

Laserscanning NELiDAR2010

Rapport technique



Version 1.0

Für	Etat de Neuchâtel Département de la gestion du territoire Le Château 2001 Neuchâtel
Autor	BSF Swissphoto/SPM Stefan Meile
Datum	22 novembre 2010

Table des matières

1	Introduction	3
1.1	Récapitulatif	3
1.2	Bases contractuelles	3
1.3	Spécifications et étendue des travaux	3
1.4	Livrables demandés	3
1.5	Périmètre	3
1.6	Organisation de projet	4
1.7	Planning selon cahier de charge	4
2	Systèmes et technologies utilisées	4
2.1	Laserscanner Optech ALTM Gemini	4
2.2	Système de positionnement et d'orientation Applanix POS-AV 510	5
2.3	Avion	6
2.4	Logiciel	6
3	Acquisition des données	7
3.1	Plan du vol Lidar	7
3.2	Survol	8
4	Traitement des données	9
4.1	Sommaire	9
4.2	GPS/IMU-Traitement	9
4.3	Calcul des points, calibrage du système et compensation des bandes	10
4.4	Filtrage des points au sol (MNT)	11
5	Contrôles qualité	11
5.1	Recouvrement du territoire	11
5.2	Densité des points	12
5.3	Compensation des bandes	12
5.4	Précision verticale et horizontale	13
5.5	Filtrage des points au sol et classification	14
6	Livraison des données	15
6.1	Tuiles de test	15
6.2	Livraisons partielle et définitive	15
7	Attestation et conclusion	16

1 Introduction

1.1 Récapitulatif

En mai 2010 BSF Swissphoto a été mandaté par le département de la gestion du territoire de la république et du canton de Neuchâtel (DGT) pour réaliser un nouveau modèle altimétrique par technologie LiDAR pour le canton de Neuchâtel sur une surface de 753 km².

Il s'agissait de survoler cette surface avec un LIDAR et de créer un modèle numérique de surface et de terrain sous forme d'un nuage de points classés.

1.2 Bases contractuelles

Les documents suivants forment la base légale de ce mandat:

- Cahier des charges de DGT du 03.03.2010
- Offre de BSF Swissphoto au DGT du 21. 04. 2010
- Contrat d'entreprise entre BSF Swissphoto et DGT de 21. 05. 2010
- Offre complémentaire de BSF Swissphoto de 03. 06. 2010

1.3 Spécifications et étendue des travaux

Les travaux contiennent les tâches suivantes :

- Acquisition des données laser pour tout le périmètre avec la densité des points de 4 points/m².
- Calcul du nuage de points 3D; classification
- Livraison des livrables demandés
- Contrôles de qualité et documentation (métadonnées, rapport technique)

Les spécifications suivantes étaient fixées par les bases contractuelles:

- Densité moyenne des points mesurés > 4 points par m² pour tout le périmètre
- Précision altimétrique (1 sigma) :0.2 m
- Système de coordonnées: CH03+/LN02 et CH03/LN02

1.4 Livrables demandés

- Points bruts: Données X,Y,Z, Classification, intensité, point source, GPS time, Return number, Number of returns avec le format LAS 1.1 selon 1/64CN25
- Système de coordonnées: CH03+ et CH03
- Référence altimétrique: LN02
- Rapport technique avec compte rendu des contrôles de qualité et de précision

1.5 Périmètre

Le périmètre de projet couvre tout le canton de Neuchâtel (fig. 1) avec une surface de 753 km².

