



HAL
open science

Compte-rendu de mission. Acquisition 3D par photogrammétrie. Nissan-Lez-Enserune (34)

Antoine Laurent, Carine Calastrenc, Nicolas Poirier

► To cite this version:

Antoine Laurent, Carine Calastrenc, Nicolas Poirier. Compte-rendu de mission. Acquisition 3D par photogrammétrie. Nissan-Lez-Enserune (34). TRACES UMR 5608. 2019. hal-04270083

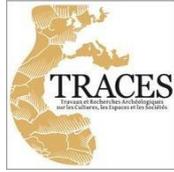
HAL Id: hal-04270083

<https://hal.science/hal-04270083>

Submitted on 3 Nov 2023

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Compte-rendu de mission Acquisition 3D par photogrammétrie

Nissan-Lez-Enserune (34)

A. Laurent, C. Calastrenc, N. Poirier

17/09/2019



Sommaire

Objectif et contexte	4
Partie 1. Acquisition 3D par photogrammétrie par drone.....	5
1. Acquisitions des images	5
2. Traitement photogrammétrique	5
2.1. <i>Alignement des caméras</i>	6
2.2. <i>Génération du nuage dense</i>	6
2.3. <i>Création de maillage</i>	7
2.4. <i>Application de la texture</i>	7
2.5. <i>Extraction des orthophotographies</i>	8
3. Analyse	10
<i>Hilshading (Ombrage)</i>	10
<i>Simple Local Relief Modeling</i>	11
Partie 2. Acquisition 3D par photogrammétrie à partir d’image ancienne (Fond IGN – 1946)	14
4. Acquisitions des images	14
5. Traitement photogrammétrique	14
5.1. <i>Alignement des caméras</i>	15
5.2. <i>Génération du nuage dense</i>	16
5.3. <i>Création de maillage</i>	16
5.4. <i>Application de la texture</i>	16
5.5. <i>Extraction des orthophotographies</i>	17
6. Analyses	18
<i>Ombrage</i>	18
<i>Ombrage multidirectionnel</i>	19
<i>Openness Négative et positive</i>	19
<i>SkyView Factor (SVF)</i>	20
<i>Sky Illumination</i>	21
<i>Slope</i>	21
7. Conclusions	22
Partie 3. Acquisition 3D par photogrammétrie à partir d’image sol (Photo perche).....	23
8. Acquisitions des images	23

9. Traitement photogrammétrique	23
9.1. <i>Alignement des caméras</i>	24
9.2. <i>Génération du nuage dense</i>	25
9.3. <i>Création de maillage</i>	25
9.4. <i>Application de la texture</i>	25
9.5. <i>Extraction des orthophotographies</i>	26
10. Rapport photogrammétrique – Agisoft – Metashape - Acquisition 3D par drone.....	30
11. Rapport photogrammétrique – Agisoft – Metashape – Image aérienne ancienne de l'IGN 40	
12. Rapport photogrammétrique – Agisoft – Metashape – Prise de vue sol à la perche	48

Compte-rendu de mission Acquisition 3D par photogrammétrie

Mission du 17/09/2019 – Nissan-lez-Enserune (34)

A. Laurent, C. Calastrenc, N. Poirier

Objectif et contexte

La mission d'acquisition 3D par photogrammétrie du 17/09/2019 a été réalisée sur la commune de Nissan-Lez-Enserune (34), sur la face sud de l'oppidum d'Enserune (Fig. 1).

L'objectif était de réaliser un modèle 3D de la face sud de l'oppidum. Pour cela a été mise en œuvre une procédure d'acquisition des images par drone (Partie 1) et au sol à l'aide d'une perche de 5 mètres équipée d'un appareil photo réflex (Partie 3). De plus, un modèle 3D par photogrammétrie à partir d'images anciennes de l'IGN (1946) a été réalisé afin de pouvoir voir l'évolution des terrasses depuis cette date (Partie 2).

Les points de calage topographique, des cibles placées au sol, ont été fournis par Philippe Boissinot.

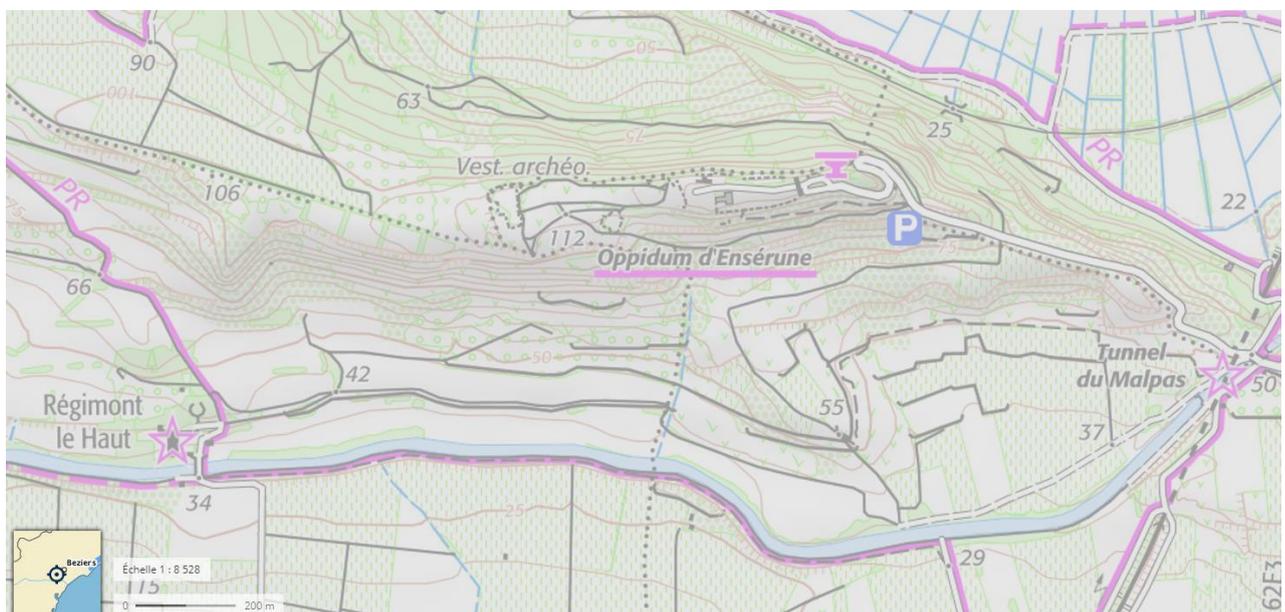


Figure 1 : Face sud de l'oppidum d'Enserune - Mission du 17/09/2019 - Localisation (géoportail.fr)

Partie 1. Acquisition 3D par photogrammétrie par drone

La première réalisation a été l'acquisition d'images par drone pour une modélisation par 3D par photogrammétrie.

1. Acquisitions des images

La réalisation d'un vol par un drone Parrot Anafi a permis de couvrir l'ensemble de la zone d'étude. Ce vol manuel a été réalisé à 25 m de haut. Cela représente un lot de 87 photographies avec une résolution de 16 millions de pixels chacune. (Fig. 2)

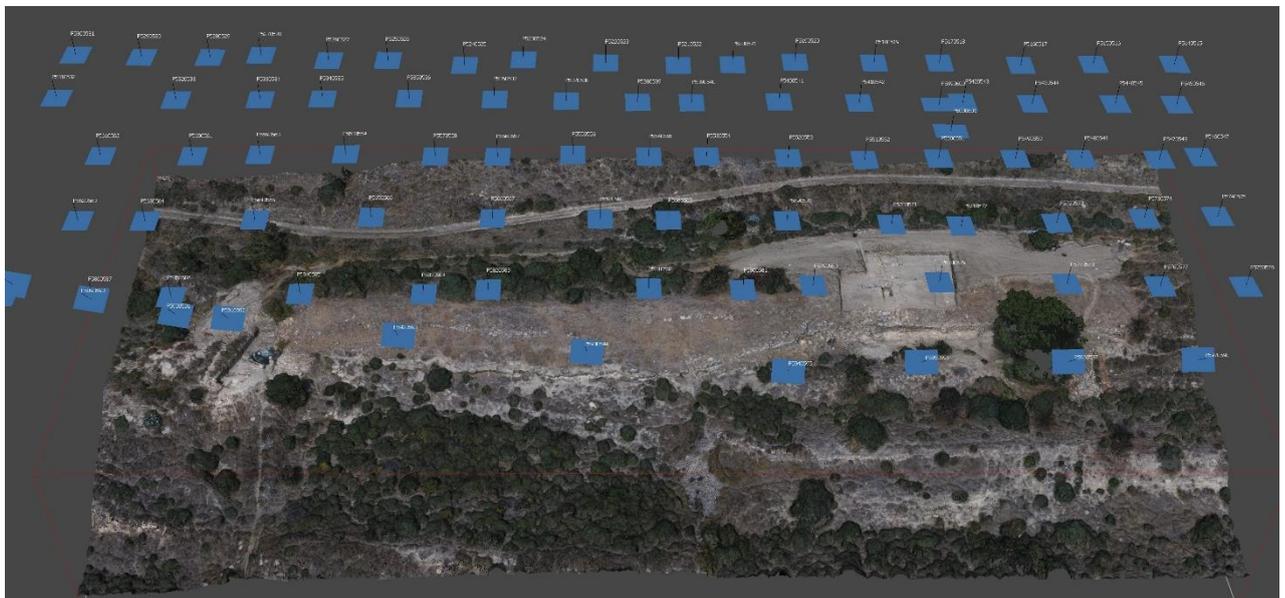


Figure2: Face sud de l'oppidum d'Enserune - Mission du 17/09/19 - Localisation des photographies sur le modèle 3D

2. Traitement photogrammétrique

L'ensemble du traitement photogrammétrique a été réalisé avec le logiciel Agisoft Photoscan 1.4.4. Les cinq étapes de ce projet photogrammétrique sont :

1/ Alignement des caméras

2/ Génération du nuage dense 3/

Création du maillage

4/ Application de la texture

5/ Extraction des orthophotographies

2.1. Alignement des caméras

La qualité du référentiel topographique a été évaluée autour de 9,3 millimètres. Le géoréférencement du modèle est assuré par 17 points topographiques placés dans un système local. (Fig. 3)



Figure 3 : Face sud de l'oppidum d'Enserune - Mission du 17/09/19 - Localisation des cibles

Les paramètres de l'alignement des caméras sont :

- Qualité : moyenne
- Points de liaison : 50 000
- Points de référence : 6 000

Temps de calcul : 18 minutes.

Le résultat de l'alignement est un nuage de points de liaison qui comporte 982 162 points.

2.2. Génération du nuage dense

Vient ensuite la phase de création du nuage dense avec les paramètres suivants :

- Qualité : haute
- Filtrage des profondeurs : agressif

Temps de calcul : 12 minutes.

Le nuage de points dense final comporte 35 266 624 points. (Fig. 4)



Figure 4 : Face sud de l'oppidum d'Enserune - Mission du 17/09/19 - Nuage de points dense (≈ 35 millions)

2.3. Création de maillage

Vient ensuite la phase de création du maillage (Fig. 5) qui permet d'obtenir un modèle 3D de 7 048 946 faces en 3 minutes.

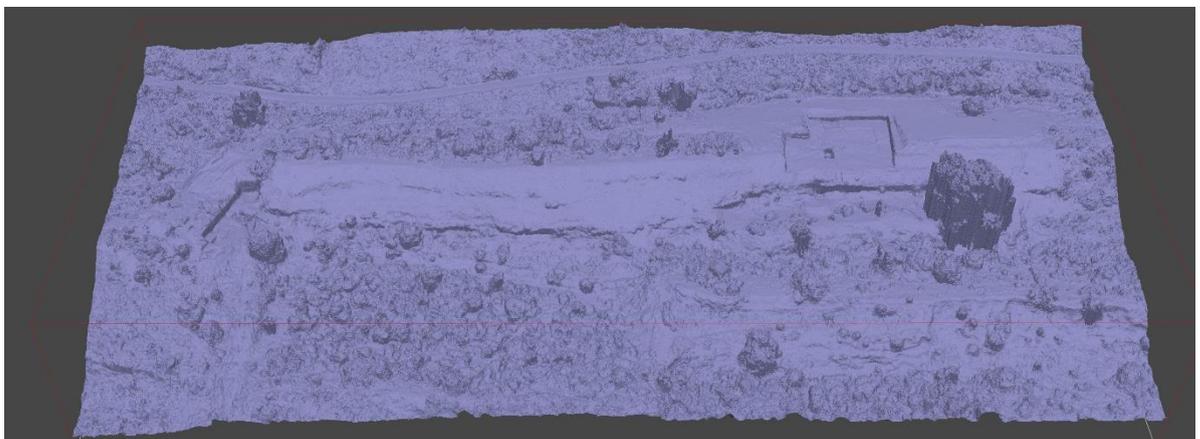


Figure 5 : Face sud de l'oppidum d'Enserune - Mission du 17/09/19 - Maillage

2.4. Application de la texture

Cette étape consiste à sélectionner et appliquer sur les maillages les photographies.

Les paramètres de la construction de la texture sont :

- Mode mappage : générique
- Mode de fusion : mosaïque
- Résolution : 8192 pixels x 2

Le résultat est un modèle 3D maillé sur lequel est drapée la texture. (Fig. 6)



Figure 6 : Face sud de l'oppidum d'Enserune - Mission du 17/09/19 - Maillage texturé

2.5. Extraction des orthophotographies

Il est alors possible d'exporter une orthophotographie du site à partir des maillages. (Fig.7)

Les paramètres d'extraction des orthophotographies sont :

- Mode de fusion : mosaïque
- Résolution : 1,8mm/pixel



Figure 7 : Face sud de l'oppidum d'Enserune - Mission du 17/09/19

3. Analyse

Avec le logiciel RVT (Relief Visualization Toolbox) développé par l'Institut of Anthropological and Spatial Studies, il est possible d'appliquer plusieurs traitements au MNT. Ces traitements se basent sur des algorithmes calibrés pour de la détection de vestiges archéologiques. Ces différents traitements permettent de multiplier les visions d'un même espace et de mettre en exergue les possibles indicateurs archéologiques.

Liste des traitements inclus dans RVT (En rouge ceux appliqués au MNT d'Enserune)

- **hillshading**, (Fig. 7a)
- hillshading from multiple directions,
- PCA of Hilshading,
- slope gradient,
- **simple local relief model**,
- sky-view factor,
- anisotropic sky-view factor,
- positive and negative openness.

