

Quels sont les paramètres les plus impactant pour produire un MNS de qualité par photogrammétrie Sfm-MVS à partir de prises de vues aériennes faites à l'aide d'un vecteur léger ?

---

# Etude de cas : La rivière en tresses de la Drôme

Années 2019 – 2020



BLANC Benoît

FOURNEYRON Axel

JEAN JACQUES Lucas

MARTINEZ Corentin

MOK Yan Kiu

THOMAS Bénédicte

## Table des matières

|   |    |
|---|----|
| Introduction : objectifs du guide technique.....  | 3  |
| I. Présentation et définition des termes du sujet.....  | 4  |
| a) Définition MNS .....   | 4  |
| b) Etat de l'existant.....  | 4  |
| c) Objectifs de l'étude .....   | 5  |
| d) Présentation du terrain d'étude.....   | 6  |
| II. Préparation environnement de travail – Définition du sujet - Acquisition de données ..... | 7  |
| a) Délimitation zone étude.....   | 7  |
| b) Points de contrôle .....   | 7  |
| c) Matériel d'acquisition / Vol drone .....   | 8  |
| III. Traitements et analyses des images.....  | 10 |
| a) Logiciel de traitement d'image exemple avec Agisoft .....                                  | 10 |
| b) Détails des étapes de traitements.....   | 10 |
| 1. Import des photographies.....  | 10 |
| 2. Alignement des photographies .....   | 10 |
| 3. Evaluation de la qualité des images aériennes importées .....                              | 11 |
| 4. Import des points GCP.....   | 12 |
| 5. Géoréférencement – Placement des GCP .....   | 12 |
| 6. Optimisation des photographies.....  | 14 |
| 7. Construction du nuage de points dense.....   | 15 |
| 8. Création d'un maillage .....   | 16 |
| 9. Définition de la texture .....   | 17 |
| 10. Création ortho photo.....   | 18 |
| 11. Génération d'un MNS.....  | 18 |
| 12. Evaluation de la qualité du MNS - Calcul des différences entre MNS et GCP.....            | 18 |
| c) Schéma fonctionnel de l'ensemble des étapes.....   | 21 |
| IV. Analyses comparatives des résultats et retour critique.....                               | 24 |
| a) Variations du nombre de GCP et répartition par rapport au type de vol .....                | 24 |
| b) Analyse de la méthode la plus performante .....  | 27 |
| c) Retour critique.....   | 28 |
| Bibliographie.....  | 29 |

## Introduction : objectifs du guide technique

Ce guide technique illustre et présente la méthodologie à adopter pour constituer un MNS de qualité à partir d'images aériennes. L'ensemble de la méthodologie sera présenté. Celle-ci est composée de quatre phases :

- Acquisition des images et des données GPS
- Préparation des données en amont afin de procéder aux phases de tests pour faire varier les paramètres étudiés
- Traitements des données et génération de MNS
- Présentations et retour critique sur les résultats

Il s'agit de présenter les précautions et recommandations à prendre en compte pour construire un Modèle Numérique de Surface (MNS) de qualité. Celles-ci ont pour but de présenter les paramètres nécessaires à la construction d'un MNS de précision en répondant aux exigences qu'impose la construction d'un MNS.

Le présent document se veut également critique. En effet, les limites d'utilisation du matériel et du logiciel mobilisé, ainsi que les facteurs impactant une mauvaise précision d'un MNS seront également évoqués.

Destiné à un public professionnel de la télédétection ou non, chaque étape sera décrite et illustrée de manière à faciliter la compréhension du document.

Cependant, quelques précautions sont à prendre en compte :

- Il s'agit d'une étude de cas. Chaque terrain étant différent, le principe général du protocole possède un caractère autoportant mais doit s'adapter à la nature du terrain étudié, notamment lors de l'étape d'acquisition des données.
- Bien définir l'objectif et le contexte du projet : ici, le but de l'étude est de préciser les paramètres qui permettent d'obtenir un MNS de qualité. Il s'agit donc de recommandations.
- Enfin, il est présenté une technique avec du matériel et un logiciel spécifiques, mais la méthode se veut la plus générale possible pour pouvoir être reproduite peu importe le logiciel et le type de matériel dédiés à l'acquisition de données.

## I. Présentation et définition des termes du sujet

### a) Définition MNS

Selon *Géoconfluences*, le **Modèle Numérique de Surface (MNS)** permet d'obtenir une reconstitution paysagère en 3 dimensions sur un terrain donné. Il permet notamment d'étudier les changements de paysage d'un territoire. Cette représentation MNS est obtenue par méthode de **photogrammétrie**. Pour obtenir un ensemble d'images aériennes, plusieurs capteurs d'acquisition existent. Ici, les images sont récoltées au moyen d'un **vecteur léger (appareil nécessitant un coût et un temps de préparation réduit par rapport à des modes d'acquisition comme les avions etc)**. L'analyse de la photogrammétrie peut être réalisée au moyen d'une méthode dite **Structure From Motion (SFM)**. Elle permettra d'analyser l'ensemble des images aériennes acquises en fonction d'angles de prises de vue variés lors des différents vols programmés.

### b) Etat de l'existant

Les équipes de recherche de Tonkin et Midgley, Sanz-Ablanedo, Chandler, Rodriguez-Pérez et Ordonez, Dandois, Olano et Ellis, ainsi que de Smith et Vericat, à travers leurs publications scientifiques, définissent les paramètres pour obtenir des MNS précis. Ceux-ci peuvent être triés en cinq classes :

Paramètres d'ordre **naturels** :

- Conditions climatiques : claires avec un ciel légèrement voilé pour limiter les ombres portées, zénith solaire, prise de connaissance des vents
- Conditions radiométriques / rugosité
- Topographie du site

Paramètres liés au **drone** :

- Altitude de vol
- Taux de chevauchement d'image
- Vitesse de vol
- Itinéraire du drone

Paramètres liés à la **caméra** :

- Focale
- Angle de prise de vue
- ISO
- Obturation

Paramètres liés aux **préparateurs de missions** :

- Définir le nombre de points de contrôle nécessaires
- Disposition des points de contrôle

Paramètres liés au **logiciel** de traitement d'image :

- Traitements des images

### c) Objectifs de l'étude

L'objectif de l'étude est d'étudier les facteurs impactant la qualité d'un MNS. Nous nous concentrerons ici sur trois paramètres et étudierons dans quelle mesure ils participent à la production d'un MNS de qualité.

Les paramètres variables choisis pour cette étude sont :



- Le type de vol :
  - o Une grille rectangulaire avec deux lots de lignes de vol parallèles qui se croisent perpendiculairement.
  - o Une vue circulaire : prises de vue centrées sur un point central avec un décalage de 5° entre chaque prise de vue.
- Lors des traitements d'images, le nombre et la répartition des points GCP.

A travers deux vols réalisés lors d'un ciel clair, nous tenterons lors de l'analyse des images aériennes, d'affirmer nos hypothèses ou non, selon lesquelles :

- ⇒ Plus le nombre de GCP est important et répartis de manière uniforme plus le MNS est précis.
- ⇒ Le type de vol circulaire prenant des photos avec un angle de 5° induira un MNS de moins bonne qualité.

Voici un tableau de synthèse qui précise le type de matériel (et ses paramètres associés) utilisé pour obtenir les images aériennes, et les paramètres variant d'un protocole à l'autre :

| Paramètres             | Protocole S1  | Protocole S2I  |
|------------------------|---|--|
| Conditions climatiques | Temps clair   | Temps clair  |
| Altitude de vol        | 50 mètres   | 70 mètres  |
| Taux de chevauchement  | 80% chevauchement longitudinal<br>60% chevauchement latéral   | 80% chevauchement longitudinal<br>60% chevauchement latéral            |
| Vitesse du drone       | La vitesse est définie selon les logiciels de préparation de vol, soit elle est calculée automatiquement soit elle peut être définie par l'utilisateur<br>Avec Pix4d nous définissons des vitesses de vol sur le mode « medium ». | Avec Pix4d nous définissons des vitesses de vol sur le mode « medium » |
| Itinéraire du drone    | ProtocoleS1.kml   | ProtocoleS2.kml  |
| Focale de la caméra    | 20mm équivalent 35mm  | 20mm équivalent 35mm   |

|                              |   |   |
|------------------------------|---|---|
| <b>Type de prise de vue</b>  | Premières lignes de vol parallèles horizontalement + lignes de vol verticales qui croisent perpendiculairement les premières lignes<br><br><br><i>Figure 1: Schéma plan de vol</i> | Vol circulaire<br><br><br><i>Figure 2: Schéma plan de vol circulaire</i> |
| <b>Angle de prise de vue</b> | 80°   | 5°  |
| <b>ISO</b>                   | Automatique   | Automatique   |
| <b>Obturation</b>            | Automatique   | Automatique   |
| <b>Nombre de GCP</b>         | 74 points de contrôle placés sous forme de balise   | 74 points de contrôle placés sous forme de balise   |
| <b>Localisation des GCP</b>  | Répartis de manière uniforme en fonction de la topographie et du cours d'eau  | Idem  |

#### d) Présentation du terrain d'étude

Pour ce projet, nous nous intéressons à un secteur situé dans la Drôme, bassin versant du Rhône. Le terrain d'étude est caractérisé par la présence d'une rivière dite en tresse. Celle-ci se définit par la présence de chenaux, de bancs sédimentaires et est très mobile dans l'espace et le temps. Au sein de la zone d'étude, le secteur sur lequel aura lieu les relevés terrain, correspond à une large zone alluviale. Une zone alluviale correspond à l'ensemble de l'espace affecté par la rivière (chenaux, bras de rivière, rivière, mares, etc...). La zone alluviale est en constante transformation puisqu'elle évolue au gré des inondations et des assèchements (cru et périodes d'étiage). Ici, elle mesure environ 1250 mètres. Le chenal est composé de sables, graviers et galets. La rive droite est dite berge perchée tandis que sur la rive gauche, nous pouvons trouver un large banc de galet ou la végétation se développe.

Lors des relevés, la rivière en tresses étudiée était en période de crue. Son débit habituellement de 3m<sup>3</sup>/h dépassait les 14m<sup>3</sup>/h !

## II. Préparation environnement de travail – Définition du sujet - Acquisition de données

### a) Délimitation zone étude

Au sein de la zone d'étude, un site d'étude a été délimité. Il a été choisi pour sa morphologie qui présente des tresses actuellement alimentées et d'anciennes tresses asséchées au moment de l'étude. Par ailleurs, il s'agit d'une zone avec des changements de végétation bien perceptibles (végétation ripisylve, végétation pionnière...), et une morphologie qui laisse apparaître les différentes phases de son évolution (chenaux abandonnés). Le terrain étudié mesure 270 mètres de long pour une largeur de 200 mètres.

### b) Points de contrôle

Dans un premier temps, le terrain a été maillé afin de faciliter un placement homogène des points de contrôle. Ce traitement a été effectué sous logiciel SIG (*QgisMenu > Vecteur > Outil de recherche > Grille Vecteur*). La taille des mailles est définie à 20 mètres. Tous les 20 mètres, des points repères (appelés Ground Control Point, GCP) ont été générés (avec identifiants) de manière homogène, toujours sous le logiciel SIG. L'objectif est de quadriller la zone d'étude et d'obtenir les informations qui permettent de reporter la position des GCP sur le terrain en les matérialisant par des balises.