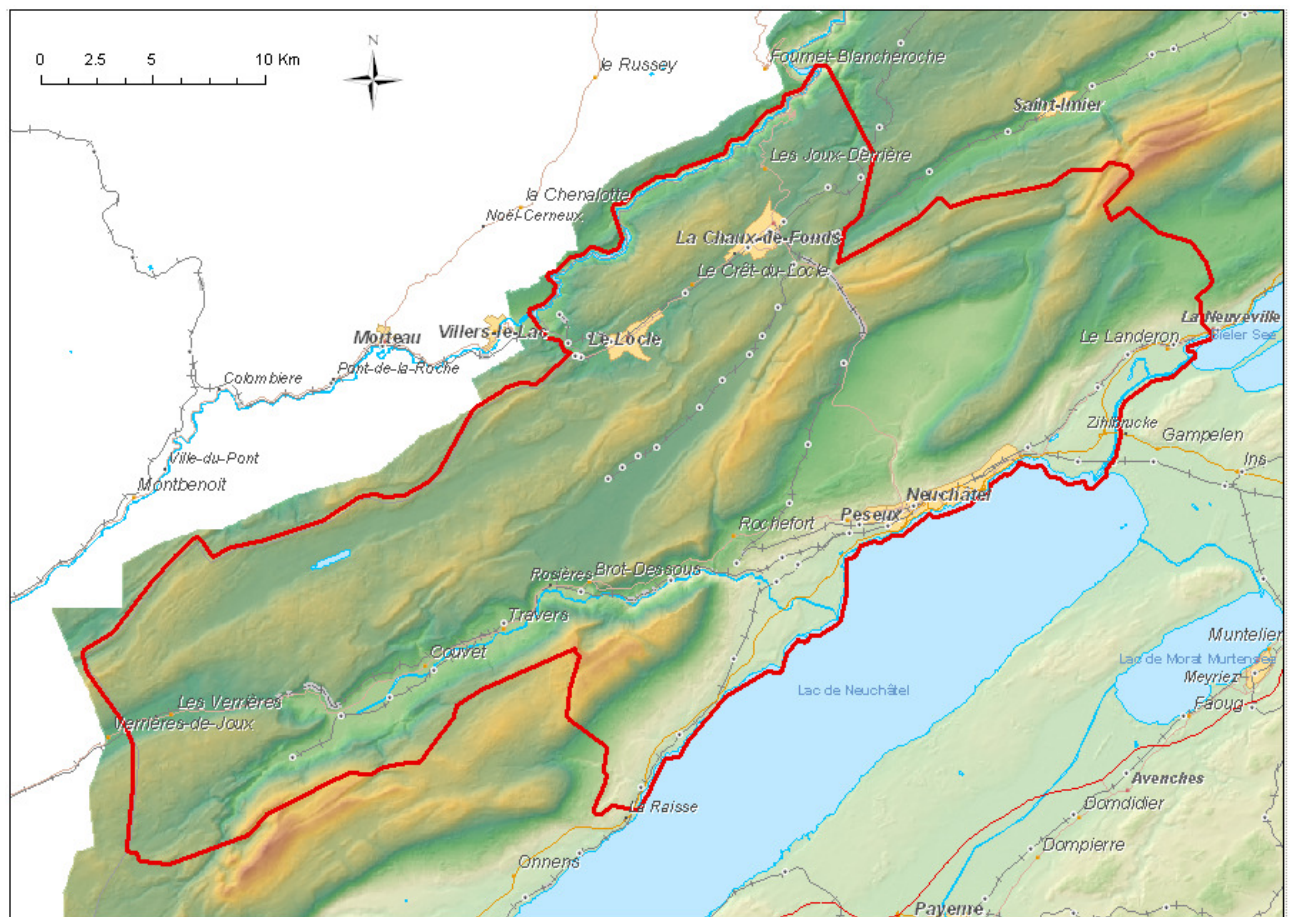


Figure 1: Projet NELiDAR2010

1.6 Organisation de projet

Maître d'oeuvre

Service de la géomatique et du registre foncier - SITN(SGRF),

- Chef de projet: Marc Riedo

Mandataire

BSF Swissphoto

- Chef de projet: Stefan Meile

1.7 Planning selon cahier de charge

Période de vol:	21. 05. 2009 jusqu'à 11. 06. 2010
Livraison de données sur le secteur de test:	4 semaines après le vol
Dernière livraison régulière des données :	15. 12. 2010
Fin du mandat:	01. 03. 2011

2 Systèmes et technologies utilisées

2.1 Laserscanner Optech ALTM Gemini

BSF Swissphoto utilise plusieurs Laserscanner de la société de renommée mondiale Optech Inc., Canada. Pour ce projet BSF Swissphoto a utilisé le modèle ALTM Gemini, année de construction 2007. Les composantes principales de ce système sont: capteur avec laser et miroir, ordinateur avec mémoire de masse, Laptop pour la gestion du système et écran pour le pilote (fig. 2).



Figure 2: Les composantes du système LIDAR Optech ALTM Gemini

Les caractéristiques principales sont résumées dans le tableau 1:

Principe de balayage	Miroir oscillant
Mesures de distances	Max. 4 échos (retours) par impulsion, incl. Last
Enregistrement d'intensité	12 bit par retour
Altitude de vol	80 – 4'000 m sur sol
Précision planimétrique	1/5'500 x hauteur de vol (1 σ)
Précision altimétrique	< 10 cm pour 1.2 km hauteur de vol (1 σ) < 20 cm pour 2.0 km hauteur de vol (1 σ) < 30 cm pour 3.0 km hauteur de vol (1 σ)
Résolution des mesures	1 cm
Fréquence de balayage	Max. 70 Hz
Angle scannage	Variable 0 à +/- 25°
Fréquence d'impulsion	33, 50, 71, 100, 125, 142 ou 166 kHz
Divergence du rayon laser	0.25 mrad (1/e) oder 0.8 mrad (1/e)

Tableau 1: Spécifications de Optech ALTM Gemini

Ce système est avec succès opérationnel auprès de BSF Swissphoto depuis février 2008 pour plusieurs relevés de surfaces et de couloirs avec une surface totale de 80'000 km².

2.2 Système de positionnement et d'orientation Applanix POS-AV 510

Lors du vol la position et l'orientation du système de mesures sont enregistrées par l'Applanix POS-AV 510. C'est un système combinant un récepteur GPS à double fréquence (fréquence 10 Hz) et un système de mesures inertielles de haute game (IMU, fréquence d'enregistrement : 250 Hz). Les composantes sont illustrées en figure 3.



Figure 3: Applanix POS-AV 510

Les précisions publiées par Applanix sont résumées dans le tableau 2:

Position	0.05 – 0.3 m
Vitesse	0.005 m/s
Angles roll & pitch	0.005°
Angle heading	0.008°

Tableau 2: précisions Applanix POS-AV 510 (EQM)

2.3 Avion

Pour le survol l'avion suivant a été utilisé (voir aussi Tableau 5):



figure 4: Pilatus Porter PC-6 / D-FSWB

2.4 Logiciel

Les logiciels suivants ont été utilisés lors des différentes étapes du traitement des données laser:

Logiciel	Version	Fournisseur	Fonction
ALTM-Nav	2.1.19	Optech Inc., Kanada	Plan de vol et gestion ALTM pendant le vol
POSPac	5.3	Applanix Inc., Kanada	Post-Processing GPS et IMU
LMS (Lidar Mapping Suite)	1.0.0b	Optech Inc., Kanada	Calcul des coordonnées 3D Calibrage et compensation des lignes
TerraScan TerraModeler	010	TerraSolid Inc., Finlande	Classification et traitement des nuages de points
GeoCue	6.1	GeoCue Corp, USA	Gestion processus et données Analyse différentielle des surfaces de contrôle
ArcGIS ArcView	9.3.1 3.2	ESRI, USA	Plan d'ensemble Contrôle qualité par ombrages et autres analyses

Tableau 3: Logiciels utilisés

3.2 Survol

Les premières données furent acquises le 25 mai 2010. Ensuite plusieurs missions ont permis de parfaire le survol de la totalité du territoire jusqu'au 30 juin 2010 (voir tableau 5)

Mission	Capteur	Avion	Date	Début (UTC)	Fin (UTC)
20100525g	ALTM Gemini	PC-6 / D-FSWB	25. 05. 2010	10:29	15:16
20100601g	ALTM Gemini	PC-6 / D-FSWB	01. 06. 2010	14:00	14:53
20100623g	ALTM Gemini	PC-6 / D-FSWB	23. 06. 2010	03:58	07:40
20100623i	ALTM Gemini	PC-6 / D-FSWB	23. 06. 2010	13:38	16:30
20100624g	ALTM Gemini	PC-6 / D-FSWB	24. 06. 2010	04:07	07:04
20100624h	ALTM Gemini	PC-6 / D-FSWB	24. 06. 2010	09:40	13:00
20100625g	ALTM Gemini	PC-6 / D-FSWB	25. 06. 2010	04:54	07:45
20100625h	ALTM Gemini	PC-6 / D-FSWB	25. 06. 2010	08:48	09:15
20100630g	ALTM Gemini	PC-6 / D-FSWB	30. 06. 2010	03:56	05:15

Tableau 5: Missions de survol, données, équipements et horaires

Toutes les neuf missions ont été réalisées par de bonnes conditions météorologiques (temps sec, pas de nuages à basse altitude ou de vents forts), sans problèmes techniques et en respectant les paramètres convenus pour le vol et le balayage au lidar.

