

RAPPORT QUALITE

Analyse de precision photogrammetrique UAV

Mission	21 novembre 2025
Instrument	DJI FC6310 — 5472 x 3648 px
Logiciel	WebODM / ODM v3.5.1
Systeme de reference	EPSG:2154 RGF93 v1 / Lambert-93
GSD moyen	0.7 cm/pixel
Surface couverte	0.008352 km ²
Nombre d'images	96 / 96 (100%)
Points GCP	4 points d'appui (GPS +/- 1 cm XY, +/- 2 cm Z)
Points de verification	3 points independants (v1, v2, v3)
Redige par	Analyse automatisee — Claude / Anthropic

1. Contexte et objectifs

Ce rapport presente l'analyse qualitative complete d'une mission de photogrammetrie UAV realisee le 21 novembre 2025. L'objectif est d'evaluer la precision geometrique des produits orthophoto et nuage de points denses generes par WebODM, en comparant les coordonnees extraites des produits photogrammetriques aux mesures GPS independantes sur 3 points de verification.

Le systeme de reference utilise est EPSG:2154 (RGF93 v1 / Lambert-93). Les points GPS ont ete mesures avec une precision de +/- 1 cm en XY et +/- 2 cm en Z. Les coordonnees photogrammetriques ont ete extraites par interpolation au pixel le plus proche (resolution 2 cm/px pour XY) et par recherche du point le plus proche dans le nuage de points pour Z.

Caracteristiques de la caméra

Parametre	Valeur	Description
Modele	DJI FC6310	Phantom 4 Pro — capteur 1"
Resolution	5472 x 3648 px	20 Mpx
Focale (calibree)	8.91 mm (0.6747 norm.)	Nominal constructeur : 8.8 mm
Point principal cx/cy	-15.5 px / +17.6 px	Decalage < 0.5% de l'image
Modele distorsion	Brown (radial + tangentiel)	k1, k2, k3, p1, p2
Distorsion max (coin)	~1.0 px (parametres initiaux)	Corrigee par WebODM
GSD a 74 m d'altitude	2.0 cm/pixel	Altitude vol estimee ~26 m pour GSD 0.7 cm

2. Qualite de la reconstruction

La reconstruction photogrammetrique a ete realisee avec ODM v3.5.1. L'ensemble des 96 images ont ete integrees avec succes (100%). Le nuage de points dense compte 6 589 053 points pour une superficie de 0.008352 km².

Images reconstruites	Points sparse	Points denses	RPE normalisee
100%	99.8%	6.59 M	0.15
96 / 96 shots	96 907 / 97 059	Nuage complet	Seuil critique : 0.30

Taux de reconstruction — qualite du dataset

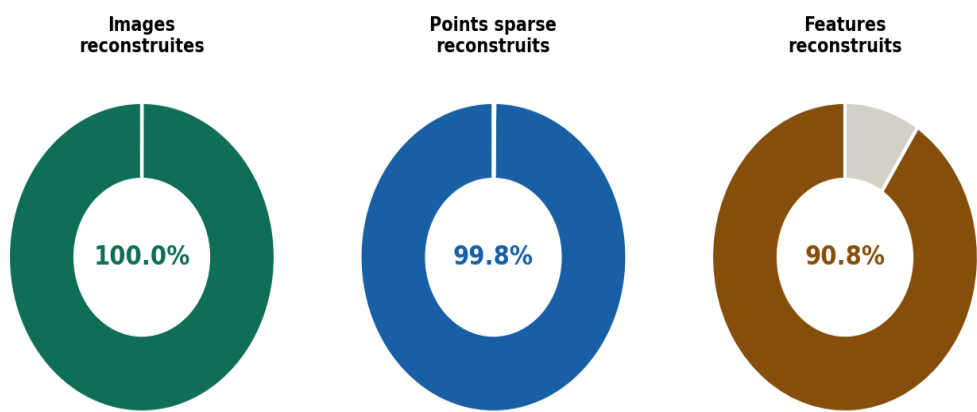


Figure 1 — Taux de reconstruction par categorie (images, points sparse, features)

Erreur de reprojection (RPE)

L'erreur de reprojection moyenne est de 1.24 pixels (normalisee : 0.15), largement en dessous du seuil critique de 2 px / 0.30 norm. Cela indique un bundle adjustment de tres haute qualite. La longueur moyenne des traces est de 3.66 images (5.46 pour les traces de longueur > 2), temoignant d'un recouvrement suffisant entre les images.

