

Un drone au Spitsberg : de la photographie aérienne au modèle numérique de terrain

J.-M Friedt, É. Bernard, F. Tolle, A. Prokop, C. Marlin, M. Griselin

FEMTO-ST Time & Frequency, ThéMA, BOKU, IDES

`jmfriedt@femto-st.fr`

transparents et références disponibles à

`http://jmfriedt.free.fr/`

25 février 2016

Spitsberg : 2007–2015

Contexte

Modèle
numérique
d'élévation

- 3 projets financés par l'ANR, soumis et gérés par ThéMA (Mégevand)
- 1 Hydro-Sensor Flows : bilan hydrologique et glaciologique du glacier Austre Lovenbréen
 - 2 Cryo-Sensors : contribution hydrologique et état thermique de la moraine, continuité des mesures sur le glacier
 - 3 PRISM (JC) : contribution des versants (instables) au bilan du glacier



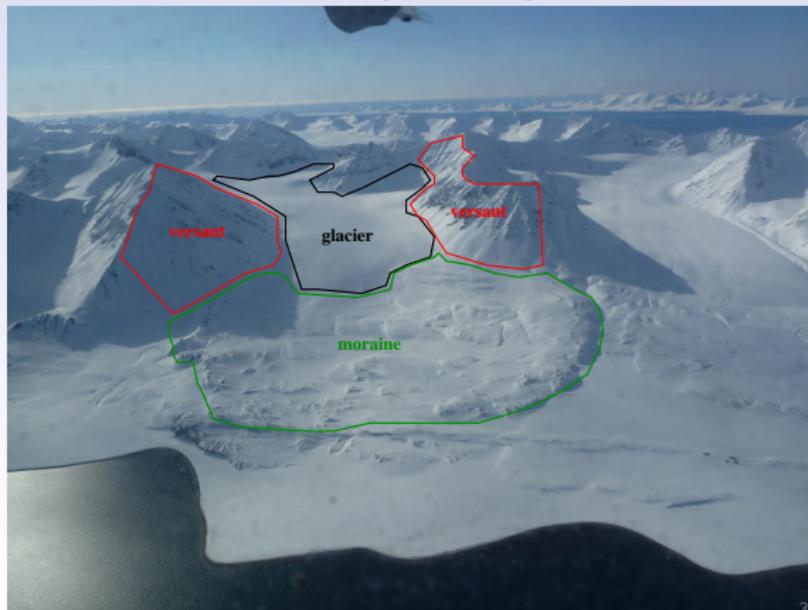
Spitsberg : 2007–2015

Contexte

Modèle
numérique
d'élévation

3 projets financés par l'ANR, soumis et gérés par ThéMA (Mégevand)

- 1 Hydro-Sensor Flows : bilan hydrologique et glaciologique du glacier Austre Lovenbréen
- 2 Cryo-Sensors : contribution hydrologique et état thermique de la moraine, continuité des mesures sur le glacier
- 3 PRISM (JC) : contribution des versants (instables) au bilan du glacier



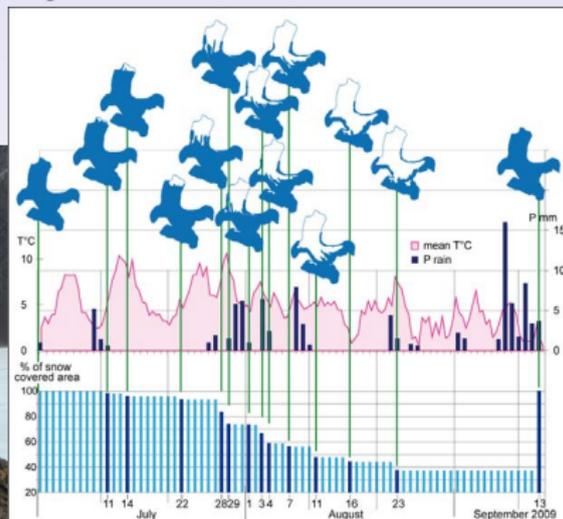
Spitsberg : 2007–2015

Contexte

Modèle numérique d'élevation

Constats :

- 1 contribution FEMTO : appareils photo automatiques pour 3 prises de vue/jour pour observer les évènements brefs (crue, pluie) qui affectent significativement le bilan annuel du glacier (2D),
- 2 le glacier est une surface homogène où l'interpolation est valide
- 3 la moraine est une région dans laquelle la topographie de surface est de l'ordre de grandeur des accumulations de neige et de glace
⇒ pas d'interpolation possible à grande échelle



Spitsberg : 2007–2015

Contexte

Modèle numérique d'élévation

Constats :

- 1 contribution FEMTO : appareils photo automatiques pour 3 prises de vue/jour pour observer les évènements brefs (crue, pluie) qui affectent significativement le bilan annuel du glacier (**2D**),
- 2 le glacier est une surface homogène où l'interpolation est valide
- 3 la moraine est une région dans laquelle la topographie de surface est de l'ordre de grandeur des accumulations de neige et de glace
⇒ pas d'interpolation possible à grande échelle
- 4 le modèle numérique de terrain (*Digital Elevation Model* – DEM) est une donnée de base pour tout traitement géographique de l'information (**3D**)
- 5 sources de DEM : photographies stéréoscopiques (avion, satellite) – problème de la couverture nuageuse en été, de la nuit polaire en hiver, de l'absence de structure au sol pour calculer l'intercorrélacion entre images
- 6 LiDAR est considérée comme méthode de référence :
 - aéroporté (problème de géoréférencement de la source mobile – fusion IMU/GPS)
 - au sol : connaissance de la position de la source et de points de contrôle au sol (GCP)

LiDAR terrestre v.s photogrammétrie

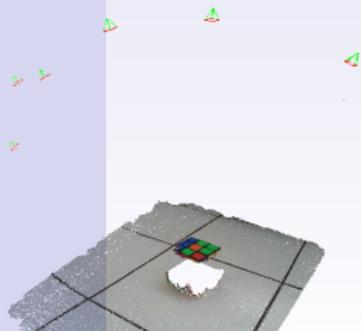
LiDAR :

