

# Initiation à la photogrammétrie avec MicMac

FOSS4G<sup>fr</sup>

Maxime SEGUIN

[maxime.seguin@inrap.fr](mailto: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 MicMac<sup>1</sup> 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.beta13<sup>2</sup> du 15 mars 2018.

Quelques logiciels complémentaires doivent être également présents pour que MicMac fonctionne : **Make**<sup>3</sup> pour l'exécution de tâches en parallèle, **ImageMagick**<sup>4</sup> pour la conversion des images, **ExifTool**<sup>5</sup> et **Exiv2**<sup>6</sup> pour la lecture et l'écriture des métadonnées des images et **PROJ**<sup>7</sup> 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 **Qt5**<sup>8</sup>.

```
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](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-Cuxa<sup>9</sup>. Les images ont été sous-échantillonnées pour diminuer le temps de calcul.

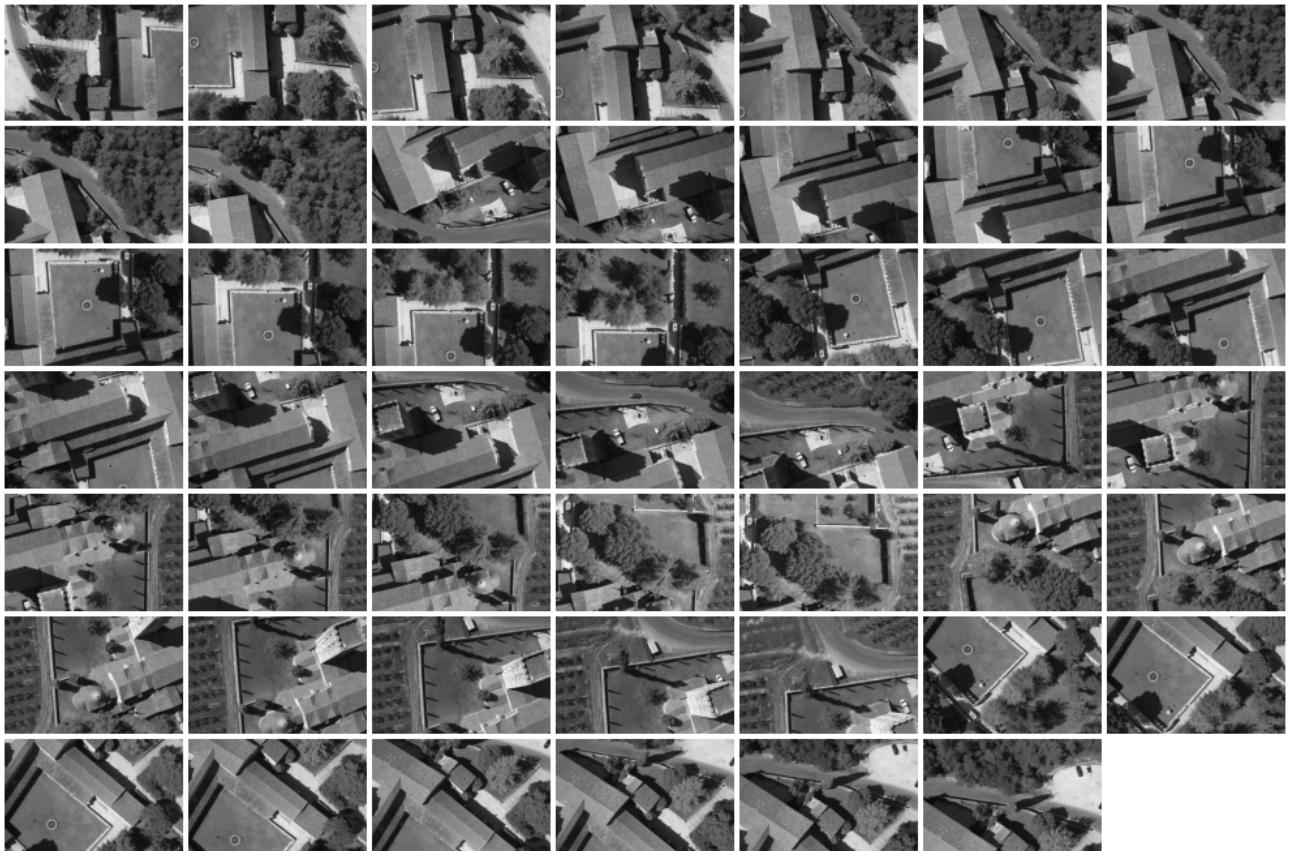


FIGURE 1 – Jeu de données

## 6 Syntaxe

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

