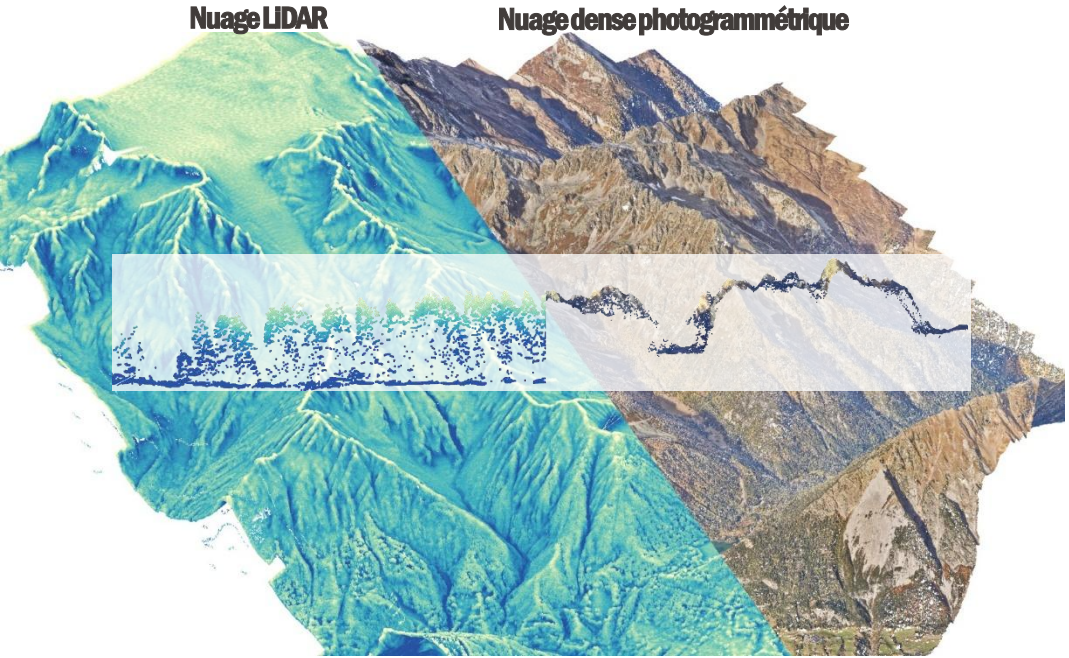
Correspondances image – LiDAR: Extraction et impact sur la fusion de capteurs



Aurélien Brun, Jan Skaloud
EPFL

Swiss LiDAR Day

Cartographie hybride : pourquoi ?



Val d'Arpette (VS) – donnée : addlidar.epfl.ch

a **Colorisation**
Donner aux points LiDAR la couleur des images acquises en même temps.

b **Produits complémentaires**
LiDAR : le sol sous la végétation. Image : la texture et le détail fin.

c **Fusion pour l'analyse**
Segmentation, détection d'arbres, classification des essences…

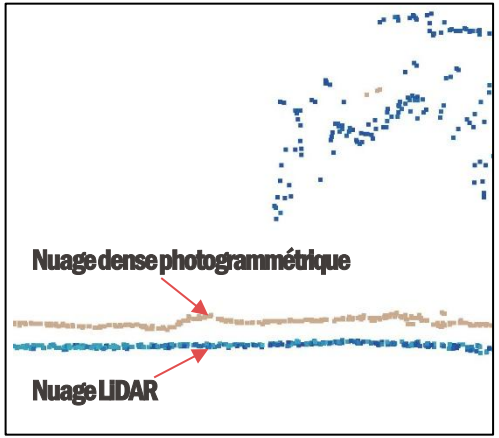
L'importance d'aligner images et lidar

1 Colorisation décalée



Les couleurs « glissent » à côté des objets.

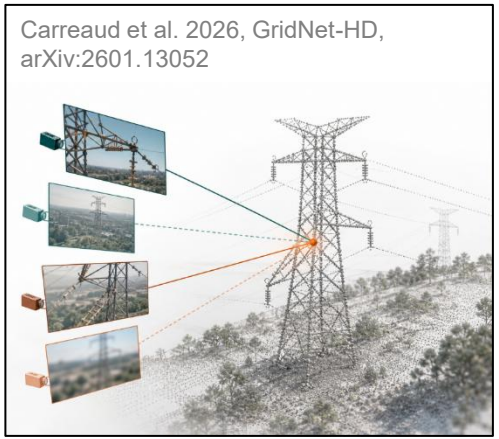
2 Produits incohérents



Deux géométries différentes : quelle donnée croire ?

