classes de nuages denses)

vert = végétation

marron = sol

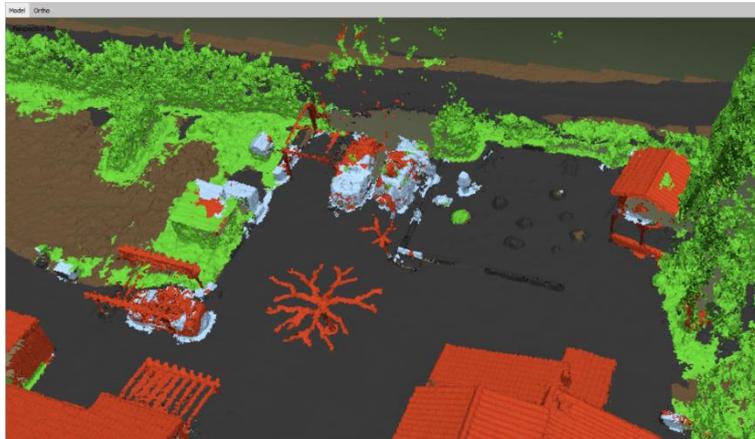
rouge = bâtiments (!!)

gris sombre = route

bleu clair = voiture (!!)

marron clair = objets fabriqués par l'homme (!!)

Figure 9-2 points classés mauvais résultat



Affiner en désélectionnant  
"objets fabriqués par l'homme":  
un peu mieux, en particulier  
pour les bâtiments  
pas pour les voitures  
pas pour l'arbre central (il s'agit  
maintenant d'un bâtiment)  
pas pour la végétation basse

Figure 9-3 points classés meilleur résultat, encore imparfait

Utilisons cette classification pour obtenir un MNT, en sélectionnant sol + route :

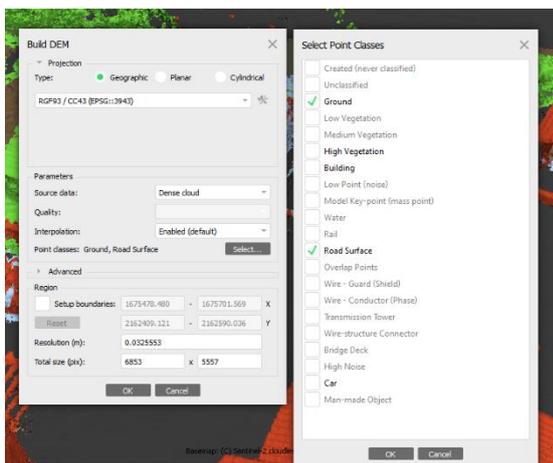


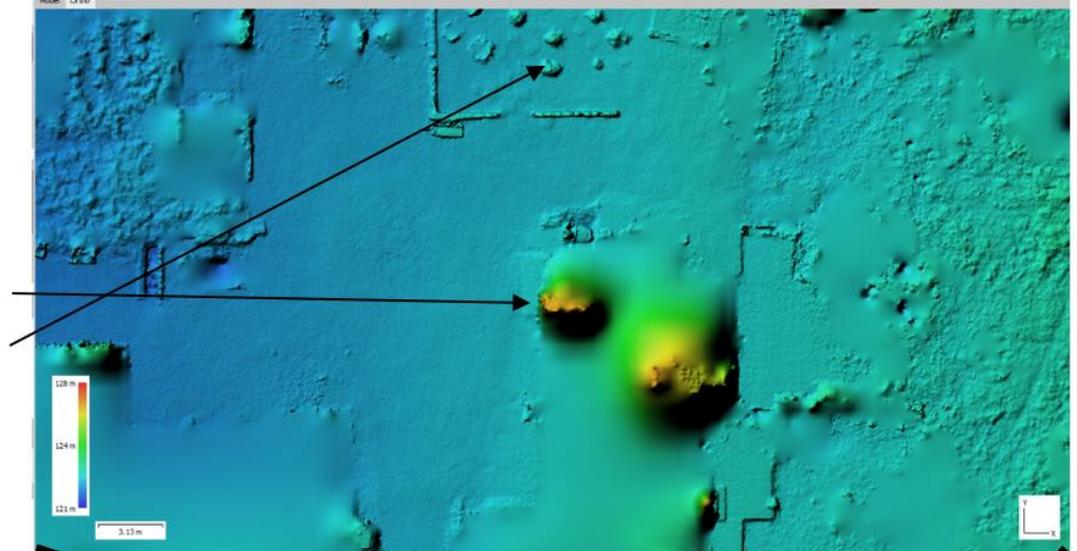
Figure 9-4 Menu MNT avec le sol et la route sélectionnés pour le MNT

