



centre régional
auvergne-rhône-alpes
de l'information
géographique

Méthode d'acquisition massive de données altimétriques LiDAR par levé aéroporté

04 octobre 2022



Qui sommes-nous?

- Basé à Moulins Montbeugny (03) – Position centrale
 - Société privée indépendante fondée en 1980
 - 40 ans d'expérience en acquisitions aéroportées
 - Acquisitions photo verticale, oblique & lidar
 - Certifié ISO9001 version 2015 depuis 9 ans
 - Habilité en relevés topographiques par la DSAC
-
- 9 employés en CDI
 - Serveur ~1,5Po



Notre Rôle

Quelques clients...



Mettre nos moyens d'acquisition (avions et capteurs) au service de nos clients pour proposer des données cartographiques de grande précision et de qualité



LE GOUVERNEMENT
DU GRAND-DUCHÉ DE LUXEMBOURG
Administration du cadastre
et de la topographie

Le cadre réglementaire

- SPO – SPecial Operations
- Depuis 2017, la photographie aérienne et les levés lidar sont des activités commerciales réglementées en Europe par l'EASA
- Ces activités sont soumises à déclaration et à la surveillance des autorités françaises de la Direction de la sécurité de l'Aviation civile (DSAC)




LIBERTÉ • ÉGALITÉ • FRATERNITÉ
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
MINISTÈRE DE LA TRANSITION ÉCOLOGIQUE ET SOLIDAIRE

Lyon, le 25 octobre 2018

Direction générale de l'Aviation civile
Direction de la sécurité de l'Aviation civile
Direction de la sécurité de l'Aviation civile Centre-Est
Département surveillance et régulation
Division Aviation Générale

APEI Aéro Photo Europe Investigation
A l'attention de M. CALLABAT Bruno
Aérodrome de Moulins Montbeugny
03 400 TOULON SUR ALLIER

operations@apei.fr

Nos réf. : 18-5990DSRIAG
Affaire suivie par : Pascaline Leroi
na.dsac-ce@aviation-civile.gouv.fr
Tél. : 04 26 72 68 82 - Fax : 04 26 72 68 29

Objet : accusé réception de déclaration d'exploitation – APEI Aéro Photo Europe Investigation
acknowledgement of receipt of SPO declaration – APEI Aéro Photo Europe Investigation

Monsieur,

Par le présent courrier et conformément au paragraphe ARO.GEN.345 du règlement (UE) n°965/2012 de la commission du 5 octobre 2012 (AIR-OPS) modifié, la DSAC accuse réception de votre déclaration d'exploitation du 22/10/2018, associée aux conditions suivantes :
By this letter and according to paragraph ARO.GEN.345 of (EU) regulation n° 965/2012 AIR OPS, DSAC acknowledges receipt of your declaration of SPO operations dated 22/10/2018, associated with the following conditions:

Exploitation(s)	Exploitation spécialisée (SPO) Relevés topographiques
Numéro d'exploitant	FR.DEC.0141
Aéronefs concernés	F-GCSE, F-HSIG, F-GPEI, F-HPEI, EC-MPP, F-GJBS, F-GNSS, F-GSIG
Agréments spécifiques	aucun
Autorisations d'exploitations spécialisées commerciales à haut-risque	aucune

En application des paragraphes ORO.DEC.100, ORO.SPO.115, ORO.MLR.105, et SPA.GEN.115 du règlement précité, les modifications de l'exploitation ou de documentation impactant le contenu de votre déclaration initiale doivent faire l'objet d'une nouvelle déclaration.
According to paragraphs ORO.DEC.100, ORO.SPO.115 and SPA.GEN.115 of the aforementioned regulation, changes to the operations or to the documentation impacting the content of your initial declaration must be the subject of a new declaration.

Je vous prie de croire, Monsieur le Dirigeant Responsable, en l'expression de ma considération distinguée.

Sylvain MOLE
Chef de la Division
Aviation Générale

DSAC-CE
210 rue d'Alsace
69125 Lyon Saint Exupéry Aéroport
Tél : +33 (0) 4 267 268 00

www.ecologie-solidaire.gouv.fr



Une flotte polyvalente de 7 avions



Beechcraft B90
F-GNSS



Beechcraft B90
F-GSIG



Beechcraft B200
F-GJBS

- Entretien en atelier agréé selon le référentiel du transport de passager (Part 145)
- Avions modifiés pour les acquisitions (trappe, alimentation électrique et antenne GPS)
- Une gamme d'avions complémentaires
 - Vitesse d'acquisition entre 90 et 260kt (165 à 500km/h)
 - Altitude de travail entre 400m sol et 6700m sol

Nous n'utilisons pas d'ULMs pour des activités commerciales



Partenavia P68
F-HPEI



Partenavia P68
F-GPEI



Cessna 206
F-GCSE



Cessna 206
F-HSIG

Nos capteurs

2 Capteurs photogrammétriques DMC

Capteur	Focale	Taille capteur PAN
DMCII/250	112mm	16 768 x 14 016 – 235Mp
DMCIII	92mm	25 728 x 14 592 – 375Mp



Leica DMC III



ZI DMC II

2 Capteurs lidar

Capteur	Fréquence	Hauteur de vol max
TerrainMapper	2MHz	5500m AGL
CityMapper 2	2MHz	5500m AGL



