# Gestion d'Informations Spatialisées : outils libres pour l'exploitation de données géolocalisées – au-delà des aspects géographiques

J.-M Friedt[1], É. Bernard[2], F. Tolle[2], D. Laffly[3]
jmfriedt@femto-st.fr, http://jmfriedt.free.fr
[1] FEMTO-ST, UMR CNRS 6174, Univ. Franche-Comté, Besançon, France
[2] ThéMA, UMR CNRS 6049, Univ. Franche-Comté, Besançon, France
[3] GEODE, UMR CNRS 5602, Univ. Toulouse le Mirail, Toulouse, France

**RÉSUMÉ :** parmi les informations acquises par un système embarqué, la position de l'acquisition est de plus en plus facile à obtenir. Ainsi, ces données s'intègrent naturellement dans leur contexte géographique et la fusion des informations devient possible en tenant compte de l'environnement du capteur au moment de la mesure. Nous proposons des outils permettant de s'approprier ces méthodes de traitement sur des données scalaires ou matricielles, en intégrant d'une part des photographies numériques prises au sol dans leur contexte topographique pour une exploitation quantitative, et d'autre part en exploitant des séquences d'images d'un même objet observé de différents points de vue pour une reconstruction tridimensionnelle. L'utilisation des logiciels libres à ces fins favorise la maîtrise des méthodes de traitement par l'expérience, aucun matériel spécifique n'étant nécessaire et les bases de données topographiques accessibles gratuitement.
**Mots clés :** logiciel libre, information spatialisée, reconstruction 3D, QGis, GDAL, GRASS, MICMAC

## 1 Introduction

Parmi les informations acquises par des systèmes embarqués, la géolocalisation des données devient de plus en plus simple avec le déploiement des flottes de satellites pour le positionnement (GNSS – *Global Navigation Satellite Systems*) et la disponibilité de récepteurs à faible coût [1] intégrés dans de nombreux périphériques mobiles commercialisés au grand public. Par ailleurs, une vaste source de données géoréférencées est désormais disponible au travers des globes virtuels [1]. Dans ce contexte, nous allons proposer quelques outils libres permettant à chacun de s'approprier certaines techniques de gestion d'informations spatialisées (GIS), visant en particulier à exploiter quantitativement des données déjà disponibles et souvent archivées sans utilité apparente (notamment les photographies numériques et les flux de webcams). En particulier, nous nous proposons d'illustrer la pertinence de l'interaction possible des enseignements liés aux sciences pour l'ingénieur avec d'autres disciplines en s'en appropriant les problématiques et méthodes de travail.

Ainsi, le système numérique autonome d'enregistrement de données n'est plus considéré comme une œuvre complexe à vocation de démontrer la dextérité de son auteur, mais devient un outil potentiellement utile aux autres disciplines spécialisées dans la gestion de données spatialisées (géographie, géophysique). En particulier, des dispositifs très simples d'un point de vue électronique (un microcontrôleur équipé de ports sychrone et asynchrone pour faire le lien entre le flux RS232 d'un récepteur GPS et une carte mémoire communiquant par SPI [2]) peuvent répondre à un réel besoin. Sans entrer dans les détails de développements matériels, nombreux sont les périphériques des téléphones portables ou appareils photographiques numériques qui répondent aux besoins de sources de données exploitables dans le contexte qui nous intéresse ici.

Un point fascinant est la cohérence (ou la redondance) des problématiques entre disciplines. À des échelles certes différentes, les problèmes de résolution spatiale se retrouvent entre la microscopie à sonde locale et le positionnement des informations géoréférencées. Dans les deux cas, des mesures ponctuelles sont acquises par une sonde imparfaite pour être ensuite interpolées. Les éléments classiques de traitement d'image pour la vélocimétrie en mécanique des fluides se retrouvent dans les mesures d'écoulements de glaciers ou de glissements de terrains. De nombreuses méthodes de mesures géophysiques se contentent de sortir du laboratoire des méthodes d'analyse connues de la chimie analytique ou de la physique à des échelles nanométriques ou centimétriques (impédance électrique, résistivité, magnétisme).

