

Photogrammétrie par drone sur les Mourres : Rapport de fin de projet



Figure 1 : Site des Mourres au nord de Focalquier (04)

Marie BASTIEN, Anaïs EMPEREUR-BUISSON, Julie GROSMIRE, Typhaine JOUAN, Claude Adélaïde NLATE DZOU

Abstract

À l'issue de notre stage terrain de Forcalquier de première année du cycle ingénieur, nous avons réalisé la stéréopréparation, l'acquisition et les traitements d'une prise de vue par drone du site des Mourres au nord de Forcalquier (04). À la suite des traitements photogrammétriques, nous avons été amenées à produire et à qualifier plusieurs orthophotos et un modèle numérique de surface. Ce projet ayant pour but d'étudier l'apport des drones dans le domaine de la photogrammétrie, nous avons été amenées à produire un mémento qui récapitule les étapes à réaliser avant, lors et après une acquisition par drone dans le but d'un traitement photogrammétrique des données acquises par drone.

Sommaire

Contents

1	Introduction	4
1.1	Présentation de la zone	4
I	Acquisition	5
2	Préparation de l'acquisition par drone	5
2.1	Détermination du plan de vol	5
2.2	Calcul sommet de prises de vue	6
2.3	Mise en place des points d'appui et de contrôle	7
3	Acquisition par drone sur le site des Mourres	7
3.1	Description des vols réalisés	9
3.2	Analyse des acquisitions du droniste	9
3.2.1	Vols	9
3.2.2	Qualité des clichés	9
II	Traitement	9
3.3	Traitement relatif des images	9
3.4	Acquisition de données de géoréférencement	10
3.4.1	Mesure des données topométriques	10
3.4.2	Comparatif Static et RTK	10
3.4.3	Traitement des données GNSS	10
3.4.4	Traitement des données topométriques	11
3.5	Traitement absolu des images	12
3.5.1	Orientation absolue des images	12
III	Rendus	14

4 Rendus photogrammétriques	14
4.1 Présentation des rendus	14
4.1.1 Orthophotos	14
4.1.2 Modèle numérique de surface (MNS)	15
4.1.3 Modèle numérique de terrain (MNT) généré par interpolation	16
4.1.4 Implication de la télédétection	17
4.2 Qualification des résultats	19
4.2.1 Comparaison avec les résultats de 2016	19
4.2.2 Comparaison avec l'orthophoto de Géoportail	19
4.2.3 Comparaison avec l'orthophoto acquise à la perche	20
4.2.4 Pertinence du drone dans le domaine de la photogrammétrie	20
5 Conclusion	21
6 Annexes	21
7 Webographie	21
8 Remerciements	21

1 Introduction

Notre projet, intitulé Photogrammétrie par Drone sur les Mourres, s’inscrit dans le domaine de la photogrammétrie et de la topométrie mais aussi de la télédétection. L’objectif de ces trois semaines de projet est de produire des jeux de données photogrammétriques (orthophoto, MNS) à la suite d’une acquisition par drone d’une zone imposée, ainsi que de qualifier l’apport des drones dans le domaine de la photogrammétrie.

Notre cahier des charges nous demandait la production d’orthophoto et MNS à une résolution de 2 à 3 cm, ainsi qu’un mémento pour droniste lorsqu’il travaille avec un photogrammètre.

1.1 Présentation de la zone

La zone de travail se situe sur le site naturel protégé des Mourres au nord de Forcalquier (04). Située à une altitude variant de 710m à 730m, elle se trouve dans l’étage méso-méditerranéen et présente une végétation appartenant à des strates différentes, essentiellement arbustive et herbacée. Le site des Mourres est un site protégé pour ses curiosités géologiques, ce dont il a fallu tenir compte lors de nos sorties terrain, notamment en respectant la végétation mais également les différents utilisateurs du site. La zone à couvrir se trouve en plein coeur de ce site, avec une superficie d’environ 2,4 hm² pour une longueur de 230 m et une largeur de 115 m environ. Elle présente un dénivelé maximal d’environ 20 m dans un axe nord-ouest sud-est. Le paysage est assez varié, avec une prairie sèche et des arbres au sud-ouest, une lande semi désertique au centre, et un terrain plus accidenté au niveau des fameuses concrétions calcaires au nord-est. Malgré cette diversité de paysage, la végétation basse et le relief relativement plat font que la zone comporte peu d’obstacles pour la prise de vue du sol par drone.

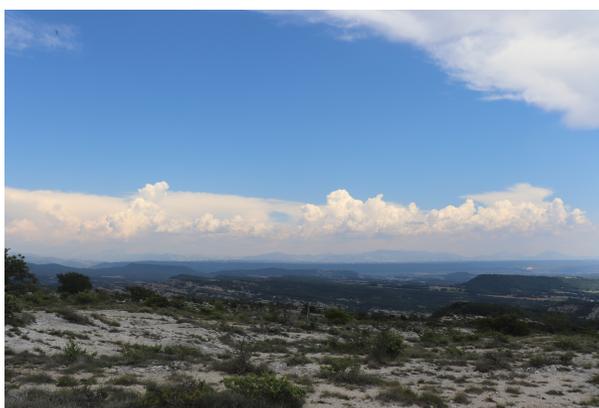


Figure 2 : Photo de la zone

Notre projet s’est déroulé de la façon suivante :

Reconnaissance de la zone	Plan de Vol (Coordonnées, Nombre de bandes, % de recouvrement,...)	Points d'appui Mise en place Topométrie	Acquisition Drone	MicMac Calculs Lien avec tuto Marion	Orthophotos MNS	Points de contrôle (naturels)	Télédétection
							Qualification Ortho/MNS

Figure 3 : Frise chronologique des étapes du projet

Part I

Acquisition

2 Préparation de l'acquisition par drone

Le recours au service d'un prestataire privé nous a imposé un calendrier des tâches serré lors de la première semaine du stage. En effet, le droniste est venu 2 jours après le début du projet, nous avons donc dû à la fois prendre contact avec lui, planifier le plan de vol et équiper le terrain pour l'acquisition par drone durant ces 2 jours.

Au cours de la première prise de contact avec le droniste, celui-ci nous a présenté le matériel qu'il utilise préférentiellement (Phantom4 Pro) ainsi que les différentes options de vol qu'il proposait : vol manuel ou automatique. La zone présentant un dénivelé important (20 m), nous avons choisi un vol manuel car c'est le seul type de vol qui permet de faire varier l'altitude de vol du drone. En effet, nous devons obtenir des bandes de résolution homogène afin de faciliter les calculs par la suite et d'assurer une résolution native homogène en entrée de l'orthorectification. Lors d'un vol automatique, le drone vole à une altitude constante par rapport au point de référence où on le place en début d'acquisition, ce qui ne permet pas de maintenir une distance constante entre le drone et le sol.