new

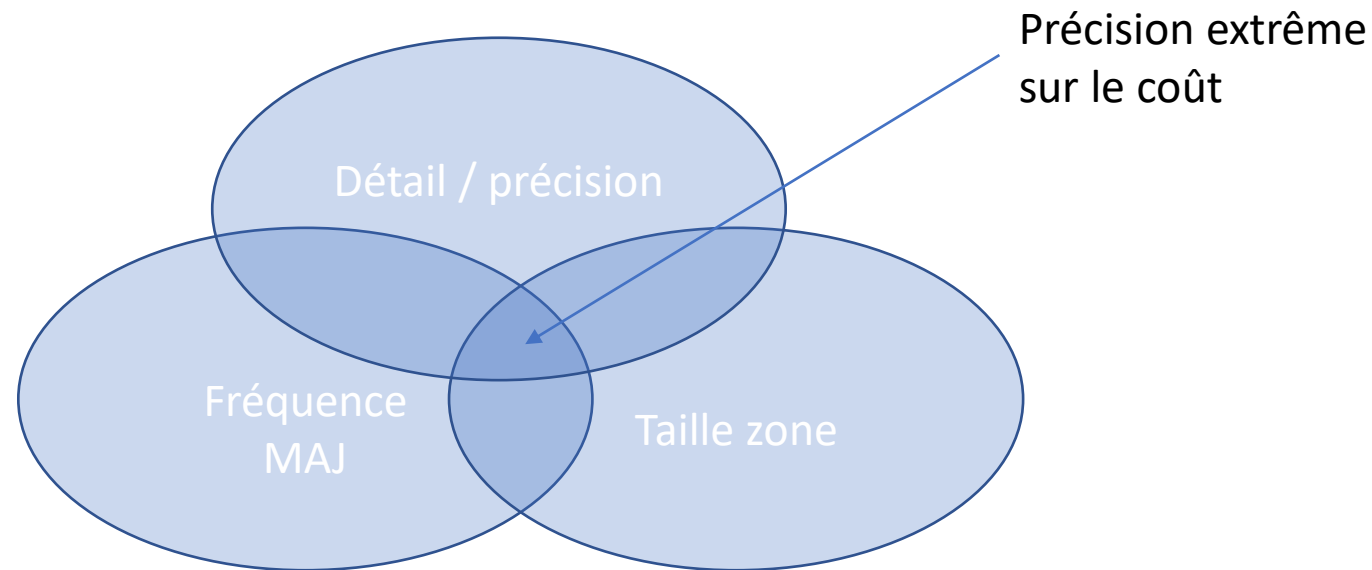


Tendance du marché LIDAR aéroporté

Des zones de plus en plus vastes

Des informations plus détaillées et des données plus cohérentes

Des mises à jour plus fréquentes



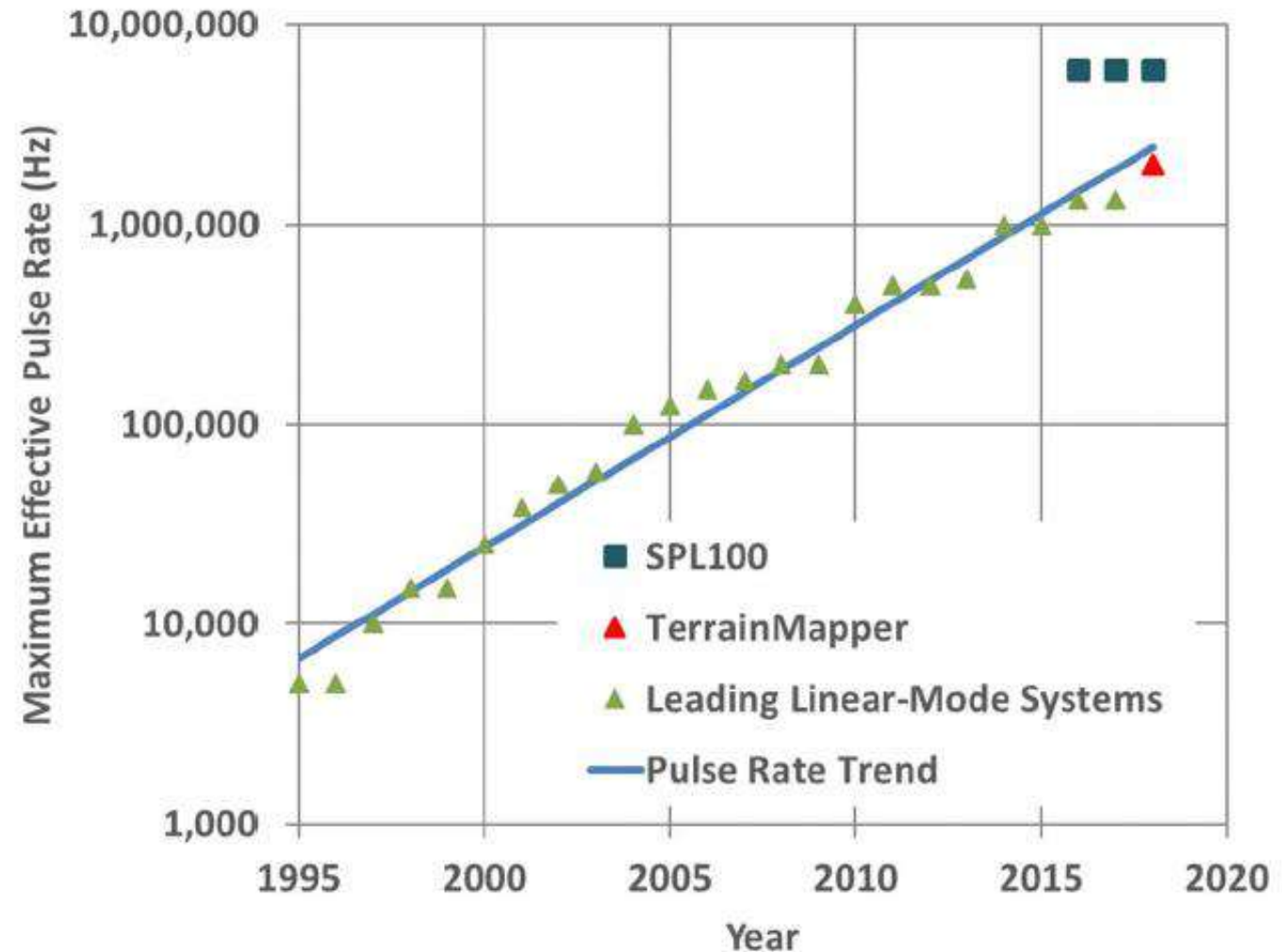
Historique de la productivité du LiDAR topographique aéroporté

Plus de points/seconde → coûts de vol réduits

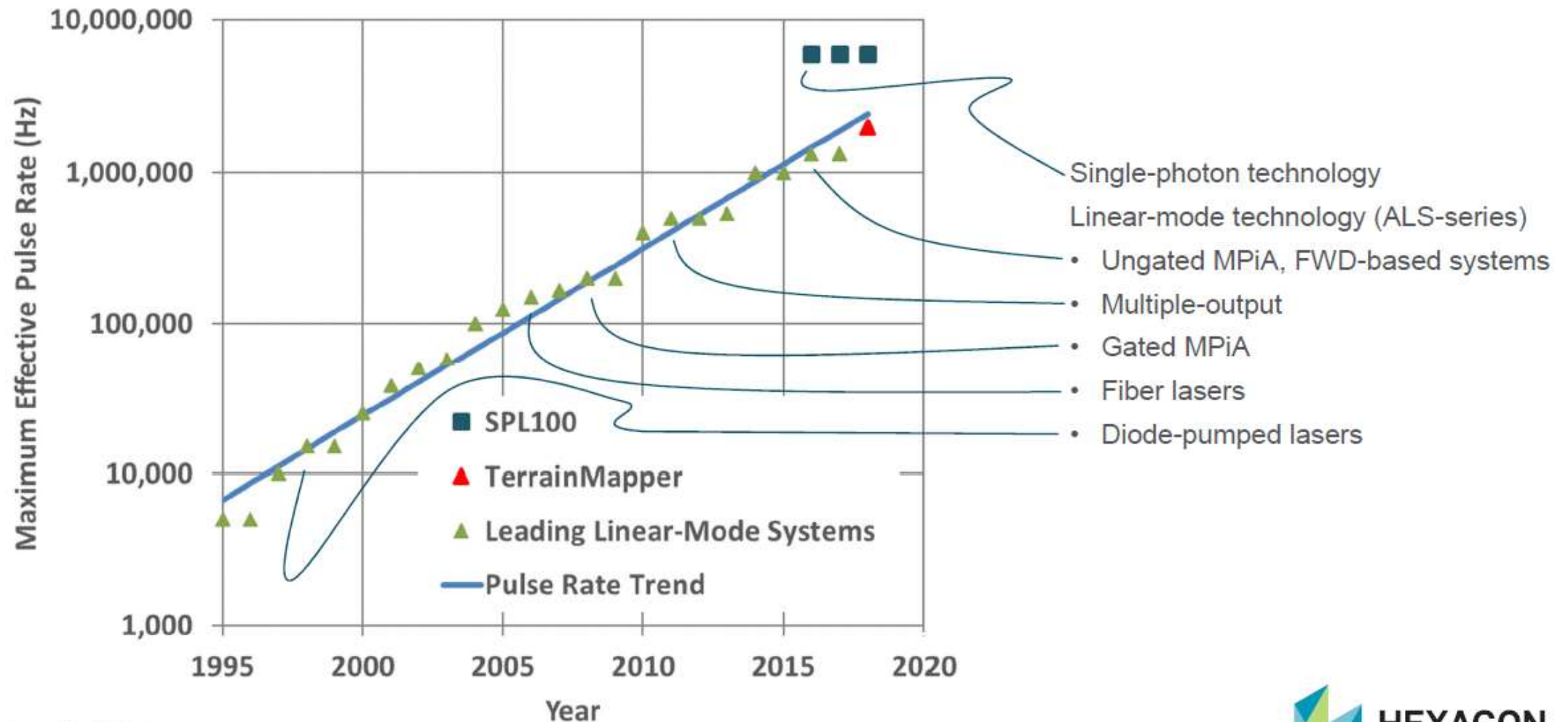
La fréquence du lidar est une bonne mesure de la productivité

La fréquence a doublé tous les ~2,6 ans

Pendant cette même période, les **précisions se sont améliorées de ~30cm à 3cm**



Innovations majeures



Airborne Hybrid Sensor History



ALS40

1998 – 2003

- 45 kHz
- The original ALS



ALS50-II

2006 – 2008

- 150 kHz
- MPiA
- Expanded altitude range



ALS70

2011 – 2014

- 500 kHz
- Dual output LiDAR for increased pulse / scan rates
- User selectable scan patterns



ALS80-UP

2016 – now

- 1000 kHz
- World's highest-altitude linear mode airborne LiDAR



SPL100

2017 – now

- 6000 kHz
- World's first commercial single-photon LiDAR



ALS50-I

2003 – 2006

- 83 kHz
- Compact installation



ALS60

2008 – 2011

- 200 kHz
- Increased productivity and robustness



ALS80

2014 – now

- 1000 kHz
- Improved laser, GNSS and IMU



CityMapper

2016 –

- 700 kHz
- FWD based
- RGB/CIR Oblique imaging sensor

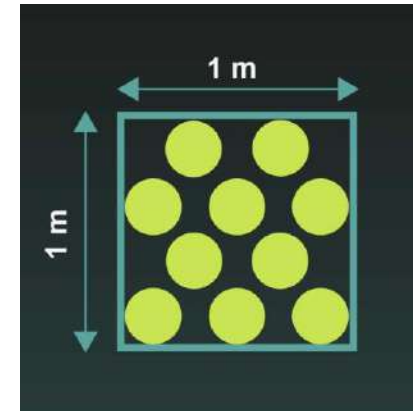


TerrainMapper CityMapper

- 2000 kHz
- Gateless MPiA
- FWD based

Exemple projet lidar HD IGN

- Couverture nationale en 5 ans
- Acquisition lidar (pas d'imagerie)
- Blocs de 2500km² - 50x50 km
- Densité en émission > 10 pts/m²
- Contrôle densité sur des cellules de 4x4m
- Précision EMQ X,Y <50cm
- Précision EMQ Z <10cm



