geofit
GÉOMÈTRE - EXPERT

Rapport de réalisation des orthophotographies de 5 cm à Rennes

2 juillet 2026

Acquisition d'une prise de vues photographiques aériennes et production d'orthophotographies sur le territoire de Rennes Métropole

Siège social : 7 rue Kastler – 44307 NANTES – France – 02 40 68 28 90
SELAS de Géomètres-Experts au capital de 10 000 000 €
RCS Nantes : 342 174 018 – SIRET : 342 174 018 00354 – APE : 7112A – TVA intracommunautaire : FR69342174018

Table des matières

1. Objet du projet 3
1.1. Réalisation de la prise de vue 4
1.2. Plan de vol réalisé 4
2. Stéréopréparation 5
2.1 Matériel utilisé et précision des levés 6
2.2 Réalisation de la stéréopréparation 7
3. Aérotriangulation 8
3.1 Matériel et logiciel 9
3.2 Résultats des calculs 12
4. MNT de base 14
5. Création des orthophotos 15
6. Produits livrés 20



1. Objet du projet

Dans le cadre de la production d'images orientées et d'ortho-images aériennes sur le territoire de Rennes Métropole en vue de la production d'un PCRS et d'une orthophotographie RVB et IRC, Geofit a réalisé des acquisitions aériennes.

Ce rapport détail le processus de la réalisation des orthophotographies à 5 cm.

1.1. Réalisation de la prise de vue

L'acquisition a été effectuée en totalité en 2025.
Le chantier a été réalisé en 5 jours de vols entre le 10.04.2025 et le 06.08.2025.

La PVA comporte au total 19 899 déclenchements pour la production de 711 km² d'orthophotographies selon les limites fournies.

Les images du chantier ont été géoréférencées en 1 seul bloc en décembre 2025.

1.2. Plan de vol réalisé

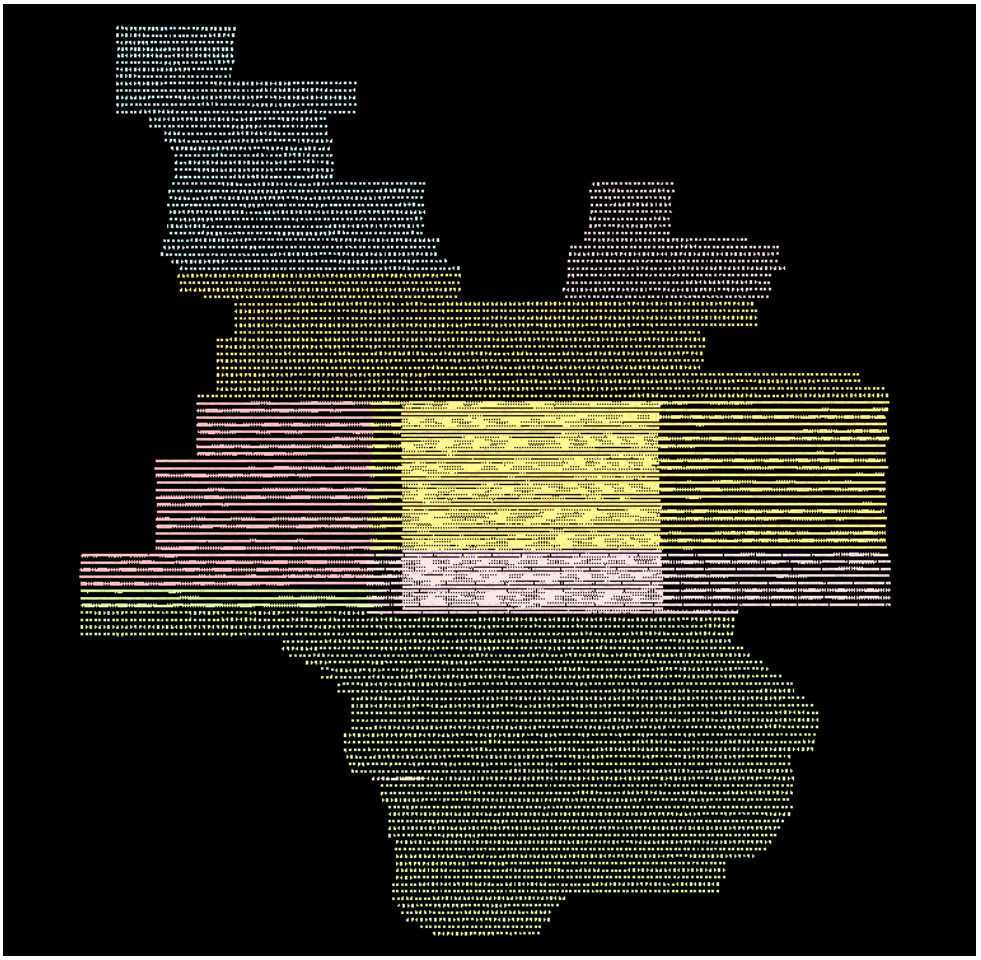


Figure 1 : Plan de vol par dates



2. Stéréopréparation

Dans le cadre du géoréférencement des images, des points terrains ont été levés pour servir de points d'appuis sur lequel recaler la position des images. La levée de ces points correspond à la stéréopréparation.

2.1 Matériel utilisé et précision des levés

La stéréopréparation a été réalisée par méthode GPS temps réel. 2 mesures de chaque point ont été effectuées pour assurer de bonnes observations et corrections du réseau. Cela permet des mesures avec une précision de 3 cm en XY et 5 cm en Z, précision nécessaire et suffisante pour l'aérotriangulation du bloc.



Figure 2 : Acquisition des points d'appui

2.2 Réalisation de la stéréopréparation

Prenant en considération le plan de vol réalisé nous avons placé sur le bloc **59 sites (jaunes et rouges) de points de calage.**

Les choix et la répartition des points a suivi les principes suivants :

- Répartition de manière homogène à l'intérieur du bloc
- Densification en bordure de bloc
- Positionnement sur les bandes transversales.