La figure 6 représente les surfaces survolées selon la date de la mission.

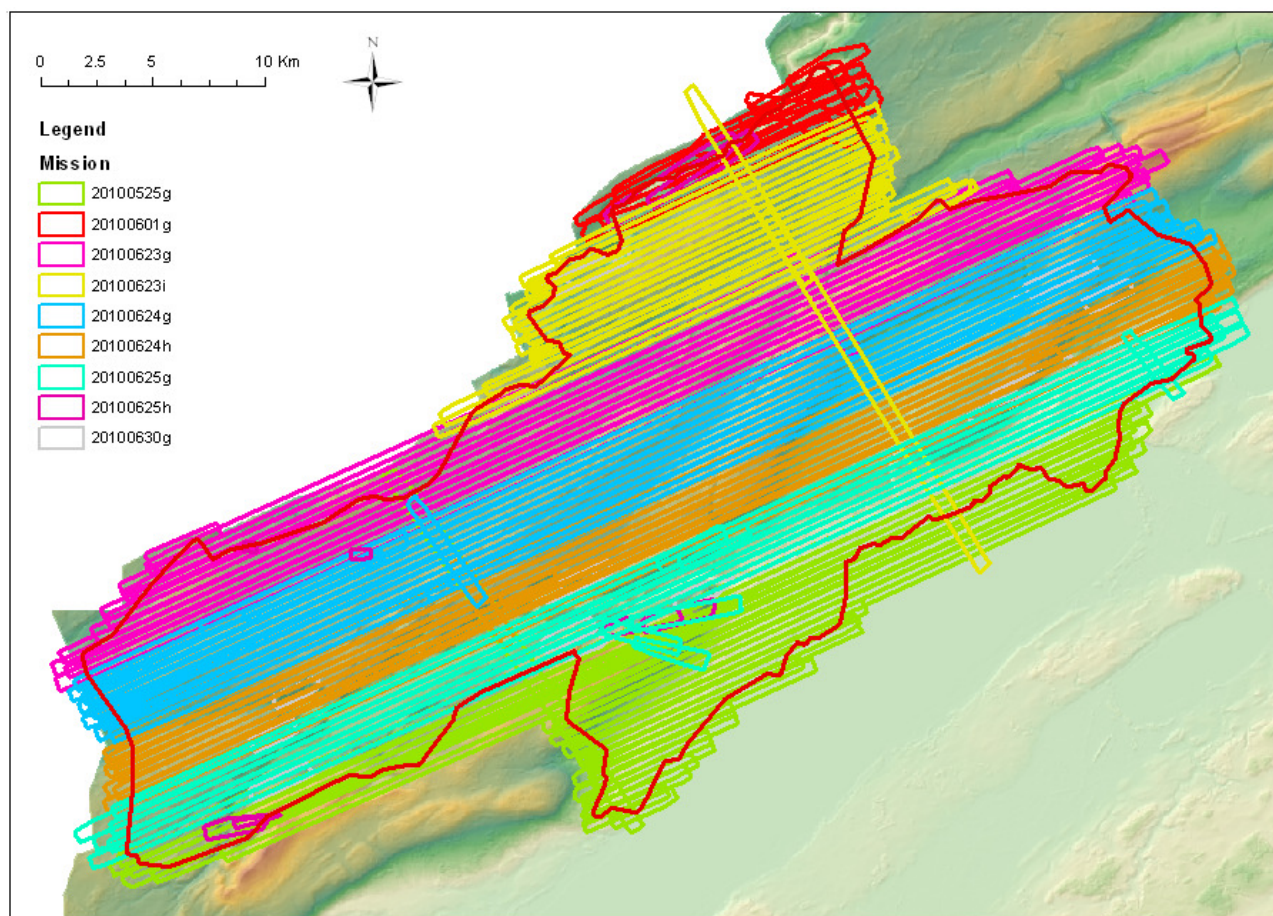


Figure 6: Surfaces survolées

4 Traitement des données

4.1 Sommaire

Ces traitements comprennent les processus suivants:

- Exploitation des données du GPS et de l'IMU (unité de mesures inertielles) et ainsi que combinaison des listes de données avec les ligne de vol. Ce jeux de données aura à chaque instant (intervalle 1/200^{ème} s) pour le système de mesures la position ainsi que l'angle d'orientation correspondant au système global de coordonnées.
- Traitement des données brut du LIDAR: Création des coordonnées 3D pour chaque point mesuré (projection UTM, hauteurs ellipsoïdales)
- Contrôle de la calibration du système et de la compensation des bandes
- Projection du système global WGS84 (~ *CHTRS95, selon les exigences de NELIDAR 2010*) dans le système local (changement d'horizon, projection de coordonnées, respect de l'ondulation du Géoïde)
- Analyse des différences d'altitude sur les surfaces de contrôle
- Classification automatique des points bruts du LIDAR (points erronés, points au sol, autres points)
- Contrôle de qualité et corrections manuelles (surtout filtration des points au sol)
- Création des jeux de données livrables

La plupart de ces étapes de traitement est automatisée par les logiciels dédiés. Tous les résultats sont documentés et contrôlés manuellement avant de démarrer l'étape suivante.

4.2 GPS/IMU-Traitement

La trajectoire de l'avion fut déterminée en élaborant les mesures GPS avec Applanix POSGNSS 5.3. Pour le calcul différentiel des lignes de base les données AGNES (fréquence 1 Hz) des stations permanentes proches ont été utilisées. En règle générale les deux stations les plus proches était utilisées (voir fig. 7). En complément des stations virtuelles furent également introduites. Les données furent acquises directement auprès du portail RINEX de swisstopo.