<https://geoservices.ign.fr/lidarhd>

Exemple projet lidar HD IGN

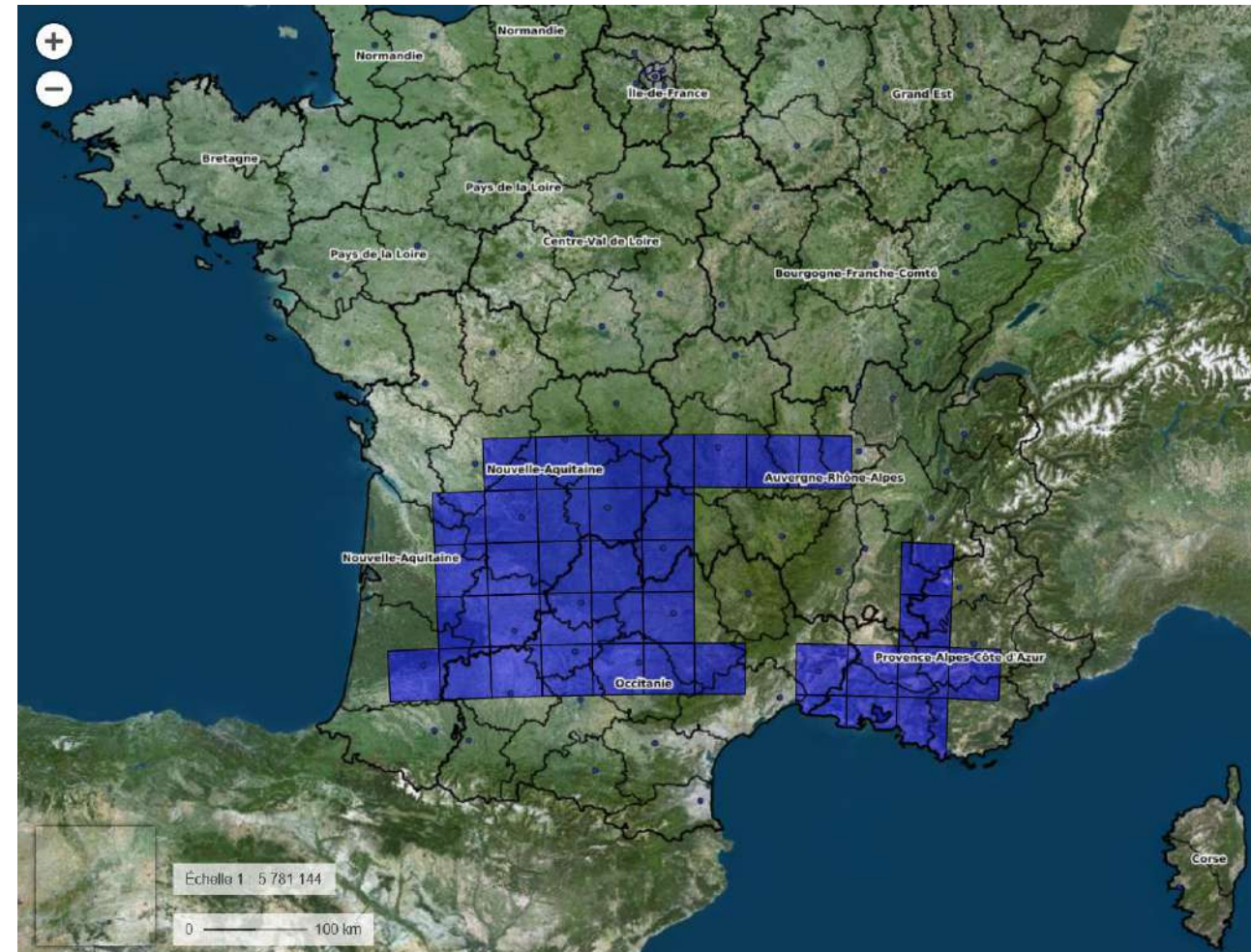
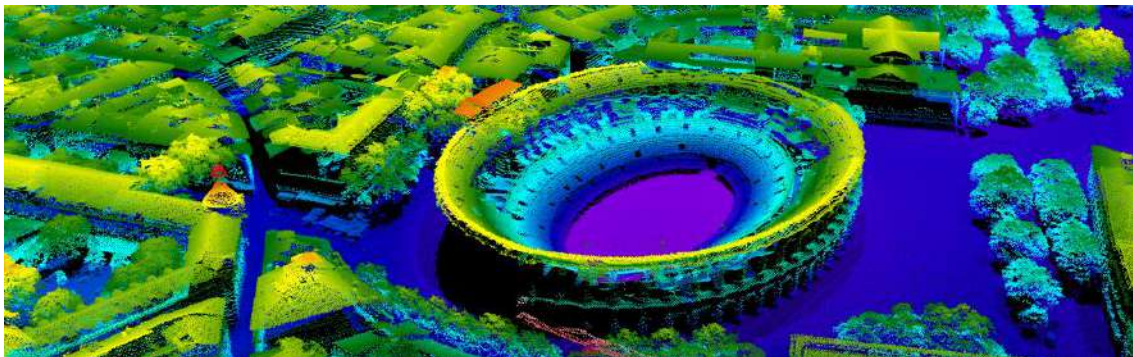
46 blocs volés en 2021 et 2022

92 350 km² couverts et traités

Productivité ~170km² / h en plaine

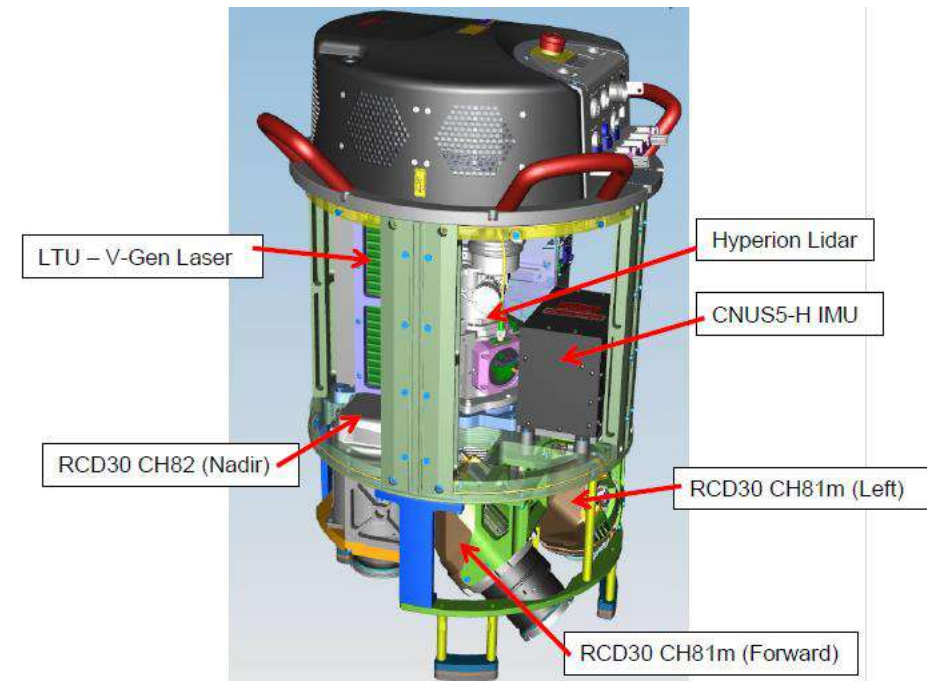
2 770 500 000 000 000 impulsions lidar

Contrôles qualité IGN



Capteurs mis en oeuvre : Nouveaux lidars Leica

- TerrainMapper et CityMapper
- Fabricant Leica Geosystems (Suisse)
- Innovations majeures:
 - Mode de balayage circulaire
 - Haute densité 2 MHz
 - Plateforme gyrostabilisée
 - Mode gateless



Plateforme gyrostabilisée

Compensation des mouvements de l'aéronef selon les 3 axes (dérive, roulis et tangage):

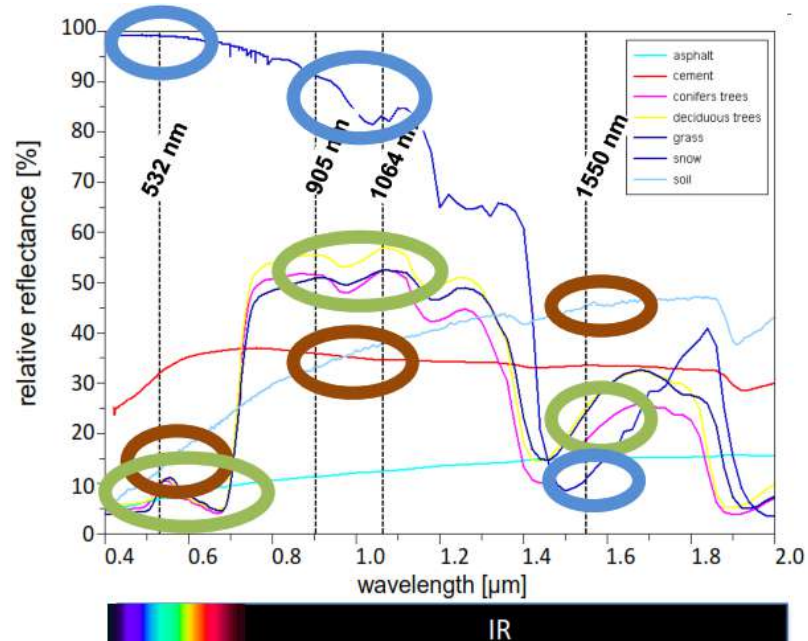
- Garantie des recouvrements latéraux
- Bandes de vol parfaitement droite et parallèles (en terrain plat)
- Meilleure répartition des points
- Isotropie des points

Stabilisation range in roll	- 7° to +7°	- 5° to +5°
Stabilisation range in pitch	- 8° to +6°	- 5° to +5°
Stabilisation range in drift	- 30° to +30°	
Typical residual deviation from vertical*	< 0.02° RMS	
Typical residual deviation from drift*	< 0.02° RMS, depends on GNSS/IMU	



Lidar

- Longueur d'onde 1064nm
- Fréquence de pulse jusqu'à 2 MHz (2 000 000 impulsions par seconde)
- Divergence faisceau 0,25mrad
- Hauteur de vol entre 300 et 5500m
- FOV réglable entre 20 et 40°

