

Structure from Motion – SfM – Introduction à MicMac (IGN)

J.-M Friedt

14 février 2015

Concept :

- multitude de photographies (numériques) du même objet/scène de divers points de vue
- reconstruction de la profondeur (3ème dimension) par analyse des motifs communs à toutes les images
- génération de nuages de points
- chaque voxel se voit assigné la couleur du pixel original sur une image de référence

Calculs complexes qui nécessitent d'utiliser des logiciels existant

Calcul : diverses solutions propriétaires ...

- Autodesk 123D Catch
- Agisoft Photoscan
- Simactive

... et libres :

- Bundler¹ & PMVS², CMVS
- VisualSFM
- Python Photogrammetry Toolbox (PPT)³
- **MicMac** (logiciels.ign.fr/?-Micmac,3-)

Visualisation : Meshlab, CloudCompare, outil accompagnant MicMac (option de compilation Qt)

Nuage de points → surfaces⁴ ... pas pour le moment

1. www.cs.cornell.edu/~snably/bundler/

2. www.di.ens.fr/pmvs/

3. <http://imagine.enpc.fr/publications/papers/ARCHEOFOSS.pdf>

4. [http://wedidstuff.heavyimage.com/index.php/2013/07/12/](http://wedidstuff.heavyimage.com/index.php/2013/07/12/open-source-photogrammetry-workflow/)

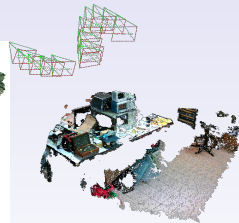
Conditions de prises de vues

- **Garder l'optique constante** (ne pas changer de zoom)
- Avoir tous les points de vue de la scène (les faces cachées seront vides)
- Pas d'ombres projetées
- Éviter les trop forts contrastes (surtout avec téléphone)
- Suivre les règles de Tapenade : translation horizontale et prendre des clichés en croix⁵.

5. http://www.tapenade.gamsau.archi.fr/TAPeNADe/PR_facades.html

Exemples et sources de données

- Photographies aériennes (ULM)
- Documentaires (télévision)⁶
- micro/mini drones
- Photographies prises au sol, géoréférencées ou non (*smartphone*)⁷

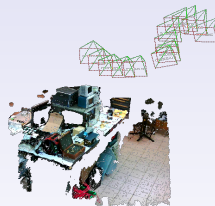
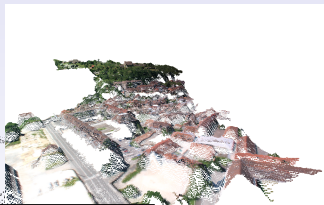
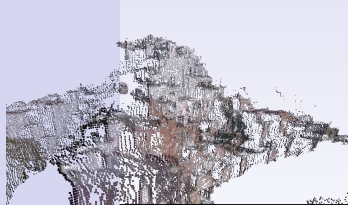


6. les images extraites ne contiennent pas d'entête EXIF : ajouter n'importe quoi par `exiftool -TagsFromFile ref *.jpg` avec `ref` une image valide d'appareil photographique numérique

7. ajouter les champs manquant dans l'entête EXIF par `exiv2 -m exif.jmf *.jpg` où `exif.jmf` contient `set Exif.Photo.FocalLengthIn35mmFilm 21`

Exemples et sources de données

- Photographies aériennes (ULM)
- Documentaires (télévision)⁶
- micro/mini drones
- Photographies prises au sol, géoréférencées ou non (*smartphone*⁷)



6. les images extraites ne contiennent pas d'entête EXIF : ajouter n'importe quoi par `exiftool -TagsFromFile ref *.jpg` avec `ref` une image valide d'appareil photographique numérique

7. ajouter les champs manquant dans l'entête EXIF par `exiv2 -m exif.jmf *.jpg` où `exif.jmf` contient `set Exif.Photo.FocalLengthIn35mmFilm, 21`