- Instrument coûteux, fragile (télescope) et lourd (générateur, essence)
- Prise de vue depuis le sol : adapté aux versants, peu adapté à la moraine (zones d'ombre)
- LiDAR aérien excessivement coûteux \Rightarrow un seul jeu de données fourni par SPRI (Cambridge)
- **MAIS** ne nécessite pas d'illumination particulière (méthode active)



Photogrammétrie :

- prises de vues d'un même objet depuis divers points de vue
- reconstruction tri-dimensionnelle de l'objet sous hypothèse d'un recouvrement suffisant des photographies
- **MAIS** sensible aux ombres portées
- **MAIS** nécessite des structures sur les photographies pour effectuer l'intercorrélation (neige ?)
- **MAIS** soumis au même problème de zones cachées si les photos sont prises depuis le sol



LiDAR terrestre v.s photogrammétrie

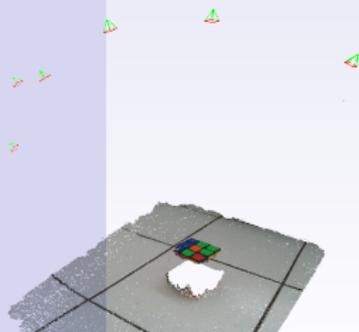
LiDAR :

- Instrument coûteux, fragile (télescope) et lourd (générateur, essence)
- Prise de vue depuis le sol : adapté aux versants, peu adapté à la moraine (zones d'ombre)
- LiDAR aérien excessivement coûteux \Rightarrow un seul jeu de données fourni par SPRI (Cambridge)
- **MAIS** ne nécessite pas d'illumination particulière (méthode active)



Photogrammétrie :

- prises de vues d'un même objet depuis divers points de vue
- reconstruction tri-dimensionnelle de l'objet sous hypothèse d'un recouvrement suffisant des photographies
- **MAIS** sensible aux ombres portées
- **MAIS** nécessite des structures sur les photographies pour effectuer l'intercorrélation (neige ?)
- **MAIS** soumis au même problème de zones cachées si les photos sont prises depuis le sol



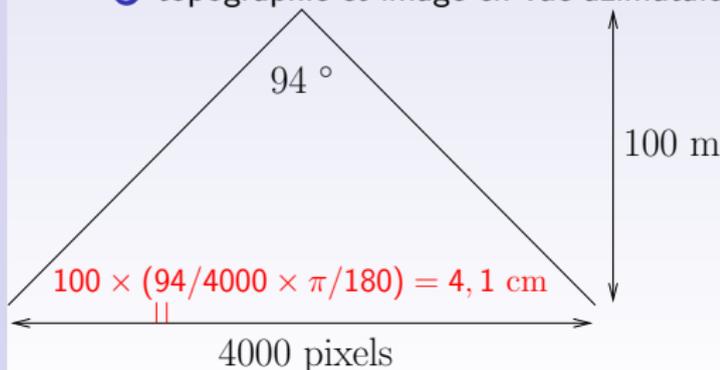
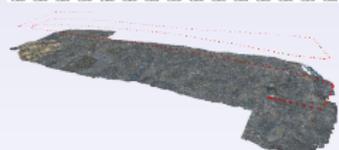
Exploitation d'images aériennes pour la photogrammétrie

Contexte

Modèle numérique d'élévation

Objectif : générer un modèle numérique de terrain au moins 2 fois/an avec résolution décimétrique couvrant la moraine.

- 1 Acquisition des images aériennes
- 2 Traitement MicMac (IGN)¹ :
 - 1 identifier les points homologues
 - 2 identifier les propriétés optiques de l'objectif
 - 3 identifier les positions de la caméra
 - 4 nuage de points dense colorisé
 - 5 topographie et image en vue azimutale



¹ <http://logiciels.ign.fr/?Telechargement>, 20

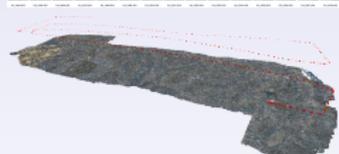
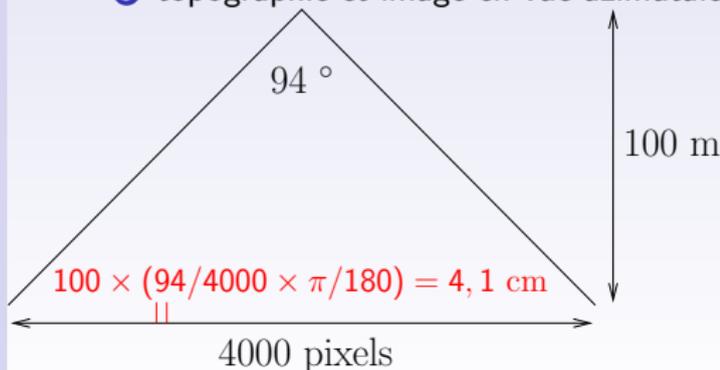
Exploitation d'images aériennes pour la photogrammétrie

Contexte

Modèle
numérique
d'élévation

Objectif : générer un modèle numérique de terrain au moins 2 fois/an avec résolution décimétrique couvrant la moraine.