2.1 Détermination du plan de vol

Une fois le plan de vol manuel choisi, le droniste nous a présenté le capteur de l'appareil photo de son drone : IMX 183 CMOS. Cet appareil photo a les caractéristiques suivantes :

Nombre de pixel	5 472 x 3 648 pixels : 20 millions de pixels
Taille d'un photosite	2.4 μ m
Taille du capteur	13,2 x 8,8 mm
Focale	9,05 mm (24 mm en focale équivalente)

Figure 4 : caractéristiques du capteur utilisé par le droniste

Des études sur ce capteur nous ont permis de déterminer la distance entre le sol et le drone nécessaire pour avoir la résolution imposée par le cahier des charges. Le calcul suivant nous permet de la déterminer:

$$\frac{f}{D} = \frac{T_p}{R} \iff D = \frac{f * R}{T_p} \iff D = 75m$$

avec f la focale, D la distance entre le sol et le drone, T_p la taille du photosite et R la résolution souhaitée.

Ainsi, afin d'avoir une résolution constante des bandes, il faut que le drone prenne les photos à une distance entre le sol et celui-ci de 75 m. Cette distance nous permettra d'avoir une résolution de 2 cm des photos comme le cahier des charges nous l'impose.

Nous avons ensuite calculé l'emprise d'une photo afin de pouvoir déterminer le nombre de bandes et de clichés par bande nécessaires afin d'avoir le recouvrement souhaité.

Recouvrement	80% en interbande et 60% en intrabande.
Emprise d'une photo	72m de largeur et 109m de longueur
Zone de travail	115m de largeur et 230m de longueur

Figure 5 : Récapitulatif des données de recouvrement de la zone

Détermination du nombre de bandes :

$$\begin{aligned}
n_{bandes} * emprise * 40/100 + (n_{bandes} - 1) * emprise * 60/100 &= 115 \\
\iff n_{bandes} * 43.6 + (n_{bandes} - 1) * 65.4 &= 115 \\
\iff (43.6 + 65.4) * n_{bandes} &= 115 + 65.4 \\
n_{bandes} &= 1.76
\end{aligned}$$

Détermination du nombre de photos :

$$\begin{aligned}
n_{photos/bande} &= \lfloor \frac{l_{max}}{(1+80/100)*l_{max}} + 1 \rfloor \\
n_{photos/bande} &= 17
\end{aligned}$$

Il était donc possible de réaliser uniquement deux bandes mais nous avons décidé d'en réaliser trois afin d'assurer un meilleur recouvrement des points extrémaux. Le drone prendra 17 photos par bandes soit 51 photos au total.

Nombre de bandes	Nombre de clichés par bande	Nombre total de clichés
3 bandes	17 clichés par bande	51 clichés

Figure 6 : Récapitulatif des bandes

2.2 Calcul sommet de prises de vue

Nous avons ensuite déterminé les coordonnées des sommets de prise de vue afin de pouvoir les fournir au droniste. N'ayant pas réussi à positionner les sommets de prise de vue avec QGIS et n'ayant pas le temps de nous former à un logiciel le permettant, nous avons décidé d'utiliser Géoportail et la gamme d'outils qu'il propose afin de positionner les points. Nous avons ensuite extrait les coordonnées des points en Lambert-93 planes. Ensuite, puisque nous voulions que le drone vole à une hauteur de 75m au-dessus du sol, nous avons rajouté 75 m à l'altitude du point au sol. Le droniste souhaitait des coordonnées en WGS84. N'ayant pas eu le temps de savoir quel type de coordonnées le droniste souhaitait, nous avons décidé de lui envoyer différents formats afin qu'il puisse choisir. Nous avons converti les coordonnées des points sous différents formats de coordonnées : géographiques et cartésiennes. Nous avons fourni au droniste les coordonnées géographiques en grades. Cependant, le logiciel du drone ne peut prendre que des coordonnées en degrés. Ce problème a été détecté lorsque le droniste a souhaité entrer les coordonnées des sommets de prise de vue dans le contrôleur de son drone. Nous avons donc dû lui envoyer un nouveau fichier de coordonnées géographiques en degrés.

2.3 Mise en place des points d'appui et de contrôle

Une fois que le droniste a confirmé que les coordonnées que nous lui avons envoyées étaient correctes, nous sommes allées choisir l'emplacement de nos points d'appuis sur le terrain. Un point d'appui est un détail visible sur plusieurs photos dont on connaît les coordonnées dans un référentiel absolu. Ces points sont essentiels afin de géoréférencer les orthophotos et le MNS que nous avons à produire avec les photos du drone.

Nous avons réparti ces points sur les trois bandes de clichés, sur les coins du chantier et au milieu de la zone en assurant une intervisibilité entre eux dans le but de pouvoir qualifier nos mesures topométriques sur ces points. Nous avons également veillé à éviter de positionner des stations en sifflet par rapport aux autres (privilégiant des angles les plus proches possible de 90°) afin d'éviter des mauvaises déterminations par les visées des points.

Nous avons donc matérialisé les points par des clous (entourés de rondelle orange afin de les retrouver plus facilement sur le terrain) dans le sol des Mourres afin de matérialiser les points topométriques qui nous serviront en points d'appui. Une fois les points installés, nous avons réalisé une fiche signalétique pour chaque point afin de pouvoir retrouver ces points facilement lors des chantiers à venir (notamment les mesures GNSS et topométriques des points). Ces fiches signalétiques comprennent les coordonnées approchées des points, une brève description du point, la position approximative du point sur l'image aérienne (orthophoto de Géoportail) et une photo au sol du point.

La zone de travail a été en partie étudiée géodésiquement lors des semaines de stage précédentes, nous avons donc choisi d'utiliser deux des points mesurés lors des stages précédents afin d'augmenter le nombre de nos points d'appuis. De plus, nous avons décidé d'utiliser des points dit "naturels" pour permettre un contrôle de nos jeux de données photogrammétriques ainsi qu'un contrôle des résidus lors de compensation sur COMP3D. Ces points naturels sont des points pérennes au sol, des tâches ou encore des coins de rocher. Leur pointage sur les photos se doit d'être le plus précis possible, de l'ordre du centimètre afin d'assurer ce rôle de contrôle. Une fiche signalétique pour chaque point a été réalisée.(Cf. Annexe Fiches Signalétiques)

3 Acquisition par drone sur le site des Mourres

Les acquisitions par drone sont très réglementées (Cf. Annexe Mémento du drone), notamment sur la hauteur de vol et la localisation des vols. Notre zone se trouvant sur les Mourres de Forcalquier, elle est considérée comme étant hors-agglomération. Cependant, du fait de la présence de public, nous étions donc dans le cadre S3 de la réglementation. C'est-à-dire que l'altitude du drone ne pouvait excéder 150 m et que le prestataire devait avoir une vision constante sur son drone, et la distance entre eux ne devait pas dépasser 100 m.

Théoriquement, nous devions avoir un vol unique, en mode manuel avec les sommets de prise de vue déterminés précédemment. Dans un premier temps, le prestataire a dû poser le drone sur un tapis « H » (hélicoptère), qui sert de point de repère au drone en vol.