Jeu de données



Bibliothèque nationale de Vienne

Séquence complète de traitement

- Toute commande préfixée de mm3d
- Toute commande possède une aide (mm3d && mm3d Malt -help)
- Résultat de chaque étape stocké dans un répertoire d'orientation Ori-
- Préfixer les commandes de v pour une interface graphique Qt
- **Excellente** documentation dans Documentation/DocMicMac.pdf

```
mm3d Tapioca MulScale ".*JPG" 300 1500
```

```
mm3d Tapas RadialStd ".*JPG" Out=Cal
```

```
mm3d Tapas AutoCal ".*JPG" InCal=Cal Out=Init
```

```
mm3d AperiCloud ".*JPG" Init
```

```
mm3d Malt GeomImage ".*JPG" Init Master=DSC00850.JPG DirMEC=Result1 \  
UseTA=1 ZoomF=4 ZoomI=32 Purge=true AffineLast=false
```

```
mm3d Nuage2Ply Result1/NuageImProf_STD-MALT_Etape_5.xml \  
Attr=./DSC00850.JPG RatioAttrCarte=4
```

```
mm3d Malt GeomImage ".*JPG" Init Master=DSC00863.JPG DirMEC=Result2 \  
UseTA=1 ZoomF=4 ZoomI=32 Purge=true AffineLast=false
```

```
mm3d Nuage2Ply Result2/NuageImProf_STD-MALT_Etape_5.xml \  
Attr=./DSC00863.JPG RatioAttrCarte=4
```

Propriétés du capteur optique

Dans `$(MICMAC)/include/XML_User/DicoCamera.xml`, pour un Samsung S3 :

```
<?xml version="1.0" ?>

<MMCameraDataBase>
  <CameraEntry>
    <Name> Samsung GT-I9300 </Name>
    <SzCaptMm> 4.54 3.42 </SzCaptMm>
    <ShortName> GT-I9302 </ShortName>
  </CameraEntry>
</MMCameraDataBase>
```

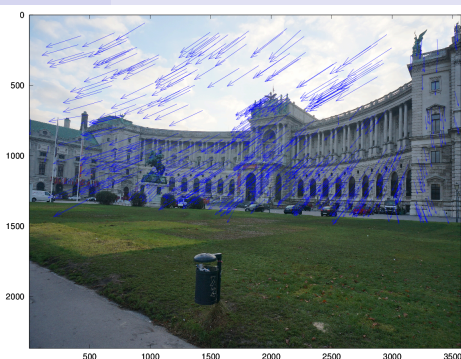
`<Name>` contient le nom de la caméra fourni lorsque Tapioca se plaint
`<SzCaptMm>` contient la taille du capteur CMOS ou CCD (cf web)

Points homologues

Divers modèles de recherches de points homologues dans les images :

- linear
- multiscale

mm3d Tapioca MulScale ".*JPG" 300 1500



```
a=imread('DSC847.JPG');  
b=imread('DSC848.JPG');  
n='Homol/PastisDSC847.JPG/DSC848.JPG.txt'  
x=load(n);
```

```
imagesc((a));hold on  
h=quiver(x(:,1),x(:,2),x(:,3)  
        -x(:,1),x(:,4)-x(:,2),0)
```

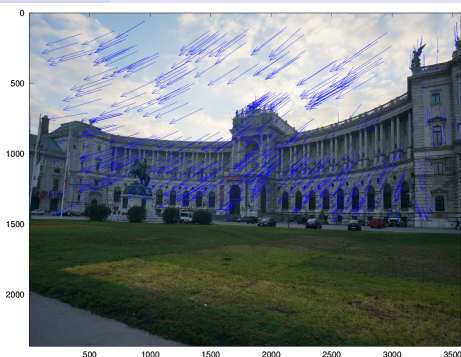
```
figure  
imagesc((b));hold on  
h=quiver(x(:,1),x(:,2),x(:,3)  
        -x(:,1),x(:,4)-x(:,2),0)
```

Points homologues

Divers modèles de recherches de points homologues dans les images :

- linear
- multiscale

mm3d Tapioca MulScale ".*JPG" 300 1500



```
a=imread('DSC847.JPG');  
b=imread('DSC848.JPG');  
n='Homol/PastisDSC847.JPG/DSC848.JPG.txt'  
x=load(n);
```

```
imagesc((a));hold on  
h=quiver(x(:,1),x(:,2),x(:,3)  
        -x(:,1),x(:,4)-x(:,2),0)
```

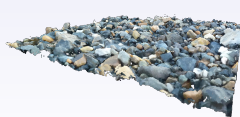
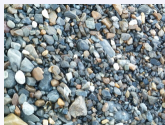
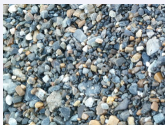
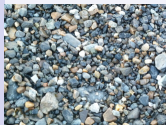
```
figure  
imagesc((b));hold on  
h=quiver(x(:,1),x(:,2),x(:,3)  
        -x(:,1),x(:,4)-x(:,2),0)
```

