HEIG VD | INSIT
Institut d'Ingénierie du territoire

Exploiter l'intensité LiDAR

Corrections, potentiels et applications

Xavier Muth



Swiss LiDAR Day

Morges 10.11.2026

«Intensité» LiDAR ?

«Intensité» LiDAR ?



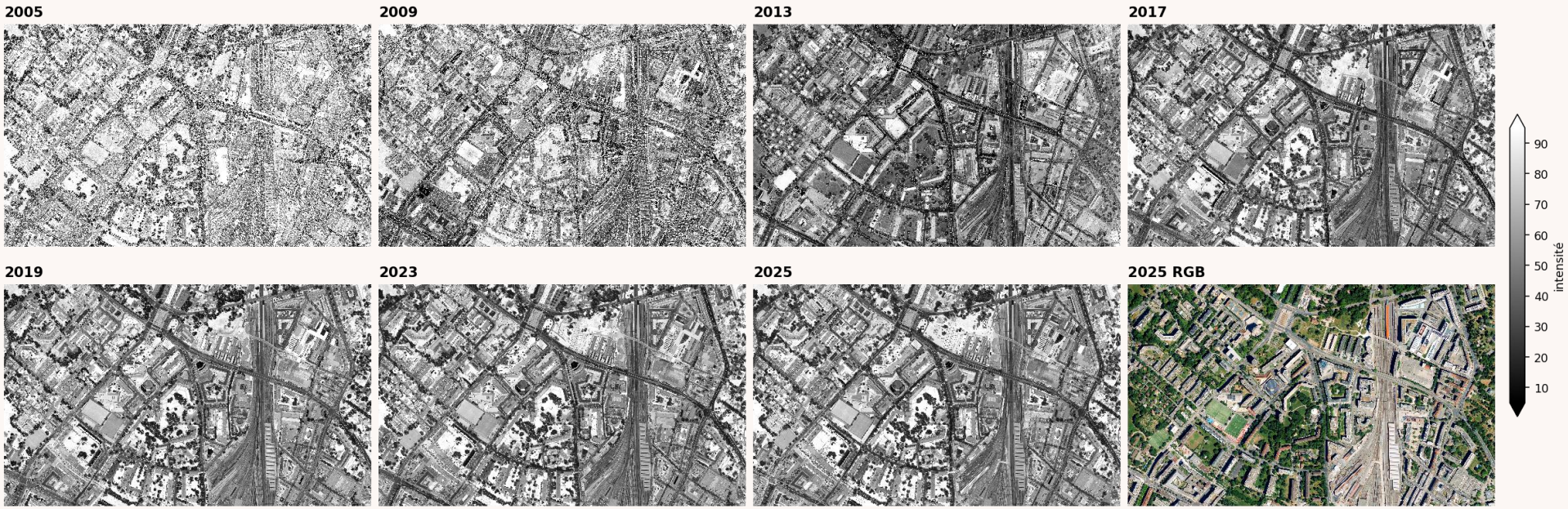
EXEMPLE · DONNÉES DU CANTON DE GENÈVE (SITG)

Echantillon de données LiDAR



EXEMPLE · DONNÉES DU CANTON DE GENÈVE (SITG)