Résultat au même endroit :

Si des points mal classés apparaissent, il faut les classer manuellement dans la bonne catégorie :

Bâtiment

Végétation basse



Résultat global :

Certaines erreurs doivent être corrigées

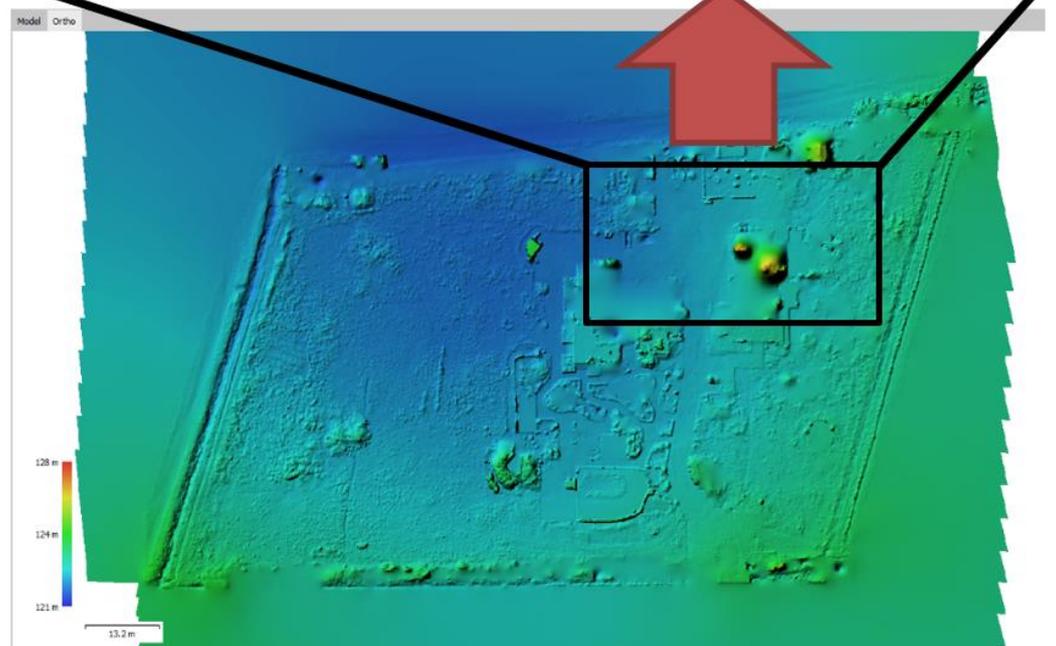


Figure 9-5 Résultat du MNT avec sélection du sol et de la route et zoom sur les détails

Attribution manuelle des classes pour avoir un MNT plus réaliste.

Classification manuelle : afficher d'abord uniquement les points du sol et de la surface de la route (outils // nuage dense // filtrer par classe)



Figure 9-6 nuage de points affichant uniquement le sol et la surface de la route

Sélectionner les points à modifier :



Figure 9-7 Sélection rectangulaire de quelques points mal classés

Une fois les points sélectionnés, cliquer sur

Outils // Nuage dense // assigner une classe (possible seulement si les points sont préalablement sélectionnés)

Et assigner la bonne classe

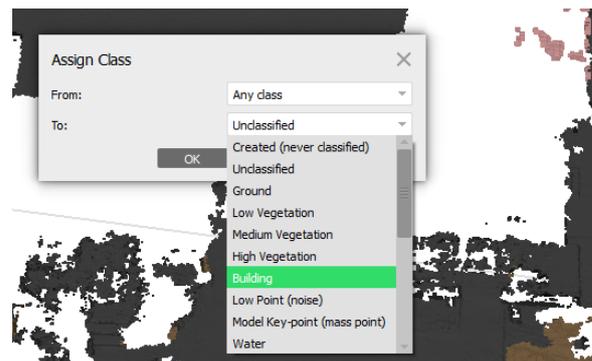


Figure 9-8 attribution de la classe "bâtiment" aux points sélectionnés

Les points disparaissent de l'affichage car ils ne font plus partie des classes affichées. Il est donc possible de travailler sur l'ensemble du nuage en le comparant au MNT erroné actuel (basculer entre "modèle" et "ortho"). Déplacer le modèle de manière à voir les points au-dessus du sol :

Ici, le mur du coin barbecue a été classé comme sol  
Et a créé une erreur dans le MNT