```
mm3d
```

La syntaxe générale est la suivante :

---

9. [https://micmac.ensg.eu/data/Saint\\_Michel\\_De\\_Cuxa\\_Dataset.zip](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-Vallée, 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 Rhône
** - Vinci-Construction-Terrassement
** - ERC Advanced Grant A.Kaaeb "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 to 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`<sup>10</sup>. `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 `Homol`. 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 `Homol` 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`<sup>11</sup> selon le modèle de calibration `RadialBasic`<sup>12</sup> 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'EcartMax<sup>13</sup>; 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" ?>
<ExportAPERO>
  <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>
</ExportAPERO>
```

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 boitier.

#### 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`<sup>14</sup>.

```
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" ?>
<ExportAPERO>
    <OrientationConique>
        <OrIntImaM2C>
            <I00>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>-1.0000000000000002e+30</Time>
    <KnownConv>eConvApero_DistM2C</KnownConv>
    <Centre>-8.23483456431798544 2.5360884526952896 0.465523337712838492</Centre>
    <IncCentre>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>0.001000000000000002</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>
</ExportAPERO>

```

## 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 GCPConvert 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.

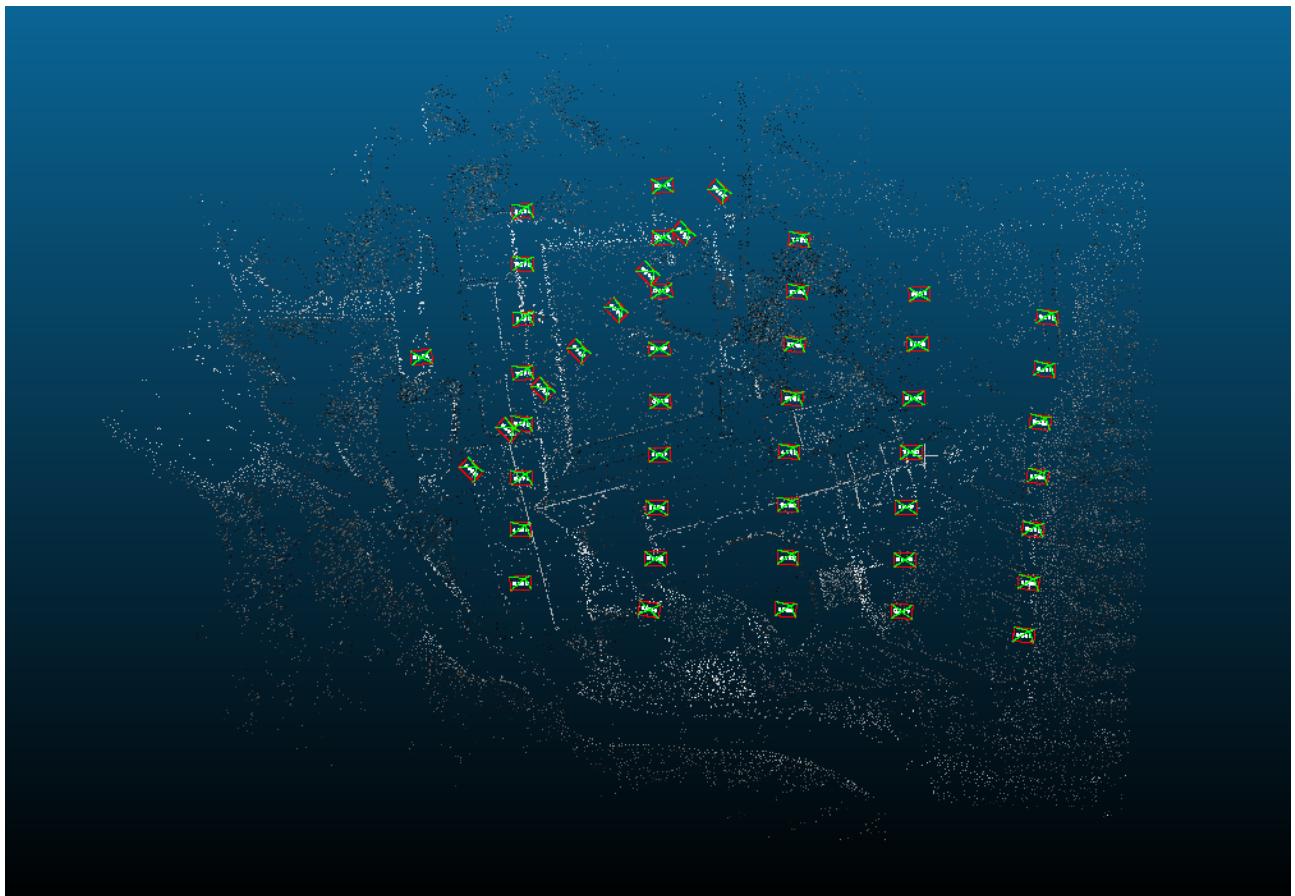


FIGURE 2 – Points de liaison et caméras

```
mm3d GCPConvert AppInFile MesuresTerrain.txt
```

#### MesuresTerrain.xml

```
<?xml version="1.0" ?>
<DicoAppuisFlottant>