Figure 7 : Drone Phantom 4 utilisé

Le drone a réalisé un scan des alentours pour se repérer dans la zone et pouvoir effectuer un retour automatique à son point de départ et pour détecter les endroits soumis à une interdiction de vol. Dans notre situation le drone n'avait pas le droit de voler au-dessus de Saint-Michel-l'Observatoire. Nous avons testé les paramètres liés au capteur de notre drone via des clichés « test », cela dans le but d'adapter au mieux les paramètres de prise de vue aux conditions météorologiques et au terrain. En effet, il faut adapter les paramètres aux conditions météorologiques et au terrain. C'est lors du premier vol que nous avons adapté ces paramètres que sont la correction ISO, le nombre d'ouverture (dépendant de la focale et du diamètre d'ouverture du diaphragme) ainsi que du temps de pose :

	ISO	Nombre d'ouvertures	Temps de pose
Paramètres Initiaux	100	7.1	1/500 s
Paramètres Finaux	100	9	1/400 s

Figure 8 : Différences d'ISO, de nombre d'ouverture et de temps de pause

La correction ISO a été conservée à 100, c'est-à-dire sa valeur la plus faible car nous avons une météo très ensoleillée et le sol des Mourres est très clair. De plus, le nombre d'ouverture a été augmenté et le temps de pose diminué pour éviter le phénomène dit de clichés surexposés, où le contraste est très faible et donc les éléments de paysage indiscernables. Ces différents paramètres sont trouvable dans les données EXIF liées à chaque cliché.



Figure 9 : À droite une photo surexposée, à gauche une photo non surexposée

3.1 Description des vols réalisés

Une fois ce vol de calibrage réalisé, nous avons pu faire notre acquisition. Initialement, nous devions avoir un vol unique, en mode manuel avec les sommets de prise de vue déterminés précédemment. Ce vol devait être composé de 3 bandes avec 17 photos par bande.

Cependant, le drone n'a pas pu aller se placer correctement aux coordonnées que nous avons fournies au droniste. Le droniste nous a donc proposé de réaliser un vol à hauteur de vol constantes en respectant uniquement la position planimétrique des sommets de prise de vue. Nous avons donc réalisé plusieurs vols afin de pouvoir pallier aux conséquences des variations de la distance entre le drone et le droniste, notamment en terme de résolution. Les caractéristiques des différents vols sont en annexe.

À l'issue de l'acquisition par drone, d'une interview du droniste et d'un complément d'information par un autre droniste, nous avons créé un Mémento du Droniste pour l'Acquisition Photogrammétrique, en adoptant le point de vue du droniste confronté aux besoins de ses clients photogrammètres. Nassim Chebbah, ayant réalisé une étude sur les drones dans le cadre de son projet de fin d'année, a pu nous fournir certains liens concernant la réglementation actuelle sur l'utilisation des drones).

3.2 Analyse des acquisitions du droniste

3.2.1 Vols

Tous ces vols nous permettent in fine d'avoir une diversité de jeux de tests pour la constitution des produits photogrammétriques orthoimages et MNS. Nous avons également étudié un vol avec un recouvrement intrabande de 60%, en prenant une photo sur deux du vol 1.

3.2.2 Qualité des clichés

La qualité générale des images est satisfaisante bien que certaines photos présentent, du fait de la clarté du calcaire, des zones de forte surexposition, ce qui ne semble pas compromettre la recherche automatique des points homologues, mais complexifie le pointage de points d'appuis.

Part II

Traitement

Traitement de l'acquisition

3.3 Traitement relatif des images

Afin de pouvoir exploiter les images prises par le drone, il faut connaître la calibration de l'appareil photo. Pour cela, il est possible de réaliser une autocalibration sur le logiciel MicMac à partir de photos prises par le drone. Les photos choisies pour la calibration doivent avoir beaucoup de points de homologues visibles sur plusieurs des photos et doivent préférentiellement avoir été prises selon des angles différents et présenter de la texture.

Lors de la planification des prises de vue, nous avons prévu de réaliser une prise de vues d'une partie des Mourres avec des orientations et sens différents afin qu'un détail terrain ne se retrouve jamais dans une même zone sur les images mais l'autonomie réduite du drone ne nous a pas permis de réaliser une telle prise de vue. Des photos des vols précédemment réalisés ont donc été utilisées afin de réaliser l'autocalibration de l'appareil. Nous avons

décidé de réaliser la calibration sur la totalité des images du vol. La calibration a été réalisée pour chacune des vols ainsi que sur deux vols partiels : le vol 1 et le vol 5 (avec la moitié des photos).

MicMac nous a permis grâce à la commande Tapioca avec l'option All de réaliser une recherche de points de liaison appliquée à une réduction des images de taille importante. Pour réduire le temps de calcul des points clefs des photos, il est possible d'utiliser l'option File de la commande Tapioca. Cette option permet de mettre en entrée des coordonnées approchées de chaque image en entrée et éviter de réaliser des recherches de points de liaison entre des images trop éloignées.

Les points de liaisons trouvés, la mise en place relative des images a été réalisée en utilisant Tapas. La fonction Tapas va permettre d'obtenir les paramètres de l'objectif (longueur focale, point principal, paramètres de distorsion) et l'orientation relative des photos. Chaque image a alors un fichier .xml contenant la position de l'objectif au moment de la prise de vue. La bascule de cette orientation relative vers l'orientation absolue sera réalisée plus tard avec la commande Campari.

3.4 Acquisition de données de géoréférencement

3.4.1 Mesure des données topométriques

Nous avons stationné sur un maximum de points de notre canevas de points d'appui afin de pas avoir de station excentrée (Cf Annexe Matrice d'intervisibilité). nous avons ainsi obtenu des données altimétriques et planimétriques ce qui nous permettra par la suite de vérifier la cohérence entre les orthophotos et la réalité du terrain.

3.4.2 Comparatif Static et RTK

Afin de récupérer les coordonnées des points, nous avons procédé par la méthode du RTK avec une base dont les coordonnées étaient relevées pendant 2 heures et des relevés de quelques secondes sur chacun des autres points du chantier.

Les coordonnées des points d'appui ont été calculées à l'aide du GNSS afin de pouvoir géoréférencer les points dans un référentiel global (dans notre cas le Lambert-93). Tout d'abord la méthode du GNSS Static a été employée. La fréquence d'acquisition était fixée à trente seconde et le relevé GNSS devait durer au moins une heure. Cependant, l'étendu du chantier et sa durée limitée nous a empêché de mesurer tous les points avec un GNSS Static. De plus, la méthode du RTK était plus appropriée au chantier afin d'homogénéiser les résidus.

La méthode RTK GNSS présente de nombreux avantages en termes d'amélioration de la précision de positionnement, de fiabilité du système et d'efficacité de production. Cependant, il existe de nombreux problèmes dans la maintenance des liens de communication fiables, les modèles de correction appropriés. Ce processus nous a finalement permis d'obtenir rapidement des coordonnées pour toutes les stations et ainsi géoréférencer notre travail.

