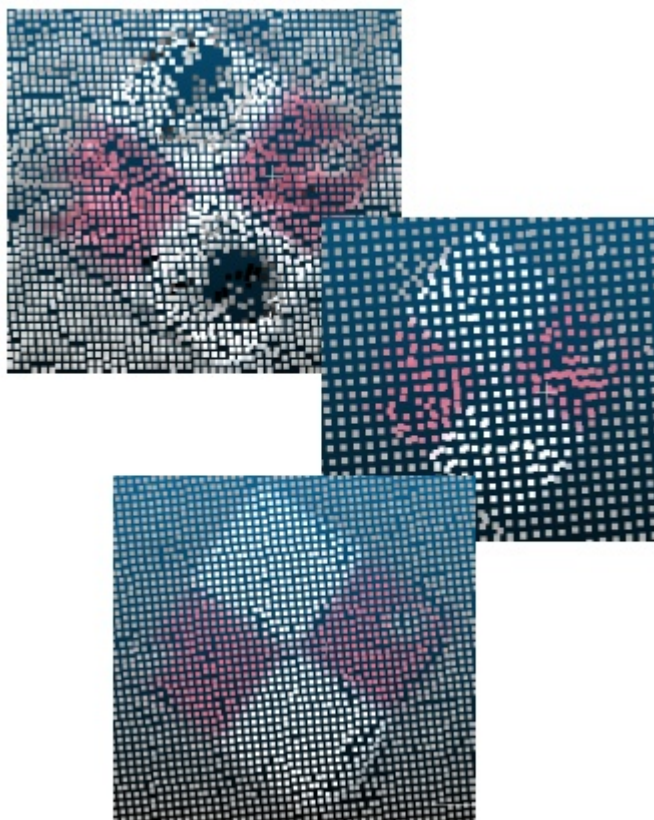


# Photogrammétrie

Étude comparative : MicMac, Pix4D, MetaShape  
Calcul et Stratégie

Crédit photo : © denis.jouin@cerema.fr



## Partenaires de l'étude

*LRR, Dter Normandie Centre*

*Thierry Mercier Expert Drone & pilote*

*Nicolas Mauchaussat, géomètre à Saint Leu (974)*

# Photogrammétrie

## Étude comparative : MicMac, Pix4D, MetaShape

### Calcul et Stratégie

#### Historique des versions du document

Version	Date	Commentaire
1,0	29/09/2020	
1,1	20/10/2020	Suite à relecture par Cyril fauchard et Erick Alliot
1.2	26/10/2020	Suite à relecture par Thierry Mercier
1,3	20/11/2020	Suite à remarque de Luc Girod, section 6,6

#### Affaire suivie par

<b>Denis JOUIN - Laboratoire Régional de Rouen – Unité GID</b>
Tél. : +33 2 35 68 82 88
Courriel : <a href="mailto:denis.jouin@cerema.fr">denis.jouin@cerema.fr</a>
<b>Site de Grand Quevilly</b> : Cerema Normandie Centre – 10 chemin de la Poudrière 76120 Le Grand Quevilly

Rapport	Nom	Date	Visa
Établi par	Denis Jouin	20/09/2020	
Avec la participation de			
Relu par	Cyril Fauchard, HDR, CEREMA NC Erick Alliot, CEREMA NC Thierry Mercier, expert drone Luc Girod, PhD, université d'Oslo	9/10/2020, 18/11/2020	
Validé par			

Je remercie ici les relecteurs pour leur lecture attentive.

#### Résumé de l'étude :

A partir d'un lot de 53 photos, prises par un drone, des nuages de points ont été construits avec 3 logiciels de photogrammétrie : MicMac, Pix4D et Agisoft MetaShape. Cinq cibles permettent de géoréférencer la scène.

Les altitudes calculées sur les cibles laissent apparaître la grande qualité des résultats pour les 3 logiciels. Les calculs de volume sont comparables.

Les nuages sont ensuite étudiés au droit d'une petite perturbation locale, une pierre posée sur une cible. La prise en compte de cette perturbation est un indicateur de qualité des algorithmes utilisés.

L'étude du comportement des logiciels face à une absence de données (photos surexposées ou insuffisance de photos) met en évidence 2 stratégies divergentes : respecter l'absence de donnée ou extrapoler pour éviter de petites lacunes dans le nuage final.

Conclusion : Avantage à MicMac qui produit le nuage de points le plus précis, obtient des altitudes très proches de la réalité terrain, prend correctement en compte les petites perturbations locales, et respecte mieux la donnée en évitant de combler par approximations l'absence d'information dans les photos. Pix4D prend correctement en compte la donnée brute. MetaShape effectue des calculs corrects mais s'autorise des extrapolations là où la donnée est insuffisante ou manquante.

# SOMMAIRE

<b>1 ORIGINE.....</b>	<b>6</b>
1.1 Histoire.....	6
1.2 Opportunité.....	6
<b>2 PLAN DE SITUATION, PHOTOS ET CIBLES.....</b>	<b>8</b>
<b>3 LES 3 NUAGES DE POINTS.....</b>	<b>12</b>
3.1 Le nuage MicMac.....	12
3.2 Le nuage Pix4D.....	12
3.3 Le nuage MetaShape.....	13
3.4 Synthèse : densité et taille des « pixels » dans les 3 nuages.....	13
<b>4 CALCUL DES VOLUMES.....</b>	<b>13</b>
4.1 Calcul du volume pour les nuages MicMac, Pix4D et MetaShape.....	13
4.2 Comparaison des MNT MicMac et Pix4D.....	15
<b>5 CALCUL DES ALTITUDES AUX POINTS CIBLES.....</b>	<b>17</b>
5.1 Les tableaux des écarts : altitude calculée – altitude terrain.....	18
5.1.1 Les écarts Micmac.....	18
5.1.2 Les écarts Pix4D.....	18
5.1.3 Les écarts MetaShape.....	19
5.2 Tableau de synthèse des écarts.....	19
<b>6 STRATÉGIE ET CALCUL EN ZONE DIFFICILE.....</b>	<b>20</b>
6.1 Zoom sur la cible 5 et ses difficultés.....	20
6.2 La cible 5 vue par MicMac.....	23
6.2.1 MicMac : Prise en compte de la surexposition.....	23
6.2.2 MicMac : Prise en compte d'une petite perturbation locale.....	24
6.3 La cible 5 vue par Pix4D.....	30
6.3.1 Pix4D : Prise en compte de la surexposition.....	30
6.3.2 Pix4D : Prise en compte d'une petite perturbation locale.....	31
6.4 La cible 5 vue par MetaShape.....	32
6.4.1 MetaShape : Prise en compte de la surexposition.....	32
6.4.2 MetaShape : Prise en compte d'une petite perturbation locale.....	33
6.5 Synthèse sur la prise en compte des difficultés.....	33
6.6 Et lorsque l'absence de donnée est importante.....	34
<b>7 CONCLUSION.....</b>	<b>37</b>
7.1 Bilan.....	37
<b>8 GLOSSAIRE ET ANNEXES.....</b>	<b>38</b>
8.1 Photogrammétrie.....	38
8.2 Statistique.....	39

8.3 Moyenne des écarts et calcul du volume.....	39
8.4 Logiciels.....	40
8.5 Sigles.....	41
<b>9 BIBLIOGRAPHIE.....</b>	<b>41</b>
9.1 Photogrammetry with UAV's: Quality Assessment of Open-Source Software for Generation of Orthophotos and Digital Surface Models.....	41
9.2 325216490 COMPARISONS OF THE THREE-DIMENSIONAL MODEL RECONSTRUCTED USING MICMAC_PIX4D_MAPPER_A_ND_PHOTOSCAN_PRO.....	41
9.3 Photogrammétrie par drone sur les Mourres :.....	41
9.4 Assessing the Accuracy of High Resolution Digital Surface Models Computed by PhotoScan � and MicMac � in Sub-Optimal Survey Conditions.....	41

## Table des figures

Figure 1: Plan de situation : commune de La Possession (974, La Réunion).....	9
Figure 2: Les 5 cibles positionn�es sur le terrain.....	9
Figure 3: Les coordonnées des 5 cibles (référentiel : EPSG 2975).....	9
Figure 4: Photo DJI_0013 avec les cibles 3, 4 et 5. dimensions : 5472x3648 (19MPixels) .....	10
Figure 5: Détail de la photo DJI_0043, avec cible et voiture.....	11
Figure 6: Vue du nuage non dense de MicMac montrant la position des 6 rang�es de 9 photos. On remarque l'absence de prise de vue entre les photos 12 et 13.....	11
Figure 7: Options utilis�es pour construire le nuage Pix4D.....	12
Figure 8: La zone du calcul des volumes (nuage MetaShape).....	14
Figure 9: Comparaison des volumes calculés sur les nuages MicMac et Pix4D.....	15
Figure 10: Visualisation du MNT des écarts entre les MNT MicMac et Pix4D.....	16
Figure 11: Histogramme des écarts d'altitude entre les nuages MicMac et Pix4D.....	16
Figure 12: Cible 5 sur la photo dji_0013.....	20
Figure 13: Cible 5 : carré blanc de 10*10.....	21
Figure 14: Cible 5 : carré rouge de 10*10.....	21
Figure 15: Cible 5 photo 13 : les zones blanches surexpos�es sont en jaune.....	22
Figure 16: La pierre de gauche dans un carré de 9x9 pixels, soit environ 8x8 cm.....	22
Figure 17: Cible 5 vue par MicMac.....	23
Figure 18: Cible 5 vue par MicMac avec points côtés par Cloud Compare.....	29
Figure 19: Cible 5 vue par Pix4D.....	30
Figure 20: Cible 5 vue par Pix4D avec points côtés par Cloud Compare.....	31
Figure 21: Cible 5 vue par MetaShape.....	32
Figure 22: Cible 5 vue par MetaShape avec points côtés par Cloud Compare.....	33
Figure 23: Zoom sur les lacunes du nuage non dense de MicMac.....	34
Figure 24: MICMAC : zone sous repr�sent�e, respect�e.....	35
Figure 25: Pix4D : zone sous repr�sent�e, en partie combl�e.....	35
Figure 26: MetaShape : zone sous-repr�sent�e, entièrement combl�e par approximation .....	36

## Index des tableaux

Tableau 1 : nombre de points au m <sup>2</sup> , taille et surface des 'pixels' dans les 3 nuages.....	13
Tableau 2: Les volumes et les altitudes moyennes, calculés pour les 3 nuages.....	14
Tableau 3: MicMac : écarts entre l'altitude calculée des cibles et le terrain.....	18
Tableau 4: Pix4D : écarts entre l'altitude calculée des cibles et le terrain.....	18
Tableau 5: MetaShape : écarts entre l'altitude calculée des cibles et le terrain.....	19
Tableau 6: Synthèse des écarts d'altitude pour les 3 logiciels.....	19
Tableau 7: Statistiques sur les écarts d'altitudes des cibles.....	19
Tableau 8: les 3 stratégies pour la prise en compte des difficultés.....	33
Tableau 9: Synthèse et conclusion.....	37

# 1 Origine

## 1.1 Histoire

La photogrammétrie construit des nuages de points en 3 dimensions à partir de simples photos.