Propriétés optiques

- Divers modèles de lentilles : nombre croissant de degrés de liberté
⇒ risques de divergence mais modèle plus précis
- Tous les répertoires s'appellent Ori-XXX : ici Ori-Cal
- Choisir un sous ensemble de photos pour faciliter la convergence (coin), idéalement des photos faites exprès

```
mm3d Tapas RadialStd ".*JPG" Out=Cal
```

```
RES:[0070.jpg] ER2 0.684048 Nn 99.8439 Of 8328 Mul 5604 Mul-NN 5593 Time 0.572528  
RES:[0080.jpg] ER2 0.590437 Nn 99.8557 Of 9705 Mul 6597 Mul-NN 6585 Time 0.677808  
RES:[0090.jpg] ER2 0.538801 Nn 99.8227 Of 9588 Mul 6604 Mul-NN 6590 Time 0.657201
```



Positionnement des caméras

- Divers modèles (RadialBasic, RadialExtended, FisheyeBasic) ... tester en cas d'échec de RadialStd
- Modèle identifié sur un sous ensemble de photos $\Rightarrow$ appliquer à l'ensemble des photos une identification automatique des paramètres.

```
mm3d Tapas AutoCal ".*JPG" InCal=Cal Out=Init
```

```
RES:[0180.jpg] ER2 0.666173 Nn 97.7652 Of 9039 Mul 5575 Mul-NN 5551 Time 0.45645  
RES:[0190.jpg] ER2 0.449004 Nn 95.4775 Of 8314 Mul 4756 Mul-NN 4725 Time 0.414206  
RES:[0200.jpg] ER2 0.530106 Nn 71.3133 Of 7934 Mul 3346 Mul-NN 3321 Time 0.293506  
||RESIDU LIAISON MOYENS = 0.470722 pour Id_Pastis_Hom Evol, Moy=0.0112795 ,Max=5.2077
```

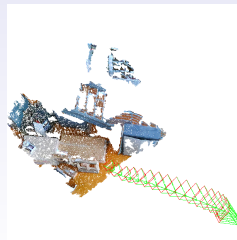
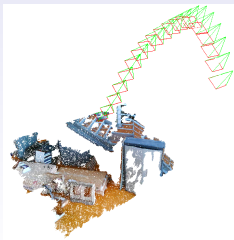
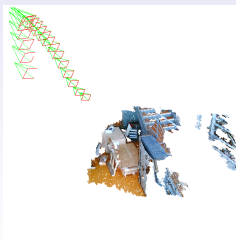
... longtemps

```
RES:[0190.jpg] ER2 0.422147 Nn 99.3625 Of 8314 Mul 5316 Mul-NN 5273 Time 0.459338  
RES:[0200.jpg] ER2 0.422486 Nn 99.2438 Of 7934 Mul 4399 Mul-NN 4361 Time 0.388355  
RES:[0210.jpg] ER2 0.402784 Nn 99.2712 Of 6998 Mul 3612 Mul-NN 3578 Time 0.326601  
||RESIDU LIAISON MOYENS = 0.442472 pour Id_Pastis_Hom Evol, Moy=2.08243e-11 ,Max=3.0
```

Validation du modèle

Un nuage de points grossier, avec la position des caméra, le nom de la photo et l'ouverture.

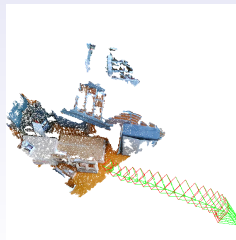
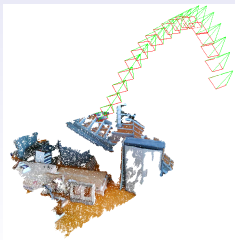
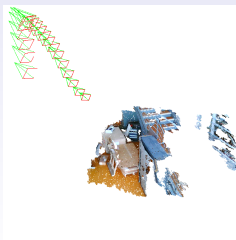
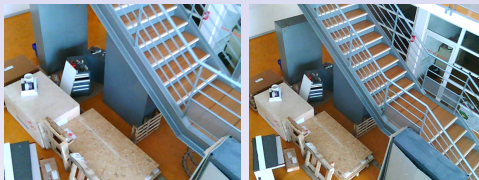
mm3d Apericloud ".*JPG" Init



Validation du modèle

Toute incohérence se traduira par l'échec du calcul du nuage dense de points.

mm3d Apericloud ".*JPG" Init



Nuage dense

```
mm3d Malt GeomImage ".*JPG" Init Master=DSC00877.JPG \  
  DirMEC=Result1 UseTA=1 ZoomF=4 ZoomI=32 Purge=true \  
  AffineLast=false
```

```
mm3d Nuage2Ply Result1/NuageImProf_STD-MALT_Etape_5.xml \  
  Attr=./DSC00877.JPG RatioAttrCarte=4
```