3.4.3 Traitement des données GNSS

Le traitement des données GNSS nécessite la conversion des données brutes en format Rinex pour être exploitées. Le logiciel RinexConvertor a été utilisé pour la conversion. Des difficultés lors de la prise en main du logiciel RTKpost lors du post-traitement ont été rencontrées mais nous avons fini par obtenir les coordonnées GNSS "brutes" en sortie du récepteur. Ces coordonnées sont des coordonnées en Lambert-93 précise à une dizaine de mètres près. Le décalage entre les coordonnées récupérées et les coordonnées réelles est fixe et calculable.

Nous avons donc ensuite calculé en ligne les coordonnées en Lambert-93 de notre base grâce au site en ligne Tychobrahe2016.ensg.eu. Une des stations utilisées était notamment la station GNSS située à l'école. Grâce à la proximité entre les Mourres et le centre IGN (environ 2 km), nous avons obtenu des coordonnées de bonne qualité.

La différence entre ces coordonnées calculées et les coordonnées brutes nous a permis d'obtenir les coordonnées réelles de tous les points.

2002R	922457.974	6323960.627	727.906
2003R	922521.42	6323964.318	716.655
2004R	922477.0931	6323939.649	724.99
2005R	922443.255	6323928.246	726.839
2006R	922401.532	6323864.011	725.098
2008R	922510.226	6323874.722	715.067
2009R	922473.242	6323814.118	715.759
2010R	922437.977	6323844.905	720.081
2011R	922413.687	6323751.59	723.415
2012R	922467.322	6323769.059	719.528
2013R	922496.844	6323756.293	712.487
2014R	922439.395	6323796.142	724.88
1005R	922399.1111	6323952.709	733.2749
2001R	922419.4584	6323951.495	731.2123
2007R	922460.1013	6323889.802	721.8208
1003R	922419.698	6323802.56	727.870149

Figure 9-2 : Coordonnées RTK de tous les points d'appui

3.4.4 Traitement des données topométriques

Les données brutes en format constructeur ont été rentrées dans le logiciel Comp3D afin d'être converties en format .carnet. Le format .carnet est plus facilement lisible et il était donc plus facile de nettoyer dans ce format les fichiers des points faux ou des erreurs de nomenclature par exemple. Une fois les fichiers nettoyés et s'ils étaient valides (Cf Annexe Erreur_Comp3D), ils ont été transformés en format .obs, format lisible par Comp3D. Nous avons rentré dans Comp3D nos relevés topo ainsi que les coordonnées calculées à partir des données GNSS.

Les points d'appui, points mesurés dans un référentiel absolu (Lambert-93) et dont les coordonnées images ont été saisies (sur toutes les images où le point est visible). Ces points permettent de résoudre la formule d'image et donc de géoréférencer chaque pixel des images dans le référentiel Lambert-93. Le problème rencontré a été le fait que le plan d'orthorectification n'était pas parallèle au plan de la projection. (Cf Annexes Erreurs_référentiel).

Répartition des résidus [↑](#)

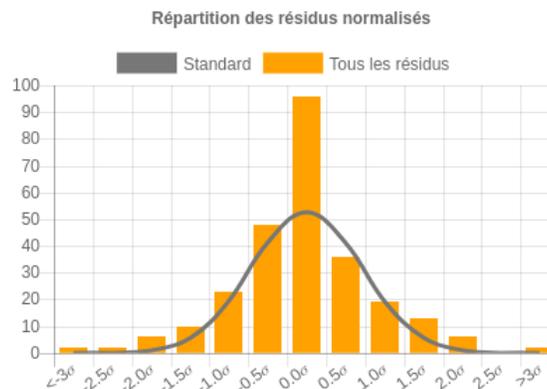


Figure 10 : capture d'écran de la gaussienne dans le rapport Comp3D

Une fois les carnets nettoyés, nous avons généré les équations de centrage de points que nous avons stationnés afin d'obtenir les coordonnées au sol des points et non le point visé (centre de prisme ou de tachéomètre). Nous avons ensuite créé un fichier regroupant tous les noms de fichiers station, le fichier contenant les équations de centrages, ainsi qu'un fichier coord.cor qui contenait les coordonnées initiales (coordonnées de deux points et le gisement entre ces deux points) et le nom des points que le logiciel devait lui-même déterminer les coordonnées. Ce fichier .cor est indispensable pour initier le calcul par moindres carrés.

Dans un premier temps, nous avons travaillé dans un référentiel local en initiant les coordonnées du centre à $X = 100$ et $Y = 100$, ainsi que les coordonnées des points dans le fichier . cor dans ce référentiel. Ceci avait pour but de détecter uniquement les erreurs de visé indépendamment des erreurs de coordonnées mesurées en RTK. Les erreurs de mesures que nous avons détecté à ce stade ont été supprimées des .carnet et des obs. afin de ne pas retrouver ces erreurs dans les étapes suivantes des calculs.

Dans un second temps, nous avons utilisé les coordonnées des points obtenues en RTK ce qui nous a permis de détecter une incertitude au niveau des coordonnées du point 2004 plus grande que pour les autres points. Nous avons donc augmenté l'incertitude sur ce point afin de Comp3D accorde moins d'importance à cette mesure et qu'elle ne tire donc pas toutes les autres coordonnées dans l'erreur.

Pour finir, nous avons répété les compensations dans le logiciel Comp3D en rectifiant les erreurs si nous en trouvons la cause ou simplement en désactivant les mesures dans le logiciel. Cette méthode a pour avantage de ne pas supprimer les mesures mais juste de les désactiver dans le calcul par moindres carrés. Ainsi, nous avons pu retirer du processus une vingtaine de mesures (ce qui n'a pas engendrer de problèmes pour déterminer les points vu la grande redondance d'information que nous avons).

Ainsi, même si les calculs par moindres carrés ne vérifient pas la loi du q^2 ($0.8718 < 1.3869 < 1.1685$), nous avons une précision suffisante des coordonnées de nos points topométriques pour les attentes du chantier : tous les points sont connus avec une précision inférieure au centimètre.

Qualification des résultats des données de géoréférencement

À l'issue des calculs avec le logiciel Comp3D, nous avons pu avoir une qualification de nos données de géoréférencement. Les points d'appui sont connus avec une précision centimétrique (environ 1cm), tandis que les points de contrôle sont connus à une précision de 20 cm. Les points de contrôle sont volontairement moins précis que les points d'appuis car ils ont bénéficié uniquement d'un mesure en RTK non couplé avec une mesure topométrique. Mais un problème évidant de mesure est apparant, la position de la base déterminée par tychobrahe2016.ensg.eu met bien en évidence un manque d'information, cependant après deux acquisition RTK n'ont n'avons pas réussi à pallier à ce problème. Par manque de temps, nous avons tout de même réalisé une qualification planimétrique via ces points mais elle est de toute évidence à recommencer.

3.5 Traitement absolu des images

3.5.1 Orientation absolue des images

Nous avons désormais dans un fichier texte des points d'appui aux coordonnées connues. Afin de géoréférencer notre nuage de points, il faut introduire ces point dans le calcul. Le fichier texte doit donc être converti dans le format lisible par MicMac. Nous avons donc utilisé la commande GCPConvert de MicMac pour transformer ce fichier .txt en fichier .xml tel qu'attendu par Micmac. Il est également possible à cette étape d'utiliser la commande OriConvert dans laquelle il est possible de configurer la projection. Si elle n'est pas définie et connue par MicMac, elle prend la projection des coordonnées données en entrée lors de la similitude 3D.