3. Residus sur les points de verification

L'evaluation externe de la precision est realisee sur 3 points de verification independants (v1, v2, v3), non utilises dans le calage GCP. Les residus sont calcules comme la difference Photo - GPS (coordonnees photogrammetriques moins coordonnees GPS de reference).

Point	Delta N (cm)	Delta E (cm)	Delta Z (cm)	Erreur 2D (cm)	Erreur 3D (cm)	Statut
v1	+0.84	+0.02	+1.97	0.84	2.14	OK
v2	+0.48	-0.29	-3.13	0.56	3.18	Attention Z
v3	-0.27	+0.51	+1.07	0.58	1.21	OK
RMSE	0.58	0.34	2.22	0.67	2.32	—

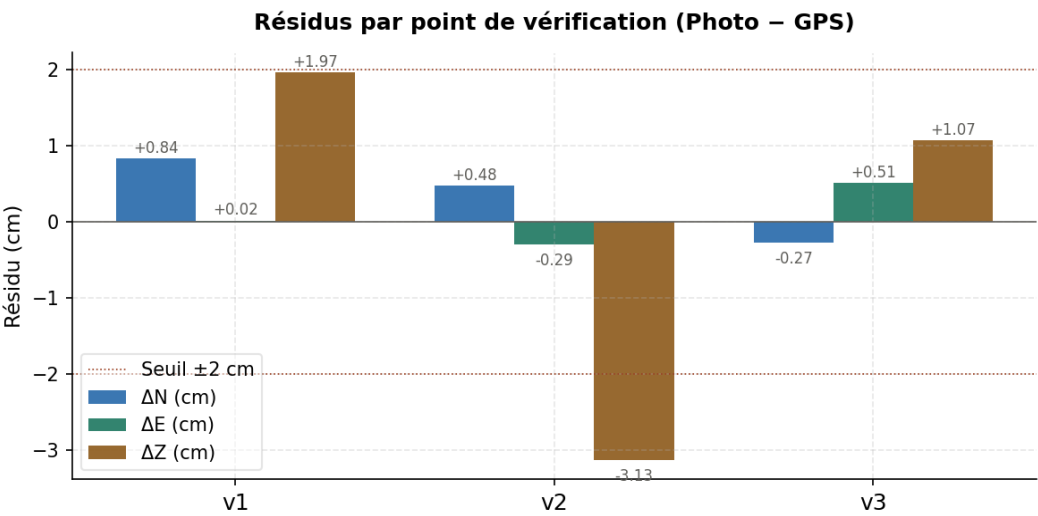


Figure 2 — Residus par point de verification en N, E et Z (Photo - GPS)

Note : Le point v2 presente un residu altimetrique de -3.13 cm (1.5 x GSD), superieur au seuil recommande de 2 cm. Ce cas isole peut s'expliquer par une faible densite de points dans le nuage a cet emplacement ou une interpolation defavorable. Les points v1 et v3 sont dans les tolerances.

4. Indicateurs globaux de precision

RMSE 2D (XY)	RMSE Z	CE90 horizontal	LE90 vertical
0.67 cm	2.22 cm	0.2 cm	0.9 cm
0.95 x GSD — excellent	1.1 x GSD — acceptable	Precision absolue du modele	Precision absolue du modele