Hilshading (Ombrage)

Le calcul d'ombrage permet de créer un relief ombré à partir d'un MNT ou d'un MNS en tenant compte de l'angle de la source d'éclairage et des ombres. Les zones perpendiculaires au soleil sont les plus éclairées alors que les zones ayant un angle d'incidence supérieur ou égal à 90° sont visualisées comme des zones d'ombre. Il s'agit d'une méthode de visualisation de la topographie qui permet une représentation faussement « 3D », en nuances de gris, de la surface du sol en tenant compte de la position du soleil pour le calcul de l'ombrage. Il est alors possible, en faisant varier la position du soleil de modéliser les ombres à différentes heures du jour. Les paramètres à définir lors de la création d'un ombrage sont l'azimut et l'altitude qui permettent d'indiquer la position du soleil à utiliser pour la création de l'ombrage. L'altitude indique la hauteur du soleil au-dessus de l'horizon. Les valeurs s'étendent donc de 0° à 90°. La valeur 0 étant l'horizon, la valeur 90 étant le nadir. L'azimut indique la position du soleil mesuré à partir du Nord dans le sens horaire. Ainsi, la valeur 0 indique le Nord, la valeur 90 représente l'Est, la valeur 180 indique le Sud et la valeur 270 donne l'Ouest.

Le calcul de l'ombrage (Hilshade) réalisé ici s'est fait sur la base d'un angle de 315 degrés et 45 degrés d'angle vertical.

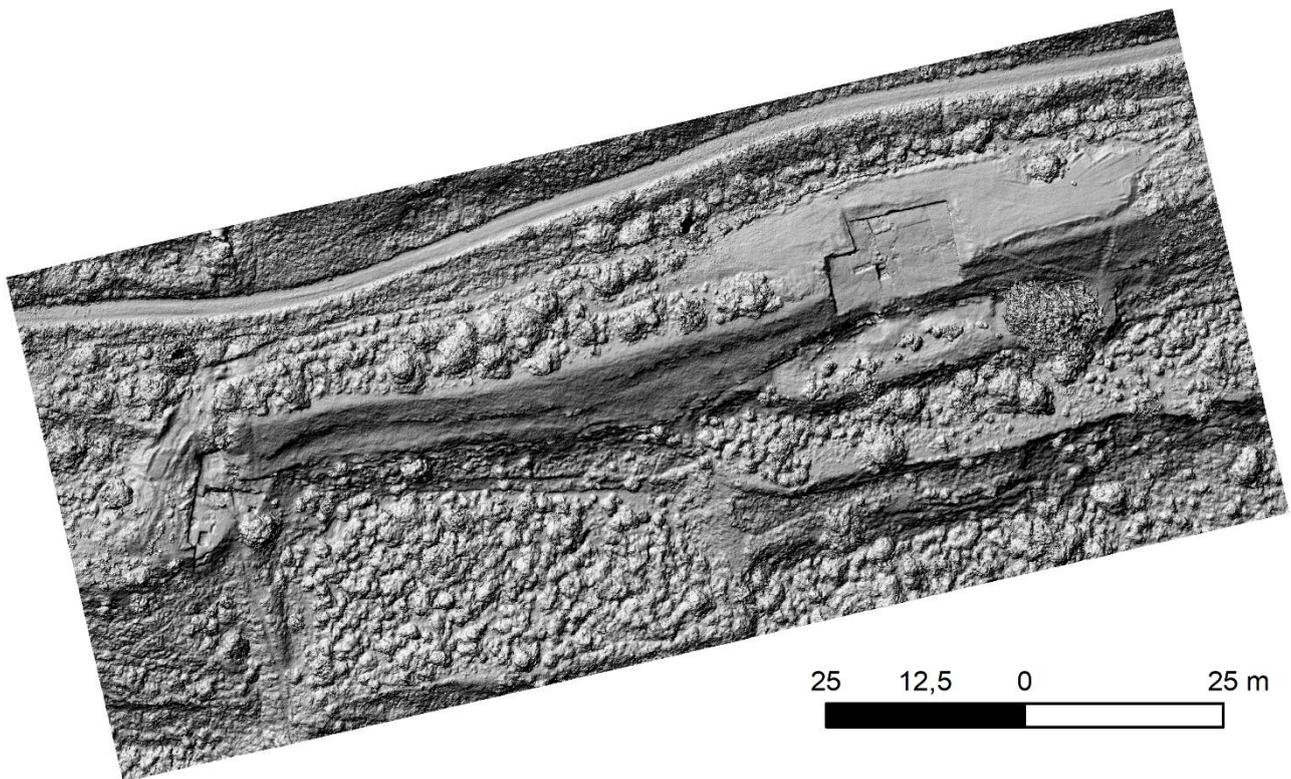


Figure 7a : Modèle Numérique de Surface (MNS) de la face sud de l'oppidum d'Enserune - Mission du 17/09/19

Simple Local Relief Modeling

Le « Simple Local Relief Modeling » (SLRM) permet de réduire l'impact des éléments les plus importants comme les grands reliefs (collines, vallées) pour mettre en avant les petits composants. Cet outil est utilisé depuis quelques années en archéologie. Il permet une meilleure visibilité des éléments topographiques peu profonds à petite échelle quel que soit l'angle d'éclairage. Il produit une carte matricielle des variations locales, positives et négatives, du relief.

Pour réaliser un SLRM, il faut utiliser un filtre moyen. C'est-à-dire que l'on va dégrader, lisser, le modèle numérique de terrain. Ensuite une soustraction entre le modèle numérique de terrain filtré et MNT/MNS l'original est réalisé. Et ensuite créé un modèle de différence à partir duquel est calculé les contours du zéro mètre, c'est-à-dire les isolignes pour lesquelles la valeur de la soustraction est égale à zéro. Ces isolignes sont converties en point et la valeur Z du MNT.MNS leur est attribuée. C'est à partir de ces points qu'est construit un Modèle Numérique de Terrain/Surface simplifié. La dernière étape consiste à soustraire le MNT simplifié avec le MNT/MNS Original.

L'ensemble de ce processus permet de produire une représentation du relief où les valeurs expriment la différence entre l'élévation prévue du terrain et l'élévation réelle.

Ce type de traitement peut être existé en boîte à outil dans plusieurs logiciels comme RVT, ArcGis ou QGis. Toutefois, le réaliser soi-même permet de maîtriser totalement les paramètres et donc d'arriver à un résultat qui soit le plus adapté possible au terrain d'étude.

(Fig. 7b, 7c et 7d)

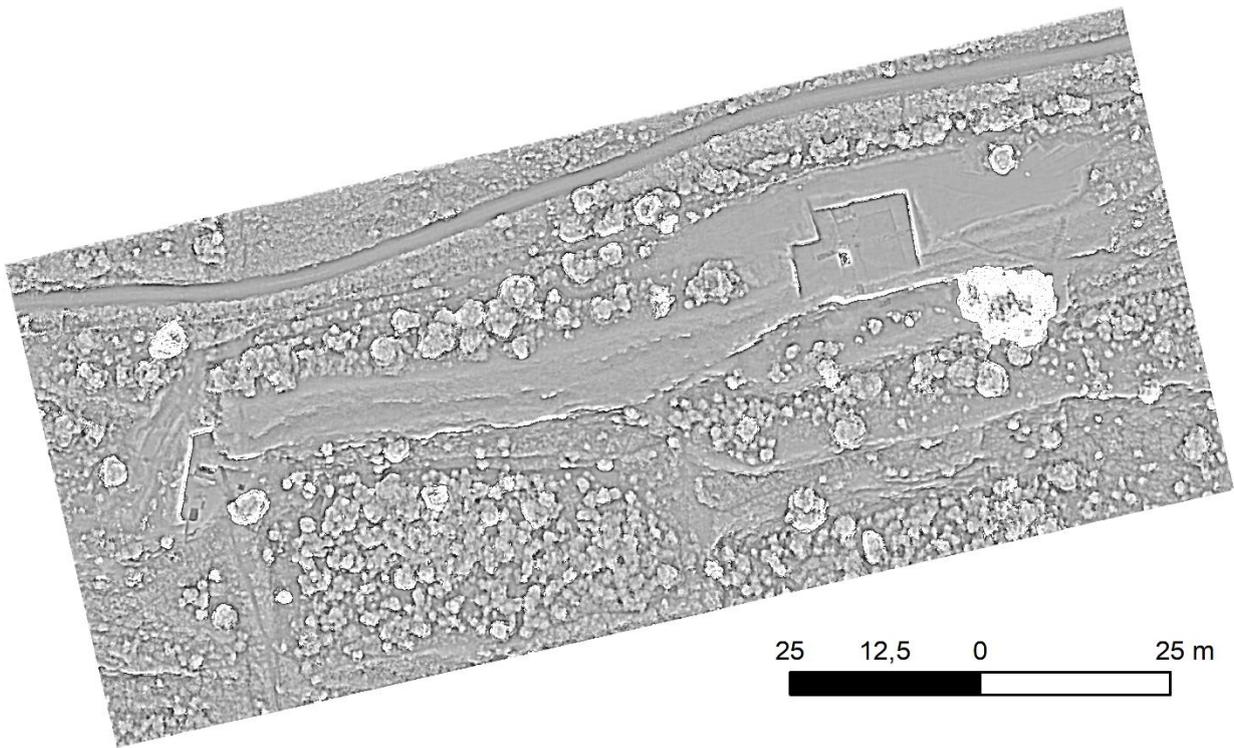


Figure 7b : Simple Local Relief Modeling - face sud de l'oppidum d'Enserune - Mission du 17/09/19

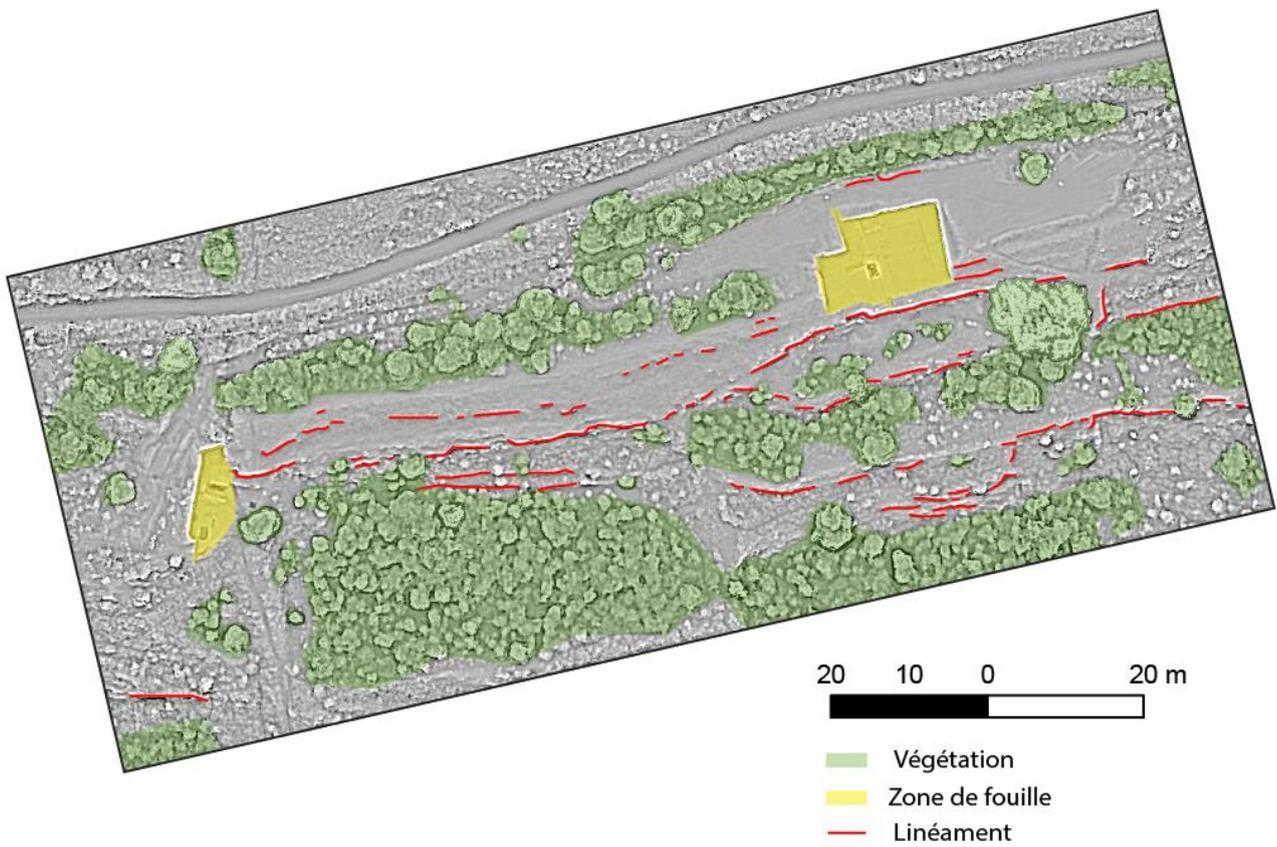


Figure 7c : Simple Local Relief Modeling - face sud de l'oppidum d'Enserune - Mission du 17/09/19

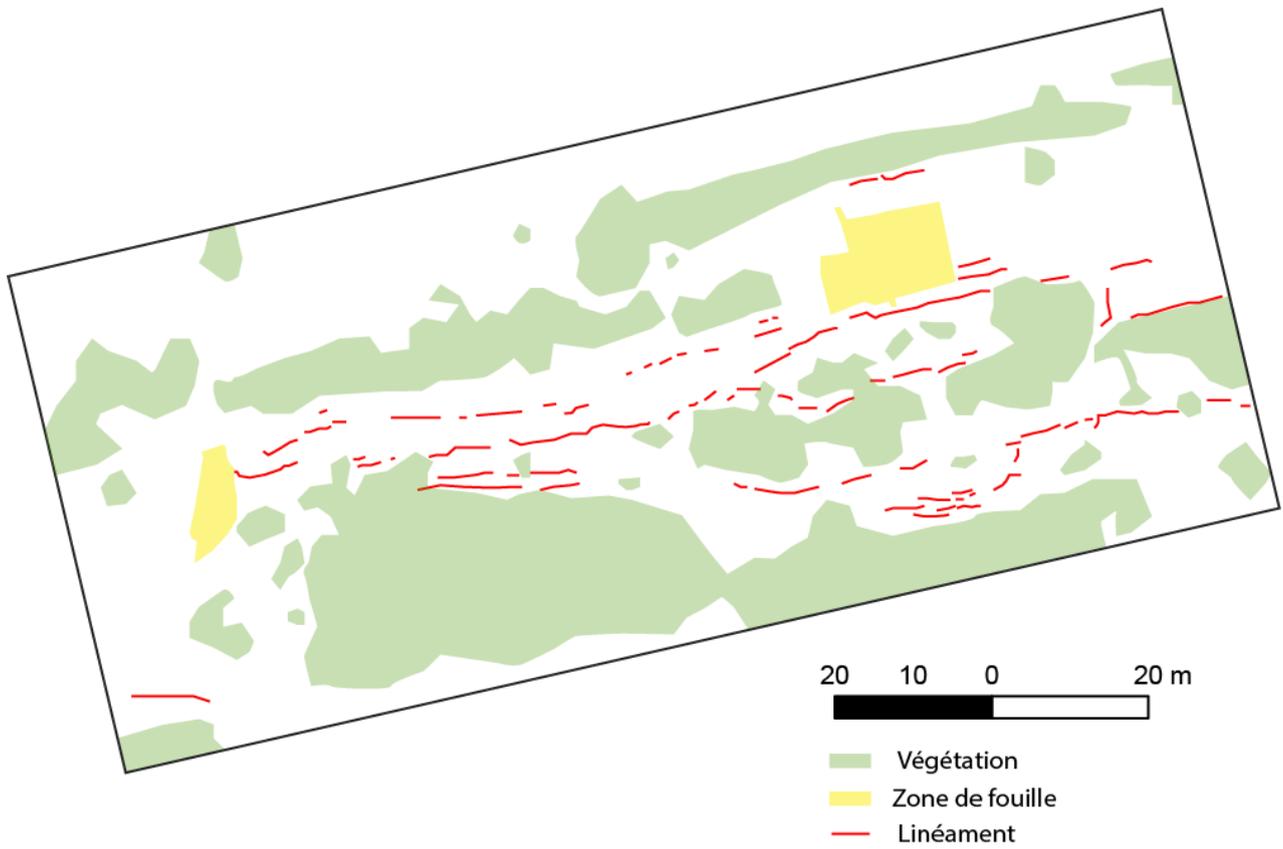


Figure 7d : Simple Local Relief Modeling - face sud de l'oppidum d'Enserune - Mission du 17/09/19

Partie 2. Acquisition 3D par photogrammétrie à partir d'image ancienne (Fond IGN – 1946)

La deuxième réalisation photogrammétrique a été la modélisation 3D du site d'Enserune à partir de photographies aériennes anciennes de l'IGN (vol de 1946). L'objectif est d'en extraire une orthophotographie de qualité qui permette d'avoir une vision de l'état du site au milieu du XXème siècle.