Nous nous proposons dans cette présentation d'aborder deux problèmes de traitement d'image : dans un premier temps l'exploitation quantitative

1. par exemple http://www.lextronic.fr/P1399-recepteur-gps-oem-et-316.html

d'images prises au sol, en particulier en restituant les informations de relief qui sont perdues lors de la projection sur le capteur de l'appareil photographique. Dans un second temps, nous nous efforcerons de nous libérer de la contrainte d'exploiter un modèle numérique d'élévation – sources disponibles gratuitement mais avec une résolution médiocre – pour générer soi-même des modèles tridimensionnels à partir d'une multitude de prises de vues d'un même site ou objet selon des points de vue différents.

# 2 Généralités

## 2.1 Outils logiciels

Deux raisons justifient de s'approprier quelques bases de logiciels de traitements dédiés aux informations spatialisées : la masse de données devient rapidement conséquente, et des outils spécialisés dans la manipulation et la représentation de cette masse d'information sont disponibles par soucis d'efficacité ; et le passage d'un format de coordonnées sphériques tel que fourni par un récepteur GPS vers une information projetée sur un plan localement tangent à la sphère est un problème complexe lorsque la résolution recherchée ne doit pas être dégradée par l'étape de projection. La cohérence des divers modes de représentations des données, et leur fusion dans un environnement capable de les représenter dans une coordonnée géographique commune, est un problème que seuls des logiciels spécialisés savent fournir. Parmi les outils libres disponibles à chacun, et en particulier aux étudiants en accord avec les préceptes d'une formation Cursus de Master en Ingénierie (CMI), pour s'approprier les concepts dont nous discuterons ci-dessous, deux logiciels ont été sélectionnés que sont GRASS [2] et QGis [3]. Le premier est un outil dédié au traitement de l'information spatialisée extrêmement puissant mais quelque peu difficile à aborder dans un premier temps, malgré une documentation très fournie [3] et une communauté d'utilisateurs active. QGis est une interface graphique donnant accès à un certain nombre d'outils de traitements mais surtout, sous forme de greffons, à des outils aussi puissants que GRASS et GDAL [4] – une bibliothèque donnant accès à diverses fonctionnalités de traitement de données spatialisées – qui ainsi s'intègrent dans un environnement de travail homogène. Après avoir illustré quelques concepts au moyen de ces outils, nous aborderons le problème de la fusion de données bidimensionnelles pour former des nuages de points tridimensionnels représentant l'objet ou le site photographié : pour cette démonstration, nous avons sélectionné l'ensemble de programmes regroupés sous le nom de MICMAC développé par l'IGN et disponible comme logiciel libre.

## 2.2 Sources de données

Au-delà des informations acquises par l'utilisateur spécifiquement pour son application, une masse de données circule sur internet et ne demandent qu'à être enregistrées et fusionnées pour identifier de nouvelles relations : il s'agit du domaine général du *data mining* [4]. L'altitude d'un site fait partie des caractéristiques géographiques fondamentales – en plus de ses coordonnées de latitude et de longitude – et un modèle de distribution des altitudes autour du site considéré est souvent utile.

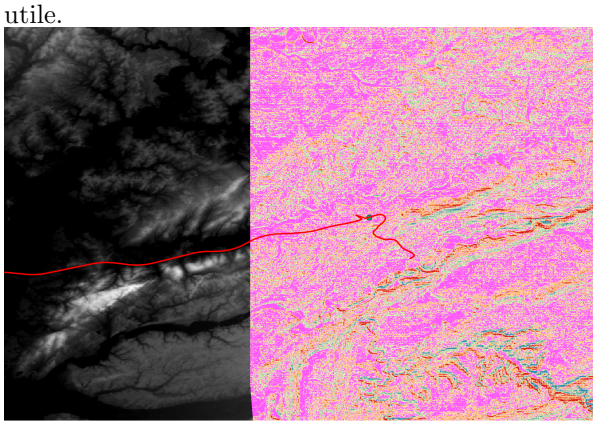

FIGURE 1 – Fusion de données matricielles (modèles numériques de terrain) et vectorielles (trace GPS sur le parcours de la ligne TGV Besançon-Paris en rouge, et position de la gare de Besançon-TGV, point vert) géoréférencées. La moitié droite du modèle de terrain indique la différence d'altitude entre SRTM et le modèle européen sur une échelle de +30 m (rouge) à -30 m (bleu). Les zones de moins de ±1 m d'écart entre les deux modèles sont codées en magenta. La moitié gauche du modèle de terrain indique l'altitude de SRTM encodée en tons de gris, de 200 m (noir) à 400 m (blanc).