3 Fusion faussée

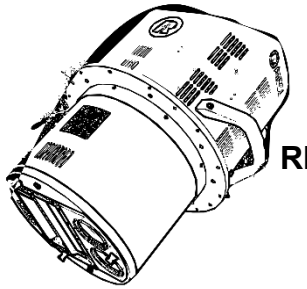
Carreaud et al. 2026, GridNet-HD, arXiv:2601.13052



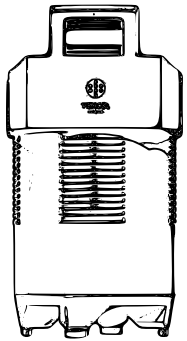
Un décalage fausse l'association pixel ↔ point.

Ces trois usages nécessitent que l'image et le LiDAR soient géométriquement alignés.

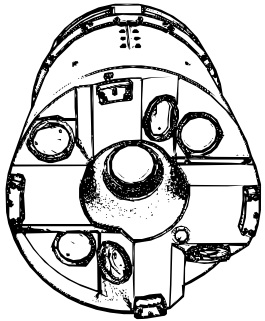
Le hardware a convergé… mais pas la chaîne de traitement.



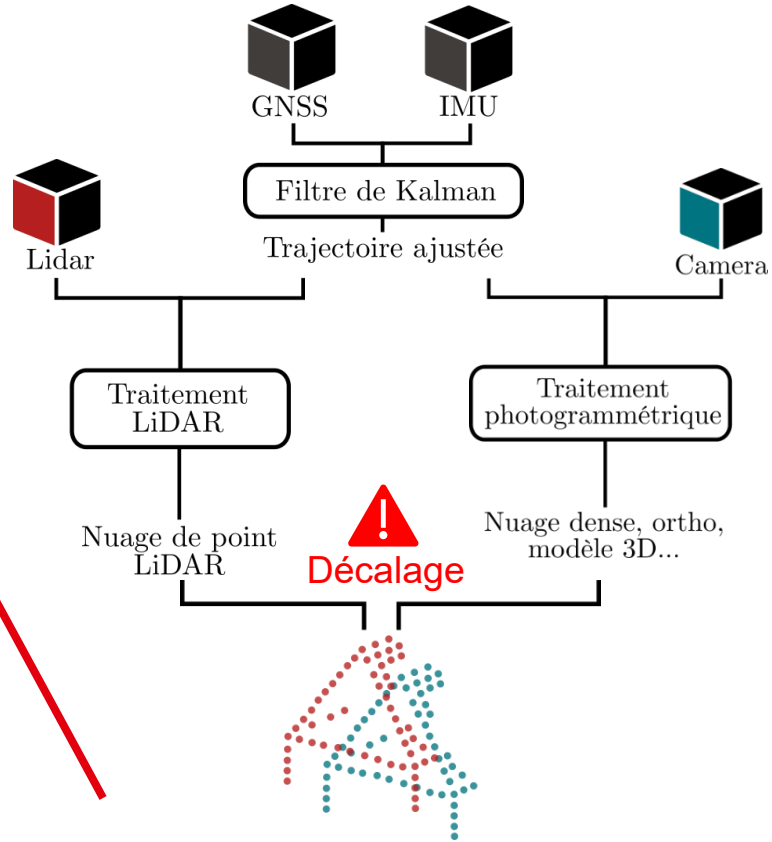
RIEGL VQ-1560



Vexcel Ultracam Dragon

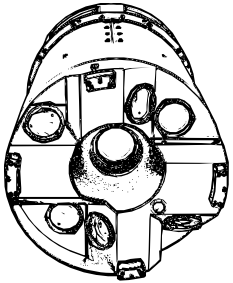


