

Hybridation photogrammétrie/GPS embarqués pour du nivellement précis par drone

M. Daakir^{1,2}, M. Pierrot-Deseilligny^{2,4}, P. Bosser³, F.
Pichard¹, C. Thom², Y. Rabot¹

¹ Vinci-Construction-Terrassement

² Laboratoire LOEMI-IGN

³ ENSTA Bretagne - OSM Team

⁴ IGN-DRE-ENSG

contact : *mehdi.daakir@vinci-construction.com*

31^{ième} réunion de la Commission GeoPos
Saint-Mandé, France
Jeudi 06 octobre 2016

Plan

- 1 Systèmes de Positionnement par Satellites
- 2 La Photogrammétrie
- 3 Les drones civils
- 4 Solution proposée VS Solutions commerciales
- 5 La méthodologie
- 6 Conclusions/Perspectives

Plan

- 1 Systèmes de Positionnement par Satellites
 - Généralités
- 2 La Photogrammétrie
- 3 Les drones civils
- 4 Solution proposée VS Solutions commerciales
- 5 La méthodologie
- 6 Conclusions/Perspectives

- GNSS¹ = constellations de satellites en orbite autour de la Terre qui permettent de déterminer une position et fournissent une mesure de temps
- Les constellations existantes : GPS, Glonass, Galileo, Beidou, ...
- Principe de fonctionnement = Principe de multilatération : connaissant la position et la distance d'au moins 4 satellites à mon récepteur ⇒ l'estimation de la position du récepteur à un instant donné est possible
- Quelques caractéristiques du système GPS en particulier :
 - constellation de 30 satellites
 - émission sur deux bandes L1+L2
 - échelle de temps associée : GPS-Time
 - ...

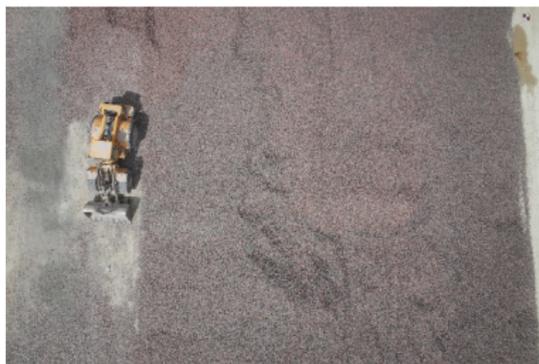
1. Global Navigation Satellite System

- Les signaux sont émis sur 2 bandes L1 et L2
 - **Code** de synchronisation pour le positionnement standard (**précision \sim 1-5 m**)
 - Les porteuses L1 & L2 ont des longueurs d'ondes respectives : $\lambda_1 = 19.0 \text{ cm}$ et $\lambda_2 = 24.4 \text{ cm}$
 - **La phase** des porteuses permet un positionnement de **précision optimale \sim 1-3 cm**
 - Contrairement au positionnement sur le **code \sim métrique mais non ambiguë**, le positionnement sur la **phase est \sim centimétrique mais ambiguë**
 - Possibilité de travailler sur une ou sur les deux fréquences en même temps
 - **Le bi-fréquence** présente l'avantage de pouvoir combiner les deux longueurs d'ondes pour **s'affranchir d'une erreur systématique** (effet de la ionosphère)

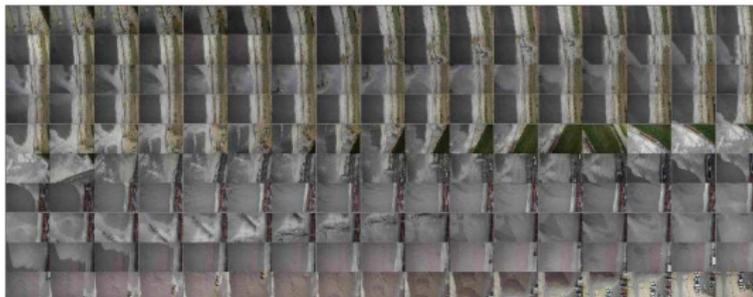
Plan

- 1 Systèmes de Positionnement par Satellites
- 2 La Photogrammétrie
 - Pipeline
- 3 Les drones civils
- 4 Solution proposée VS Solutions commerciales
- 5 La méthodologie
- 6 Conclusions/Perspectives