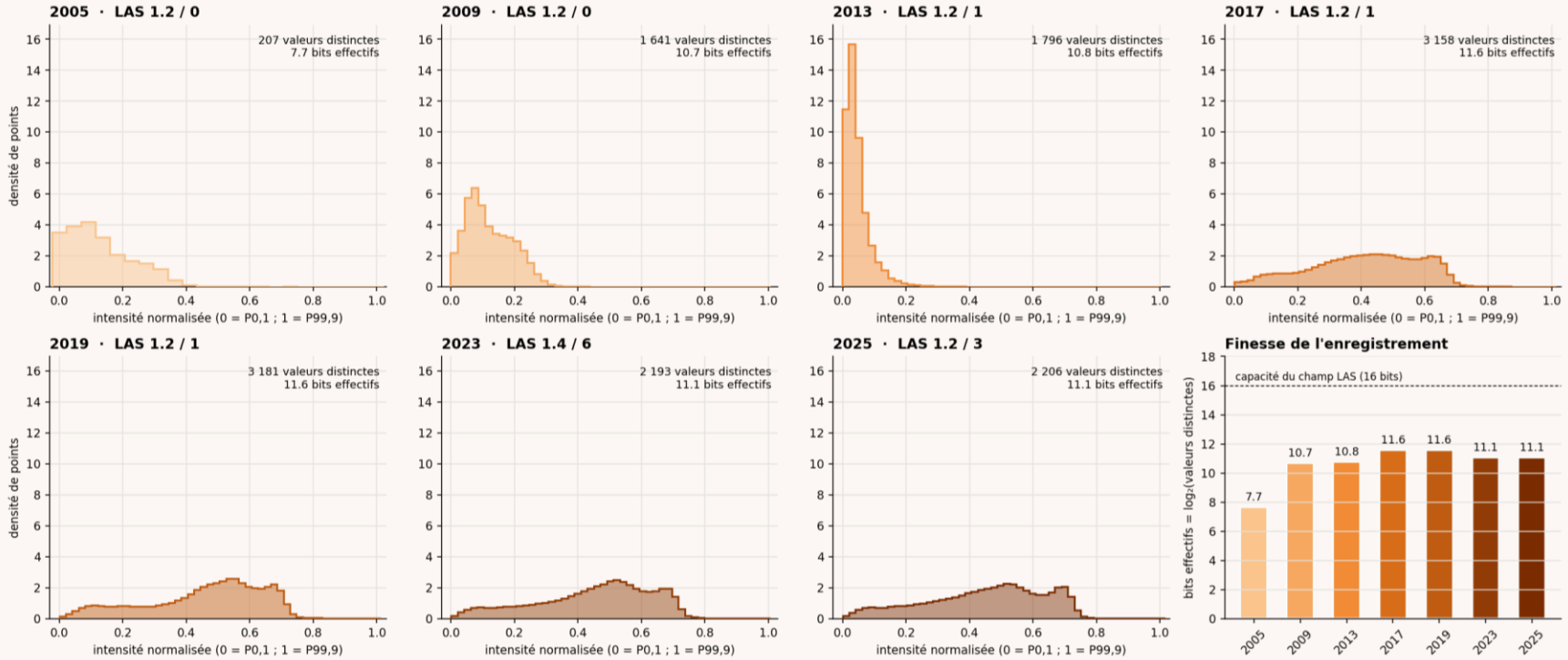
Echantillon de données LiDAR



EXEMPLE · DONNÉES DU CANTON DE GENÈVE (SITG)

Distribution de l'intensité normalisée

Au fil des époques acquises

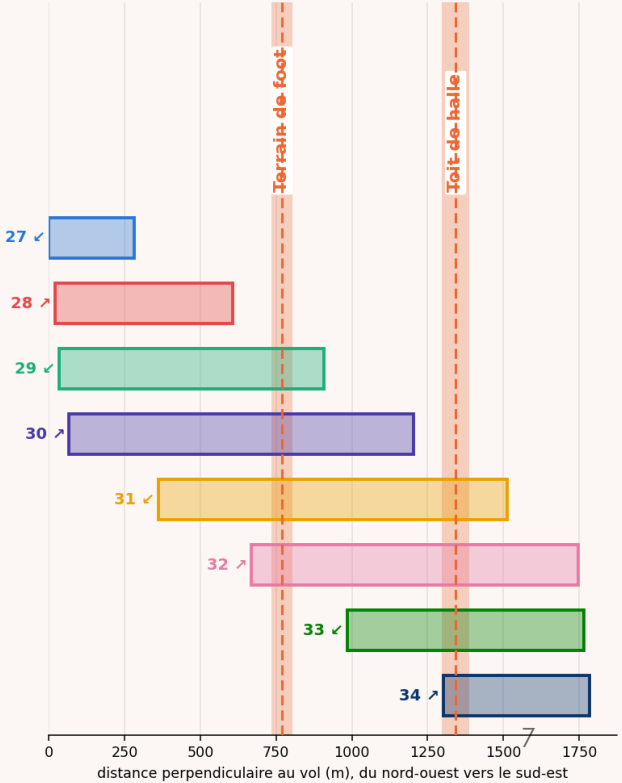


EXEMPLE · DONNÉES DU CANTON DE GENÈVE (SITG)