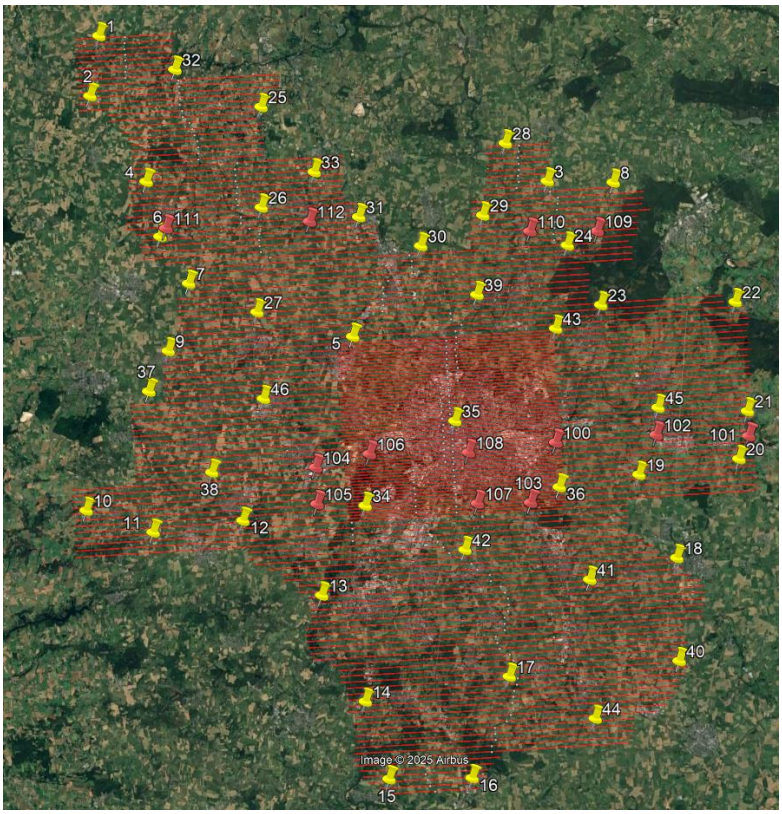


Figure 3 : Schéma de la stéréopréparation et du placement des points d'appuis

Les techniciens ont mesuré sur chaque site 2 points, et une liste de coordonnées a été éditée comportant la totalité des points.

De plus, nous avons récupéré, de nos archives de 2020, les coordonnées de 13 points complémentaires (nommés 2020_XX).

Le système de coordonnées de base est le CC48 et IGN69.



3. Aérotriangulation

L'aérotriangulation est l'étape de géoréférencement des images où l'on mesure les points acquis lors de la stéréopréparation directement sur les images de la PVA pour recaler la position dans l'espace de chaque image.

3.1 Matériel et logiciel

L'aérotriangulation a été réalisée à l'aide du logiciel Ultramap, version 6.4.1.1

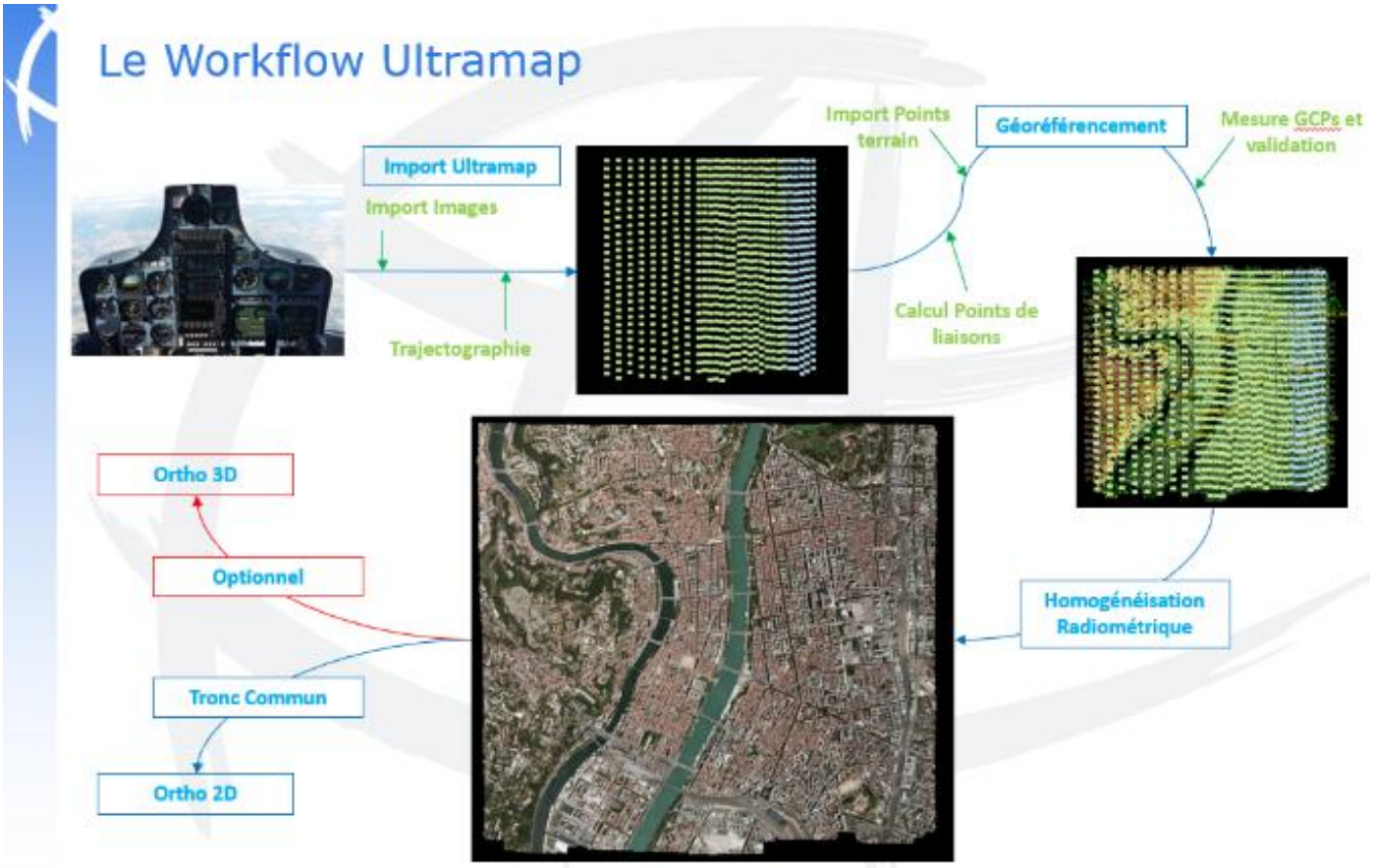


Figure 4 : Schéma du déroulement de l'aérotriangulation sur Ultramap

Montage du bloc :

L'aérotriangulation a été réalisée sur les images panchromatique 16 bits ;
Sur le logiciel UltraMap les pyramides des images sont incluses depuis l'étape de déchargement. Ces pyramides permettent une plus grande rapidité et une meilleure précision lors de la recherche des points terrain.
Après la définition et la sauvegarde, on obtient une vue graphique du bloc avec la position à priori des images, ainsi qu'une vue schématique du bloc comportant les différentes sessions. (cf Figure 1)

Extraction des points de liaison, paramétrage du logiciel

Sur UltraMap les points de liaison sont extraits de manière automatique avec la densité la plus élevée par défaut.
A la fin du calcul, l'opérateur dispose d'un ensemble d'indicateur de qualité pour l'analyse des calculs.
A la fin des calculs un rapport reprend les informations sous forme de texte et de graphique ainsi que les résidus moyens (en pixel) pour les points de liaison.