Pour géoréférencer notre nuage de points, nous allons réaliser une similitude 3D.

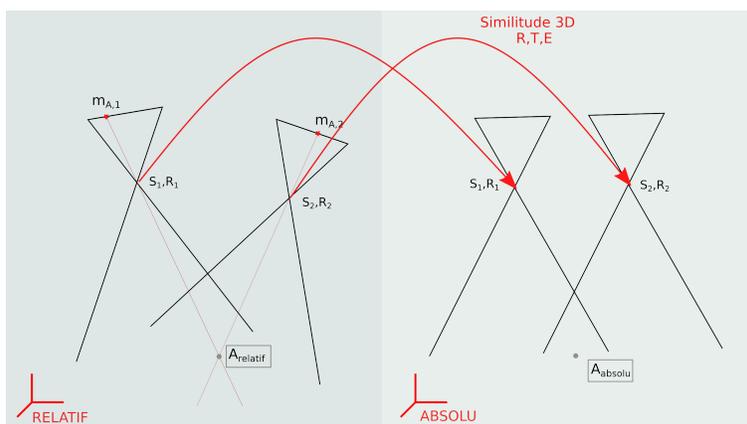


Figure 11 : Schéma similitude 3D

Il faut associer la position image des points à la position terrain connue à MicMac. Il est nécessaire d'avoir au moins trois points d'appui, chacun mesuré sur au moins deux images pour résoudre l'équation suivante :

$$A_{relatif} = E.R.A_{absolu} + T$$

Pour initialiser ces trois premiers points, nous avons utilisé la commande SaisieAppuisInitQT appliquée à deux images. Ces deux images devaient avoir un point en commun et avoir des orientations ou positions assez variées. Les deux images n'étaient donc pas deux images consécutives de la prise de vue. En sortie, on obtient un fichier .xml contenant la position en pixel du pointé et un autre fichier .xml contenant les coordonnées de ces même points dans le référentiel relatif.

Une similitude 3D a alors été réalisée avec la commande GCPBascule permettant d'obtenir une première orientation absolue. Pour avoir une orientation plus précise, nous avons pointé la totalité des points sur au moins 3 photos différentes avec la commande SaisieAppuisPredicQT puis relancé une bascule jusqu'à obtenir une moyenne des résidus image d'environ un demi-pixel et un pire résidu inférieur à 1 pixel. Les résidus de terrain devaient également être de l'ordre du centimètre pour respecter les exigences de précision.

Numéro du Vol	Pire résidus	Résidus moyen
Vol 1	0.96 pixel	0.76 pixel
Vol 1 avec la moitié des photos	0.630298 pixel	0.418436 pixel
Vol 2	0.484213 pixel	0.426607 pixel
Vol 4	0.792342 pixel	0.614678 pixel
Vol 5	0.448837 pixel	0.297428 pixel
Vol 5 avec la moitié des photos	0.659465 pixel	0.44 pixel

Figure 11 : Récapitulatif des résidus de pointage des différents vols.

Une orientation absolue de bonne qualité est alors obtenue mais il est possible d'améliorer la précision de l'orientation absolue en autorisant la modification des points de liaisons dont le positionnement relatif était alors figé. La commande Campari de MicMac le permet.

Part III

Rendus

4 Rendus photogrammétriques

4.1 Présentation des rendus

4.1.1 Orthophotos

Nous devons calculer des orthoimages. Une orthoimage est la projection orthogonale du relief d'un terrain sur un plan choisi appelé le plan d'orthorectification. Sur une orthoimage, il est notamment possible de mesurer les distances entre les points appartenant au même plan. MicMac effectue les corrections nécessaires aux orthoimages, qui sont liées à la distorsion de l'optique, au passage à la perspective conique, à l'inclinaison de la prise de vue et aux déformations engendrées par le relief. À partir des photos et de leur orientation absolue, il est possible de réaliser ces orthophotos. Le plan d'orthorectification peut être choisi en amont (Cf Annexe sur erreur de référentiel). Si un plan n'est pas défini, le plan local du Lambert-93 sera choisi comme plan d'orthorectification. Nous avons donc lancé la commande Pims2MNT qui convertit les données 3D en données 2.5D et orthorectifie les images individuellement. La commande MicMac Tawny assemble ensuite les différentes orthophoto-images.

Les orthophotos des différents vols sont de qualité différente : certaines comportent beaucoup de zones sans information alors que d'autres sont plus denses et débordent en dehors de la zone à couvrir.

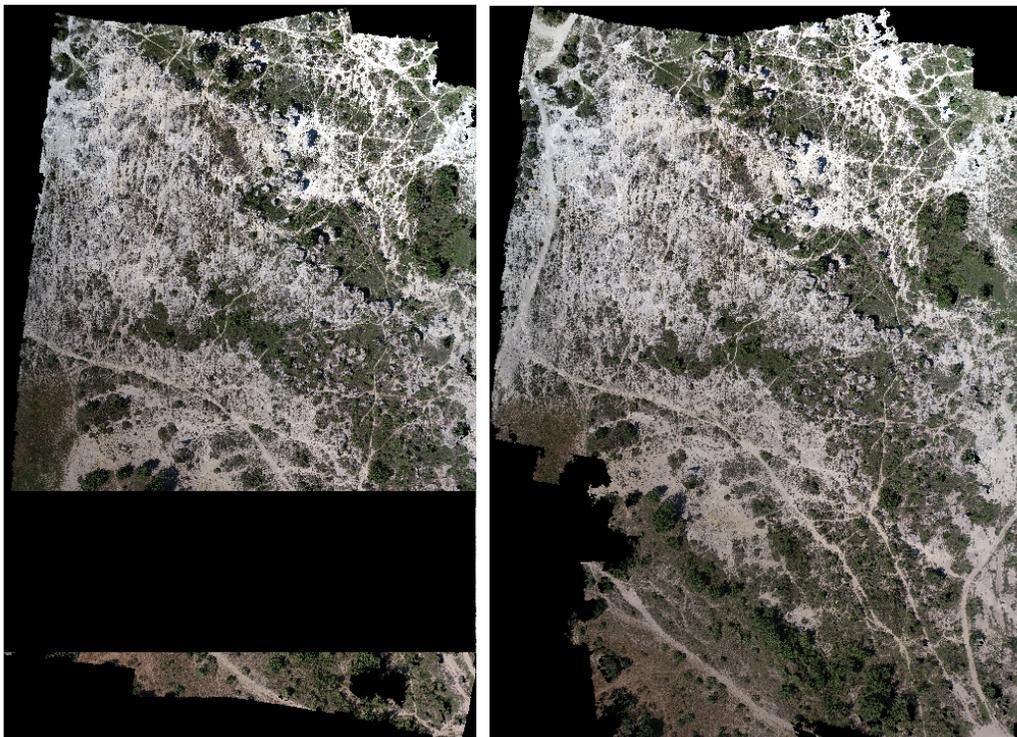


Figure 12 : Orthoimage incomplète du Vol 4 à gauche et Orthoimage du Vol 2 à droite

Nos orthoimages ont alors une exactitude d'environ de 2 cm.