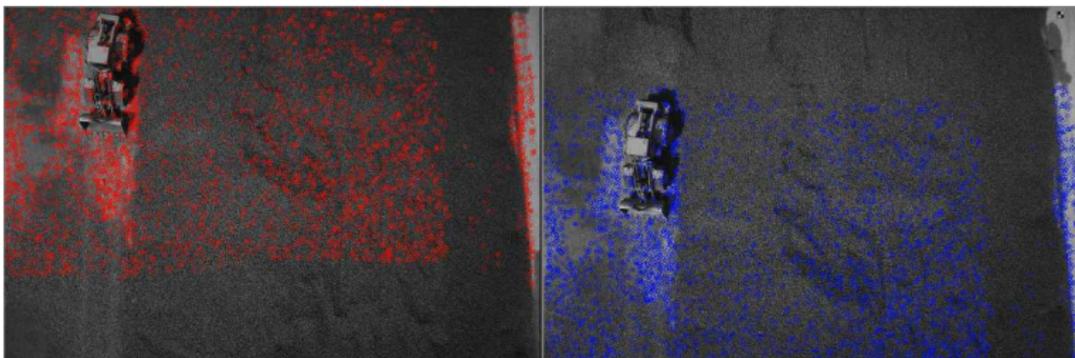
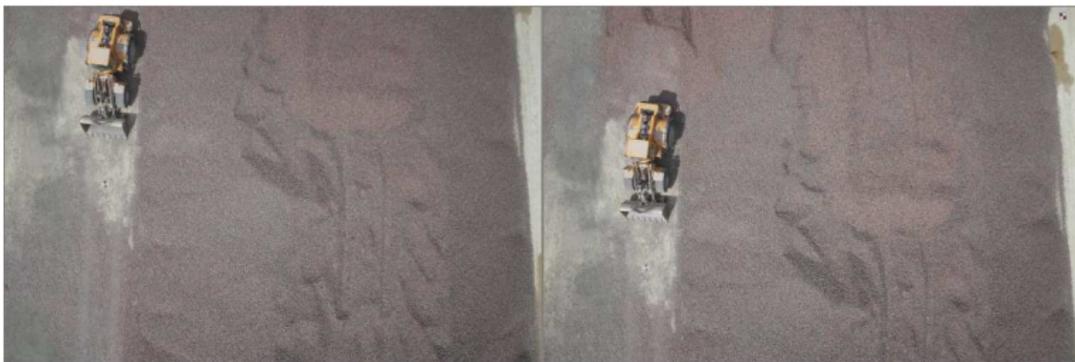
0- Prendre des images de bonne qualité !



0- Jamais assez d'images !