Ces données sont disponibles sous la nomenclature de Modèle Numérique d'Élévation (MNE – ou *DEM* pour l'acronyme anglais de *Digital Elevation Model*). Parmi les sources de données gratuitement disponibles couvrant la majorité du globe, la base de données SRTM [5] (projet USA)

2. `grass.osgeo.org`
3. `www.qgis.org`
4. `http://www.gdal.org/`
5. `http://srtm.csi.cgiar.org/SELECTION/inputCoord.asp`

est la solution la plus prudente, largement corrigée d'artéfacts et validée. ASTER GDEM [6] (projet Japon + USA) est devenu récemment disponible mais souffre de certaines déficiences qui nécessitent de bien valider la qualité des informations fournies. Dans le cas particulier de la France, l'IGN fournit gratuitement un MNE de résolution dégradée à 75 m couvrant le territoire [7]. Finalement, un MNE européen EU-DEM a été mis à disposition à `http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/eu-dem` avec une résolution de 30 m/pixel, mais reste loin des données danoises à 1,6 m de résolution (`download.kortforsyningen.dk`). Ces sources de données seront notre point d'entrée pour supporter diverses investigations sur le positionnement de données acquises avec géoréférencement (Fig. 1).

### 2.3 Instrumentation

Deux classes de données sont exploitables : matricielles (*raster*) et vectorielles. La première classe comprend par exemple les photographies numériques que nous voudrons draper sur un MNE en vue de considérer le contexte géographique (altitude, orientation) de chaque pixel. Une donnée vectorielle est par exemple une mesure de température répétée en divers points de l'espace. L'approche expérimentales que nous avons appliquée consiste à développer un circuit dédié à l'enregistrement des trames GPS et exploiter la date des trames brutes NMEA issues d'un récepteur GPS pour identifier la position lors de la prise d'une mesure ou d'une photographie [2]. Ce circuit est cadencé par un oscillateur à quartz, de même que les horloges locales des divers instruments d'acquisition dont nous voulons géolocaliser les informations. Même un très mauvais oscillateur à quartz présentant un biais de 10 ppm induit une variation de 1 s toutes les 24 h sur l'horloge locale : un étalonnage quotidien de l'écart de temps entre un appareil photographique numérique et le récepteur GPS permet donc de compenser les dérives des oscillateurs locaux de chaque instrument, et ainsi positionner les photographies avec une excellente résolution, nettement meilleure que l'information stockée par les récepteurs GPS embarqués qui sont probablement handicapés par l'antenne excessivement petite pour tenir dans le boîtier. Un tel enregistreur GPS consomme typiquement dans les 50 mA – le récepteur GPS doit fonctionner continuellement pour maintenir l'information de configuration de la constellation de satellites, et sa consommation domine le bilan énergétique du circuit embarqué – et 4 batteries NiMH de 2600 mA.h en série alimentent le circuit pendant plus de 48 h sans prendre de soin particulier à la régulation de tension. La séquence d'analyses a été décrite en détail dans [5].

## 3 Traitements d'images dans le contexte de GIS

Une analyse quantitative de photographies numériques prises depuis le sol nécessite de les placer dans le contexte de la topographie de la scène pour en corriger les distorsions, et ce notamment pour placer toutes les images dans un référentiel commun tel que la vue azimuthale compatible avec les photographies aériennes ou satellitaires accessibles par ailleurs (par exemple, `https://browse.digitalglobe.com`).

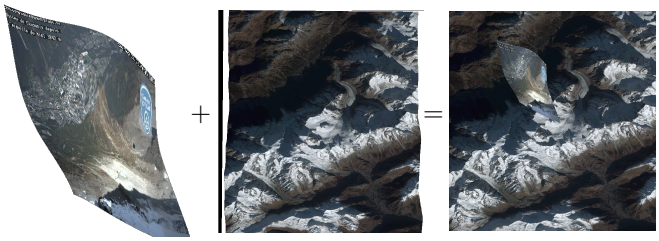

FIGURE 2 – De gauche à droite : image obtenue sur une webcam de la compagnie du Mont Blanc – `http://www.compagniedumontblanc.fr/fr/webcams` – et corrigée géométriquement pour tenir compte de la topographie ; image satellite géoréférencée par des points de contrôle au sol ; fusion des deux informations au moyen de `gdalwarp`.