Lorsque la scène est un territoire non urbanisé et si la prise de vue est aérienne, ces nuages peuvent être transformés en modèle numérique de terrain (MNT<sup>1</sup>). Si la scène est en ville on obtiendra un modèle numérique d'élévation (MNE<sup>1</sup>), tenant compte de l'altitude des bâtiments. Le MNT et le MNE permettent, par interpolation, de calculer une altitude en tout point du territoire. Ces données structurées et robustes donnent accès à des informations de niveau supérieur, comme des calculs de volume ou d'évolution du terrain entre deux prises de vue à deux moments différents.

Travaillant depuis 2015 sur l'interface CEREMA, outil facilitant l'appropriation de la suite logicielle photogramétrique de l'IGN « MicMac » j'ai eu à connaître plusieurs études comparatives sur les outils de photogrammétrie<sup>2</sup>. Cette nouvelle étude va s'attacher à comparer les résultats obtenus par 3 outils de photogrammétrie en détaillant les forces et les faiblesses de chacun.

## 1.2 Opportunité

Lors de contact avec Thierry Mercier, chargé de mission à Météo-France Réunion, officier expert au SDIS 974 (drone & météo), président de l'association COLIBRI (Cluster Opérationnel Logistique Intervention Basée Reconnaissance aérienne) et directeur technique de RUNDRONE, celui-ci m'a fourni les données d'un chantier de photogrammétrie réalisé par Monsieur Nicolas Mauchaussat, géomètre à Saint Leu (974). Ces données portent sur un terrain situé sur le port de la commune de La Possession. Nous utilisons ces données avec l'aimable autorisation de Mr Mauchaussat. Nous remercions vivement Messieurs Thierry Mercier et Nicolas Mauchaussat sans lesquels cette étude n'aurait pas pu être menée.

Les données comportent :

- 10 photos de calibration de l'appareil photographique
- 53 photos du terrain prises par un drone
- 5 cibles placées sur le terrain et repérées en précision centimétrique
- un plan d'ensemble avec les cibles
- le résultat du traitement photogramétrique par le logiciel Pix4D<sup>1</sup> sous forme de plusieurs fichiers au format texte.

Disposant du logiciel MetaShape<sup>1</sup> et familier de l'application MicMac<sup>1</sup> l'idée d'une étude comparative des 3 logiciels de photogrammétrie, MicMac, Pix4D et Agisoft MetaShape est arrivée naturellement.

---

1 Voir glossaire

2 Voir liste en annexe



## 2 Plan de situation, photos et cibles



Figure 1: Plan de situation : commune de La Possession (974, La Réunion) (google map)

Matricule	X	Y	Z
S.1	325537.828	7683705.9	11.47
S.2	325537.105	7683724.76	11.78
S.3	325486.247	7683725.28	11.765
S.4	325492.548	7683704.59	11.755
S.5	325505.413	7683716.67	15.219

Figure 3: Les coordonnées des 5 cibles  
(référentiel : EPSG 2975)

Figure 2: Les 5 cibles positionnées sur le terrain

Le plan de situation, la figure 2 positionnant les cibles et la figure 6 montrant les prises de vue, sont orientés vers le nord.

Par contre les photos prises par le drone sont orientées avec le sud en haut de la photo.



*Figure 4: Photo DJI\_0013 avec les cibles 3, 4 et 5. dimensions : 5472x3648 (19MPixels)*

Chaque photo couvre environ 52 m x 35 m soit une surface de 1800 m<sup>2</sup>.

Les photos ont été prises suivant 6 rangées de 9 photos.

Deux photos successives sur la même rangée sont séparées de 10 mètres : elles se recouvrent sur plus de 40 m, soit 80 % environ.

Deux rangées successives sont séparées d'environ 8 m : elles se recouvrent sur 27 m, soit 80 % environ.

Chaque pixel couvre environ un carré de 8,5 mm de côté.

Chaque cible est placée en moyenne sur 6 photos par rangée, et sur 3 rangées.

Chaque cible est présente, en moyenne, sur 18 photos.

Appareil photo : marque DJI modèle FC 6310.

Focale : 8,8 mm

Focale équivalent 35 mm : 24 mm

Altitude du vol : 30 m





Figure 5: Détail de la photo DJI\_0043, avec cible et voiture.

La cible est un carré rouge et blanc de 51 cm de côté. Les photos ne font pas apparaître d'ombre portée, le temps est couvert, ce qui est favorable car cela évite les zones surexposées et les zones sous-exposées.

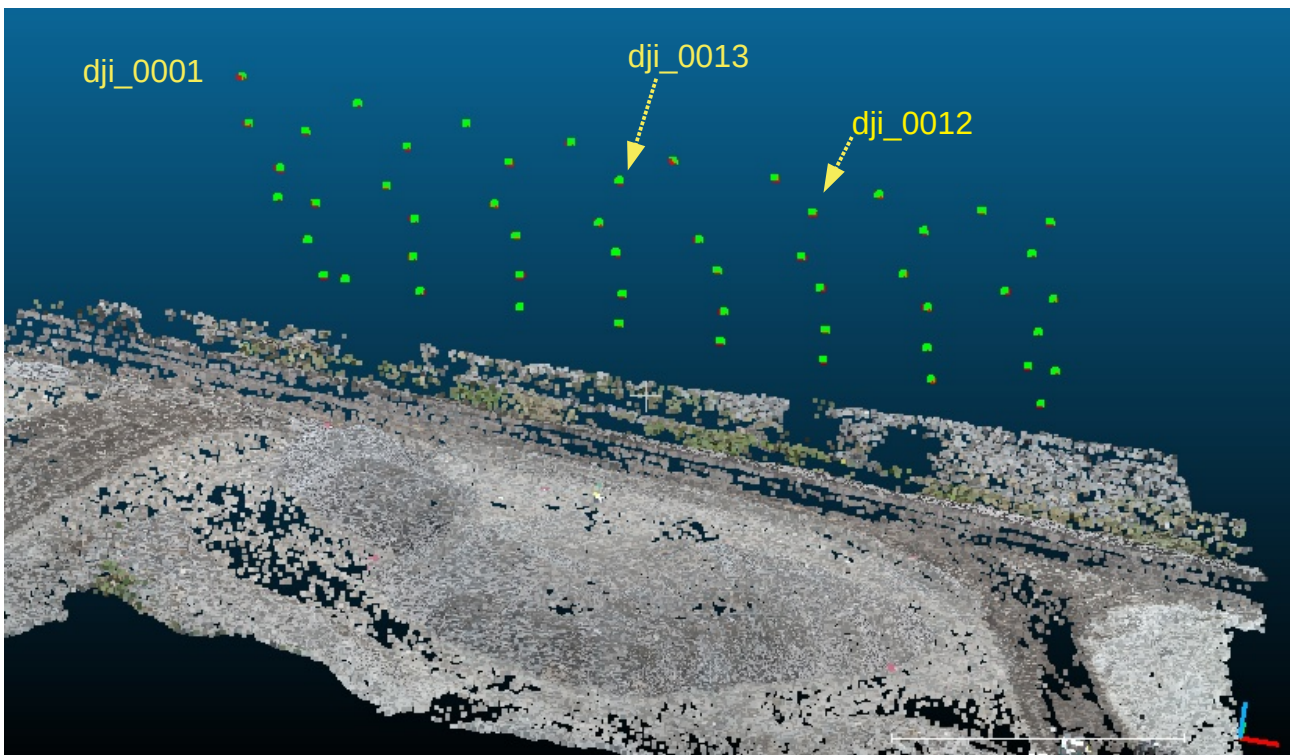


Figure 6: Vue du nuage non dense de MicMac montrant la position des 6 rangées de 9 photos. On remarque l'absence de prise de vue entre les photos 12 et 13.

## 3 Les 3 nuages de points

### 3.1 Le nuage MicMac

Micmac propose à l'utilisateur de nombreux paramètres. Le choix de ces paramètres dépend de l'appareil photographique, de la scène photographiée et de l'expérience de l'utilisateur. Pour cette étude nous avons retenu les options structurantes suivantes : « Fraser » pour calibrer l'appareil photographique avec Tapas, sur les 10 photos de calibration, et « BigMac » pour obtenir le nuage dense avec C3DC.

Le nuage dense obtenu est un fichier au format « ply<sup>3</sup> » de 1.17 GO.

La surface couverte est d'environ 6800 m<sup>2</sup>.

Le nuage comporte 76 millions de points, soit environ 11 000 points au m<sup>2</sup>.

Globalement, dans les zones plates, les points sont répartis sur une grille régulière à maille carrée de 9,5 mm de côté. Le maillage des zones tourmentées est moins régulier.

La dimension de la maille du nuage MicMac, 9,5 mm, est équivalente à la dimension du pixel des photos sur le terrain : 8,5 mm.

### 3.2 Le nuage Pix4D

Les nuages de points obtenus par Pix4D a été fourni par Monsieur Nicolas Mauchaussat, géomètre à Saint Leu (974). Ces nuages sont au format texte. Le nuage n'a pas été construit avec les options maximales.

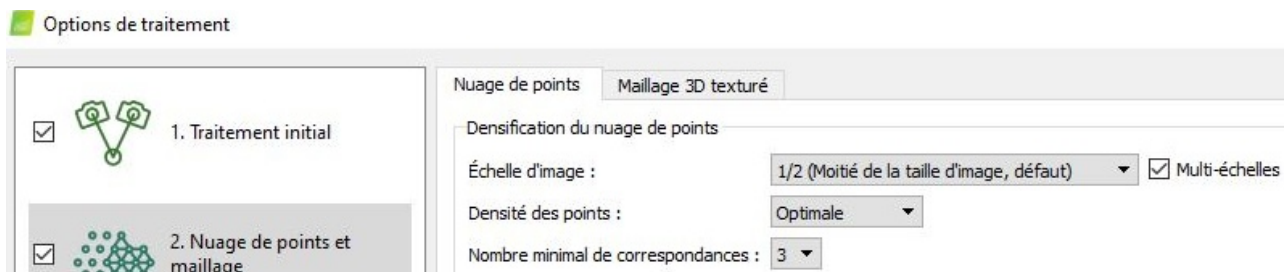


Figure 7: Options utilisées pour construire le nuage Pix4D

Nous utiliserons le nuage le plus précis que nous ayons reçu, comportant plus de 6 millions de points au format XYZRVB<sup>4</sup>.