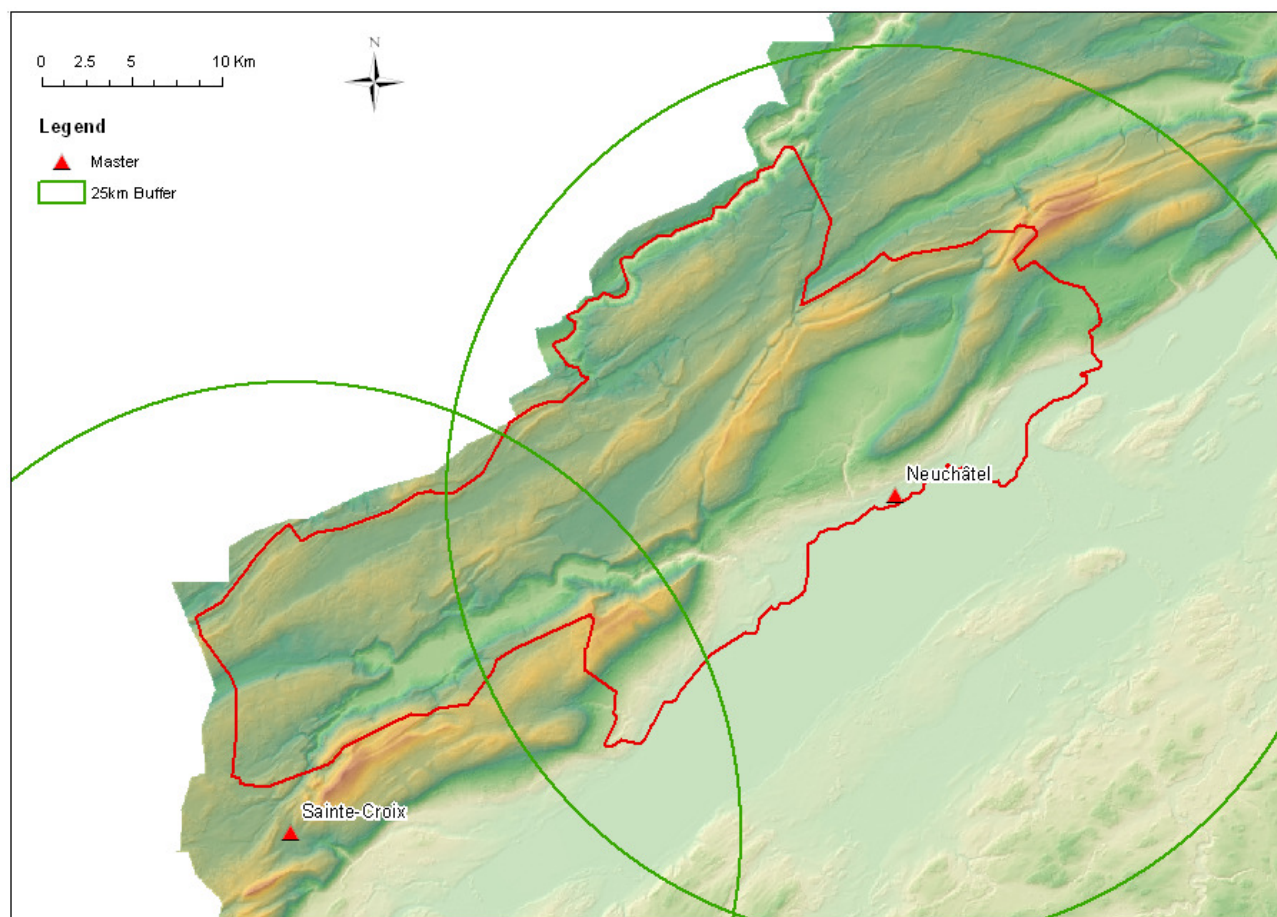


Figure 7: Carte des stations AGNES avec rayons de 25 km

La trajectoire de vol était analysée à partir des mesures GPS dans Applanix POSPac. La qualité des données enregistrées était jugée selon les critères suivants :

- Les valeurs PDOP doivent être inférieures à 3.
- Petits écarts entre le calcul des positions obtenues en comparant les données traitées dès le début des fichiers avec celles obtenues en calculant dès la fin des fichiers.
- Bonnes précisions à posteriori (< 4 cm RMS horizontal, < 7 cm RMS vertical)

Ensuite les données GPS étaient combinées avec les données de l'unité inertielle, afin d'avoir la solution finale pour la position et l'orientation à chaque instant de l'acquisition des données ("Smoothest Best Estimated Trajectory", SBET). Les résultats étaient contrôlés pour assurer que:

- Les précisions atteintes correspondent au spécification du système POS-AV510
- Les résultats après le filtrage « Kalman » (algorithme pour combiné les données GPS et IMU) ne mettent aucune erreur systématique (par ex. contradiction entre les jeux de données) en évidence
- L'unité inertielle (IMU) n'aie pas subi des effets de dérive

Ces critères ont pu être respectés dans toutes les missions.

4.3 Calcul des points, calibrage du système et compensation des bandes

Le logiciel tout récent „Lidar Mapping Suite“ (LMS V1.0.0b) de Optech a servi au calcul des coordonnées 3D ainsi qu'au calibrage optimal et à la compensation des bandes. Ce logiciel utilise des couches correspondantes aux zones de recouvrement des bandes survolées pour déterminer différents paramètres de calibrage et d'offset. Ces corrections furent ensuite appliquées directement aux observations c. à d. aux mesures brut des angles et des distances –pas aux coordonnées comme le font les autres procédés – et les observations corrigées furent directement converties en points livrés dans le format LAS. Les données étaient transformées en utilisant « reframe » et selon

les exigences du cahier de charge dans les systèmes de projection et altimétriques CH03+ (MN95) - LN02, respectivement CH03 (MN03) - LN02. Les résultats furent contrôlés selon des représentations différentielles des bandes (voir chapitre **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**). Ils correspondent aux exigences du cahier de charge.