- 1 Acquisition des images aériennes
- 2 Traitement MicMac (IGN)¹ :
 - 1 identifier les points homologues
 - 2 identifier les propriétés optiques de l'objectif
 - 3 identifier les positions de la caméra
 - 4 nuage de points dense colorisé
 - 5 topographie et image en vue azimutale

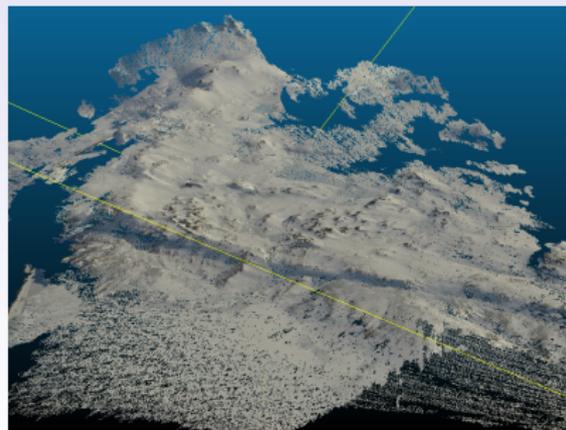


¹ <http://logiciels.ign.fr/?Telechargement>, 20

Tentative de KAP (*Kite Aerial Photography*) en Avril 2015 :

- soumis aux aléas de la météo (ou pas ...)
- absence de géoréférencement des images (pas de GPS embarqué)
- points de contrôle au sol difficiles à identifier avec forte couverture neigeuse (Avril 2015).

⇒ Tests sur la capacité à traiter des photographies aériennes en conditions de couverture neigeuse : fonctionne sur la moraine, mais pas sur le glacier.



Acquisition d'images par drone pour la photogrammétrie

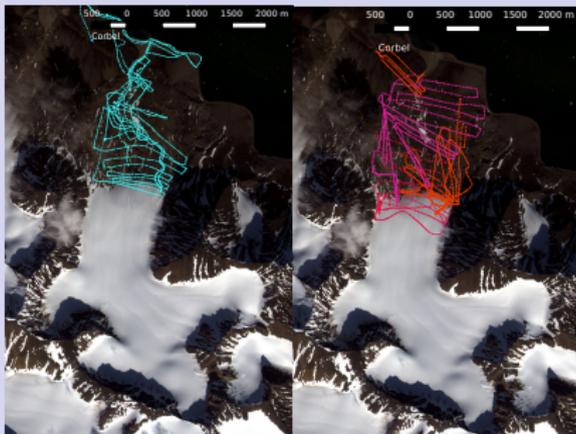
- Drone faible coût commercialement disponible (DJI Phantom 3 Professional < 2000 euros + iPad)
- 20 min d'autonomie de vol (≥ 0 °C)
- vitesse horizontale ≤ 10 m/s \Rightarrow 1 photo/s=90% de recouvrement puisque $2250 \times 4,1$ cm=92 m
- élévation ≤ 120 m
- liaison wifi vidéo ≤ 1500 m
- léger (≤ 5 kg), rapide à déployer, mais pilotage et prises de vues manuelles
- orientation azimutale de la caméra
- récepteur GPS/Glonass + géoréférencement des photos



Photos géoréférencées

Contexte

Modèle
numérique
d'élévation



```
for i in *.JPG; do echo $i ; done > noms
for i in *.JPG; do echo -n $i ; exiftool $i | grep atitu \
| grep -v R; done > latitude
for i in *.JPG; do echo -n $i ; exiftool $i | grep ngitu \
| grep -v R; done > longitude
for i in *.JPG; do echo -n $i ; exiftool $i | grep Altit \
| grep -v R; done > altitude
cat latitude | cut -c 47-100 | cut -d\ -f1,3,4 \
| sed 's///g' | sed 's"/"/g' > latitude.txt
cat longitude | cut -c 47-100 | cut -d\ -f1,3,4 \
| sed 's///g' | sed 's"/"/g' > longitude.txt
cat altitude | cut -c 47- | cut -d\ -f1 > altitude.txt
```

Conversion degrés-min-sec en degrés décimaux sous GNU/Octave

```
load latitude.txt
l=latitude(:,1)+latitude(:,2)/60+latitude(:,3)/3600;
save -text latitude.dec l
load longitude.txt
l=longitude(:,1)+longitude(:,2)/60+longitude(:,3)/3600;
save -text longitude.dec l
```

Finalement, conversion de WGS84 en UTM33N sous QGis

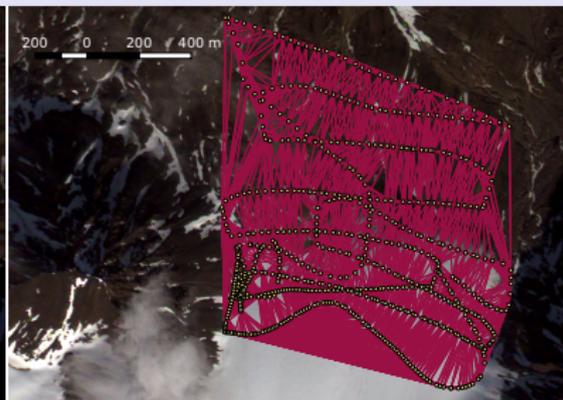
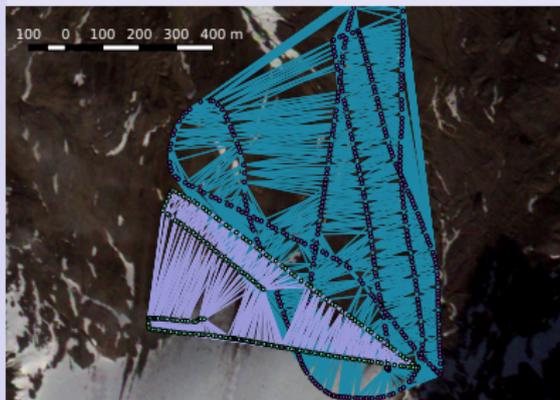
```
paste latitude.dec longitude.dec altitude.txt noms > pour_qgis.txt
conversion WGS84-UTM33N
cat positions_31N.csv | cut -d, -f1-2,5,6 | sed 's/,/ /g' | sed 's/^43/g' | sed 's/ 875/ /g' > positions_31N.final
#F=X Y Z N
```

Points homologues – appariements de photos

Contexte

Modèle
numérique
d'élévation

- 1 20 minutes de vol \simeq 1200 photos $\Rightarrow C_2^{1200} = 719400$ paires possibles.
- 2 utilisation de la position GPS des photos pour n'analyser que les plus proches voisines. Pour 480 photos, 7633 paires au lieu des 114960 paires possibles.