Figure 9-9 sélection de points dans une vue latérale

Recalculer le MNT en sélectionnant uniquement les classes "sol" et "revêtement routier".  
Et la zone précédemment zoomée sur le MNT devient :

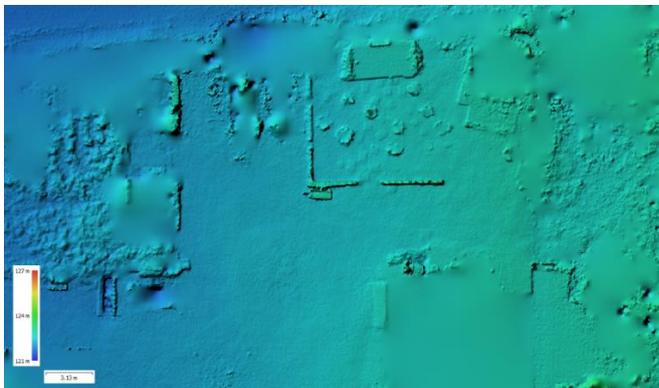


Figure 9-10 zoom précédent du MNT sur les détails, maintenant corrigé

Avec un résultat global bien meilleur :

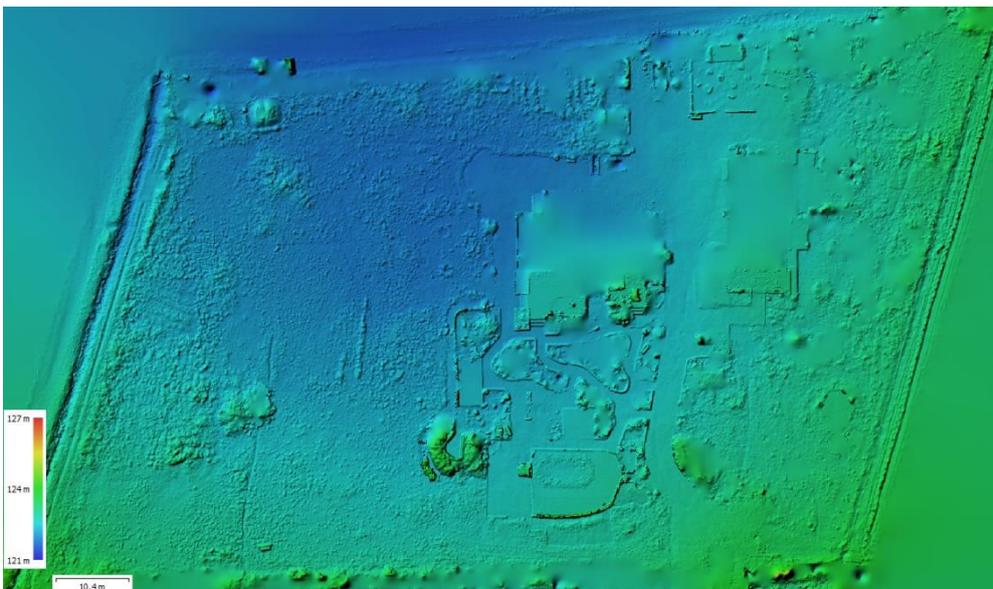


Figure 9-11 Résultat du MNT après affinage de la classification avec sélection du sol et de la route

Rappel : la végétation basse (herbe, plantes...) EST le MNT en photogrammétrie, de sorte qu'un VRAI MNT ne peut être obtenu que s'il n'y a PAS de végétation.

# 10. Exporter un modèle numérique et créer une vidéo

## 10.1 Exporter un modèle

Exporter avec le fichier de menu // export

Choisissez le format d'exportation 3D qui vous convient et ce que vous souhaitez exporter.

Tout dépend du logiciel de destination et de l'utilisation du modèle. Vérifiez quel type de fichier 3D ou 2D le logiciel de destination peut ouvrir.