Distribution de l'intensité normalisée

Au sein d'une acquisition (2025)

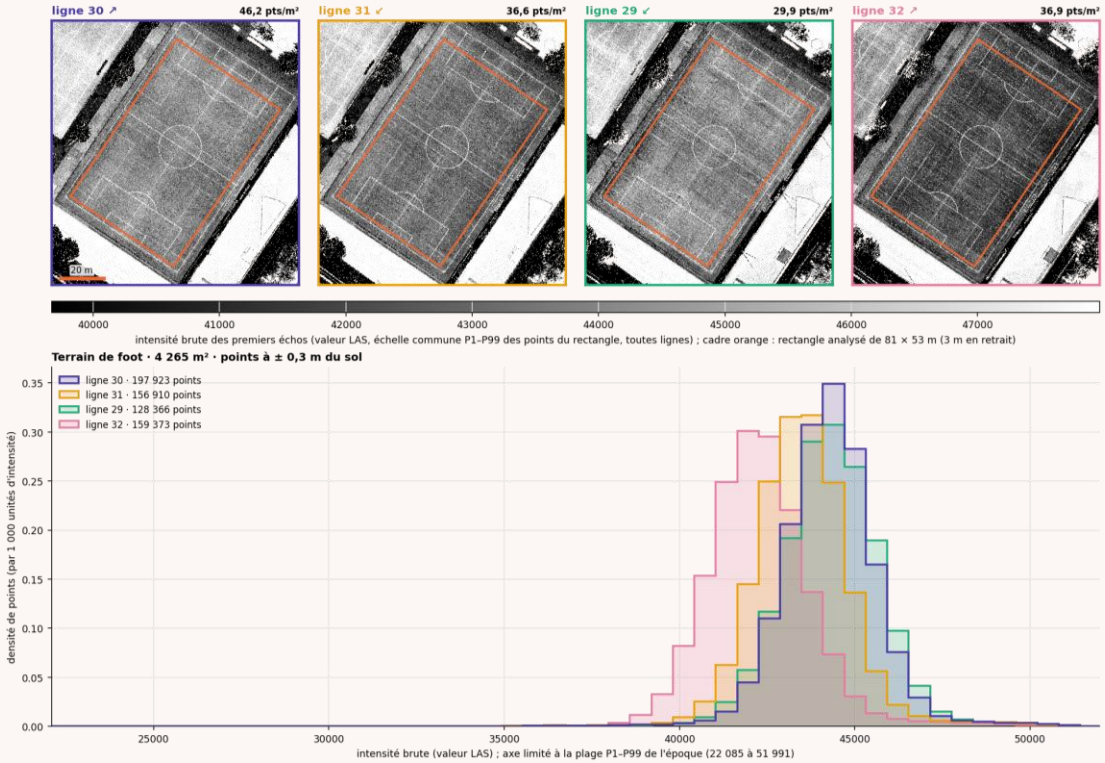




EXEMPLE · DONNÉES DU CANTON DE GENÈVE (SITG)

Distribution de l'intensité normalisée

Au sein d'une acquisition (2025)



EXEMPLE · DONNÉES DU CANTON DE GENÈVE (SITG)

Distribution de l'intensité normalisée

Au sein d'une acquisition (2025)



EXEMPLE · DONNÉES DU CANTON DE GENÈVE (SITG)

Constats

1. **Encodage des données non standardisé**

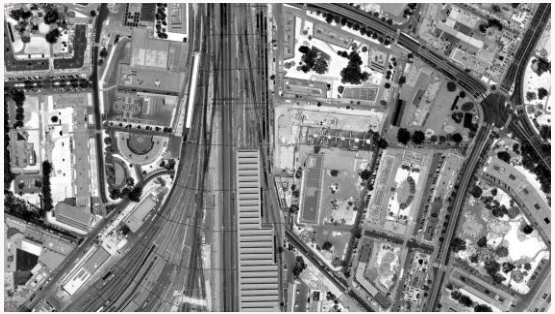
2. **Variations de l'intensité inter-époques**