Pour faciliter le traitement de la grande quantité de données celles-ci ont été subdivisées en blocs de 700 x 700m. Il en résulta une quantité d'environ 2-4 million de points par unité de traitement. Cette quantité se laisse traiter efficacement par les programmes utilisés. Pour la livraison les unités de traitement furent assemblées en tuiles correspondantes.

4.4 Filtrage des points au sol (MNT)

Les données organisées en tuiles ont été soumises à une première classification automatique qui fournit typiquement les classes suivantes:

- Points au sol (MNT)
- Points pirates et erronés
- Autres points qui contiennent en fait le modèle numérique de surface (MNS), c. à d. les bâtiments, la végétation, les lignes électriques et d'autres objets

Pour cette classification BSF Swissphoto utilise une combinaison des algorithmes de classification de TerraScan, où les paramètres sont optimisés aux caractéristiques de la densité des points et de la topographie.

Le résultat de ce filtrage automatique a été ensuite contrôlé manuellement et corrigé là où c'était nécessaire (voir chapitre 5.5 ci-dessous). Surtout les objets suivants ont subi une classification manuelle:

- bâtiments
- lignes aériennes et mâts
- ponts et passerelles
- grues
- voitures

5 Contrôles qualité

5.1 Recouvrement du territoire

Les données acquises furent soumises à un premier contrôle de qualité immédiatement après chaque mission. Le nuage de points LIDAR fut calculé avec une précision (1-5 m) et une densité (env. d'un facteur 10) réduite et représenté selon les thèmes suivants :

- Polygones couvrant les zones acquises par les lignes de vol (« swath »)
- Densité de points dans les zones acquises représenté sur une grille de 10 m

Ces thèmes ainsi que les nuages de points ont été ensuite soumis aux contrôles manuels suivants :

- Contrôle du recouvrement complet du territoire (pas de lacune entre les lignes, pas d'interruption du balayage au laser)
- Contrôle de l'accomplissement de la densité des points exigée pour tout le territoire
- Contrôle grossier des valeurs d'altitude et d'intensité ainsi que des attributs des échos et de leurs plausibilités

Ces contrôles in situ n'ont pas mis en évidence de problèmes remarquables et montré que l'acquisition des données correspondait aux exigences. Toutes ces données ont pu donc suivre les étapes suivantes de traitement.

5.2 Densité des points

Figure 8 montre l'analyse globale de la densité des points accomplie. À part les lacunes des surfaces d'eau – provoquées par l'absorption du laser par l'eau – aucune région ne montre une densité systématiquement réduite de points. Suite à la topographie et au basculement (roulis et tangage) certaines zones locales pourraient montrer une densité < 4 points / m^2 . En général la densité exigée est atteinte et à certains endroits même dépassée.

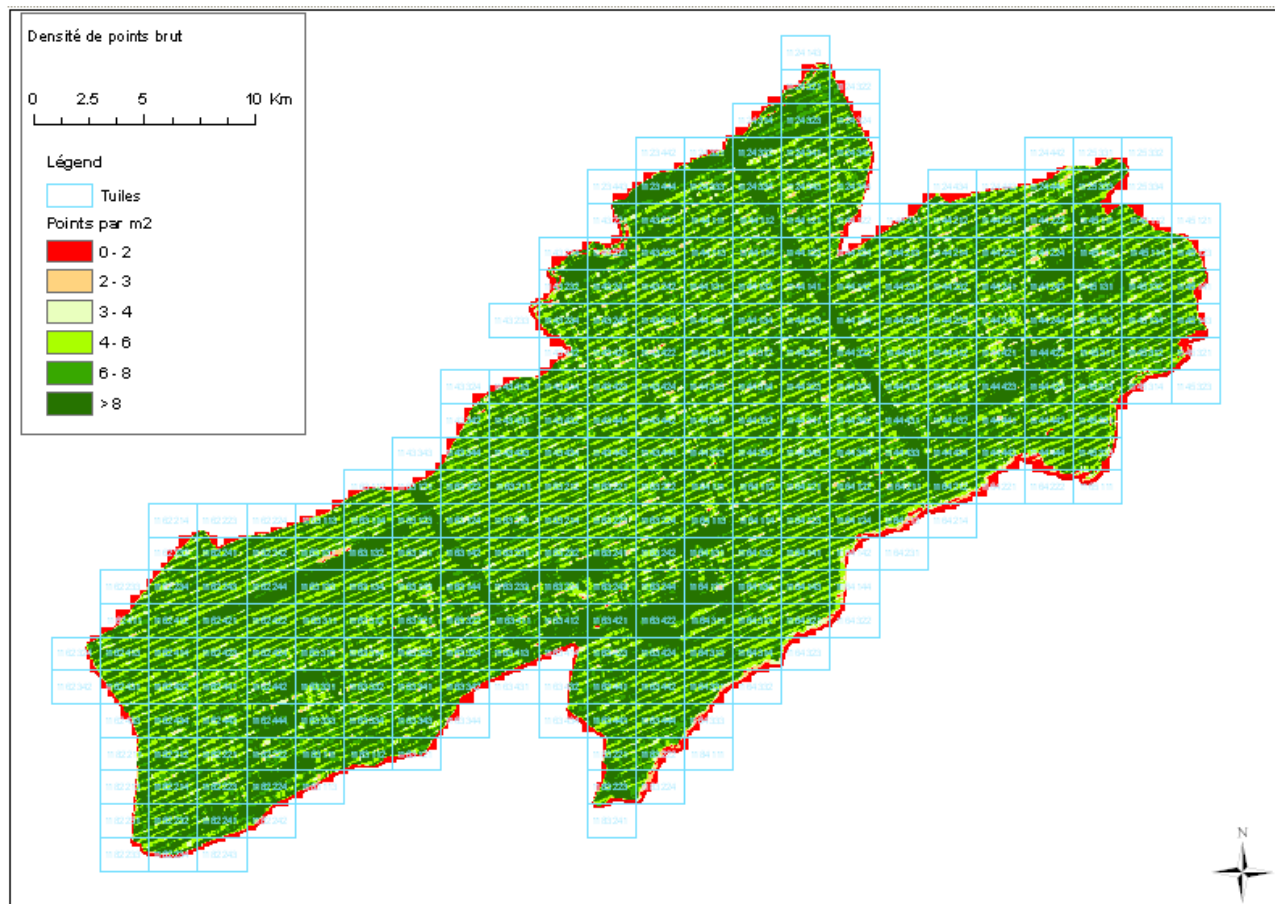


Figure 8: Contrôle de la densité des points

5.3 Compensation des bandes

Pour contrôler la qualité de la compensation des bandes sur toute la surface les informations suivantes ont été analysées :