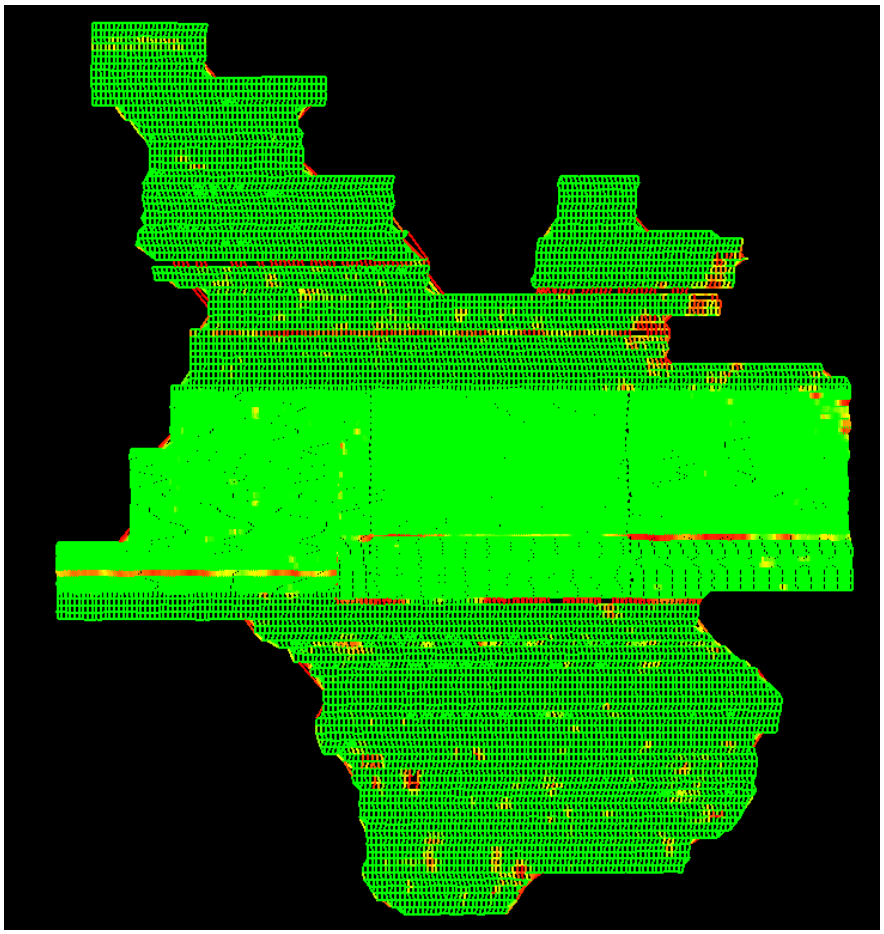


Figure 5 : Représentation des liens entre les images par code couleur

A l'issue de cette phase, l'opérateur dispose des coordonnées « images » des points de liaison.
Il contrôle, filtre et complète les points de liaison obtenus par le corrélateur, ajoute si nécessaire des points entre les images et entre les bandes manuellement puis, à la fin de cette opération valide les liaisons du bloc.

Deux images sont considérées comme liées à partir du moment où nous avons à disposition 5 liens entre les images.

Les points de liaison manuels sont choisis sur des éléments non mobile entre les différentes images/sessions. Sont privilégiés les éléments de type marquage au sol, cependant les liens manuels sont par nature dans des zones où les liens n'ont pas pu se faire automatiquement, soit par occupation du sol difficile à corréler soit par écart temporel important. De fait il est rare d'avoir à disposition ces marquages pour cette opération, sont sélectionnés à ce moment-là tout élément visible et immobile entre les deux sessions : Cailloux en bordure de voie, tuile ou faitage de toit, dallage en propriété privée…
Les résidus de ces points de liaison manuels sont contrôlés après compensation en erreur pixels et toute erreur supérieure à 2 pixels est éliminée.

Saisie des points de calage :

Les points de calage choisis (1 point par site, le mieux placé) ont été mesurés sur toutes les images sur lesquelles ils sont visibles, obliques inclues.
Après avoir mesuré les points une fois, le logiciel corrèle automatiquement sur les autres images où le point est visible. L'opérateur n'a plus qu'à contrôler le positionnement des points et de vérifier les images ou le point n'a pas été trouvé. Cela peut être dû à une occultation du point ou à une différence importante d'éclairage.
Grâce à cette corrélation automatique et à la navigation dans les images au format DFI, la mesure des points terrain se fait rapidement et très précisément.

Finalisation des calculs et contrôle de l'aérotriangulation :

L'ensemble des données d'observation a été compensé par la méthode de la compensation par faisceaux, qui offre des outils de calcul et d'analyse approfondie pour un bloc d'aérotriangulation.
Le module d'aérotriangulation possède plusieurs paramètres pour parvenir au meilleur résultat possible.

Nous supprimons tout point de liaison vue sur 2 images uniquement pour ne garder que les points de liaisons vus sur 3 images ou plus ce qui permet une meilleure robustesse du bloc. Cette démarche est possible grâce aux recouvrements importants de la prise de vue. Les résidus sont ensuite donnés en valeur terrain (en 1/1000) ce qui nous permet de vérifier simplement si le point rentre dans les tolérances. Si ce n'est pas le cas il est possible de reclassifier le point comme participant uniquement en horizontal ou vertical ou encore jouer sur l'écart-type du point et/ou de la trajectographie ou mettre davantage de poids sur les points terrains et moins sur la trajectographie.

Pour la trajectographie, les précisions plani/alti à priori ont été conservées puisque les bras de leviers ont été calculés, en revanche une plus faible précision à priori a été imposée sur les angles pour qu'Ultramap gère le calcul des Boresight.

