



HAL
open science

Initiation à la photogrammétrie avec MicMac

Maxime Seguin

► **To cite this version:**

Maxime Seguin. Initiation à la photogrammétrie avec MicMac. Foss4g-fr, May 2018, Champs-sur-Marne, France. <hal-01796683>

HAL Id: hal-01796683

<https://inrap.hal.science/hal-01796683v1>

Submitted on 21 May 2018

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.



HAL Authorization

Initiation à la photogrammétrie avec MicMac

FOSS4G^{fr}

Maxime SEGUIN

maxime.seguin@inrap.fr

15 mai 2018

1 Objectifs de l'atelier

Cet atelier propose de traiter une acquisition photogrammétrique avec le logiciel MicMac dans le but d'obtenir un nuage de points et une orthoimage géoréférencés, exploitables par la suite avec les logiciels CloudCompare et QGIS.

2 Aide et documentation

La documentation de MicMac¹ n'est pas forcément le point d'entrée le plus simple pour un utilisateur novice. On préférera les tutoriels sur wiki de l'ENSG : <http://micmac.ensg.eu>, le forum des utilisateurs <http://forum-micmac.forumprod.com> ou le site web communautaire Reddit <https://www.reddit.com/r/MicMac/>.

3 Installation de MicMac

Une version précompilée de MicMac est disponible sur GitHub : <https://github.com/micmacIGN/micmac/releases>. La version utilisée dans le cadre de cet atelier est la v1.0.beta13² du 15 mars 2018.

Quelques logiciels complémentaires doivent être également présents pour que MicMac fonctionne : Make³ pour l'exécution de tâches en parallèle, ImageMagick⁴ pour la conversion des images, ExifTool⁵ et Exiv2⁶ pour la lecture et l'écriture des métadonnées des images et PROJ⁷ pour la conversion des systèmes de coordonnées. Pour bénéficier des outils graphiques d'édition et d'aide à la saisie, il est nécessaire d'installer Qt5⁸.

```
sudo apt-get install make imagemagick libimage-exiftool-perl exiv2 proj-bin qt5-default
```

Il est recommandé d'ajouter le dossier d'installation de MicMac à la variable PATH :

```
echo 'export PATH=$PATH:/home/user/micmac' >> /home/user/.bashrc
source ~/.bashrc
```

4 Validation de l'installation

Une première étape consiste à vérifier que toutes les dépendances nécessaires au bon fonctionnement de MicMac sont présentes. Pour cela, il suffit de taper la commande suivante dans le terminal :

```
mm3d CheckDependencies
```

Le résultat suivant devrait apparaître à la suite :

1. <https://github.com/micmacIGN/Documentation/raw/master/DocMicMac.pdf>
2. https://github.com/micmacIGN/micmac/releases/download/v1.0.beta13/micmac_linux.tgz
3. <http://www.gnu.org/software/make>
4. <http://www.imagemagick.org>
5. <https://sno.phy.queensu.ca/~phil/exiftool>
6. <http://www.exiv2.org>
7. <https://proj4.org>
8. <https://www.qt.io>

```
git revision : v1.0.beta13-0-gace04f0

byte order  : little-endian
address size : 64 bits

micmac directory : [/home/micmac/micmac/]
auxiliary tools directory : [/home/micmac/micmac/binaire-aux/linux/]

--- Qt enabled : 5.5.1
    library path: [/usr/lib/x86_64-linux-gnu/qt5/plugins]

make: found (/usr/bin/make)
exiftool: found (/usr/local/bin/exiftool)
exiv2: found (/usr/bin/exiv2)
convert: found (/usr/bin/convert)
proj: found (/usr/bin/proj)
cs2cs: found (/usr/bin/cs2cs)
```

Ici, les utilitaires (make, exiftool, exiv2, convert, proj et cs2cs) nécessaires au bon fonctionnement sont présents.

5 Jeu de données

Le jeu de données est composé d'une série d'images acquises avec un drone à l'abbaye de Saint-Michel-de-Cuxa⁹. Les images ont été sous-échantillonnées pour diminuer le temps de calcul.