- Fichiers log du logiciel de compensation LMS (voir aussi chapitre 4.3)
- Visualisation des différences d'altitude dans les zones de recouvrement des bandes / lignes de vol adjacentes (voir Figure 9) et contrôle visuel sur tout le territoire.
- Contrôle du nuage de points par échantillonnage

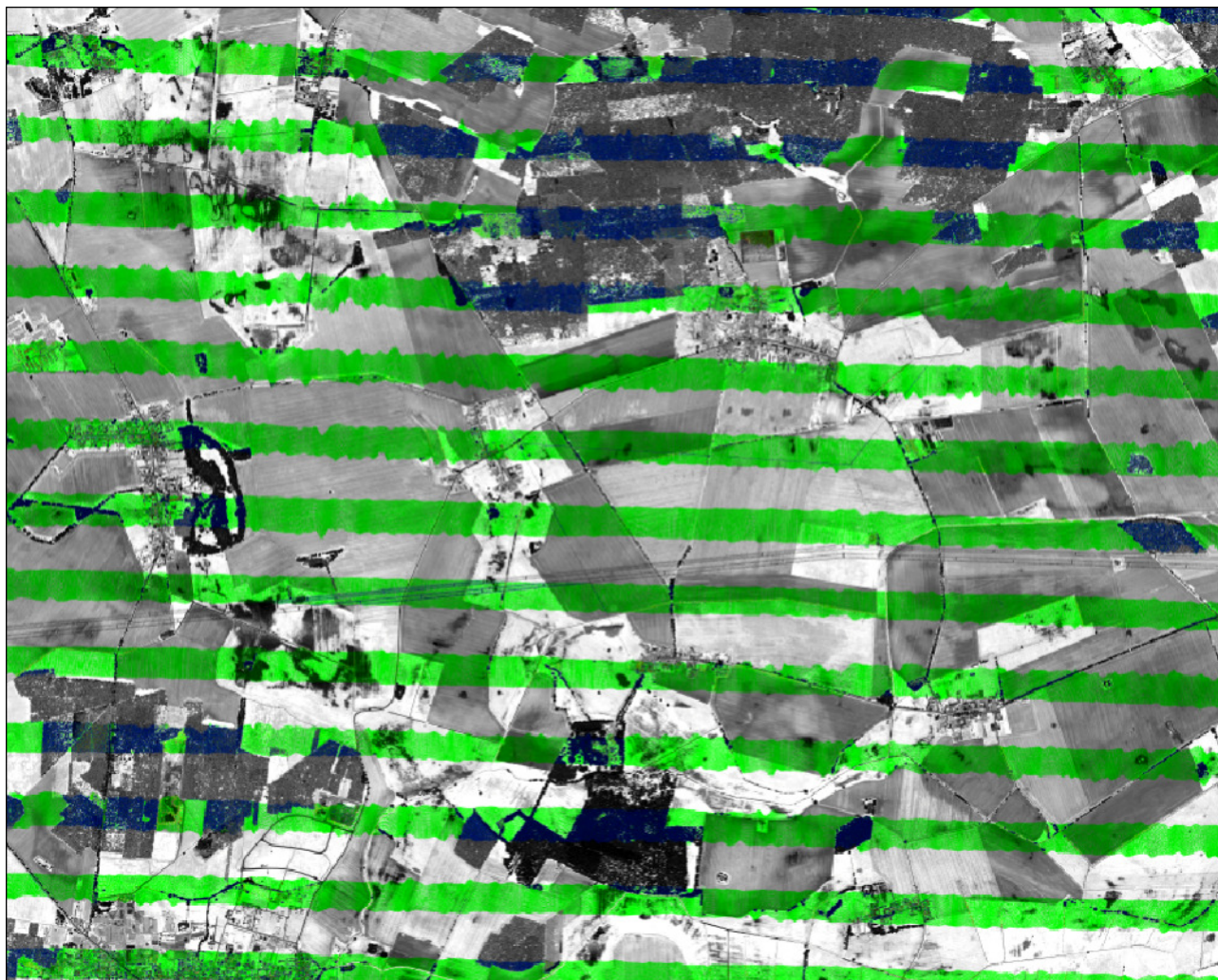


Figure 9: Exemple de représentation des différences d'altitude dans les zones de recouvrement lorsqu'il a une bonne compensation entre les bandes/lignes de vol

Les résultats de ces contrôles ont montré que les lignes satisfont les exigences.

5.4 Précision verticale et horizontale

La précision absolue a été contrôlée à l'aide des surfaces de contrôle mesurées par méthode terrestre. On y mesura par surface env. 50 points selon une grille avec un espace de 5 à 10 m entre les points. La figure 10 montre la distribution des surfaces de contrôle sur le territoire.