Leica CountryMapper



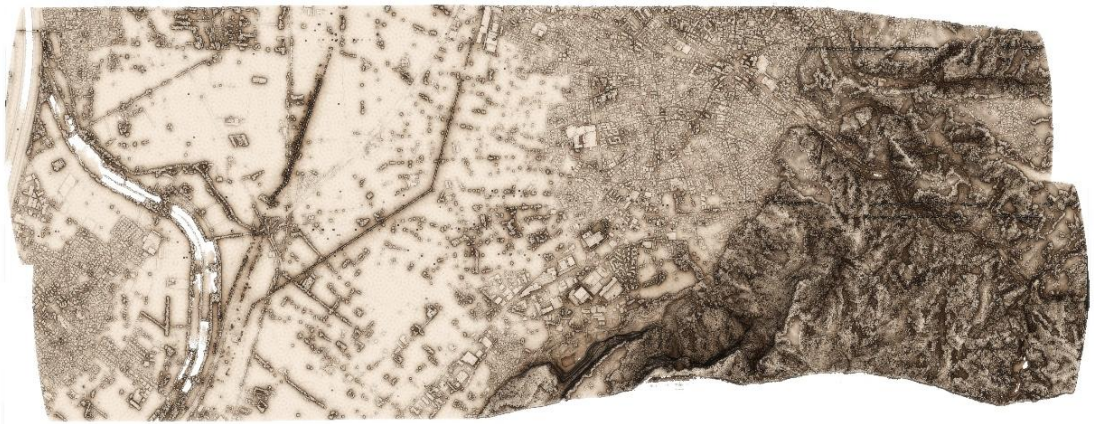
Problème du jour…

Heerbrugg (SG)



Leica CountryMapper

Traitement lidar:

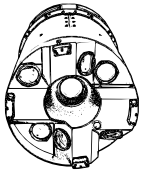


~2 km

Terrain:
- Hauteur relative de vol 2100 m
- Relief ± 500 m
- 35 km^2

Résolution au sol:
- camera 15 cm/px
- LiDAR 25 pts/m^2

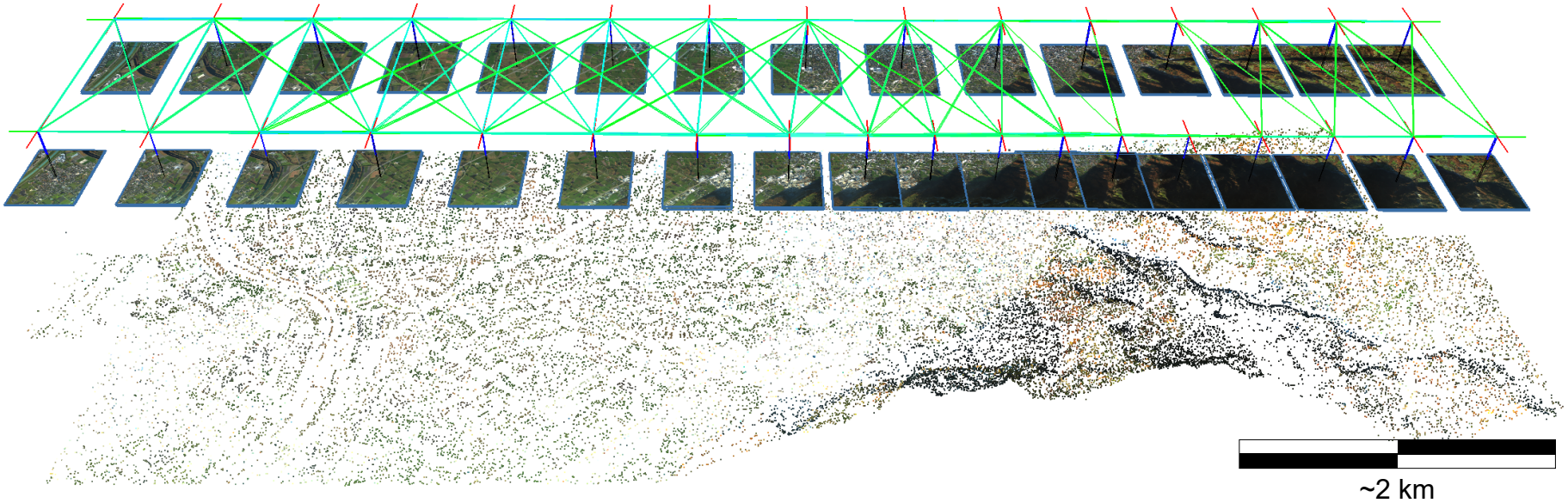
Ajustement photogrammétrique



Leica
CountryMapper

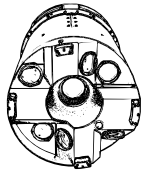
Bundle adjustment – erreurs moyennes:

- position des caméras: 1.65cm
- orientation des caméras: <0.005°
- reprojection des tie-points: 0.3 px



Contrôle

Comparaison lidar - caméra

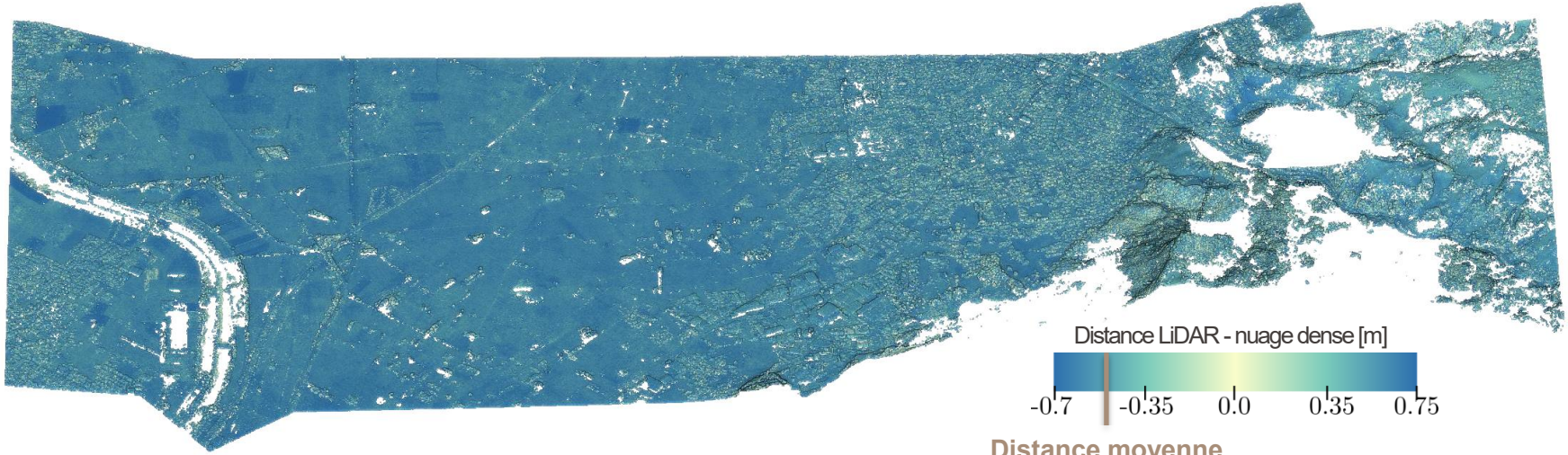


Leica
CountryMapper



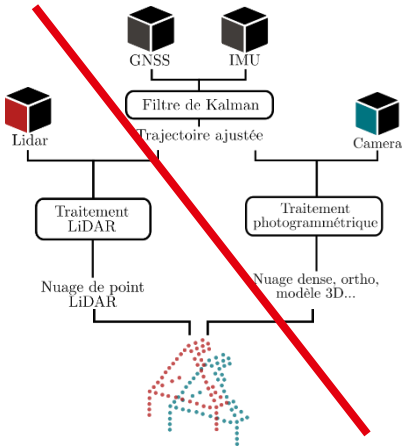
Distance moyenne LiDAR - nuage dense ≈ 50 cm