3.2 Résultats des calculs

Indicateurs de qualité de l'aérotriangulation :

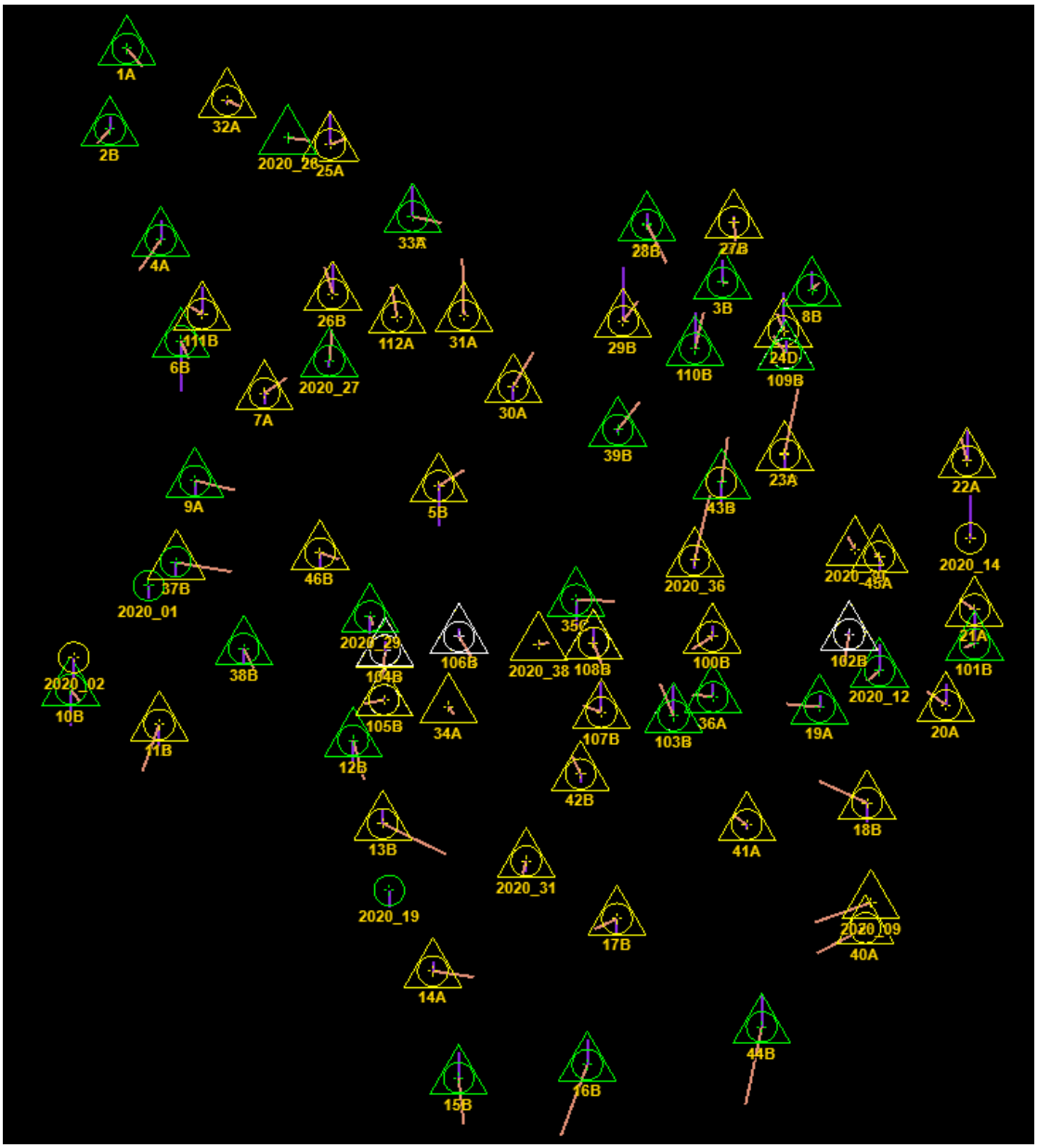


Figure 6 : Diagramme d'erreur en XY (beige) et Z (violet) des points terrains

- L'écart quadratique moyen (en mm) des mesures des points de calage
- Les résidus pour chaque point sur chaque image.

Il est ainsi possible de juger la qualité générale de la compensation et remesurer un point s'il a mal été

pointé lors de la première observation et de finaliser les calculs prenant en considération la totalité des paramètres fournis par le logiciel.

Précision du canevas photogrammétrique :

- L'EMQ planimétrique : 5.4 / 7.0 cm (X / Y)
- L'EMQ altimétrique : 5.9 cm

Sessions / Lines	5 / 205	Capture Events / Images	19899 / 119394
Tie Points / Manual Tie Points	3197660 / 553	Ground Control Points / Check Points	79 / 0
Average GSD Nadir, Oblique [m/px]	0.048		
Mean Photo Scale Nadir	13000	Mean Photo Scale Oblique	11768
Coordinate System [EPSG Code]	3948	Unit Conversion Factor [m/m]	1.00
Earth Curvature Correction	Yes	Earth Radius	6380000
Refraction Correction	Yes	Sigma of Image Mea. Nadir / Oblique [px]	0.500 / 0.500
Sigma naught	0.77		

Image Observation Errors [px]	Mean	Max	Count
Nadir (Tie Points)	0.22	1.00	21261396
Nadir (Control Points)	0.97	5.06	1142
Nadir (MTPs)	0.63	3.72	8482
Oblique (Tie Points)	0.28	1.00	2107313
Oblique (Control Points)	1.41	6.30	2225
Oblique (MTPs)	1.43	1.80	26

Residuals	RMS	Max	Count
Ground Control Points (X/Y/Z) [1/1000]	54/70/59	166/202/140	56
Control Points Vertical (Z) [1/1000]	57	111	11
Control Points Horizontal (X/Y) [1/1000]	70/79	146/167	12
Ground Check Points (X/Y/Z) [1/1000]	0/0/0	0/0/0	0
Check Points Vertical (Z) [1/1000]	0	0	0
Check Points Horizontal (X/Y) [1/1000]	0/0	0/0	0
GPS (X/Y/Z) [1/1000]	133/57/62	370/206/545	19899
IMU (Omega/Phi/Kappa) [mgon]	3.6/6.9/7.3	15.6/27.2/30.4	19899

Figure 7 : Extrait du rapport d'aérotriangulation Ultramap – Résidus des points de calage

Les résultats du géoréférencement sont globalement de bonne qualité.

4. MNT de base

Le MNT utilisé provient du LiDAR HD qui a été acquis en 2025. Nous avons retraité la classification pour corriger les défauts résiduels laissés par la classification initiale. Le MNT ainsi produit est livré à Rennes.