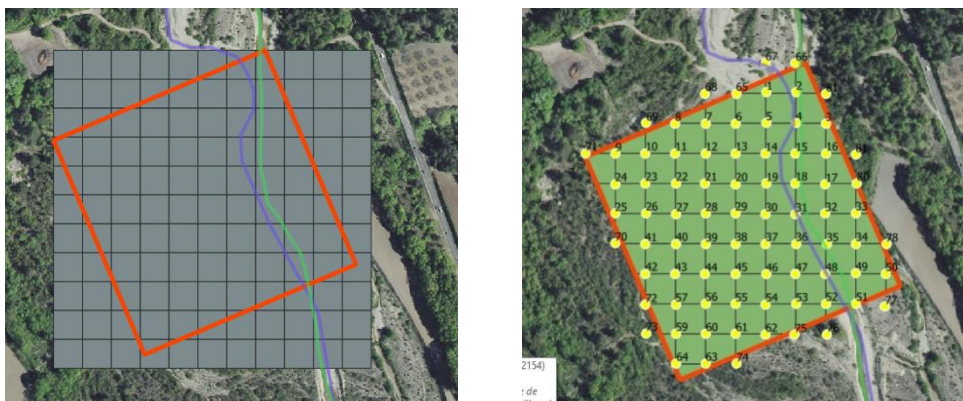


Figure 3: maillage de la zone d'étude et placement des points repères dit GCP, sous logiciel SIG

Tous les 20 mètres, une balise de couleur rouge (de 50 cm par 30 cm) a été déposée sur la zone d'étude. Sur ce quadrillage homogène, des balises supplémentaires ont été ajoutées en des lieux où des changements de reliefs étaient perceptibles. Il s'agit principalement de zones où les anciens lits de rivière, entourés des berges plus élevées, ont creusé le sol. Ces balises supplémentaires, non-utilisées pour le traitement, permettront de valider la qualité des MNS en comparant les valeurs d'altitude obtenues après traitement avec les valeurs de ces points, mesurées sur le terrain.

Ces différentes balises sont des points de contrôles, ou Ground Control Point (GCP) en anglais. Une fois placées, la position exacte des balises a été relevée au moyen de matériel GPS Trimble. Il s'agit de matériel permettant de connaître la position GPS d'un objet en mesurant la distance d'un récepteur terrestre à quatre autres satellites (la figure 4 illustre la base GPS). Cette distance permet de calculer les coordonnées du récepteur terrestre et de connaître la position GPS du récepteur.



Figure 4: Matériel nécessaire pour le relevé GPS des points de contrôle

Connaître la position exacte des balises permettra d'affiner le géoréférencement des images lors de l'étape de traitement des images (étape décrite lors de la partie « *Traitements d'image* » page 10) et de comparer les valeurs du MNS obtenues avec les coordonnées d'altitude (z) acquises lors du relevé GPS. Les positions GPS, une fois recueillies, sont exportées dans un fichier CSV. Ce fichier comportera les informations :

- Identifiant unique
- Localisation X
- Localisation Y
- Localisation Z

### c) Matériel d'acquisition / Vol drone

Les images aériennes sont acquises par un vecteur léger. C'est-à-dire un moyen d'acquisition moins coûteux et moins contraignant que d'autres capteurs d'acquisition comme cela peut-être le cas lors de l'utilisation d'un avion par exemple. Ici, les images ont été capturées au moyen d'un drone Phantom 4. Le drone suscite un intérêt croissant dans le monde de la recherche, car il offre un niveau de précision très fin. La planification de vol est facile et respectée, la mise en œuvre est rapide. Cependant, la contrainte la plus importante est qu'il est nécessaire d'avoir un professionnel apte à piloter le drone disponible. Le vol est soumis à la Direction Générale de l'Aviation Civile en application de la loi du 11 avril 2012 et doit être respectée des règles de distance autour du pilote et de hauteur de vol précisent, selon les scénarii :



| S1  | S2  | S3   | S4                                      |
|---|---|--|---|
| Vol à vue se déroulant hors zone peuplée.<br>Distance horizontale inférieure à 100 m.<br>Hauteur inférieure à 150m. | Vol hors vue et hors zone peuplée.<br>Rayon maxi de 1 km<br>Hauteur inférieure à 50 m | Vol en agglomération ou à proximité de personnes ou d'animaux, en vue directe du télé pilote.<br>Distance horizontale inférieure à 100 m.<br>Hauteur inférieure à 150 m. | Activités ne relevant pas du scénario 2 |

Figure 5: Présentation des différents types de vol source image : Conservatoires d'espaces naturels, La Fédération, Pôle - relais Zones Humides, Pôle Relais tourbières, « L'utilisation de vecteurs légers aéroportés et de drones pour la modélisation 3D des zones humides », 2015, en ligne

Une fois les deux types de vols effectués, les images aériennes sont récoltées pour être intégrées dans un logiciel de traitement d'images.

### III. Traitements et analyses des images

#### a) Logiciel de traitement d'image exemple avec Agisoft

Agisoft est un logiciel propriétaire permettant le traitement photogrammétrique d'images. Il permet notamment d'effectuer de multiples traitements d'analyses d'images pour permettre la production de données en 3 dimensions comme les Modèles Numériques de Terrain, Modèles Numériques de Surface ou encore les Modèles Numériques d'Élévation. Avec son espace de travail ergonomique, sa prise en main facile, Agisoft est le logiciel que nous avons mobilisé pour réaliser l'ensemble de nos traitements d'images.

Sous Agisoft, les traitements pour produire un MNS sont les suivantes :

1. Import des photographies aériennes acquises lors des différents vols
2. Alignement des photographies
3. Suppression des images de mauvaise qualité
4. Import des points GCP
5. Optimisation des photographies à l'aide des GCP
6. Construction d'un nuage de points dense
7. Création d'un maillage
8. Définition de la texture
9. Création d'une orthophotographie
10. Génération d'un MNS

#### b) Détails des étapes de traitements

##### 1. Import des photographies

L'interface d'Agisoft offre depuis l'environnement de travail la possibilité d'ajouter les photographies à un chunk. Un chunk regroupe la totalité des photographies aériennes importées qui seront traitées en même temps. Ici, nous créons deux chunks : un pour chaque type de vol.

*Technique Agisoft : Pour importer des photographies dans le chunk, réaliser un clic droit sur le chunk 1 (qui se crée automatiquement lors de la création du projet) puis « Ajouter des photos ».*

##### 2. Alignement des photographies

L'alignement des photographies aériennes permet de préciser la position de la caméra pour l'ensemble des photographies du chunk. Cette étape demande un paramétrage fin de la précision d'alignement puisqu'elle influera sur la qualité du MNS produit en sortie.

Pour ce faire plusieurs paramètres vous être présentés :

- La **précision** : un paramétrage de précision élevé (la plus haute) permet d'obtenir plus de précision au niveau de l'estimation de la position de la caméra. Un paramétrage de précision plus faible (la plus basse) sera utilisé pour avoir des positions de caméras grossières dans un court laps de temps. Alors qu'un paramétrage de très haute précision permet à l'application de traiter les photos selon leur taille d'origine, un paramétrage moyen travaille avec une image réduite d'un facteur 4 et un paramètre le plus faible d'un facteur 16. Bien évidemment un

paramétrage haut augmente le temps de traitement des données. » (TD 1, K.Michel, cours de Télédétection Deuxième année master Géographies Numériques).

- La **présélection** générique : permet de détecter les images qui se chevauchent à travers des points de correspondances entre les images en mobilisant une précision moindre
- La **présélection par références** : « les paires de photos qui se chevauchent sont sélectionnées basant sur les emplacements des caméras mesurées (le cas échéant). Pour les images obliques, il est nécessaire de définir l'altitude au sol pour rendre la présélection plus efficace ».
- **Nombre limite de points clés** : Nombre de points à comptabiliser pour chaque image pour le traitement
- **Nombre de points de liaisons** : Nombre de points qui doivent correspondre entre deux images

Il s'agit d'une étape parfois longue en temps de traitement. Pour notre étude nous avons défini le paramétrage suivant :

- Moyenne précision
- Présélection générique
- Nombre limite de points : 40000
- Nombre limite de points de liaison : 10 000

Ce paramétrage nous permet d'allier qualité, avec un nombre de points limite et de liaison élevé pour que les photographies se calent bien entre elles, et temps de traitements corrects. Cependant, pour obtenir un degré de qualité optimal, la haute précision est recommandée mais demande des temps de traitement beaucoup plus importants.

*Technique Agisoft : « Traitements » > « Alignement des photos »*

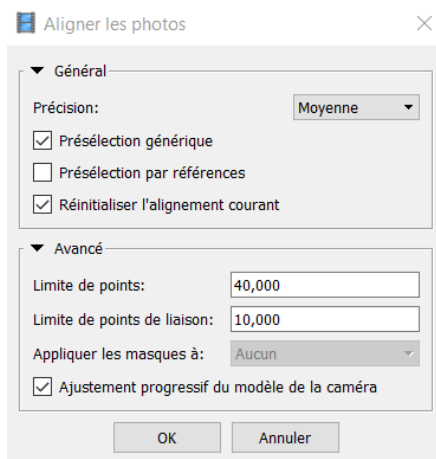


Figure 6 : Alignement des photos

### 3. Evaluation de la qualité des images aériennes importées

La qualité des images permet de comparer le contraste entre les pixels de chaque photographie du chunk. Une photographie est dite de qualité dès lors qu'elle est supérieure à 0.5. Dans notre étude

nous ne conservons seulement les images dont la qualité est supérieure à 0.7. Effectivement, en analysant l'ensemble des images à des indicateurs de qualité différents, les images ayant des qualités de 0.5 ou 0.6 (ou moins) présentent un contraste trop important entre pixels pour être conservées.

|             | Circulaire | Double grid |
|-------------|------------|-------------|
| Qualité min | 0.80       | 0.78        |
| Qualité max | 0.90       | 0.87        |

Figure 7 : Qualité des images selon le type de vol

Comme illustré en figure 6, en vol circulaire, la qualité est plus élevée qu'en double grid. Cependant, pour le vol double grid les photographies semblent être assez homogènes au niveau de la qualité alors que pour le vol circulaire l'étendue est légèrement plus grande.

*Technique Agisoft : Onglet « Photo » > Clic droit > « Estimer la qualité d'image ». Effectuer cette étape pour l'ensemble des caméras du chunk. La table de valeurs de l'indice de qualité apparaît pour l'ensemble des caméras. Pour observer la variabilité de l'indicateur et notamment son étendue classer les valeurs par ordre croissant (ou décroissant au choix).*

#### 4. Import des points GCP

Une étape importante avant d'effectuer l'import des points GCP est de définir le système de projection de référence. En effet, lors des relevés GPS des balises, les localisations ont été enregistrées selon un certain système de projection, qui peut être vérifié avec un logiciel SIG. Dans les paramètres du logiciel de traitement d'image, il est ainsi nécessaire de préciser le bon système de projection afin qu'il puisse correctement gérer les images et les GCP.