3. **Variations de l'intensité inter- et intra- lignes de vol**

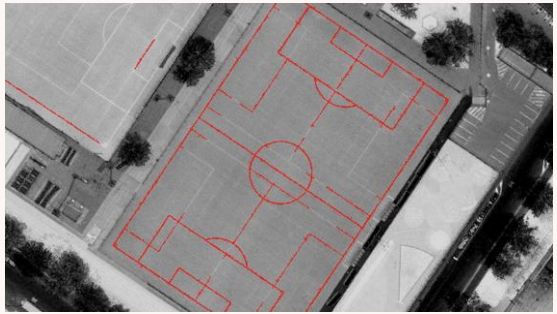
4. **Aucune métadonnée présente dans le format standard .las** (capteur, géométrie d'acquisition)

Pour quelles applications, peut-on utiliser directement l'« intensité brute » ?

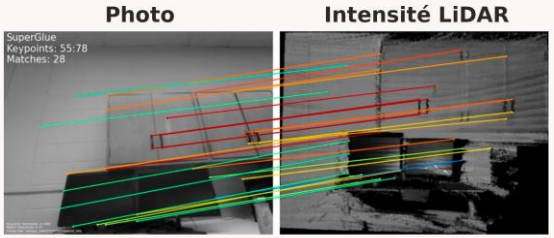
Applications



Visualiser
Interprétation, contrôle



Extraire des objets
Cibles, marquages, panneaux : un contraste local suffit.

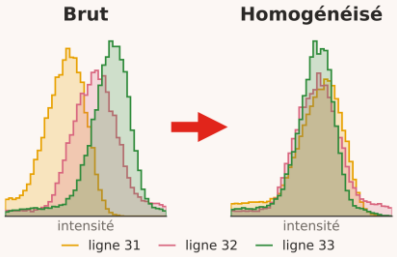


Recaler
Détection de points d'intérêt après rasterisation : calibration ou fusion.

Pour quelles applications, avons-nous besoin d'un post-traitement de l'intensité?

Illustrations : LiDAR aérien du canton de Genève (SITG), 2013–2025 · Recaler : Leahy, J *et al. (2025),* Remote Sensing, 17(3), 357.

Applications



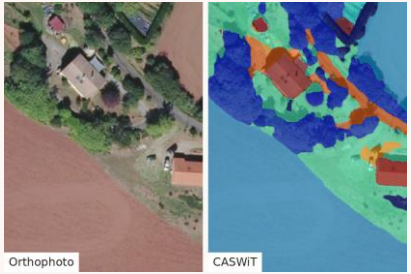
Homogénéiser

À l'échelle du projet : même objet/surface, même valeur (lignes de vol, stations de scan).



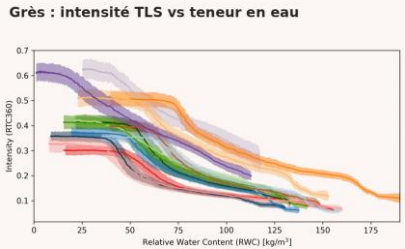
Comparer et fusionner

Dates, capteurs et campagnes différents : calibration absolue.



Classer et segmenter

Des règles (seuillage) à l'apprentissage profond ; modèles transférables entre capteurs.



Mesurer

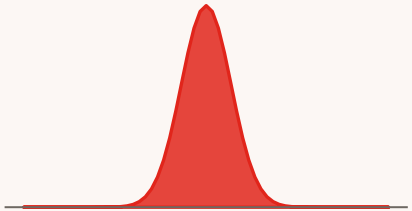
Estimer des grandeurs physiques : teneur en eau, en argile, en pigments.

Comment post-traiter rigoureusement cette information ? Que décrit en soit l'«intensité brute» ?