- Nuage de points : E57 est courant, ou LAZ (le PDF fonctionne mais lorsqu'on l'ouvre avec pdf reader, il est un peu difficile de déplacer le nuage de points ou le modèle sur un ordinateur peu puissant).
- Modèle : STL est courant
- Modèle en mosaïque : TLS fonctionne par défaut
- Orthomosaïque : JPG ou TIFF ou tuiles google maps

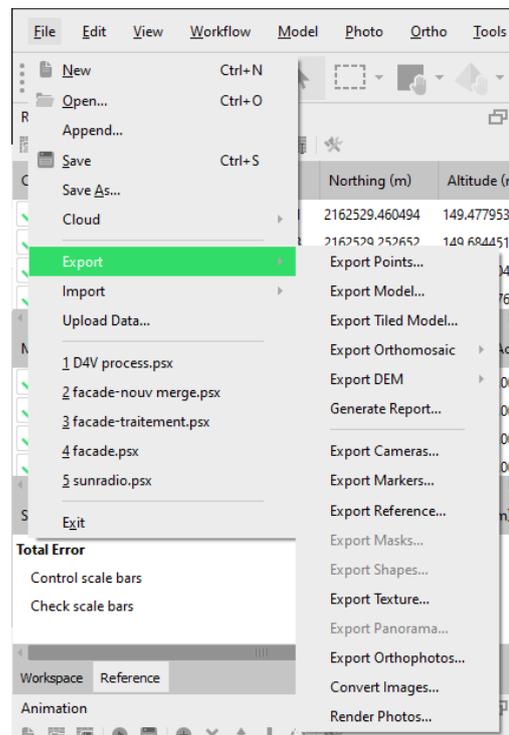


Figure 10-1 menu export

## Ouvrir dans une visionneuse

Exemple de visionneuse gratuite : Agisoft viewer mais il y en a beaucoup d'autres.

Pour visualiser n'importe quel modèle 3D ou 2D : utiliser "ajouter un calque".

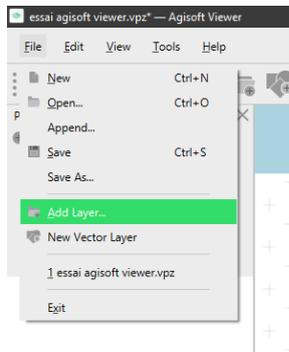


Fig. 10-2 menu fichier dans le viewer Agisoft

Déplace le modèle à l'aide de la molette de la souris (maintenez le clic pour changer de vue, roulez pour zoomer).

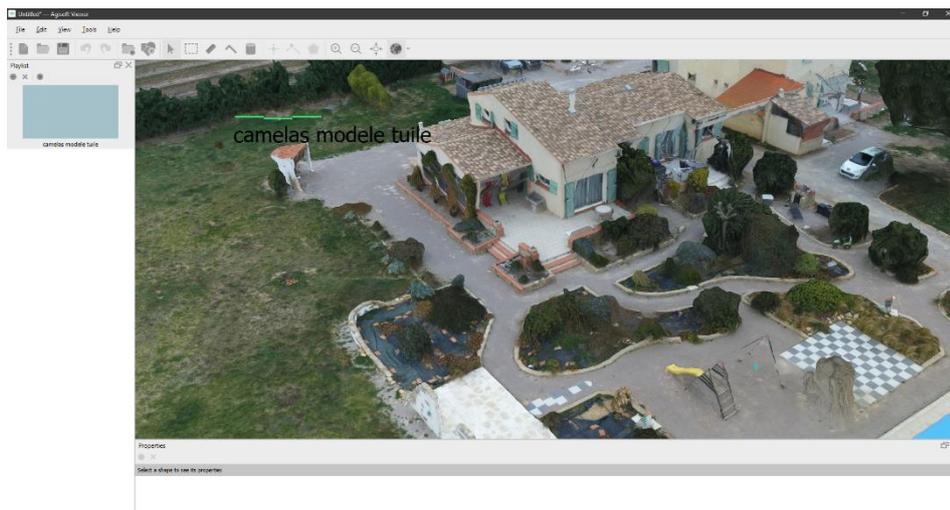


Figure 10-2 Visionneuse Agisoft

## 10.2 Enregistrement de vidéo par Metashape

L'une des façons les plus simples de montrer votre travail est de créer une vidéo du modèle.

Vous pouvez l'envoyer et n'importe qui peut l'ouvrir pour voir vos compétences !

### Vidéo simple " modèle tournant

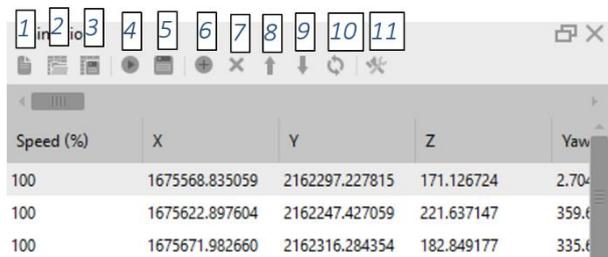
Sans modifier les paramètres, une trajectoire circulaire est créée le long de laquelle une caméra virtuelle fait face au modèle.