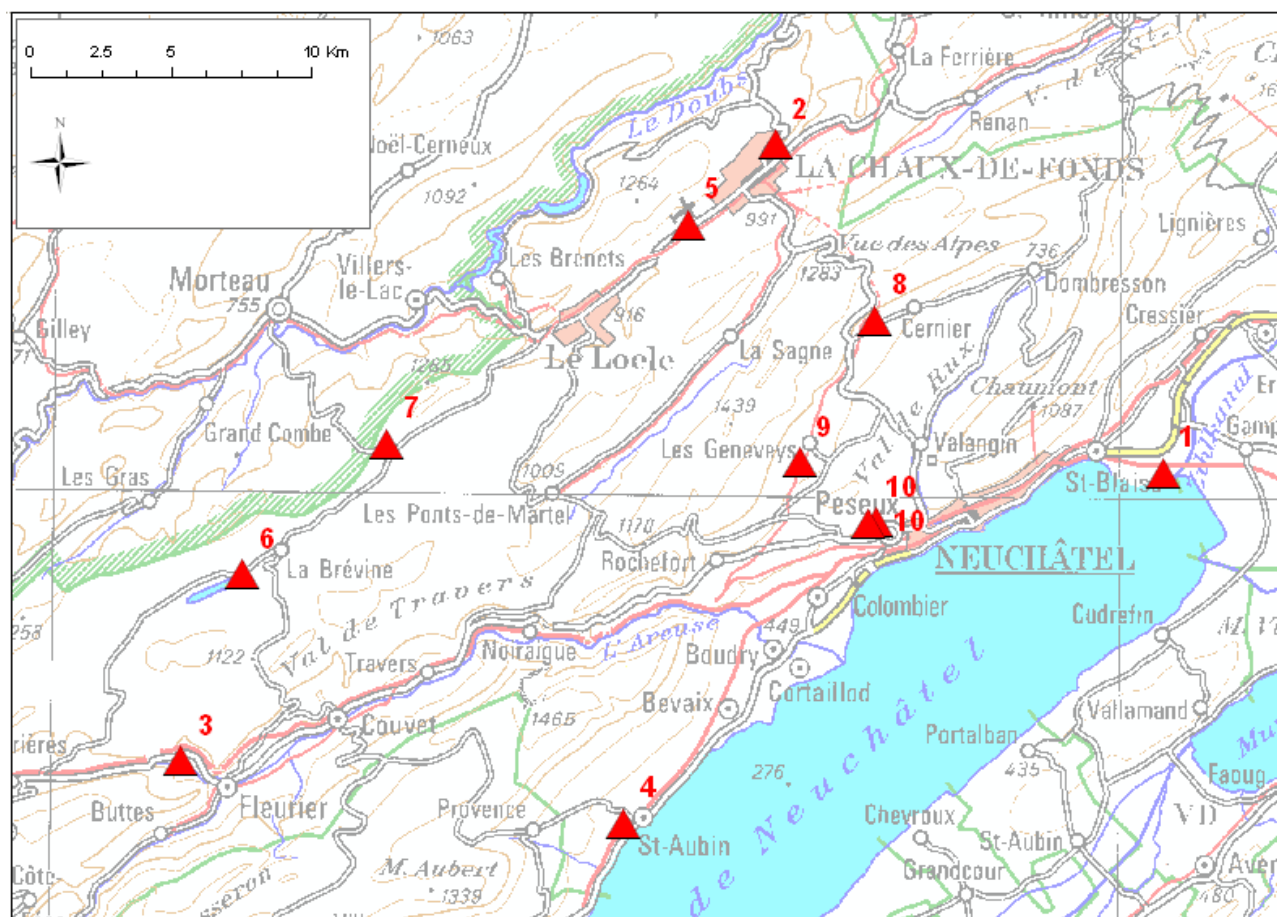


Figure 10: Distribution des surfaces de contrôles sur le territoire

Le contrôle d'altitude s'est fait en calculant les distances entre les points de contrôles et un modèle numérique de terrain calculé avec les points lidar (MNT, maille triangulaire TIN).

# points de contrôle	741
Différence moyenne [m]	0.026
Minimum [m]	-0.252
Maximum [m]	0.203
EQM (déviation standard par rapport à la valeur 0) [m]	0.075
Dans les +/- 20 cm	99.7 %

Légende:

Critère respecté

Critère non respecté

Convention:

Différences Delta = $h_{\text{Lidar}} - h_{\text{Contrôle}}$, les valeurs positives signifient que les données LIDAR se trouvent au dessus des points de contrôle.

Tableau 6: Analyse des contrôles d'altitude: comparaison altitudes LIDAR avec surfaces de contrôle

L'analyse statistique dans le tableau 6 montre que les points lidar satisfont à la précision exigée.

5.5 Filtrage des points au sol et classification

En utilisant les logiciels adéquats (TerraScan, ArcGIS, GeoCue) des contrôles de qualité ont été effectués par des représentations visuelles de la situation (2D), des coupes et des vues 3D. La qualité de la classification des points et des points „pirates“ (Ausreisser) y a été analysée et les erreurs constatées ont été corrigées manuellement.

On a utilisé les orthophotos, les cartes digitales, des données topographiques ou cadastrales. Comme aide additionnelle à l'interprétation seront utilisées des représentations d'intensité et d'ombrage. (Figure 11).

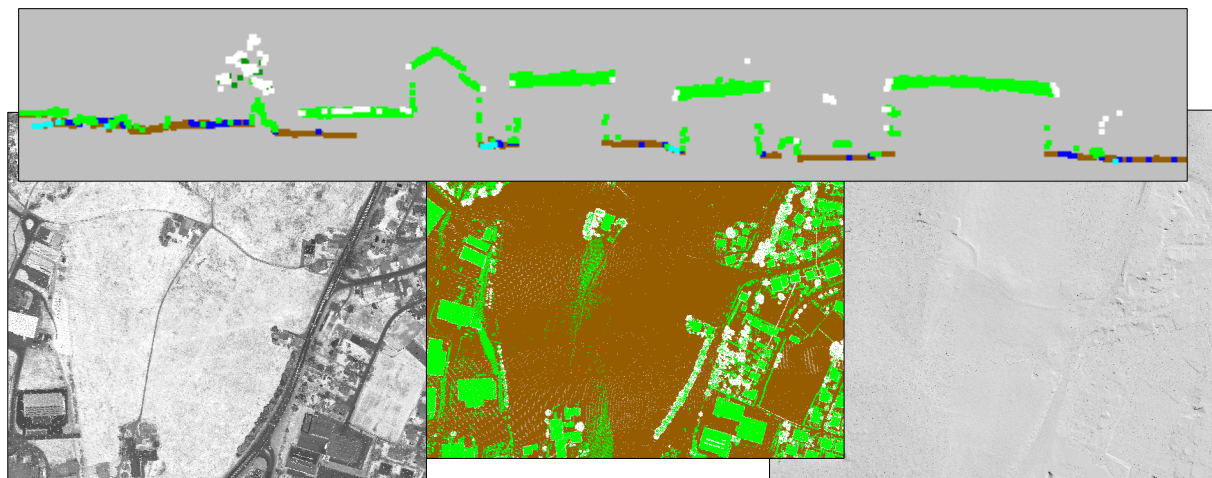


Figure 11: Contrôle qualité par différentes représentations : Profils (MNE), intensité, thématisée sur altitude, ombrage, ...