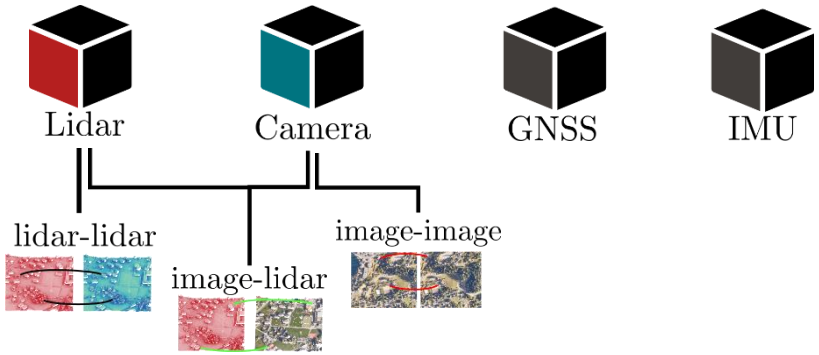




L'approche : un seul ajustement conjoint

Objectif : mettre l'image et le LiDAR en accord





GNSS : Global Navigation Satellite System
IMU: Inertial Measurement Unit

Contraintes optiques

Image ↔ image

points homologues entre les images

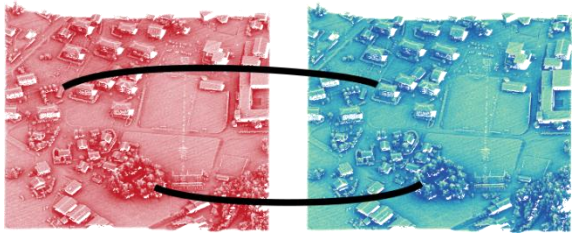


Rôle principal:

- ajuster les poses des cameras
- calibrer le modèle de distorsion

LiDAR ↔ LiDAR[1]

points homologues entre lignes de vol



Rôle principal:

- calibrer le montage du LiDAR (boresight)
- stabiliser la trajectoire

Image ↔ LiDAR[2]

point homologue entre une image et un point LiDAR



Nuage LiDAR Nuage dense

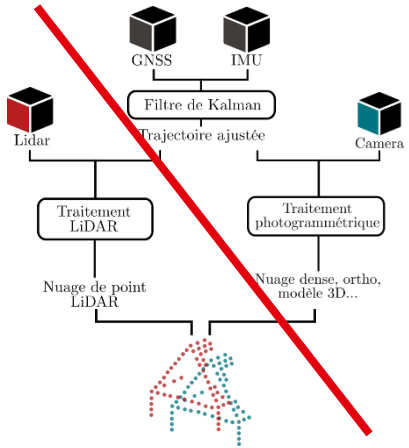
Rôle principal:

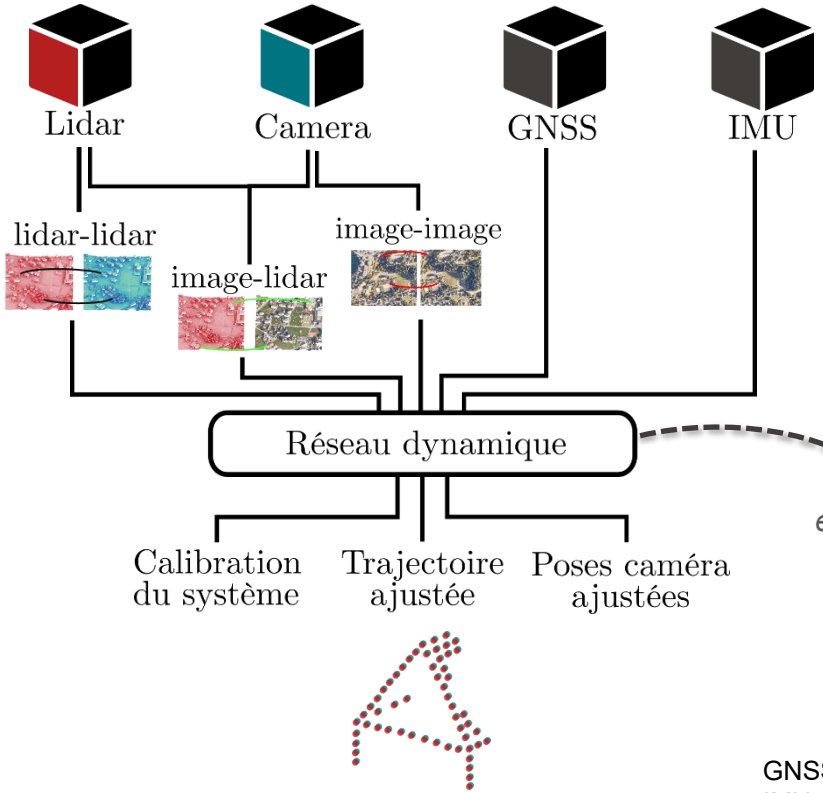
- calibrer la lentille de la caméra (focale, point principal)
- relier directement caméra et LiDAR