1- Détection de points homologues

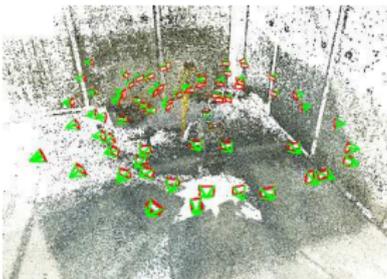


1- Estimation des paramètres internes

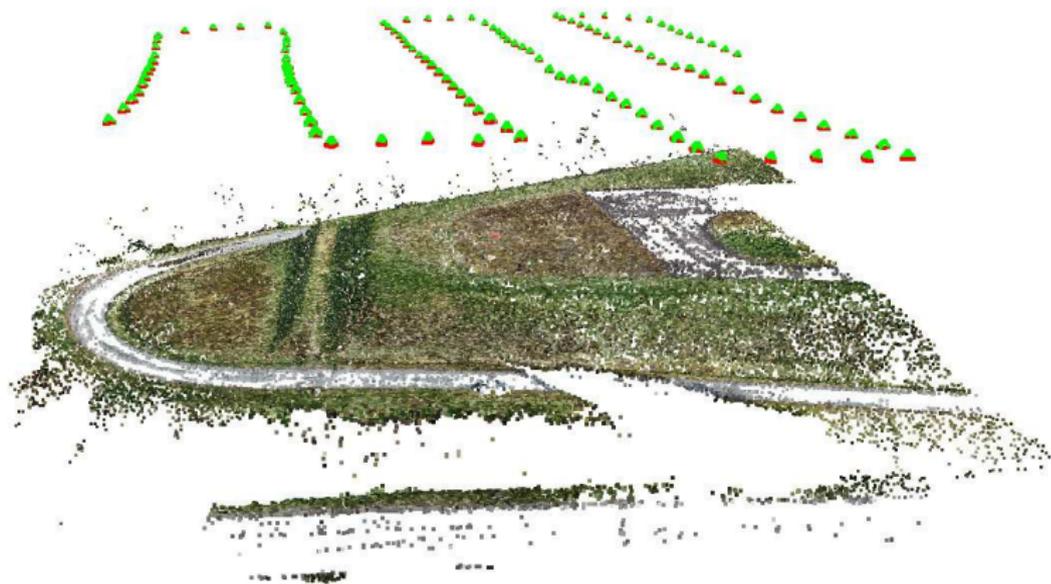
→ Sur polygone d'étalonnage



→ En auto-calibration sur scène 3D



2- Estimation des paramètres externes



3- Mise en correspondance



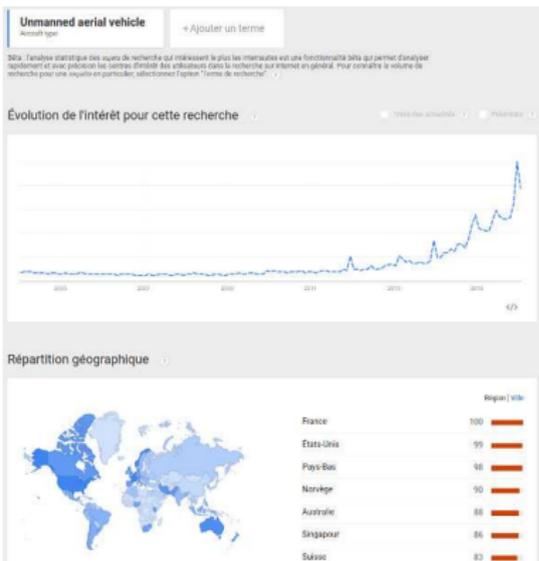
3- Mise en correspondance



Plan

- 1 Systèmes de Positionnement par Satellites
- 2 La Photogrammétrie
- 3 Les drones civils**
 - Contexte actuel
- 4 Solution proposée VS Solutions commerciales
- 5 La méthodologie
- 6 Conclusions/Perspectives

- Pourquoi un tel engouement pour les drones civiles ?
→ Évolution relative de la recherche du mot UAV sur Google :



- Pourquoi un tel engouement pour les drones civiles ?
 - 3% de part de marché aujourd'hui, **20% d'ici 2020**
 - le marché américain va peser **80 milliards € 2025**
 - en France, **300 millions € et 7000 emplois en 2015**
(une législation assez innovante)
 - Les **applications** civiles sont **diverses et variées** \iff
potentiel de croissance considérable!
 - Exemples :
 - la construction et l'inspection d'ouvrages
 - le secteur pétrolier et l'énergie
 - l'agriculture 2.0
 - le transport (surtout ferroviaire)
 - la photographie professionnelle et audiovisuel
 - ...

Plan

- 1 Systèmes de Positionnement par Satellites
- 2 La Photogrammétrie
- 3 Les drones civils
- 4 Solution proposée VS Solutions commerciales**
 - Solutions commerciales
 - Solution proposée
- 5 La méthodologie
- 6 Conclusions/Perspectives