4.1.2 Modèle numérique de surface (MNS)

Un des rendus du cahier des charges était un MNS. Nous avons produit un MNS par vol en utilisant de manière différente :

La première fut en utilisant la commande MicMac Pims2MNT qui réalise un MNS.

La deuxième fut en utilisant Cloud Compare : Pour visualiser nos résultats, nous avons réalisé une modélisation 3D de la zone des Mourres avec la commande C3DC. Le nuage de point est alors géoréférencé et visualisable sur CloudCompare.

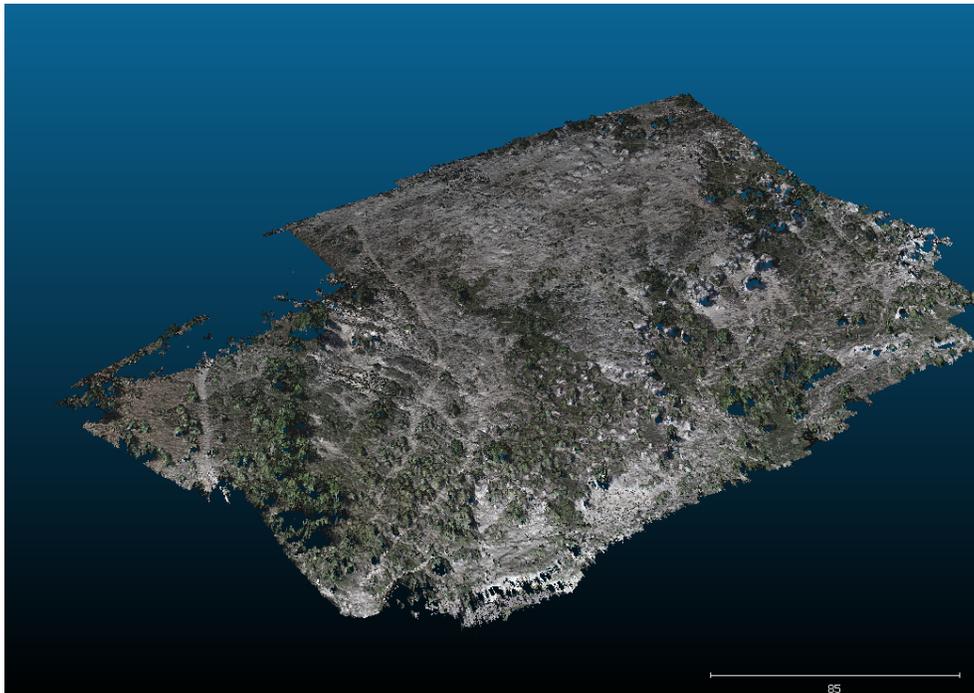


Figure 13 : Représentation CloudCompare du nuage de points du Vol 2

En observant notre nuage de points, nous nous sommes rendues compte que la densité des points du nuage était plutôt faible. Cela s'explique par le fait que les coordonnées des points sont codées en 32 bits et à cause de la longueur et la précision des coordonnées, elles étaient tronquées lors de la création du nuage de point. Un offset a donc été appliqué aux coordonnées plani lors de la génération de ce nuage de points dans la commande C3DC grâce à l'attribut non obligatoire `OffsetPly=[922000,6323000,0]`. Le modèle 3D est alors reconstitué avec un décalage de ces valeurs données. Le nuage de point est alors plus dense.

Il est possible sur CloudCompare d'effectuer cette translation afin de retrouver les coordonnées réelles des points.

À partir du nuage de point, un MNS est constitué à partir de la rasterisation du nuage. Nous avons donc obtenu un geoTIFF contenant le MNS. Il était donc déjà géoréférencé et lisible sur QGIS. Ce MNS est basé sur les points relevés avec le drone et n'est donc pas équitablement dense sur la zone. Une extrapolation sur QGIS a donc été réalisée afin d'avoir un MNS sur toute la zone.

Nous avons pu alors comparer les deux méthodes. Le MNS de MicMac a une plus grande exactitude mais contrairement au modèle Cloud Compare, il possède des défauts dans les zones peu denses. L'exactitude alti des MNS est centimétrique. (Cf Annexe Qualification MNS)

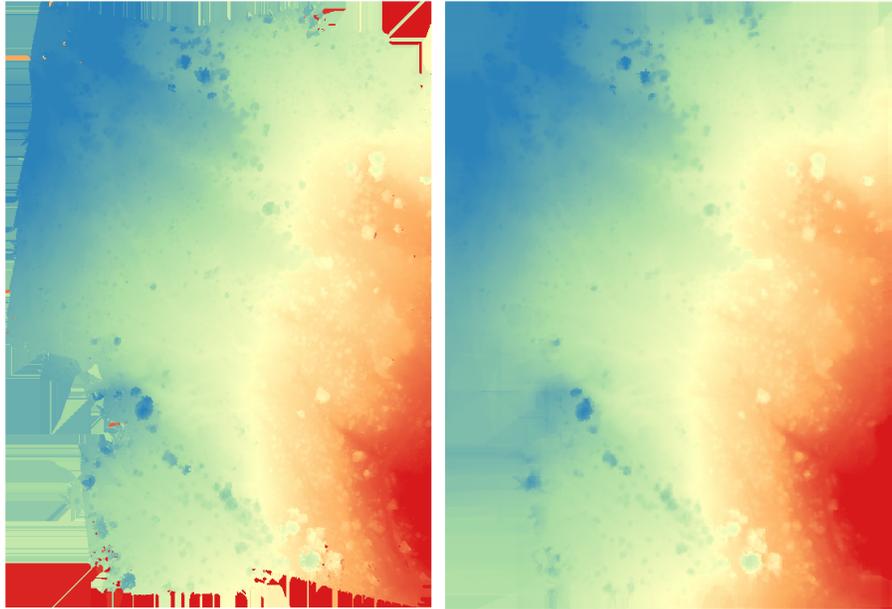


Figure 14 : MNS réalisé à partir du Vol 2 avec MicMac à gauche et avec Cloud Compare à droite

4.1.3 Modèle numérique de terrain (MNT) généré par interpolation

Nous avons aussi créé avec QGis un MNT (relief seul) à partir des quelques points terrain à notre disposition (appui, contrôle). Le MNT est plutôt cohérent mais reste imprécis.

Globalement c'est pas mal, mais ça s'écarte quand même bien du MNS même lorsque celui-ci est au sol.

Pour qualifier le MNT, nous avons d'abord comparé ses valeurs d'altitude avec celles fournies par Géoportail. Il était très inégal avec une moyenne absolue de 4,4 m et un écart type de 4.41m. Une comparaison avec le MNS a aussi été réalisée en utilisant des points au sol, soit des points où le MNS et le MNT coïncident. Nous avons obtenu une différence moyenne de 2,6 m et un écart-type de 2,1m.