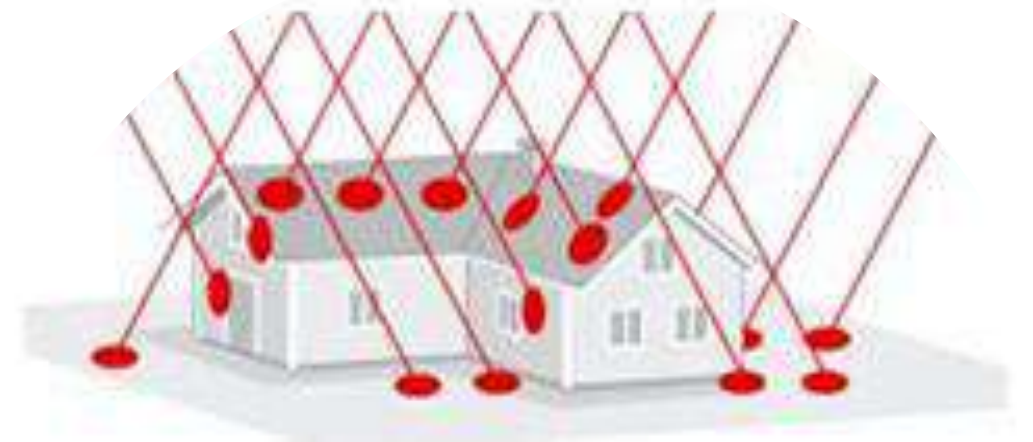
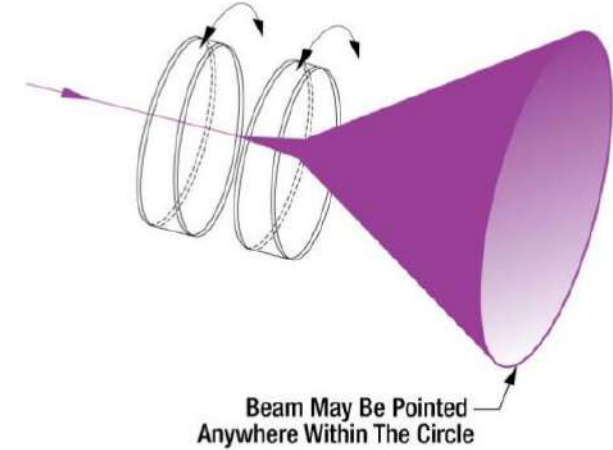


vegetation
dry soil
snow



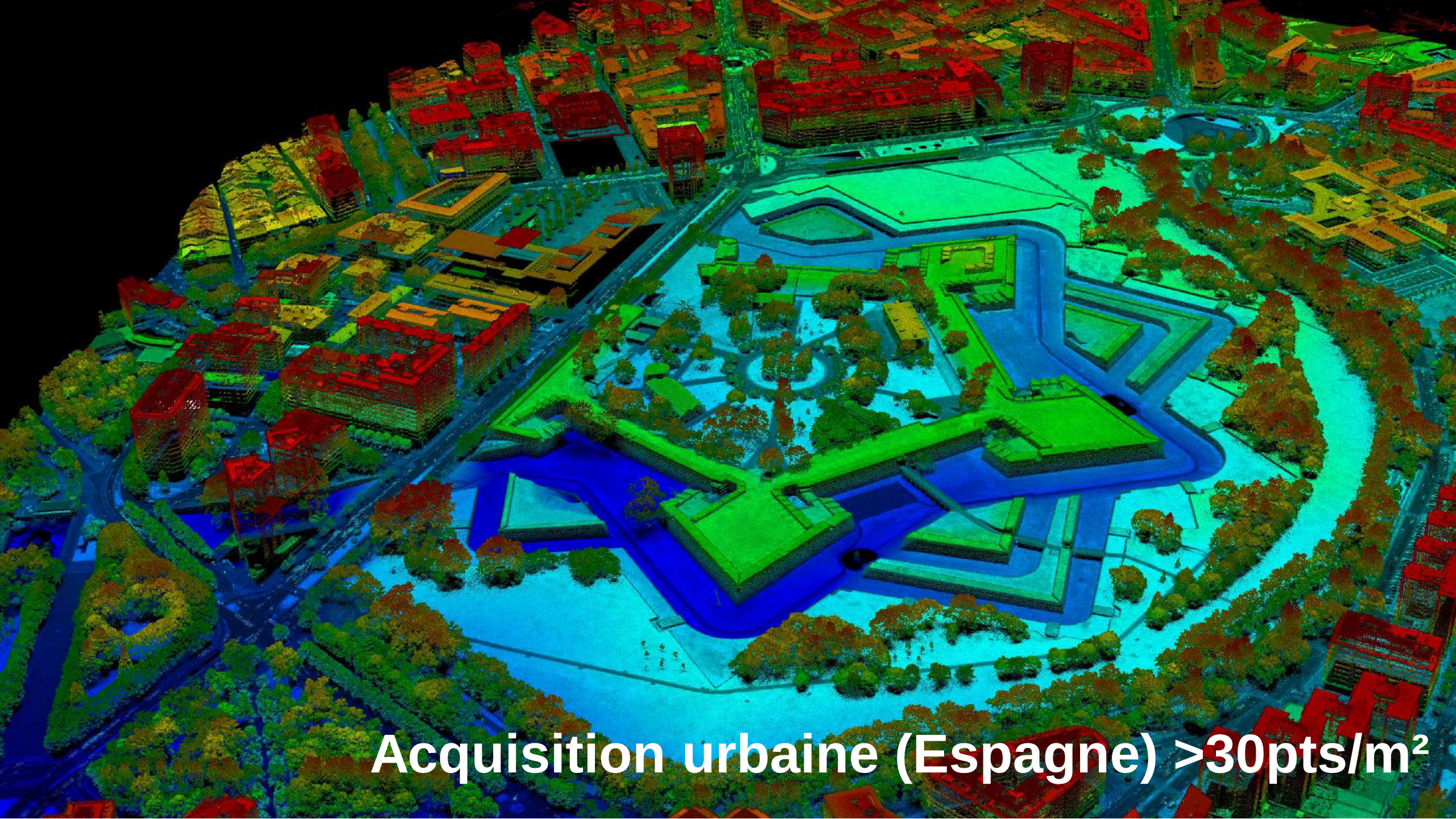
Mode de balayage circulaire

- Echos sur les surfaces verticales
- Amélioration de la pénétration du feuillage
- Elimine les zones de masque
- Elimine les « trous »



A noter les points sur les façades





Acquisition urbaine (Espagne) $> 30\text{pts/m}^2$

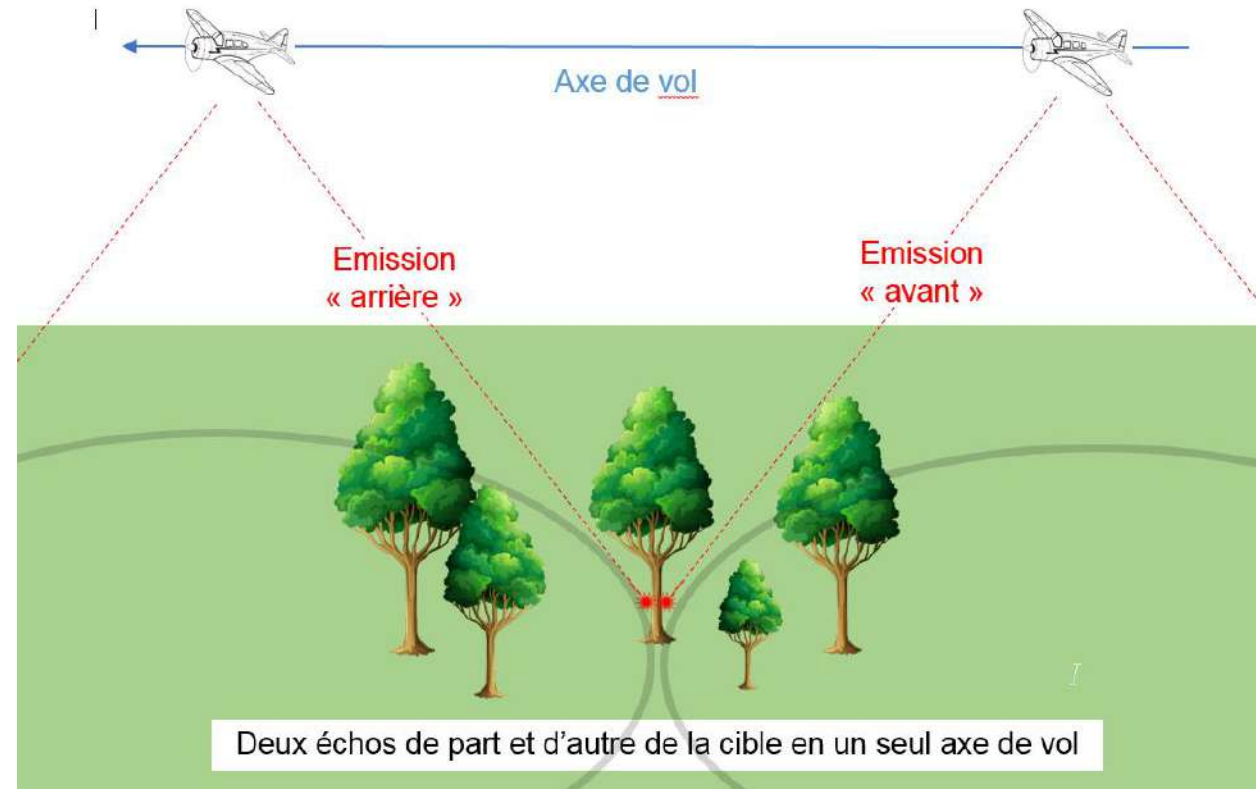
Mode de balayage circulaire

Intérêt majeur en foresterie et en archéologie

Permet d'obtenir des échos depuis 2 points de vue différents

Meilleure définition :