Il suffit de l'enregistrer pour obtenir un fichier MP4 de 30 secondes du modèle en train de tourner.

Afficher la fenêtre "animation" à gauche en bas de l'écran :

Figure 10-3 activer la fenêtre d'animation

La fenêtre d'animation apparaît en bas à gauche



Speed (%)	X	Y	Z	Yaw
100	1675568.835059	2162297.227815	171.126724	2.704
100	1675622.897604	2162247.427059	221.637147	359.6
100	1675671.982660	2162316.284354	182.849177	335.6

1: Créer une nouvelle animation

2: charger un chemin de caméra

3: enregistrer une trajectoire de caméra

4 : jouer l'animation dans l'écran principal de Metashape (sauf l'angle de vue)

5 : capture de l'animation, création d'un fichier MP4

6 : ajouter la vue de l'écran principal dans le chemin

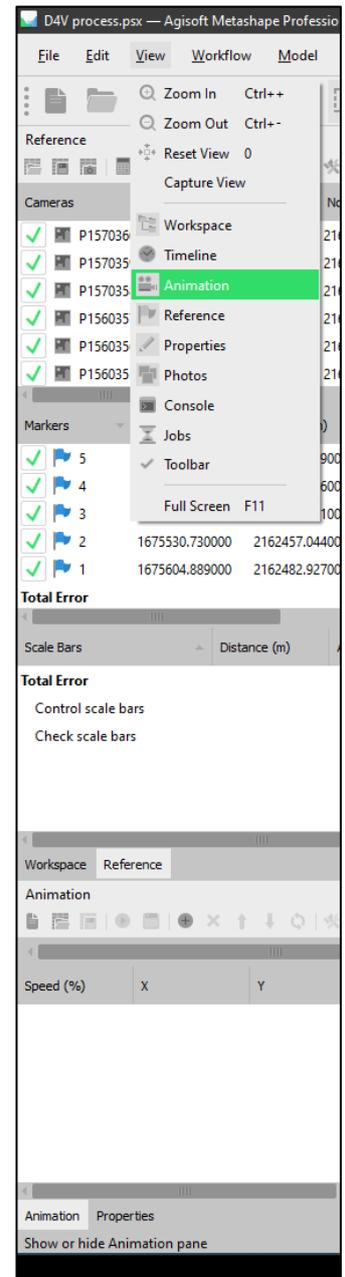
7 : supprimer une position de caméra

8 & 9 : déplace une position de la caméra dans la liste

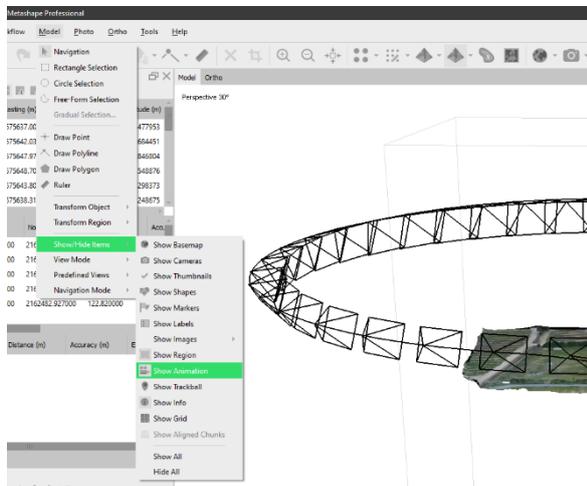
10 : mise à jour du chemin et de la liste

11: paramètres

Déplacer le curseur pour voir chaque position de caméra affichée dans l'écran principal.



- Cliquer sur " create " [button1] pour sélectionner " horizontal " et laisser le nombre d'images clés par défaut.



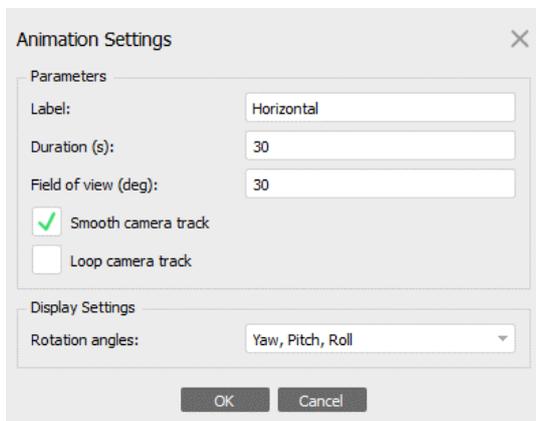
Afficher la trajectoire et l'orientation de la caméra : utiliser le menu Modèle // afficher/masquer les éléments // afficher l'animation.