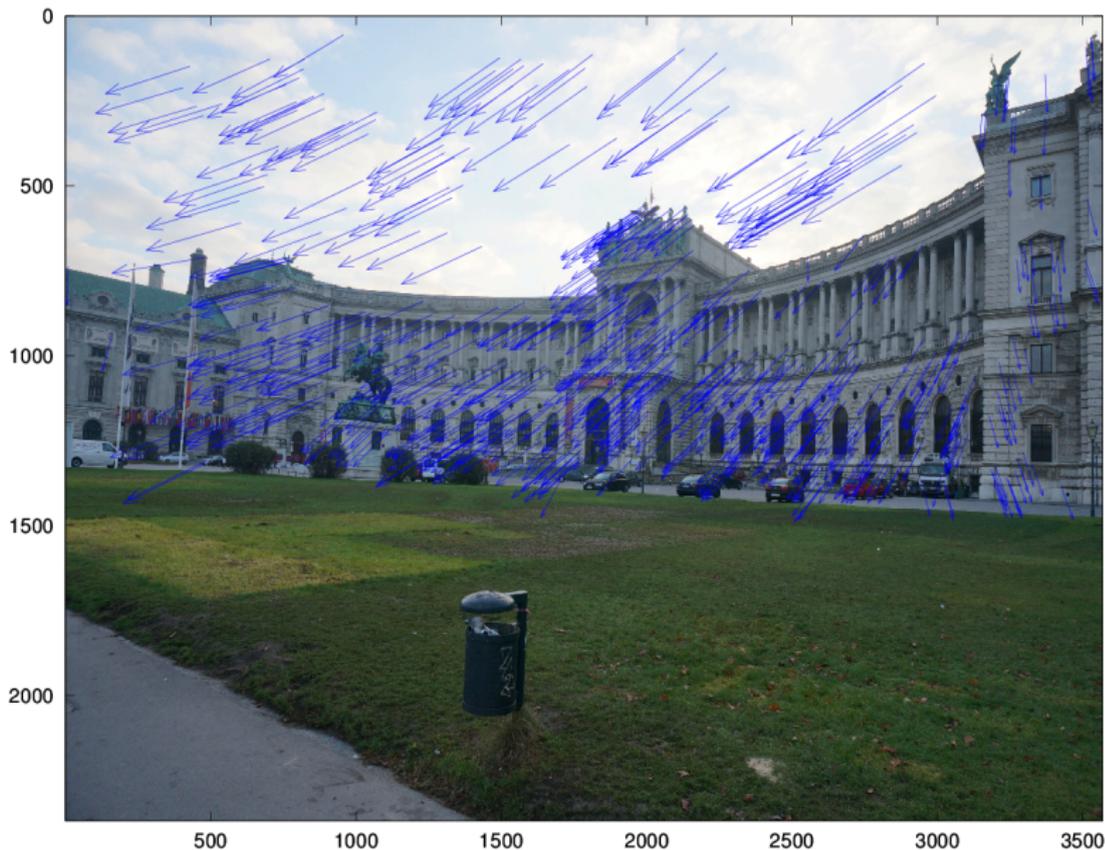


```
mm3d OriConvert OriTxtInFile positions_31N.final jmfgps MTD1=1 NameCple=FileImagesNeighbour.xml CalcV=1 \  
ImC=DJI_0435.JPG NbImC=25  
mm3d Tapioca File "FileImagesNeighbour.xml" -1
```

Points homologues (SIFT)

Contexte

Modèle
numérique
d'élévation



Points homologues (SIFT)

Contexte

Modèle
numérique
d'élévation



Modèle d'objectif

Contexte

Modèle
numérique
d'élévation

- 1 Un sous-ensemble de 10-20 photos est sélectionné pour identifier les propriétés des objectifs,
- 2 idéalement avec du relief ("un coin est idéal")¹,
- 3 divers modèles, généralement RadiaStd (RadialBasic est trop mauvais)
- 4 étape critique : convergence du modèle nécessite parfois de choisir des groupes d'images différents
- 5 Une fois le modèle d'objectif identifié, positionnement de tous les points de prises de vues
- 6 Finalement, passage d'un référentiel arbitraire au référentiel absolu (géographique).

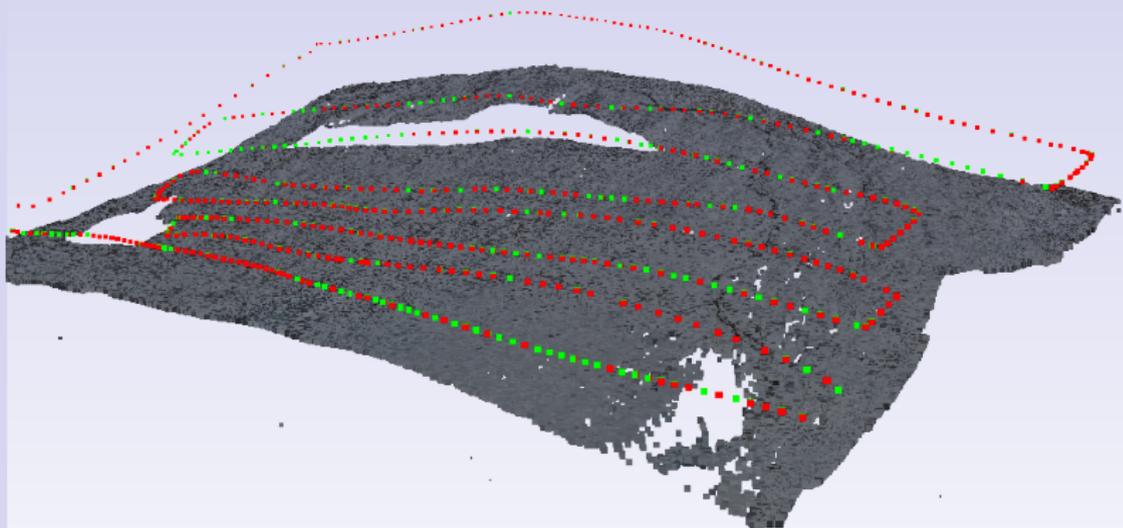
```
mm3d Tapas RadialStd "$PATC" Out=Cal  
mm3d Tapas AutoCal "$P" InCal=Cal Out=Init  
CenterBascule "$P" Init jmfgps tmp
```