eBee



MAVinci

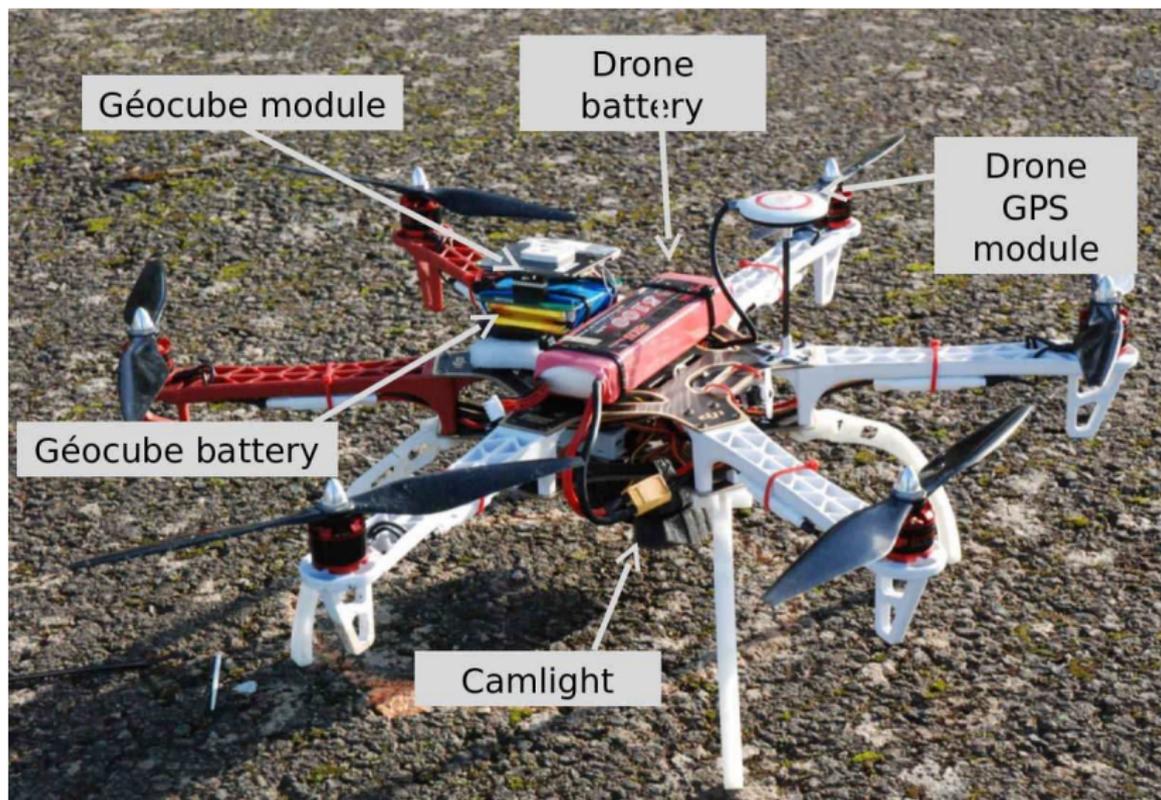


BRAMOR



Caractéristiques	eBee	TopCon	BRAMOR
Précision absolue (cm)	3.0	5.0	1.5
Masse (g)	0.73	2.7	4.5
Autonomie (h)	0.6	0.75	2.5
Récepteur GNSS	RTK	RTK 100 Hz	RTK 20 Hz
GSD ² maximale (cm)	1.5	1.6	0.9
Prix (k€)	25	30	58

2. Ground Spatial Resolution



- *GeoCube* de l'IGN (Module GPS Ublox LEA-6T-0-001) :
 - ✓ Mesures brutes : Temps, Phase (L1), C/A code, Doppler
 - ✓ Possibilité de datation par TimeMark et synchronisation par TimePulse (précis et stable)
 - ✓ Prix : 65,00 \$ + 10,00 \$ antenne patch
 - ✗ Longueur des lignes de bases limitée par le mono-fréquence (< à 10 km)



- La caméra légère de l'IGN :
 - ✓ Caméra haute résolution de 20 Mpx
 - ✓ Caméra haute cadence : 5 – 10 imgs/s
 - ✓ Couche batterie optionnelle
 - ✓ Masse : 300 g (optique comprise)
 - ✓ Global shutter
 - ✓ Synchronisation temporelle précise
 - ✗ Prix : ??



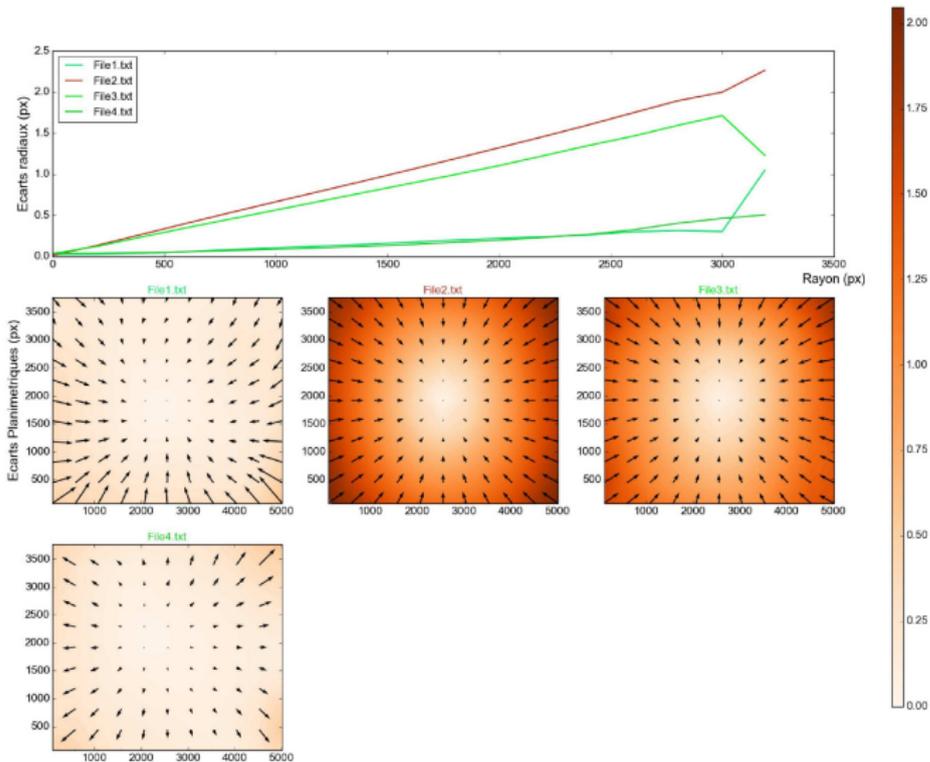
- Le drone DJI-F550 :
 - ✓ Décollage/Atterrissage à la verticale
 - ✓ Prix (en kit) : < 1000 €
 - ✓ Masse : 2 kg (charge utile comprise)
 - ✗ Autonomie < 15 min
 - ✗ Logiciel de gestion de vol non abouti & Windows uniquement