- des troncs pour calcul volumétrie bois
- des fossés, tranchées ou ruines



Location: 682082.025, 6619403.852
Elev: 250.535 m, Dist: 112.2 m

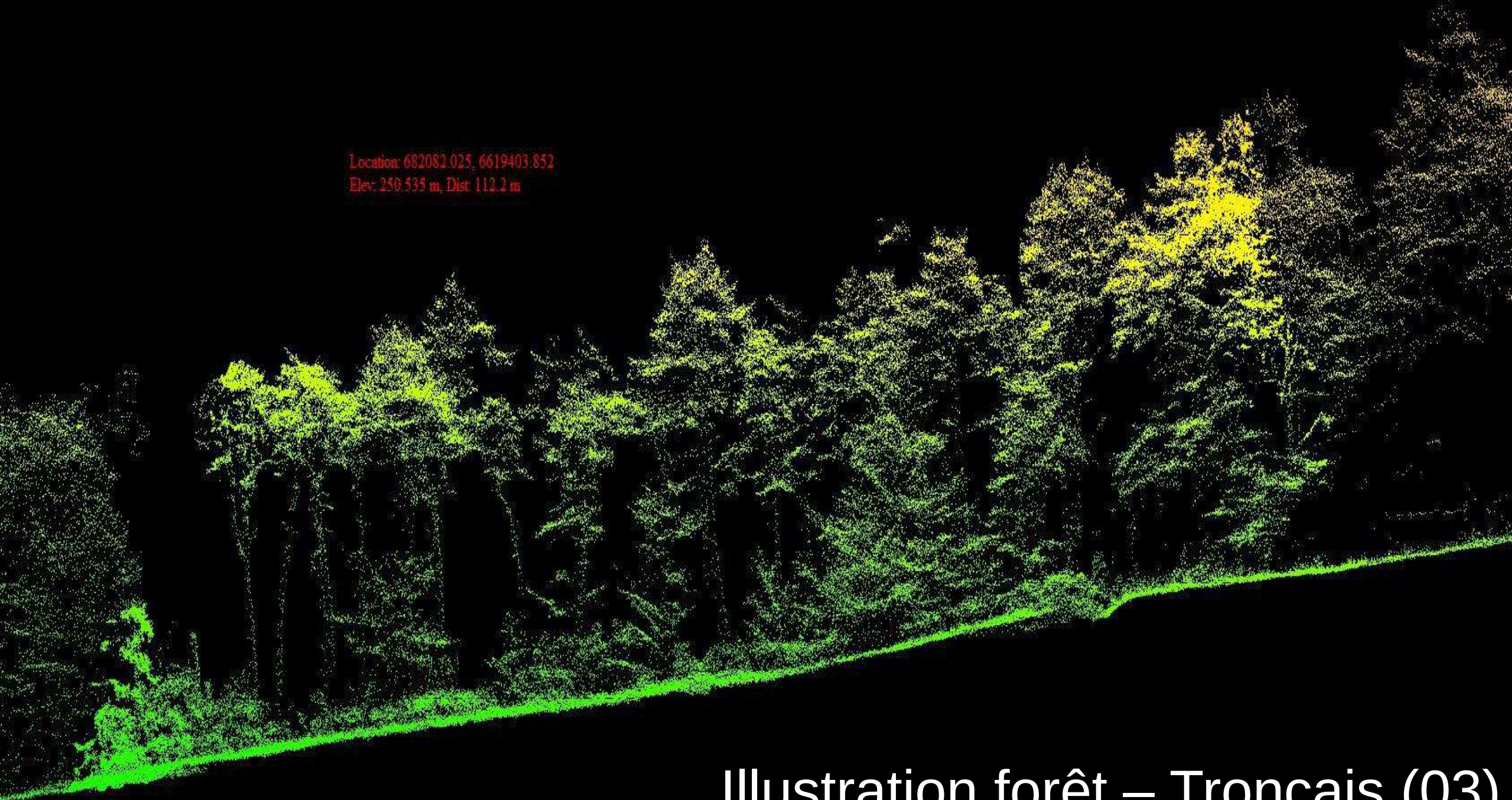
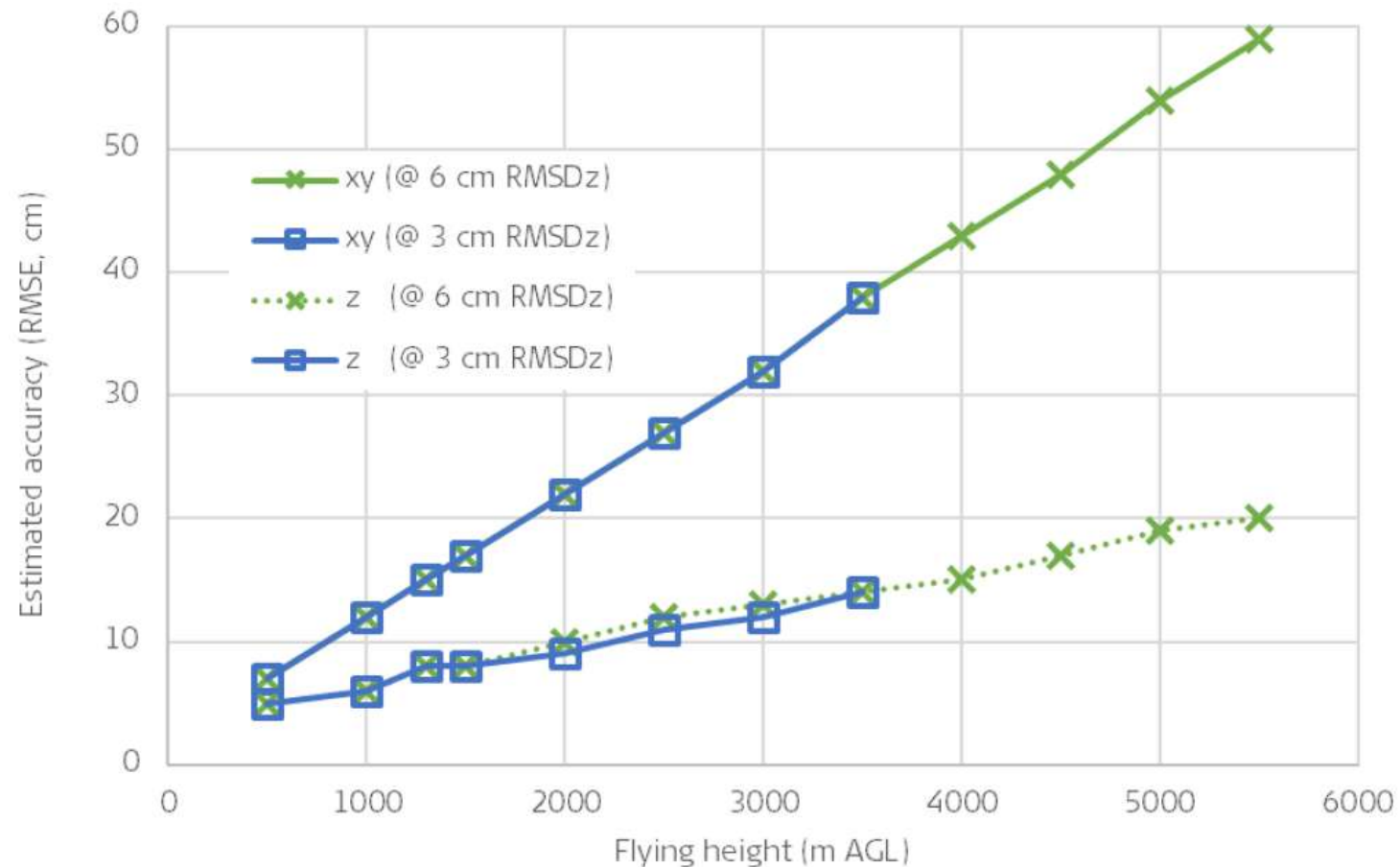


Illustration forêt – Tronçais (03)

Précision obtenue

Précision jusqu'à 3cm en Z

Précisions intégrant l'erreur GNSS/IMU

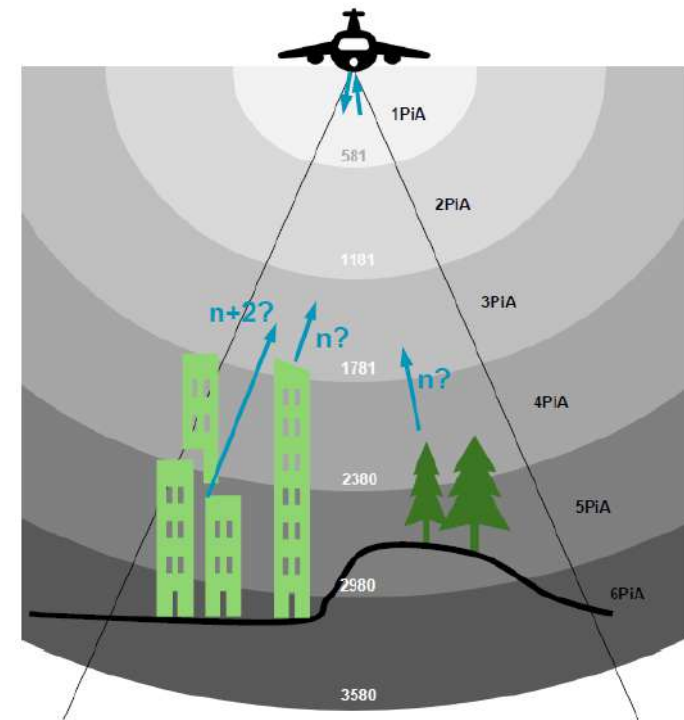
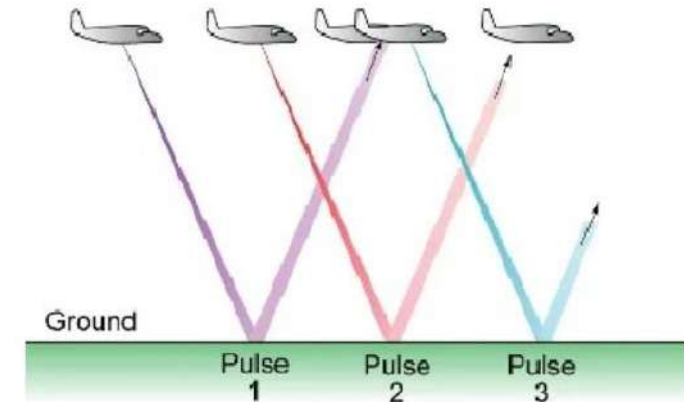
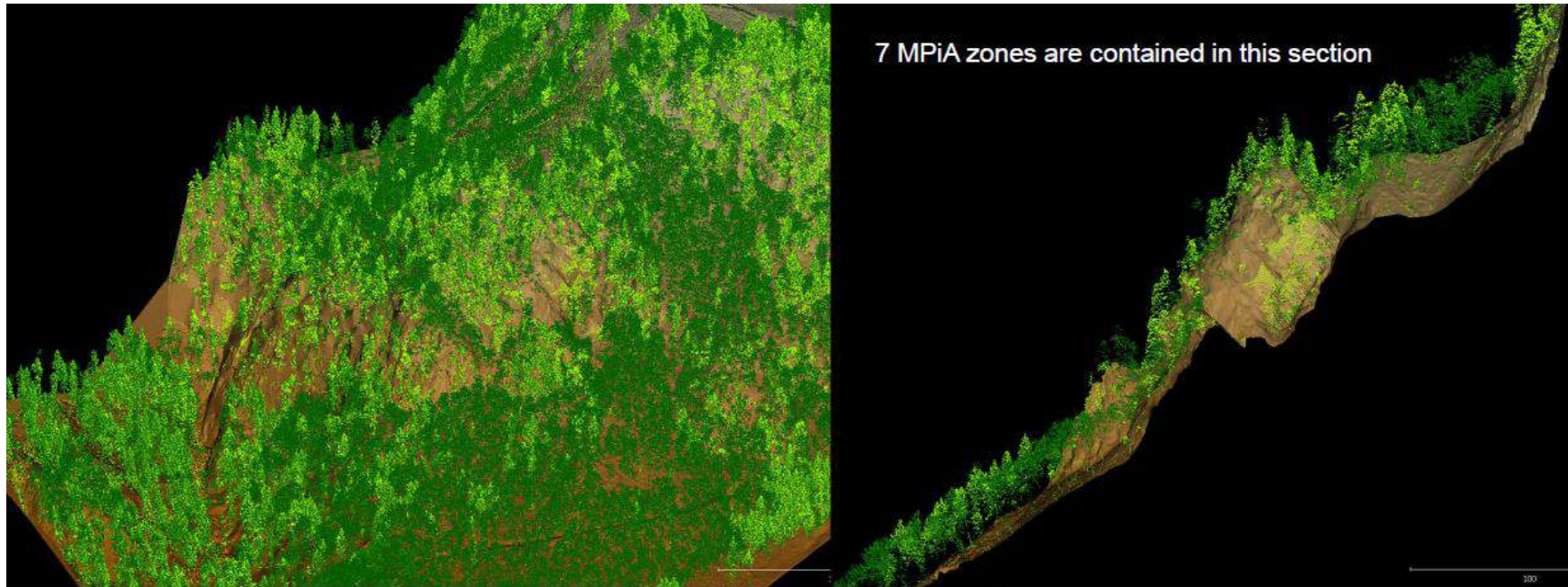