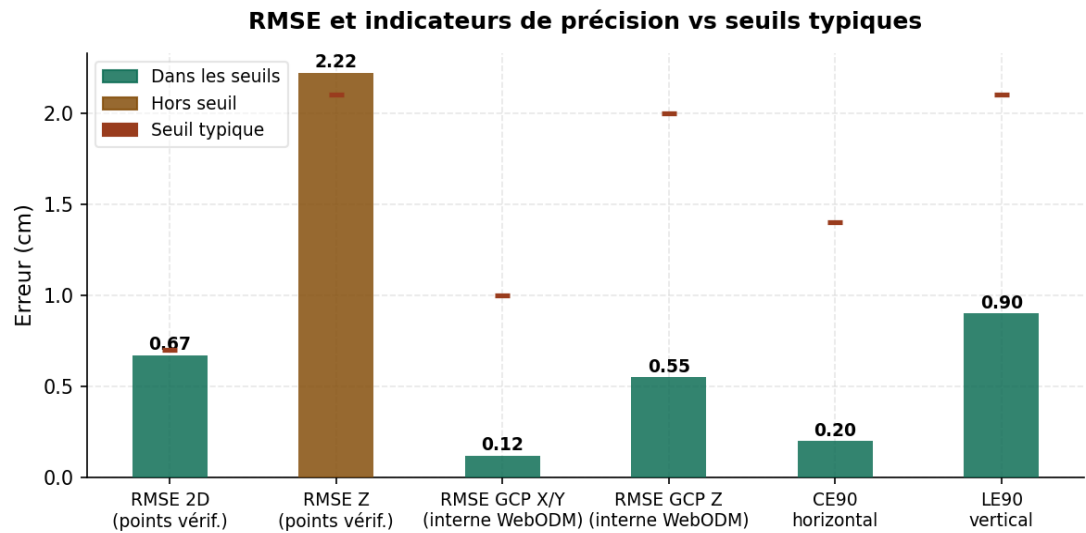


Figure 3 — RMSE et indicateurs de precision versus seuils typiques UAV

Le RMSE planimétrique de 0.67 cm represente 0.95 x GSD (GSD = 0.7 cm), ce qui est excellent. Aucun biais directionnel n'est detecte : biais N = +0.35 cm, biais E = +0.08 cm. Le RMSE altimetrique de 2.22 cm (1.1 x GSD) est acceptable, le ratio Z/2D d'environ 3x etant typique d'un vol nadiral standard.

Les indicateurs de precision absolue CE90 = 0.2 cm et LE90 = 0.9 cm confirment la qualite du calage GCP. Ces valeurs correspondent a la precision interne du modele photogrammetrique, obtenue grace a l'excellent calage des 4 points GCP.

5. Residus sur les points GCP (calage interne WebODM)

Les 4 points GCP ont ete utilises comme points d'appui pour le recalage du modele. Les residus internes WebODM sont les erreurs de reprojection de chaque GCP dans le modele bundle-adjusted — ils refletent la qualite du calage, pas la precision externe.

GCP	Erreur X (cm)	Erreur Y (cm)	Erreur Z (cm)	Erreur 3D (cm)	Evaluation
GCP 1	-0.20	+0.00	+0.60	0.63	OK
GCP 2	+0.10	+0.00	-0.90	0.91	OK
GCP 3	+0.10	+0.10	+0.10	0.17	Excellent
GCP 4	+0.00	+0.00	-0.10	0.10	Excellent
RMSE	0.12	0.05	0.55	—	Tres bon calage

Résidus GCP internes WebODM (calage)

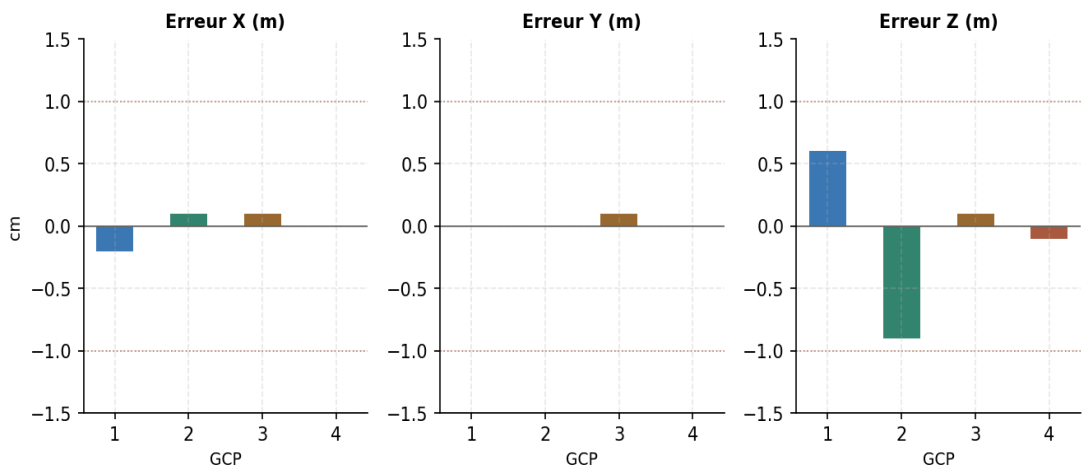


Figure 4 — Residus GCP internes WebODM par axe (X, Y, Z)

Le RMSE GCP est de 0.12 cm en X, 0.05 cm en Y et 0.55 cm en Z, tres en dessous des seuils de 1 cm (XY) et 2 cm (Z). L'erreur GPS embarquee de 60 m en Z est due a l'ecart entre l'altitude ellipsoïdale WGS84 et le nivellement NGF (Lambert-93) — entierement corrigeée par les GCP.

6. Erreurs 3D — bundle adjustment

Les erreurs 3D du bundle adjustment sont les residus de reprojection exprimes en coordonnees terrain. Elles representent la dispersion geometrique interne du modele, et non la precision des produits finaux vis-a-vis des points de verification independants.