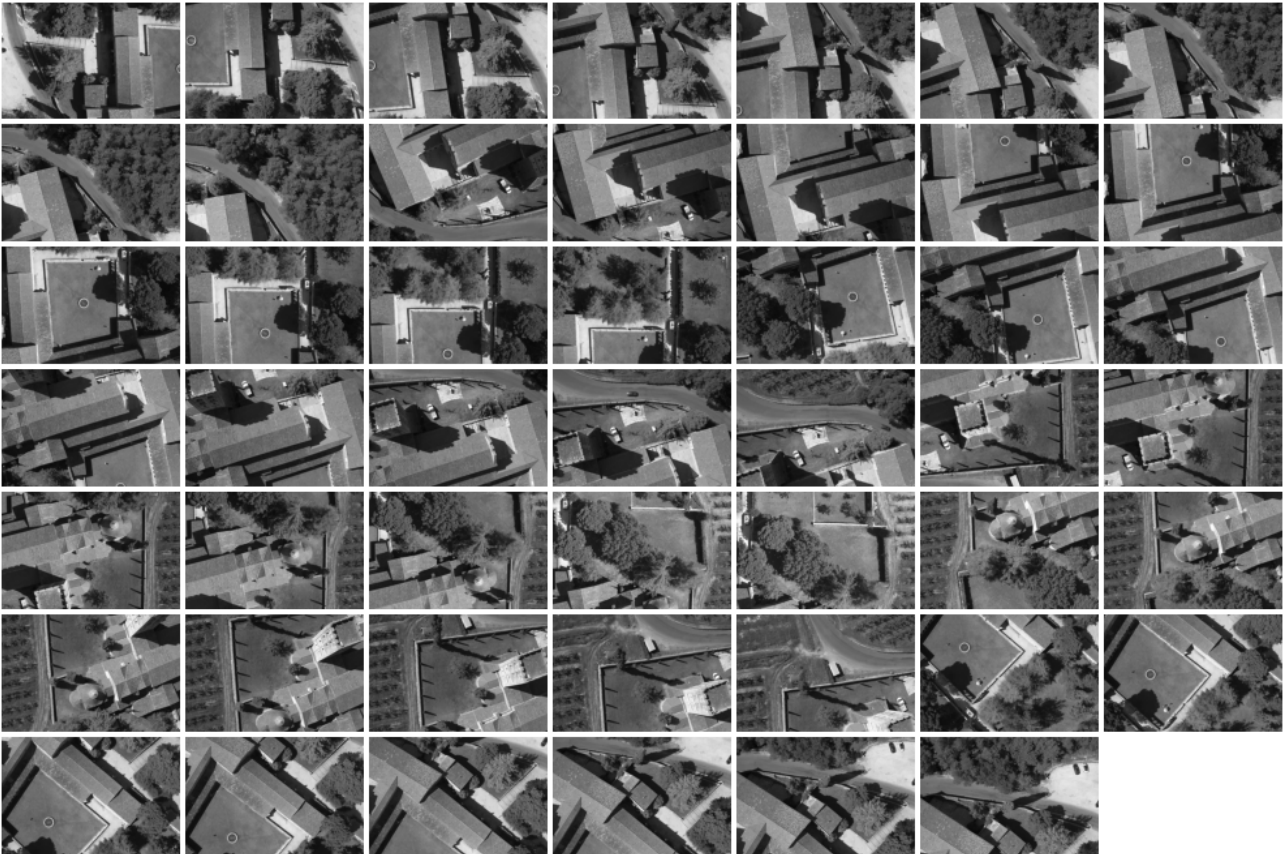


FIGURE 1 – Jeu de données

6 Syntaxe

L'ensemble des fonctionnalités haut niveau de MicMac est accessible au travers d'une seule commande :

```
mm3d
```

La syntaxe générale est la suivante :

⁹. https://micmac.ensg.eu/data/Saint_Michel_De_Cuxa_Dataset.zip



```
mm3d Commande Arg1 Arg2 ... ArgN NameOpt1=ArgOpt1 ...
```

Chaque commande possède n arguments obligatoires ($Arg1, Arg2, \dots, ArgN$) et peut parfois accepter des arguments optionnels ($NameOpt1$) qu'il faut alors spécifier ($ArgOpt1$).