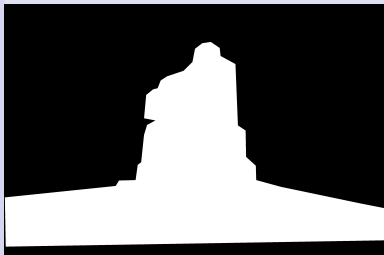
options de masquage (UseTA=1 (*pas* True))

Masques

Éliminer l'environnement sans intérêt de la scène

- Nuage dense plus propre
- Calcul plus rapide

SaisieMasq (ou Gimp pour les plus téméraires⁸)

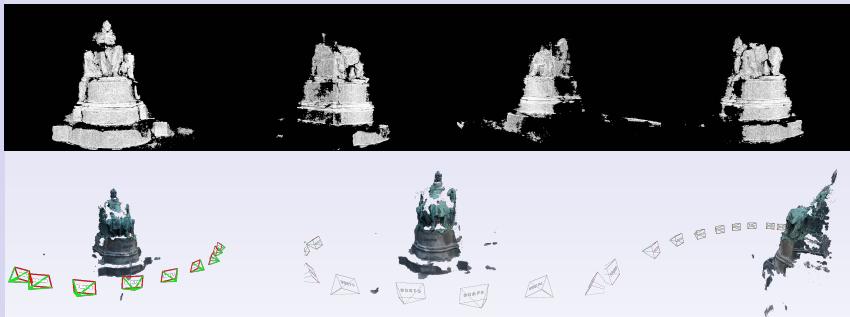


SaisieQT SaisieMasqQT si on compile en `-DWITH_QT5=1`

8. <http://combiencaporte.blogspot.fr/2013/10/micmac-tutoriel-de-photogrammetrie-sous.html>

Carte des corrélations

Dans le répertoire argument DirMec de Malt (Corr* pour chaque homothétie) $\Rightarrow$ état d'avancement du calcul en visualisant les images



Seuil de rejet ajustable par DefCor=0.001 (option Malt)
Les zones sous ce seuil sont vides.

Assemblage de nuages

- Compenser les faces cachées : assembler les divers points de vues
- Une photographie maîtresse génère chaque nuage de points.



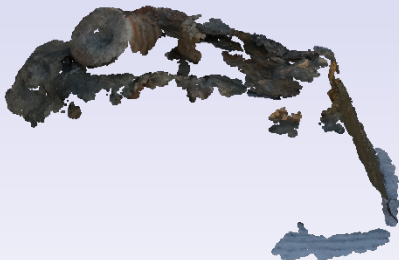
Assemblage de nuages

- Compenser les faces cachées : assembler les divers points de vues
- Une photographie maîtresse génère chaque nuage de points.



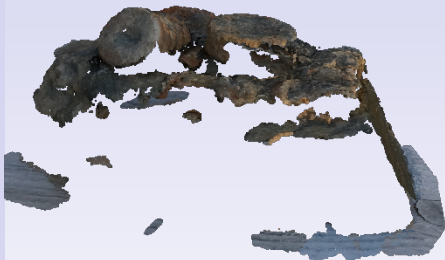
Assemblage de nuages

- Compenser les faces cachées : assembler les divers points de vues
- Une photographie maîtresse génère chaque nuage de points.



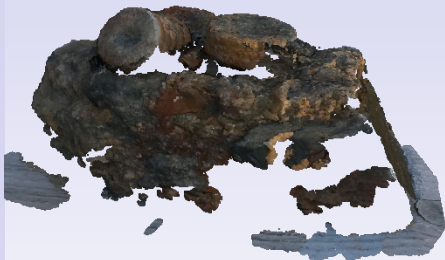
Assemblage de nuages

- Compenser les faces cachées : assembler les divers points de vues
- Une photographie maîtresse génère chaque nuage de points



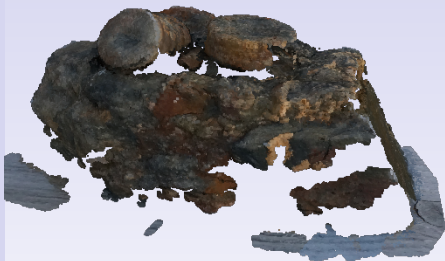
Assemblage de nuages

- Compenser les faces cachées : assembler les divers points
- Une photographie maîtresse génère chaque nuage de points