  <OneAppuisDAF>
    <Pt>652083.944000000018 6166324.51400000043 447.98599999999999</Pt>
    <NamePt>174</NamePt>
    <Incertitude>0.1 0.1 0.1</Incertitude>
  </OneAppuisDAF>
  <OneAppuisDAF>
    <Pt>652141.660000000033 6166290.5499999981 451.5</Pt>
    <NamePt>176</NamePt>
    <Incertitude>0.1 0.1 0.1</Incertitude>
  </OneAppuisDAF>
  <OneAppuisDAF>
    <Pt>652142.062000000034 6166340.62600000016 448.963000000000022</Pt>
    <NamePt>291</NamePt>
    <Incertitude>0.1 0.1 0.1</Incertitude>
  </OneAppuisDAF>
  <OneAppuisDAF>
    <Pt>652085.905999999959 6166280.8059999987 452.466000000000008</Pt>
    <NamePt>293</NamePt>
    <Incertitude>0.1 0.1 0.1</Incertitude>
  </OneAppuisDAF>
  <OneAppuisDAF>
    <Pt>652149.523999999976 6166270.28000000026 454.487000000000023</Pt>
    <NamePt>298</NamePt>
    <Incertitude>0.1 0.1 0.1</Incertitude>
  </OneAppuisDAF>
  <OneAppuisDAF>
    <Pt>652084.523999999976 6166342.9749999963 448.511000000000024</Pt>
    <NamePt>301</NamePt>
    <Incertitude>0.1 0.1 0.1</Incertitude>
  </OneAppuisDAF>
  <OneAppuisDAF>
```

```

<Pt>652075.228000000003 6166315.0230000004 447.6589999999992</Pt>
<NamePt>303</NamePt>
<Incertitude>0.1 0.1 0.1</Incertitude>
</OneAppuisDAF>
<OneAppuisDAF>
<Pt>652072.930000000051 6166333.2599999978 447.51900000000005</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>
    </MesureAppuiFlottant1Im>

```

```

        </OneMesureAF1I>
    </MesureAppuiFlottant1Im>
    <MesureAppuiFlottant1Im>
        <NameIm>Abbey - IMG_0192.jpg</NameIm>
        <OneMesureAF1I>
            <NamePt>305</NamePt>
            <PtIm>204.439114376579653 660.204639369313554</PtIm>
        </OneMesureAF1I>
    </MesureAppuiFlottant1Im>

    ...
</SetOfMesureAppuisFlottants>
```

Des fichiers temporaires sont également apparus :

- Tmp-SL-Glob-MesuresImages.xml,
- Tmp-SL-Glob-MesuresImages.xml.dup,
- Tmp-SL-Im-MesuresImages.xml,
- Tmp-SL-Im-MesuresImages.xml.dup.