Pour connaître les commandes disponibles il suffit de taper la commande `mm3d` seule dans le terminal :

```
*****
**
**   MicMac: a free open source project for photogrammetry           **
**   hosted at Ecole Nationale des Sciences Geographiques           **
**   in Marne-la-Vallee, for IGN-France                             **
**                                                                    **
**   The project is funded by :                                     **
**                                                                    **
**   - Institut National de l'Information Geographique et Forestiere **
**     (IGN main funder since 2003)                                 **
**   - the french FUI Project "Culture 3D Cloud"                   **
**   - the french ANR Project "MONUMENTUM"                         **
**                                                                    **
**   Research also currently supported by :                         **
**   - CNES (French Space Agency) - via TOSCA Committee            **
**   - Compagnie Nationale du Rhone                                **
**   - Vinci-Construction-Terrassement                            **
**   - ERC Advanced Grant A.Kaeaeab "ICEMASS" (University of Oslo) **
**                                                                    **
**   Current Team: MP Deseilligny, D Jouin, J Belvaux, G Maillet,   **
**     L Girod, E Rupnik, JM Muller, M Daakir, TG Nguyen           **
**                                                                    **
**   Contact for participating : Marc.Pierrot-Deseilligny@ensg.eu   **
**                                                                    **
**   Hope you enjoy, todo list in case of any problem using MicMac : **
**   (0) Take a Pastis                                             **
**   (1) Switch your computer off and on again                     **
**   (2) Install it on Gnu-Linux (work better on)                  **
**   (3) See the wiki at http://micmac.ensg.eu/ **
**   (4) Contact the forum http://forum-micmac.forumprod.com/ **
**                                                                    **
*****
mm3d : Allowed commands
Ann      matches points of interest of two images
AperiCloud  Visualization of camera in ply file
Apero2Meshlab  Convert Orientation from Apero-Micmac workflow to a meshlab-compatible format
Apero2NVM     Matthieu Moneyrond's convertor to VSfM, MVE, SURE, MeshRecon
Apero2PMVS    Convert Orientation from Apero-Micmac workflow to PMVS format
Bascule      Generate orientations coherent with some physical information on the scene
C3DC         Automatic Matching from Culture 3D Cloud project
Campari      Interface to Apero, for compensation of heterogeneous measures
CheckDependencies  check dependencies to third-party tools
ChgSysCo     Change coordinate system of orientation
CmpCalib     Compare two calibrations
CmpOri       Compare two sets of orientation
Convert2GenBundle  Import RPC or other to MicMac format, for adjustment, matching ...
ConvertCalib  Conversion of calibration from one model 2 the other
Drunk        Images distortion removing tool
GCPBascule   Relative to absolute using GCP
GCPConvert   Convert GCP from Txt 2 XML
GCPCtrl      Control accuracy with GCP
GCPVisib     Print a list of GCP visibility in images
GrShade      Compute shading from depth image
HomolFilterMasq  Tool for filter homologous points according to masq
HomolMergePDVUnik  Tool for merge homologous point from unik point of view
Liquor       Orientation specialized for linear acquisition
LumRas       Compute image mixing with raking light
Malt         Simplified matching (interface to MicMac)
MergePly     Merge ply files
Nuage2Ply    Convert depth map into point cloud
PanelIm      Tool for creating a panel of images
RepLocBascule  Tool to define a local repair without changing the orientation
SaisieAppuisInitQT  Interactive tool for initial capture of GCP
SaisieAppuisPredicQT  Interactive tool for assisted capture of GCP
SaisieBascQT  Interactive tool to capture information on the scene
SaisieBoxQT  Interactive tool to capture 2D box
SaisieCylQT  Interactive tool to capture information on the scene for cylinders
SaisieMasqQT  Interactive tool to capture masq
SBGlobBascule  Tool for 'scene based global' bascule
```



```

StatIm  Tool for basic stat on an image
SupMntIm  Tool for superposition of Mnt Im & level curve
Tapas  NEW version !! Compatible . Call "OldTapas" if problem specific to this version
Tapioca  Interface to Pastis for tie point detection and matching
Tarama  Compute a rectified image
Tawny  Interface to Porto to generate ortho-image
Tequila  Texture mesh
tiff_info  Tool for giving information about a tiff file
TiPunch  Compute mesh
Undist  Tool for removing images distortion
Vino  Image Viewer
Vodka  IN DEV : Compute the vignette correction parameters from tie points

```

Pour obtenir de l'aide sur une commande il suffit d'ajouter l'argument `-help`. Par exemple :

```
mm3d Tapas -help
```

7 Fichier de log

Un petit fichier de log est créé dès la première commande. Il s'intitule `mm3d-LogFile.txt` et regroupe l'ensemble des commandes déjà utilisées dans le répertoire de travail avec l'heure et la date de début et de fin d'exécution. Il permet de conserver un historique de l'ensemble des traitements qui ont été réalisés.

mm3d-LogFile.txt

```

=====
"/home/micmac/micmac/bin/mm3d" "Tapioca" "MulScale" "/home/micmac/Saint_Michel_De_Cuxa_Dataset
/Abbey-*.jpg" "300" "800"
PID : 2705 ; [Beginning at ] Sun May 13 13:24:53 2018
PID : 2705 ; [Ending correctly at] Sun May 13 13:32:51 2018
=====
"mm3d" "Tapas" "RadialBasic" "Abbey-IMG_(0248|0247|0249|0238|0239|0240).jpg" "Out=Calib" "
ForCalib=1"
PID : 3371 ; [Beginning at ] Sun May 13 17:36:09 2018
PID : 3371 ; [Ending correctly at] Sun May 13 17:36:26 2018
=====
"mm3d" "Tapas" "RadialBasic" "Abbey-IMG_*.jpg" "InCal=Calib" "Out=Rel"
PID : 3378 ; [Beginning at ] Sun May 13 17:37:42 2018
PID : 3378 ; [Ending correctly at] Sun May 13 17:41:37 2018

```

8 Détection des points homologues

La détection des points homologues entre les images s'effectue avec la commande `Tapioca`. C'est l'interface de haut niveau à `Pastis`¹⁰. `Tapioca` permet de traiter plusieurs configuration de prise de vue et notamment de grandes quantités d'images au travers de l'option `MulScale`.

```
mm3d Tapioca MulScale "Abbey-IMG_*.jpg" 300 800
```

Trois dossiers sont créés : `Tmp-MM-Dir`, `Pastis` et `Homo1`. Le dossier `Pastis` peut être supprimé, il stocke des résultats intermédiaires de calcul. Le dossier `Tmp-MM-Dir` contient les images converties au format *TIF* 8 bits et 16 bits en niveaux de gris, ainsi qu'un fichier XML par image qui récapitule un certain nombre de données *EXIF* extraites des fichiers *JPG*. Le dossier `Homo1` contient les points homologues détectés entre les couples d'images.