La théorie voudrait qu'en connaissant la position de la prise de vue, l'orientation de l'appareil photo, les caractéristiques optiques et le modèle numérique de terrain, il soit possible de corriger des déformations observées sur l'image. En pratique, cette approche n'est appliquable que pour des prises de vues proches de la verticale, et si les déformations induites par le relief sont modestes. Dans le cas que nous avons exploité [6], l'approche pragmatique consiste à baser la déformation de l'image sur des points de contrôle acquis au sol, sans tenir compte d'un modèle physique du terrain. Diverses interpolations permettent d'ajuster les déformations entre les points de référence et de tenir compte des incertitudes sur les positions des points de contrôle. Une fois ces corrections géométriques effectuées, un drapage sur le modèle numérique de terrain permet de remettre les structures observées sur la photographie dans

6. `http://asterweb.jpl.nasa.gov/gdem.asp`
7. `http://professionnels.ign.fr/bdalti`

leur contexte (Fig. 2). La continuité des structures visibles sur les deux images atteste de la qualité de la déformation et de la validité de l'approche, bien que le relief prononcé de la région sélectionnée autour de la vallée de Chamonix rende le traitement complexe avec un nombre important de points de contrôle nécessaire.

Afin de permettre au plus grand nombre d'appréhender ces méthodes de traitement, l'outil libre QGis a été exploité dans [6] pour appliquer ces analyses. QGis fait alors office d'interface graphique à divers modules accessibles par ailleurs en ligne de commande (GRASS et GDAL en particulier), un point fondamental pour automatiser par la suite le traitement sur un volume important de photographies. En effet, l'ajout de la 4ème dimension qu'est le temps est possible si des séquences de photographies sont acquises à intervalles de temps régulier, par exemple en capturant le flux de données de webcams. Dans ce cas, un traitement manuel au travers d'une interface graphique devient rapidement fastidieuse : QGis fournit les commandes GRASS et GDAL qui pourront ensuite être insérées dans un script pour appliquer automatiquement la même séquence de traitement à toutes les photographies disponibles.

# 4 Génération de modèles numériques d'élévations

SfM – *Structure from Motion* – est une méthode d'analyse d'une série de photographies (numériques) d'un même objet vu selon divers angles de prises de vues. Un nuage de point tridimensionnel est généré à partir des diverses photographies après identification des propriétés optiques du dispositif de prise de vue et de la position de l'observateur au moment de l'acquisition des données. La méthode de travail, qui ne nécessite aucun investissement autre qu'un appareil de prise de vue (nous avons effectué nos tests avec des appareils photographiques grand public, téléphone mobile ou webcam), permet dans le contexte de la gestion spatiale d'informations de générer ses propres modèles numériques d'élévation. Dans le domaine des sciences de l'ingénieur, les modèles tridimensionnels des objets analysés, susceptibles après traitement d'être réalisés physiquement, permettent une analyse fine auquelle la photographie bidimensionnelle ne donne pas accès. Les trois exemples qui suivent concernent la prise de vue en extérieur, en intérieur depuis un drone commercialisé comme jouet, et d'une analyse quantitative de la résolution de mesure sur un objet connu.

## 4.1 Prises de vues en extérieur

Les séquences de prises de vues numériques permettent un traitement plus subtile qu'une simple analyse des intensités ou couleurs des pixels.