4. Acquisitions des images

Les images aériennes anciennes de l'IGN sont gratuitement sur le site de l'IGN. La totalité de l'oppidum est couverte par 16 clichés pris à 1km de hauteur. (Fig. 8) La taille du pixel a une résolution au sol de 6,25 cm/px. La zone couverte par l'ensemble de ces photographies permet de reconstituer une surface de 1,35 km².

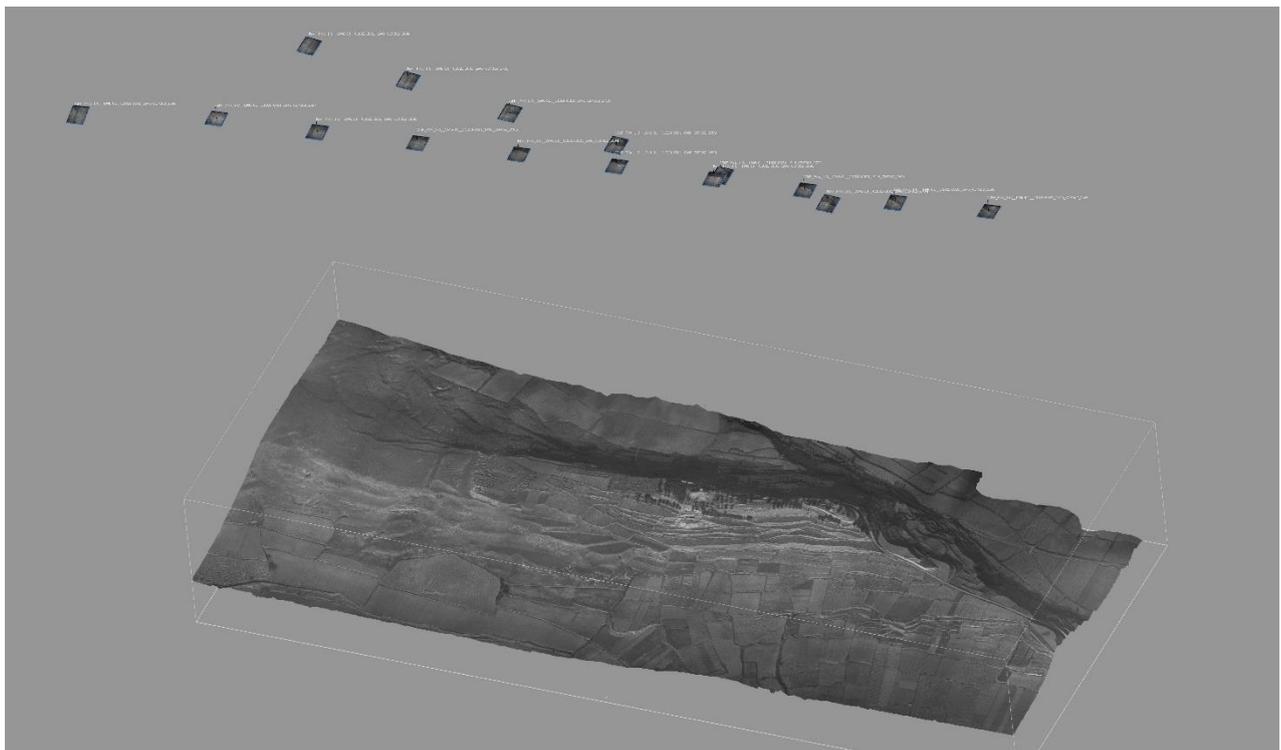


Figure 8: Face sud de l'oppidum d'Enserune - Localisation des photographies sur le modèle 3D (Images aériennes anciennes de l'IGN de 1946)

5. Traitement photogrammétrique

L'ensemble du traitement photogrammétrique a été réalisé avec le logiciel Agisoft Photoscan 1.4.4. Les cinq étapes de ce projet photogrammétrique sont :

1/ Alignement des caméras

2/ Génération du nuage dense 3/

Création du maillage

4/ Application de la texture

5/ Extraction des orthophotographies

5.1. Alignement des caméras

Le géoréférencement du modèle est assuré par 20 points topographiques placés dans un système Lambert 93 (EPSG 2154). (Fig. 9)

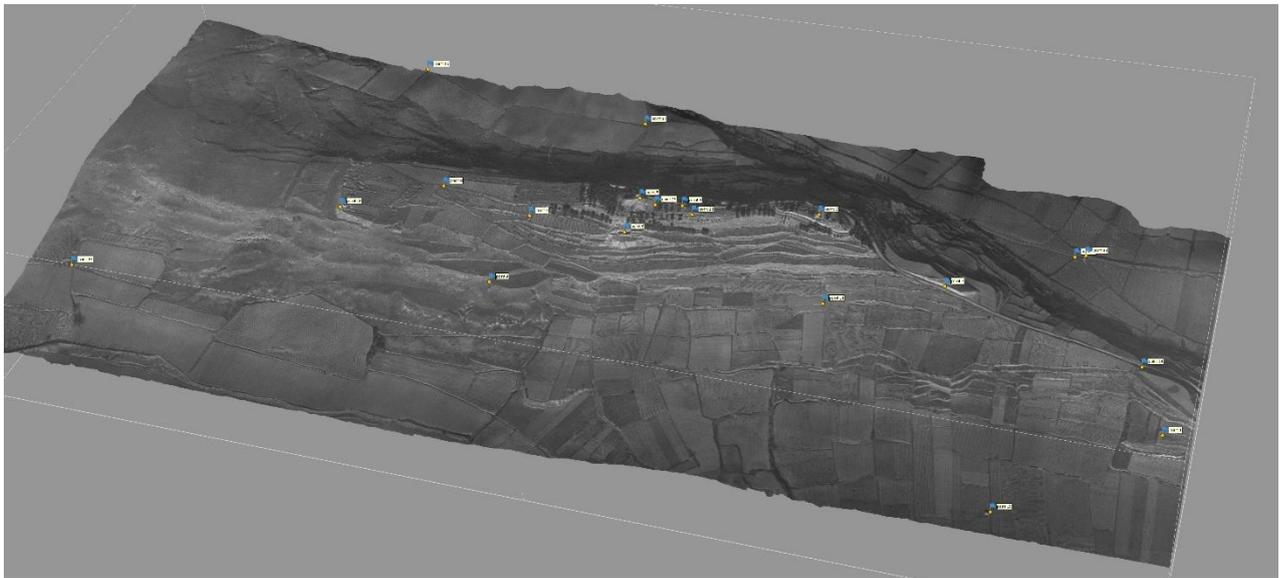


Figure 9 : Face sud de l'oppidum d'Enserune - Localisation des cibles (Images aériennes anciennes de l'IGN de 1946)

Les paramètres de l'alignement des caméras sont :

- Qualité : Moyenne
- Points de liaison : 70 000
- Points de référence : 20 000

Temps de calcul : 3 minutes.

Le résultat de l'alignement est un nuage de points de liaison qui comporte 45 405 points.

5.2. Génération du nuage dense

Vient ensuite la phase de création du nuage dense avec les paramètres suivants :

- Qualité : la plus basse
- Filtrage des profondeurs : agressif

Temps de calcul : 2 minutes.

Le nuage de points dense final comporte 1 610 051 points. (Fig. 10)



Figure 10 : Face sud de l'oppidum d'Enserune Nuage de points dense (Images aériennes anciennes de l'IGN de 1946)

5.3. Création de maillage

Vient ensuite la phase de création du maillage. Comme l'objectif de ce travail est l'export d'une orthophotographie, le maillage réalisé a été basé sur la carte des profondeurs et fait à faible résolution. Il en ressort un modèle de 322 037 faces.

5.4. Application de la texture

Cette étape consiste à sélectionner et appliquer sur les maillages les photographies.

Les paramètres de la construction de la texture sont :

- Mode mappage : générique
- Mode de fusion : mosaïque
- Résolution : 8192 pixels

5.5. Extraction des orthophotographies

Il est alors possible d'exporter une orthophotographie du site à partir du maillage. (Fig.11)

Les paramètres d'extraction des orthophotographies sont :

- Mode de fusion : mosaïque
- Résolution : 28 242 px x 12 726 px



Figure 11 : Face sud de l'oppidum d'Enserune - Mission du 17/09/19 - Face est

6. Analyses

Avec le logiciel RVT (Relief Visualization Toolbox) développé par l'Institut of Anthropological and Spatial Studies, il est possible d'appliquer plusieurs traitements au MNT. Ces traitements se basent sur des algorithmes calibrés pour la détection de vestiges archéologiques. Ces différents traitements permettent de multiplier les visions d'un même espace et de mettre en exergue les possibles indicateurs archéologiques.

Liste des traitements inclus dans RVT (En rouge ceux appliqués au MNT d'Enserune)

- hillshading,
- hillshading from multiple directions,
- PCA of Hilshading,
- slope gradient,
- simple local relief model,
- sky-view factor,
- anisotropic sky-view factor,
- positive and negative openness.

Ombrage

Le calcul d'ombrage permet de créer un relief ombré à partir d'un MNT ou d'un MNS en tenant compte de l'angle de la source d'éclairage et des ombres. Les zones perpendiculaires au soleil sont les plus éclairées alors que les zones ayant un angle d'incidence supérieur ou égal à 90° sont visualisées comme des zones d'ombre. Il s'agit d'une méthode de visualisation de la topographie qui permet une représentation faussement « 3D », en nuances de gris, de la surface du sol en tenant compte de la position du soleil pour le calcul de l'ombrage. Il est alors possible, en faisant varier la position du soleil de modéliser les ombres à différentes heures du jour. Les paramètres à définir lors de la création d'un ombrage sont l'azimut et l'altitude qui permettent d'indiquer la position du soleil à utiliser pour la création de l'ombrage. L'altitude indique la hauteur du soleil au-dessus de l'horizon. Les valeurs s'étendent donc de 0° à 90°. La valeur 0 étant l'horizon, la valeur 90 étant le nadir. L'azimut indique la position du soleil mesuré à partir du Nord dans le sens horaire. Ainsi, la valeur 0 indique le Nord, la valeur 90 représente l'Est, la valeur 180 indique le Sud et la valeur 270 donne l'Ouest.

Le calcul de l'ombrage (Hilshade) réalisé ici s'est fait sur la base d'un angle de 315 degrés et 45 degrés d'angle vertical.

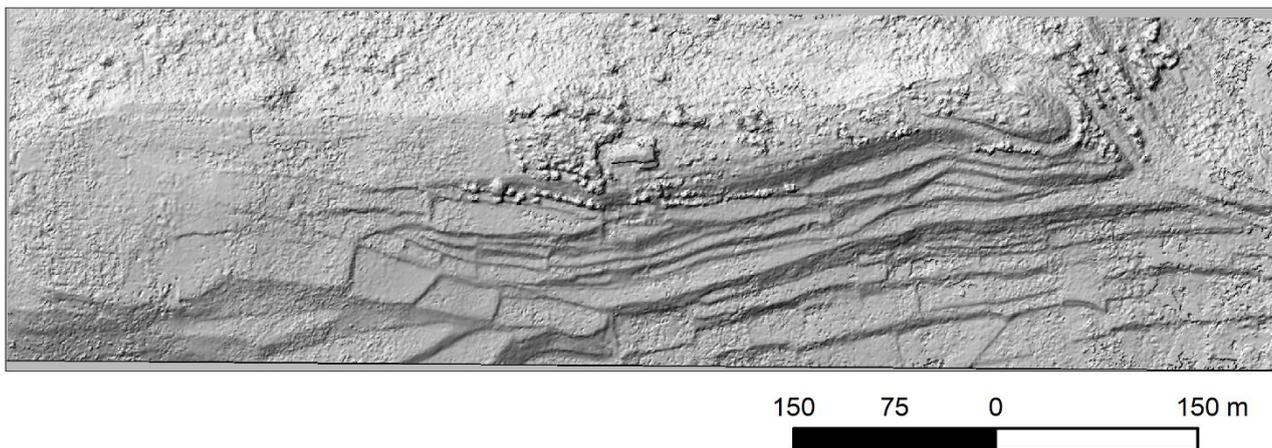


Figure 11a – Hilshade

Ombrage multidirectionnel

L'algorithme de l'ombrage multidirectionnel repose sur le même principe que le calcul de l'ombrage unidirectionnel. La seule spécificité est qu'est calculé l'ombre de la scène dans des directions différentes. Chaque ombre est ensuite multipliée par un poids, puis les 6 ombrages sont additionnés. C'est cette addition qui donne le raster final. Ce type de traitement améliore la visualisation des zones à faible relief. Il produit un ombrage plus détaillé dans les zones affectées par une saturation et des ombres profondes. Il permet aussi d'accentuer l'illumination oblique sur l'ensemble de la zone d'étude.