La photogrammétrie est ici assurément plus précise que la méthode d'interpolation de QGis appliquée sur quelques points.

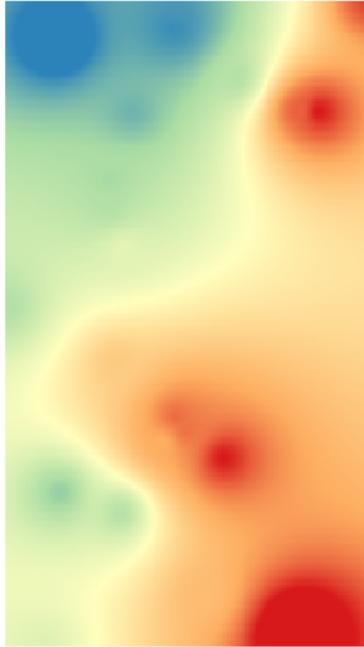


Figure 15 : MNT réalisé par interpolation

4.1.4 Implication de la télédétection

Le MNT généré par interpolation à partir des points d'appuis dans QGIS n'est pas optimal. Nous avons donc décidé d'utiliser la télédétection afin de pouvoir réaliser le passage entre le MNS et le MNT en connaissant mieux l'occupation des sols. En effet, le sursol du site des Mourres est principalement composé de végétation. La hauteur de cette végétation est corrélée à l'espèce. En dressant une carte de ces espèces, on arrivera à créer un MNE qui nous permettra de réaliser ensuite notre MNS.

Les orthophotos obtenues peuvent être utilisées en télédétection. Pour qualifier la pertinence et la précision de nos données, nous avons donc réalisé une étude de télédétection sur notre zone. Pour cela, nous avons segmenté l'orthoimage obtenue à partir des photographies du vol 1, en essayant d'individualiser les arbres et arbustes. Nous avons utilisé le logiciel OTB en ligne de commande, via la commande `otbgui_`. L'orthoimage utilisée étant très lourde, nous avons dû la tiler en 6 parties grâce au logiciel IGNMap, et réaliser les différentes étapes de la segmentation sur chacune des tuiles. Une fois la segmentation effectuée, nous avons réparti les segments en différentes classes, selon une nomenclature établie précédemment. Le but de ce traitement étant de généraliser la hauteur des arbres pour créer un MNS, nous n'avons pas cherché à différencier les essences végétales en nous concentrant sur les hauteurs. Ainsi, les genévriers et chênes nains sont regroupés dans la classe "Arbustes", puisqu'ils ont sensiblement la même taille. Nous avons ensuite effectué une classification grâce à un algorithme (RandomForest), qui calcule les classes et qui les compare avec la vérité terrain que nous avons fourni. Nous obtenons ainsi une matrice de confusion qui nous permet de juger de la qualité de la classification.

Numéro	Classe
01	Sol nu
02	Pelouse
03	Arbuste
04	Arbre
05	Petit Rocher
06	Grand rocher

Figure 16 : Nomenclature utilisée en télédétection

En ayant plus de temps, nous aurions pu utiliser d'autres attributs, tels que Haralick ou le MNE que nous avons généré.

À partir de ces résultats et de l'hauteur moyenne de chacune des classes, nous avons pu constituer un MNE approximatif. Nous avons alors pu déterminer un nouveau MNT qui correspond à la différence entre le MNS et le MNE.

Modèle numérique d'élévation (MNE)

Nous avons réalisé un MNE partiel à partir des données de télédétection.

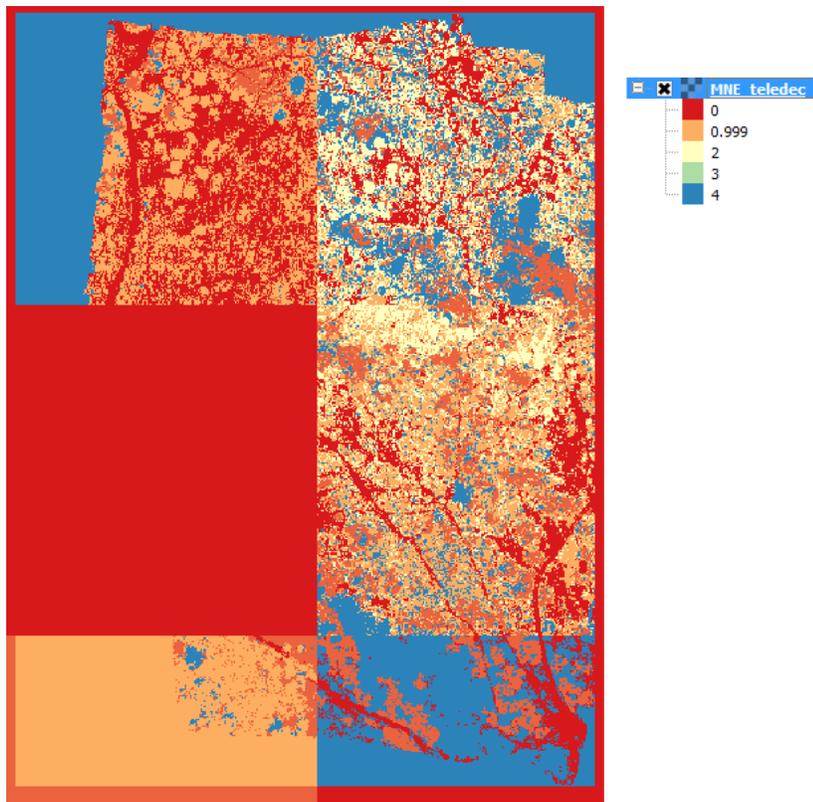


Figure 17 : MNE partiel obtenu par télédétection

A partir du MNE, nous avons réalisé un MNT partiel.