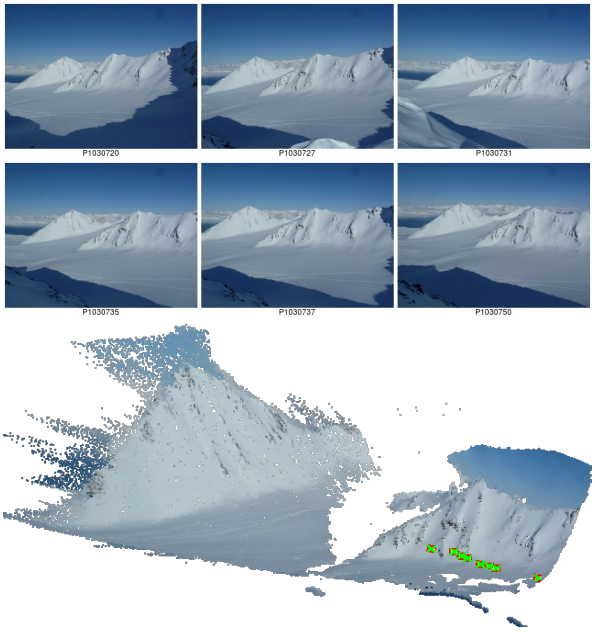


FIGURE 3 – Haut : extrait de séquences de photographies numériques en prise oblique pour une reconstruction de modèle numérique d'élévations. Bas : modèle résultant, incluant l'estimation de la position des prises de vues (croix vertes).

Diverses prises selon des orientations différentes d'un même objet permettent de reconstruire la structure tridimensionnelle de l'objet – opération réalisée naturellement par un cerveau mais qui nécessite des ressources de calcul conséquentes pour une version numérique du traitement.

Divers outils permettant ce type de traitement sont disponibles : nous avons sélectionné un outil libre et en ligne de commande, par soucis d'efficacité, qu'est la suite logicielle MICMAC de l'IGN [8]. Cet outil extrêmement puissant est très bien documenté, illustré par de nombreux exemples. La principale difficulté pour sa prise en main ne tient pas dans les séquences de commandes liées aux étapes successives du traitement mais dans le respect de certaines conditions de prises de vues, en particulier de ne pas faire varier la focale de l'objectif au cours des diverses prises de vues, et d'éviter la présence d'objets ne présentant pas des structures reproduc-

8. `http://www.tapenade.gamsau.archi.fr/TAPEnADe/Tools.html` et `http://logiciels.ign.fr/?-Micmac,3-`
9. Le lecteur désireux d'abréger la lecture de la documentation de MICMAC peut se référer à `http://combiencaporte.blogspot.fr/2013/10/micmac-tutoriel-de-photogrammetrie-sous.html`.

tibles (surfaces réfléchissantes, eau).

Une fois ces conditions respectées, le résultat du traitement [9] génère un nuage de point exploitable dans Meshlab ou CloudCompare (Fig. 3). La capacité de MICMAC à identifier les propriétés optiques de l'appareil photographique et de positionner le site des prises de vues est impressionnant (Fig. 4), et sera l'objet de l'étude de la prochaine section.

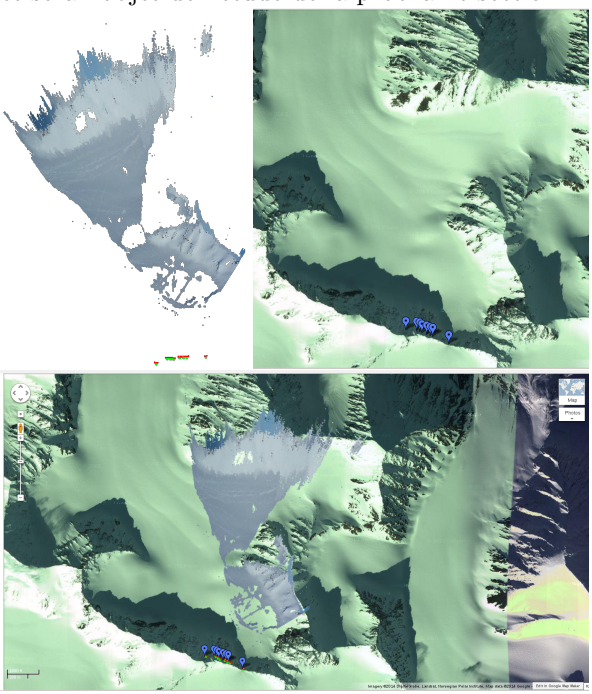

FIGURE 4 – En haut, droite : positionnement sur Google Earth des sites de prises de vues enregistrées par GPS. Gauche : positionnement issu du traitement photogrammétrique n'incluant aucune information *a priori* sur la position des appareils photographiques. Bas : recouvrement qualitatif des deux ensembles d'informations.

## 4.2 Prises de vues en intérieur

La mode des drones et leur disponibilité à faible coût rend ce vecteur de prise de vue incontournable.

Nous avons en ce sens expérimenté avec un drone commercialisé comme jouet – le quadricoptère Space Q4 de RC System, fourni avec son option de caméra embarquée. Le capteur, de qualité médiocre, répond parfaitement aux exigences de prises de vues en focale fixe.