Le calcul du multihilshade s'est fait sur la base de 16 axes et à une hauteur de 35 degrés.

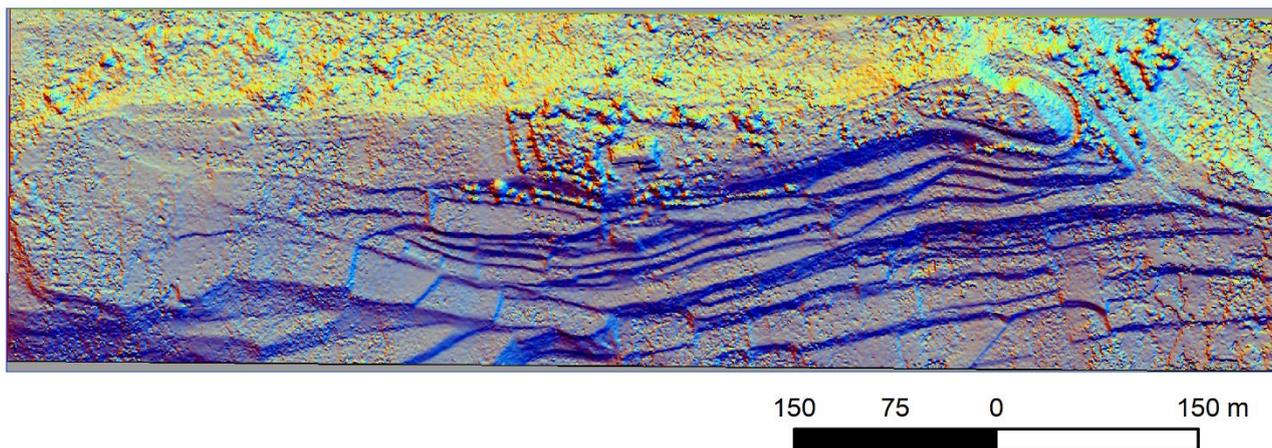


Figure 11b - Multihilshade

Openness Négative et positive

Les calculs d'openness négative et positive sont des algorithmes pertinent pour calculer la rugosité d'un terrain et par là même de rendre visible les anomalies topographiques. Ce type d'algorithme permet d'estimer la pente en tout point

du MNT. Ainsi, pour chaque pixel du MNT est recherché, dans un rayon donné, le gradient altitudinal minimum et maximum dans 8 directions. Le calcul d'openness positive est la moyenne des gradients maximum pour chaque direction. Le calcul d'openness négative est la moyenne des gradients minimum pour chaque direction.

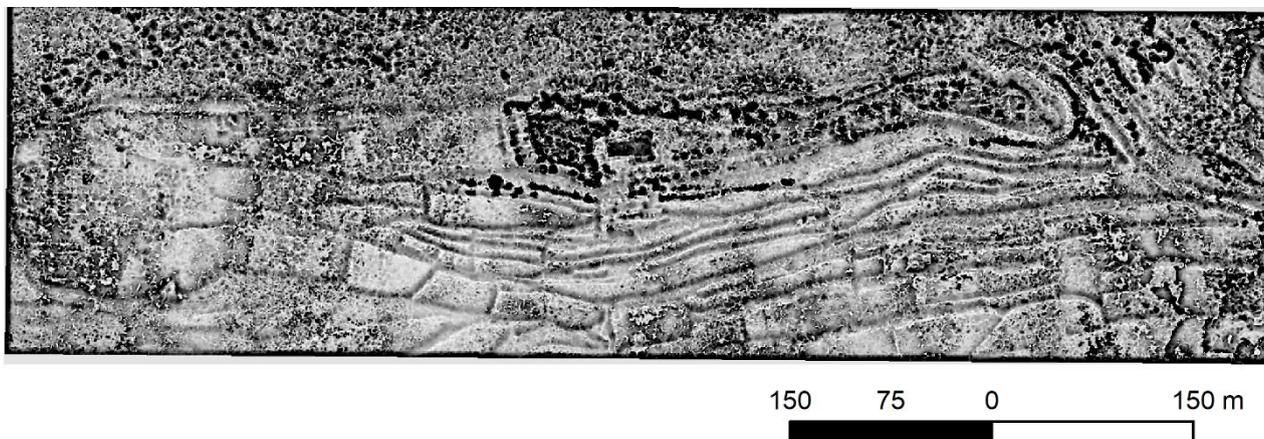


Figure 11c - Calcul Openness négative

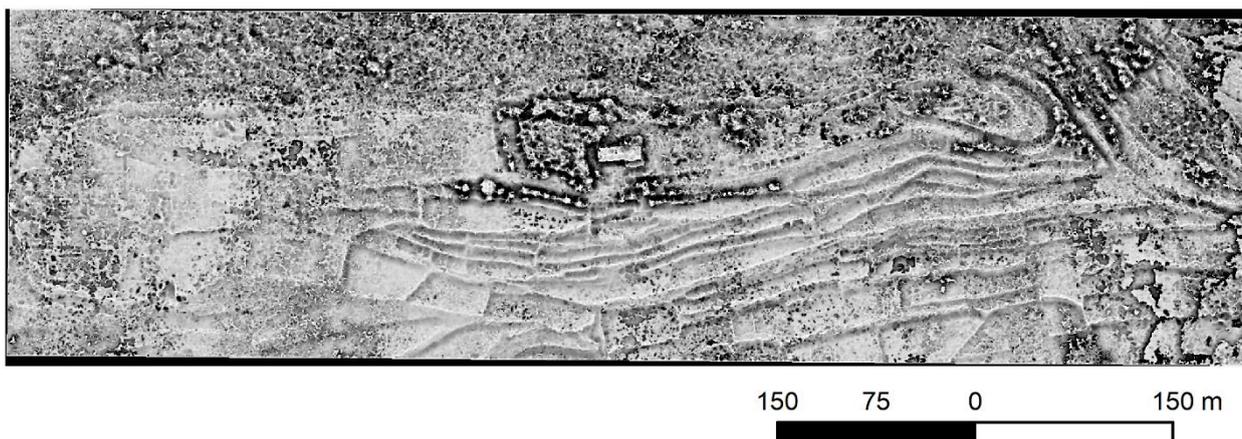


Figure 11d - Openness positive

SkyView Factor (SVF)

La calcul du SkyView Factor permet de calculer un indice qui mesure la portion de ciel visible en un point donnée sur un hémisphère centré sur l'emplacement analysé. L'algorithme calcule l'angle vertical d'élévation par rapport à l'horizon pour n directions spécifiques au rayon. Sur un point haut la portion du ciel visible sera plus grande que dans un creux.

Ce type de traitement a l'avantage de mettre de petites caractéristiques du relief tout en conservant la vision générale de la topographie.

Les paramètres à utiliser sont la taille du radius, le nombre de direction et la méthode de traitement. Ont également une influence sur le résultat la résolution spatiale du MNT/MNS, l'exagération verticale et l'étirement de l'histogramme.

Le nombre de direction et la taille du radius sont deux paramètres interdépendants. Le nombre minimal de direction est 8. Les tests effectués montrent qu'au-delà de 32 directions, il n'y a pas d'amélioration de la détection des vestiges archéologiques. Pour déterminer le nombre de direction minimale, il faut prendre une

valeur comprise entre la moitié de la valeur du rayon de recherche en pixel et la valeur de ce rayon. Par exemple, avec un rayon de recherche de 10 pixels, le nombre de direction devra être compris entre 5 et 10. (Zaksek, Ostir, & Kokalj, 2011 ;Zaksek et al., 2012)

La taille des objets à détecter est également à prendre en compte. En effet, en choisissant un grand rayon de recherche, il sera possible de visualiser de grandes caractéristiques alors qu'en choisissant un rayon de recherche petit, il sera possible de visualiser de petites caractéristiques. Il est à noter que plus la taille du rayon choisit est grand et plus le temps de calcul sera long.

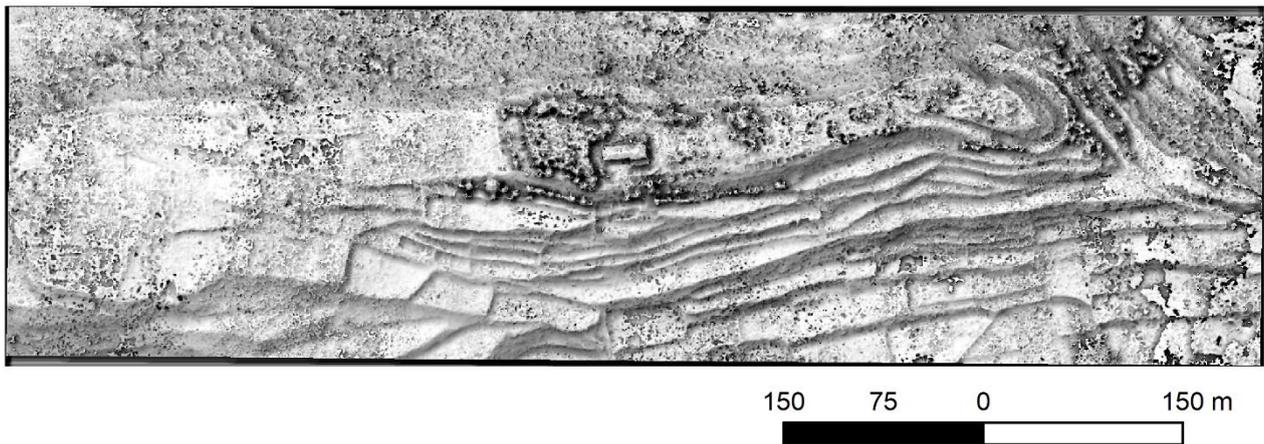


Figure 11e – SkyView Factor

Sky Illumination

Le calcul de Sky Illuminaison permet de représenter quantitativement la luminance naturelle du ciel dans diverses conditions atmosphériques (Kennelly et Stewart 2014), notamment les modèles de ciel uniforme et couvert car ils ne tiennent pas compte des effets d'ombres directionnelles.

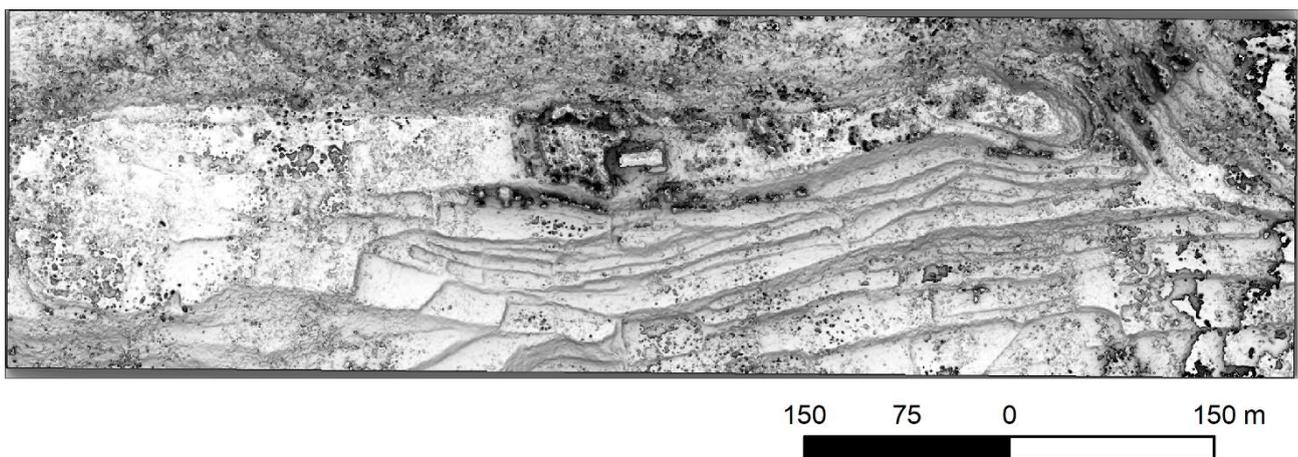


Figure 11f – Sky Illuminaison

Slope

Le calcul du gradient de pente représente le taux maximum de changement entre chaque cellule et ses voisins et peut

être calculé soit en degré de pente (comme dans l'outil utilisé ici), soit en pourcentage de pente. Si elle est représentée avec un dégradé de gris inversé, la sévérité de la pente conserve une représentation très plastique de l'intensité de l'érosion morphologie. Toutefois, des informations supplémentaires sont nécessaires pour faire la distinction entre positif/convexe et les caractéristiques négatives/concave depuis les pentes d'un même gradient sont présentées dans la même couleur.

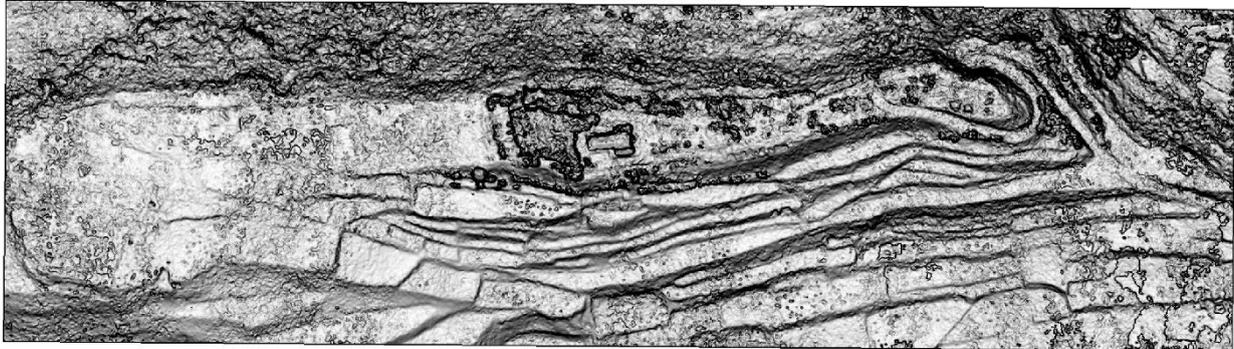


Figure 11g – Slope

7. Conclusions

La comparaison entre le Modèle Numérique de Surface extrait du relevé Lidar et de la photogrammétrie à partir des images aériennes anciennes de l'IGN montre aucune variation ni évolution du système de terrasse.

Partie 3. Acquisition 3D par photogrammétrie à partir d'image sol (Photo perche)

Le troisième travail photogrammétrique a été la réalisation d'une modélisation 3D et une orthophotographie de la zone de fouille 2019 (Dir. Philippe Boissinot).

8. Acquisitions des images

Les images ont été prises avec une perche de 4 m. La totalité de la zone de fouille (terrasse, bord de terrasse et son mur) a été photographiée, ce qui représente 620 clichés. (Fig. 12) La résolution sol des images est de 1,19 mm/px.