Ils peuvent être supprimés.

Le passage de l'orientation relative à l'orientation absolue s'effectue à l'aide de la commande GCPBascule :

```
mm3d GCPBascule "Abbey-IMG_.*.jpg" Rel Abs MesuresTerrain.xml MesuresImages-S2D.xml
```

```

==== ADD Pts 174 Has Gr 1 Inc [0.1,0.1,0.1]
NOT OK (UPL) FOR 174 , Reason NoPb
==== ADD Pts 176 Has Gr 1 Inc [0.1,0.1,0.1]
--NamePt 176 Ec Estim-Ter [0.191389,0.0723038,-0.2616]           Dist =0.332103 ground units
Inc = [0.1,0.1,0.1] PdsIm = [1e+008,1e+008,1e+008,1e+008,1e+008,1e+008,1e+008,1e+008]
Ecart Estim-Faisceaux 0.000941364 Ter-Faisceau [-0.191079,-0.072607,0.260765] D= 0.331332
    ErrMoy 0.684148 pixels SP=9
    ErrMax = 1.11135 For I=Abbey-IMG_0247.jpg, C=176 pixels
-
==== ADD Pts 291 Has Gr 1 Inc [0.1,0.1,0.1]
--NamePt 291 Ec Estim-Ter [-0.0272049,0.0508158,0.202824]           Dist =0.210856 ground
    units
Inc = [0.1,0.1,0.1] PdsIm = [1e+008,1e+008,1e+008]
Ecart Estim-Faisceaux 8.69379e-005 Ter-Faisceau [0.0271331,-0.050827,-0.202777] D=
    0.210803
    ErrMoy 0.178123 pixels SP=3
    ErrMax = 0.26565 For I=Abbey-IMG_0251.jpg, C=291 pixels
-
==== ADD Pts 293 Has Gr 1 Inc [0.1,0.1,0.1]
--NamePt 293 Ec Estim-Ter [-0.340799,0.0774345,0.225221]           Dist =0.41577 ground units
Inc = [0.1,0.1,0.1] PdsIm = [1e+008,1e+008,1e+008,1e+008,1e+008,1e+008,1e+008,1e+008]
Ecart Estim-Faisceaux 0.0013811 Ter-Faisceau [0.340657,-0.0773663,-0.226594] D= 0.416386
    ErrMoy 0.680385 pixels SP=8
    ErrMax = 1.01272 For I=Abbey-IMG_0204.jpg, C=293 pixels
-
==== ADD Pts 298 Has Gr 1 Inc [0.1,0.1,0.1]
NOT OK (UPL) FOR 298 , Reason NoPb
==== ADD Pts 301 Has Gr 1 Inc [0.1,0.1,0.1]
NOT OK (UPL) FOR 301 , Reason NoPb
==== ADD Pts 303 Has Gr 1 Inc [0.1,0.1,0.1]
NOT OK (UPL) FOR 303 , Reason NoPb
==== ADD Pts 305 Has Gr 1 Inc [0.1,0.1,0.1]
--NamePt 305 Ec Estim-Ter [0.177076,-0.201059,-0.166995]           Dist =0.315702 ground units
Inc = [0.1,0.1,0.1] PdsIm = [1e+008,1e+008,1e+008,1e+008,1e+008,1e+008,1e+
    +008,1e+008,1e+008,1e+008,1e+008,1e+008]
Ecart Estim-Faisceaux 0.00167175 Ter-Faisceau [-0.176711,0.2008,0.168605] D= 0.316189
    ErrMoy 0.789701 pixels SP=16
    ErrMax = 1.21788 For I=Abbey-IMG_0212.jpg, C=305 pixels
-
=====
===== ERROR MAX PTS FL =====
|| Value=1.21788 for Cam=Abbey-IMG_0212.jpg and Pt=305 ; MoyErr=0.901901
=====
```

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

- Pts 305 est le nom du point d'appui,
- Inc [0.1,0.1,0.1] sont les incertitudes associées au point en mètre,
- Ec Estim-Ter [0.177076,-0.201059,-0.166995] sont les résidus pour les composantes X, Y et Z, en mètre,
- Dist =0.315702 est le résidu selon les trois composantes,

- 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 résultatat 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*<sup>15</sup> 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**.