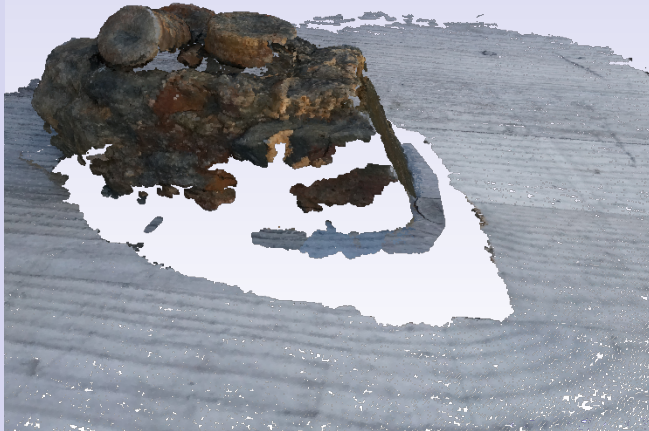
Assemblage de nuages

- Compenser les faces cachées : assembler les divers points
- Une photographie maîtresse génère chaque nuage de points



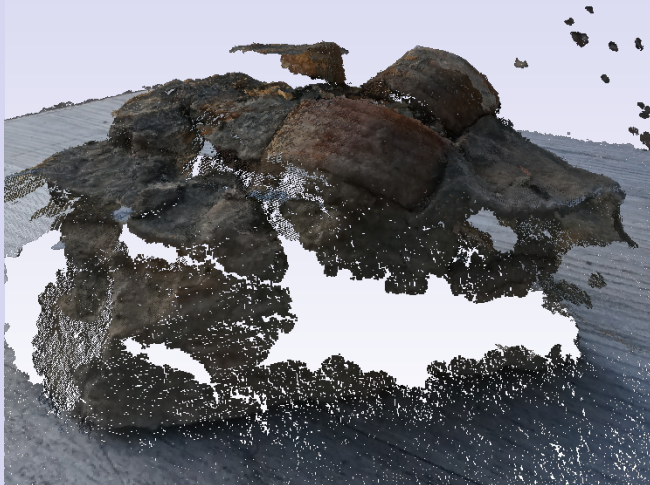
Assemblage de nuage

- Compenser les faces cachées : assembler les divers points
- Une photographie maîtresse génère chaque nuage de points



Assemblage de nuage

- Compenser les faces cachées : assembler les divers points
- Une photographie maîtresse génère chaque nuage de points



J.-M Friedt

Assemblage de nuages

```
mm3d Tapioca MulScale ".*JPG" 300 1000
mm3d Tapas RadialBasic ".*JPG" Out=Cal1
mm3d Tapas AutoCal ".*JPG" InCal=Cal1 Out=Ori1
mm3d AperiCloud ".*JPG" Ori1 Out=PosCams.ply

mm3d Malt GeomImage ".*JPG" Ori1 "Master=DSC00533.JPG" "DirMEC=Resultat533" UseTA=1 \
ZoomF=2 ZoomI=32 Purge=true AffineLast=false
mm3d Nuage2Ply "./Resultat533/NuageImProf_STD-MALT_Etape_7.xml" Attr="DSC00533.JPG" \
RatioAttrCarte=2

mm3d Malt GeomImage ".*JPG" Ori1 "Master=DSC00519.JPG" "DirMEC=Resultat519" UseTA=1 \
ZoomF=2 ZoomI=32 Purge=true AffineLast=false
mm3d Nuage2Ply "./Resultat519/NuageImProf_STD-MALT_Etape_7.xml" Attr="DSC00519.JPG" \
RatioAttrCarte=2

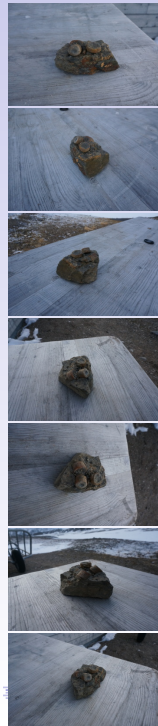
mm3d Malt GeomImage ".*JPG" Ori1 "Master=DSC00524.JPG" "DirMEC=Resultat524" UseTA=1 \
ZoomF=2 ZoomI=32 Purge=true AffineLast=false
mm3d Nuage2Ply "./Resultat524/NuageImProf_STD-MALT_Etape_7.xml" Attr="DSC00524.JPG" \
RatioAttrCarte=2

mm3d Malt GeomImage ".*JPG" Ori1 "Master=DSC00528.JPG" "DirMEC=Resultat528" UseTA=1 \
ZoomF=2 ZoomI=32 Purge=true AffineLast=false
mm3d Nuage2Ply "./Resultat528/NuageImProf_STD-MALT_Etape_7.xml" Attr="DSC00528.JPG" \
RatioAttrCarte=2

mm3d Malt GeomImage ".*JPG" Ori1 "Master=DSC00530.JPG" "DirMEC=Resultat530" UseTA=1 \
ZoomF=2 ZoomI=32 Purge=true AffineLast=false
mm3d Nuage2Ply "./Resultat530/NuageImProf_STD-MALT_Etape_7.xml" Attr="DSC00530.JPG" \
RatioAttrCarte=2

mm3d Malt GeomImage ".*JPG" Ori1 "Master=DSC00521.JPG" "DirMEC=Resultat521" UseTA=1 \
ZoomF=2 ZoomI=32 Purge=true AffineLast=false
mm3d Nuage2Ply "./Resultat521/NuageImProf_STD-MALT_Etape_7.xml" Attr="DSC00521.JPG" \
RatioAttrCarte=2

mm3d Malt GeomImage ".*JPG" Ori1 "Master=DSC00537.JPG" "DirMEC=Resultat537" UseTA=1 \
ZoomF=2 ZoomI=32 Purge=true AffineLast=false
mm3d Nuage2Ply "./Resultat537/NuageImProf_STD-MALT_Etape_7.xml" Attr="DSC00537.JPG" \
RatioAttrCarte=2
```