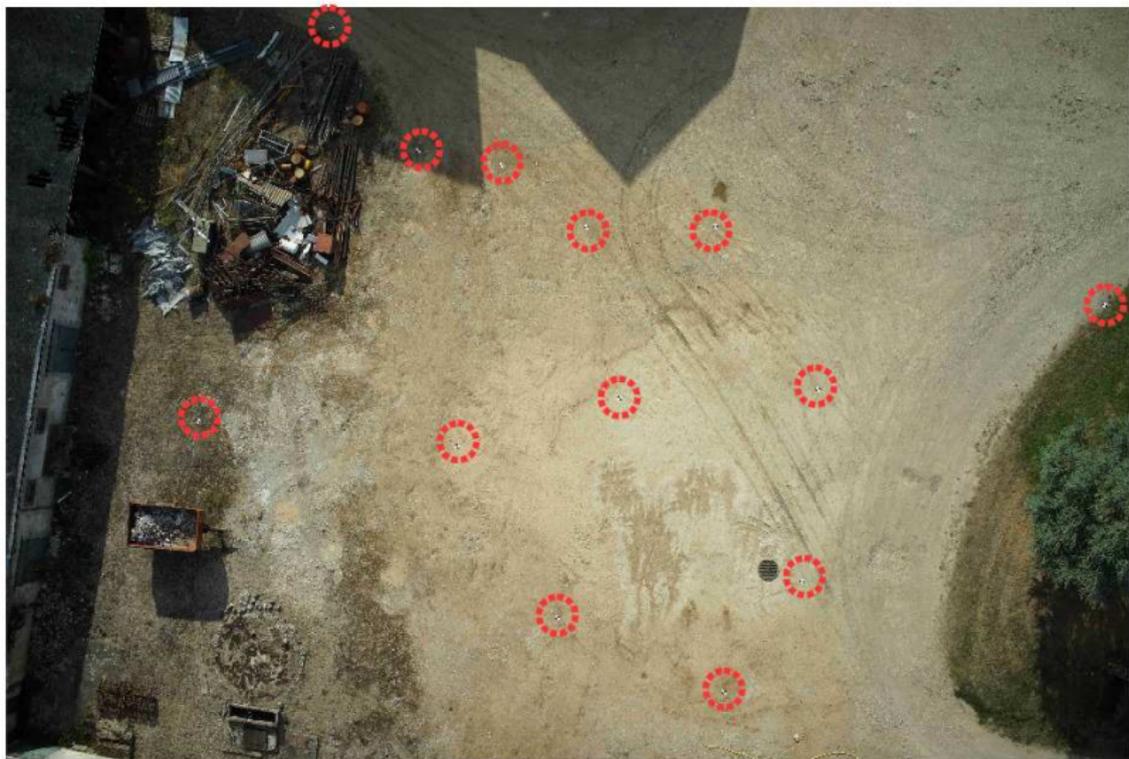
Plan

- 1 Systèmes de Positionnement par Satellites
- 2 La Photogrammétrie
- 3 Les drones civils
- 4 Solution proposée VS Solutions commerciales
- 5 La méthodologie**
 - Calibration interne
 - Calibration spatiale
 - Calibration temporelle
 - Précision au sol
- 6 Conclusions/Perspectives

- Géométrie de la caméra :



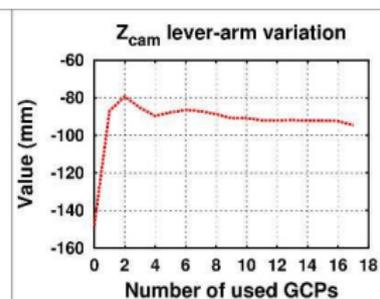
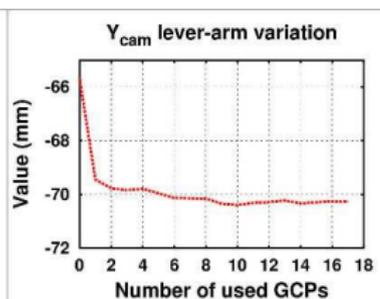
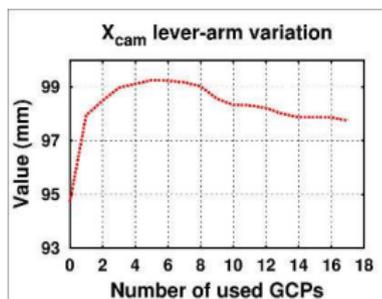
- Calibration en vol :