Il s'agit d'un fichier texte de 320 MO comportant une ligne par point<sup>5</sup>.

La surface couverte est d'environ 6000 m<sup>2</sup>.

Le nuage est constitué de points répartis, dans les zones « plates », sur une grille régulière à maille carrée de 27 mm de côté. Il y a environ 1100 points au m<sup>2</sup>. Le maillage des zones tourmentées est moins régulier. Les données sont précises au mm.

La dimension de la maille du nuage Pix4D, 30 mm, est supérieure à la dimension terrain de chaque pixel des photos : 8,5 mm.

<sup>3</sup> Voir Glossaire

<sup>4</sup> XYZ : coordonnées X, Y et altitude Z ; RVB : 3 octets rouge, vert, bleu indiquant la couleur du pixel associé au point.

<sup>5</sup> Ce format est lisible sous Cloud Compare.

### 3.3 Le nuage MetaShape.

Le nuage de points MetaShape est calculé par l'équipe de recherche ENDSUM de Cyrille Fauchard au CEREMA Normandie Centre. Il s'agit d'un fichier au format ply.

Le fichier fait 413 MO et comporte 29 millions de points pour environ 8000 m<sup>2</sup> utiles.

Les points sont répartis, dans les zones « plates », sur une grille régulière à maille carrée de 17 mm de côté. Il y a environ 3300 points au m<sup>2</sup>.

La dimension de la maille du nuage MetaShape, 17 mm, est deux fois la dimension du pixel des photos sur le terrain : 8,5 mm.

Ce nuage n'a pas été généré en recherchant une densité maximale de pixels. MetaShape peut générer des nuages de points pour lesquels la taille de maille est égale à la taille du pixel.

### 3.4 Synthèse : densité et taille des « pixels » dans les 3 nuages

La précision du résultat peut aussi s'apprécier à la densité des nuages de points : cette densité permet d'évaluer la finesse des détails discernables dans le nuage, en relation avec la taille du « pixel <sup>6</sup> » du nuage.

	Nombre de points au m <sup>2</sup>	Taille du « pixel »	Surface du « pixel »
<b>MicMac</b>	11 000	9 mm	0,8 cm <sup>2</sup>
<b>Pix4D</b>	1 100	30 mm	9 cm <sup>2</sup>
<b>MetaShape</b>	3300	17 mm	3 cm <sup>2</sup>

*Tableau 1 : nombre de points au m<sup>2</sup>, taille et surface des 'pixels' dans les 3 nuages*

Nous constaterons que ces densités de points très différentes n'influent pas sur les calculs de volume.

## 4 Calcul des volumes

### 4.1 Calcul du volume pour les nuages MicMac, Pix4D et MetaShape

L'objectif premier de la photogrammétrie est d'effectuer des mesures sur les objets photographiés. Ici le calcul concerne le volume du tas de granulats. Nous comparerons ensuite les résultats obtenus à partir des 3 nuages,

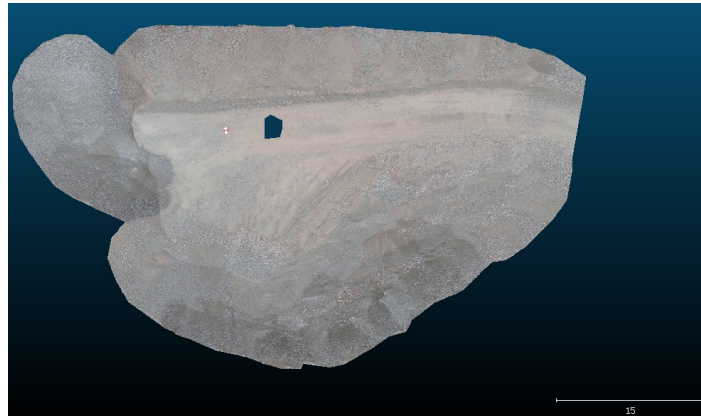
Afin d'effectuer la comparaison sur des bases identiques nous avons délimité les 3 nuages suivant le même contour extérieur et nous avons supprimé la même zone centrale comportant des artefacts sur les 3 nuages de points.

Nous avons construit des MNT au pas de 5 cm, puis calculé les volumes avec l'interface CEREMA, AperoDeDenis.

---

<sup>6</sup> Le terme « pixels » est ici utilisé par commodité dans le sens « point du nuage ». Dans les nuages que nous étudions les points sont généralement alignés suivant une maille carrée, très proche de ce que seraient les pixels d'une photo ou d'un MNT.





*Figure 8: La zone du calcul des volumes (nuage MetaShape)*

Les résultats sont dans le tableau suivant

Logiciel	Altitude de base	Surface effective m <sup>2</sup>	Volume m <sup>3</sup>	Altitude moyenne en m
MicMac	11,47	1568	4276	2.73
Pix4D	11,47	1570	4252	2,71
MetaShape	11,47	1565	4294	2,74

*Tableau 2: Les volumes et les altitudes moyennes, calculés pour les 3 nuages.*

L'altitude de base est l'altitude de la cible N°1, altitude la plus faible parmi les 5 cibles, correspondant au terrain naturel.

Les surfaces ne tiennent pas compte des pentes : il s'agit de la somme des surfaces de chaque pixel, supposé horizontal. Les surfaces ne sont pas strictement égales car certaines zones, au pas de 5 cm, ne sont pas couvertes par les MNT issus de chaque nuage.

L'écart maximum entre les volumes, Pix4D et MetaShape est de 41 m<sup>3</sup>, soit moins de 1 % du volume global.

L'écart maximum en altitude moyenne est de 3 cm soit aussi 1 % de l'altitude moyenne.

Ces calculs de volume ne sont pas comparables à une référence connue : le volume exact des granulats est inconnu. L'altitude calculée sur les points cibles est par contre connue, ce qui permet d'évaluer la qualité des résultats obtenus.

## 4.2 Comparaison des MNT MicMac et Pix4D

La comparaison de 2 MNT effectuée par AperoDeDenis fournit des informations plus détaillées que la simple comparaison des valeurs des volumes. Par exemple :

- % de la surface où les altitudes calculées sont égales (ici avec une tolérance, modifiable, de 1 cm)
- volume positif, là où le premier MNT est supérieur au second, volume négatif
- écarts maximum (positif et négatif) entre les valeurs d'altitudes, et position de ces écarts
- écart moyen, en cm
- écart entre les volumes calculés, avec et sans la tolérance.

Cette comparaison est utile en cas de suivi temporel d'une même zone.

Ci-dessous le résultat de la comparaison entre les MNT MicMac et Pix4D.

La grande proximité des résultats obtenus par les 2 logiciels est mise en évidence.

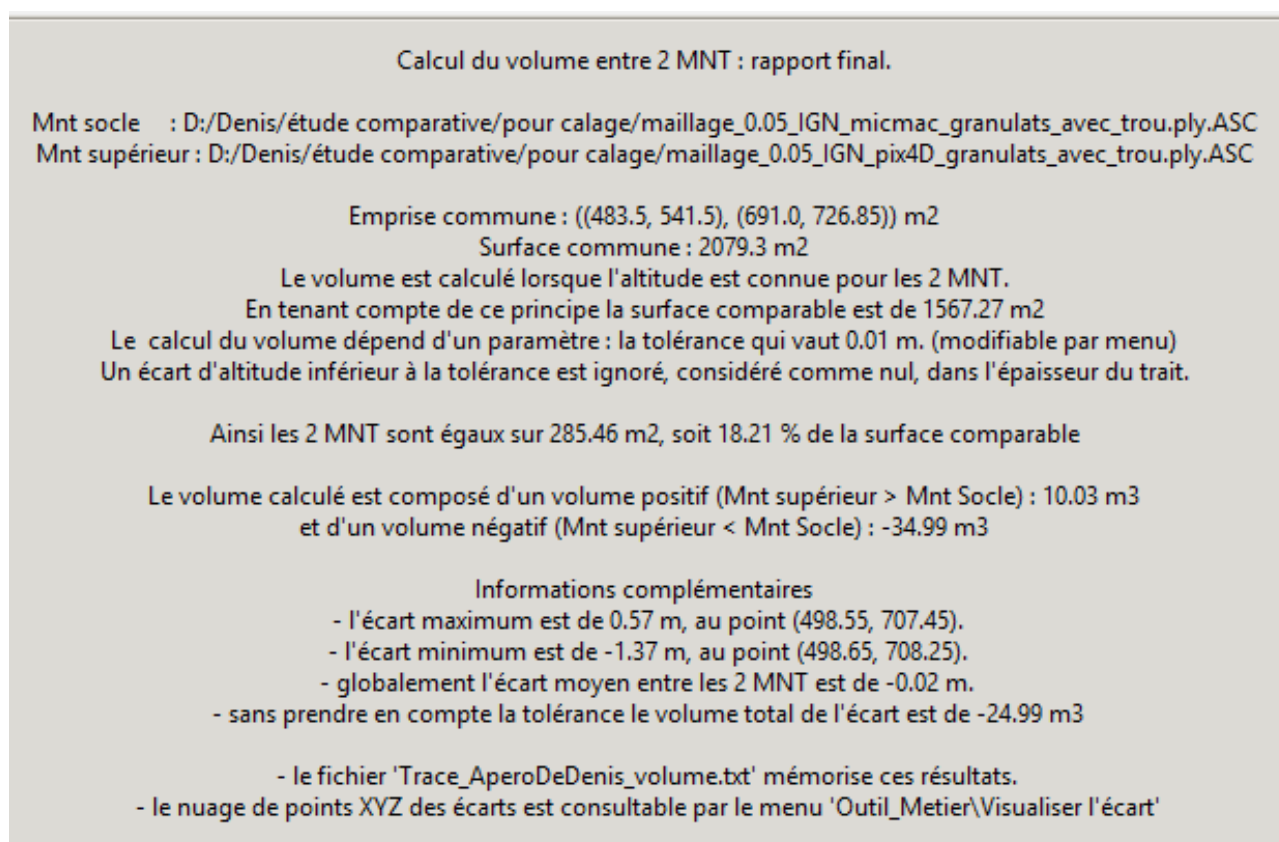


Figure 9: Comparaison des volumes calculés sur les nuages MicMac et Pix4D



Un MNT des écarts est aussi généré. Il montre une grande platitude :

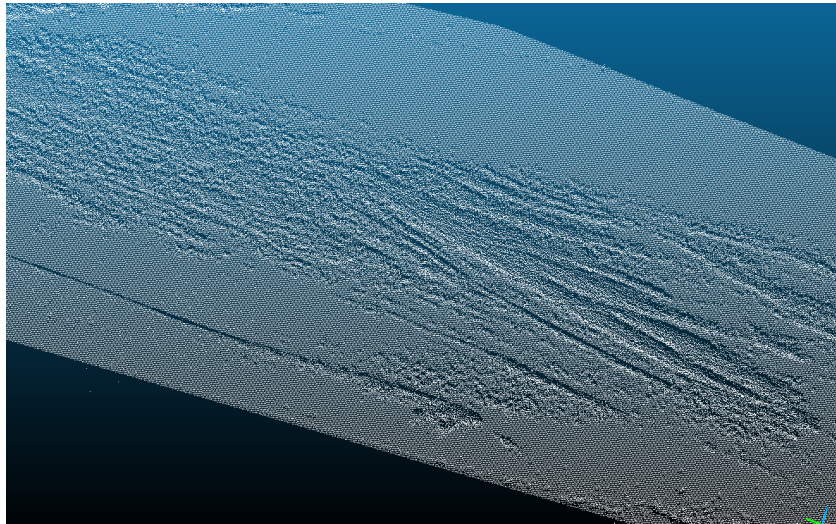


Figure 10: Visualisation du MNT des écarts entre les MNT MicMac et Pix4D.