Chaque cône est une position de la caméra ("key frame"), reliée par une spline (ou une ligne droite si "smooth camera track" est décoché, voir "settings" ci-dessous).

Figure 10-4 afficher la trajectoire et les positions de la caméra

- cliquer sur "play" [bouton4] pour voir l'animation
- cliquer sur "capture" [bouton5] pour enregistrer un fichier MP4

Si vous souhaitez une autre vidéo : cliquez sur "paramètres" [bouton11] et



modifier la valeur de la durée

changer le champ de vision, pour zoomer et voir le modèle plus grand dans la vidéo

fluidité de la trajectoire de la caméra en cas de déplacement des points de vue de la caméra

boucler le trajet de la caméra pour fermer le chemin

les angles sont les noms que vous préférez pour orienter la caméra

Figure 10-5 fenêtre des paramètres d'animation

NOTA : lorsque l'angle de vue est modifié, le résultat n'est pas affiché sur l'écran principal (lorsque vous appuyez sur "play"), il n'est visible que dans le fichier vidéo MP4.

## Vidéo avec un chemin de caméra spécifique

Cliquer sur "créer" et régler le nombre de positions de la caméra : Le "nombre d'images clés" est le nombre de positions autour du modèle, reliées par des lignes droites.

La trajectoire peut être modifiée en sélectionnant la pointe du cône et en la déplaçant.

Vous pouvez également définir une vue spécifique dans l'affichage du modèle (avec les mouvements habituels de la souris), puis l'ajouter au chemin en cliquant sur le bouton

"append" ().

Pas très facile...



50 images clés (par défaut) : mouvement très circulaire.

Figure 10-6 mouvement de la caméra avec 50 images clés



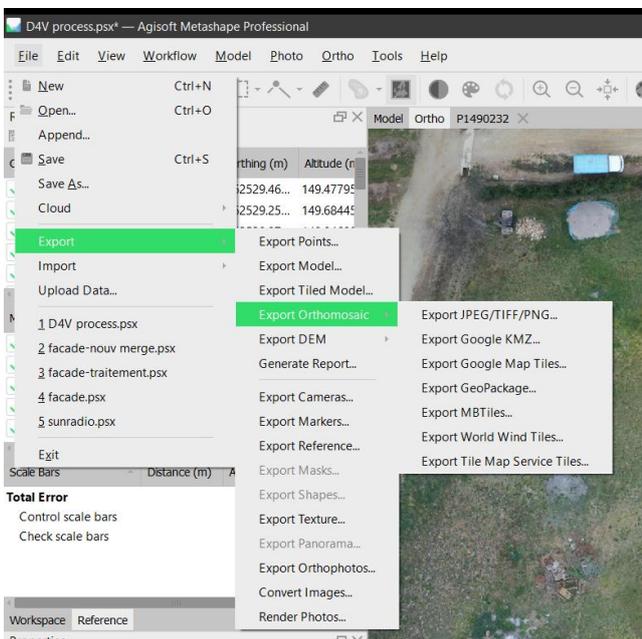
10 images clés et "smooth camera track" non coché : le mouvement ne sera pas un vrai cercle mais suivra les lignes et entrera et sortira.

Figure 10-7 mouvement de la caméra avec 10 images clés et pas de trajectoire fluide de la caméra

Enregistrez la nouvelle vidéo et vérifiez le résultat, et ainsi de suite...

# 11. Dessiner un plan à partir d'un modèle ou d'une orthomosaïque

L'orthomosaïque peut être utilisée pour produire un plan sur un logiciel de CAO. Il est indispensable que la mise à l'échelle soit précise.



Exporter l'orthomosaïque au format jpeg ou tiff afin de l'utiliser dans un logiciel pour dessiner le plan.

Figure 11-1 et sélectionner exporter JPEG/TIFF/PNG

Utiliser les marqueurs pour positionner l'orthophoto sur les bonnes coordonnées avant de dessiner.