*Technique Agisoft : Cliquer sur l'onglet « Référence » > « Paramètres » > « Système de coordonnées »*

Pour notre étude nous définissons le système de projection du projet en WGS 84, car nos données ont été recueillies par GPS. Les points GCP, rappelons-le, ont été récupérés dans un fichier CSV avec quatre champs (id, x, y, z). Afin de les intégrer dans un logiciel de traitement d'images il convient de préciser quelques configurations :

- Précisions du type de délimiteur entre les champs
- Préciser si la ligne comporte un en-tête et donner le numéro de la ligne de l'en-tête dans les espaces prévus à cet effet afin qu'Agisoft connaisse les champs longitude, latitude et altitude.
- Préciser le numéro de la première ligne où les enregistrements sont stockés

Une fois cette configuration effectuée, les points repères peuvent être importés.

#### 5. Géoréférencement – Placement des GCP

Les points de contrôle permettent d'affiner le géoréférencement des images et participent à la qualité finale d'un MNS. Notre étude portant sur les paramètres influant sur la qualité d'un MNS, nous nous proposons d'effectuer plusieurs tests. Nous mobiliserons un nombre différent de GCP pour

vérifier notre hypothèse selon laquelle, plus de GCP sont mobilisés plus le MNS est de qualité. Pour ce faire nous effectuerons 4 tests avec un nombre variable de GCP :

- 1<sup>er</sup> cas : 10 GCP
- 2<sup>nd</sup> cas : 20 GCP
- 3<sup>ème</sup> cas : 30 GCP
- 4<sup>ème</sup> cas : 52 GCP

Nous nous intéressons également à leur répartition sur les images :

- Répartition homogène
- Répartition aléatoire

Ce qui nous fait 16 phases de test, soit 8 pour chaque type de vol.

Nous cherchons à présent à placer les GCP sur les images que nous avons récoltées, pour en améliorer le positionnement. En affichant les identifiants des GCP dans un logiciel SIG, il est plus aisé de retrouver la correspondance des GCP sur les images aériennes. Lorsque nous apercevons une balise rouge sur une image aérienne, nous vérifions sur le logiciel SIG l'identifiant de ce point repère. Ensuite, sous Agisoft, nous ajoutons un marqueur sur la balise en lui précisant l'identifiant repéré sous logiciel SIG. Ainsi, nous attribuons au marqueur l'ensemble des informations du GCP auquel il correspond. Une fois placé, si ce même marqueur est présent sur plusieurs photographies alors elles se recalent d'elles-mêmes automatiquement une fois placé suffisamment de GCP.

Pour une des phases de test de notre étude, nous plaçons donc des GCP de manière aléatoire et d'autres de manière homogène (en suivant le quadrillage défini lors du maillage de la zone d'étude). Pour le placement des points de contrôle aléatoires, nous nous sommes inspirés de la méthode définie par les scientifiques Toby N. Tonkin et Nicholas G. Midgley dans l'article « *Ground-Control Networks for Image Based Surface Reconstruction : An Investigation of Optimum Survey Designs Using UAV Derived Imagery and Structure-from-Motion Photogrammetry* ». Ceux-ci préconisent pour les points de contrôle aléatoires qu'ils doivent être répartis selon différents groupes aléatoires. Dans chacun de ces groupes aléatoires doivent être présents 2 – 3 – 4 (ou légèrement plus) point de contrôle (figure 7).

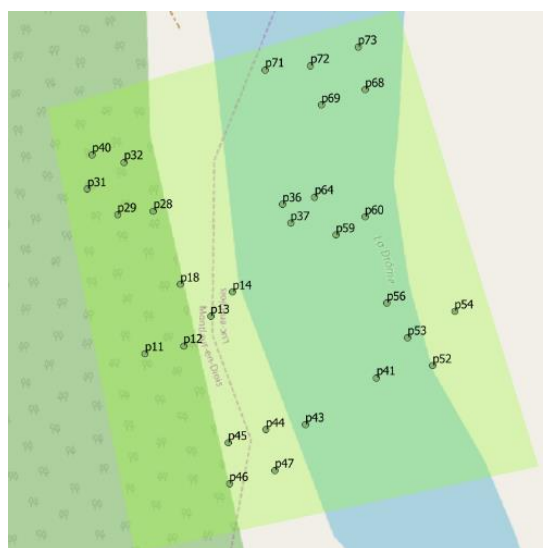


Figure 8 : Placement aléatoire des GCP selon des couples de points

## 6. Optimisation des photographies

La localisation des GCPs a une précision de l'ordre du centimètre. Pour pallier aux manques de précisions du géoréférencement des images, l'optimisation de l'alignement des photos est réalisée à l'aide du placement des GCP que nous venons de réaliser.

*Technique AGisoft : « Caméras » > « Optimiser les caméras »*

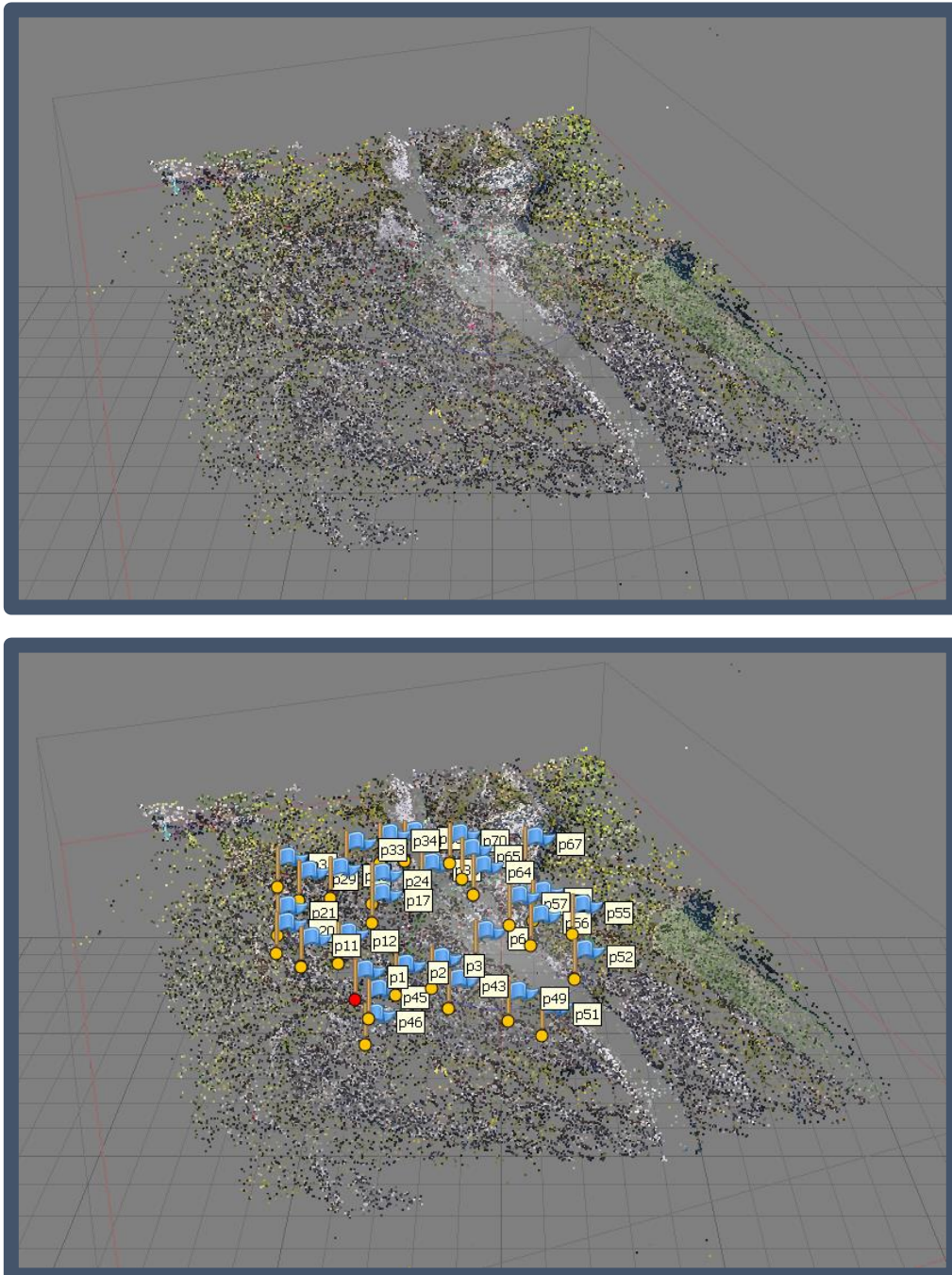


Figure 9 : Résultats obtenus après l'optimisation des photographies

## 7. Construction du nuage de points dense

L'étape d'alignement des photographies a permis de préciser la position des caméras. De cette position les logiciels de traitements d'images calculent une information dite de profondeur pour l'ensemble des caméras présentent dans le chunk. Cette information va être combinée avec l'ensemble des informations de profondeur des caméras et permettra de générer un nuage de points dense.

Le temps de traitement du nuage de points dense fluctue en fonction du degré de qualité sélectionné. Plus la qualité est haute, plus le degré de précision exigé est important et donc plus le temps de traitement est conséquent. C'est pourquoi nous avons choisi dans un premier temps, par soucis d'économie de temps, de réaliser ces nuages avec une qualité moyenne.

Le **filtrage de la profondeur** permet de repérer les valeurs aberrantes. En effet, Agisoft reconstitue des cartes dites de profondeur pour chaque image. Si les images présentent du bruit ou sont de texture médiocre, alors les points du nuage 3D peuvent être aberrants. Le mode agressif va donc permettre d'ajuster les valeurs aberrantes. Il est adapté si la « *Si la zone à reconstruire ne contient pas de petits détails significatifs* » (Manuel Agisoft).