L'histogramme des valeurs des écarts entre les nuages MicMac et Pix4D s'étend de -137 cm à +57 cm, et présente un pic entre -6cm et +4 cm

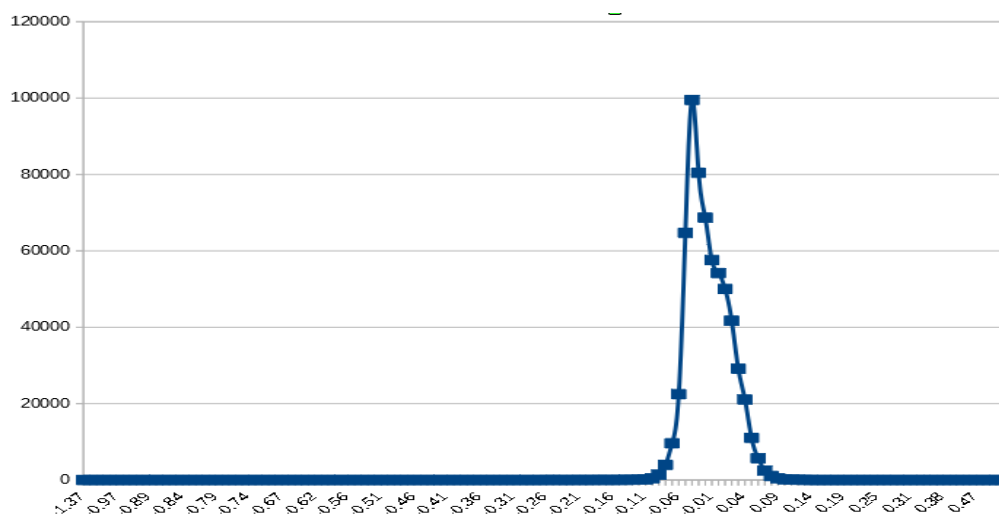


Figure 11: Histogramme des écarts d'altitude entre les nuages MicMac et Pix4D

La moyenne des écarts est de -1,6 cm, l'écart type est de 3,3 cm, l'écart modal est de -4 cm, il est présent 99 511 fois.

Les valeurs centrales de l'histogramme, avec les écarts entre -10cm et +10cm, représente 99,8 % des écarts. la valeur modale, présente 98 000 fois, est de -4 cm

## 5 Calcul des altitudes aux points cibles

Les coordonnées des cibles ont été saisies et positionnées sur les photos.

Les nuages de points sont géolocalisés dans le référentiel EPSG<sup>7</sup> 2975.

Pour évaluer la qualité du calcul photogrammétrique nous devons définir une méthode permettant de comparer la réalité terrain avec le résultat du calcul.

Nous utiliserons la méthode suivante :

- Pour chaque cible nous recherchons dans le nuage les 4 points entourant les coordonnées X,Y de la cible. Puis en extraire les 4 valeurs des Z et, par une interpolation barycentrique sur les X et les Y nous calculons l'altitude à l'endroit exact de la cible.
- Nous pouvons ensuite calculer l'écart entre l'altitude de la cible, connue, et la valeur calculée.
- Nous calculons ensuite l'écart type<sup>8</sup> des 5 écarts sur les 5 cibles, ce qui indique la dispersion des valeurs trouvées par rapport à l'altitude terrain.
- Nous calculerons aussi la moyenne des écarts. Dans le contexte de l'étude cette moyenne est très intéressante car elle conditionne le calcul des volumes : si la moyenne des écarts est nulle alors le calcul des volumes est exact. Voir la démonstration en annexe.
- Enfin nous retiendrons aussi l'écart maximum constaté pour l'altitude d'une cible.

Nous allons effectuer ces calculs sur les 5 cibles des 3 nuages. Nous pourrions alors comparer les résultats obtenus par les 3 logiciels.

---

<sup>7</sup> Voir glossaire et annexes/sigles

<sup>8</sup> Le calcul de l'écart type est fait sur la population totale et non sur un échantillon. En toute rigueur la population est petite pour calculer l'écart type d'un échantillon, mais sur une population il est un bon indicateur de dispersion de la valeur étudiée.

## 5.1 Les tableaux des écarts : altitude calculée – altitude terrain

### 5.1.1 Les écarts Micmac

Les écarts d'altitude sur les 5 cibles pour MicMac					
Cible	X	Y	Z cible en m	Z du nuage micmac au point X,Y	Delta Z micmac en mm
S1	537.828	705.900	11,470	11,478	+8
S2	537.105	724.760	11,780	11,780	0
S3	486.247	725.280	11,765	11,764	-1
S4	492.548	704.590	11,755	11.744	-11
S5	505.413	716.670	15,219	15,233	+14

Tableau 3: MicMac : écarts entre l'altitude calculée des cibles et le terrain

Écart type des altitudes sur les 5 cibles pour MicMac : 8 mm

Moyenne des écarts sur les 5 cibles pour MicMac : 2 mm

### 5.1.2 Les écarts Pix4D

Les écarts d'altitude sur les 5 cibles pour Pix4D					
Cible	X	Y	Z cible en m	Z du nuage Pix4D au point X,Y	Delta Z Pix4D en mm
S1	537.828	705.900	11,470	11,438	+32
S2	537.105	724.760	11,780	11,777	-3
S3	486.247	725.280	11,765	11,785	+20
S4	492.548	704.590	11,755	11,766	+11
S5	505.413	716.670	15,219	15,185	-34

Tableau 4: Pix4D : écarts entre l'altitude calculée des cibles et le terrain

Écart type des altitudes sur les 5 cibles pour Pix4D: 23 mm

Moyenne des écarts sur les 5 cibles pour Pix4D: 5 mm

### 5.1.3 Les écarts MetaShape

Les écarts d'altitude sur les 5 cibles pour MetaShape					
Cible	X	Y	Z cible en m	Z du nuage MetaShape au point X,Y	Delta Z micmac en mm
<b>S1</b>	537.828	705.900	11,470	11,483	+13
<b>S2</b>	537.105	724.760	11,780	11,774	-6
<b>S3</b>	486.247	725.280	11,765	11,774	+9
<b>S4</b>	492.548	704.590	11,755	11.746	-9
<b>S5</b>	505.413	716.670	15,219	15,231	+12

Tableau 5: MetaShape : écarts entre l'altitude calculée des cibles et le terrain

Écart type des altitudes sur les 5 cibles pour MetaShape : 9 mm

Moyenne des écarts sur les 5 cibles pour MetaShape : 4 mm

## 5.2 Tableau de synthèse des écarts

Les écarts d'altitude sur les 5 cibles (en mm)			
Cible	Delta Z micmac	Delta Z Pix4D	Delta Z MetaShape
<b>S1</b>	+8	+32	+13
<b>S2</b>	0	-3	-6
<b>S3</b>	-1	+20	+9
<b>S4</b>	-11	+11	-9
<b>S5</b>	+14	-34	+12

Tableau 6: Synthèse des écarts d'altitude pour les 3 logiciels

Nous remarquons que la cible S2, en bas à gauche sur les photos, est celle qui présente les plus petits écarts pour les 3 logiciels : 0, -3 et -6. La cible S2 est probablement prise comme « pivot » pour le calcul des altitudes.

Analyse des écarts sur les altitudes pour les 5 cibles (en mm)			
	Écart type	Moyenne des écarts	Écart maximum
<b>MicMac</b>	8	2	+14
<b>MetaShape</b>	9	4	+13
<b>Pix4D</b>	25	5	-34

Tableau 7: Statistiques sur les écarts d'altitudes des cibles

Globalement la qualité des résultats est très satisfaisante : les valeurs ci-dessus sont en millimètres et concernent une zone de la taille d'un terrain de football.

MetaShape et Micmac obtiennent des résultats très proches sur l'écart type et l'écart maximum, meilleurs que Pix4D.

MicMac obtient la meilleure moyenne des écarts.

## 6 Stratégie et calcul en zone difficile

### 6.1 Zoom sur la cible 5 et ses difficultés

La cible 5 est située sur le tas de granulats, elle est la seule à présenter une altitude élevée (15 m) par rapport aux autres cibles (11 m) : le calcul de son altitude est celle qui présente les écarts les plus forts pour 2 logiciels sur 3.



Figure 12: Cible 5 sur la photo dji\_0013

La cible est au centre d'un carré rouge et blanc de 60 pixels de côté, soit 51 cm sur le terrain.

1. Les 2 carrés blancs sont réfléchissants et leurs pixels sont largement saturés sur une partie importante de leur surface avec une luminosité RVB de 255 255 255. « Objectivement » il s'agit d'une absence d'information : aucune altitude ne peut être déduite dans une telle situation.
2. Remarquons que seule la couleur blanche peut conduire à une telle perte d'information : toute autre couleur évite cette situation<sup>9</sup>. Le blanc résulte de la saturation simultanée des 3 couleurs RVB. Lorsque les 3 couleurs d'un photosite sont saturées le capteur ne peut plus mémoriser les petites variations d'intensités lumineuses qui existent cependant. Lorsque seule une couleur, par exemple le rouge, est saturé, les photosites peuvent enregistrer des variations dans le vert et le bleu. De plus les logiciels de photogrammétrie utilisent plutôt la luminosité<sup>10</sup> que la couleur, ce qui réduit encore les variations disponibles pour les calculs.