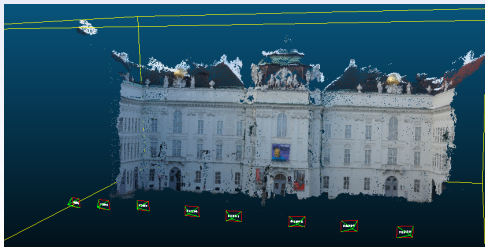


Outils de visualisation

- Meshlab (meshlab.sourceforge.net)
Léger et rapide, intuitif après un peu de prise en main, exporte dans de nombreux formats (STL, ASCII, VRML ...)



- Cloudcompare (www.danielgm.net/cc/), permet la manipulation de nuages telles que fusion, comparaison (distance), statistiques



Du convexe au concave

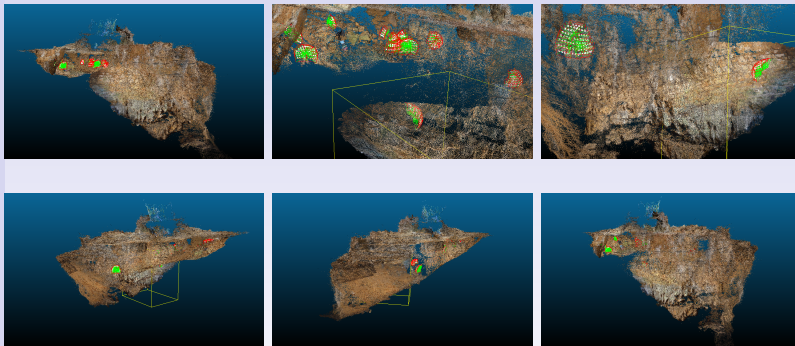
Cartographie d'une cavité sous-terrainne (L. Furfaro)



Difficultés expérimentales : illumination homogène, éviter les ombres, maintenir les optiques propres, géoréférencement ?

Du convexe au concave

Cartographie d'une cavité sous-terrainne (L. Furfaro)



Difficultés expérimentales : illumination homogène, éviter les ombres, maintenir les optiques propres, géoréférencement ?