*Technique Agisoft* : « Menu Traitement » >  
« Construire un nuage dense »

Figure 10: Réglages de paramètres pour la construction du nuage de points dense

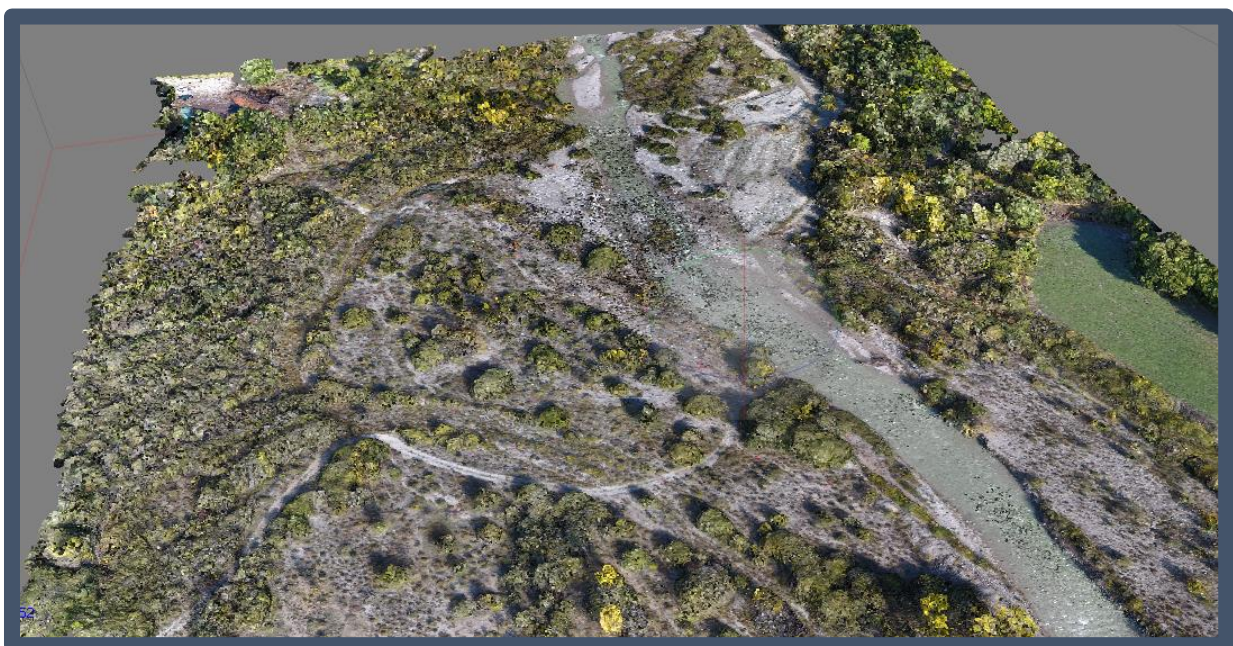
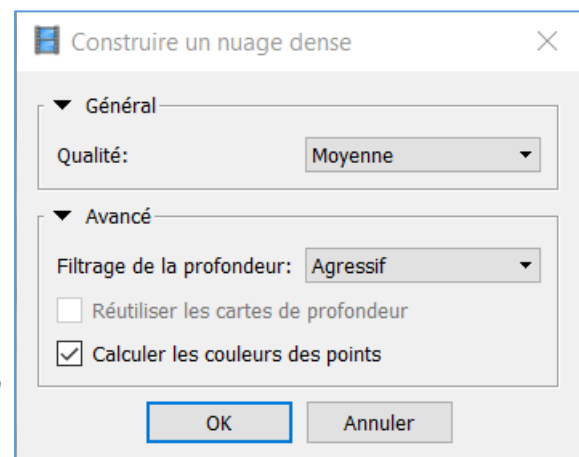


Figure 11: Nuage de points 3D obtenus

## 8. Création d'un maillage

Ensuite, nous procédons à la création d'un maillage. Ce dernier va permettre d'obtenir une Forme Numérique de Terrain. Il est obtenu par « un processus de connexion des points dans le nuage dense en triangles pour créer une surface » (TD 1, K.Michel cours de Télédétection Deuxième année Master Géographies Numériques).

Lors de cette étape, il est nécessaire d'indiquer le type de surface nécessaire. Ici, est utilisé type de surface « Arbitraire » plus adapté pour des terrains avec objet comme des arbres ou bâtiment. Ce réglage impacte principalement le temps de traitement.

En **données sources**, nous indiquons le nuage de point créé précédemment. Le **nombre de faces** est défini sur haut pour obtenir une meilleure précision. Enfin nous activons le mode « **interpolation** » pour que le nuage de points ne présente pas de trou.

*Technique Agisoft : « Menu Traitement » >  
« Construire un maillage »*

Figure 12: Paramétrage du maillage

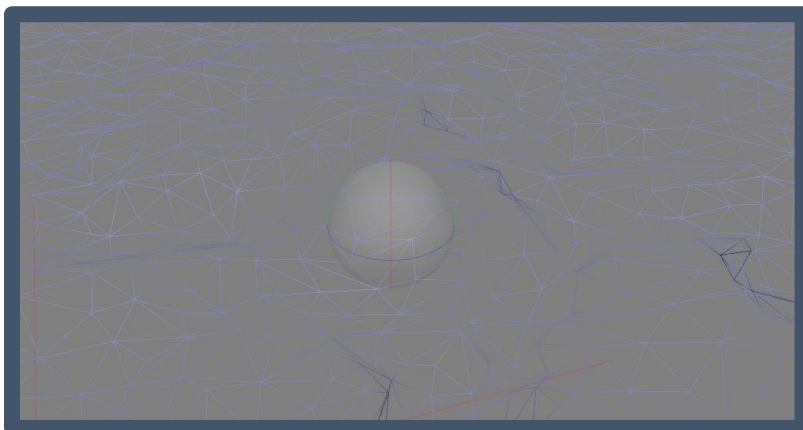
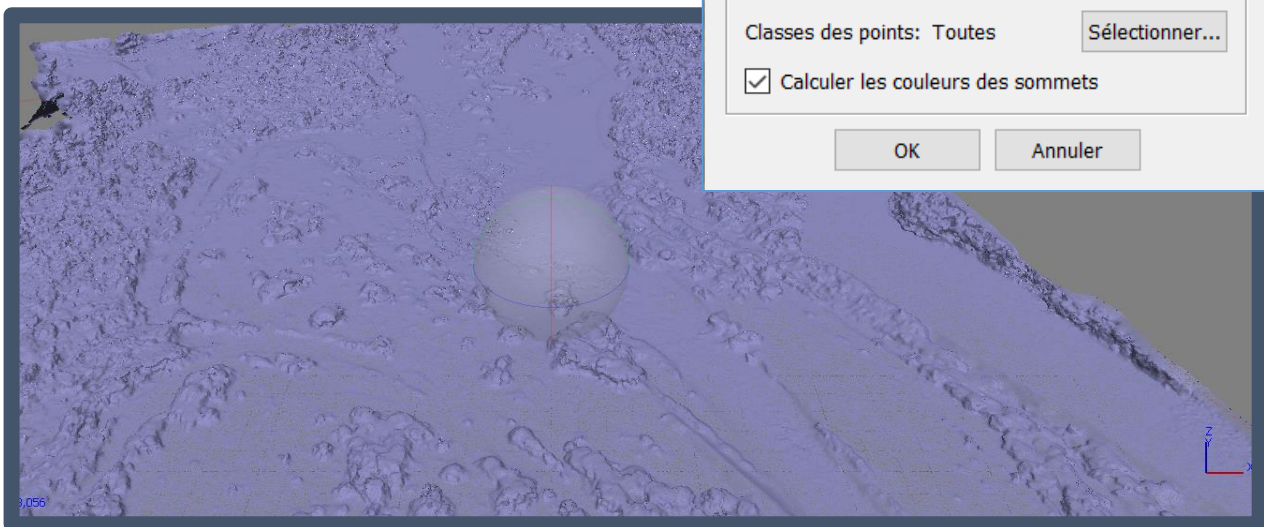


Figure 13: Résultats de la création du maillage – Création de triangles



## 9. Définition de la texture

Pour obtenir l'aspect du terrain sur le MNS en sortie, une étape de définition de texture est nécessaire. Les triangles, issus de l'étape de maillage, sur notre suite de photographies, doivent présenter une texture (figure 15).

Pour obtenir une qualité visuelle nécessaire à notre étude, il est important de bien définir certains paramètres comme le **mode de mappage**. Nous choisissons donc l'orthophoto pour avoir une texture fine. D'autres modes sont présents dans Agisoft en fonction de la qualité visuelle souhaitée.

Toujours dans cette logique de haute qualité, le **mode de fusion** mobilisé est celui en mosaïque « car il ne mélange pas les détails des photos qui se chevauchent mais utilise la photo la plus appropriée (c'est à dire celle où le pixel en question est localisé à la plus courte distance du centre de l'image » (Manuel Agisoft)

La **taille de la texture** correspond aux fichiers d'export. « L'exportation de texture à plusieurs fichiers permet d'archiver une plus grande résolution de la texture finale du modèle » (Manuel Agisoft).

*Technique Agisoft* : « Menu Traitement » > « Construire la texture » (figure 14)

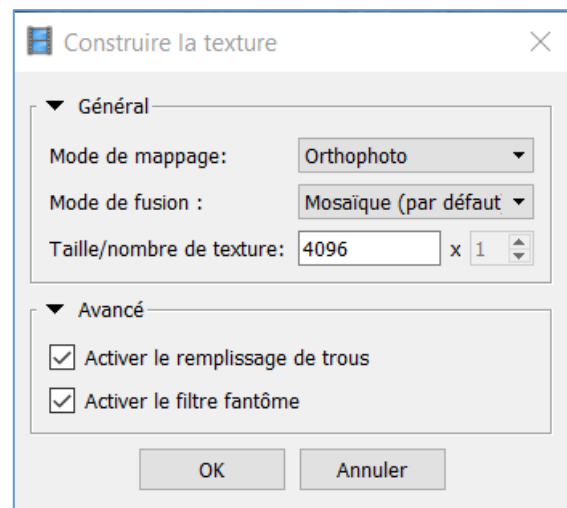


Figure 14 : Ajout d'une texture



Figure 15 : Modèle obtenu après application d'une texture

## 10. Génération d'un MNS

Les données maintenant ajustées et corrigées recensées dans l'orthomosaique peuvent permettre de générer un MNS :

*Technique Agisoft* : « Menu Fichier » > « Exporter le MNE »

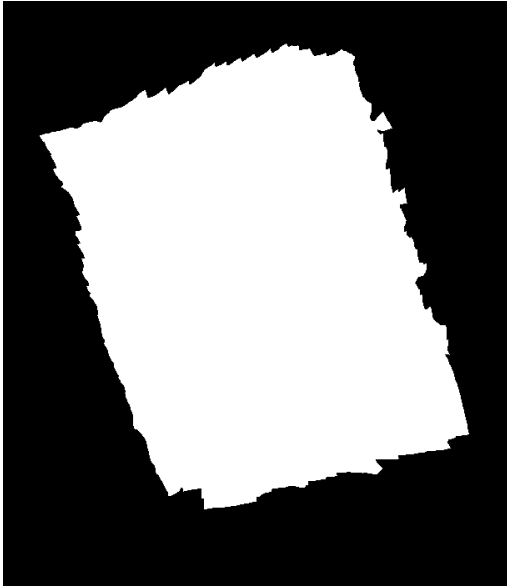


Figure 167 : Fichier MNS en sortie

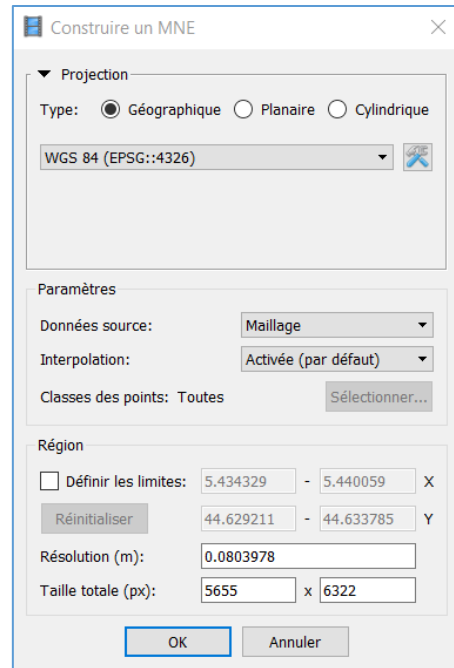


Figure 176 : Construction du MNS

## 11. Création ortho photo

Une fois la texture affectée, une ortho mosaïque est produite. Elle regroupe l'ensemble des ortho image en une seule image. Pour être affichée sur une carte, elles ont au préalable été rectifiées géométriquement.