<sup>9</sup> Remarque pertinente d'Erick Alliot (LRR/Cerema NC)

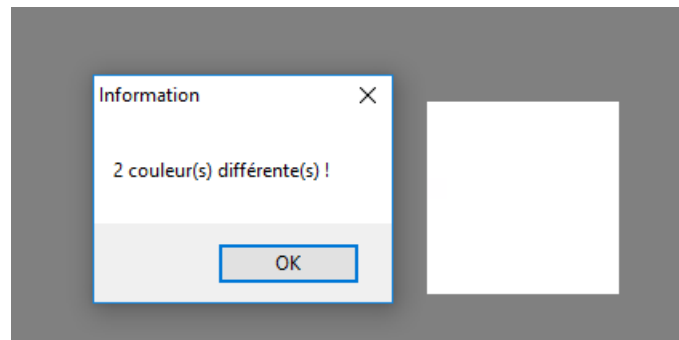
<sup>10</sup> Voir glossaire



Pour illustrer cette situation nous avons extrait 2 surfaces de 10 x10 pixels dans les zones blanche et rouges de la cible N°5. Nous avons recherché le nombre de couleurs différentes, c'est à dire de valeurs RVB, présentes dans chaque zone de 100 pixels :

- 2 pour la zone blanche
- 33 pour la zone rouge.

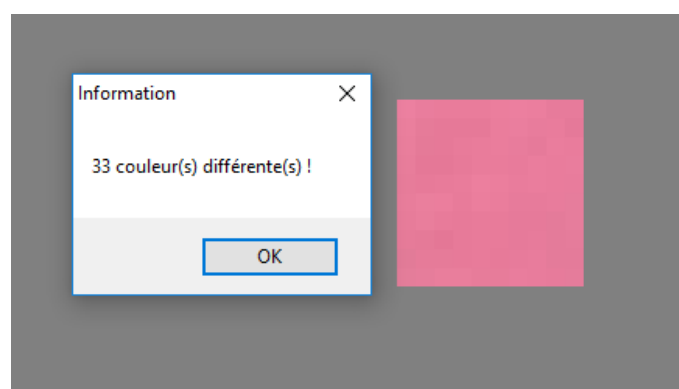
Nous avons aussi recherché les luminosités correspondantes.



*Figure 13: Cible 5 : carré blanc de 10\*10.*

*2 couleurs, une seule luminosité : 255.*

Le carré blanc ne propose que 2 couleurs et une seule valeur de luminosité : 255, aucune information ne peut être exploitée par un logiciel utilisant la luminosité.

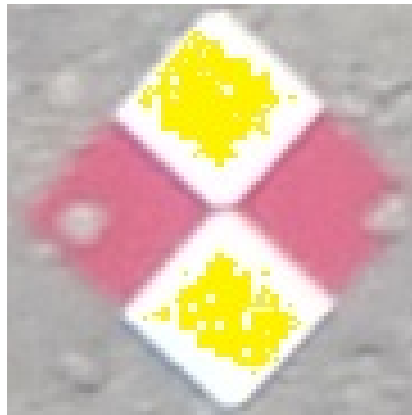


*Figure 14: Cible 5 : carré rouge de 10\*10.*

*33 couleurs, 9 Luminosités de 174 à 182.*

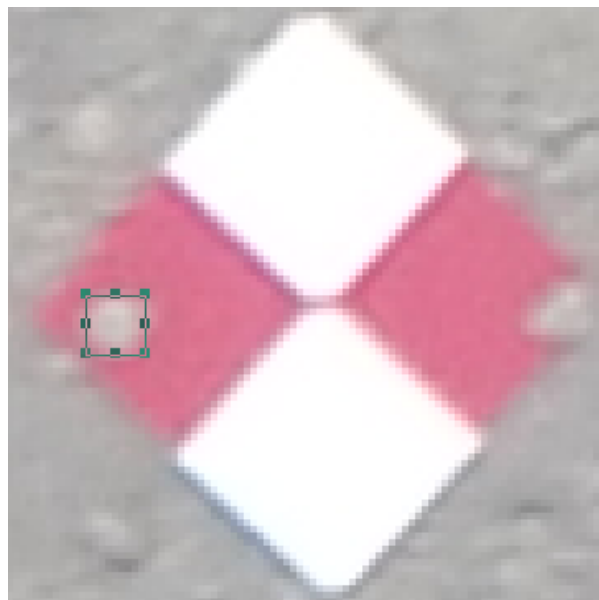
Le carré rouge propose 33 couleurs différentes et 9 valeurs de luminosité de 174 à 182 : il s'agit là d'une information exploitable par un logiciel.

3. La surface couverte par les zones surexposées est de 836 pixels, soit 6 dm<sup>2</sup>. Les 2 zones blanches couvrant 15 dm<sup>2</sup> il y a 40 % de leur surface qui est inexploitable sur la photo 13. Ce phénomène se reproduit au même endroit sur les autres photos de la cible.



*Figure 15: Cible 5 photo 13 :  
les zones blanches  
surexposées sont en jaune*

4. La cible est le centre d'une pièce plane maintenue au sol par 2 pierres qui forment des soulèvements aux 2 extrémités des carrés rouges. La surface occupée par chaque pierre est inférieure à 1 dm<sup>2</sup>. Leur hauteur est de l'ordre de quelques cm, certainement inférieure à leur largeur. Il s'agit d'une petite perturbation locale que les logiciels doivent appréhender.

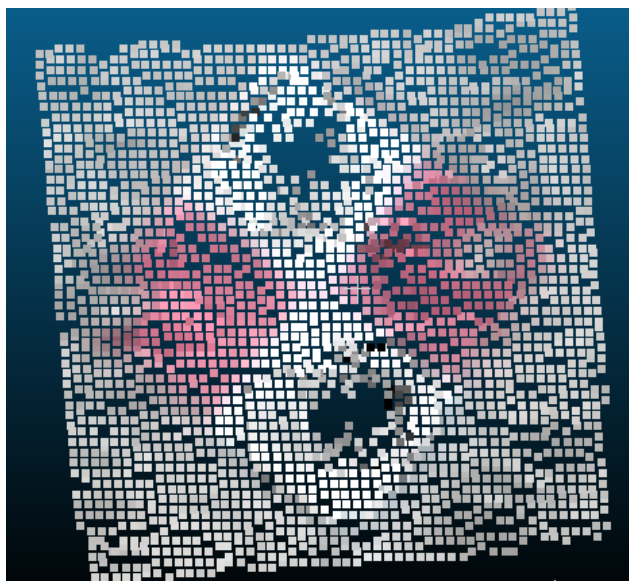


*Figure 16: La pierre de gauche dans un  
carré de 9x9 pixels, soit environ 8x8 cm*

La cible numéro 5 est donc particulièrement mouvementée et difficile pour un algorithme de photogrammétrie.

## 6.2 La cible 5 vue par MicMac

### 6.2.1 MicMac : Prise en compte de la surexposition



*Figure 17: Cible 5 vue par MicMac*

La cible 5 vue par Micmac présente des lacunes sur la partie blanche. Ces lacunes sont situées sur la partie surexposée des photos. Elles correspondent à l'intersection des zones surexposées des photos. Micmac prend correctement en compte l'absence d'informations correspondant à cette situation et ne cherche pas à combler ce vide. Il « manque » environ 50 pixels en haut et 40 en bas. Soit environ 15 % des 600 pixels des zones blanches.

## 6.2.2 MicMac : Prise en compte d'une petite perturbation locale

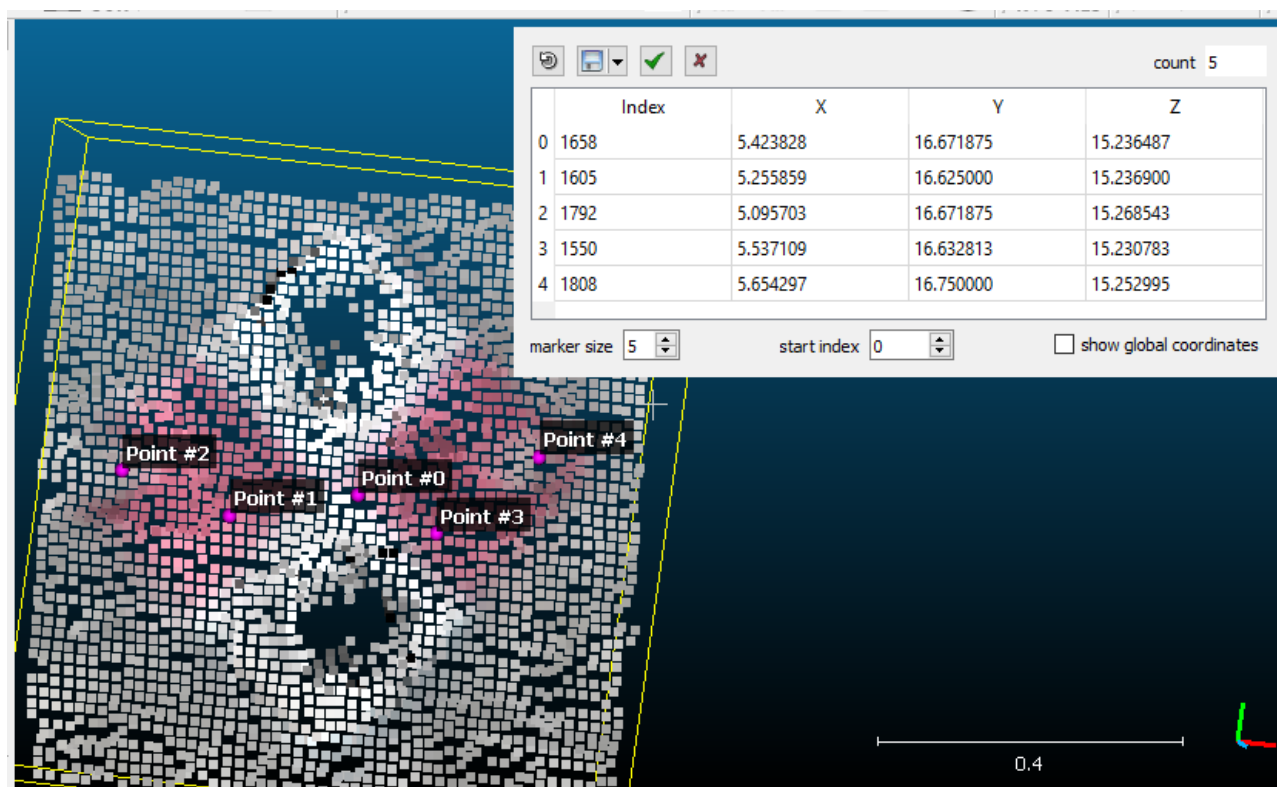


Figure 18: Cible 5 vue par MicMac avec points côtés par Cloud Compare.

L'altitude moyenne des 3 points sur la cible (points #0 proche du centre de la cible, points #1 et #3 sur la partie rouge de la cible ) est de 15,235 m.

L'altitude moyenne des 2 points (points #2 et #4) sur les 2 pierres est de 15,256 m.

La hauteur des pierres est estimée par MicMac à 31 mm.