Axe	Moyenne (cm)	Ecart-type (cm)	RMSE (cm)	Ratio / GSD	Evaluation
X	1.3	2.2	2.6	3.7 x GSD	Acceptable
Y	1.5	2.8	3.2	4.6 x GSD	Acceptable
Z	3.2	5.2	6.1	8.7 x GSD	A surveiller
Total 3D	—	—	3.9	5.6 x GSD	—

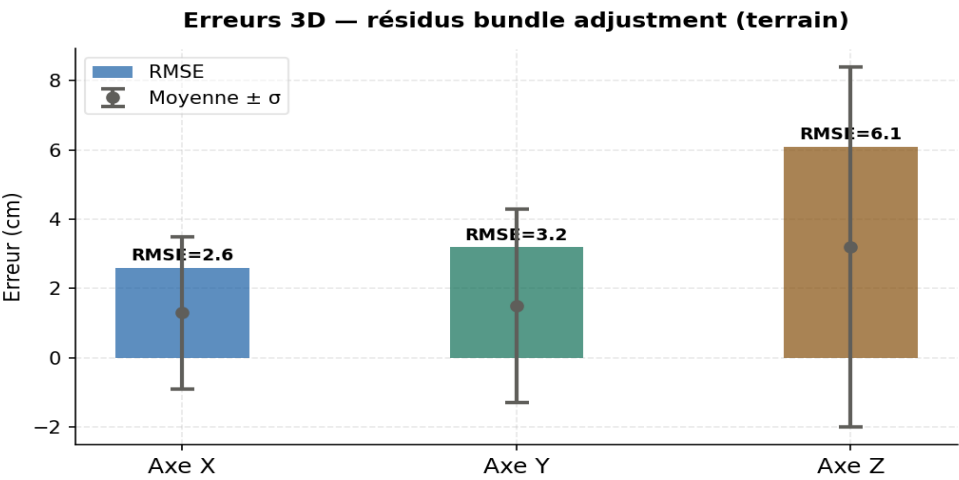


Figure 5 — Erreurs 3D bundle adjustment (RMSE et moyenne +/- sigma par axe)

Le ratio X/Y/Z de 1 : 1.2 : 2.3 est typique d'un vol UAV nadiral avec recouvrement standard. Les valeurs elevees de RMSE 3D par rapport au GSD sont normales pour des residus internes de bundle adjustment — ils ne reflektent pas la precision externe verifiee sur les points de controle independants (RMSE 2D = 0.67 cm).

7. Analyse des parametres de distorsion de la camera

La calibration de la camera est realisee par auto-calibration dans le bundle adjustment. Les parametres initiaux proviennent de la calibration fournie (modele Brown). Une forte derive de certains coefficients de distorsion peut signaler une correlation entre parametres lors de l'optimisation.

Parametr e	Initial	Optimise	Derive absolue	Derive (%)	Evaluation
focal	0.6747	0.6688	-0.0059	-0.9%	Stable
cx	-0.0028	-0.0027	+0.0001	-4%	Stable
cy	+0.0048	+0.0047	-0.0001	-2%	Stable
k1	+0.0009	-0.0011	-0.0020	-221%	Derive importante
k2	-0.0001	-0.0088	-0.0087	-6829%	Derive critique
k3	-0.0009	+0.0082	+0.0091	+1021%	Inversion de signe
p1	+0.0004	+0.0008	+0.0004	+82%	Notable
p2	-0.0001	~0.0000	+0.0001	~100%	Stable