Nous enregistrons des films au cours du vol du drone, extrayons les images individuelles pour un traitement (commande `mplayer -vo jpeg:quality=100`), ajoutons manuellement un entête EXIF pour satisfaire aux exigences de MICMAC, et traitons les données pour une reconstruction du nuage de points. Les paramètres de prises de vues renseignées dans l'entête EXIF n'ont pas d'importance, ils ne sont que nécessaires pour permettre le traitement par MICMAC (Fig. 5).

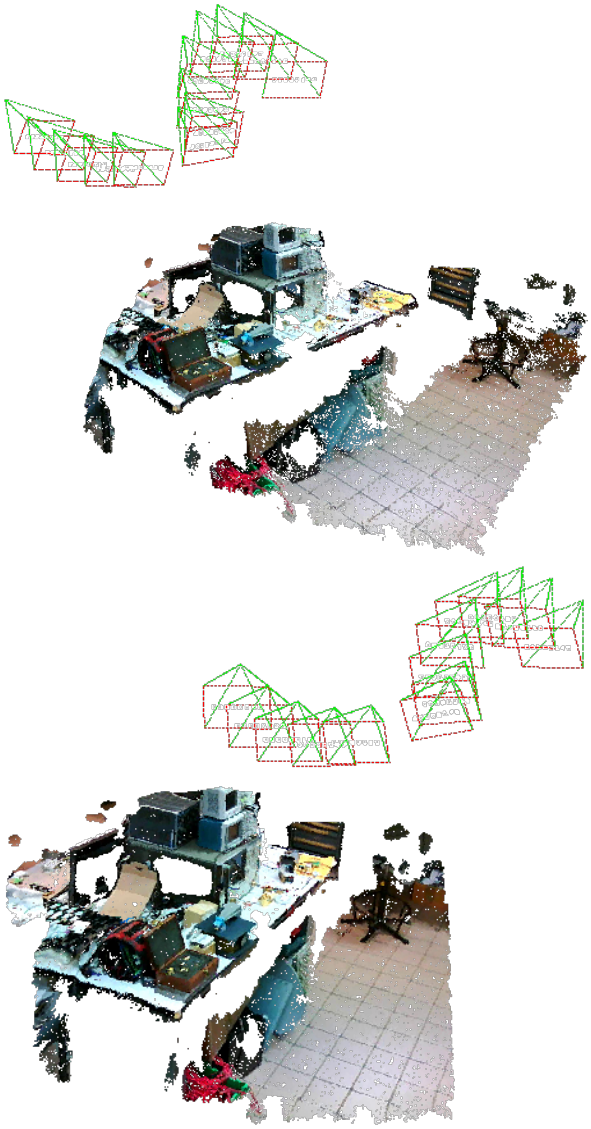

FIGURE 5 – Deux points de vue d'un modèle numérique de laboratoire, incluant les points de prise de vue du drone.

Ainsi, la reconstruction 3D de la scène est complétée des données de navigation du vecteur de prise de vue. Les ressources de calcul nécessaires pour atteindre ce résulat rendent l'utilisation en temps réel difficilement envisageable pour le moment.

## 4.3 Résolution du modèle

Au-delà des considérations qualitatives, le modèle tridiemensionnel généré lors de la construction du nuage de point doit permettre de mesurer des grandeurs de l'objet considéré si un référentiel absolu est founi. Une méthode, cohérente avec

l'utilisation des points de contrôle dans la section précédente, consiste à fournir les positions absolues en 3 dimensions (XYZ) de points de contrôle visibles sur chaque image.