6 Livraison des données

6.1 Tuiles de test

La livraison test du 14. 07. 2010 contenait 10 tuiles sur DVD afin de vérifier les exigences. Cette livraison contenait :

- Données des points classés sous format LAS 1.1.

6.2 Livraisons partielle et définitive

Tableau 6 et la figure 12 montrent les livraisons des données LIDAR effectuées:

Livraison	Date	Nombre de tuiles	En % du total	Medium
1 (partielle)	10. 09. 2010	117	40 %	USB-Harddisk (BSF)
2 (définitive)	26. 10. 2010	172	60 %	USB-Harddisk (BSF)

Tableau 6: Sommaire des livraisons des données

Les deux livraisons du 10. 09. 2010 et du 26. 10. 2010 contenaient:

- Jeux de données LAS 1.1 avec les données classées
- Vérification de la densité des points sous forme d'une carte de densité
- Subdivision des tuiles au format DGN et Terrascan.

Les lignes de vol ont été également livrées en format terrascan-trajectories ensemble avec le rapport technique.

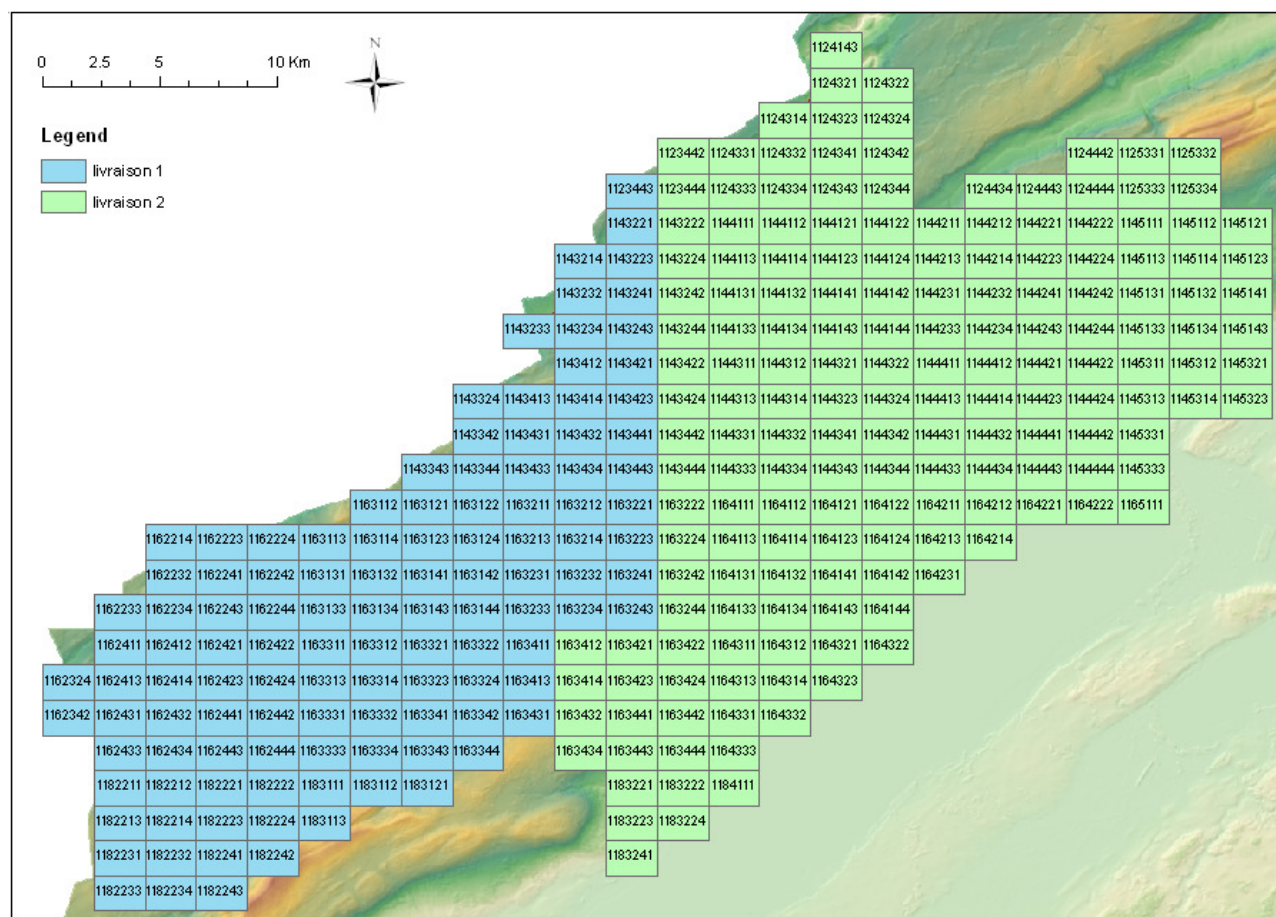


Figure 12: Livraisons (tuiles)

7 Attestation et conclusion

Comme exigé dans le cahier des charges le mandataire BSF Swissphoto atteste par la présente que :

1. Le vol et le levé de l'altimétrie s'est déroulé sans problème technique ou limitations
2. Dans les secteurs construits, le vol et les instruments ont été réglés pour qu'un maximum de bâtiments puissent être levés avec une bonne qualité
3. Les données ne contiennent pas d'erreurs d'offset, trous dans les bandes, données provenant de vols et que leur plausibilité a été testée
4. La zone couverte couvre l'ensemble de la zone demandée sans trous

Le mandataire BSF Swissphoto confirme également, que les conditions convenues contractuellement concernant l'« acquisition des données et les spécifications » ont été respectées et que les données livrées correspondent aux exigences du maître de l'ouvrage. Des restrictions et réserves éventuelles ont été décrites d'une manière transparente dans ce rapport.

Ce rapport explicite également tous les procédés qui ont été utilisés pour acquérir, élaborer et contrôler les données livrées.

La société BSF Swissphoto remercie le SITN et toutes les personnes engagées pour la confiance manifestée à son égard et la bonne collaboration dans ce projet.

BSF Swissphoto, 22 novembre 2010

Stefan Meile

Chef de projet 3D mapping