1. Brun, A., et al. 2025. **Generalization of point-to-point matching for rigorous optimization in kinematic laser scanning**. ISPRS Journal
2. Mouzakidou, K., et al. 2026. **Extraction of Image-to-Lidar Correspondences and their Impact on Optimal Sensor Fusion.** ISPRS Annals

L'approche : un seul ajustement conjoint

Objectif : mettre l'image et le LiDAR en accord



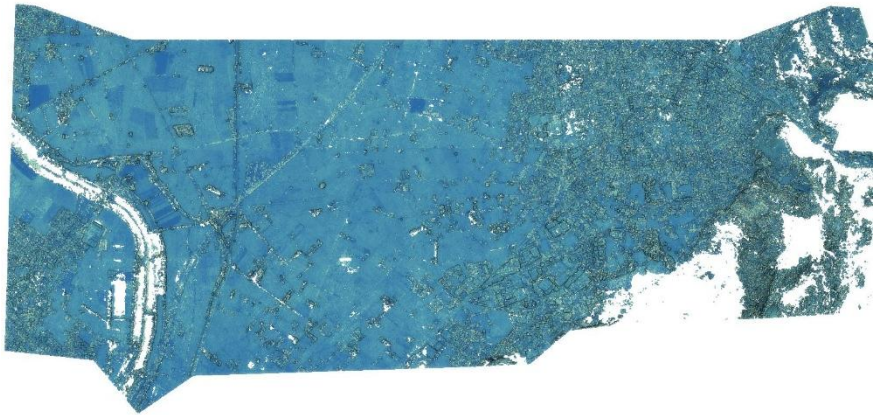


Toutes les mesures traitées ensemble, comme une compensation de réseau.

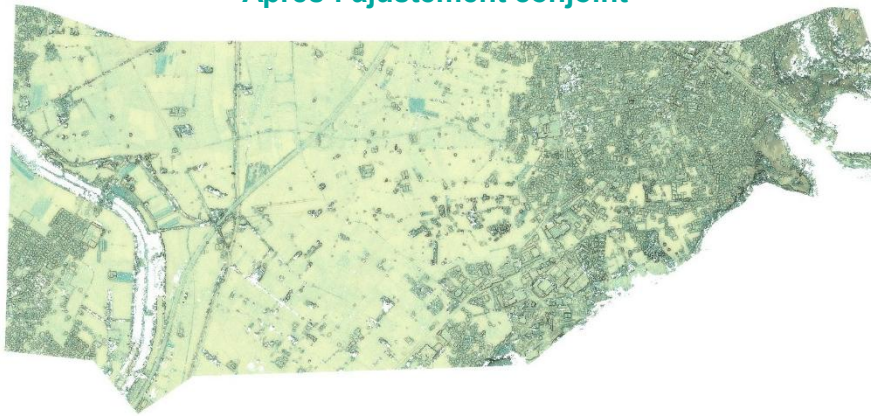
GNSS : Global Navigation Satellite System
IMU: Inertial Measurement Unit

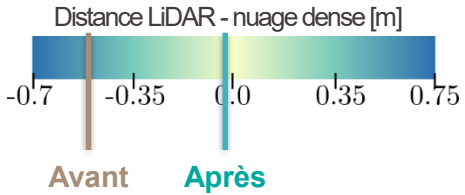
Comparaison du géoréférencement

Avant : traitement conventionnel



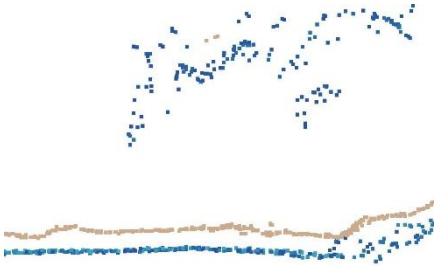
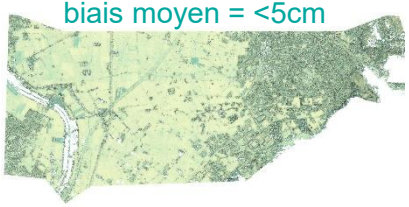
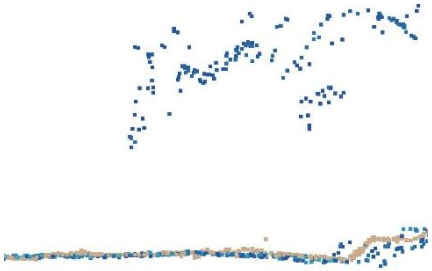
Après : ajustement conjoint