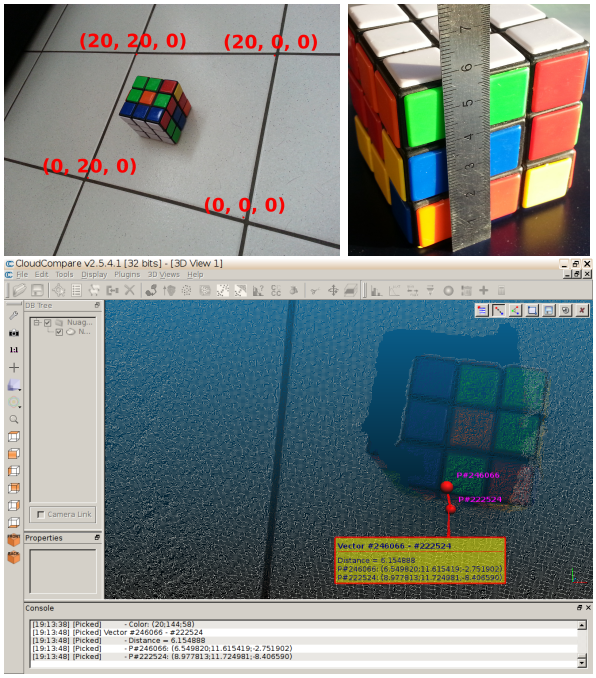


FIGURE 6 – Haut : objet placé sur une dalle de carrelage de 20 cm de côté. Les points de références fournis sont les coordonnées des 4 coins de la dalle, considérés dans le même plan. À droite, une mesure indépendante de hauteur du jouet, qui n'est pas incluse dans la séquence de traitement, mais servira de validation des dimensions fournies par le nuage de points. Bas : reconstruction du modèle 3D : l'altitude de la face supérieure du modèle généré est exacte à 2 % près.

MICMAC se contente de ne voir qu'un sous ensemble des points de contrôle sur chaque image : nous sélectionnons ainsi quelques points aux coordonnées connues (au moins 3), puis associons les positions bidimensionnelles des coordonnées sur chaque image pour ces points. De cette façon, les coordonnées relatives du nuage de point reconstitué devient un référentiel absolu. Ces étapes de calcul ont été mises en œuvre sur un modèle d'un jouet bien connu et fournissant de multiples points de mesure (Fig. 6).

Nous constatons sur cette analyse que l'écart d'altitude entre le sol et le sommet du jouet est de 8,4-2,8=5,6 cm. La mesure indique que chaque face est de 57±1 mm. L'écart peut être attribué à la médiocrité de l'instrument de prises de vues, un téléphone portable Samsung S3, dont les propriétés optiques sont inconnues et renseignées aléatoirement dans l'entête EXIF (focale de 21 ou 22 mm).

# 5 Conclusion

Les données acquises par les systèmes embarqués sont facilement géolocalisables en incluant un récepteur de système de navigation par satellite dans la chaîne de mesure, si ce n'est déjà fait tel que proposé par exemple dans les téléphones mobiles. La mise en contexte géographique de ces informations permet une fusion et une analyse des interactions de diverses grandeurs, voir l'exploitation quantitative de données : ces méthodes de travail sont accessibles à tous sans investissement matériel au travers des logiciels libres QGis, GRASS et GDAL, en particulier pour une analyse quantitative des photographies numériques prises en vues obliques. Le traitement d'images en vue d'extraire, d'une multitude de photographies visant un même objet selon des points de vue différents, est proposé au travers des outils MICMAC de l'IGN. Ces méthodes de travail sont exploitables, au-delà des systèmes d'information géographiques, dans tout domaine manipulant des données spatialisées, et en particulier la microscopie à sonde locale.

Les références bibliographiques concernant les auteurs sont disponibles à `http://jmfriedt.free.fr`

# Références


[1] V. Kaufmann, *Measurement of surface flow velocity of active rock glaciers using orthophotos of virual globes*, Geographia Technica, Special Issue, 2010, pp. 68–81, disponible à `http://www.mountaincartography.org/publications/papers/papers_borsa_10/11_kaufmann.pdf`

[2] J.-M Friedt, É. Carry, *Acquisition et dissémination de trames GPS à des fins de cartographie libre*, GNU/Linux Magazine France, Hors Série **27** (2006)

[3] M. Neteler & H. Mitasova, *Open Source GIS : A GRASS GIS Approach. 3rd Edition*, Springer, New York (2008)

[4] T. Segaran & J. Hammerbacher, *Beautiful Data – The Stories Behind Elegant Data Solutions*, O'Reilly Media (2009)

[5] J.-M. Friedt, *Géolocalistion de photographies numériques*, GNU/Linux Magazine France **96** (2007)

[6] J.-M Friedt, *Correction géométrique d'images prises en vue oblique – projection sur modèle numérique d'élévation pour exploitation quantitative de photographies numériques*, GNU/Linux Magazine France **167** (2014), pp.42-57