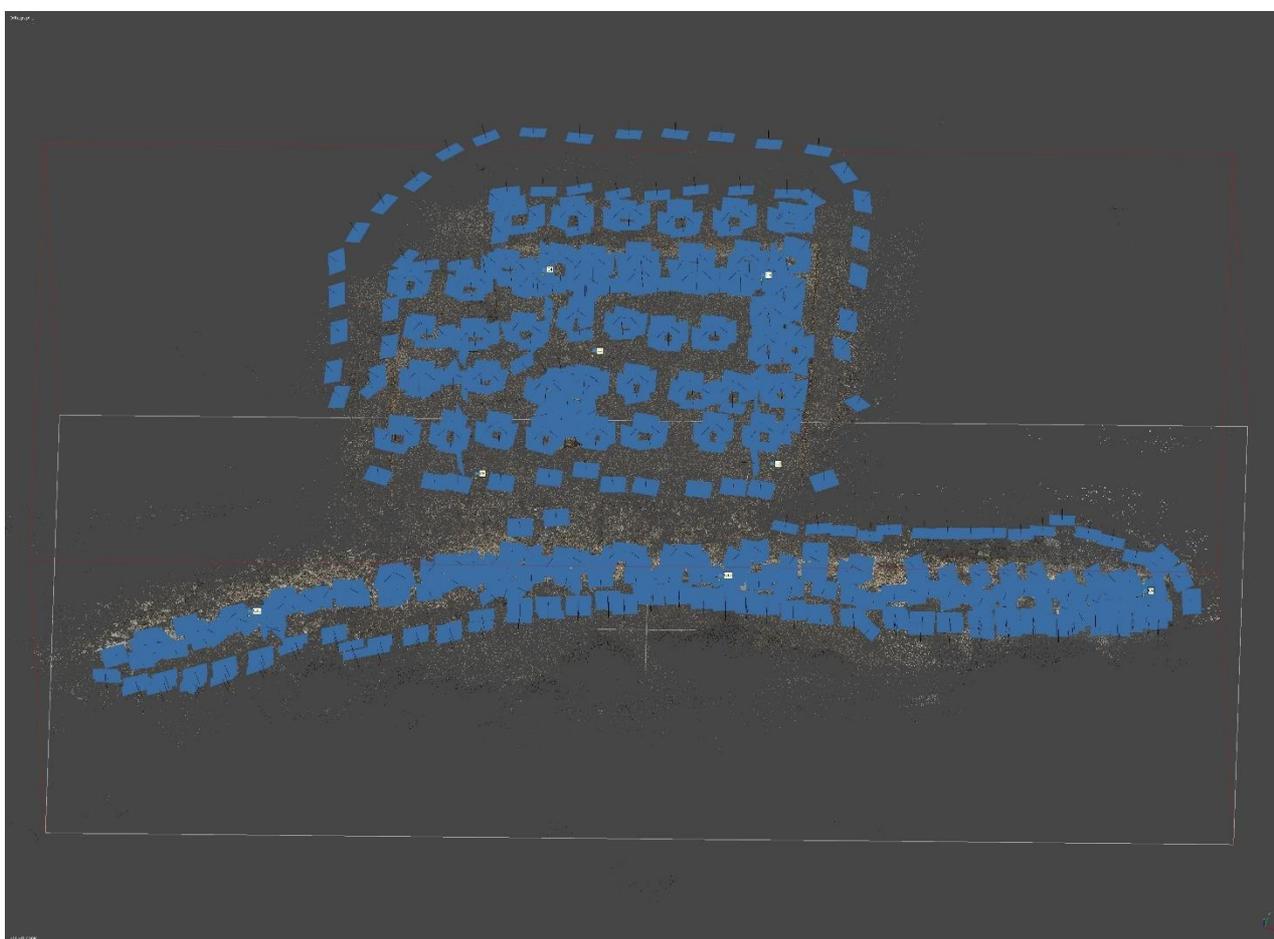


Figure12: Zone de fouille 2019 - Site d'Enserune - Mission du 17/09/19-Localisation des photographies sol

9. Traitement photogrammétrique

L'ensemble du traitement photogrammétrique a été réalisé avec le logiciel Agisoft Photoscan 1.4.4. Les cinq étapes

de ce projet photogrammétrique sont :

1/ Alignement des caméras

2/ Génération du nuage dense 3/

Création du maillage

4/ Application de la texture

5/ Extraction des orthophotographies

9.1. Alignement des caméras

La qualité des images est évaluée avant le lancement de la chaîne opératoire. Celle-ci est égale ou supérieure à 0,80 (sur 1) pour 96,7% des images.

La qualité du référentiel topographique a été évaluée autour de 8,2 millimètres. Le géoréférencement du modèle est assuré par 17 points topographiques placés dans un système local. (Fig. 13)

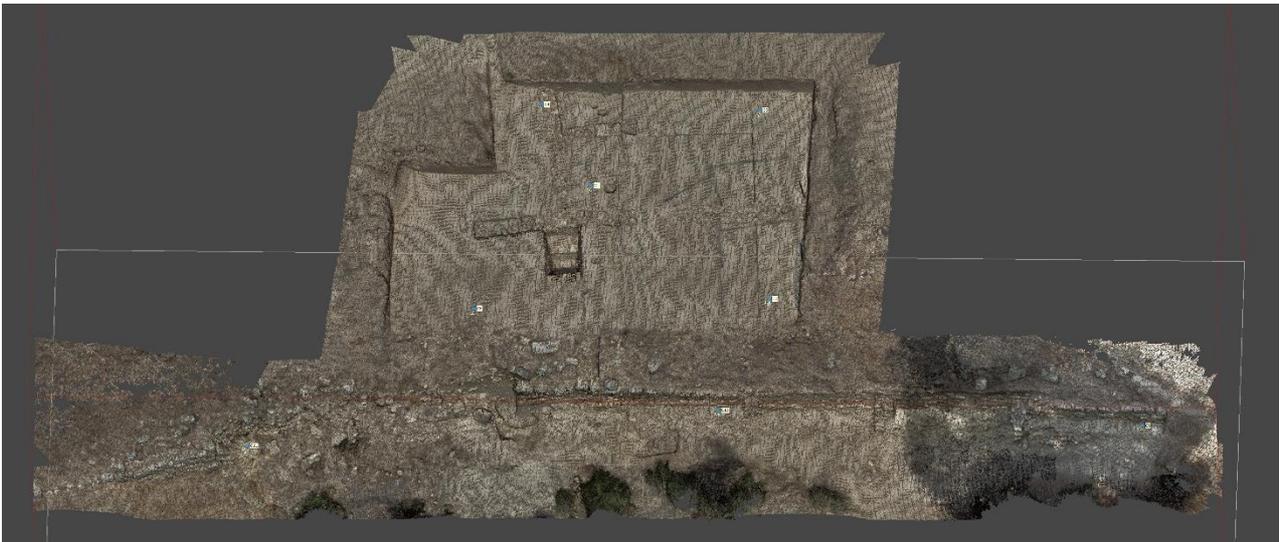


Figure 13 : Fouille 2019 d'Enserune - Mission du 17/09/19 - Localisation des cibles

Les paramètres de l'alignement des caméras sont :

- Qualité : Moyenne
- Points de liaison : 50 000
- Points de référence : 6 000

Temps de calcul : 18 minutes.

Le résultat de l'alignement est un nuage de points de liaison qui comporte 845 567 points.

9.2. Génération du nuage dense

Vient ensuite la phase de création du nuage dense avec les paramètres suivants :

- Qualité : haute
- Filtrage des profondeurs : agressif

Temps de calcul : 44 minutes.

Le nuage de points dense final comporte 156 107 355 points.

9.3. Création de maillage

Vient ensuite la phase de création du maillage (Fig. 14) qui permet d'obtenir un modèle 3D de 9 691 705 faces en 43 minutes.



Figure 14 : Fouille 2019 d'Enserune - Mission du 17/09/19 - Maillage

9.4. Application de la texture

Cette étape consiste à sélectionner et appliquer sur les maillages les photographies.

Les paramètres de la construction de la texture sont :

- Mode mappage : générique
- Mode de fusion : mosaïque
- Résolution : 8192 pixels

Le résultat est un modèle 3D maillé sur lequel est drapée la texture. (Fig. 15)



Figure 15 : Face sud de l'oppidum d'Enserune - Mission du 17/09/19 - Maillage texturé

9.5. Extraction des orthophotographies

Il est alors possible d'exporter une orthophotographie du site à partir des maillages. (Fig.16)

Les paramètres d'extraction des orthophotographies sont :

- Mode de fusion : mosaïque

Plusieurs orthophotographies ont été extraites :

- Une vue zénithale (Fig 16)
- deux vues pour le parement (une pour la partie est et l'autre pour la partie ouest) (Fig. 17 et 18)



Figure 16 : Face sud de l'oppidum d'Enserune - Mission du 17/09/19 - Face est



Figure 17 : Partie Est du parement – Fouille 2019 d'Enserune - Mission du 17/09/19 -



Figure 18 : Partie Ouest du parement – Fouille 2019 d’Enserune - Mission du 17/09/19 –

10. Rapport photogrammétrique – Agisoft – Metashape - Acquisition 3D par drone



Données du levé

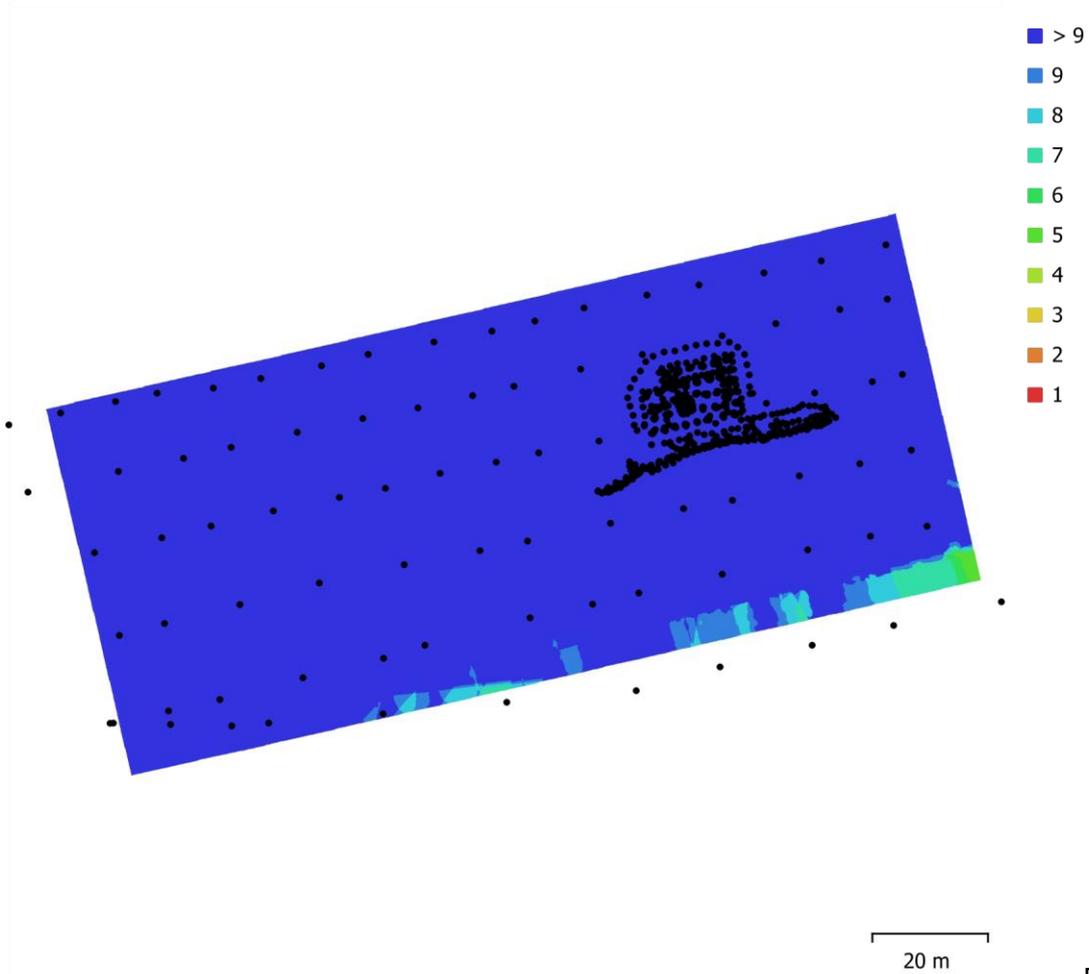


Fig. 1.

Emplacements des caméras et chevauchement des images.

Nombre d'images: 709 Stations de caméras: 709
 Altitude de vol: 8.46 m Points de liaison: 354,025
 Résolution au sol: 1.08 cm/px Projections: 764,189
 Zone de couverture: 9.89e+03 m² Erreur de reprojection: 0.23 px

Modèle de caméra	Résolution	Longueur focale	Taille de pixel	Précalibré
Anafi (4mm)	4608 x 3456	4 mm	1.34 x 1.34 µm	Non
Anafi (4mm)	4608 x 3456	4 mm	1.34 x 1.34 µm	Non
GR II, GR LENS (18.3mm)	4928 x 3264	18.3 mm	4.78 x 4.78 µm	Non

Tableau 1. Caméras.

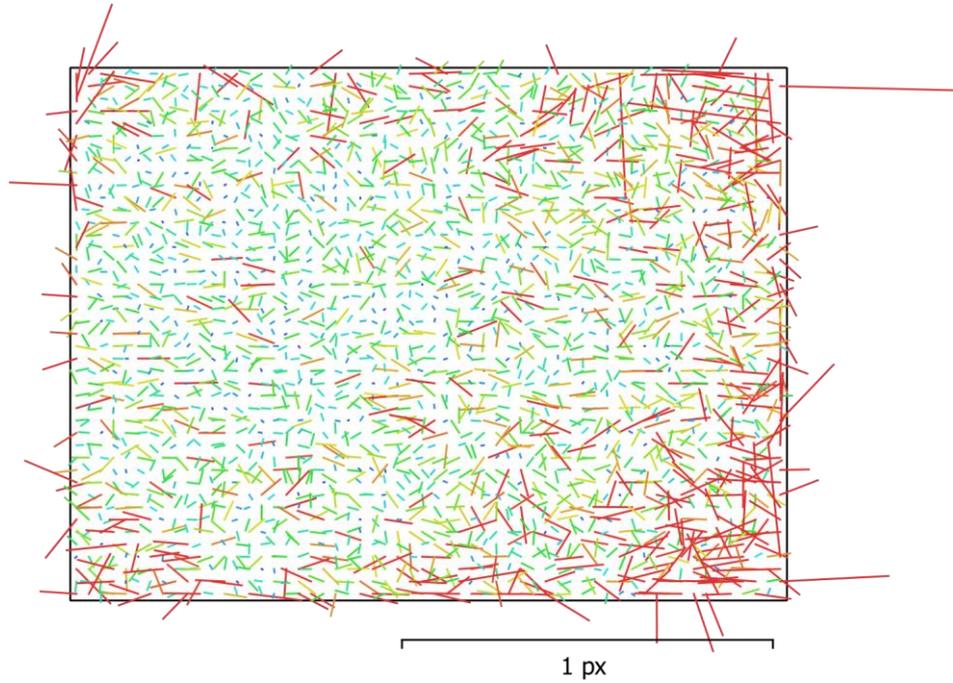


Fig. 2. Résiduelles des points de liaison pour Anafi (4mm).