*Technique Agisoft* : « Menu Fichier » > « Exporter l'orthomosaique »



Figure 19 : Image Orthomosaique en sortie

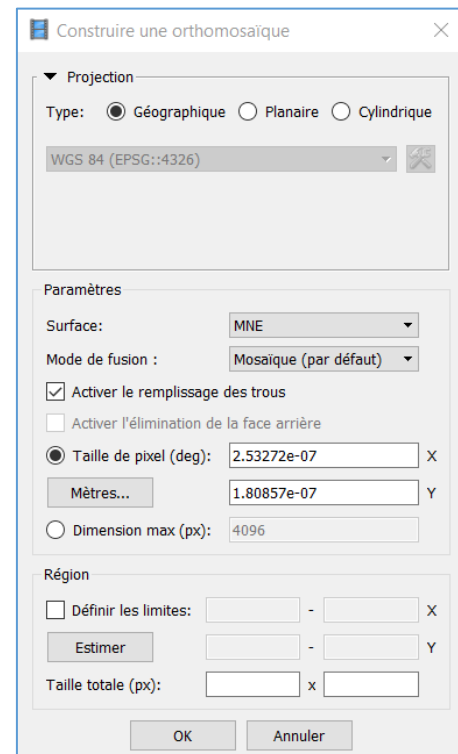


Figure 18 : Création de l'orthomosaique

## 12. Evaluation de la qualité du MNS - Calcul des différences entre MNS et GCP

### Méthode 1 avec QGIS :

Pour évaluer la qualité du MNS créé, la différence entre la valeur d'altitude du raster obtenu et la valeur d'altitude mesurée avec le GPS sur les points de contrôle est analysée. A partir de cette étape, tous les GCP récoltés sont utilisés : les GCP avec balises, ainsi que les GCP pris aléatoirement selon la topographie de la zone d'étude, les GCP des deux transects perpendiculaires à la rivière et les GCP liés à la base GPS. Pour ce faire, nous avons utilisé QGIS et, dans un premier temps, la fonction « Prélever des valeurs rasters ».

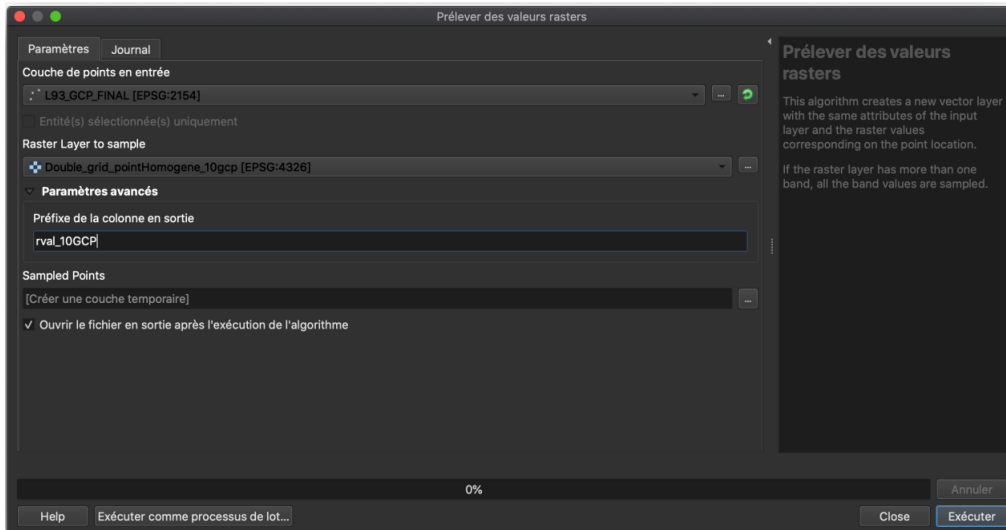


Figure 20: Fonction QGIS permettant d'obtenir les valeurs altimétriques du MNS

Ensuite, la différence entre cette valeur et la valeur du champ « Elevation » est effectuée en utilisant la calculatrice de champ :

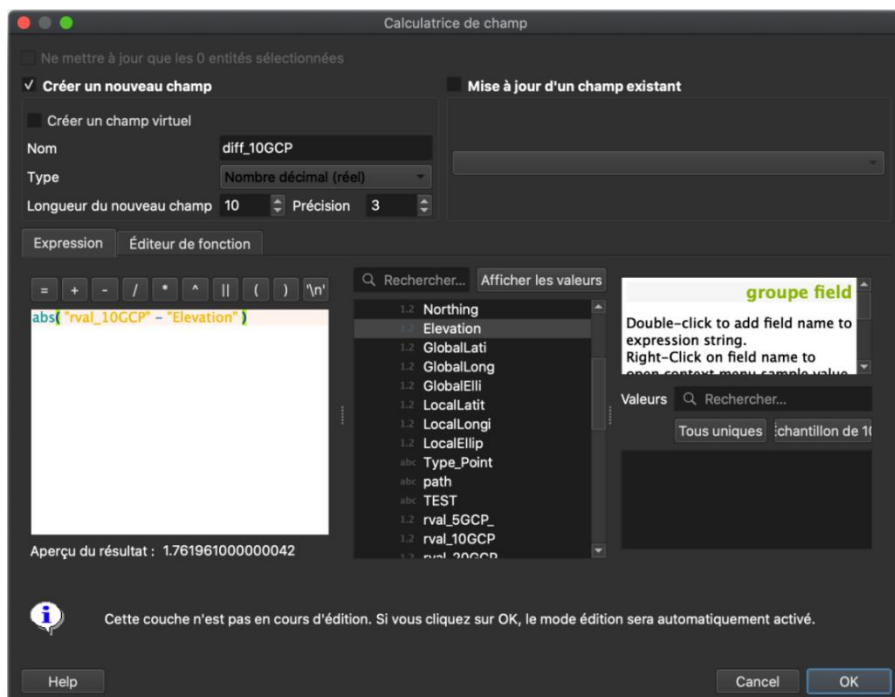


Figure 21 : Différence altimétrique Altitude MNS et GCP

En réalisant cette opération sur tous les MNS produits, les résultats peuvent être comparés pour chacune de nos phases de test (décrits dans la partie IV).

#### Méthode 2 avec R :

Afin d'automatiser les traitements pour calculer les différences d'altitude entre les valeurs des GCP et les valeurs des MNS produits, nous avons également développé un script R.

Avec les packages *rgdal* et *raster*, il est possible d'ouvrir un fichier raster. Ensuite, nous pouvons extraire les valeurs de chaque raster pour chaque emplacement de GCP, en appelant la fonction *raster::extract* et en passant en argument le raster et le fichier de points GCP. Le résultat est stocké dans une nouvelle colonne d'un objet *data frame*, et il reste à calculer la différence entre cette valeur et la valeur mesurée à l'aide du GPS dans un autre champ. Le script complet est à retrouver en annexe de ce document. Des graphiques seront ensuite produits pour permettre la comparaison entre les différentes méthodes.

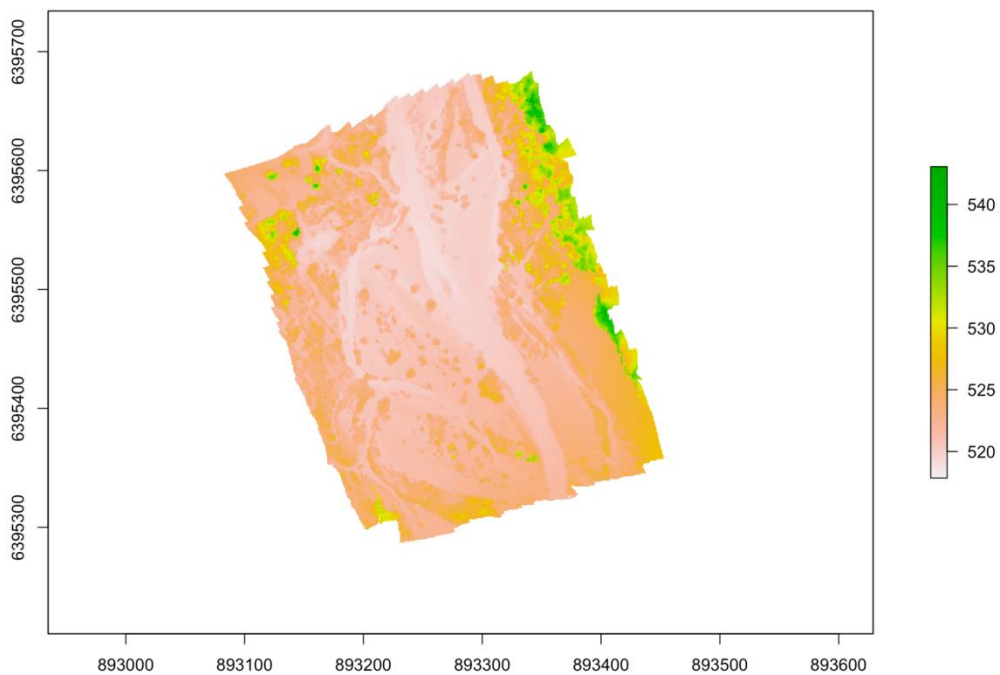
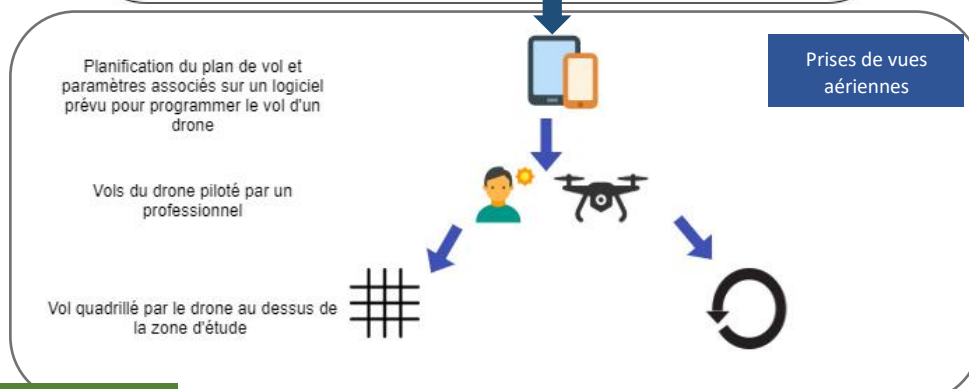
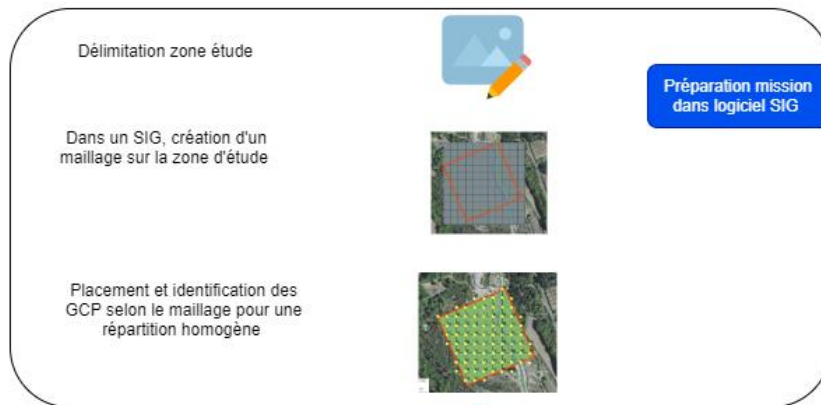
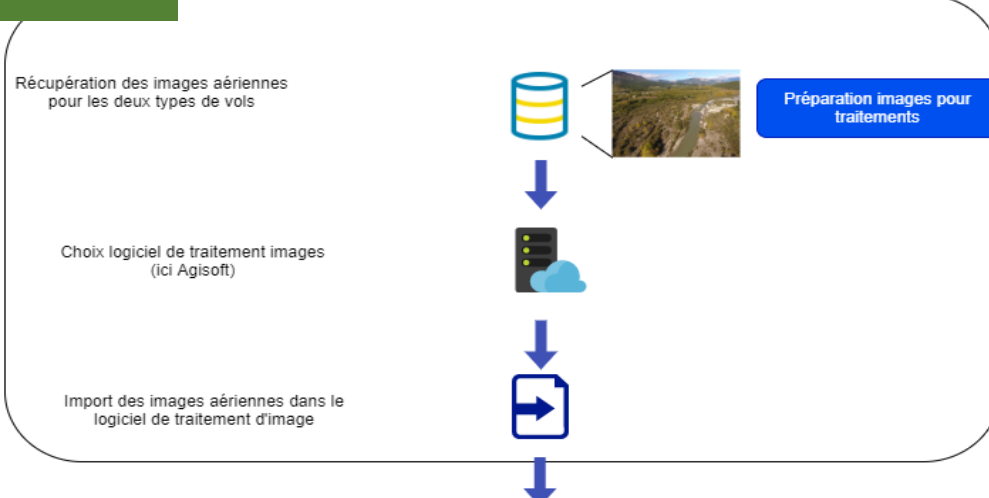