- Calibration en vol :



- Calibration en vol :



- Méthode de pseudo-matérialisation :
→ Matérialisation du **centre optique**



- Méthode de pseudo-matérialisation :
→ Matérialisation du **centre de phase**



- Méthode de pseudo-matérialisation :
 - **Modèle 3D** du drone avec capteurs embarqués

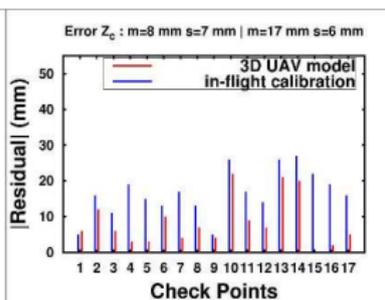
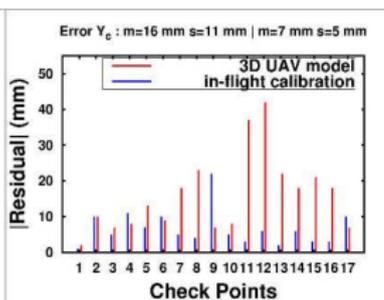
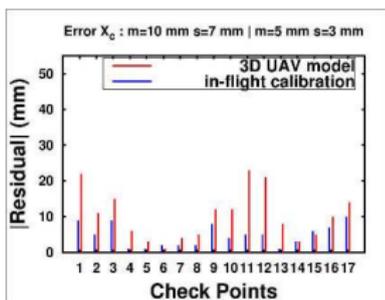


- Calibration en vol **VS** pseudo-matérialisation :

Méthode	X_c (mm)	Y_c (mm)	Z_c (mm)
Avant décollage drone	86	-52	-82
Après atterrissage drone	85	-51	-81
En vol	98	-70	-91

$$\rightarrow \delta_{t_0-t_1} = 2 \text{ mm} \mid \delta_{m_1-m_2} = 26 \text{ mm}$$

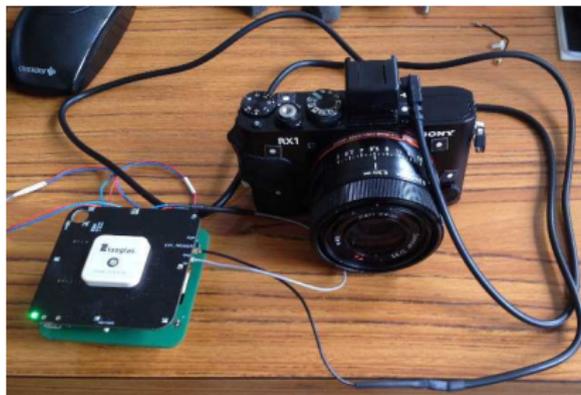
- **Résidus** sur des points de contrôle :



→ Méthode en vol : 1.8 cm \pm 0.8 cm

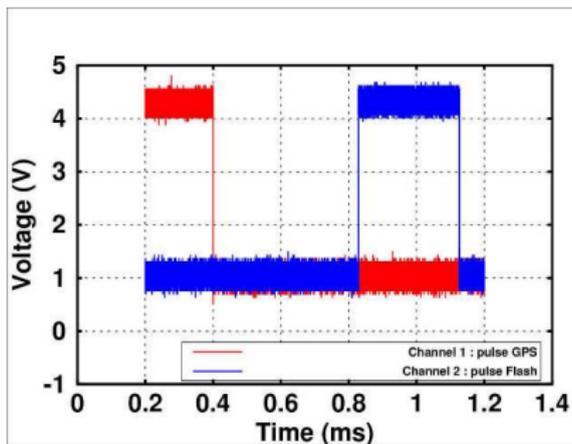
→ Méthode de pseudo-matérialisation : 2 cm \pm 1.4 cm

- Mesure du **retard électronique** pour une caméra du commerce :