Géoréférencement

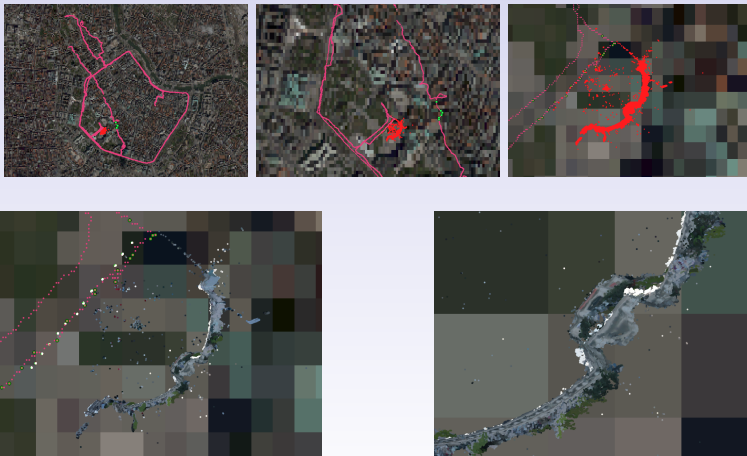
- Positionner chaque photographie par GPS $\Rightarrow$ position absolue dans le référentiel terrestre
- Problème de l'incertitude des points (altitude)
- Problème de la résolution (inutile de préciser dans le calcul qu'on est à 45°N)
- Changement de référentiel géographique (sphérique $\rightarrow$ projeté)

```
mm3d OriConvert OriTxtInFile position.utm33cutflat Nav-Brut-RTL MTD1=1 \  
      NameCple=FileImagesNeighbour.xml CalcV=1 ImC=P1040871.JPG NbImC=25  
  
mm3d Tapioca MulScale ".*JPG" 300 1500  
mm3d Tapas RadialStd ".*JPG" Out=Cal  
mm3d Tapas AutoCal ".*JPG" InCal=Cal Out=All-Rel  
  
CenterBascule ".*JPG" All-Rel Nav-Brut-RTL jmGPS # CalcV=1  
  
mm3d Apericloud ".*JPG" jmGPS Out=PosCams_GPS.ply  
mm3d Malt GeomImage ".*JPG" jmGPS Master=DSC00850.JPG DirMEC=Result1GPS \  
      UseTA=1 ZoomF=4 ZoomI=32 Purge=true AffineLast=false HrOr=0 LrOr=0 \  
      Regul=0.005 MasqIm=Masq DefCor=0.01  
mm3d Nuage2Ply Result1GPS/NuageImProf_STD-MALT_Etape_5.xml \  
      Attr=./DSC00850.JPG RatioAttrCarte=4
```

Noter l'orientation jmGPS au lieu de All-Rel

Géoréférencement

Étapes de transformation des coordonnées (QGis, GNU/Octave et vi) :
WGS84 (sphérique) $\rightarrow$ UTM⁹ (cartésienne) $\rightarrow$ UTM tronqué



Géoréférencement

EXIF+NMEA : association avec chaque photographie par date de prise de vue (à la seconde près, étallonné avant le voyage)

```
$ exiftool DSC00860.JPG | grep rigi
```

```
Date/Time Original      : 2014:10:31 08:19:41
```

et dans l'enregistrement NMEA¹⁰

```
$GPGGA,061939.000,4812.403,N,01621.875,E,0,00,0.0,226.489,M,0.0,M,,*6C
```

```
$GPRMC,061940.000,V,4812.403,N,01621.877,E,0.00,0.00,311014,,*1C
```

```
$GPGGA,061940.000,4812.403,N,01621.877,E,0,00,0.0,226.471,M,0.0,M,,*67
```

```
$GPRMC,061941.000,V,4812.404,N,01621.878,E,0.00,0.00,311014,,*15
```

```
$GPGGA,061941.000,4812.404,N,01621.878,E,0,00,0.0,226.469,M,0.0,M,,*67
```

qui s'automatise par¹¹

```
$ ./gphotosync.pl -d ~/141031_vienna/ -n ~/141031_vienna.nmea -t -7200
```

```
---> DSC00860.JPG ==> 01621.877 4812.403 226.471
```

```
---> DSC00872.JPG ==> 01621.814 4812.375 228.127
```

```
...
```

d'où le fichier de configuration

Y X Z ID

48.206716666666667 16.364616666666667 226.471 DSC00860.JPG

48.20625 16.363566666666667 228.127 DSC00872.JPG

48.206533333333333 16.364383333333334 227.015 DSC00857.JPG

10. <http://projetaurore.assos.univ-fcomte.fr/gps/>

11. <http://sequanux.org/pipermail/gps/2007-October/000068.html>

et <http://jg.xeme.fr/gphotosync.tar.gz>

Géoréférencement

EXIF+NMEA : association avec chaque photographie par date de prise de vue (à la seconde près, étallonné avant le voyage)

Y X Z ID

48.206716666666667 16.364616666666667 226.471 DSC00860.JPG

48.20625 16.363566666666667 228.127 DSC00872.JPG

48.206533333333333 16.364383333333334 227.015 DSC00857.JPG

donne dans QGis (Save As)

X Y Z N

601385.882544370484538 5340176.569085125811398 226.471 DSC00860.JPG

601308.793607970932499 5340123.315838330425322 228.127 DSC00872.JPG

601368.908953945152462 5340155.88439323194325 227.015 DSC00857.JPG

qui se tronque en

#F=X Y Z N

85.882544370484538 76.569085125811398 226.471 DSC00860.JPG

08.793607970932499 23.315838330425322 228.127 DSC00872.JPG

68.908953945152462 55.88439323194325 227.015 DSC00857.JPG

et variations en Z éliminées (grosse incertitude du GPS)