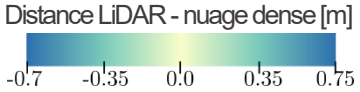




- En traitement conventionnel: décalage LiDAR - nuage dense ≈ 50 cm

Comparaison du géoréférencement

		Focale de la caméra	Exemple de profil en coupe	Erreur aux checkpoints (n = 9)
Avant : traitement conventionnel	biais moyen = 50 cm 	$f = 12101.5\ px$		LiDAR: **24cm (1.5x GSD)** Camera: **60cm (4x GSD)**
Après : ajustement conjoint	biais moyen = <5cm 	$f = 12105.6\ px$		**LiDAR: 12cm (<1x GSD)** **Camera: 14cm (<1x GSD)**

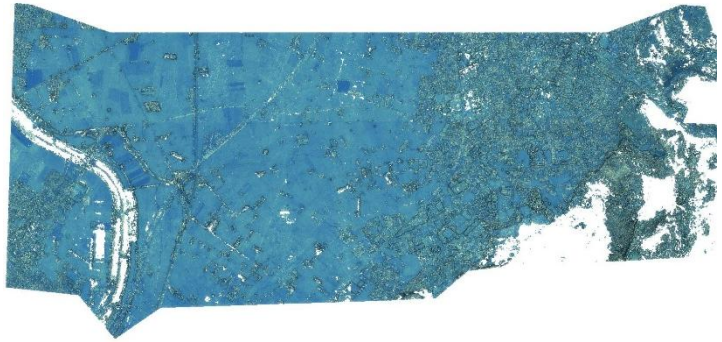


GSD = Ground Sampling Distance (résolution au sol)

En pratique : ce que ça change

- **Recalibrer le système à chaque vol**, avec les données de production, sans vol de calibration dédié.
- **Reconsidérer les applications qui exigent un calage précis** image–LiDAR : classification, segmentation, objets fins.
- **Générer des produits cohérents :** LiDAR et photogrammétrie disent la même chose.

Avant



Après



Et au-delà : d'autres possibilités



Calibration du LiDAR en vol

Angles de montage (boresight) estimés à partir des correspondances LiDAR ↔ LiDAR.

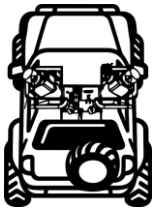
Brun & Skaloud 2026, **arXiv:2606.23101** *(en révision)*



Navigation moins précise

Centrale inertielle pour drone, les correspondances limitent la dérive et améliorent le géoréférencement.

Brun, A., et al. 2025. **Generalization of point-to-point matching for rigorous optimization in kinematic laser scanning**. ISPRS Journal



Pertes de signal GNSS

Tunnels, villes, vallées : en LiDAR mobile, les correspondances maintiennent la trajectoire pendant plusieurs minutes sans GNSS.

Travaux en cours, avec R. Defferrard, Helimap, Orbis360

Merci !

Q&A

References

Lague, D., et al. 2013. **Accurate 3D comparison of complex topography with terrestrial laser scanner: Application to the Rangitikei canyon (N-Z)**. ISPRS Journal

Mandlburger, G., et al. 2017**. Improved topographic models via concurrent airborne LiDAR and dense image matching**. ISPRS Annals

Pentek, Q., et al. 2020. **A flexible targetless LiDAR–GNSS/INS–camera calibration Method for UAV platforms**. ISPRS Journal

Hussnain, et al. 2021. **Enhanced trajectory estimation of mobile laser scanners using aerial images.** ISPRS Journal

Jonassen, V. O , et al. 2023. **Scalable hybrid adjustment of images and LiDAR point clouds.** ISPRS Journal.

Cucci, D. A., et al. 2017. **Bundle adjustment with raw inertial observations in UAV applications**. ISPRS Journal

Brun, A., et al. 2025. **Generalization of point-to-point matching for rigorous optimization in kinematic laser scanning**. ISPRS Journal

Mouzakidou, K., et al. 2026. **Extraction of Image-to-Lidar Correspondences and their Impact on Optimal Sensor Fusion**. ISPRS Annals