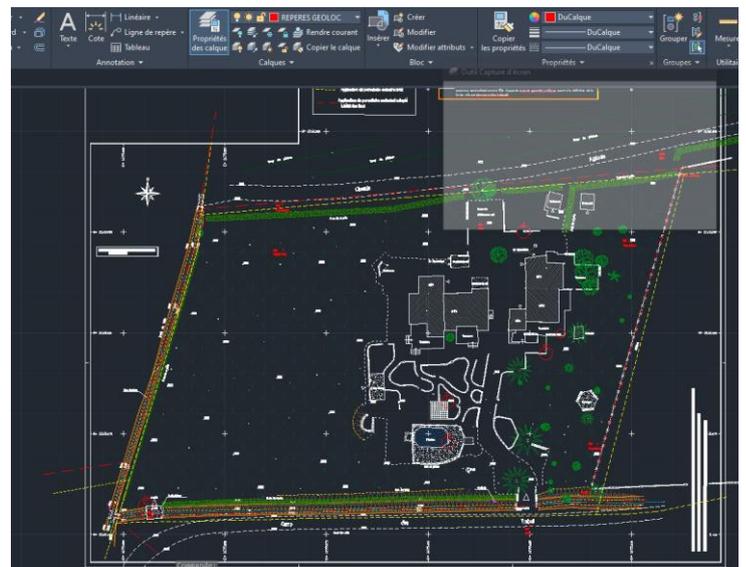


Figure 11-2 plan du chantier obtenu avec l'orthomosaïque à l'échelle sur Autocad

# Liste des figures

Figure 2-1 modèle google maps (Google).....	7
Figure 2-2 exemple de modèle 3D ( <a href="https://numerisation3d.construction">https://numerisation3d.construction</a> ).....	8
Figure 2-3 photos indépendantes du même objet (techno-science.net).....	8
Figure 2-4 orientation relative et absolue des photos par le logiciel.....	9
Figure 3-1 chevauchement horizontal et vertical.....	11
Figure 3-2 chevauchement erroné dû à un mauvais réglage du time-lapse ou à une vitesse incorrecte.....	12
Figure 3-3 Grille de vol du drone et superposition des photos pour la photogrammétrie 3D au sol.....	13
Figure 3-4 séquence de photos avec un bon chevauchement et une bonne inclinaison de l'appareil photo.....	13
Figure 3-5 vol circulaire d'un drone pour la photogrammétrie 3D de bâtiments.....	14
Figure 3-6 Cible de géolocalisation au sol relevée par GNSS	Figure 3-7 cible de géolocalisation au sol avec numéro
	15
Figure 3-8 drone face à un bâtiment.....	18
Figure 3-9 photos d'un bâtiment pour la photogrammétrie de façade.....	18
Figure 3-10 trajectoire de vol pour la photogrammétrie de façade.....	19
Figure 3-11 chevauchement horizontal.....	19
Figure 3-12 repères de chevauchement horizontal.....	19
Figure 3-13 chevauchement vertical.....	20
Figure 3-14 pointe de chevauchement vertical.....	20
Figure 3-15 chemin pour la façade et le bâtiment 3D qui dépasse largement sur les cotés.....	21
Figure 3-16 vols circulaires pour la construction en 3D.....	21
Figure 4-1 Paramètres de Pix4DCapture.....	23
Figure 4-2 Paramètres de chevauchement de Pix4DCapture.....	24
Figure 4-3 Sélection de la trajectoire de vol de Pix4DCapture.....	25
Figure 4-4 Pix4DCapture : réglage de la trajectoire de vol sur la carte.....	26
Figure 4-5 Affichage de la mission de Pix4DCapture pendant que le drone vole.....	27
Figure 5-1 Images chargées de Metashape.....	29
Figure 5-2 Metashape aligne les photos avec les hauteurs et les lignes de vue.....	30
Figure 5-3 Nuage de points dense Metashape.....	31