9 Calibration

Il est conseillé, lorsque cela est possible, d'effectuer une acquisition spécifique pour calculer les paramètres de calibration de la caméra. Ici, nous utiliserons une partie du jeu de données pour effectuer le calcul de calibration :

```
mm3d Tapas RadialBasic "Abbey-IMG_(0248|0247|0249|0238|0239|0240).jpg" ForCalib=1 Out=Calib
SauvAutom=NONE
```

Les paramètres de calibration sont calculés avec la commande `Tapas`¹¹ selon le modèle de calibration `RadialBasic`¹² en spécifiant qu'il s'agit bien d'un calcul de calibration `ForCalib=1` et en précisant un dossier de destination (`Out=Calib`). Le résultat sera stocké dans le dossier `Ori-Calib`. L'option `SauvAutom=NONE` permet d'éviter le

10. Programme utilisant Auto-pano Sift pour la détection des Tie-points dans les ImageS

11. Tool for Aerotriangulation Photogrammetric with Apero Simplified (hopefully...)

12. modèle de distorsion radiale avec 8 degrés de liberté : 1 pour la focale, 2 pour la position du point principal, 2 pour la position du centre de distorsion et 2 pour les coefficients du polynôme de distorsion radiale (r^3etr^5)



stockage d'intermédiaires de calcul dans le dossier Tmp-MM-Dir Le dossier Ori-InterneScan est également créé par défaut. Il est utilisé lors du traitement d'images analogiques. Il peut être supprimé car il ne sera pas utilisé dans notre contexte de travail.

La sortie de la ligne de commande produit une série de résultats à la suite des différentes itérations du calcul :

```
RES:[Abbey-IMG_0238.jpg][C] ER2 0.329212 Nn 99.5004 Of 1401 Mul 819 Mul-NN 818 Time 0.0791001
RES:[Abbey-IMG_0239.jpg][C] ER2 0.366638 Nn 99.6928 Of 1953 Mul 903 Mul-NN 899 Time 0.108585
RES:[Abbey-IMG_0240.jpg][C] ER2 0.366092 Nn 99.5028 Of 1609 Mul 728 Mul-NN 726 Time 0.0878141
RES:[Abbey-IMG_0247.jpg][C] ER2 0.28244 Nn 99.952 Of 2082 Mul 1123 Mul-NN 1123 Time 0.114932
RES:[Abbey-IMG_0248.jpg][C] ER2 0.298826 Nn 99.7555 Of 2454 Mul 1150 Mul-NN 1149 Time 0.136248
RES:[Abbey-IMG_0249.jpg][C] ER2 0.283781 Nn 99.8319 Of 1785 Mul 897 Mul-NN 896 Time 0.100218
| | Residual = 0.323117 ;; Evol, Moy=3.48372e-12 ,Max=4.63593e-12
| | Worst, Res 0.366638 for Abbey-IMG_0239.jpg, Perc 99.5004 for Abbey-IMG_0238.jpg
| | Cond , Aver 15.0222 Max 59.5329 Prop>100 0
--- End Iter 7 STEP 3
```

L'interprétation des lignes commençant par RES est la suivante :

- [Abbey-IMG_0238.jpg] fait évidemment référence au nom du fichier image,
- ER2 0.329212 est la racine carrée de la moyenne pondérée des résidus quadratiques,
- Nn 99.5004 est le pourcentage des résidus dont la valeur est inférieure à l'EcartMax¹³; il devrait être supérieur à 95%,
- Of 1401 est le nombre de points de liaison,
- Mul 819 est le nombre de points vus dans aux moins deux images,
- Mul-NN 818 est le nombre de points vus dans aux moins trois images dont la valeur du résidu est inférieur à l'EcartMax,
- Time 0.0791001 est le temps de calcul en secondes.

A la fin de chaque itération des informations globales sont également présentes :

- Residual = 0.323117 est la moyenne des valeurs ER2,
- Evol, Moy=3.48372e-12 ,Max=4.63593e-12 est l'évolution de la valeur par rapport à l'itération précédente : valeur moyenne et valeur maximale,
- Worst, Res 0.366638 for Abbey-IMG_0239.jpg est la valeur la plus forte d'ER2 avec l'image à laquelle elle est associée,
- Perc 99.5004 for Abbey-IMG_0238.jpg est le pourcentage le plus faible de résidus inférieurs à l'EcartMax avec l'image auquel il est associé.

AutoCal_Foc-50000_Cam-Canon_EOS_5D_Mark_II.xml

```
<?xml version="1.0" ?>
<ExportAPER0>
  <CalibrationInternConique>
    <KnownConv>eConvApero_DistM2C</KnownConv>
    <PP>713.441922982059168 465.136396477116818</PP>
    <F>2056.40795324713099</F>
    <SzIm>1409 938</SzIm>
    <CalibDistortion>
      <ModRad>
        <CDist>713.441922982059168 465.136396477116818</CDist>
        <CoeffDist>-1.71453422230544986e-08</CoeffDist>
        <CoeffDist>-6.2519623185767556e-15</CoeffDist>
        <PPaEqPPs>>true</PPaEqPPs>
      </ModRad>
    </CalibDistortion>
  </CalibrationInternConique>
</ExportAPER0>
```

Le fichier de calibration AutoCal_Foc-50000_Cam-Canon_EOS_5D_Mark_II.xml contient les paramètres de calibration de la caméra. Son nom est composé de la valeur de la focale en micromètre et du nom du boîtier.