Illustrations : LiDAR aérien du canton de Genève (SITG), 2013–2025 · Classer : Carreaud et al. (2026), CASWiT, arXiv:2601.11310, fig. 7 · Mesurer : Laasch et al. (2023), ISPRS Annals X-1/W1, fig. 4 recadrée, CC BY 4.0

ÉQUATION LiDAR

Relier le signal émis au signal reçu



Signal émis P_t [W]

équation LiDAR

atténué, élargi, déformé : par quoi ?



Signal reçu P_r [W]

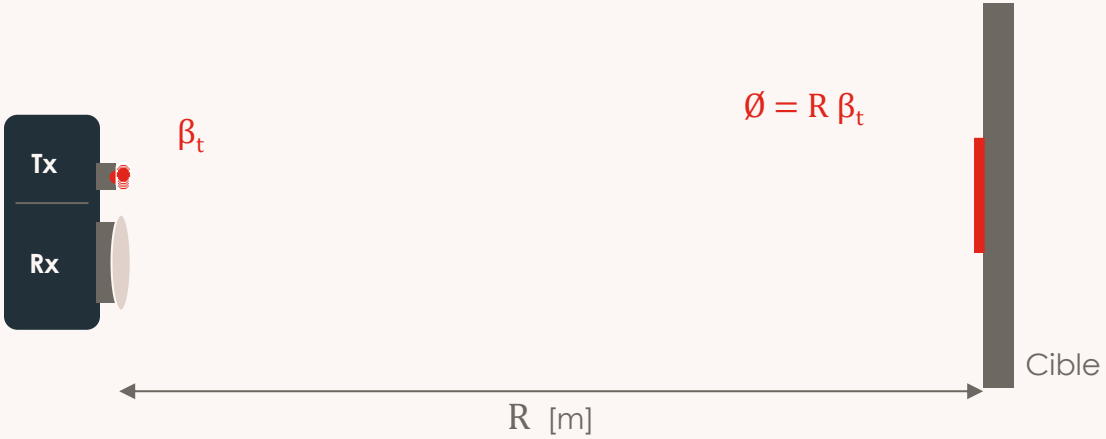
Instrument	Géométrie	Atmosphère	Cible
$P_t, \beta_t, D_r, \eta_{sys}$	R, α	T_{atm}	$\sigma \rightarrow \rho$
propre à l'acquisition	*propre à l'acquisition*	*propre à l'acquisition*	*ce que l'on cherche*

Objectif : séparer ce qui vient de la cible de ce qui vient de l'acquisition, pour rendre l'intensité comparable.

Le cône d'émission éclaire la cible

$$P_r = \underbrace{\frac{4\,P_t}{\pi\,R^2\,\beta_t^{\,2}}\cdot T_{atm}}_{\textcircled{1}} \times$$

[W]



① Cône d'émission

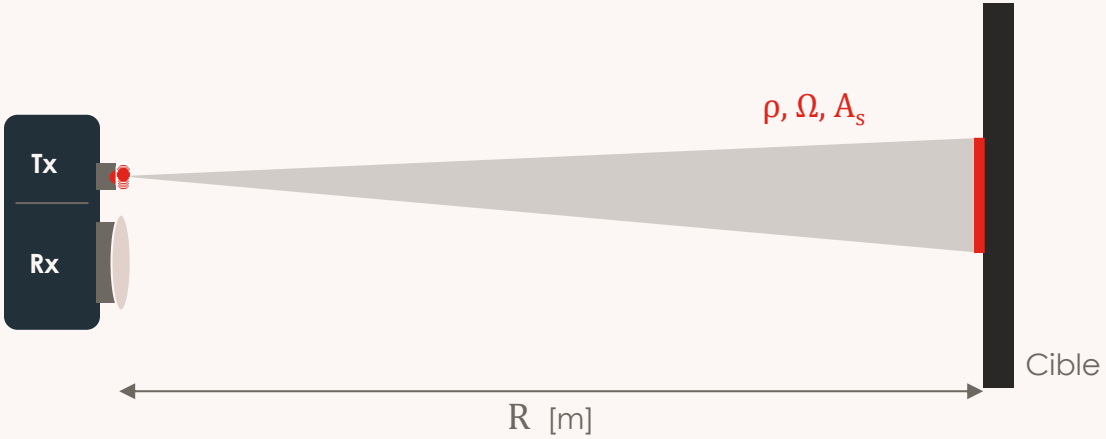
- P_t puissance laser émise **[W]**
- β_t divergence du faisceau **[rad]**
- T_{atm} transmission aller **[–]**