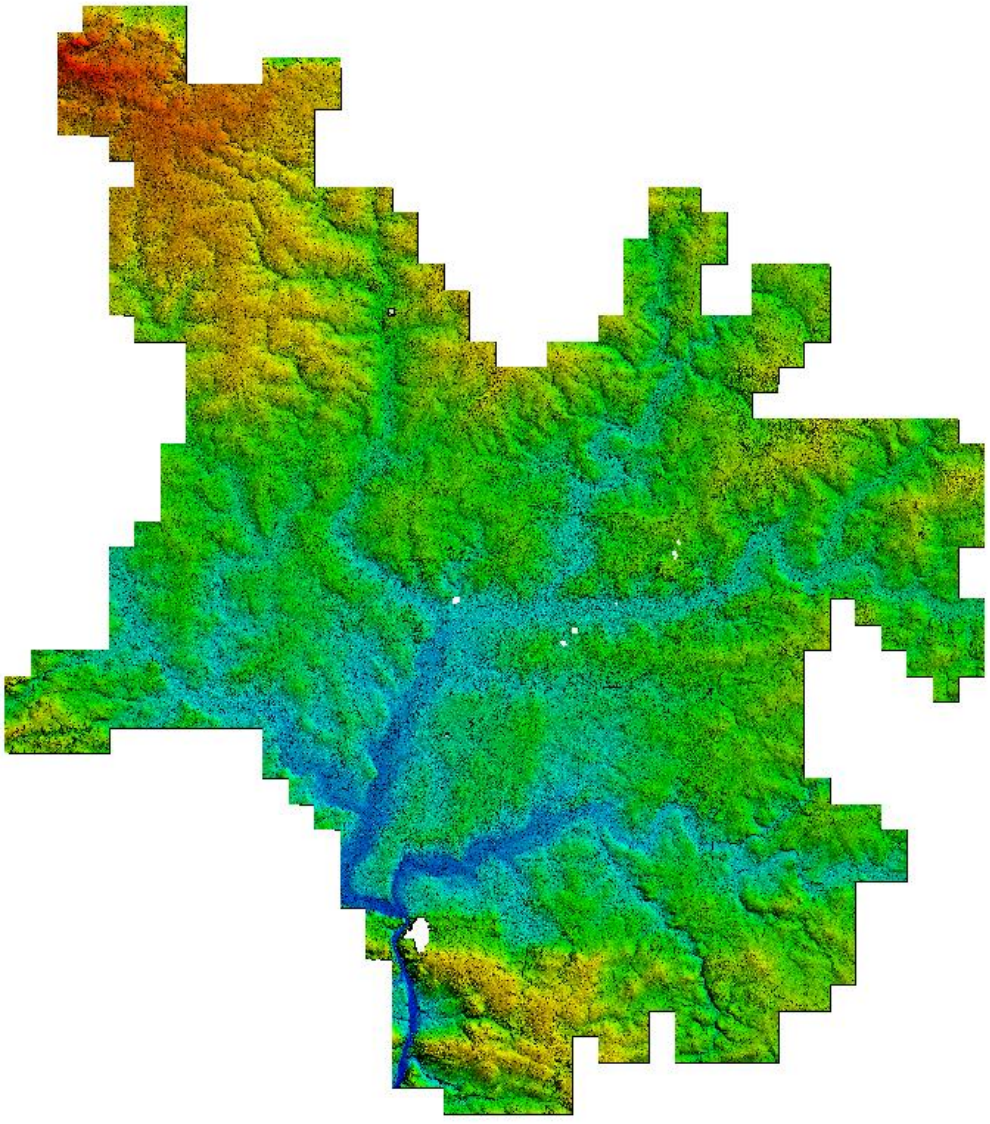


Figure 8 : MNT_Rennes_50 cm_CC48

5. Création des orthophotos

Calculs des orthophotos unitaires, mosaïquage :

- Calculs des orthophotographies unitaires à l'aide des logiciels INPHO à base du MNT LiDAR avec une résolution de GSD=50 cm (orthophotos sol) ;
- Mosaïquage des orthophotos sol à l'aide des logiciels INPHO en clippant l'extérieur de l'image pour ne garder que la partie des images avec les meilleurs dévers
- Calcul de l'orthophotographie vraie de la zone centrale du projet pour 143 km2
- Contrôle exhaustif des lignes de mosaïquage et modification, amélioration des lignes en cas de besoin :
    * élimination des coupures et des déformations des bâtiments ;
    * élimination des cisaillements ;
    * élimination des masques (ombres de nuages, résidus des nuages) et des flous présents sur les orthomosaïques
    * élimination des coulées de pixels
- Création d'un tableau d'erreurs restantes, puis un fichier SHP de déformations, permettant le repérage des déformations induites par le MNT dans les bâtiments.
- Contrôle et floutage des ZICADs (9 zicad)