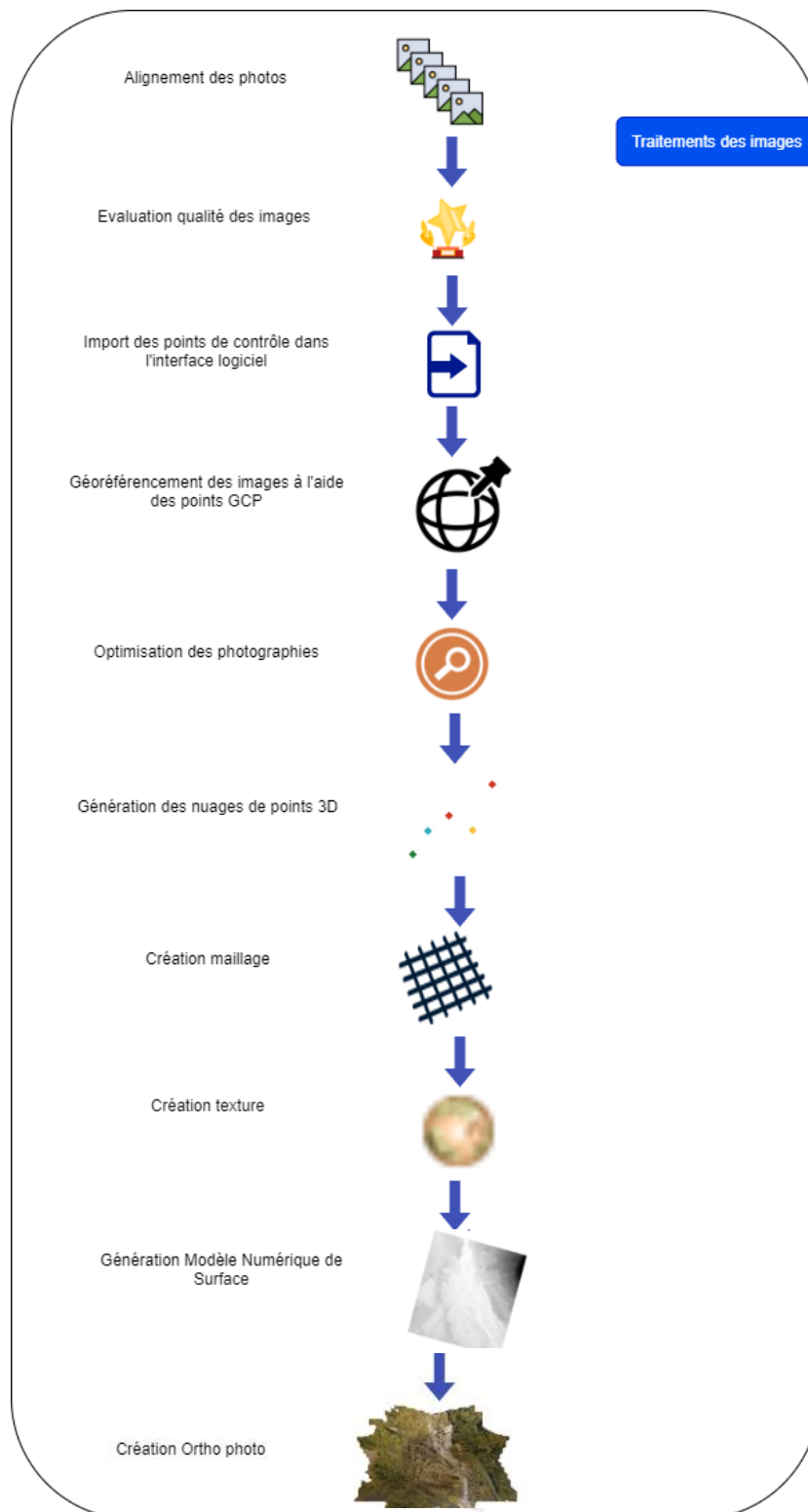
Figure 182 : Représentation du MNS sous RStudio

c) Schéma fonctionnel de l'ensemble des étapes



Du terrain à l'ordinateur





Import du MNS dans un logiciel SIG  
(Ici Qgis)

Calcul du delta entre MNT produit et  
position GPS des points de contrôle  
- Commande Qgis "*Prélever des  
valeurs raster*"

Comparaison Qualité entre type de vol  
- nombre de GCP et répartition des  
GCP



Evaluation de la qualité des  
MNS

## IV. Analyses comparatives des résultats et retour critique

### a) Variations du nombre de GCP et répartition par rapport au type de vol

Pour analyser la qualité des MNS, nous avons souhaité observer à travers des boîtes à moustaches le comportement des marges d'erreur des MNS. La marge d'erreur correspond à la différence d'altitude entre le MNS produit et la coordonnée Z des GCP que nous avons récolté sur le terrain. Grâce aux boîtes à moustache, nous pouvons rapidement analyser l'étendue des variations des marges d'erreur, voir la moyenne des points (symbole « + » sur la boîte), ainsi que le premier quartile, la médiane et le troisième quartile. Les quartiles et la médiane nous permettent d'affirmer que 25%, 50% et 75% des points ont une marge d'erreur inférieure/supérieure à tant de centimètres. Tous ces outils nous aideront à estimer la qualité du MNS généré.

Afin d'évaluer le plus efficacement possible les différents MNS produits, nous avons analysé leurs qualités selon trois critères :

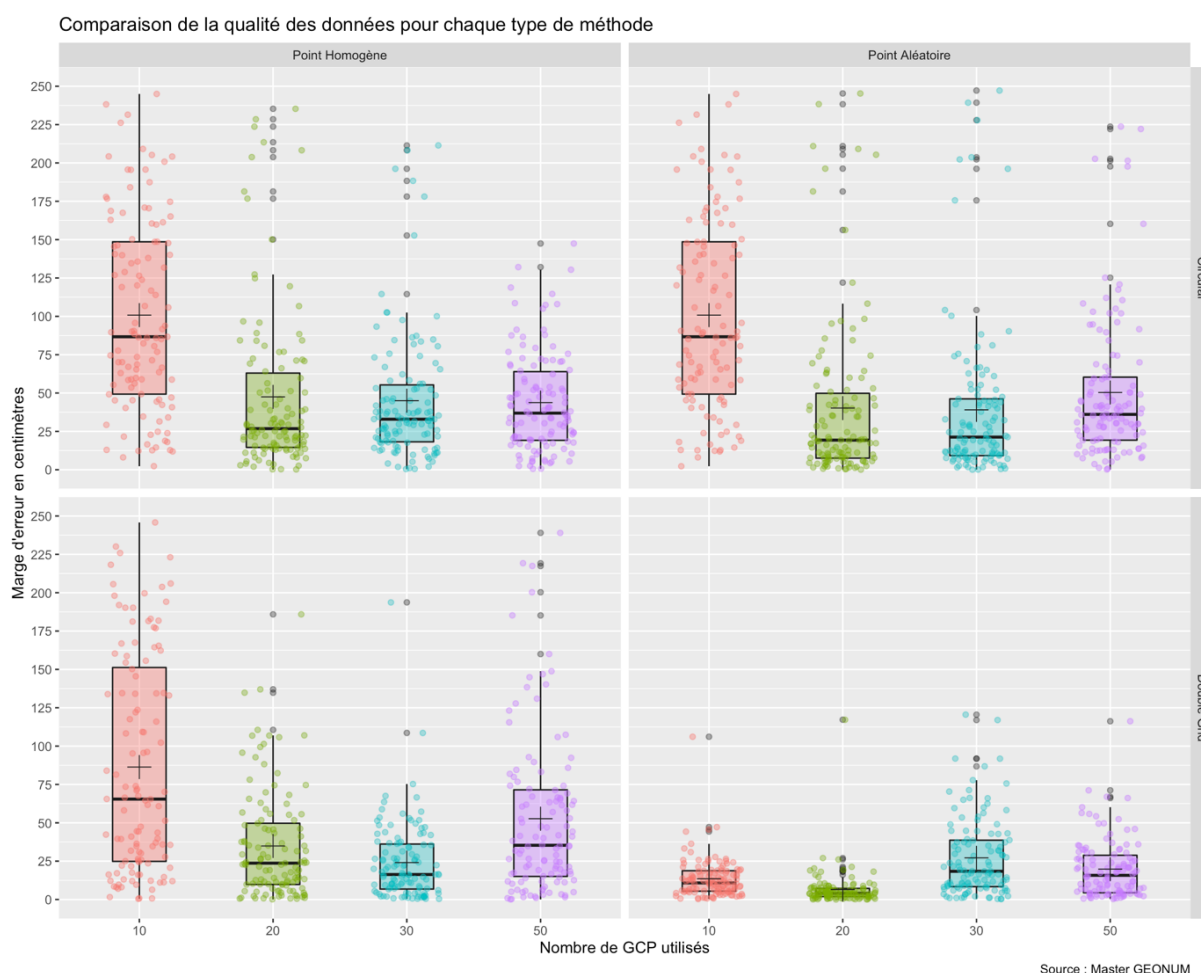


Figure 193 : Graphique de comparaison Type de vol - nombre et répartition des GCP