1. J.-M Friedt, *Reconstruction de structures tridimensionnelles par photographies : le logiciel MicMac*, OpenSilicium 12 (Sept-Oct-Nov 2014) à http://jmfriedt.free.fr/lm_sfm.pdf

Modèle grossier – nuage de point avec caméra

Contexte

Modèle
numérique
d'élévation



```
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  
...  
mm3d AperiCloud "$P" tmp
```

Modèle fin – nuage de point dense et DEM

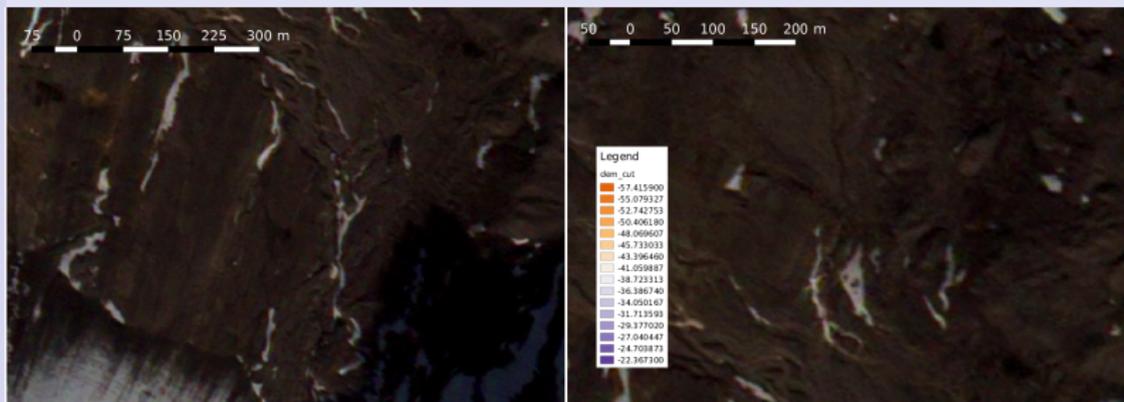
Contexte

Modèle
numérique
d'élévation

Résultat du traitement : topographie

```
<OrigineAlti>9.675</OrigineAlti>
```

```
<ResolutionAlti>0.075</ResolutionAlti>
```



```
mm3d Malt Ortho "$P" tmp "DirMEC=Resultats" UseTA=1 ZoomF=2 ZoomI=32 Purge=true AffineLast=false
```

```
mm3d Tawny Ortho-Resultats/
```

```
Nuage2Ply Resultats/NuageImProf_STD-MALT_Etape_7.xml Attr="Ortho-Resultats/Ortho-Eg-Test-Redr.tif"
```