MicMac a bien détecté la présence d'une variation d'altitude de l'ordre de quelques cm en surface comme en hauteur.

## 6.3 La cible 5 vue par Pix4D

### 6.3.1 Pix4D : Prise en compte de la surexposition



*Figure 19: Cible 5 vue par Pix4D*

Le nuage, très régulier au-dehors de la cible, devient irrégulier sur la cible et notamment au centre des zones blanches. Cependant il n'y a pas de lacune nettement perceptible ni de pixels « manquants ». Pix4D comble le vide informationnel en extrapolant à partir des valeurs proches.

### 6.3.2 Pix4D : Prise en compte d'une petite perturbation locale



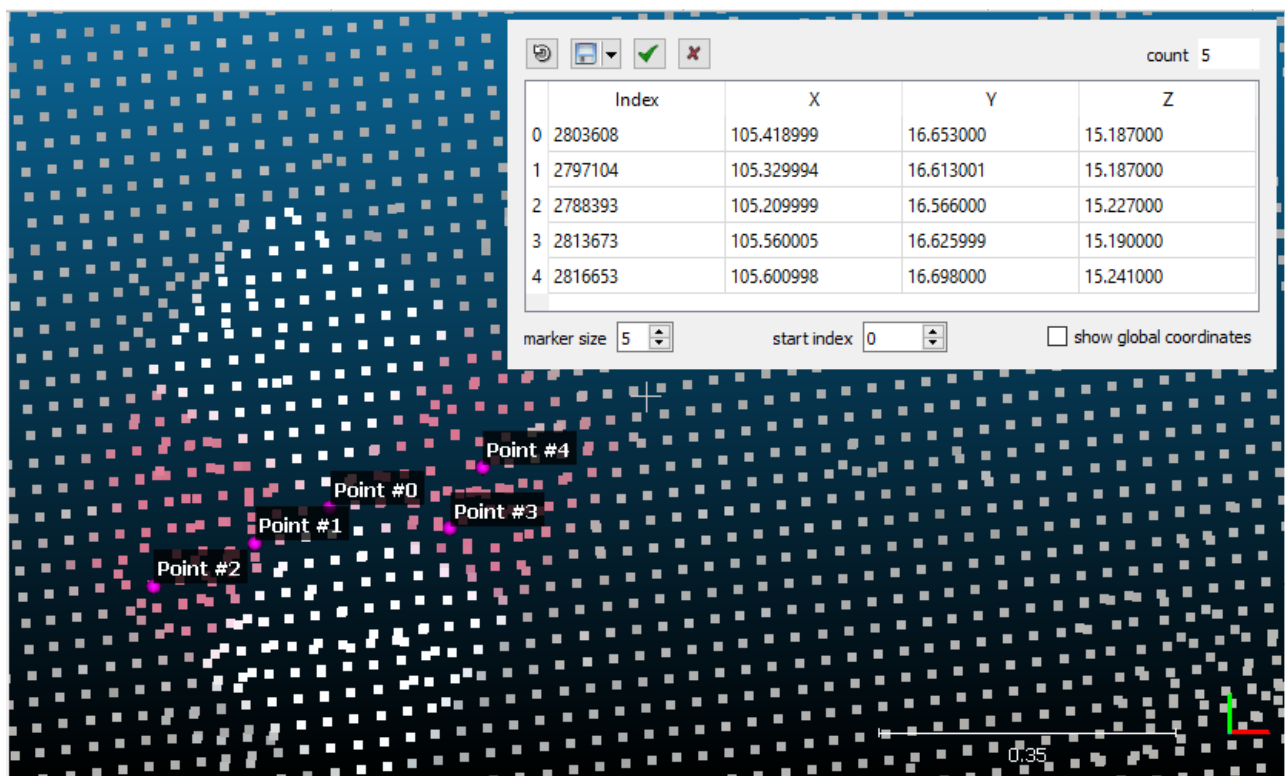


Figure 20: Cible 5 vue par Pix4D avec points côtés par Cloud Compare.

L'altitude moyenne des 3 points sur la cible (points #0 proche du centre de la cible, points #1 et #3 sur la partie rouge de la cible ) est de 15,188 m.

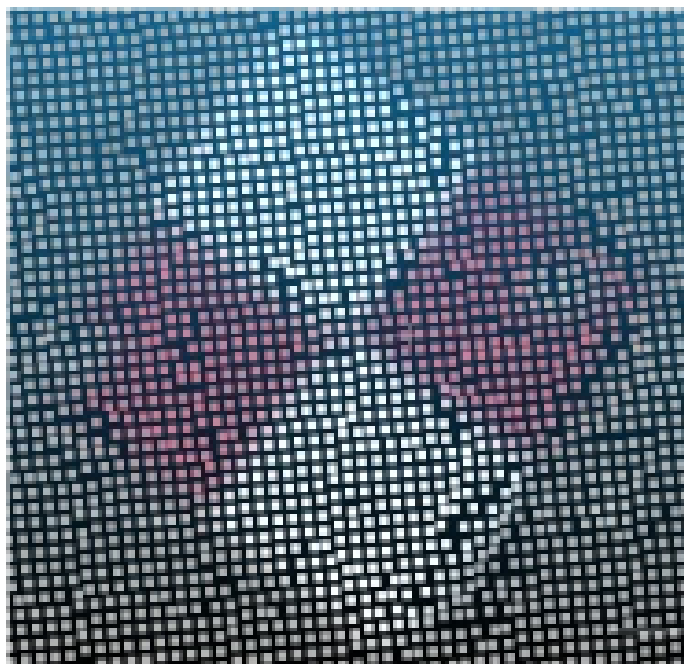
L'altitude moyenne des 2 points (#2 et #4) sur les 2 pierres est de 15,234 m.

La hauteur des pierres est estimée par Pix4D à 36 mm.

Pix4D a bien détecté la présence d'une variation d'altitude de l'ordre de quelques cm en surface comme en hauteur.

## 6.4 La cible 5 vue par MetaShape

### 6.4.1 MetaShape : Prise en compte de la surexposition



*Figure 21: Cible 5 vue par MetaShape*

Sur le nuage MetaShape les zones surexposées ne se laissent pas percevoir.

Le nuage, régulier au-dehors de la cible, reste parfaitement régulier au centre des zones blanches, là où le défaut d'information est pourtant flagrant. Il n'y a pas de lacune perceptible ni de pixels « manquants ». MetaShape comble le vide informationnel en extrapolant à partir des valeurs proches. Le nuage devient irrégulier au bord bas droite de la cible, sans raison évidente.

## 6.4.2 MetaShape : Prise en compte d'une petite perturbation locale

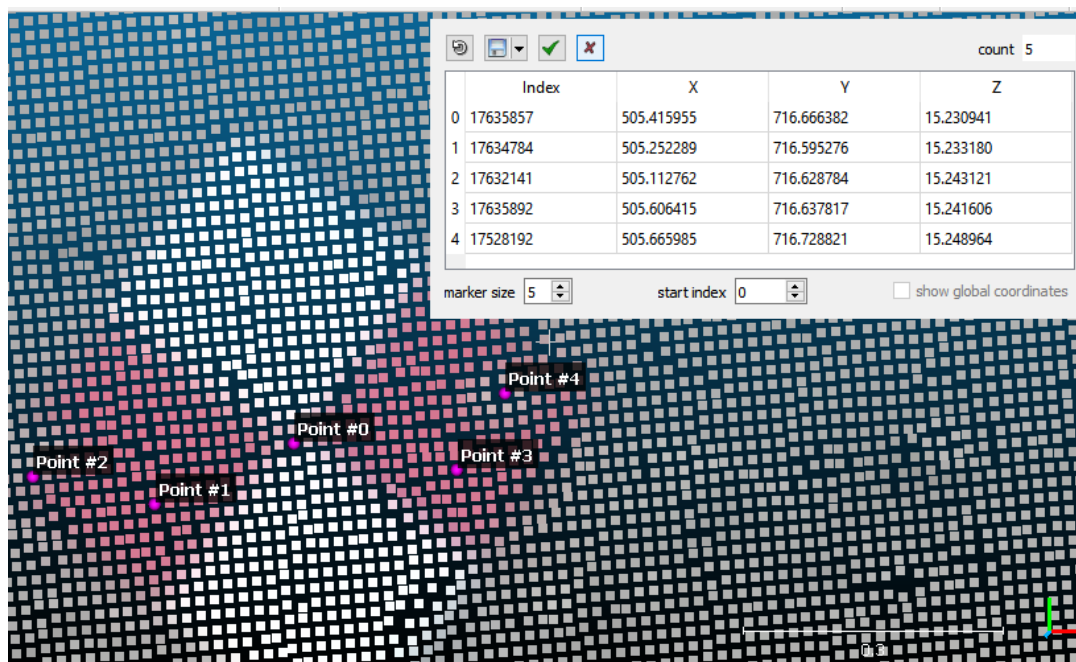


Figure 22: Cible 5 vue par MetaShape avec points côtés par Cloud Compare.

L'altitude moyenne des 3 points sur la cible (points #0 proche du centre de la cible, points #1 et #3 sur la partie rouge de la cible ) est de 15,235 m.

L'altitude moyenne des 2 points (#2 et #4) sur les 2 pierres est de 15,246 m.

La hauteur des pierres est estimée par MetaShape à 11 mm.

MetaShape a bien détecté la présence d'une variation d'altitude de l'ordre de quelques cm<sup>2</sup> en surface et de quelques mm en hauteur.

Cette variation est plus faible que celles trouvées par Pix4D et MicMac.

## 6.5 Synthèse sur la prise en compte des difficultés

	Absence d'information (zone surexposée)	Hauteur estimée des pierres (en mm)	Perturbation locale
<b>MicMac</b>	Prise en compte	31	Correctement appréhendée
<b>Pix4D</b>	Petite absence comblée par approximation	36	Correctement appréhendée
<b>MetaShape</b>	Comblée par approximation	11	Sous-estimée

Tableau 8: les 3 stratégies pour la prise en compte des difficultés

MicMac prend en compte correctement les 2 difficultés rencontrées. Du fait de sa grande précision et de sa stratégie de respecter au mieux la donnée en entrée.

MicMac appréhende correctement la petite perturbation locale due aux pierres.

Pix4D comble l'absence d'information due à la surexposition en approximant un résultat plutôt que de laisser une lacune dans le nuage résultat.

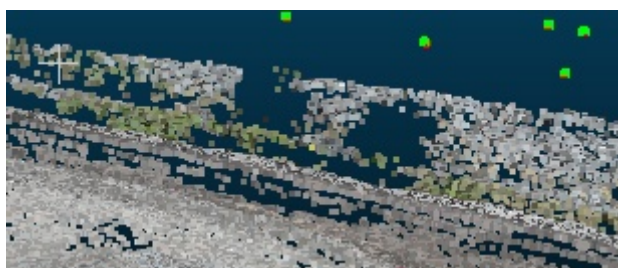
Pix4D appréhende correctement la petite perturbation locale due aux pierres.