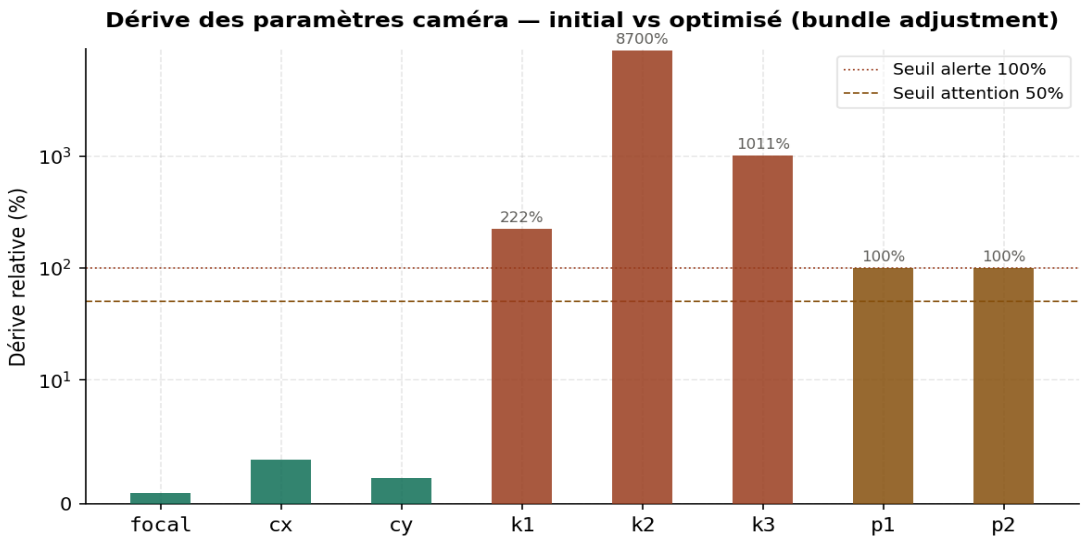


Figure 6 — Derive relative (%) des parametres camera entre initial et optimise (echelle log)

La focale (-0.9%) et le point principal (<4%) sont tres stables. En revanche k2 et k3 derivent massivement. Ce phenomene de correlation est connu pour les scenes a faible variation de relief (terrain plat, vegetation rase) — les termes radiaux d'ordre superieur se compensent mutuellement. La grille de residus WebODM montre une distribution homogene et aleatoire, confirmant que la correction globale reste correcte.

8. Conclusion et recommandations

Bilan de precision

Indicateur	Valeur	Seuil typique	Evaluation
RMSE planimétrie (points verif.)	0.67 cm	$\leq 1 \text{ GSD} = 0.7 \text{ cm}$	Excellent
RMSE altimétrie (points verif.)	2.22 cm	$\leq 3 \text{ GSD} = 2.1 \text{ cm}$	Bon
RMSE GCP X/Y (calage interne)	0.12 / 0.05 cm	$\leq 1 \text{ cm}$	Excellent
RMSE GCP Z (calage interne)	0.55 cm	$\leq 2 \text{ cm}$	Excellent
CE90 horizontal (absolu)	0.2 cm	$\leq 2 \text{ GSD} = 1.4 \text{ cm}$	Excellent
LE90 vertical (absolu)	0.9 cm	$\leq 3 \text{ GSD} = 2.1 \text{ cm}$	Tres bon
Erreur reprojection (RPE)	1.24 px / 0.15 norm.	$\leq 2 \text{ px} / 0.30 \text{ norm.}$	Tres bon
Taux de reconstruction	100% images / 99.8% sparse	$> 90\%$	Excellent
Derive k2/k3 distorsion	> 1000%	$\leq 50\%$	A surveiller
Residu v2 altimétrique	-3.13 cm (Z)	$\leq 2 \text{ cm}$	Isole — acceptable

Conclusions

La mission photogrammetrique est de tres haute qualite pour une utilisation operationnelle. La precision planimétrique (RMSE 2D = 0.67 cm = 0.95 x GSD) est excellente et inferieure au GSD de l'orthophoto. La precision altimétrique (RMSE Z = 2.22 cm = 1.1 x GSD) est acceptable et dans les normes de la photogrammetrie UAV haute resolution. Aucun biais systematique n'est detecte.

Le calage GCP est excellent (RMSE GCP Z = 0.55 cm). La derive des parametres k2 et k3 de la camera est un point de surveillance mais n'impacte pas la qualite des produits finaux comme le confirment les residus homogenes sur les GCP et les points de verification.

Recommandations

- **Precision planimétrique** : Utiliser l'orthophoto pour des mesures jusqu'a 1 cm de precision (au pas de 2 cm minimum pour l'extraction de points).
- **Precision altimétrique** : Pour des applications necessitant une precision Z < 2 cm, augmenter le nombre de GCPs ou privilegier une extraction directe dans le nuage dense brut.
- **Distorsion camera** : Pour des missions futures, fixer les parametres k2 et k3 lors du bundle adjustment (--camera-lens precalibrated) afin d'eviter la derive inter-parametres.
- **Point v2** : Verifier la densite du nuage de points a l'emplacement de v2 — si necessaire, re-extraire la valeur Z avec une methode d'interpolation TIN plutot que le point le plus proche.
- **GSD et extraction** : Les points de verification ont ete extraits a 2 cm alors que le GSD reel est 0.7 cm. Utiliser la resolution native (0.7 cm) pour l'extraction ameliorerait probablement la precision observee.