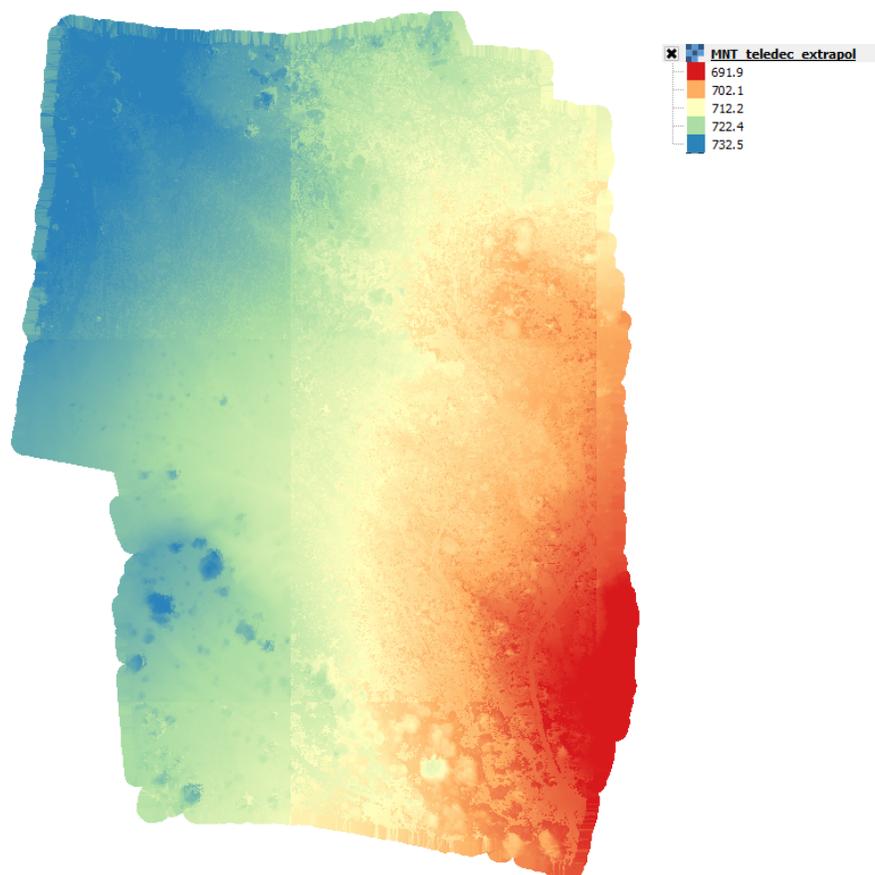


Figure 18 : MNT partiel extrapolé de la zone

4.2 Qualification des résultats

4.2.1 Comparaison avec les résultats de 2016

Un chantier similaire au nôtre a été organisé sur une zone des Mourres au cours de l'année 2016 dans le cadre du stage de première année à Forcalquier. Un recouvrement de plusieurs mètres carrés peut être observé entre les deux zones. Cependant nous observons une discontinuité entre notre orthoimage et la leur.

4.2.2 Comparaison avec l'orthophoto de Géoportail

Géoportail propose des orthophotos de la zone réalisées à partir d'acquisitions aériennes. Ces orthophotos recouvrent notamment notre zone. Cependant, la résolution de ces photos acquises par avion n'est pas appropriée à la demande (Cf. Annexe Comparaison_MNT_QGis).

4.2.3 Comparaison avec l'orthophoto acquise à la perche

Afin d'obtenir une qualification de notre zone, nous avons également réalisé une acquisition à la perche de hauteur 4.3 m afin de pouvoir comparer la qualité et pertinence de différents types d'acquisition. En raison de la faible emprise au sol de la perche (3.9 m sur 5.8), nous avons décidé de réaliser ces prises de vue seulement sur une partie de la zone. Nous avons choisi la zone pour sa praticité. En effet, la perche est plus facilement utilisable sur des zones relativement plate. Malheureusement, l'orientation relative des images avec MicMac n'a pas abouti, probablement à cause d'un trop fort angles d'inclinaison de l'appareil photo sur la perche.

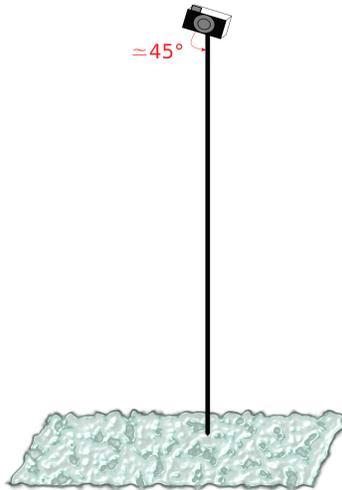


Figure 17 : Perche

4.2.4 Pertinence du drone dans le domaine de la photogrammétrie

Notre utilisation de la perche, bien qu'elle n'ait pas permis d'obtenir les résultats souhaités, nous a fait réaliser la praticité de l'utilisation du drone pour un chantier photogramétrique du type de celui des Mourres. En effet, il s'agit d'un chantier étendu, relativement plat mais présentant localement du relief qui rend difficile l'utilisation de la perche, technique d'acquisition que serait de toute façon longue et coûteuse à mettre en place. Il nous a fallu environ 15 min et 4 personnes pour faire l'acquisition d'une zone de 50m², contre 7min pour couvrir l'ensemble de la zone de 2,4hm² avec le drone. Sans compter le fait que les données acquises par perche sont difficilement exploitables sur MicMac, probablement à cause de problèmes d'inclinaison par rapport au sol. On peut également remarquer qu'une prise de vue aérienne par avion serait inadaptée à notre chantier, puisque trop coûteuse pour une zone aussi réduite.

Hors du cadre de notre chantier, le drone présente de nombreuses qualités pour la prise de vue photogramétrique. Sa mobilité lui permet de prendre des photos de bâtiments en se déplaçant perpendiculairement à une façade verticale, d'atteindre des zones difficilement accessibles, ou encore de couvrir de grandes surfaces rapidement.

Toutefois, l'acquisition par drone présente des limites. Les contraintes législatives par exemple restreignent les vols aux vols à vue, et le survol de public est très réglementé. Il existe également des contraintes techniques : le drone est inefficace dans des espaces encaissés où le vol est impossible, et nous avons également pu nous rendre

compte de la contrainte qu'exercent les batteries, qui sont très vite déchargées et qui limitent le temps d'utilisation du drone.

5 Conclusion

Ces trois semaines de projet nous ont permis de réutiliser une grande partie des connaissances et savoirs-faire acquis à Forcalquier et au cours de l'année. En effet, le sujet était très complet et faisait appel à de nombreux domaines : photogrammétrie bien sûr, mais également topométrie, télédétection et SIG. Mais nous avons également eu l'occasion d'échanger avec un prestataire extérieur, ce qui nous a fait prendre conscience de l'importance de la communication entre personnes de domaines différents. L'utilisation d'un drone et la planification d'une acquisition était nouveau pour nous, mais cela nous a donné une meilleure compréhension de la production photogrammétrique, en voyant le processus dans sa globalité, tout en nous faisant une démonstration de l'efficacité de l'utilisation du drone dans un chantier comme le nôtre.

6 Annexes

7 Webographie

Les sites suivants nous ont aidé :

<https://www.drone-ardeche.com/>

<https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/drones-usages-professionnels>

8 Remerciements

Nous tenons à remercier le droniste de Drone Pixel pour sa pédagogie tout au long de l'acquisition ainsi que sa disponibilité lorsque nous avions des questions avant et après la journée d'acquisition. Nous remercions également Drone Ardèche de nous avoir accordé de son temps lors d'un entretien téléphonique afin de répondre à nos questions.

Nous remercions notre professeur encadrant Jean-François Hangouët pour son enthousiasme, sa disponibilité, son expertise ainsi que son prêt d'appareil photo personnel. Mais aussi Antoine Pinte pour nous avoir épaulé tout au long de notre projet et de nous avoir aidé lors des soucis techniques.

Nous remercions également Jacques Beilin et Marc Poupée pour leur aide précieuse lors de nos travaux sur les données RTK et la télédétection.

Enfin, nous remercions Marion Brunet de nous avoir mis à disposition son tutoriel sur le logiciel MicMac