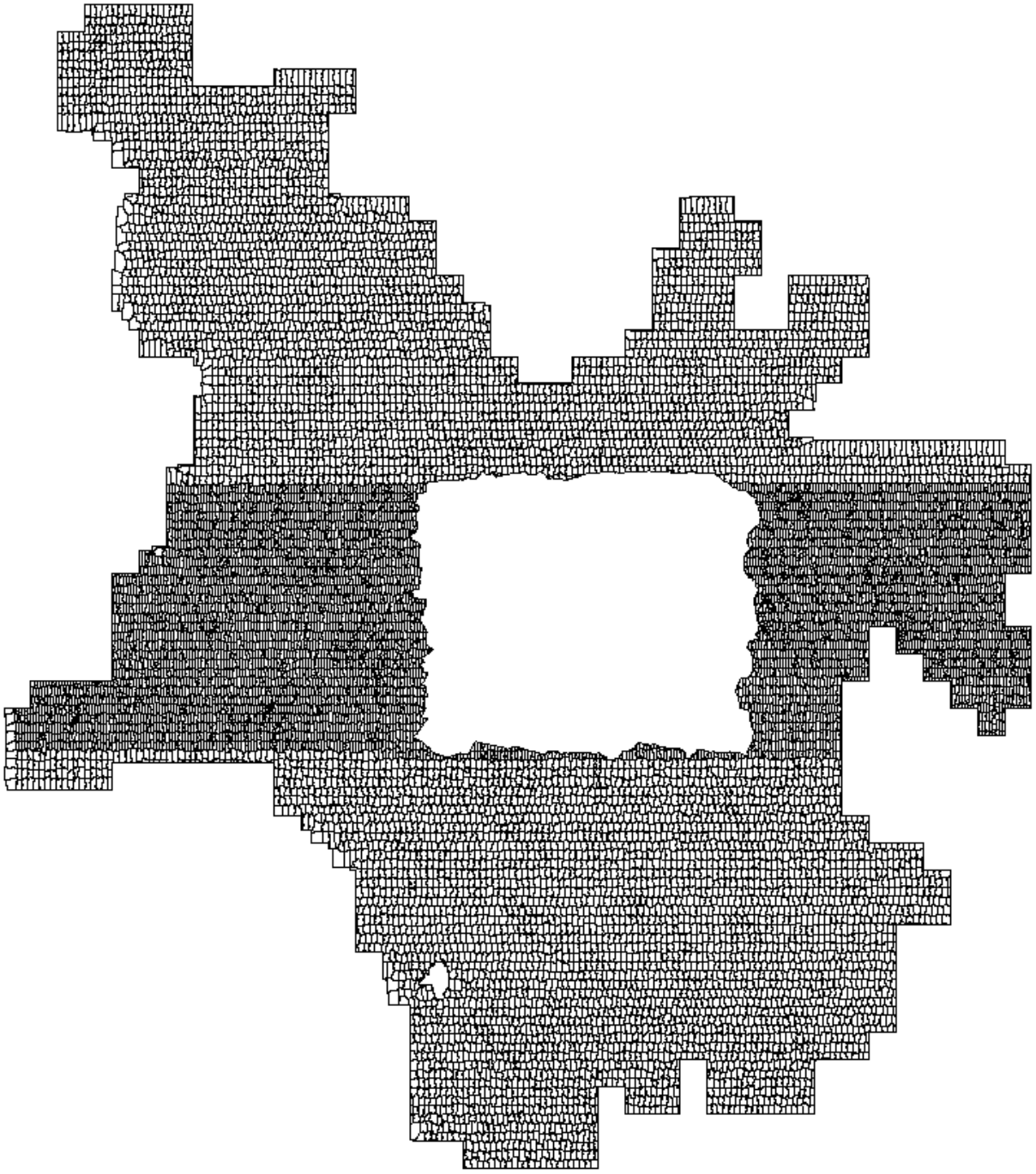


Figure 9 : Graphe de mosaïquage

geofit

geofit GÉOMÈTRE - EXPERT

Contrôle des Orthophotographies

Projet: GE224055_Rennes25_Bloc3_V2

Réservé équipe mosaiquage						Réservé équipe Correction			
Numéro	Couple images	Dalle	X	Y	Type d'erreur	Classe	Méthodologie	Vérification	Remarque
73	087_010510/11	1363-7226	1363676	7225510	Deformation_batiment		Ortho_Vraie	Fait	Necessite encore une rectification (1363680;7225518)
79	091_011094/95	1357/58-7225	1358005	7224771	Deformation_batiment				
82	093_011277/76 095_011719/20	1357-7225	1357584	7224201	Deformation_batiment		Ortho_Vraie	Fait	Necessite encore une rectification
84	095_011723/22 097_011904/05	1357-7224	1357705	7223830	Deformation_batiment		Ortho_Vraie	Fait	Necessite encore une rectification
86	095_011723/24 093_011273/72	1357-7225	1357797	7224193	Deformation_batiment		Ortho_Vraie	Fait	
92	097_011908/07 095_011720	1357-7224	1357354	7223888	Deformation_batiment		Ortho_Vraie	Fait	Necessite encore une rectification(1357328;7223844)(1357326;722387 6)
93	097_011907/06 095_011721	1357-7224	1357520	7223864	Deformation_batiment		Ortho_Vraie	Fait	zone
95	097_011906/05 099_0112352/53	1357-7224	1357568	7223533	Deformation_batiment		Ortho_Vraie	Fait	Necessite encore une rectification(1357601;7223529)
101	101_012483/82 103_013037/38	1363-7223	1363882	7222827	Deformation_batiment		Ortho_Vraie	Fait	Necessite encore une rectification(1363875;7222820)
102	101_012483/82	1363-7223	1363896	7222910	Deformation_batiment		Ortho_Vraie	Fait	Necessite encore une rectification(1363924;7222908)
106	101_012485 103_013035	1363-7223	1363599	7222888	Deformation_batiment		Ortho_Vraie	Fait	
107	101_012486 103_013034	1363-7223	1363492	7222914	Deformation_batiment		Ortho_Vraie	Fait	
113	101_012536/35 103_012985/84	1357-7223	1357863	7222880	Deformation_batiment		Ortho_Vraie	Fait	Necessite encore une rectification
134	129_018392/91 127_018147/46	1355-7219	1355394	7218441	Deformation_batiment		Ortho_Vraie	Fait	
139	123_017530/31 121_017346/47	1356-7220	1356909	7219449	Deformation_batiment		Ortho_Vraie	Fait	
141	121_017346/47	1356/57-7220	1356921	7219807	Deformation_batiment		Ortho_Vraie	Fait	Necessite encore une rectification (1356884;7219813) ; (1356921;7219808)/bâtiment non rectifié (1357060;7219816)
143	121_017348/49 119_016914/15	1357-7220	1357166	7219811	Deformation_batiment		Ortho_Vraie	Fait	Necessite encore une rectification photoshop (1357174;7219802) (1357226;7219787)
144	117_016725 119_016916	1356/57-7221	1356959	7220122	Deformation_batiment		Ortho_Vraie	Fait	zone