Modèle fin – nuage de point dense et DEM

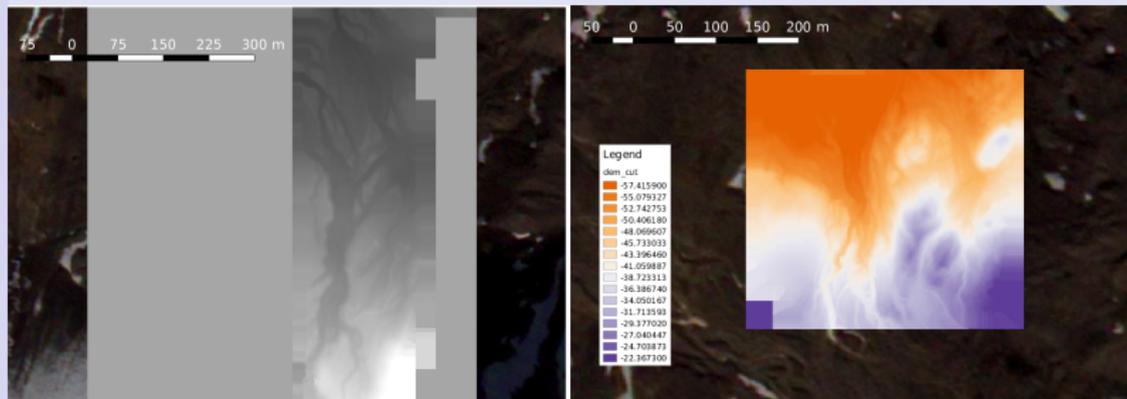
Contexte

Modèle numérique d'élévation

Résultat du traitement : topographie

```
<OrigineAlti>9.675</OrigineAlti>
```

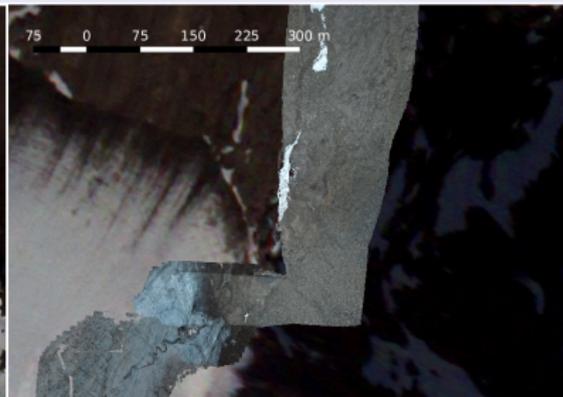
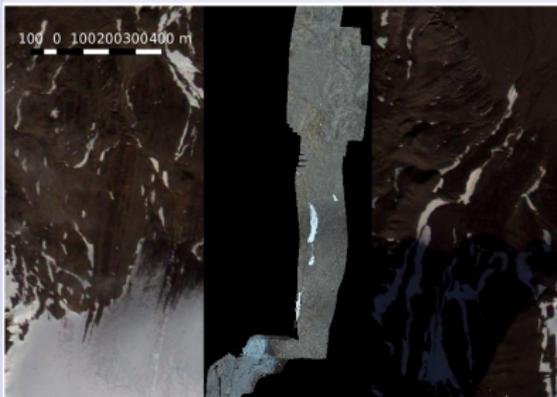
```
<ResolutionAlti>0.075</ResolutionAlti>
```



```
mm3d Malt Ortho "$P" tmp "DirMEC=Resultats" UseTA=1 ZoomF=2 ZoomI=32 Purge=true AffineLast=false  
mm3d Tawny Ortho-Resultats/  
Nuage2Ply Resultats/NuageImProf_STD-MALT_Etape_7.xml Attr="Ortho-Resultats/Ortho-Eg-Test-Redr.tif"
```

Orthophoto

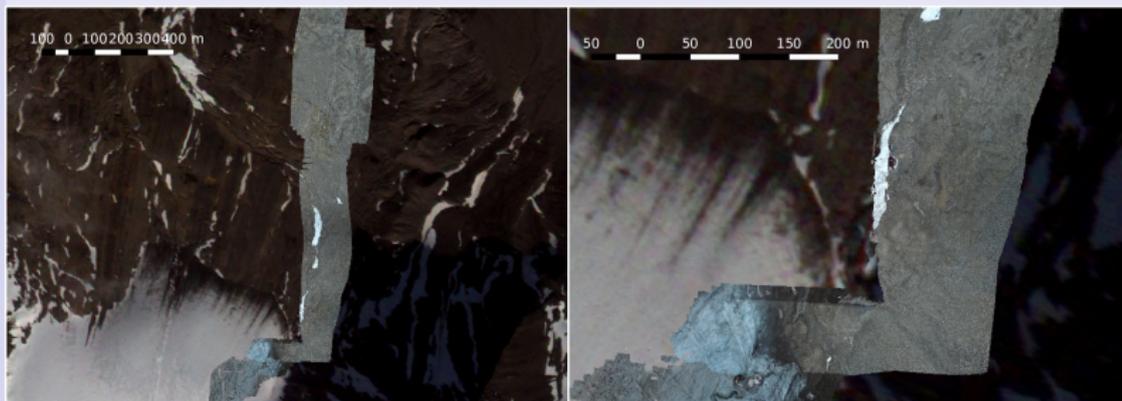
- satellite : 30 cm/pixel au mieux (GeoEye, Pleiades, Worldview) – 80 cm (Ikonos, QuickBird)²
- Formosat échantillonné à 5 m/pixel
- sources gratuites : Landsat (30 m/pixel), previews DigitalGlobe (15 m/pixel)
- 600 m/4 cm=15000 pixels ! \Rightarrow données difficiles à manipuler



2. limite de diffraction : $1,22 \cdot H \cdot \frac{\lambda}{D} = 5,5 \text{ cm}$ à $H = 200 \text{ km}$

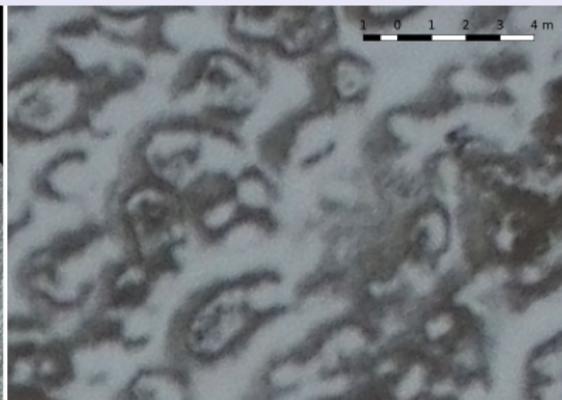
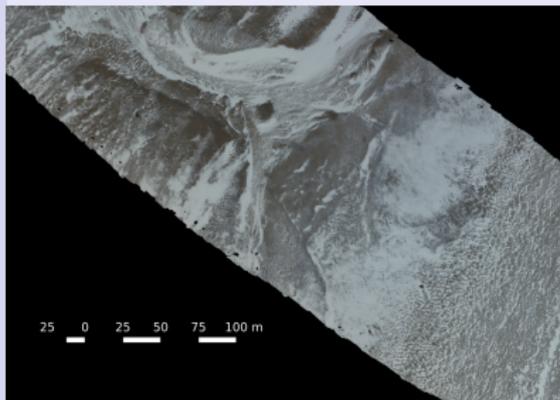
Orthophoto

- satellite : 30 cm/pixel au mieux (GeoEye, Pleiades, Worldview) – 80 cm (Ikonos, QuickBird) ²
- Formosat échantillonné à 5 m/pixel
- sources gratuites : Landsat (30 m/pixel), previews DigitalGlobe (15 m/pixel)
- 600 m/4 cm=15000 pixels ! ⇒ données difficiles à manipuler