MetaShape comble, par défaut, l'absence d'information due à la surexposition en approximant un résultat plutôt que de laisser une lacune dans le nuage résultat.

MetaShape appréhende la petite perturbation locale due aux pierres mais la sous-estime, le résultat obtenu semblant peu réaliste.

## 6.6 Et lorsque l'absence de donnée est importante...

Le nuage non dense de MicMac, figure 6, présente des lacunes importantes<sup>11</sup> sur le bord supérieur, délimitant des zones sans points homologues. L'absence de texture fait échouer à la fois la détection de points homologues par SIFT<sup>12</sup>, et la corrélation d'image lors de la densification.



*Figure 23: Zoom sur les lacunes du nuage non dense de MicMac*

Face à cette situation les stratégies des 3 logiciels se visualisent nettement sur leur nuage dense : MicMac respecte l'absence de donnée, Pix4D extrapole un peu sur l'absence de données. Par défaut MetaShape comble tous les 'trous'. MetaShape propose une option qui, sous contrôle de l'utilisateur, permet de supprimer les points qui présente une forte incertitude de positionnement.

---

<sup>11</sup> L'absence d'une photo dans le plan de vol peut expliquer cette situation.

<sup>12</sup> Voir glossaire

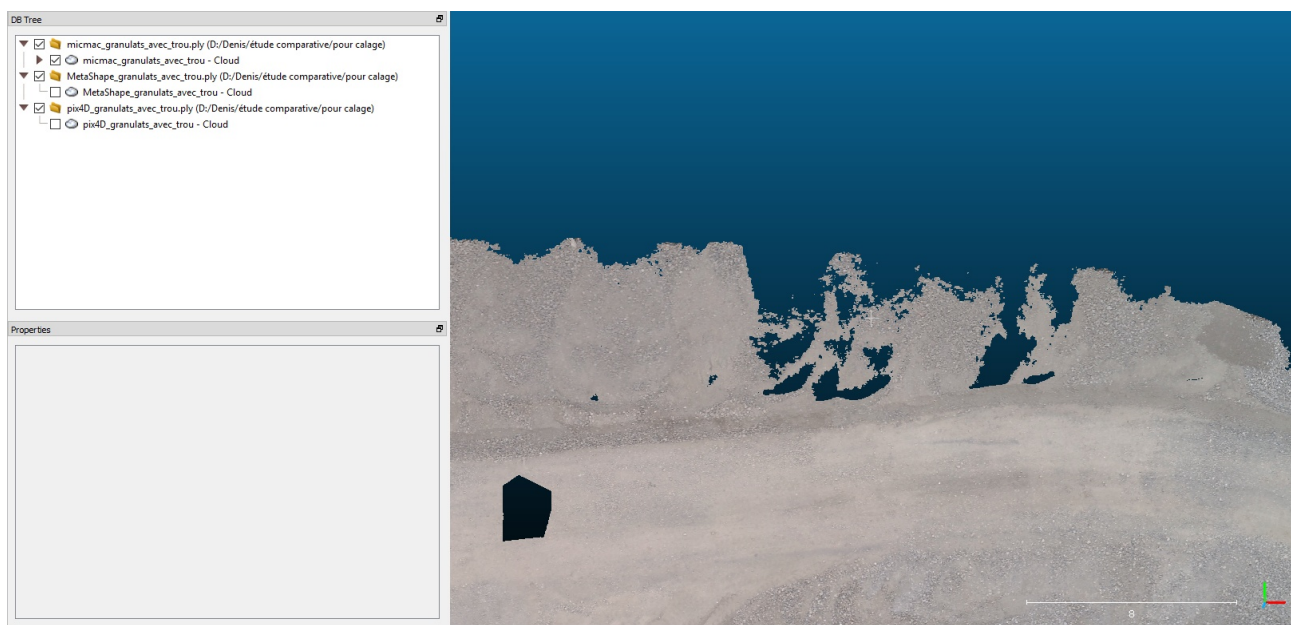


Figure 24: MICMAC : zone sous représentée, respectée

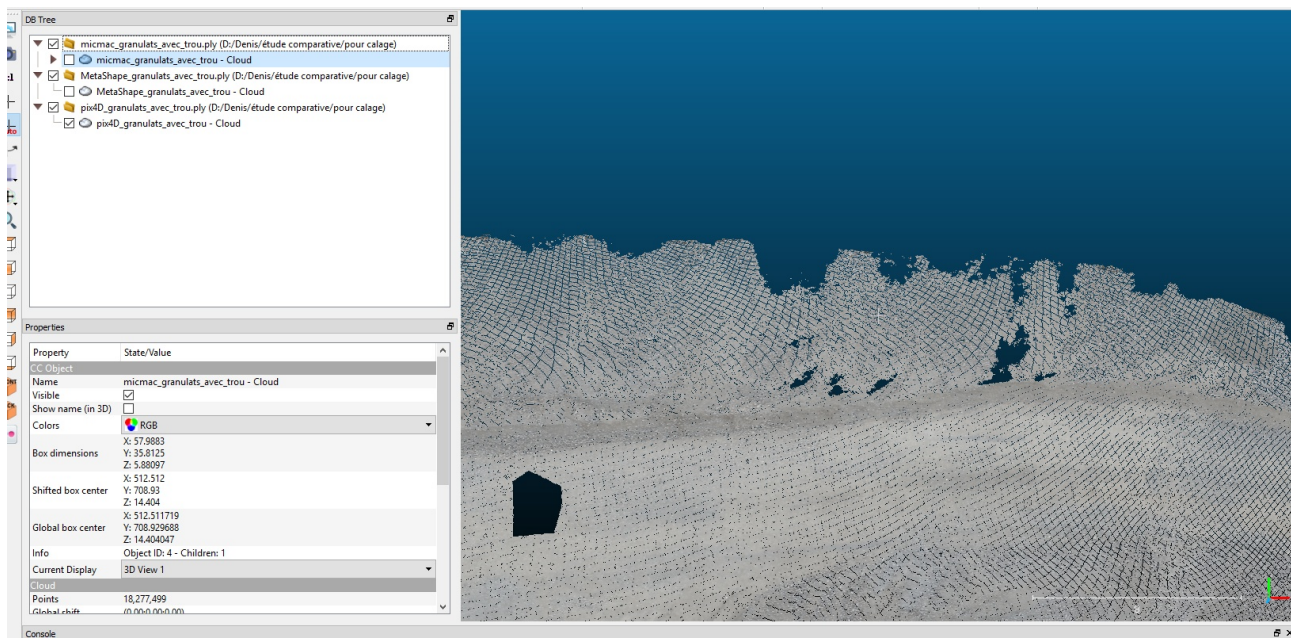
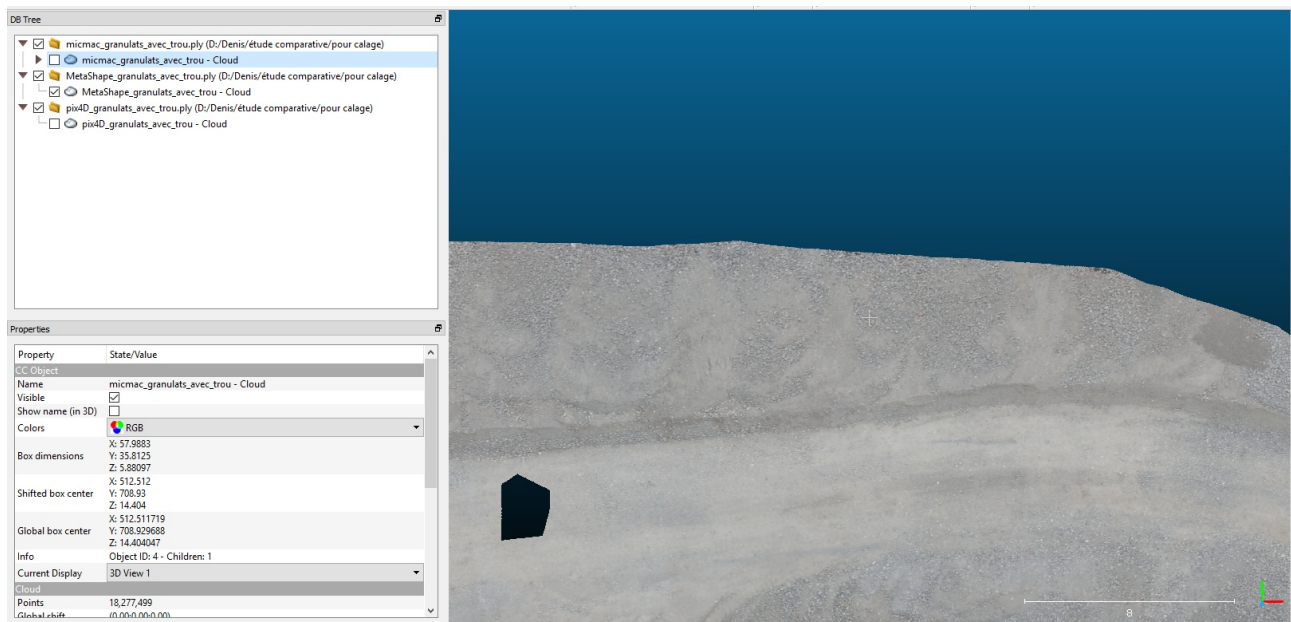


Figure 25: Pix4D : zone sous représentée, en partie comblée





*Figure 26: MetaShape : zone sous-représentée, entièrement comblée par approximation*

## 7 Conclusion

La taille des mailles des nuages utilisés dans cette étude varie fortement, de 1 cm pour MicMac, 3 cm, pour MetaShape et 10 cm pour Pix4D.

Cependant les nuages de points générés par les 3 logiciels permettent de calculer des volumes très proches, avec moins de 1 % d'écart. Bien qu'on ne puisse valider ces calculs de volume par comparaison avec un volume connu ils paraissent corrects.

Le calcul des altitudes sur les 5 cibles permet de comparer les valeurs « terrain » et les valeurs calculées, et donc d'évaluer la qualité des algorithmes utilisés. MicMac présente les meilleurs résultats, avec le minimum d'écart entre le calcul et le terrain. MetaShape obtient des résultats presque équivalents à MicMac. Pix4D obtient des résultats un peu plus fluctuants.

La petite perturbation liée aux pierres présentes sur la cible 5 est correctement prise en compte par MicMac et Pix4D. MetaShape la sous-estime.