Residus.xml

```
<XmlSauvExportAperoGlob>
...
<Iters>
  <OneIm>
    <Name>Abbey-IMG_0238.jpg</Name>
    <Residual>0.329211616627178627</Residual>
    <PercOk>99.5003568879371869</PercOk>
    <NbPts>1401</NbPts>
    <NbPtsMul>819</NbPtsMul>
```

13. valeur fixé dans le fichier /micmac/include/XML_MicMac/Apero-Glob-New.xml

```

</OneIm>
<OneIm>
  <Name>Abbey - IMG_0239 . jpg</Name>
  <Residual>0.366638143445886688</Residual>
  <PercOk>99.6927803379416275</PercOk>
  <NbPts>1953</NbPts>
  <NbPtsMul>903</NbPtsMul>
</OneIm>
<OneIm>
  <Name>Abbey - IMG_0240 . jpg</Name>
  <Residual>0.366091707752686568</Residual>
  <PercOk>99.502796768178996</PercOk>
  <NbPts>1609</NbPts>
  <NbPtsMul>728</NbPtsMul>
</OneIm>
<OneIm>
  <Name>Abbey - IMG_0247 . jpg</Name>
  <Residual>0.282440083582277957</Residual>
  <PercOk>99.9519692603266066</PercOk>
  <NbPts>2082</NbPts>
  <NbPtsMul>1123</NbPtsMul>
</OneIm>
<OneIm>
  <Name>Abbey - IMG_0248 . jpg</Name>
  <Residual>0.298826435837700799</Residual>
  <PercOk>99.7555012224938906</PercOk>
  <NbPts>2454</NbPts>
  <NbPtsMul>1150</NbPtsMul>
</OneIm>
<OneIm>
  <Name>Abbey - IMG_0249 . jpg</Name>
  <Residual>0.283781316072736378</Residual>
  <PercOk>99.8319327731092443</PercOk>
  <NbPts>1785</NbPts>
  <NbPtsMul>897</NbPtsMul>
</OneIm>
<AverageResidual>0.323117220772484615</AverageResidual>
<NumIter>7</NumIter>
<NumEtape>3</NumEtape>
<EvolMax>4.63593101429591674e-12</EvolMax>
<EvolMoy>3.48372029375797574e-12</EvolMoy>
</Iters>
</XmlSauvExportAperoGlob>

```

Le fichier `Residus.xml` contient les informations qui ont été affichées dans la console. On y retrouve les mêmes informations décrites plus haut.

10 Aérotriangulation

Le calcul d'aérotriangulation s'effectue à l'aide de la commande `Tapas` qui est une interface à `Apero`¹⁴.

```
mm3d Tapas RadialBasic "Abbey-IMG_*.jpg" InCal=Calib Out=Rel SauvAutom=NONE
```

L'interprétation des résultats affichés dans la console est la même que celle vue plus haut pour la calibration. Un fichier `SauvApero.xml` a été créé à la racine du dossier de travail. Il contient le résumé des paramètres passés à `Apero` au travers de `Tapas` et du fichier `Apero-Glob-New.xml`. Un dossier `Ori-InterneScan` est de nouveau apparu, comme précédemment, vous pouvez le supprimer. Le dossier `Ori-Rel` contient le résultat de l'orientation relative des images. On retrouve un fichier de calibration qui correspond au résultat de l'auto-étalonnage. Les valeurs sont légèrement différentes de celles du fichier de calibration car elles ont été réévaluées lors du calcul d'orientation. Un fichier d'orientation est associé à chaque image. Il contient un certain nombre d'informations et plus particulièrement, les coordonnées du centre optique de la caméra et son orientation via la matrice de rotation.

Orientation-Abbey-IMG_0173.jpg.xml

```

<?xml version="1.0" ?>
<ExportAPER0>
  <OrientationConique>
    <OrIntImaM2C>
      <I00>0 0</I00>
      <V10>1 0</V10>
      <V01>0 1</V01>

```

14. Aérotriangulation Photogrammétrique Expérimentale Relativement Opérationnelle



```

</OrIntImaM2C>
<TypeProj>eProjStenope</TypeProj>
<ZoneUtileInPixel>>true</ZoneUtileInPixel>
<FileInterne>Ori-Rel/AutoCal_Foc-50000_Cam-Canon_EOS_5D_Mark_II.xml</FileInterne>
<RelativeNameFI>>true</RelativeNameFI>
<Externe>
  <AltiSol>-10.3164726534692601</AltiSol>
  <Profondeur>10.7571754654862524</Profondeur>
  <Time>-1.00000000000000000002e+30</Time>
  <KnownConv>eConvApero_DistM2C</KnownConv>
  <Centre>-8.23483456431798544 2.5360884526952896 0.465523337712838492</Centre>
  <IncCentre>1 1 1</IncCentre>
  <ParamRotation>
    <CodageMatr>
      <L1>0.995451539601090674 0.0947292871855531654 -0.0101288920981158648
      </L1>
      <L2>0.0948856767440797721 -0.995355198647824291 0.0162707367248204234
      </L2>
      <L3>-0.00854053011447645366 -0.0171578167045639829
      -0.999816317466011517</L3>
    </CodageMatr>
  </ParamRotation>
</Externe>
<Verif>
  <Tol>0.00100000000000000002</Tol>
  <ShowMes>true</ShowMes>
  <Appuis>
    <Num>0</Num>
    <Im>933.340254425986018 345.214694798001801</Im>
    <Ter>-7.43537164232642489 3.2701153792398916 -7.80664755068084126</Ter>
  </Appuis>
  ...
</Verif>
<ConvOri>
  <KnownConv>eConvApero_DistM2C</KnownConv>
</ConvOri>
</OrientationConique>
</ExportAPER0>