Figure 10 : Tableau de contrôle des orthophotographies

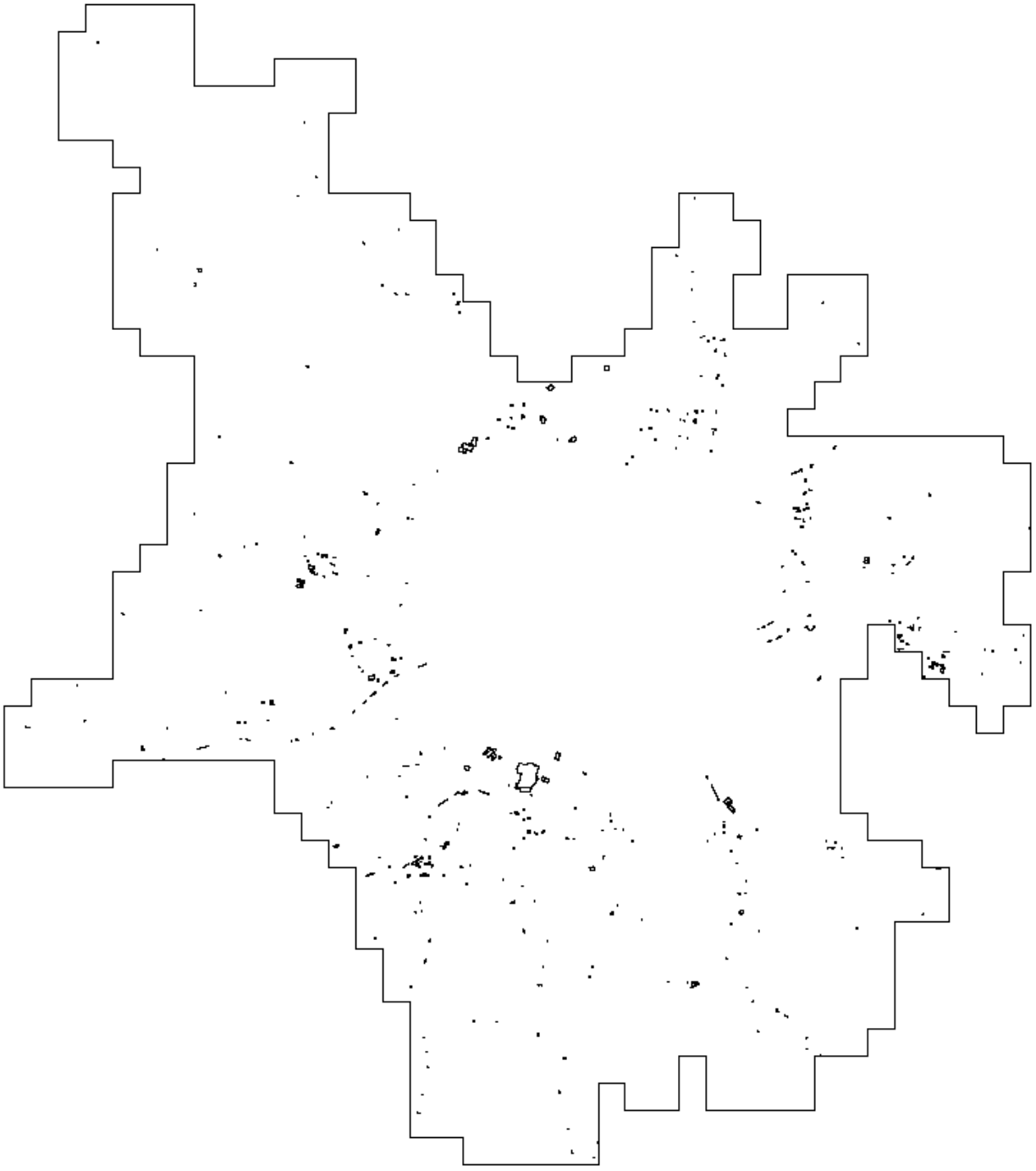


Figure 11 : Shapefile des déformations induites par le MNT.

ID	Xini	Yini	Z_ini	Xortho	Yortho	dx	dy	dxy	dx*dx	dy*dy	dxy*dxy	Abs(dx)	Abs(dy)	Abs(dxy)
1A	1333174.283	7245244.041	123.331	1333174.342	7245244.014	-0.059	0.027	0.065	0.003	0.001	0.004	0.059	0.027	0.065
2A	1332477.908	7241968.914	140.931	1332477.856	7241968.858	0.052	0.056	0.076	0.003	0.003	0.006	0.052	0.056	0.076
4A	1334545.911	7237459.819	115.954	1334545.871	7237459.765	0.040	0.054	0.067	0.002	0.003	0.004	0.040	0.054	0.067
6A	1335353.623	7233361.952	76.213	1335353.592	7233361.972	0.031	-0.020	0.036	0.001	0.000	0.001	0.031	0.020	0.036
7A	1338763.897	7231213.306	98.354	1338763.921	7231213.353	-0.024	-0.047	0.053	0.001	0.002	0.003	0.024	0.047	0.053
25A	1341441.241	7241347.282	106.495	1341441.289	7241347.280	-0.048	0.002	0.049	0.002	0.000	0.002	0.048	0.002	0.049
33A	1344801.214	7238415.180	99.332	1344801.248	7238415.151	-0.034	0.029	0.044	0.001	0.001	0.002	0.034	0.029	0.044
26A	1341566.018	7235250.359	73.663	1341566.012	7235250.357	0.006	0.002	0.006	0.000	0.000	0.000	0.006	0.002	0.006
31A	1346889.305	7234396.116	90.324	1346889.300	7234396.213	0.005	-0.097	0.097	0.000	0.009	0.009	0.005	0.097	0.097
30A	1348897.682	7231489.925	93.096	1348897.722	7231489.989	-0.040	-0.064	0.075	0.002	0.004	0.006	0.040	0.064	0.075
5A	1345848.246	7227456.544	52.493	1345848.271	7227456.634	-0.025	-0.090	0.093	0.001	0.008	0.009	0.025	0.090	0.093
46A	1341015.163	7224716.871	40.115	1341015.219	7224716.872	-0.056	-0.001	0.056	0.003	0.000	0.003	0.056	0.001	0.056
37A	1335148.489	7224355.466	42.865	1335148.533	7224355.488	-0.044	-0.022	0.049	0.002	0.000	0.002	0.044	0.022	0.049
10A	1330853.372	7219164.185	42.905	1330853.447	7219164.216	-0.075	-0.031	0.082	0.006	0.001	0.007	0.075	0.031	0.082
38A	1337914.384	7220832.255	28.102	1337914.416	7220832.231	-0.032	0.024	0.040	0.001	0.001	0.002	0.032	0.024	0.040
12A	1342058.615	7217184.227	23.276	1342058.599	7217184.175	0.016	0.052	0.055	0.000	0.003	0.003	0.016	0.052	0.055
34A	1346260.160	7218467.226	24.515	1346260.180	7218467.197	-0.020	0.029	0.036	0.000	0.001	0.001	0.020	0.029	0.036
39A	1353151.154	7229726.730	40.278	1353151.185	7229726.835	-0.031	-0.105	0.110	0.001	0.011	0.012	0.031	0.105	0.110
43A	1357378.755	7227595.840	73.967	1357378.768	7227595.935	-0.013	-0.095	0.096	0.000	0.009	0.009	0.013	0.095	0.096
23A	1359943.446	7228746.645	83.421	1359943.463	7228746.766	-0.017	-0.121	0.122	0.000	0.015	0.015	0.017	0.121	0.122
22A	1367377.031	7228461.663	65.779	1367377.031	7228461.702	0.000	-0.039	0.039	0.000	0.002	0.002	0.000	0.039	0.039
21A	1367678.662	7222426.709	39.038	1367678.621	7222426.717	0.041	-0.008	0.042	0.002	0.000	0.002	0.041	0.008	0.042
45A	1363800.262	7224565.471	46.862	1363800.260	7224565.487	0.002	-0.016	0.016	0.000	0.000	0.000	0.002	0.016	0.016
36A	1357028.212	7218855.650	47.644	1357028.141	7218855.661	0.071	-0.011	0.071	0.005	0.000	0.005	0.071	0.011	0.071
18A	1363306.526	7214555.984	61.991	1363306.417	7214555.998	0.109	-0.014	0.110	0.012	0.000	0.012	0.109	0.014	0.110
8A	1361055.231	7235449.745	69.913	1361055.243	7235449.736	-0.012	0.009	0.015	0.000	0.000	0.000	0.012	0.009	0.015
24A	1359788.017	7231807.027	90.834	1359787.995	7231807.120	0.022	-0.093	0.095	0.000	0.009	0.009	0.022	0.093	0.095
35A	1351462.909	7222827.662	27.661	1351462.931	7222827.656	-0.022	0.006	0.022	0.000	0.000	0.001	0.022	0.006	0.022
17A	1353128.538	7209834.627	51.662	1353128.513	7209834.578	0.025	0.049	0.055	0.001	0.002	0.003	0.025	0.049	0.055
14A	1345619.572	7207693.754	21.272	1345619.664	7207693.760	-0.092	-0.006	0.092	0.008	0.000	0.008	0.092	0.006	0.092
41A	1358410.515	7213657.392	42.974	1358410.507	7213657.426	0.008	-0.034	0.035	0.000	0.001	0.001	0.008	0.034	0.035
42A	1351624.094	7215726.741	22.986	1351624.076	7215726.756	0.018	-0.015	0.024	0.000	0.000	0.001	0.018	0.015	0.024
2017_36-00	1357714.845	7208120.103	69.674	1357714.836	7208120.145	0.009	-0.042	0.043	0.000	0.002	0.002	0.009	0.042	0.043
2020_31	1349423.925	7212171.562	27.719	1349423.939	7212171.538	-0.015	0.023	0.028	0.000	0.001	0.001	0.015	0.023	0.028
2017_06-01	1360071.639	7217747.314	54.554	1360071.547	7217747.411	0.092	-0.097	0.134	0.009	0.009	0.018	0.092	0.097	0.134
2020_29	1343056.626	7222144.082	32.006	1343056.684	7222144.046	-0.058	0.036	0.068	0.003	0.001	0.005	0.058	0.036	0.068
2017_05-03	1349934.980	7217650.482	45.016	1349934.970	7217650.548	0.010	-0.066	0.066	0.000	0.004	0.004	0.010	0.066	0.066
2018_14-01	1353434.548	7233148.345	66.104	1353434.515	7233148.302	0.033	0.043	0.054	0.001	0.002	0.003	0.033	0.043	0.054
2020_26	1339713.392	7241610.017	128.004	1339713.456	7241610.017	-0.064	-0.001	0.064	0.004	0.000	0.004	0.064	0.001	0.064
2020_27	1341403.366	7232537.377	92.056	1341403.359	7232537.437	0.007	-0.061	0.061	0.000	0.004	0.004	0.007	0.061	0.061
2020_38	1349921.490	7220991.783	39.122	1349921.516	7220991.747	-0.026	0.036	0.044	0.001	0.001	0.002	0.026	0.036	0.044