MicMac respecte le défaut d'information due à la zone surexposée en laissant des lacunes dans le nuage final. MicMac est aussi le logiciel qui respecte le plus la donnée lorsque l'information est largement lacunaire. Pix4D extrapole localement la donnée manquante. MetaShape s'autorise, par défaut, des approximations dans des zones où l'information est insuffisante. MetaShape offre cependant la possibilité à l'utilisateur de supprimer les pixels ayant une forte incertitude de positionnement. L'usage de cette option est sous la responsabilité de l'utilisateur.

	Taille de la maille du nuage utilisé	Calculs en zone facile	perturbation locale	Stratégie en absence de donnée
<b>MicMac</b>	1 cm	Le meilleur	Bien prise en compte	Respecte la donnée
<b>Pix4D</b>	3 cm	bon	Bien prise en compte	Extrapolé localement la donnée brute
<b>MetaShape</b>	1,7 cm	Le meilleur	sous-estimée	Extrapolé largement la donnée brute (par défaut)

Tableau 9: Synthèse et conclusion

### 7.1 Bilan

Pour un résultat précis et rigoureux, au plus proche de la donnée 'photos', utiliser MicMac.

Pour un résultat facile à exploiter, sans lacunes ; utiliser MetaShape.

Pix4D respecte globalement la donnée, et effectue des calculs corrects.

Bien que présentant une taille de maille moins fine<sup>13</sup> que MetaShape, Pix4D détecte mieux les petites perturbations locales.

---

<sup>13</sup> Avec le jeu de données utilisée dans cette étude, qui n'est pas l'optimum de l'outil.

## 8 Glossaire et annexes

### 8.1 Photogrammétrie

- **Photogrammétrie** : technique qui consiste à exploiter plusieurs photographies d'une même scène pour en extraire un modèle en 3 dimensions sous forme de nuages de points référencés dans l'espace.
- **Luminosité d'un pixel** : valeur **moyenne pondérée** des niveaux de Rouge, Vert et Bleu du pixel. Les coefficients de pondération varient suivant la méthode de calcul. Il peut s'agir de la moyenne simple, de la moyenne entre la plus haute et la plus basse valeur, de coefficients simulant la sensibilité de l'œil humain.
- **Nuage de points** : ensemble de points positionnés dans un repère XYZ. Le repère est doté d'une métrique dont l'unité peut référer au terrain (par exemple le mètre) et d'un référentiel qui peut être local ou géo-référencé, c'est-à-dire positionné sur la surface du globe terrestre.
- **Nuage non dense** : l'exploitation des points homologues permet de positionner les appareils photos dans un espace en 3 dimensions. Puis de positionner chaque point homologue dans cet espace pour obtenir le « nuage non dense ».
- **Nuage dense** : lorsque le nuage non dense est généré la photogrammétrie procède à la densification de ce nuage par référencement des points remarquables mais non homologues présents sur les photos. Ce nuage représente le produit final de la photogrammétrie.
- **nuage de points 3D** : chaque point est défini par ses coordonnées X, Y, Z et chaque coordonnée X,Y,Z peut définir un point. Cette expression est à rapprocher du nuage de points 2D et demi.
- **nuage de points 2.5 D** : pour chaque valeur de X, Y il n'y a qu'une valeur de Z ; une orthophoto est en 2.5 D. Les nuages générés par un lot de photos prises par drone sont en fait des nuages de points 2.5 D.
- **Points homologues** : la photogrammétrie procède dans un premier temps à la détermination des points homologues présents sur au moins 2 photos. Un point homologue est la représentation sur 2 photos de la même partie du même objet. L'algorithme SIFT (Scale-Invariant Feature Transform, 1999) de D.G. Lowe trouve les points homologues sur 2 photos.
- **Modèle numérique de terrain (MNT)** : Un MNT est une représentation de la surface d'un terrain en 2.5 D : chaque point identifié par des coordonnées X et Y porte la valeur de l'altitude en ce point. Il s'agit de la représentation d'une surface globalement « plane », au moins sans surplombs. Un MNT consiste généralement en un maillage du terrain par une grille régulière à mailles carrées.
- **Raster** (anglais) ou **Maillées** (français) : se dit de données présentant une information à chaque intersection d'une grille carrée ou rectangulaire : les photos et les images numériques en sont l'exemple le plus courant. Les MNT sont des données maillées.

- **SIFT** : Algorithme (Scale-Invariant Feature Transform, 1999) de D.G. Lowe. L'algorithme, magique !, identifie les éléments similaires entre différentes images numériques. Il est à l'origine du développement de la photogrammétrie.

## 8.2 Statistique

- Écart type : mesure de la dispersion d'une série de nombres. Racine carrée de la variance. L'écart type est dans la même unité que les valeurs de la série.
- Variance : mesure de la dispersion d'une série de valeurs. C'est la moyenne des carrés des écarts à la moyenne. Formule donnant la variance pour une population complète :

### Population Variance

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \mu)^2}{N}$$

$\sigma^2$  = population variance

$x_i$  = value of  $i^{th}$  element

$\mu$  = population mean

$N$  = population size

## 8.3 Moyenne des écarts et calcul du volume.

Dans notre étude les nuages de points représentent un terrain. Pour chaque X,Y il y a au plus un point du nuage. Les points sont rapprochés et globalement alignés suivant une grille assez régulière à maille carrée. Il s'agit là d'une situation proche d'un MNT.

Pour un MNT le calcul du volume entre la cote zéro et le terrain est le suivant :

$$V = S_m * \sum z(X,Y)$$

- $V$  = Volume calculé à partir du MNT
- $S_m$  = surface d'une maille du MNT
- $z(X,Y)$  : altitude au centre de la maille X,Y
- $\sum$  : sommation sur l'ensemble des valeurs de  $z(X,Y)$

Soit  $N$  le nombre de maille du MNT et  $Moy$  la moyenne des  $z(X,Y)$  :

$$V = S_m * N * Moy$$

Soit  $S_t$  la surface totale du terrain  $S_m \times N$  :

$$V = S_t * Moy$$

Pour un nuage de points on utilisera  $S_p$  comme surface moyenne du « pixel » correspondant au point et  $z_c(X,Y)$  comme valeur calculée de l'altitude. Un volume approché,  $V_a$ , est donné par la formule :

$$V_a = S_p * \sum z_c(X,Y)$$

pour chaque  $z_c$  il y a un écart entre la valeur calculée et la réalité terrain  $z(X,Y)$ . Soit  $\delta(X,Y)$  cet écart :

$$z_c(X,Y) = z(X,Y) + \delta(X,Y)$$

d'où :

$$V_a = S_p \times \sum (z(X,Y) + \delta(X,Y))$$

$$V_a = S_p \times (\sum z(X,Y) + \sum \delta(X,Y))$$

Si la **moyenne des écarts est nulle** alors  $\sum \delta(X,Y) = 0$  et

$$V_a = S_p * \sum z(X,Y)$$

Soit  $N_p$  le nombre de points du nuage et Moy la moyenne des  $z(X,Y)$  :

$$V_a = S_p * N_p * Moy$$

Lorsque le MNT et le nuage couvrent le même territoire, la surface  $S_p \times N_p$  est approximativement égale à la surface du terrain  $S_t$ . En effet les recouvrements des mailles du MNT et du nuage n'étant pas exactes l'égalité est approchée :

$$V_a \approx S_t * Moy$$

$$V_a \approx V$$

Si la moyenne des écarts n'est pas nulle alors une l'erreur sur le volume correspond à la surface multipliée par la moyenne des écarts : une erreur moyenne de +2 cm sur le terrain ici étudié, 2000 m<sup>2</sup>, conduit à une erreur de volume de +40 m<sup>3</sup>.

## 8.4 Logiciels

- **AperoDeDenis** : interface graphique pour le logiciel MicMac de l'IGN, développé par le Cerema.
  - <https://github.com/micmacIGN/InterfaceCEREMA/tree/master/InterfaceCEREMA>
- **CloudCompare** : logiciel libre de visualisation/manipulation des nuages de points, édité par EDF.
  - <http://www.danielgm.net/cc/release/>
- **MetaShape** : logiciel de photogrammétrie propriété de la société russe AGISOFT LLC, anciennement appelé PhotoScan .
- **MicMac** : logiciel de photogrammétrie open source développé par l'IGN.
  - <https://micmac.ensg.eu/index.php/Install>

- **Pix4D** : logiciel de photogrammétrie, propriété de la société suisse Pix4D S.A.
- **PLY** : format de fichier utilisé pour enregistrer les nuages de points 3D

## 8.5 Sigles

- **CEREMA** : Centre d'étude et d'Expertise sur les Risques, l'Environnement, la Mobilité et l'Aménagement : établissement public à caractère administratif créé le 01/01/2014.
- **CEREMA/NC** : **CEREMA Normandie Centre**
- **LRR** : Laboratoire Régional de Rouen, département du CEREMA Normandie Centre
- **EPSG** : acronyme de « European Petroleum Survey Group ». Base de donnée mondiale sur les référentiels géographiques. Chaque référentiel porte un numéro.

## 9 Bibliographie

### 9.1 Photogrammetry with UAV's: Quality Assessment of Open-Source Software for Generation of Orthophotos and Digital Surface Models

Tiago MENDES<sup>1</sup>, Sofia HENRIQUES<sup>1</sup>, João CATALÃO<sup>1</sup>, Paula REDWEIK<sup>1</sup>e Gonçalo VIEIRA<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa

<sup>2</sup> Centro de Estudos Geográficos, IGOT, Universidade de Lisboa - Octobre 2015

### 9.2 325216490\_COMPARISONS\_OF\_THE\_THREE-DIMENSIONAL\_MODEL\_RECONSTRUCTED\_USING\_MICMAC\_PIX4D\_MAPPER\_AND\_PHOTOSCAN\_PRO

Conference Paper · October 2017

[Muhammad Irsyadi Firdaus](#)

- [National Cheng Kung University](#)
- <https://www.researchgate.net/publication/>

### 9.3 Photogrammétrie par drone sur les Mourres :

Rapport de projet (Marie BASTIEN, Anaïs EMPEREUR-BUISSON, Julie GROSMIRE, Typhaine JOUAN, Claude Adélaïde NLATE DZOU) (2018?)

### 9.4 Assessing the Accuracy of High Resolution Digital Surface Models Computed by PhotoScan ® and MicMac ® in Sub-Optimal Survey Conditions

Marion Jaud, Sophie Passot, Réjanne Le Bivic, Christophe Delacourt, Philippe Grandjean, et al..



Assessing the Accuracy of High Resolution Digital Surface Models Computed by PhotoScan ® and MicMac ® in Sub-Optimal Survey Conditions. Remote Sensing, MDPI, 2016, 8 (6), pp.465. 10.3390/rs8060465. hal-01518740  
Université de Brest – CNRS – CEREMA