Orthophoto

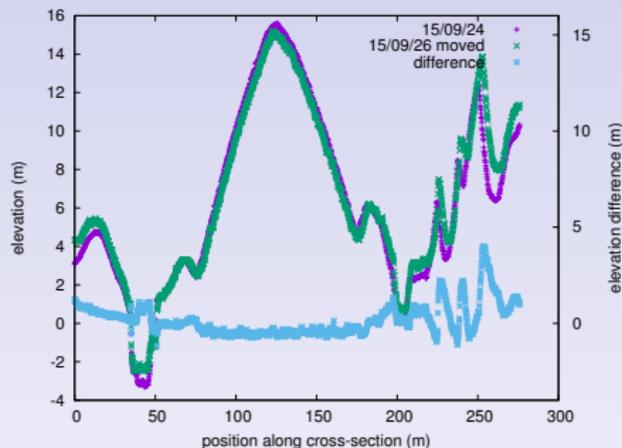
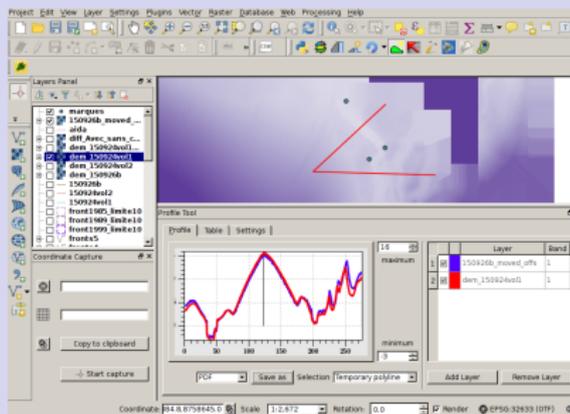
- satellite : 30 cm/pixel au mieux (GeoEye, Pleiades, Worldview) – 80 cm (Ikonos, QuickBird)
- Formosat échantillonné à 5 m/pixel
- sources gratuites : Landsat (30 m/pixel), previews DigitalGlobe (15 m/pixel)
- 600 m/4 cm=15000 pixels ! \Rightarrow données difficiles à manipuler



Prises de vues à 2 jours d'intervalle

Contexte

Modèle numérique d'élévation



- Outil profil de QGIS pour obtenir des sections de DEM
- Canyon de profondeur estimée à 3 m nouvellement creusé pendant l'été (dynamique de la moraine)
- $\sigma_{86..168} m \approx 12 \text{ cm sur } 82 \text{ m}$

... à 1 semaine d'intervalle

Contexte

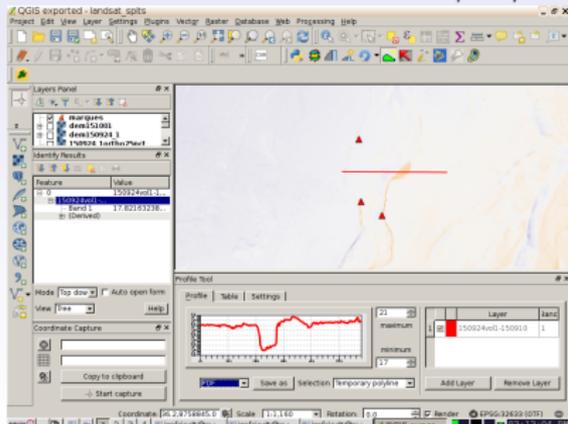
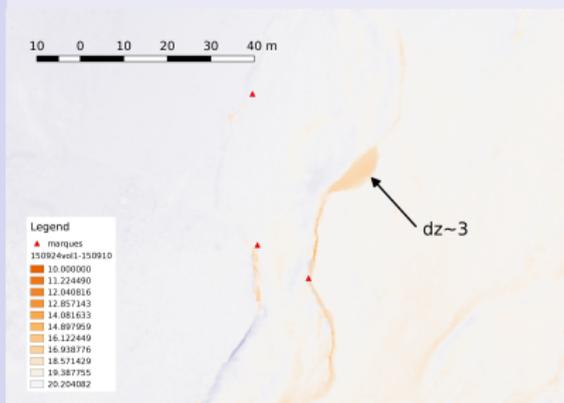
Modèle numérique d'élévation



15/09/24



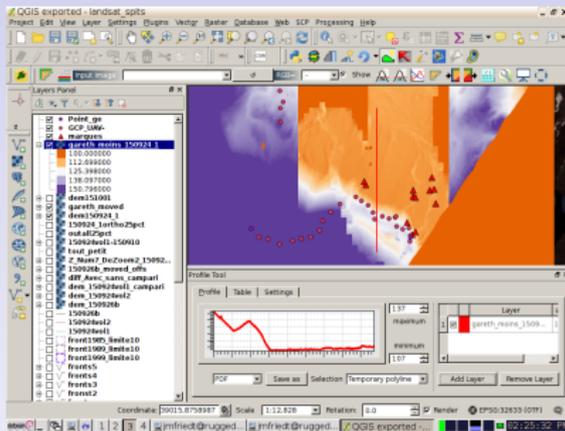
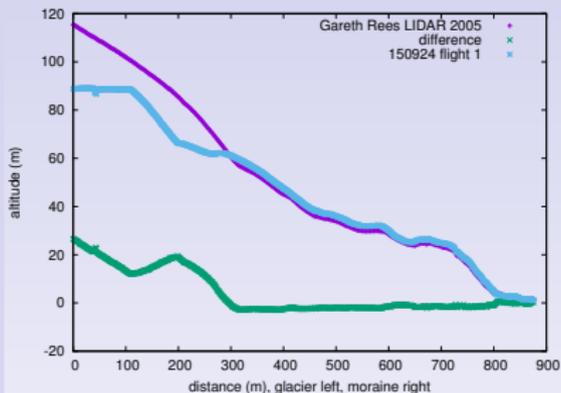
15/10/01