MPIA Gateless

Les fabricants ont développé de nouveaux algorithmes d'analyse qui corrigent les ambiguïtés

→ les terrains complexes, de la cartographie urbaine à la zone montagneuse grâce au mode gateless

Gère jusqu'à 35 impulsions LiDAR dans l'air (zones MPiA) simultanément



Function of gateless MPiA zone technology

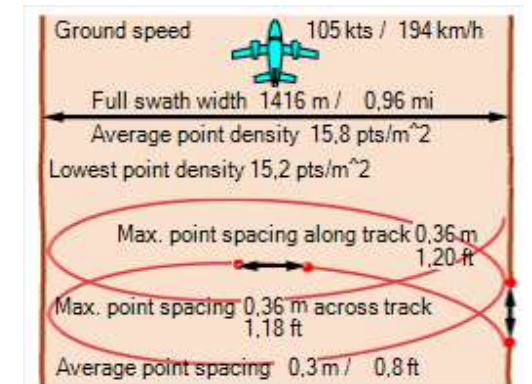
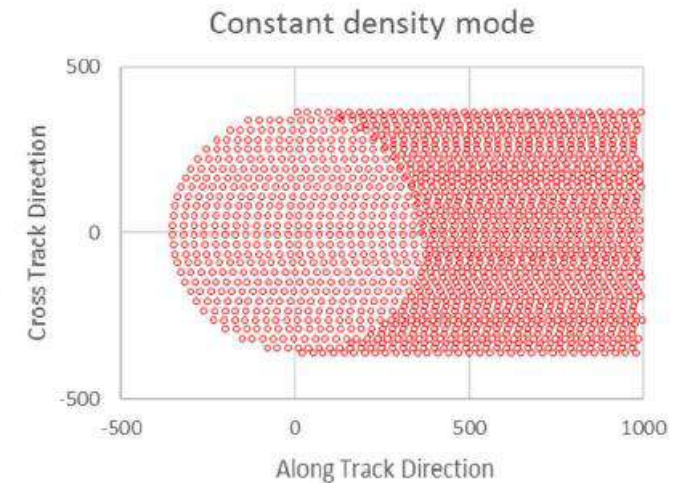
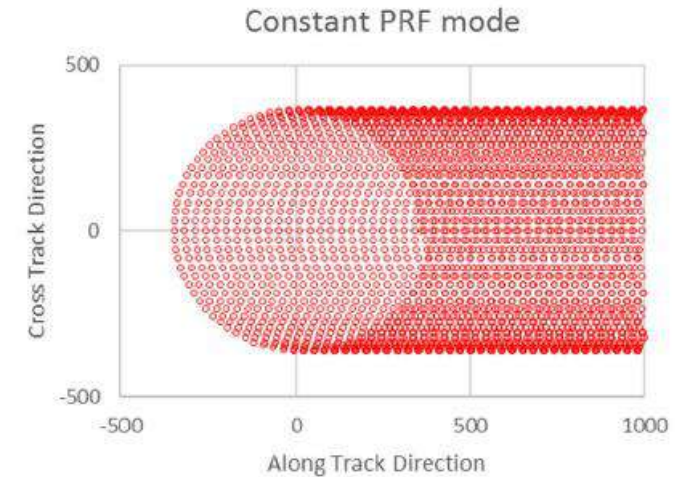
Isotropie des points

Nouveau mode de distribution des points :

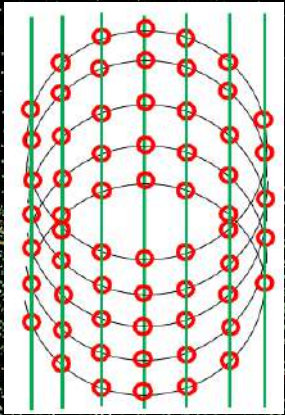
- L'espacement transversal reste presque constant sur l'ensemble du FOV
- La densité reste constante à l'approche du bord FOV

Avantages :

- Bande complète avec la même densité qu'au nadir, mais avec ~35 % moins de points qu'en mode standard.
- Moins de données à stocker
- Moins de données à traiter
- Les algorithmes de filtrage et de classification fonctionnent mieux avec des variations minimales de la densité de points



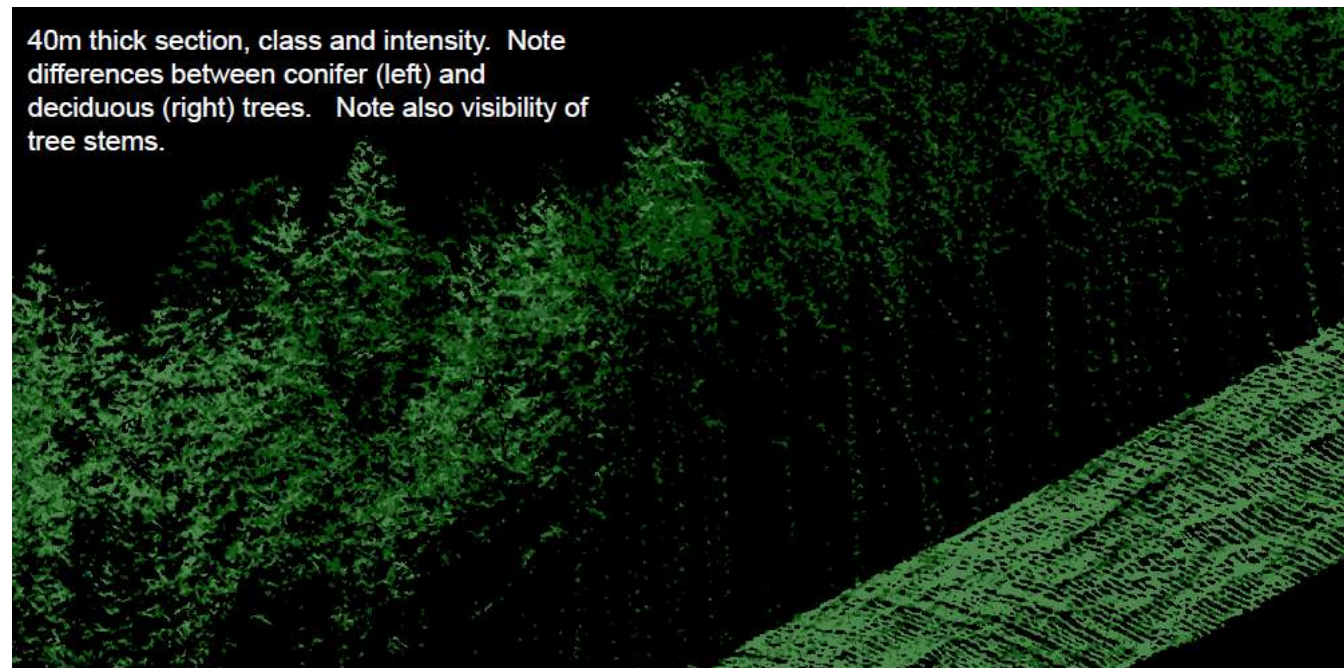
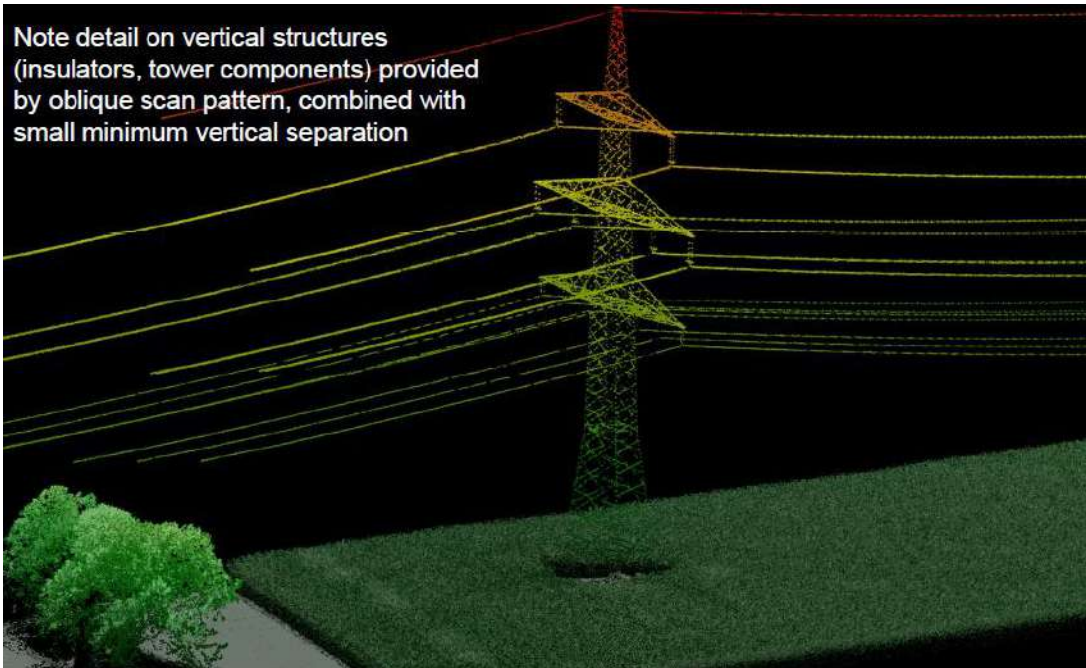
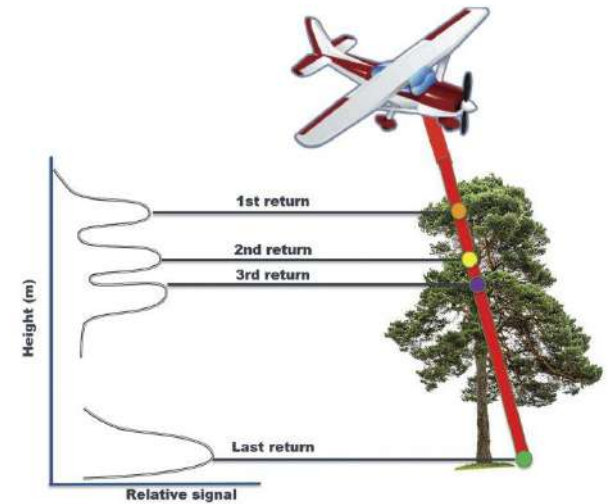
Isotropie des points