Anafi (4mm) 86 images

Type Résolution Longueur focale Taille de pixel
 Cadre 4608 x 3456 4 mm 1.34 x 1.34 μm

	Valeur	Erreur	F	Cx	Cy	K1	K2	K3	P1	P2
F	2993.19	0.35	1.00	- 0.30	- 0.23	- 0.01	0.08	- 0.09	- 0.10	- 0.20
Cx	14.1009	0.13		1.00	0.07	- 0.00	- 0.02	0.03	0.44	0.02
Cy	-13.3272	0.12			1.00	- 0.04	- 0.01	0.01	- 0.00	0.49
K1	- 0.00244718	7.6e-05				1.00	- 0.95	0.89	- 0.00	- 0.05
K2	0.0116945	0.00019					1.00	- 0.98	- 0.03	0.00
K3	- 0.00868813	0.00015						1.00	0.04	- 0.00
P1	0.00236455	7.6e-06							1.00	- 0.03
P2	- 0.00146621	8.2e-06								1.00

Tableau 2. Coefficients de calibration et matrice de corrélation.

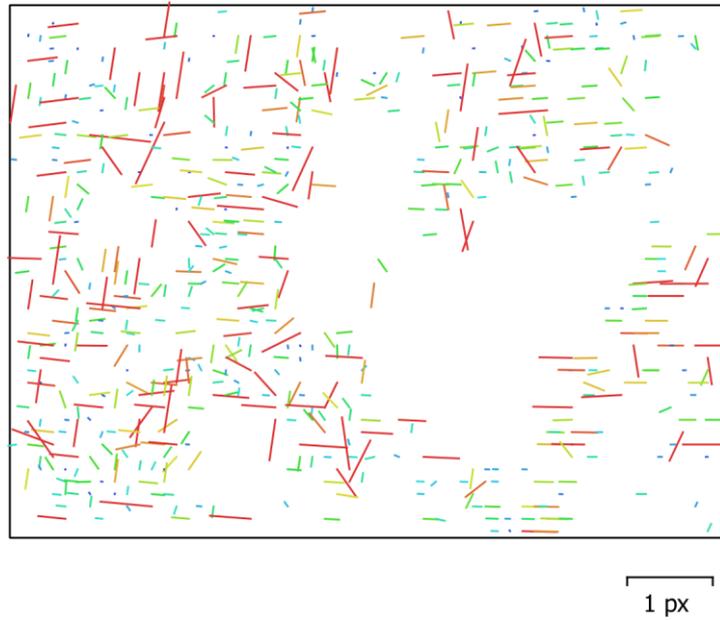


Fig. 3. Résiduelles des points de liaison pour Anafi (4mm).

Anafi (4mm) 1 images

Type Résolution Longueur focale Taille de pixel
 Cadre 4608 x 3456 4 mm 1.34 x 1.34 μm

	Valeur	Erreur	F	Cx	Cy	K1	K2	K3	P1	P2
F	3005.44	1.5	1.00	- 0.80	0.03	- 0.39	0.42 0.28	- 0.40	- 0.13	0.03
Cx	7.23536	0.74		1.00	- 0.07	0.25	- 0.28	0.26	0.53	- 0.08
Cy	-13.9283	0.36			1.00	0.01	- 0.00	0.00	0.02	0.69
K1	-0.0119864	0.00087				1.00	- 0.98	0.94	0.23	- 0.05
K2	0.03968	0.0024					1.00	- 0.99	- 0.22	0.06
K3	-0.0326024	0.002						1.00	0.23	- 0.06
P1	0.00210148	5.2e-05							1.00	- 0.05
P2	- 0.00167278	4.5e-05								1.00

Tableau 3. Coefficients de calibration et matrice de corrélation.

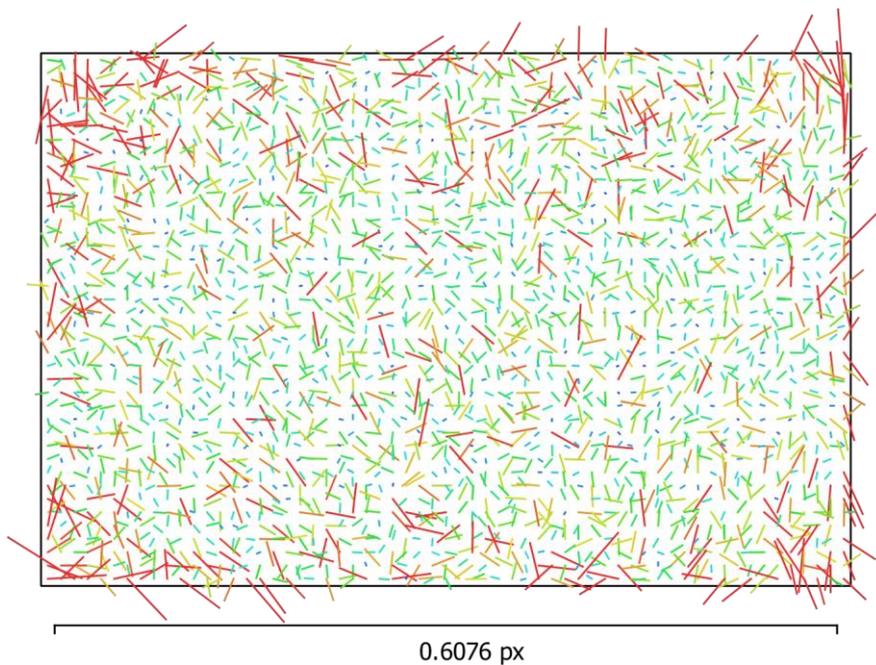


Fig. 4. Résiduelles des points de liaison pour GR II, GR LENS (18.3mm).

GR II, GR LENS (18.3mm) 622 images

Type Résolution Longueur focale Taille de pixel
 Cadre 4928 x 3264 18.3 mm 4.78 x 4.78 μm

	Valeur	Erreur	F	Cx	Cy	K1	K2	K3	P1	P2
F	3840.64	0.043	1.00	- 0.07	- 0.66	- 0.20	0.23 0.02	- 0.18	- 0.04	- 0.39
Cx	-11.8121	0.037		1.00	0.02	0.01	- 0.02	0.02	0.90	0.01
Cy	8.75635	0.039			1.00	- 0.05	- 0.01	- 0.00	- 0.01	0.69
K1	-0.0715213	3.7e-05				1.00	- 0.96	0.91	0.01	- 0.06
K2	0.0873397	0.00015					1.00	- 0.98	- 0.02	0.01
K3	-0.0157964	0.00018						1.00	0.01	- 0.02
P1	- 0.000714498	3.1e-06							1.00	- 0.00
P2	9.59796e-06	2.3e-06								1.00

Tableau 4. Coefficients de calibration et matrice de corrélation.

Points de contrôle au sol

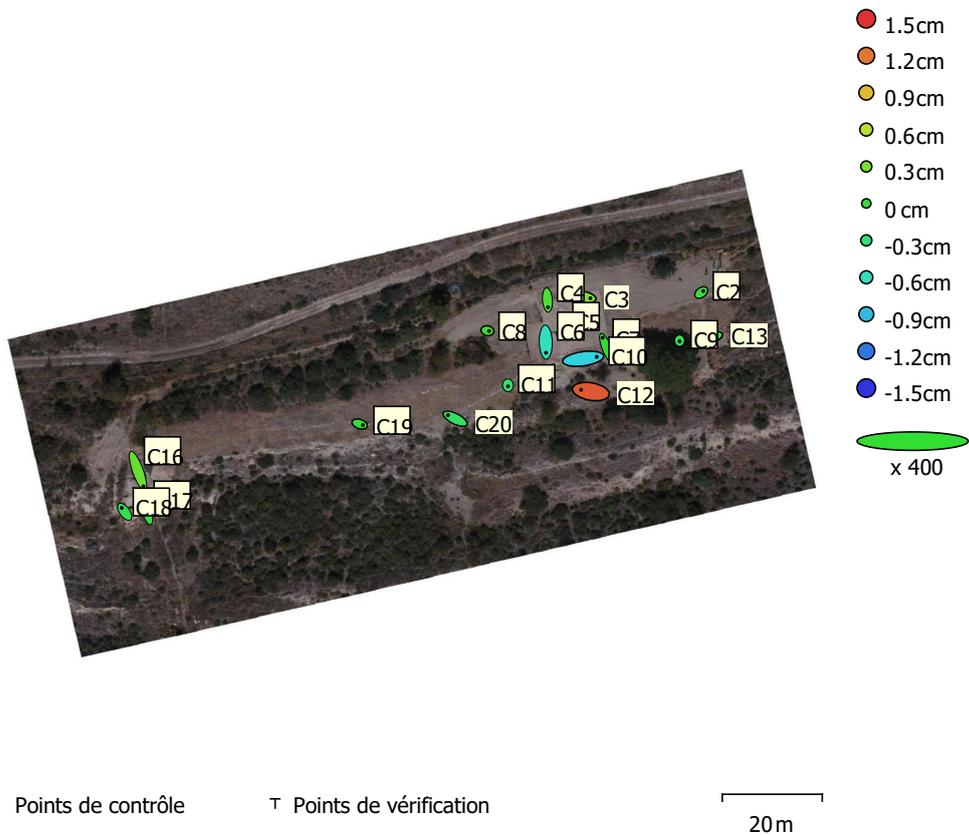


Fig. 5. Emplacements des points de contrôle au sol et estimations d'erreur.

L'erreur Z est représentée par la couleur de l'ellipse. Les erreurs X et Y sont représentées par la forme de l'ellipse.

Les emplacements estimés des points de contrôle au sol sont marqués d'un point ou d'une croix.

Nombre	Erreur X (mm)	Erreur Y (mm)	Erreur Z (mm)	Erreur XY (mm)	Total (mm)
17	5.37563	6.29898	4.2785	8.28098	9.32095

Tableau 5. Points de contrôle RMSE.

Etiquette	Erreur X (mm)	Erreur Y (mm)	Erreur Z (mm)	Total (mm)	Image (px)
C3	7.48511	-1.19338	3.31551	8.27307	0.107 (34)
C4	0.575252	-7.31584	1.03063	7.41044	0.088 (33)
C5	-2.83436	4.98516	1.25136	5.86952	0.105 (49)
C6	0.285346	-10.665	-6.01895	12.2496	0.106 (30)
C7	-4.32453	10.7217	-0.00554323	11.561	0.115 (32)

C17	-2.92051	9.89301	-0.783594	10.3448	0.316 (13)
C16	5.32583	-15.0611	2.35966	16.1484	0.222 (14)
C18	-2.88471	3.96686	-1.28985	5.07161	0.290 (13)
C20	-7.10641	3.61283	-2.06243	8.23452	0.290 (4)
C19	3.14777	-1.04468	0.0234866	3.31668	0.102 (10)
C8	1.61706	-0.327658	0.778854	1.82451	0.214 (2)
C12	-9.77871	1.68018	13.3046	16.5969	0.120 (32)
C13	-4.20387	-0.915582	0.266315	4.31066	0.205 (4)
C11	0.103042	-1.07645	-2.42454	2.65477	0.066 (8)
C10	13.51	1.90368	-7.99327	15.8125	0.117 (30)
C9	0.00396114	-0.711876	-1.23417	1.42476	0.247 (22)
C2	2.0038	1.5391	-0.513423	2.5783	0.129 (5)
Total	5.37563	6.29898	4.2785	9.32095	0.155

Tableau 6. Points de contrôle.

Modèle Numérique d'élévation

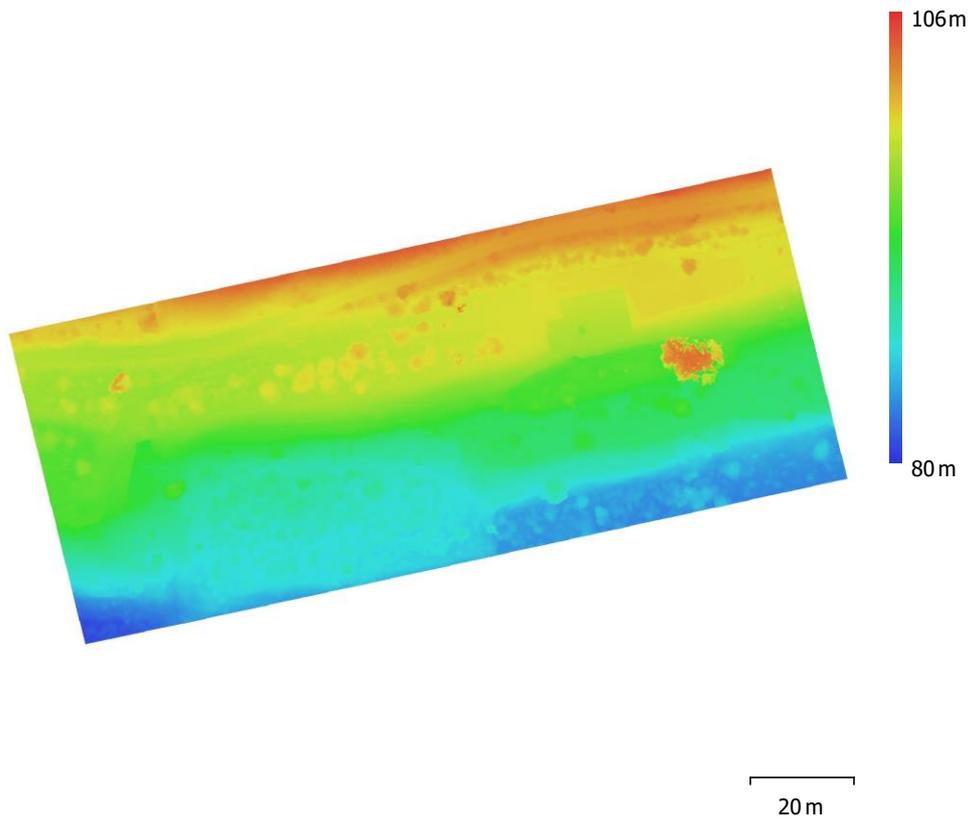


Fig. 6. Modèle numérique d'élévation reconstruit.