- Le type de vol (circulaire, double grid)
- La répartition des points de contrôle (homogène, couple aléatoire)
- Le nombre de points de contrôle utilisé pour optimiser la photo (10, 20, 30, 52)



Pour ce faire, nous avons réalisé un graphique quadrillé qui rassemblent l'ensemble des trois critères pour comparer l'ensemble des études réalisées. Evaluons la qualité selon nos hypothèses de départ :

**Hypothèse 1 : Plus les GCP sont nombreux et répartis de manière uniforme, plus le MNS est précis.**

**Hypothèses 2 : Le type de vol circulaire prenant des photos avec un angle de 5° induira un MNS de moins bonne qualité.**

Décomposons l'analyse :

- Au niveau de la répartition :

Nous observons que le MNS est de meilleure qualité lorsque les points de contrôle sont répartis de manière aléatoire. Effectivement, la marge d'erreur moyenne pour l'ensemble des 8 tests effectués avec une répartition aléatoire est globalement moins importante que pour les répartitions homogènes.

| Type vol   | Nombre GCP | Moyenne marge erreur Homogène (cm) | Moyenne marge erreur Aléatoire (cm) |
|------------|------------|------------------------------------|-------------------------------------|
| Circulaire | 10         | 80                                 | 90                                  |
|            | 20         | 28                                 | 18                                  |
|            | 30         | 30                                 | 18                                  |
|            | 50         | 40                                 | 40                                  |

Figure 24 : Marge d'erreur moyenne pour le vol circulaire

| Type vol    | Nombre GCP | Moyenne Marge erreur Homogène (cm) | Moyenne marge erreur Aléatoire (cm) |
|-------------|------------|------------------------------------|-------------------------------------|
| Double grid | 10         | 65                                 | 15                                  |
|             | 20         | 23                                 | 8                                   |
|             | 30         | 15                                 | 18                                  |
|             | 50         | 40                                 | 15                                  |

Figure 25: Marge d'erreur moyenne pour le vol double grid

Pour avoir une qualité optimale, il faut donc privilégier la **répartition des points de contrôle de manière aléatoire en couple de points**. Cependant attention, on note un nombre d'outsider bien plus important pour le vol circulaire. Ce qui va créer des erreurs très importantes dans le MNS.

- Au niveau du nombre de GCP mobilisés

Concernant le nombre de points de contrôle à mobiliser, 20 semble être le nombre optimal. En effet, nous observons que pour un nombre de points moindre (10), la marge d'erreur entre altitude du MNS et altitude des points de contrôle est plus élevée. Bien que plus précis que l'utilisation de 10 points, mobiliser 30 ou 50 points de contrôle ne semble pas garantir une meilleure qualité.

Il faut donc à ce stade de l'analyse, répartir de manière aléatoire 20 points de contrôle lors du traitement d'images pour obtenir un MNS de qualité.

- Au niveau du type de vol

Rappelons que selon notre hypothèse le type de vol circulaire serait moins précis.

Analysons la moyenne des marges d'erreur entre MNS et GCP entre chaque type de vol (en vert sera indiqué le type de vol ayant la marge d'erreur la plus faible et en jaune des marges d'erreur équivalente) :

| Nombre GCP | Moyenne Marge erreur Homogène (cm) |             |
|------------|------------------------------------|-------------|
|            | CIRCULAIRE                         | DOUBLE GRID |
| 10         | 80                                 | 65          |
| 20         | 28                                 | 23          |
| 30         | 30                                 | 15          |
| 50         | 40                                 | 40          |

Figure 26 : Comparaison marge d'erreur entre type de vol pour répartition Homogène des points de contrôle

| Nombre GCP | Moyenne Marge erreur Aléatoire |             |
|------------|--------------------------------|-------------|
|            | CIRCULAIRE                     | DOUBLE GRID |
| 10         | 90                             | 15          |
| 20         | 18                             | 8           |
| 30         | 18                             | 18          |
| 50         | 40                             | 15          |

Figure 27 : Comparaison marge d'erreur entre type de vol pour répartition aléatoire des points de contrôle

En analysant les résultats, nous constatons que les marges d'erreurs altimétriques sont beaucoup moins élevées avec la méthode de vol en double grid (quadrillage vertical puis perpendiculaire) qu'en circulaire.

**Notre hypothèse 1 est donc réfutée tandis que l'hypothèse 2 est acceptée. Pour obtenir un MNS de qualité lors du traitement d'images selon les variables étudiées, il faut mobiliser 20 points GCP répartis de manière aléatoire en couple pour un vol de type double grid.**

## b) Analyse de la méthode la plus performante

L'histogramme ci-dessous représente le nombre de GCP selon la marge d'erreur en centimètres, pour le MNS en double grid aléatoire 20 GCP, entre le MNS et les tous les GCP relevés.

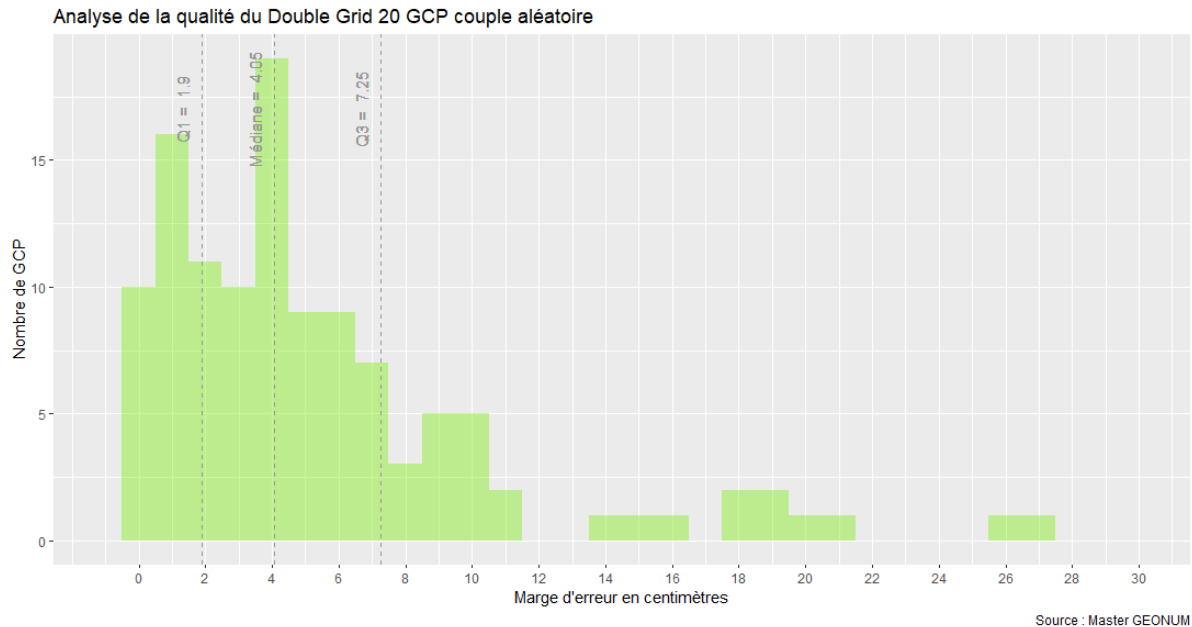


Figure 20: Analyse de qualité de la méthode la plus performante

En observant de plus près, le cas que nous avons jugé le plus optimal : MNS Double Grid avec 20 GCP aléatoire, nous pouvons voir que 75% du MNS présente une marge d'erreur de moins de 7 centimètres. Par ailleurs, 50% du MNS a seulement 5 centimètres d'écart avec les relevés topographiques réalisés.

Nous pouvons donc affirmer que le MNS réalisé à une précision de l'ordre de la dizaine de centimètres. Cependant cette qualité peut s'expliquer par différents facteurs :

- Facteurs environnementaux :
  - Temps clairs avec très peu de nuages qui n'étaient pas à portée de vol
  - Pas de vents influençant le drone
  - Une très bonne qualité des images prises (entre 0.78 et 0.90)
  - Prise des photos vers 12h (peu d'ombrage)
- Facteurs des méthodes
  - **Le nombre d'image traitées** n'est pas le même (279 images en double grid contre 80 images en circulaire) ce qui impacte énormément les temps de calcul. Il faut donc prévoir un temps de traitement plus important.
  - **Le temps de vol différent**, l'acquisition des images en double grid est bien plus important (15min en double grid contre 2 min en circulaire). Ce qui va fortement impacter notre surface d'analyse.

En fonction des facteurs climatiques mais aussi de la surface de terrain à analyser, il est possible que la méthode de traitement circulaire trouve de nombreux avantages. Effectivement, pour cette méthode la précision du MNS généré est proche de 50 centimètres. Cependant, il est possible de réaliser plus rapidement sur le terrain la prise d'image. Celles-ci ne sont pas impactées par l'ombrage. Il s'agit donc des critères à prendre en compte.

### c) Retour critique

#### Utilisation de Micmac pour obtenir les MNS :

Nous avons essayé une alternative à Agisoft pour générer le MNS en utilisant le logiciel libre Micmac, développé par l'ENSG et l'IGN. Le logiciel s'utilise exclusivement en ligne de commande et nécessite une prise en main plus longue que le logiciel Agisoft. Micmac propose un nombre important de fonctions, disponibles dans le menu d'aide, en tapant la commande *mm3d*.