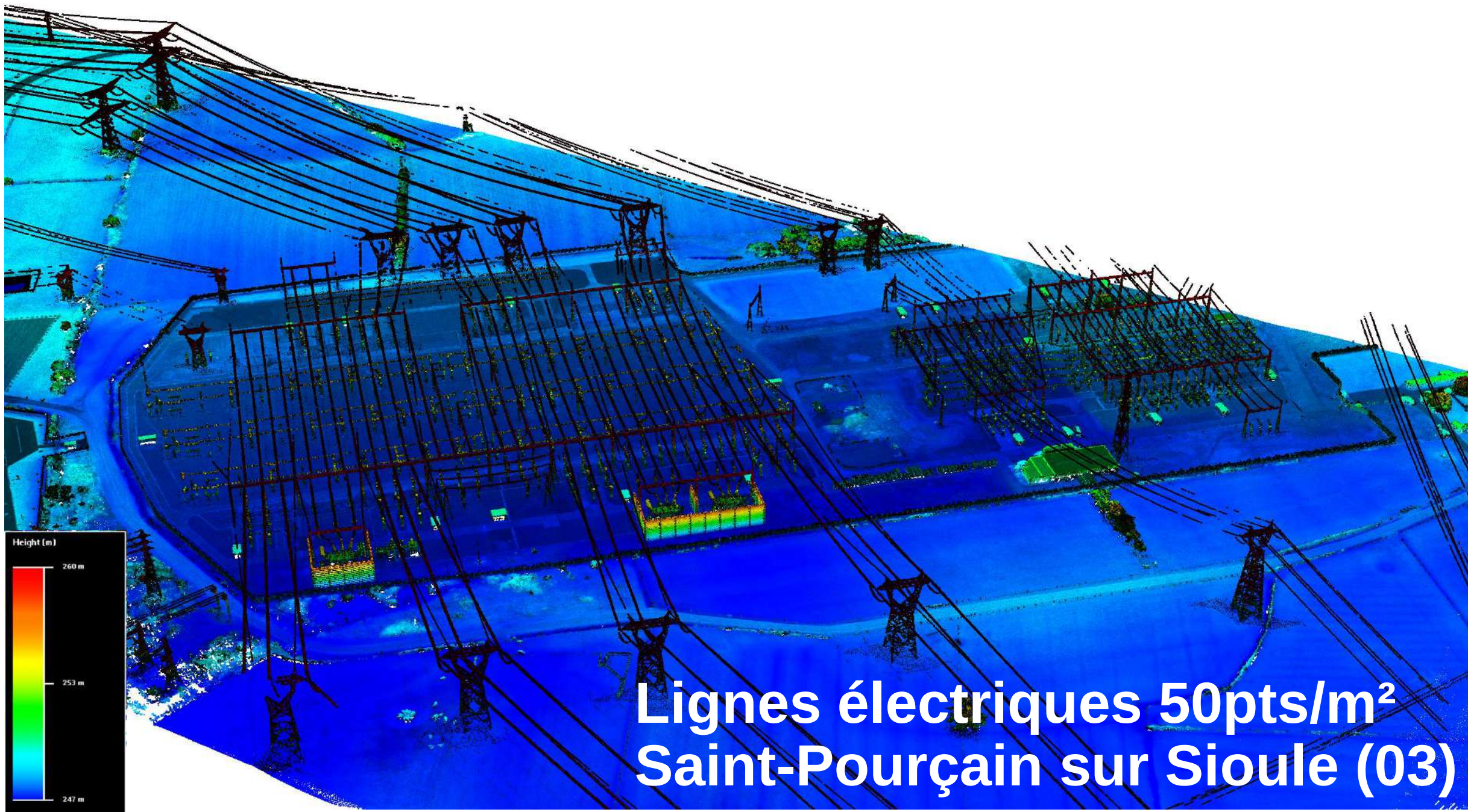


Séparation verticale minimale

Le TM/CM présente un largeur d'impulsion courte et un numériseur rapide qui permet de différencier échos avec séparation $< 50\text{cm}$

- Améliore les détails de la canopée des arbres
- Différenciation des lignes électriques





Méthodologie de travail

- Planification du vol
- Réalisation du vol
- Calcul trajectographie
- Post-traitement
- Contrôle qualité

Planification des vols

Une planification optimale des vols est essentielle.