```

11 Visualisation des points de liaison

La commande AperiCloud permet de visualiser les points de liaison et la position des caméras.

```
mm3d AperiCloud "Abbey-IMG_*.jpg" Rel
```

Un fichier au format *PLY* est créé : AperiCloud_Rel.ply. Il permet d'effectuer un contrôle visuel de la position des caméras dans l'espace.

```
CloudCompare AperiCloud_Rel.ply
```

12 Orientation absolue

L'orientation absolue s'effectue en saisissant la position des points d'appuis sur les images. Le format des fichiers de points d'appuis est le *XML*. La conversion d'un fichier texte nécessite l'ajout d'une en-tête : #F=N X Y Z Ix Iy Iz. Ici les coordonnées sont en RGF93-Lambert93 et l'incertitude sur la mesure des points a été estimée à 10 centimètre.

MesuresTerrain.txt

```

#F=N X Y Z Ix Iy Iz
174 652083.944 6166324.514 447.986 0.1 0.1 0.1
176 652141.660 6166290.550 451.500 0.1 0.1 0.1
291 652142.062 6166340.626 448.963 0.1 0.1 0.1
293 652085.906 6166280.806 452.466 0.1 0.1 0.1
298 652149.524 6166270.280 454.487 0.1 0.1 0.1
301 652084.524 6166342.975 448.511 0.1 0.1 0.1
303 652075.228 6166315.023 447.659 0.1 0.1 0.1
305 652072.930 6166333.260 447.519 0.1 0.1 0.1

```

La commande GCPCConvert permet de créer le fichier de points d'appuis au format *XML*. L'argument AppInFile précise que le fichier comporte une en-tête. Par défaut, le fichier *XML* porte le même nom que le fichier d'entrée.