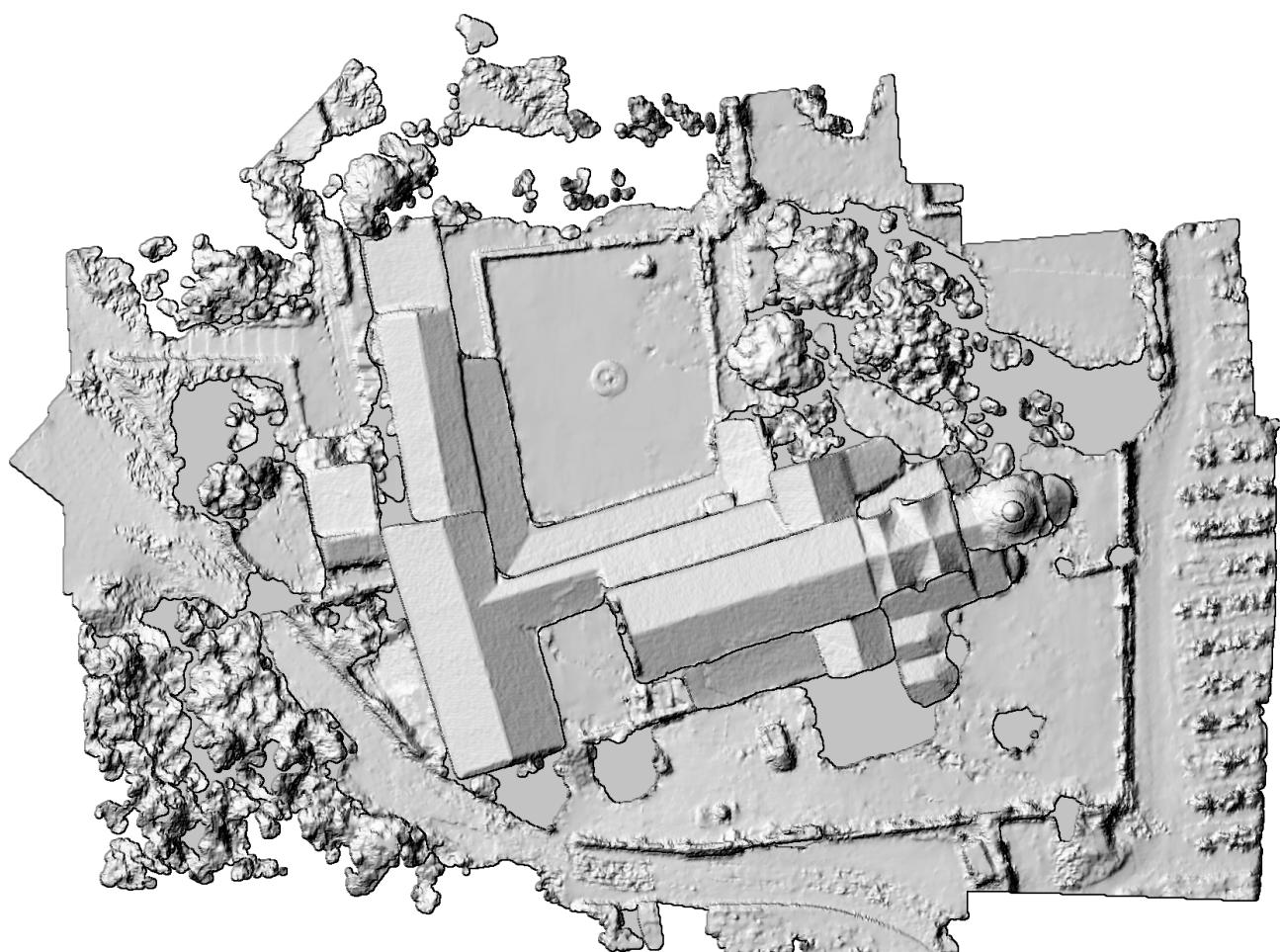


FIGURE 4 – Modèle Numérique de surface

---

15. 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`.