						Max dx	0.109		RMS(m):	0.043	0.052	0.068		
						Max dy	0.121							
						Max dxy	0.134							

Figure 12 : Contrôle géométrique

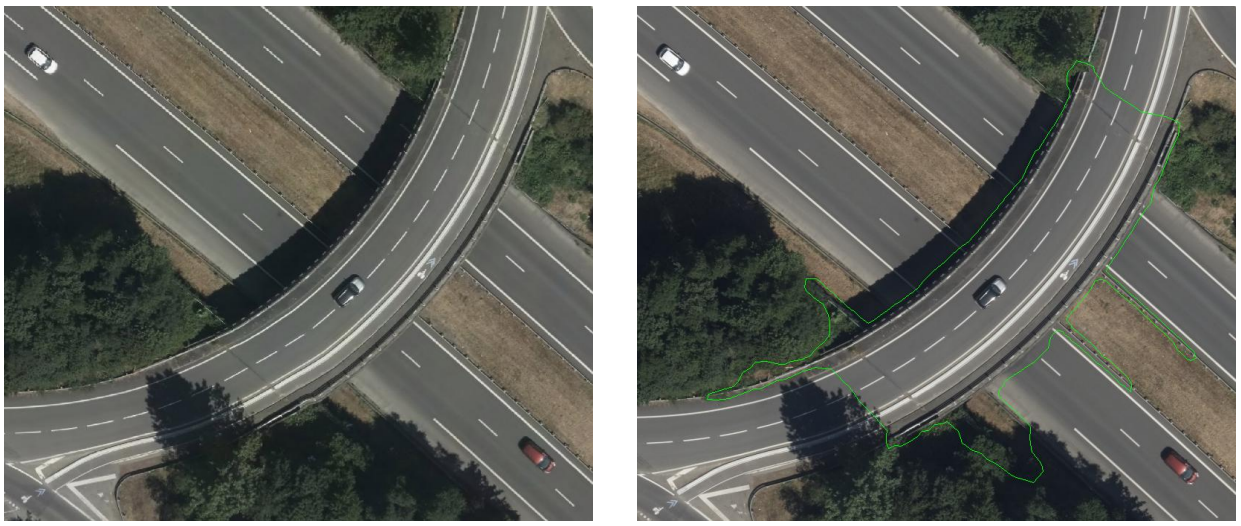


Figure 13 : CQ – corrections intégration de patchs d'OV

6. Produits livrés

Pour cette livraison se fournit un disque avec les produits décrits à continuation :

- Dallage en contenant les dalles livrables de 1 km x 1 km en CC48 en format shapefile
- Graphe de mosaïquage en CC48 en format shapefile
- 876 dalles GEOTIFF RVB non compressées de 1 km x 1 km et GSD=0.05 m en CC48
- 876 dalles GEOTIFF IRC non compressées de 1 km x 1 km et GSD=0.05 m en CC48
- Tableau Excel contenant les éléments de contrôle de qualité géométrique



Figure 14 : dalles GEOTIFF RVB et IRC non compressées de 1 km x 1 km et GSD=0.05 m en CC48

Pour cette seconde livraison, se fournit un disque avec

- Rapport
- Dallage en contenant les dalles livrables de 1 km x 1 km en CC48 en format shapefile
- Graphe de mosaïquage en CC48 en format shapefile
- 876 dalles TIFF compressé JPG de 1 km x 1 km et GSD=0.05 m en CC48
- 1 dalle unique TIF COG RVB COM et GSD=0.05 m en CC48
- 1 dalle unique TIF COG RVB TEC et GSD=0.05 m en CC48
- 1 dalle unique TIF COG IRC et GSD=0.05 m en CC48
- Tableau Excel contenant les éléments de contrôle de qualité géométrique

Gennevilliers, le 03.07.2026
Thomas LAVEILLE