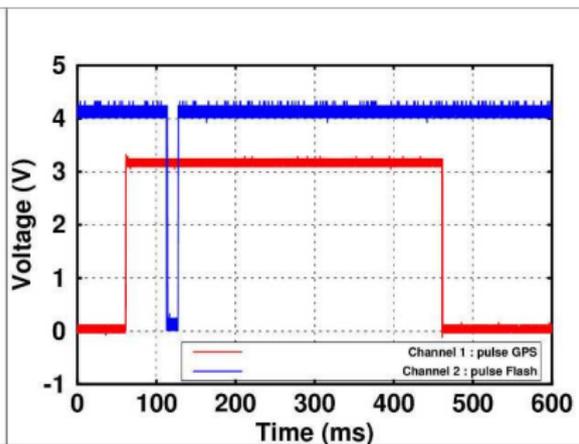


- Comparaison de l'amplitude :

Caméra Légère IGN

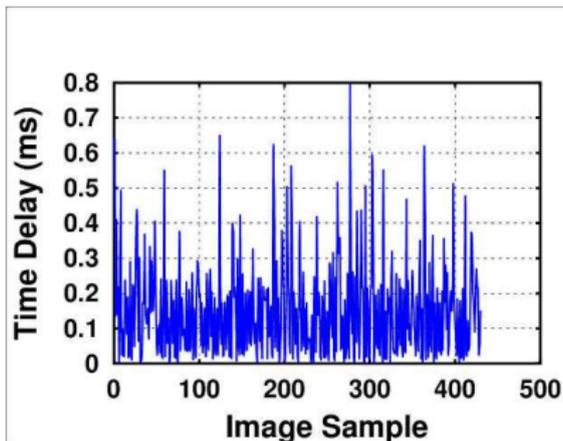


Caméra Commerciale SONY

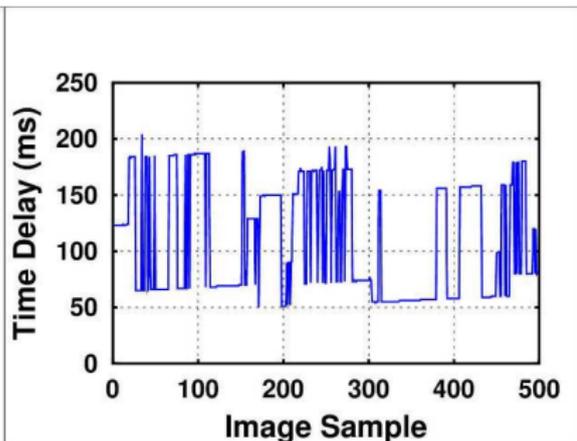


- Comparaison de la **stabilité** :

Caméra Légère IGN



Caméra Commerciale SONY



- Caractéristiques des vols test :

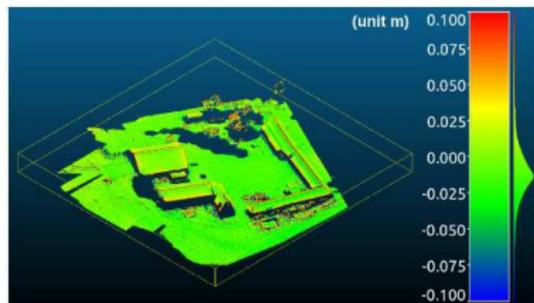
Caractéristiques	Valeur
Hauteur de vol	~ 70 m
Recouvrement	80% - 40%
Nombre d'images	~ 100 imgs
GSD	~ 1 cm
Points de contrôle	17
Temps de vol	~ 15 min
Ligne de base	< 1 km
...	...

- Résidus prédiction (poses) sur les points de contrôle :

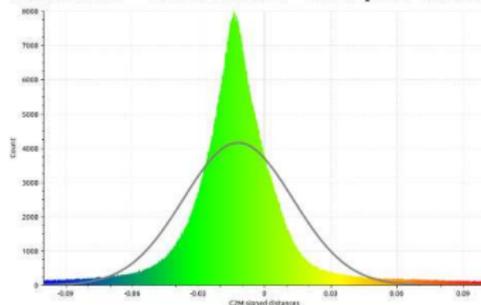
Nom Pt	δx (cm)	δy (cm)	δz (cm)	$ \delta $ (cm)
Pt ₁	-0.7	0.3	-2.1	2.2
Pt ₂	-1.4	-0.7	-1.7	2.3
Pt ₃	-1.8	-0.2	-2.3	2.9
Pt ₄	-1.1	-0.7	-1.1	1.7
Pt ₅	-1.2	-0.4	-1.8	2.1
Pt ₆	-1.0	-0.6	-1.7	2.1
Pt ₇	-1.5	-0.2	-1.4	2.0
Pt ₈	-1.0	-0.1	-1.7	2.0
Pt ₉	-1.8	-1.7	-2.3	3.4
Pt ₁₀	-1.1	-0.1	-0.2	1.1
Pt ₁₁	-1.0	0.4	-1.1	1.6
Pt ₁₂	-1.0	0.6	-1.3	1.7
Pt ₁₃	-1.5	0.0	-0.6	1.6
Pt ₁₄	-1.6	-0.4	-0.4	1.7
Pt ₁₅	-1.7	-0.2	-1.1	2.1
Pt ₁₆	-1.8	-0.1	-1.6	2.4
Pt ₁₇	-2.0	-0.7	-1.9	2.8
MAE	1.4	0.4	1.4	2.0
s	0.4	0.5	0.6	0.9