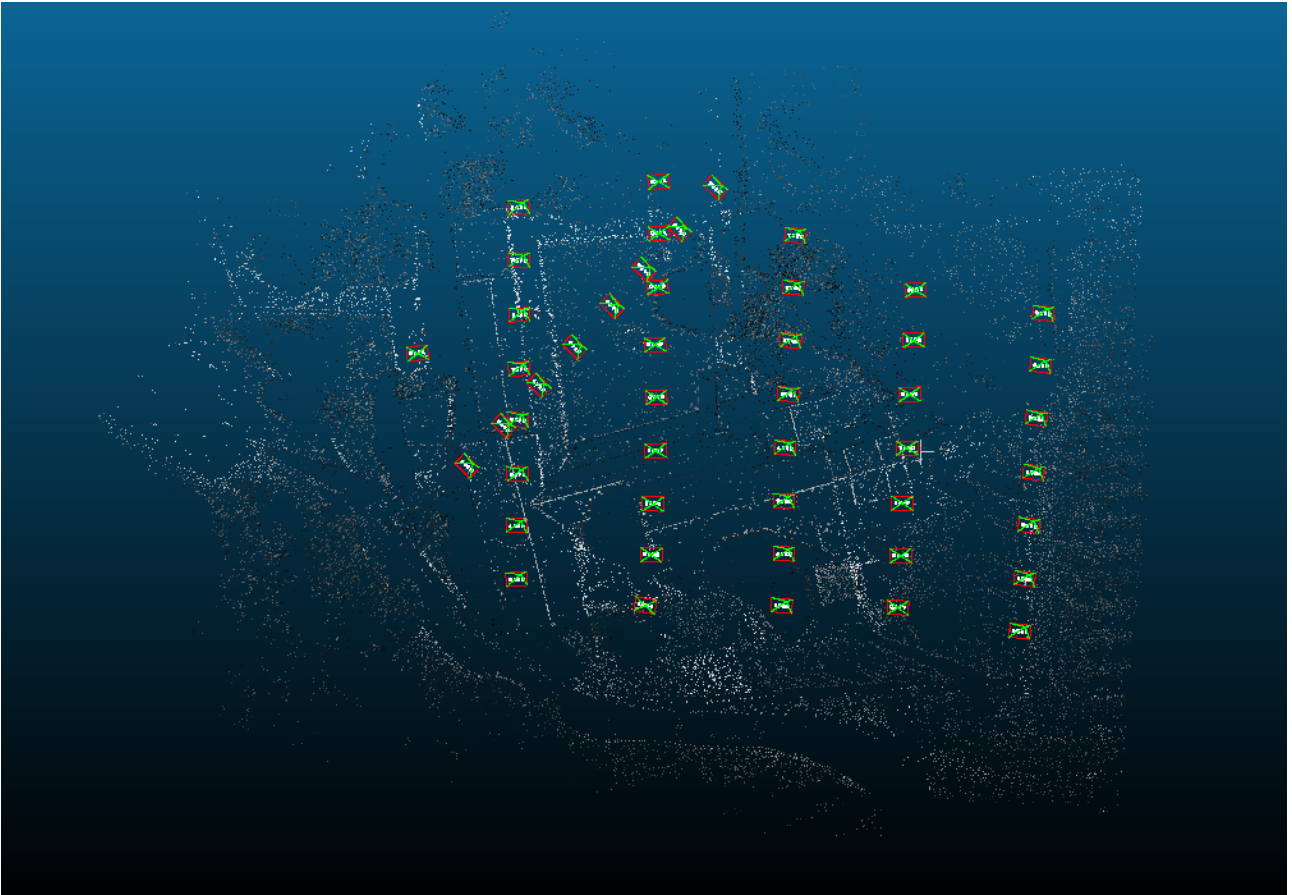


FIGURE 2 – Points de liaison et caméras

mm3d GCPCConvert AppInFile MesuresTerrain.txt

MesuresTerrain.xml

```
<?xml version="1.0" ?>
<DicoAppuisFlottant>
  <OneAppuisDAF>
    <Pt>652083.944000000018 6166324.514000000043 447.98599999999999</Pt>
    <NamePt>174</NamePt>
    <Incertitude>0.1 0.1 0.1</Incertitude>
  </OneAppuisDAF>
  <OneAppuisDAF>
    <Pt>652141.660000000033 6166290.549999999981 451.5</Pt>
    <NamePt>176</NamePt>
    <Incertitude>0.1 0.1 0.1</Incertitude>
  </OneAppuisDAF>
  <OneAppuisDAF>
    <Pt>652142.062000000034 6166340.626000000016 448.9630000000000022</Pt>
    <NamePt>291</NamePt>
    <Incertitude>0.1 0.1 0.1</Incertitude>
  </OneAppuisDAF>
  <OneAppuisDAF>
    <Pt>652085.905999999959 6166280.805999999987 452.4660000000000008</Pt>
    <NamePt>293</NamePt>
    <Incertitude>0.1 0.1 0.1</Incertitude>
  </OneAppuisDAF>
  <OneAppuisDAF>
    <Pt>652149.523999999976 6166270.280000000026 454.4870000000000023</Pt>
    <NamePt>298</NamePt>
    <Incertitude>0.1 0.1 0.1</Incertitude>
  </OneAppuisDAF>
  <OneAppuisDAF>
    <Pt>652084.523999999976 6166342.974999999963 448.5110000000000024</Pt>
    <NamePt>301</NamePt>
    <Incertitude>0.1 0.1 0.1</Incertitude>
  </OneAppuisDAF>
</DicoAppuisFlottant>
```

```

<Pt>652075.228000000003 6166315.02300000004 447.65899999999992</Pt>
<NamePt>303</NamePt>
<Incertitude>0.1 0.1 0.1</Incertitude>
</OneAppuisDAF>
<OneAppuisDAF>
<Pt>652072.9300000000051 6166333.25999999978 447.519000000000005</Pt>
<NamePt>305</NamePt>
<Incertitude>0.1 0.1 0.1</Incertitude>
</OneAppuisDAF>
</DicoAppuisFlottant>

```

La saisie des points d'appuis s'effectue à l'aide d'une interface graphique : SaisieAppuisInitQT

mm3d SaisieAppuisInitQT "Abbey-IMG_*.jpg" Rel MesuresTerrain.xml MesuresImages.xml



FIGURE 3 – Position des points d'appuis

Deux nouveaux fichiers XML ont été créés : MesuresImages-S2D.xml et MesuresImages-S3D.xml. Le premier comporte les mesures des points d'appuis dans le système de coordonnées images et le second dans le système de coordonnées relatives.

MesuresImages-S2D.xml

```

<?xml version="1.0" ?>
<SetOfMesureAppuisFlottants>
  <MesureAppuiFlottant1Im>
    <NameIm>Abbey - IMG_0173 . jpg</NameIm>
    <OneMesureAF1I>
      <NamePt>305</NamePt>
      <PtIm>1244.5547174621106 354.460500623304597</PtIm>
    </OneMesureAF1I>
  </MesureAppuiFlottant1Im>
  <MesureAppuiFlottant1Im>
    <NameIm>Abbey - IMG_0191 . jpg</NameIm>
    <OneMesureAF1I>
      <NamePt>305</NamePt>
      <PtIm>222.543027522327151 479.406850715411565</PtIm>
    </OneMesureAF1I>
  </MesureAppuiFlottant1Im>
</SetOfMesureAppuisFlottants>

```


- ErrMoy 0.789701 pixels est l'erreur moyenne de reprojection sur l'ensemble des points saisis dans les images,
- ErrMax = 1.21788 For I=Abbey-IMG_0212.jpg est l'erreur maximale de reprojection avec la référence à l'image de saisie.

La dernière ligne indique la valeur (en pixels) et le point pour lequel l'erreur de reprojection est maximale ainsi que l'image associée. Elle indique également l'erreur moyenne de reprojection, en pixels.