Comparaison long-terme

Contexte

Modèle numérique d'élévation

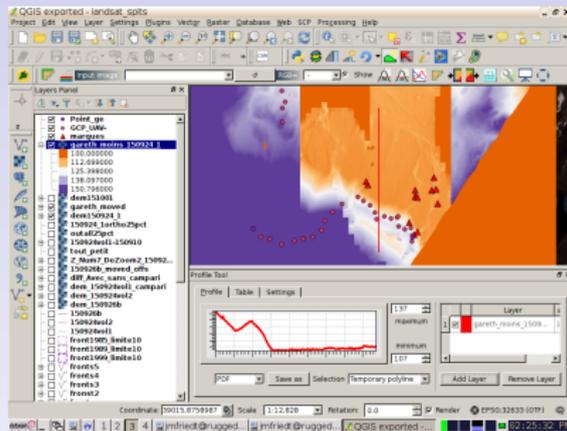
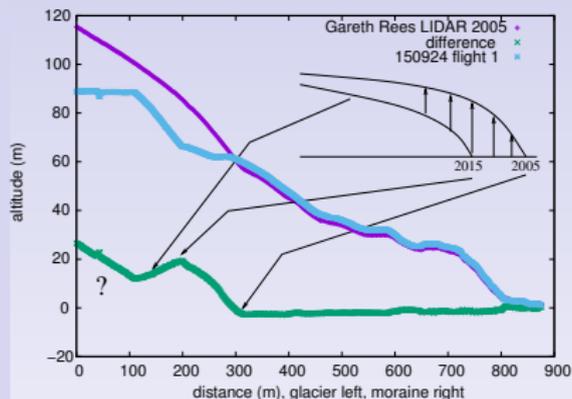


- Campagne de LIDAR aéroporté mené par G. Rees (SPRI) en 2005,
- la moraine est couverte par cette mesure, *pas le glacier*,
- soustraction des DEM (à un biais près) donne une excellent reproductibilité dans la moraine ...
- ... qui donne confiance sur la mesure de retrait du glacier (100 m horizontaux en 10 ans, 20 m verticaux)

Comparaison long-terme

Contexte

Modèle numérique d'élévation



- Campagne de LIDAR aéroporté mené par G. Rees (SPRI) en 2005,
- la moraine est couverte par cette mesure, *pas le glacier*,
- soustraction des DEM (à un biais près) donne une excellent reproductibilité dans la moraine ...
- ... qui donne confiance sur la mesure de retrait du glacier (100 m horizontaux en 10 ans, 20 m verticaux)

Conclusion

Contexte

Modèle
numérique
d'élévation

- Adéquation du microdrone à la cartographie de la moraine d'un glacier polaire : autonomie, portée de la liaison vidéo et résolution suffisantes,
- traitement efficace sur quelques centaines de photographies couvrant des segments de la moraine,
- obtention du modèle numérique d'élévation.
- Résolution : 5-10 cm.
- Exactitude : \simeq qqques décimètres en élévation après recallage, 5-10 m en latéral avant recallage sur GCP²

Cependant,

- nécessité de points de contrôle au sol pour recaller le modèle (GPS n'a pas l'exactitude suffisante),
- couvrir l'ensemble de la moraine est difficile – jeu de données énorme.
- Vols successifs – recoller les DEM n'est pas simple

2. J.-M Friedt, É. Bernard, F. Tolle, *Utilisation de Micmac pour la génération de modèle numérique d'élévation par traitement d'images acquises par microdrone*, GNU/Linux Magazine France (Mars 2016)

Estimation de trajectoire de drone

Contexte

Modèle
numérique
d'élévation

Problème inverse : connaissant les photographies, peut-on remonter à la trajectoire du drone ?

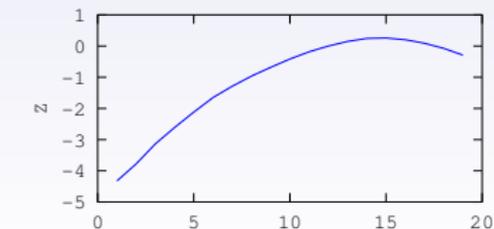
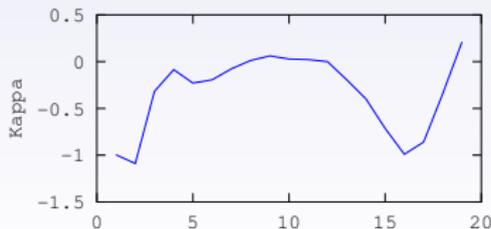
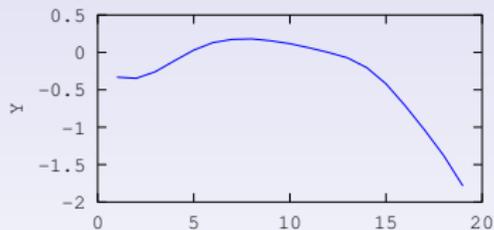
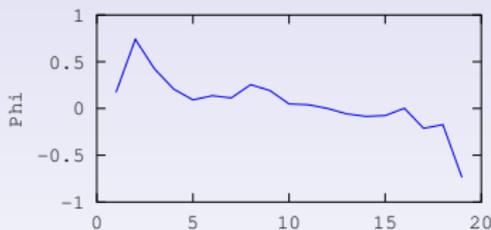
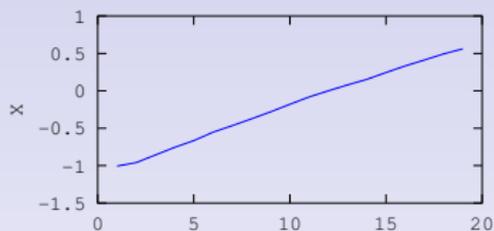
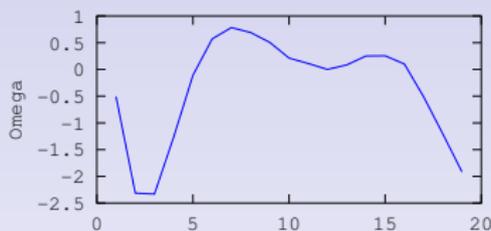


Estimation de trajectoire de drone

Contexte

Modèle numérique d'élévation

Problème inverse : connaissant les photographies, peut-on remonter à la trajectoire du drone ?



Contexte

Modèle
numérique
d'élévation