Modèle : éclairement uniforme réparti sur l'empreinte

La cible renvoie une partie du signal

$$P_r = \underbrace{\frac{4\,P_t}{\pi\,R^2\,\beta_t^{\,2}}\cdot T_{atm}}_{1} \times \underbrace{\sigma}_{2} \times$$

[W]



2 Cible

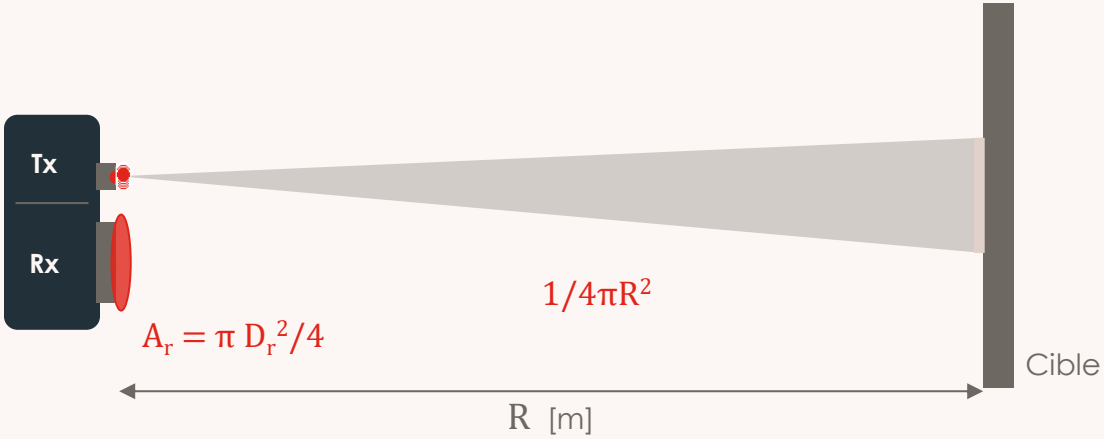
- σ section efficace rétrodiffusée **[m²]**
- A_s surface éclairée **[m²]**
- ρ, Ω réflectance [–], angle solide **[sr]**

Modèle : $\sigma = (4\pi/\Omega)\cdot\rho\cdot A_s$

Le récepteur n'en capte qu'une infime partie

$$P_r = \underbrace{\frac{4\,P_t}{\pi\,R^2\,\beta_t^{\,2}}\cdot T_{atm}}_{1} \times \underbrace{\sigma}_{2} \times \underbrace{\frac{1}{4\pi\,R^2}\cdot\frac{\pi\,D_r^{\,2}}{4}\cdot T_{atm}}_{3} \times \eta_{sys}$$

[W]



3 Cône de retour

$1/4\pi R^2$	dilution sphérique	[m^{-2}]
$\pi D_r^{\,2}/4$	surface du récepteur	[m^2]
T_{atm}, η_{sys}	transmission, optique	[–]

Seule la partie captée par l'ouverture compte

Pourquoi l'intensité brute n'est pas comparable

P_t, β_t

Émetteur

- énergie / cadence
- divergence

λ

Longueur d'onde

- ~900, 1000, 1550 nm
- agit sur cible et air

R

Distance

- altitude, fauchée

α

Incidence

- balayage, pente
- varie par ligne

T_{atm}

Atmosphère

- humidité, aérosols
- absorption selon λ

σ

État de la cible

- humidité, saison

σ_i

Échos multiples

- énergie partagée

η_{sys}

Récepteur

- gain auto (AGC)

Kashani et al. 2015

A review of LiDAR Radiometric Processing:
From Ad Hoc Intensity Correction to Rigorous Radiometric Calibration