Nous sommes parvenus à obtenir un nuage de points en utilisant les fonctions *Tapioca*, *Tapas* et *AperiCloud*, mais la fonction de saisie des points de contrôle présente un bug sur Mac OS X (<https://github.com/micmacIGN/micmac/issues/140>). Nous nous sommes donc arrêtés à cette étape-là mais il serait techniquement possible d'obtenir un MNS avec micmac sur Windows. Voici le nuage de points obtenu avec les images en vue circulaire :

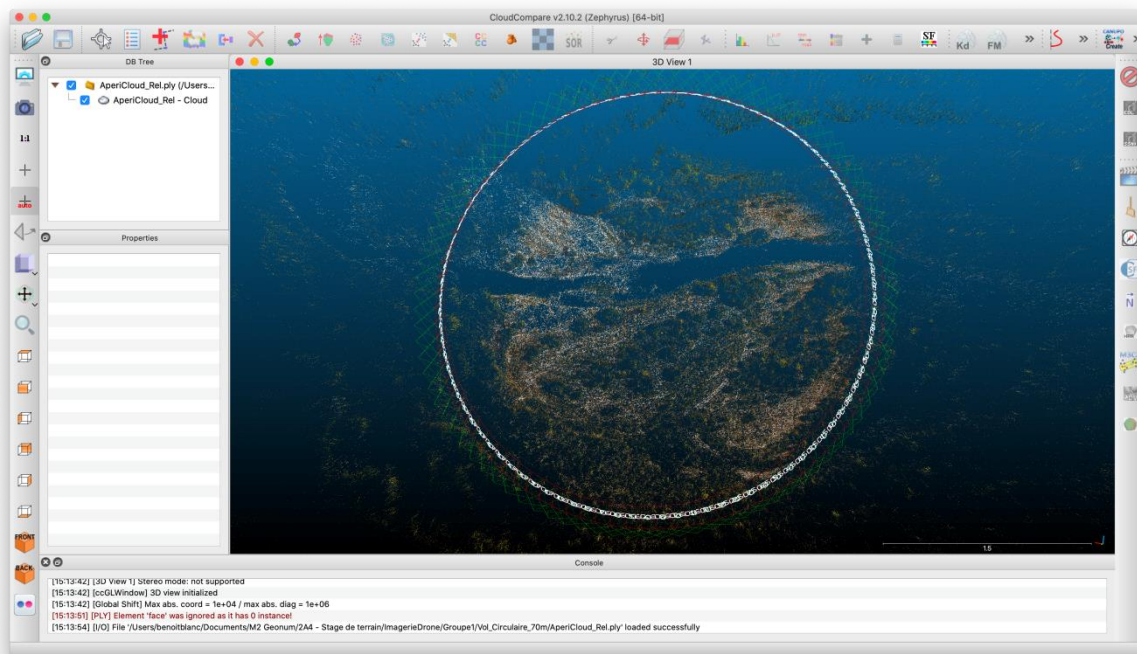


Figure 219: Visualisation du nuage de point sous micmac

#### Utilisation de Agisoft pour obtenir les MNS :

Agisoft est un logiciel payant, qui nous a permis de générer des MNS de qualité ayant une marge d'erreur  $< 8\text{cm}$ . Cela montre une précision relativement pointue. Cependant le logiciel est très gourmand, les temps de traitement sont très longs et nécessitent des ordinateurs très performants.

#### Paramètres impactant la qualité d'un MNS :

Lors de notre étude, nous sommes intéressés à la répartition et aux nombres de GCP mobilisés pour la construction d'un MNS ainsi qu'au type de vol. Il est cependant important de noter que la qualité du MNS est très impactée selon les paramètres définis lors de la phase de traitement d'image. Par ailleurs, d'autres paramètres non étudiés ici sont très impactant comme la hauteur de vol, la météorologie, le paramétrage de la caméra, le type de drone utilisé, ou encore le bruit numérique présent sur les images.

## Bibliographie

- EnocSanz-Ablanedo, Jim H. Chandler, José Ramón Rodríguez-Pérez and Celestino Ordóñez, « *Accuracy of Unmanned Aerial Vehicle (UAV) and SfM Photogrammetry Survey as a Function of the Number and Location of Ground Control Points Used* », 2018
- Steven Humbert, « *Modèle numérique de terrain par drone photogrammétrique sur le littoral de l'Île d'Oléron* », Sciences de l'ingénieur [physics], 2017. dumas-01835611
- Toby N. Tonkin and Nicholas G. Midgley « *Ground-Control Networks for Image Based Surface Reconstruction: An Investigation of Optimum Survey Designs Using UAV Derived Imagery and Structure-from-Motion Photogrammetry* », 2016
- Conservatoires d'espaces naturels, La Fédération, Pôle - relais Zones Humides, Pôle Relais tourbières, « *L'utilisation de vecteurs légers aéroportés et de drones pour la modélisation 3D des zones humides* », 2015, en ligne
- Éric Bernard, Jean-Michel Friedt, Florian Tolle, Sophie Schiavone, Madeleine Griselin, « *Intérêt de l'utilisation de la photogrammétrie SfM (Structure from Motion) pour le suivi des processus nivo-glaciaires. Application au bassin du glacier Austre Lovén, Spitsberg* », 2015
- Jonathan P. Dandois, Marc Olano and Erle C. Ellis « *Optimal Altitude, Overlap, and Weather Conditions for Computer Vision UAV Estimates of Forest Structure* », 2015
- Mark William Smith and Damià Verical « *From experimental plots to experimental landscapes : topography, erosion and deposition in sub-humid badlands from Structure-from-Motion photogrammetry* », 2015
- Estelle Ployon, Stéphane Jaillet, Olivier Barge, « *Acquisition et traitements de nuages de points 3D, par des techniques légères et à faible coûts, pour l'élaboration de MNT à haute résolution* », Collection EDYTEM n° 12, pp.155-168, 2011
- Olivier de Joinville, « *Evaluation de la qualité d'une cartographie urbaine à l'aide d'images aériennes à haute résolution* », 2001
- Xavier Lucie, Sylvie Durrieu, Anne Jolly, Sylvain Labbé, Jean-Pierre Renaud, « *Comparaison de modèles numériques de surface photogrammétriques de différentes résolutions en forêt mixte. Estimation d'une variable dendrométrique simple : la hauteur dominante* »

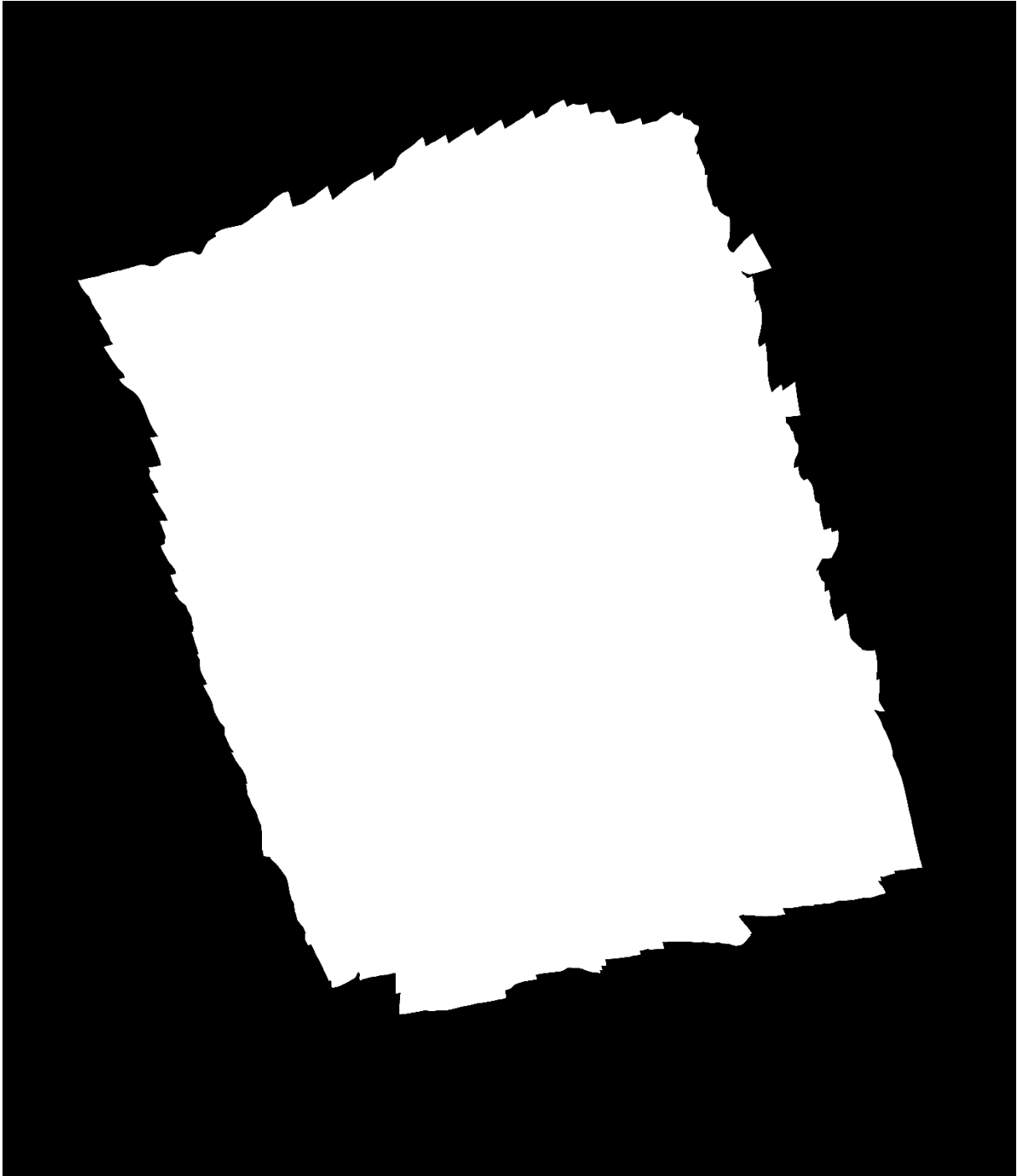
## Annexe

### 1. Script de comparaison de la qualité des MNE sous R

```
# Analyses histogramme approfondies

ggplot(Double_grid_donne_20GCP,aes(x = (Marge_Erreur*100))) +
  geom_histogram(binwidth = 1, fill = "chartreuse2", alpha = 0.4)+
  labs(y = "Nombre de GCP", caption = "Source : Master GEONUM")+
  geom_vline(aes(xintercept = median (Marge_Erreur)*100), linetype="dashed", c
olor = "grey60" )+
  geom_text(aes(x=median (Marge_Erreur)*100, label= paste("Médiane = ",median
(Marge_Erreur)*100), y=17), vjust = -
1, colour="grey60", angle=90, text=element_text(size=11)) +
  geom_vline(aes(xintercept = as.double(quantile(Double_grid_donne_20GCP$Marge
_Erreur,probs=0.75)*100)), linetype="dashed", color = "grey60" )+
  geom_text(aes(x=as.double(quantile(Double_grid_donne_20GCP$Marge_Erreur,prob
s=0.25)*100), label=paste("Q1 = ",as.double(quantile(Double_grid_donne_20GCP$M
arge_Erreur,probs=0.25)*100)), y=17), vjust = -
1, colour="grey60", angle=90, text=element_text(size=11)) +
  geom_vline(aes(xintercept = as.double(quantile(Double_grid_donne_20GCP$Marge
_Erreur,probs=0.25)*100)), linetype="dashed", color = "grey60" )+
  geom_text(aes(x=as.double(quantile(Double_grid_donne_20GCP$Marge_Erreur,prob
s=0.75)*100), label= paste("Q3 = ",as.double(quantile(Double_grid_donne_20GCP$
Marge_Erreur,probs=0.75)*100)), y=17), vjust = -
1, colour="grey60", angle=90, text=element_text(size=11)) +
  scale_x_continuous (name = "Marge d'erreur en centimètres", breaks=c(seq(0,3
0,2)), limits = c(-1,30))+
  ggtitle("Analyse de la qualité du Double Grid 20 GCP couple aléatoire")
```

2. MNE en fichier de sortie :



3. Ortho photo en fichier de sortie :