Figure 5-4 Nuage de points Metashape avec des espaces blancs où aucun point n'a été construit.....	31
Figure 5-5 Confiance dans le nuage de points Metashape.....	32
Figure 5-6 Carte de chevauchement de Metashape.....	33
Figure 5-7 Les références de Metashape affichant le choix.....	34
Figure 5-8 Réglage et conversion du système de coordonnées Metashape.....	35
Figure 5-9 Point focal des caméras dans le nouveau système de coordonnées .....	35
Figure 5-10 Fichier Excel CSV contenant les noms des références (A) et les coordonnées (B, C, D) .....	35
Figure 5-11 icône d'importation .....	36
Figure 5-12 liste de référence chargée pour l'importation.....	36
Figure 5-13 marqueurs créés après l'importation de références .....	36
Figure 5-14 marqueurs créés sur le nuage de points.....	37
Figure 5-15 photos contenant des marqueurs identifiés par un drapeau .....	37
Figure 5-16 sélection automatique des photos avec un marqueur spécifique.....	37
Figure 5-17 positionnement des marqueurs.....	38
Figure 5-18 calcul de la transformation de lancement.....	39
Figure 5-19 erreurs relatives de positionnement des marqueurs après transformation .....	39
Figure 5-20 nuage de points mis à l'échelle et géoréférencé avec précision.....	40
Figure 5-21 dimensions mesurées sur une porte.....	41
Figure 5-22 marqueurs sur une photo.....	42
Figure 5-23 points de mise à l'échelle sélectionnés.....	43
Figure 5-24 menu contextuel pour créer une barre d'échelle .....	43
Figure 5-25 réglage de la distance.....	43
Figure 5-26 vérification de la précision après transformation du nuage de points.....	44
Figure 5-27 contrôle dimensionnel manuel après transformation du nuage de points....	44
Figure 6-1 maillage fabriquée avec un nombre de faces "élevé".....	46
Figure 6-2 Maillage réalisé avec un nombre de faces "moyen" .....	46
Figure 6-3 Maillage en vue solide.....	47
Figure 6-4 maillage en vue filaire.....	47
Figure 6-5 confiance dans le maillage.....	47
Figure 6-6 étalonnage des couleurs des photos avant la création d'une texture.....	48

Figure 6-7 menu de traitement des textures de construction.....	48
Figure 6-8 maillage texturé.....	49
Figure 6-9 menu de traitement des modèles tuilés .....	50
Figure 6-10 vue du modèle tuilé.....	50
Figure 6-11 modèle entièrement tuilé - notez que la position du marqueur est toujours à droite .....	51
Figure 6-12 Le modèle tuilé se positionne par défaut sur la clôture métallique de la piscine. ....	51
Figure 6-13 modèles tuilé par défaut.....	51
Figure 7-1 menu de traitement de l'orthomosaïque .....	53
Figure 7-2 résultat de l'orthophoto.....	54
Figure 8-1 Menu de traitement des MNE .....	55
Figure 8-2 Résultat du MNE.....	56
Figure 8-3 coupe de nuages denses en vue plane.....	56
Figure 8-4 coupe de nuages denses en élévation (vue latérale).....	56
Figure 8-5 nuage dense limité au chantier .....	57
Figure 8-6 DEM limitée au chantier.....	57
Figure 8-7 menu de classification des nuages denses .....	58
Figure 8-8 nuage dense : points de classe sol.....	58
Figure 8-9 nuage dense classe de sol points vus de près : les murs sont dans la mauvaise classe à cause de la distance maximale de 1 m.....	59
Figure 8-10 nuage dense classe de sol points corrects.....	59
Figure 8-11 construire le menu MNT avec la sélection de la classe sol .....	59
Figure 8-12 obtenue en traitant uniquement les points de la classe de sol .....	60
Figure 8-13 MNT d'une carrière.....	60
Figure 8-14 MNT après traitement.....	61
Figure 8-15 modèle tuilé, on y voit tous les éléments retirés par la classification pour obtenir le MNT .....	61
Figure 9-1 menu classification des points.....	62
Figure 9-2 points classés mauvais résultat.....	62
Figure 9-3 points classés meilleur résultat, encore imparfait.....	63
Figure 9-4 Menu MNT avec le sol et la route sélectionnés pour le MNT .....	63
Figure 9-5 Résultat du MNT avec sélection du sol et de la route et zoom sur les détails..	64

Figure 9-6 nuage de points affichant uniquement le sol et la surface de la route .....	65
Figure 9-7 Sélection rectangulaire de quelques points mal classés.....	65
Figure 9-8 attribution de la classe "bâtiment" aux points sélectionnés.....	65
Figure 9-9 sélection de points dans une vue latérale .....	66
Figure 9-10 zoom précédent du MNT sur les détails, maintenant corrigé.....	66
Figure 9-11 Résultat du MNT après affinage de la classification avec sélection du sol et de la route.....	66
Figure 10-1 menu export.....	67
Figure 10-2 Visionneuse Agisoft.....	68
Figure 10-3 activer la fenêtre d'animation.....	69
Figure 10-4 afficher la trajectoire et les positions de la caméra.....	70
Figure 10-5 fenêtre des paramètres d'animation.....	70
Figure 10-6 mouvement de la caméra avec 50 images clés .....	71
Figure 10-7 mouvement de la caméra avec 10 images clés et pas de trajectoire fluide de la caméra.....	71
Figure 11-1 et sélectionner exporter JPEG/TIFF/PNG.....	72
Figure 11-2 plan du chantier obtenu avec l'orthomosaïque à l'échelle sur Autocad.....	72