Résolution: 2.16 cm/px
 Densité des points: 0.214 points/cm²

Paramètres de traitement

Général

Caméras	709
Caméras alignées	709
Repères	17
Système de coordonnées	Local Coordinates (m)
Angles de rotation	Lacet, Tangage, Roulis
Nuage de point	
Points	354,025 de 982,162
Erreur RMS de reprojection	0.0378616 (0.229955 px)
Erreur Max de reprojection	0.201853 (1.46274 px)
Taille moyenne de point	5.79551 px
Couleurs des points	3 bandes, uint8

Points-clé	1.16 GB
Multiplicité moyenne des points de liaison	3.45271
Paramètres d'alignement	
Précision	Moyenne
Présélection générique	Oui
Présélection par références	Oui
Limite de points	50,000
Limite de points de liaison	6,000
Guided image matching	Non
Ajustement progressif du modèle de la caméra	Non
Temps de concordance	10 minutes 48
	secondes
Temps d'alignement	7 minutes 48
	secondes
Paramètres d'optimisation	
Paramètres	f, cx, cy, k1-k3, p1, p2
Ajustement progressif du modèle de la caméra	Non
Durée d'optimisation	21 secondes
Version du programme	1.6.0.9063
Cartes de profondeur	
Nombre	86
Paramètres de génération des cartes de profondeur	
Qualité	Haute
Mode de filtrage	Agressif
Temps de traitement	3 minutes 27
	secondes
Version du programme	1.6.0.9128
Nuage de points dense	
Points	35,266,624
Couleurs des points	Aucun
Paramètres de génération des cartes de profondeur	
Qualité	Haute
Mode de filtrage	Agressif
Temps de traitement	3 minutes 27
	secondes
Paramètres de génération du nuage de points dense	
Temps de traitement	9 minutes 5 secondes
Version du programme	1.6.0.9128
Modèle	
Faces	7,048,946
Sommets	3,526,515
Couleurs des sommets	3 bandes, uint8
Général	
Paramètres de génération des cartes de profondeur	

Qualité	Haute
Mode de filtrage	Agressif
Temps de traitement	3 minutes 27 secondes
Paramètres de reconstruction	
Type de surface	Champ de hauteur
Données source	Nuage dense
Interpolation	Activé
Masques volumétriques stricts	Non
Temps de traitement	24 secondes
Version du programme	1.6.0.9128
MNE	
Taille	7,507 x 4,613
Système de coordonnées	Local Coordinates (m)
Paramètres de reconstruction	
Données source	Maillage
Interpolation	Activé
Temps de traitement	19 secondes
Version du programme	1.6.0.9128
Orthomosaïque	
Taille	14,960 x 9,075
Système de coordonnées	Local Coordinates (m)
Couleurs	3 bandes, uint8
Paramètres de reconstruction	
Mode de fusion	Mosaïque
Activer le remplissage des trous	Oui
Temps de traitement	1 minute 44 secondes
Version du programme	1.6.0.9128
Logiciel	
Version	1.6.0 build 9128
Plateforme	Windows 64

11. Rapport photogrammétrique – Agisoft – Metashape – Image aérienne ancienne de l'IGN



Calibration de la caméra

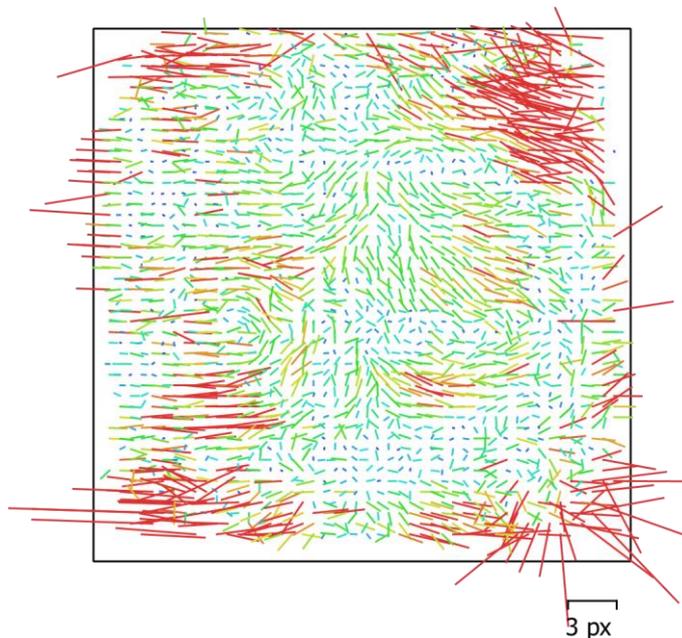


Fig. 2. Résiduelles des points de liaison pour unknown.

unknown

16 images

Type

Résolution

Longueur focale

Taille de pixel

Cadre

11292 x 11292

inconnu

inconnu

	Valeur	Erreur	F	Cx	Cy	K1	K2	K3	P1	P2
F	15889.8	12	1.00	- 0.70	0.47	0.05	- 0.26	0.34	0.20	0.09
Cx	-227.927	2.2		1.00	- 0.25	- 0.13	0.29	- 0.34	0.18	- 0.00
Cy	-96.9128	2.1			1.00	0.14	- 0.21	0.25	0.04	0.83
K1	0.048371	0.001				1.00	- 0.93	0.85	- 0.05	0.10
K2	-0.637809	0.013					1.00	- 0.98	- 0.06	- 0.07
K3	2.30728	0.048						1.00	0.09	0.08
P1	- 0.000689818	2.9e- 005							1.00	- 0.06

P2	0.000109355	5e-005								1.00
----	-------------	--------	--	--	--	--	--	--	--	------

Tableau 2. Coefficients de calibration et matrice de corrélation.

Points de contrôle au sol

Etiquette	Erreur X (km)	Erreur Y (km)	Erreur Z (km)	Total (km)	Image (px)
point 13	-4.21872e-005	1.4915e-005	-4.46397e-006	4.49682e-005	8.601 (4)
point 14	3.25848e-008	-3.2908e-005	1.87217e-006	3.29612e-005	10.589 (2)
point 15	3.07555e-005	-1.16384e-005	2.42694e-006	3.29734e-005	9.399 (3)
point 16	-0.00010567	9.80864e-005	1.18388e-005	0.000144663	12.755 (7)
point 17	3.77473e-005	-3.95219e-006	-9.40252e-006	3.9101e-005	13.121 (3)
point 18	3.49862e-005	-3.02988e-005	-3.14435e-006	4.6389e-005	8.644 (5)
point 19	-1.21399e-005	4.20983e-005	1.09734e-005	4.5167e-005	10.078 (4)
point 20	5.64835e-005	-7.63416e-005	-1.00827e-005	9.54992e-005	9.705 (6)
Total	4.98479e-005	4.94921e-005	7.82504e-006	7.06789e-005	10.552

Tableau 5. Points de contrôle. X - Est, Y - Nord, Z - Altitude.

Etiquette	Erreur X (km)	Erreur Y (km)	Erreur Z (km)	Total (km)	Image (px)
point 1	488.72	4797.91	2219.22	5308.84	2.242 (2)
point 2	488.518	4798.04	2219.37	5308.99	4.851 (4)
point 3	488.395	4798.08	2219.45	5309.06	2.631 (5)
point 4	488.269	4798.07	2219.41	5309.02	2.852 (6)
point 5	488.232	4798.07	2219.41	5309.01	2.592 (5)
point 6	488.225	4798.04	2219.35	5308.96	1.813 (5)
point 7	488.132	4798.04	2219.34	5308.94	3.676 (6)
point 8	488.039	4798.06	2219.36	5308.96	1.689 (6)
point 9	488.12	4797.96	2219.21	5308.82	5.092 (7)
point 10	487.954	4798	2219.29	5308.88	3.614 (6)

point 11	488.418	4798	2219.3	5308.92	3.979 (5)
point 12	488.614	4798.15	2219.45	5309.14	6.835 (4)
Total	488.303	4798.03	2219.35	5308.96	3.758

Tableau 6. Points de vérification. X - Est, Y - Nord, Z - Altitude.

Modèle Numérique d'élévation

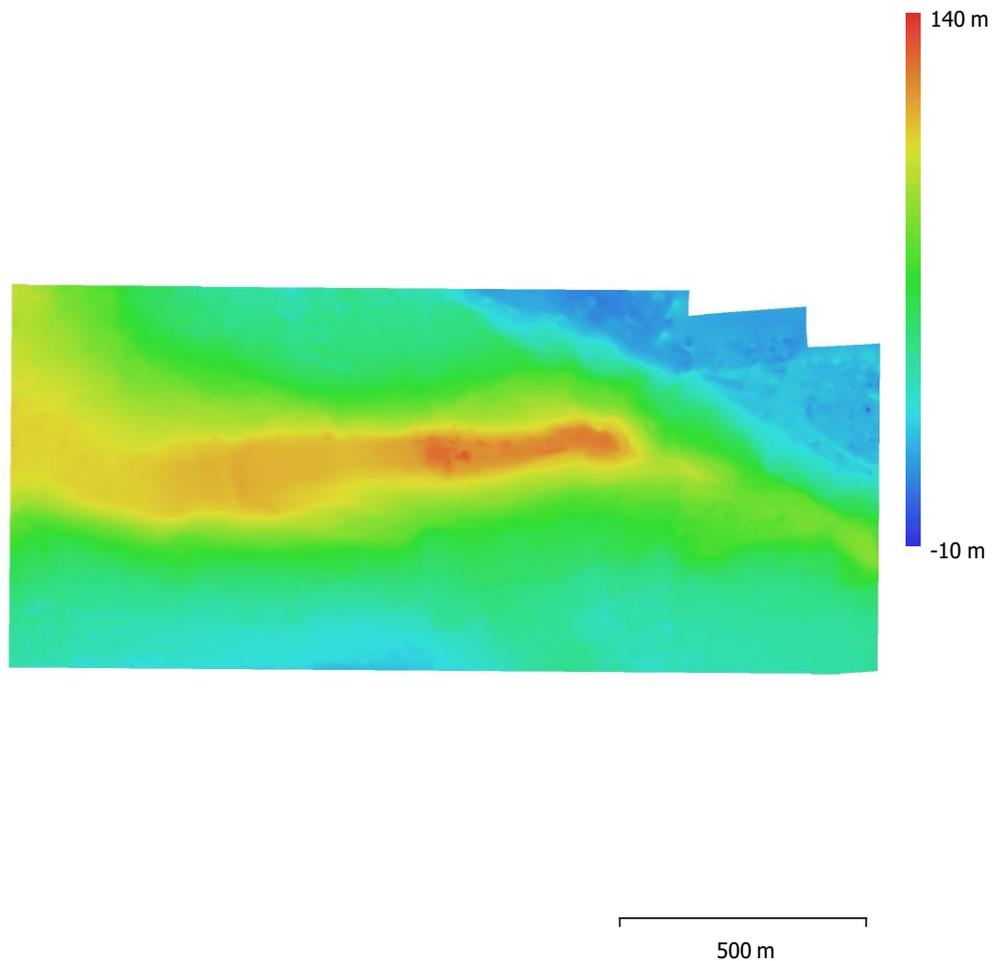


Fig. 4. Modèle numérique d'élévation reconstruit.

Résolution: 100 cm/px

Densité des points: 1 points/m²

Paramètres de traitement

Général

Caméras	16
Caméras alignées	16
Repères	20

Système de coordonnées	RGF93 / Lambert-93 (EPSG::2154)
Angles de rotation	Lacet, Tangage, Roulis
Nuage de point	
Points	45,405 de 67,283
Erreur RMS de reprojection	0.412774 (2.60242 px)
Erreur Max de reprojection	2.47775 (15.2992 px)
Taille moyenne de point	6.68227 px
Couleurs des points	1 bande, uint8
Points-clé	Non
Multiplicité moyenne des points de liaison	2.75634
Paramètres d'alignement	
Précision	Moyenne
Limite de points	70,000
Limite de points de liaison	20,000
Filtrer les points par masque	Oui
Masquer les points de liaison	Non
Ajustement progressif du modèle de la caméra	Non
Temps de concordance	2 minutes 0 seconde
Temps d'alignement	1 minute 0 seconde
Paramètres d'optimisation	
Paramètres	f, cx, cy, k1-k3, p1, p2
Ajustement progressif du modèle de la caméra	Non
Durée d'optimisation	3 secondes
Version du programme	1.6.0.9128
Cartes de profondeur	
Nombre	16
Paramètres de génération des cartes de profondeur	
Qualité	La plus basse
Mode de filtrage	Agressif
Temps de traitement	2 minutes 7 secondes
Version du programme	1.5.4.8885
Nuage de points dense	
Points	1,610,951
Couleurs des points	1 bande, uint8
Paramètres de génération des cartes de profondeur	
Qualité	La plus basse
Mode de filtrage	Agressif
Temps de traitement	2 minutes 7 secondes
Paramètres de génération du nuage de points dense	
Temps de traitement	40 secondes

Version du programme	1.5.4.8885
Modèle	
Faces	322,037
Sommets	161,977
Couleurs des sommets	1 bande, uint8
Texture	8,192 x 8,192, 2 bandes, uint8

Général

Paramètres de génération des cartes de profondeur

Qualité	La plus basse
Mode de filtrage	Agressif
Temps de traitement	2 minutes 7 secondes

Paramètres de reconstruction

Type de surface	Arbitraire
Données source	Nuage dense
Interpolation	Activé
Masques volumétriques stricts	Non
Temps de traitement	2 minutes 34 secondes

Paramètres de texturation

Mode de mappage	Générique
Mode de fusion	Mosaïque
Taille de la texture	8,192
Activer le remplissage de trous	Oui
Activer le filtre fantôme	Non
Temps de paramétrisation UV	26 secondes
Temps de fusion	5 minutes 21 secondes

Version du programme 1.5.4.8885

MNE

Taille 1,769 x 797

Système de coordonnées RGF93 / Lambert-93 (EPSG::2154)

Paramètres de reconstruction

Données source	Maillage
Interpolation	Activé
Temps de traitement	8 secondes

Version du programme 1.5.4.8885

Orthomosaïque

Taille 28,242 x 12,729

Système de coordonnées RGF93 / Lambert-93 (EPSG::2154)

Couleurs 1 bande, uint8

Paramètres de reconstruction

Mode de fusion

Mosaïque

Surface

MNE

Activer le remplissage des trous

Oui

Temps de traitement

3 minutes 22 secondes

Version du programme

1.5.4.8885

Logiciel

Version

1.5.4 build 8885

Plateforme

Windows 64

12. Rapport photogrammétrique – Agisoft – Metashape – Prise de vue sol à la perche



Calibration de la caméra

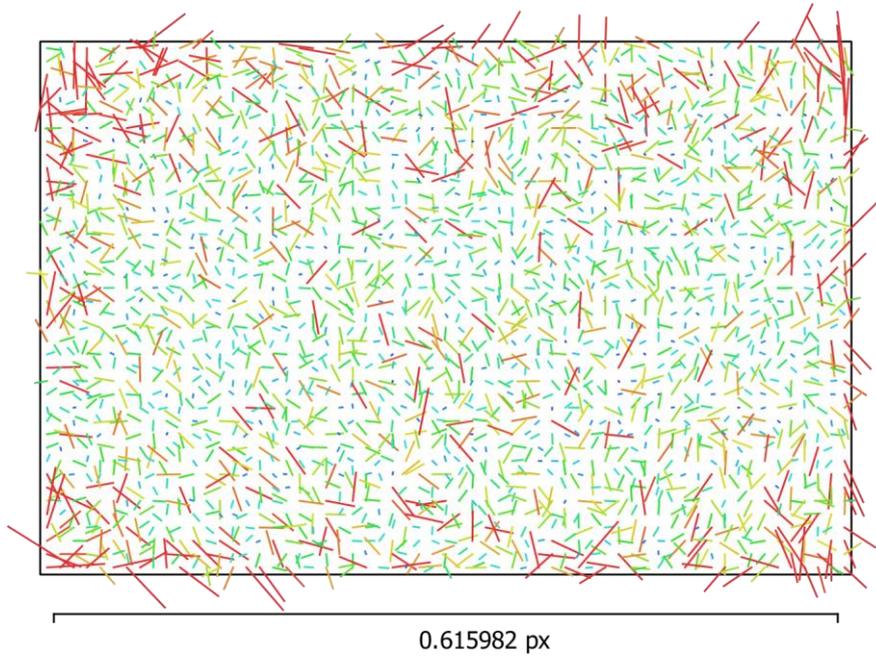


Fig. 2. Résiduelles des points de liaison pour GR II, GR LENS (18.3mm).