#F=X Y Z N

85.882544370484538 76.569085125811398 227. DSC00860.JPG

08.793607970932499 23.315838330425322 227. DSC00872.JPG

68.908953945152462 55.88439323194325 227. DSC00857.JPG

Alternatives au géoréférencement

Trois approches :

- 1 des points connus au sol et visibles sur plusieurs images (GCP)
⇒ fournir un fichier contenant (x_i, y_i) sur chaque image i de chaque GCP de référence (X, Y, Z) , ou
- 2 la position de la caméra au moment de la prise de vue (vue précédemment), ou
- 3 *a posteriori*, assigner des coordonnées absolues à des points connus dans CloudCompare (peu précis, mais parfois on n'a pas le choix!) :
Tools → Registration → Align

MicMac fournit sa propre estimation de la position des caméras ⇒ les deux approches (nos mesures et MicMac) sont entachées d'erreur.

Outil de pondération : Campari :

```
mm3d OriConvert OriTxtInFile position_UTM33_cut_Zcst.csv jmfgps  
mm3d CenterBascule "(1[0-9]|2[0-4]).jpg" Ori-Init1 Ori-jmfgps Abs0  
mm3d Campari "(1[0-9]|2[0-4]).jpg" Abs0 Abs1 EmGPS=[jmfgps,0.1]
```

puis utiliser l'orientation Abs1 dans Malt.

Conclusion

SfM

- 1 exploitation quantitative de photographies numériques représentant divers points de vue d'une même scène ou d'un même objet ...
- 2 pour une analyse qualitative ou quantitative des dimensions et topographie,
- 3 accessibles sans matériel dédié autre qu'un instrument de prises de vues numériques (webcam, téléphone portable, APN).

MicMac

- 1 implémentation des algorithmes nécessaires à la mise en œuvre de SfM,
- 2 identification des propriétés optiques de l'instrument de prise de vue, localisation des appareils photos, nuage grossier puis dense de points,
- 3 géoréférencement des scènes ou points de contrôle au sol.

TODO

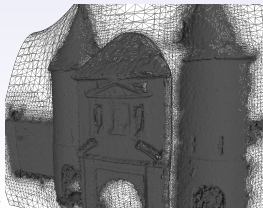
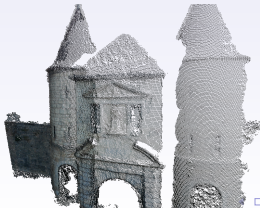
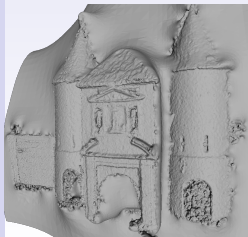
- Du virtuel au réel : <http://www.cs.jhu.edu/~misha/Code/PoissonRecon> pour passer d'un nuage à une surface. Format STL pour les imprimantes 3D supporté par Meshlab (testé sur un MNT)

```
mm3d Nuage2Ply Result2/NuageImProf_STD-MALT_Etape_6.xml Normale=5 \  
Attr=20140531_210626.jpg
```

```
mm3d MergePly *.ply Out=merged.ply Normale=1
```

```
PoissonRecon --in merged.ply --out result --depth 10
```

- Parfois ça marche très bien (Vienne, caverne), et souvent catastrophe (façade du chateau de Versailles, Tour du Fort Griffon) : la médiocrité de l'appareil de prise de vues (*smartphone*) favorise les chances d'échec. Un "vrai" appareil photo couplé à un enregistreur GPS donne les meilleurs résultats. **Tester sur place** si possible.



TODO

- Du virtuel au réel : <http://www.cs.jhu.edu/~misha/Code/PoissonRecon> pour passer d'un nuage à une surface. Format STL pour les imprimantes 3D supporté par Meshlab (testé sur un MNT)

```
mm3d Nuage2Ply Result2/NuageImProf_STD-MALT_Etape_6.xml Normale=5 \  
    Attr=20140531_210626.jpg  
mm3d MergePly *.ply Out=merged.ply Normale=1  
PoissonRecon --in merged.ply --out result --depth 10
```

- Parfois ça marche très bien (Vienne, caverne), et souvent catastrophe (façade du chateau de Versailles, Tour du Fort Griffon) : la médiocrité de l'appareil de prise de vues (*smartphone*) favorise les chances d'échec. Un "vrai" appareil photo couplé à un enregistreur GPS donne les meilleurs résultats. **Tester sur place** si possible.

Biblio : <http://forum-micmac.forumprod.com/>

M. Kasser & Y. Egels, *Digital Photogrammetry*, Taylor & Francis (2002)