0 — Intensité brute

valeurs fournies par le constructeur ; mise à l'échelle souvent inconnue

1 — Correction

réduction de l'effet d'un ou plusieurs paramètres

→ pseudo-réflectance

2 — Normalisation

mise à l'échelle et/ou décalage pour raccorder dalles ou bandes voisines

3 — Correction et calibration rigoureuses

cibles de réflectance connue

→ constantes de calibration
→ réflectance

de l'intensité brute à la réflectance

Ce que fournissent les instruments actuels

Instrument	Plateforme	λ	Grandeur(s) fournie(s)	Correction(s)
RIEGL VQ-1560 III-S	Aérien	1064 nm	amplitude brute (dB) ; réflectance (dB) ; onde complète	distance ; distance + incidence
Leica TerrainMapper-3	Aérien	1064 nm	intensité 14 bits ; réflectance (%) ; onde complète	distance + incidence
Leica RTC360	Terrestre	1550 nm	intensité sans unité	*non calibrée*
DJI Zenmuse L2	Drone	905 nm	réflectivité (0–255), 5 retours	*non documenté*

Sources : fiches techniques RIEGL et Leica (2025) ; Rieger et al., FIG 2010 ; Sabzali & Pilgrim, Sensors 25 (2025) ; DJI Enterprise

En résumé

Utilisation routinière actuelle de l'intensité brute

- visualisation, extraction d'objets, recalage
- valeurs propres à chaque capteur et à chaque acquisition

Pour une utilisation avancée :

1. **Nécessité d'une standardisation / évolution des formats**
   → avec l'association des métadonnées
   → avec l'association de la trajectoire

2. **Adaptation des constructeurs**
   → développement de méthodes de calibration

3. **Exploitation physique de l'intensité**
   → matériaux, simulation

Merci de votre attention !

Références

Équation LiDAR et calibration radiométrique

Jelalian, A. V. (1992). Laser Radar Systems. Artech House, Boston.

Wagner, W., Ullrich, A., Ducic, V., Melzer, T., Studnicka, N. (2006). Gaussian decomposition and calibration of a novel small-footprint full-waveform digitising airborne laser scanner. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 60(2), 100–112.

Höfle, B., Pfeifer, N. (2007). Correction of laser scanning intensity data: data and model-driven approaches. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 62(6), 415–433.

Wagner, W., Hyyppä, J., Ullrich, A., Lehner, H., Briese, C., Kaasalainen, S. (2008). Radiometric calibration of full-waveform small-footprint airborne laser scanners. IAPRS, XXXVII-B1, 163–168.

Wagner, W. (2010). Radiometric calibration of small-footprint full-waveform airborne laser scanner measurements: basic physical concepts. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 65(6), 505–513.

Lehner, H., Briese, C. (2010). Radiometric calibration of full-waveform airborne laser scanning data based on natural surfaces. IAPRS, XXXVIII-7B, 360–365.

Kashani, A. G., Olsen, M. J., Parrish, C. E., Wilson, N. (2015). A review of LiDAR radiometric processing: from ad hoc intensity correction to rigorous radiometric calibration. Sensors, 15(11), 28099–28128.

Instruments

Rieger, P., Studnicka, N., Pfennigbauer, M., Ullrich, A. (2010). Advances in mobile laser scanning data acquisition. FIG Congress 2010, Sydney.

Sabzali, M., Pilgrim, L. (2025). 4D pointwise terrestrial laser scanning calibration: radiometric calibration of point clouds. Sensors, 25(22), 7035.

Applications

Laasch, H., Medic, T., Wieser, A. (2023). Towards assessing sandstone surface moisture and degradation level from radiometrically corrected TLS intensity data. ISPRS Annals, X-1/W1-2023, 567–574.

Leahy, J., Jabari, S., Lichti, D., Salehitangrizi, A. (2025). Enhancing cross-modal camera image and LiDAR data registration using feature-based matching. Remote Sensing, 17(3), 357.

Carreaud, A., Naha, E., Chansel, A., Lahellec, N., Skaloud, J., Gressin, A. (2026). Context-Aware Semantic Segmentation via Stage-Wise Attention (CASWiT). arXiv:2601.11310

Présentation réalisée avec l'assistance de *Claude Opus 5.5*