GR II, GR LENS (18.3mm) 620 images

Type Résolution Longueur focale Taille de pixel
 Cadre 4928 x 3264 18.3 mm 4.78 x 4.78 μm

	Valeur	Erreur	F	Cx	Cy	K1	K2	K3	P1	P2
F	3840.64	0.043	1.00	- 0.07	- 0.66	- 0.20	0.23	- 0.18	- 0.04	- 0.39
Cx	-11.8121	0.037		1.00	0.02	0.01	- 0.02	0.02	0.90	0.01
Cy	8.75635	0.039			1.00	- 0.05	- 0.01	- 0.00	- 0.01	0.69
K 1	-0.0715213	3.7e-05				1.00	- 0.96	0.91	0.01	- 0.06
K 2	0.0873397	0.00015					1.00	- 0.98	- 0.02	0.01
K 3	-0.0157964	0.00018						1.00	0.01	- 0.02
P 1	- 0.000714498	3.1e-06							1.00	- 0.00
P 2	9.59796e-06	2.3e-06								1.00

Tableau 2. Coefficients de calibration et matrice de corrélation.

Points de contrôle au sol

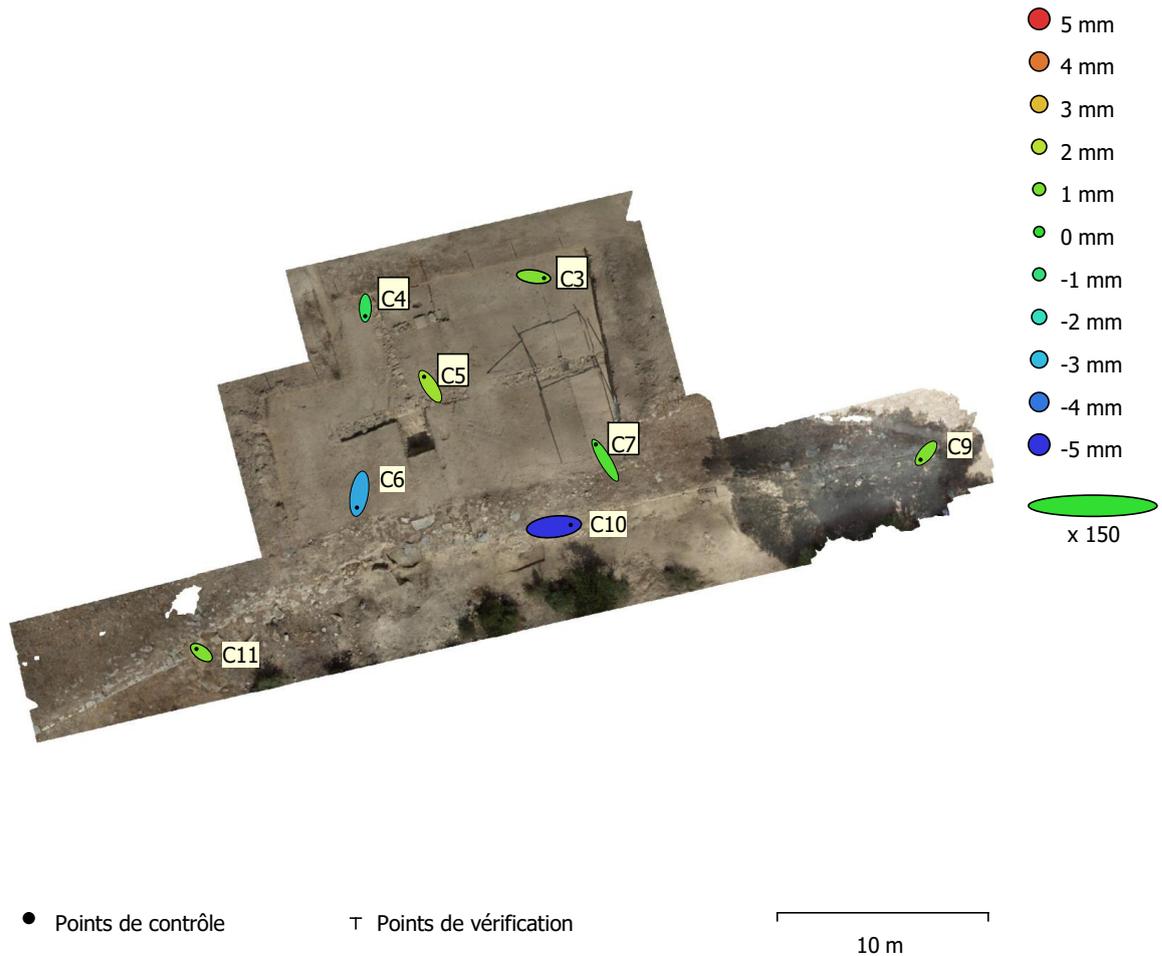


Fig. 3. Emplacements des points de contrôle au sol et estimations d'erreur.

L'erreur Z est représentée par la couleur de l'ellipse. Les erreurs X et Y sont représentées par la forme de l'ellipse.

Les emplacements estimés des points de contrôle au sol sont marqués d'un point ou d'une croix.

Nombre	Erreur X (mm)	Erreur Y (mm)	Erreur Z (mm)	Erreur XY (mm)	Total (mm)
8	5.3529	5.78554	2.30759	7.882	8.21285

Tableau 3. Points de contrôle RMSE.

Etiquette	Erreur X (mm)	Erreur Y (mm)	Erreur Z (mm)	Total (mm)	Image (px)
C3	6.60215	-0.883291	1.11463	6.75359	0.107 (34)
C4	-0.0565448	-5.19107	-0.541235	5.21952	0.502 (40)
C5	-3.86534	6.11669	1.54974	7.39976	0.779 (51)
C6	-1.5061	-8.83466	-3.29825	9.54976	0.105 (30)

C7	-5.95273	10.0666	0.461782	11.704	1.938 (33)
C11	-3.139	2.29397	1.13841	4.05112	1.069 (20)
C10	10.5466	1.17199	-4.99814	11.7297	0.890 (31)
C9	-3.45069	-4.07618	1.13745	5.46043	0.247 (22)
Total	5.3529	5.78554	2.30759	8.21285	0.906

Tableau 4. Points de contrôle.

Modèle Numérique d'élévation

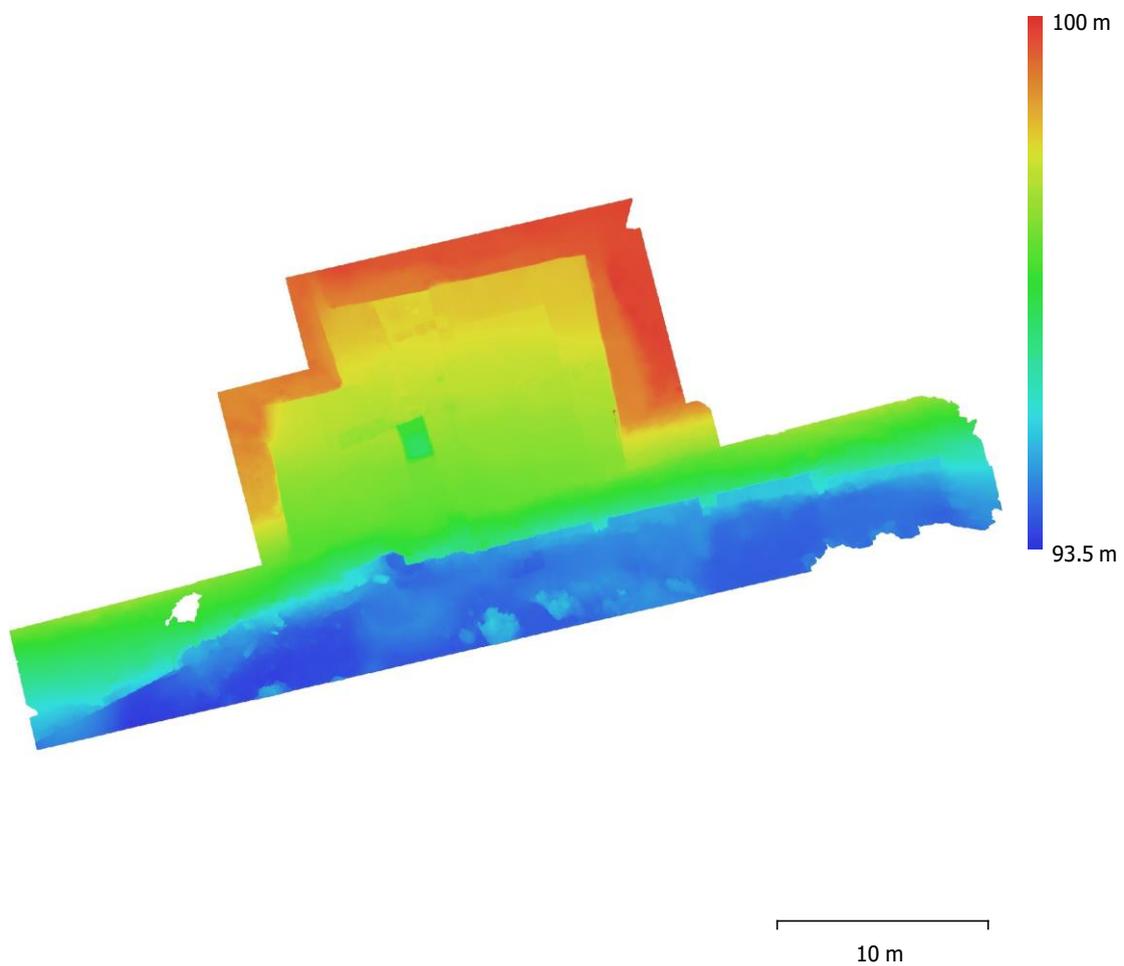


Fig. 4. Modèle numérique d'élévation reconstruit.

Résolution: 2.39 mm/px

Densité des points: 17.5 points/cm²

Paramètres de traitement

Général

Caméras	620
Caméras alignées	620
Repères	8
Système de coordonnées	Local Coordinates (m)
Angles de rotation	Lacet, Tangage,

Nuage de point

Points	314,931 de 845,567
Erreur RMS de reprojection	0.0376592 (0.227875 px)
Erreur Max de reprojection	0.167061 (1.38335 px)
Taille moyenne de point	5.77373 px
Couleurs des points	3 bandes, uint8
Points-clé	1.16 GB
Multiplicité moyenne des points de liaison	3.55472

Paramètres d'alignement

Précision	Moyenne
Présélection générique	Oui
Présélection par références	Oui
Limite de points	50,000
Limite de points de liaison	6,000
Guided image matching	Non
Ajustement progressif du modèle de la caméra	Non
Temps de concordance	10 minutes 48 secondes
Temps d'alignement	7 minutes 48 secondes

Paramètres d'optimisation

Paramètres	f, cx, cy, k1-k3, p1, p2
Ajustement progressif du modèle de la caméra	Non
Durée d'optimisation	21 secondes

Version du programme 1.6.0.9063

Cartes de profondeur

Nombre	619
Paramètres de génération des cartes de profondeur	
Qualité	Haute
Mode de filtrage	Agressif
Temps de traitement	42 minutes 52 secondes

Version du programme 1.6.0.9128

Nuage de points dense

Points	156,107,355
Couleurs des points	3 bandes, uint8
Paramètres de génération des cartes de profondeur	
Qualité	Haute
Mode de filtrage	Agressif
Temps de traitement	42 minutes 52
Paramètres de génération du nuage de points dense	secondes
Temps de traitement	2 heures 49 minutes
Version du programme	1.6.0.9128

Modèle

Faces	9,691,705
Sommets	4,851,712
Couleurs des sommets	3 bandes, uint8

Général

Texture	8,192 x 8,192, 4 bandes, uint8
Paramètres de génération des cartes de profondeur	
Qualité	Haute
Mode de filtrage	Agressif
Temps de traitement	42 minutes 52 secondes
Paramètres de reconstruction	
Type de surface	Arbitraire
Données source	Nuage dense
Interpolation	Activé
Masques volumétriques stricts	Non
Temps de traitement	2 heures 41 minutes
Paramètres de texturation	
Mode de mappage	Générique
Mode de fusion	Mosaïque
Taille de la texture	8,192
Activer le remplissage de trous	Oui
Activer le filtre fantôme	Non
Temps de paramétrisation UV	4 minutes 48 secondes
Temps de fusion	9 minutes 56 secondes
Version du programme	1.6.0.9128

MNE

Taille	21,191 x 12,719
Système de coordonnées	Local Coordinates (m)
Paramètres de reconstruction	

Données source	Maillage
Interpolation	Désactivée
Temps de traitement	1 minute 52 secondes
Version du programme	1.6.0.9128
Orthomosaïque	
Taille	39,369 x 22,078
Système de coordonnées	Local Coordinates (m)
Couleurs	3 bandes, uint8
Paramètres de reconstruction	
Mode de fusion	Mosaïque
Activer le remplissage des trous	Oui
Temps de traitement	21 minutes 51 secondes
Version du programme	1.6.0.9128
Logiciel	
Version	1.6.0 build 9128
Plateforme	Windows 64