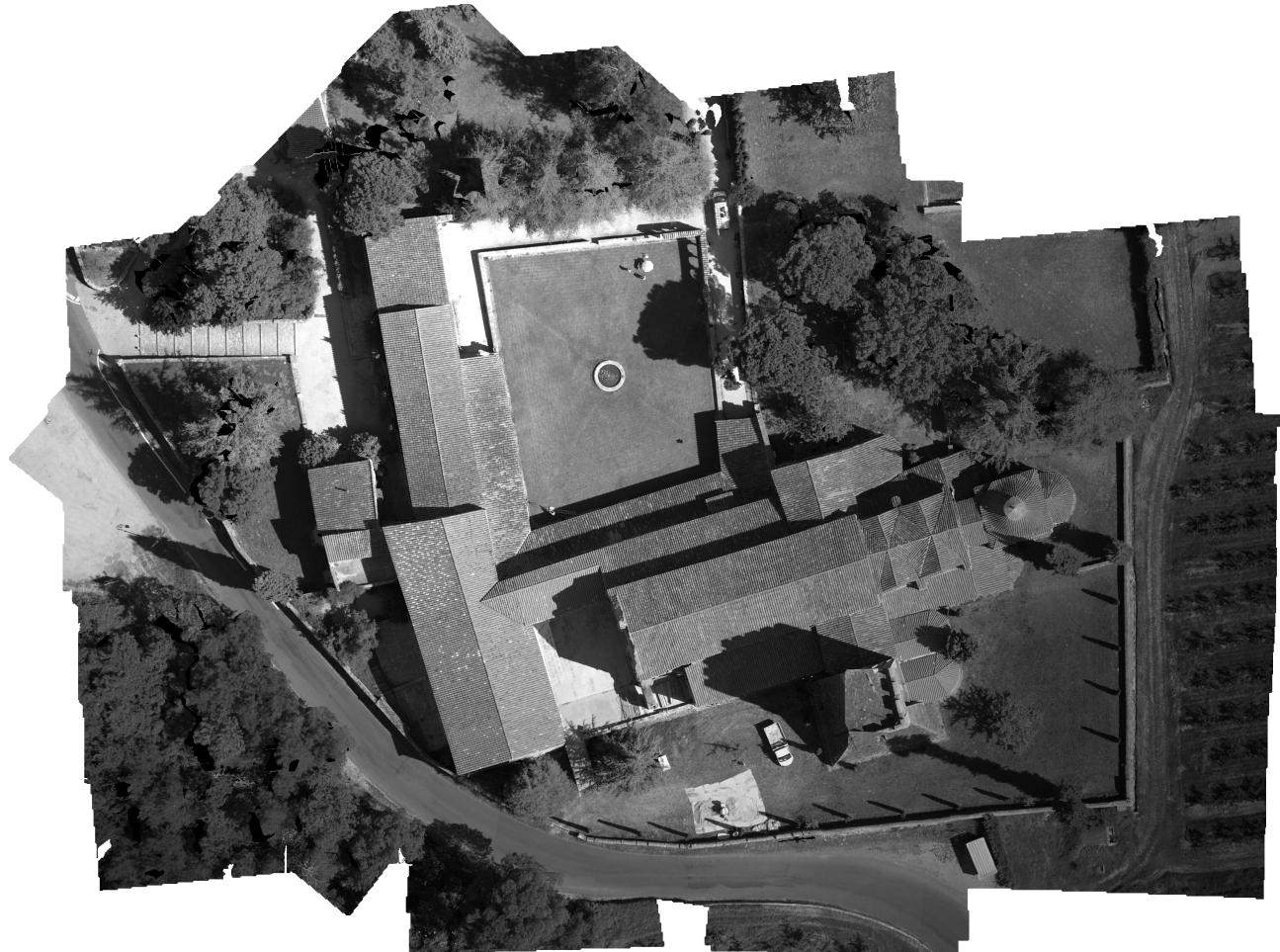


FIGURE 5 – Orthoimage finale