Un nouveau dossier est créé : Ori-Abs qui comporte les fichiers d'orientation des images dans le système terrain. Il est possible de visualiser (avec CloudCompare) le résultat de l'orientation absolue en utilisant la commande AperiCloud :

```
mm3d AperiCloud "Abbey-IMG_*.jpg" Abs Bin=0
```

```
CloudCompare AperiCloud_Abs.ply
```

13 Calcul du MNS

Le calcul du *MNS*¹⁵ s'effectue avec la commande Malt :

```
mm3d Malt Ortho "Abbey-IMG_*.jpg" Abs
```

Le dossier MEC-Malt contient les résultats intermédiaires de calcul et notamment les cartes de profondeur. Il s'agit ensuite de convertir les cartes de profondeur en un *MNS* :

```
mm3d Nuage2Ply "MEC-Malt/NuageImProf_STD-MALT_Etape_8.xml" DoXYZ=1 64B=1
```

Le résultat du calcul se trouve dans le dossier MEC-Malt sous le nom : NuageImProf_STD-MALT_Etape_8_XYZ.tif, le fichier World associé est : Z_Num8_DeZoom2_STD-MALT.tfw.

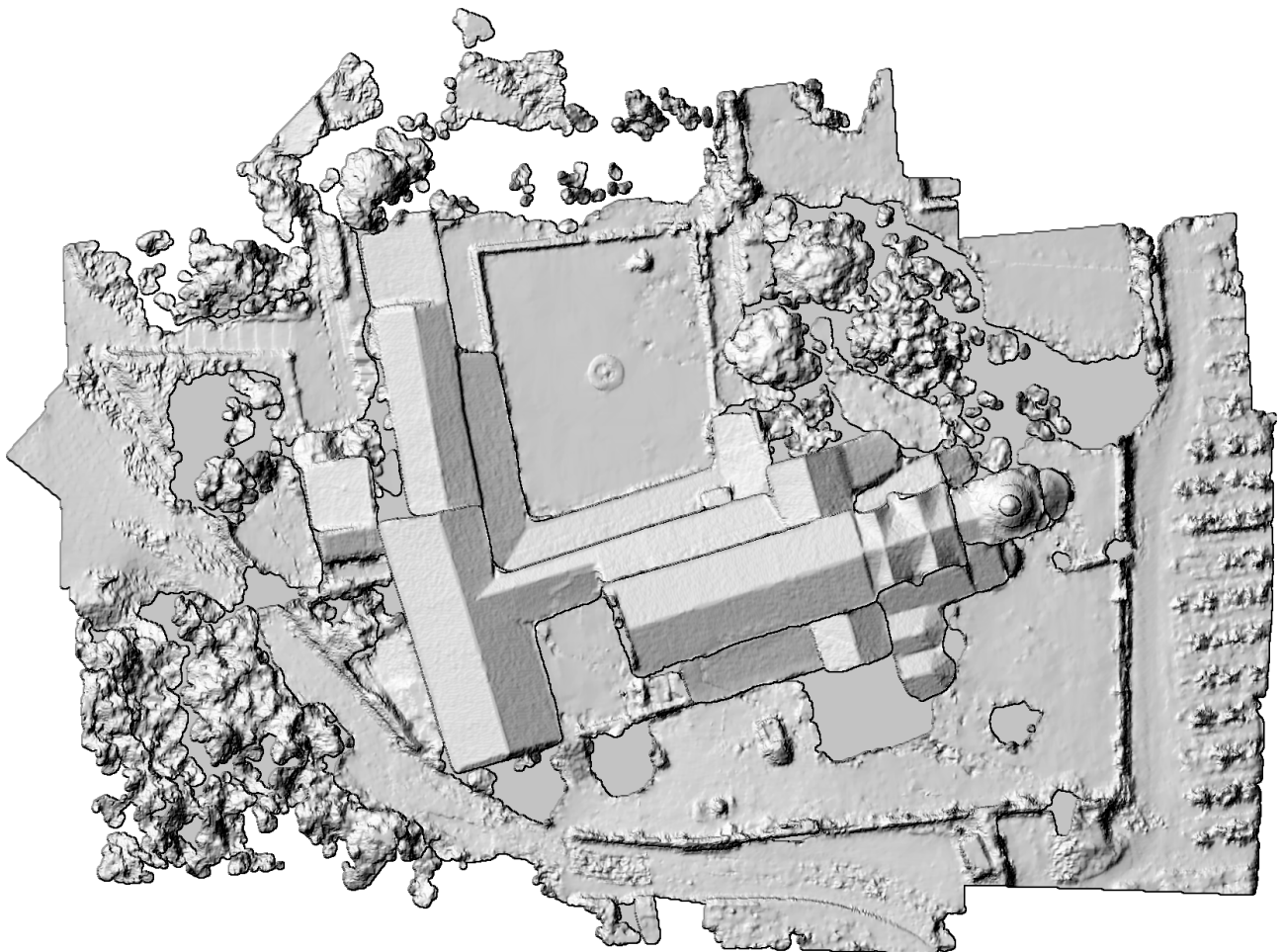


FIGURE 4 – Modèle numérique de surface

14 Calcul de l'orthophotographie

La commande Malt utilisée plus haut a généré un dossier Ortho-MEC-Malt qui contient les orthophotographies individuelles pour chaque image. Le calcul de l'orthophotographie globale consiste à assembler ces orthophotographies individuelles et à réaliser une égalisation radiométrique. Ces deux opérations s'effectuent avec la commande Tawny :

```
mm3d Tawny Ortho-MEC-Malt/
```

Le résultat du calcul est stocké dans le dossier Ortho-MEC-Malt dans le fichier Orthophotomosaic.tif.



FIGURE 5 – Orthoimage finale