$$\rightarrow \mu = 2.0 \pm 0.5 \text{ cm}$$

- Modèle 3D GCPs **VS** Modèle 3D GPS :



Gauss: mean = -0.012 / std.dev. = 0.025 [1291 classes](unit m)



$$\rightarrow \mu = 1.2 \pm 2.5 \text{ cm}$$

Plan

- 1 Systèmes de Positionnement par Satellites
- 2 La Photogrammétrie
- 3 Les drones civils
- 4 Solution proposée VS Solutions commerciales
- 5 La méthodologie
- 6 Conclusions/Perspectives**

- Dans le secteur des Travaux Publics :



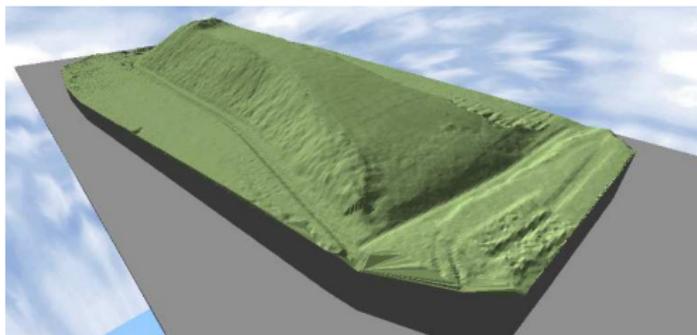
- Dans le secteur des Travaux Publics :



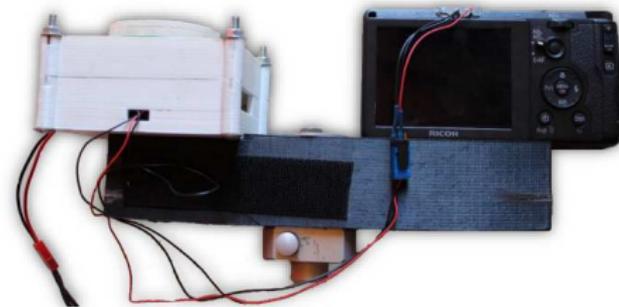
- Dans le secteur des Travaux Publics :



- Dans le secteur des Travaux Publics :



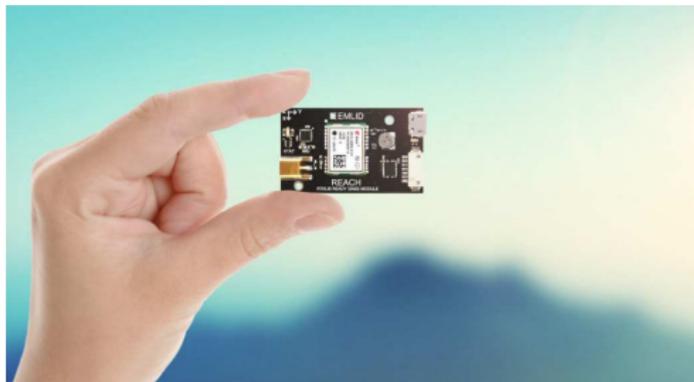
- Dans le secteur des Travaux Publics :



- Dans le secteur des Travaux Publics :
 - pratique pour le **calcul de volume** de stocks en terrassement
 - adapté au **suivi** des carrières, relevé des lignes à hautes tensions, ...
 - apport d'un **gain de temps** considérable
 - avec une caméra embarquée + traitement photogrammétrique = outil de mesure en adéquation avec les **tolérances** typiques du secteur
 - contribution à la **sécurité** des employés sur un chantier

- Dans le secteur de la cartographie :
 - Des tests vont être menés par l'IGN dans le domaine de la cartographie pour le cadastre

- Modèle **Low-Cost++**
→ Module GNSS



Caractéristiques	Reach
financement souhaité (k\$)	27
soutien reçu (k\$)	82
prix d'un kit (\$)	545,00
logiciel de traitement	RTKlib
masse (g)	13

- Modèle **Low-Cost++**
→ Drone



- Modèle **Low-Cost++**
→ Appareil photo