Parameters

Field of View: 39,0 degrees

Reference Height Min: 44 m Max: 290 m

Flying Height above min. Elevation (AGL): 2000 m

Aircraft Speed over Ground: 105 kts

Minimum Flying Height AGL: 200 m

Ceiling Altitude AMSL: 7620 m

☐ Allowed worst case Accuracy XY: 0,05 m Z: 0,05 m

32 Num PIA Effective Pulse Rate: 2000000 Hz ☐ Auto Adjust

☒ Gateless MPIA Scan Rate: 148,0 Hz ☒ Even Point Distribution

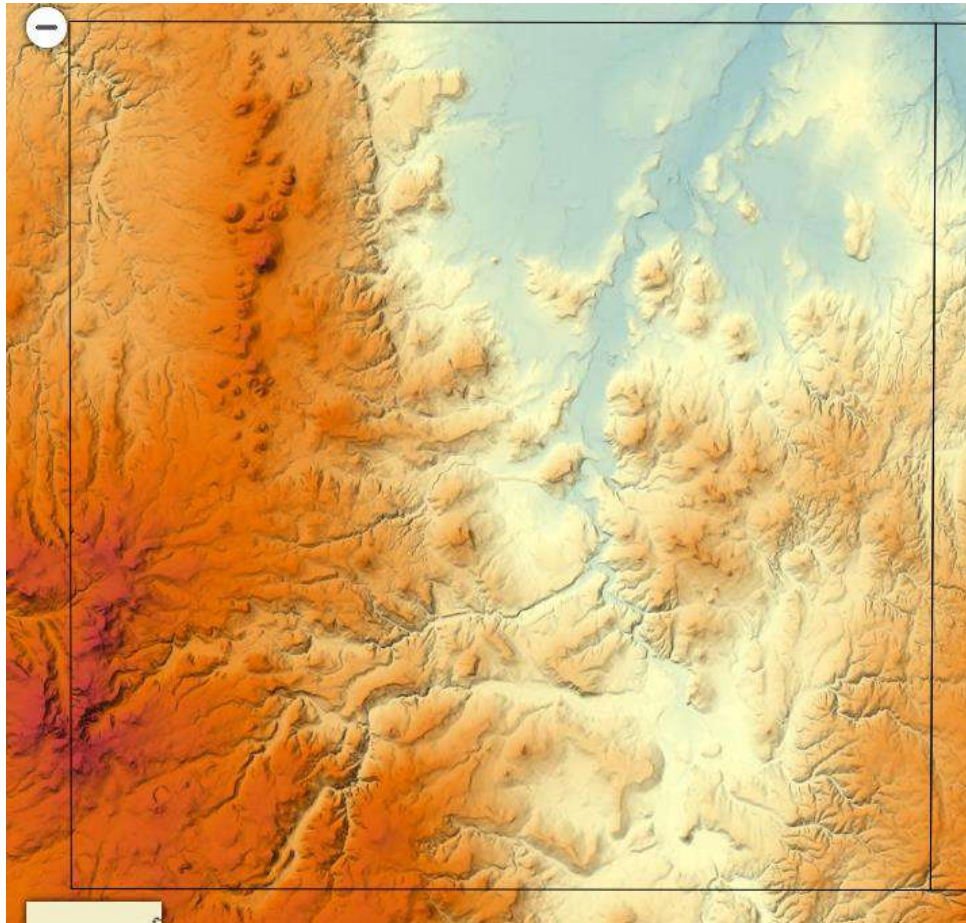
Scan Pattern: Circle

☒ Auto Adjust for: Target Ratio + Overspeed

Target Across/Along Track Ratio: 1,00 Max: 2,00

Spécifications client	Données d'entrée	Eléments de sortie
Emprise d'étude	Buffer/ relief / MNT	Coordonnées axes de vol
Densité émission / sol	Rapport signal / bruit	Altitude de vol
Recouvrement latéral %	Sécurité	Vitesse max
Distribution spatiale	Plage vitesse avions	Réglage lidar
Précision X,Y & Z	Altitude de vol / contraintes aériennes	
Plage temporelle	Précision tenue d'axe pilote	
Conditions acquisition (niveau eau, marée, feuilles...)		
Hauteur de vol / Ø tache au sol / FOV		

Exemple plan de vol bloc LL (Clermont-Ferrand)



Bloc découpé en
2

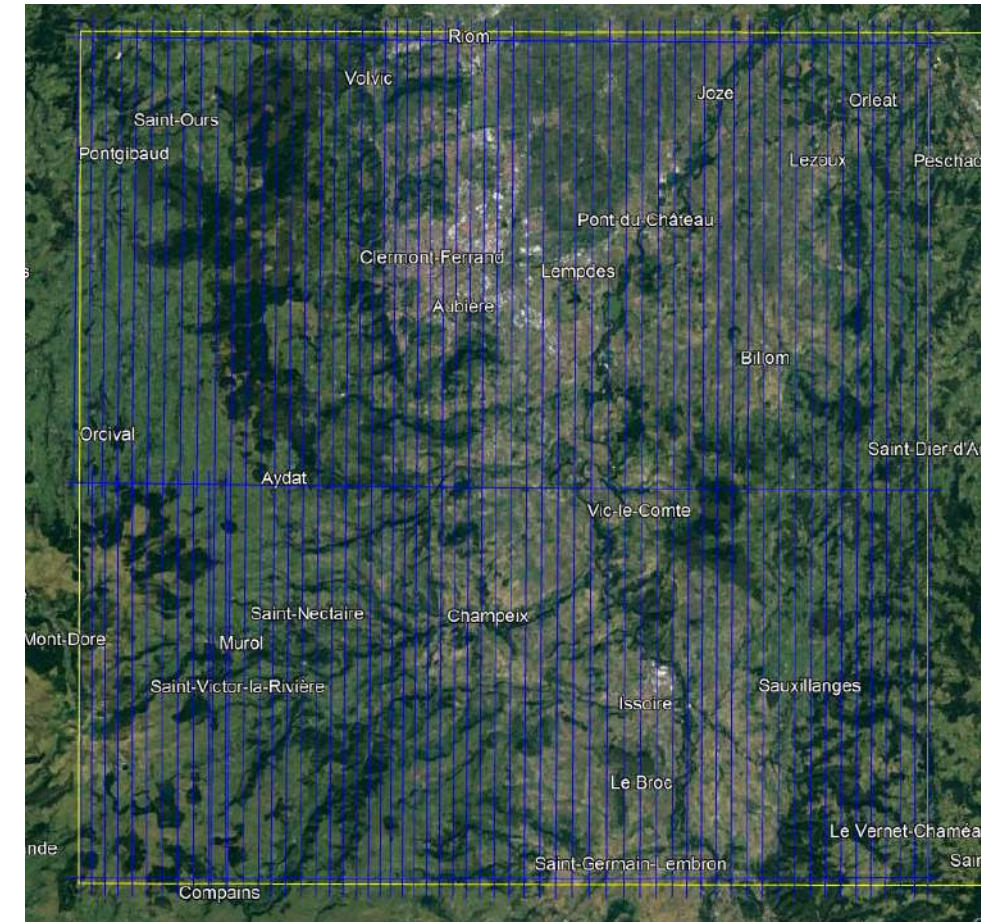
Orientation des
axes N-S

73 axes

16h14' vol

Productivité

154 km²/h



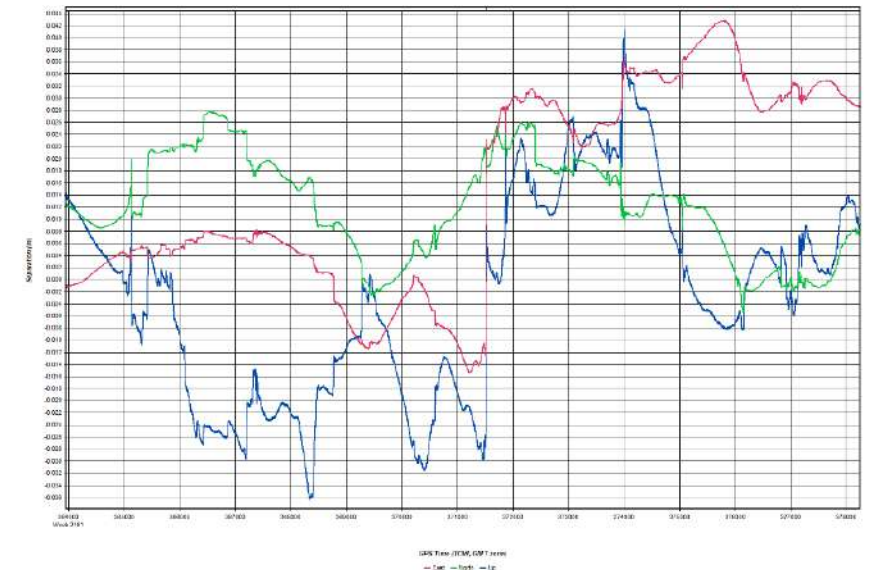
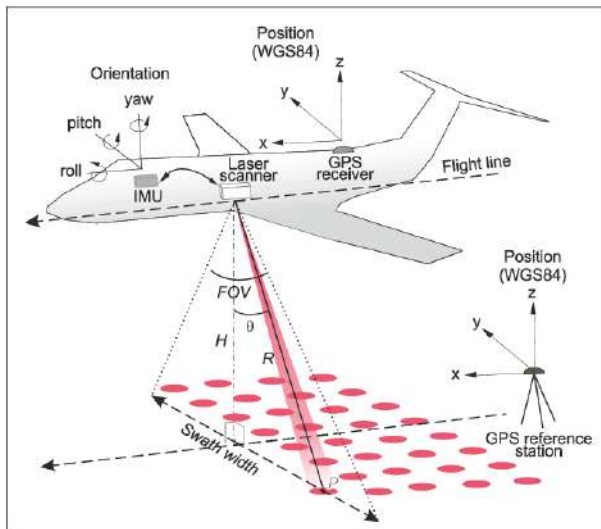
Calcul de trajectographie

lidar = géréférencement direct → Qualité de la trajectographie est essentielle

Détermination des paramètres de position et d'orientation à partir des données inertielles et GNSS

Utilisation des pivots du réseau RGP/ Orphéon

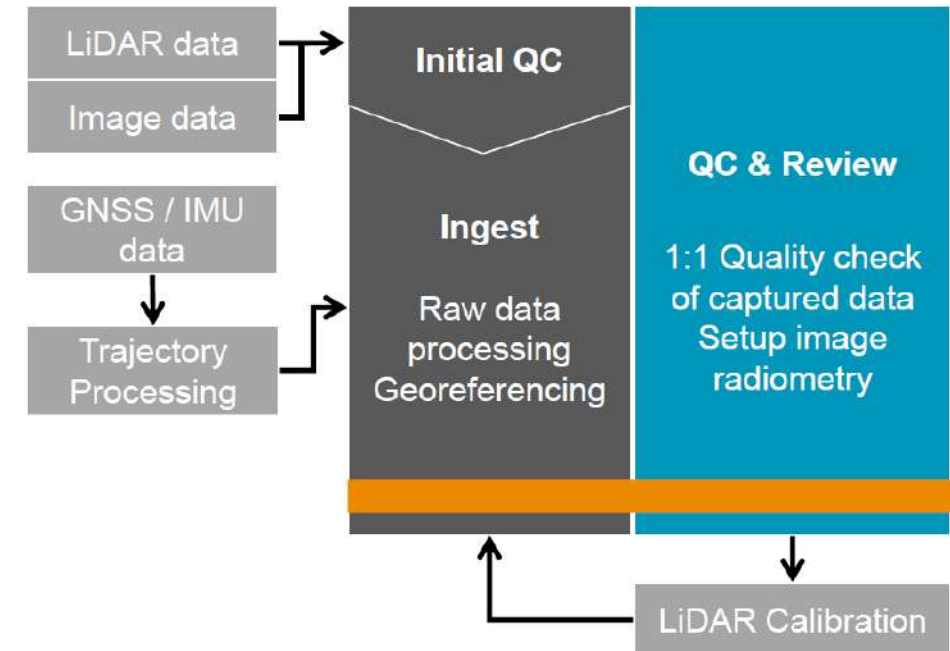
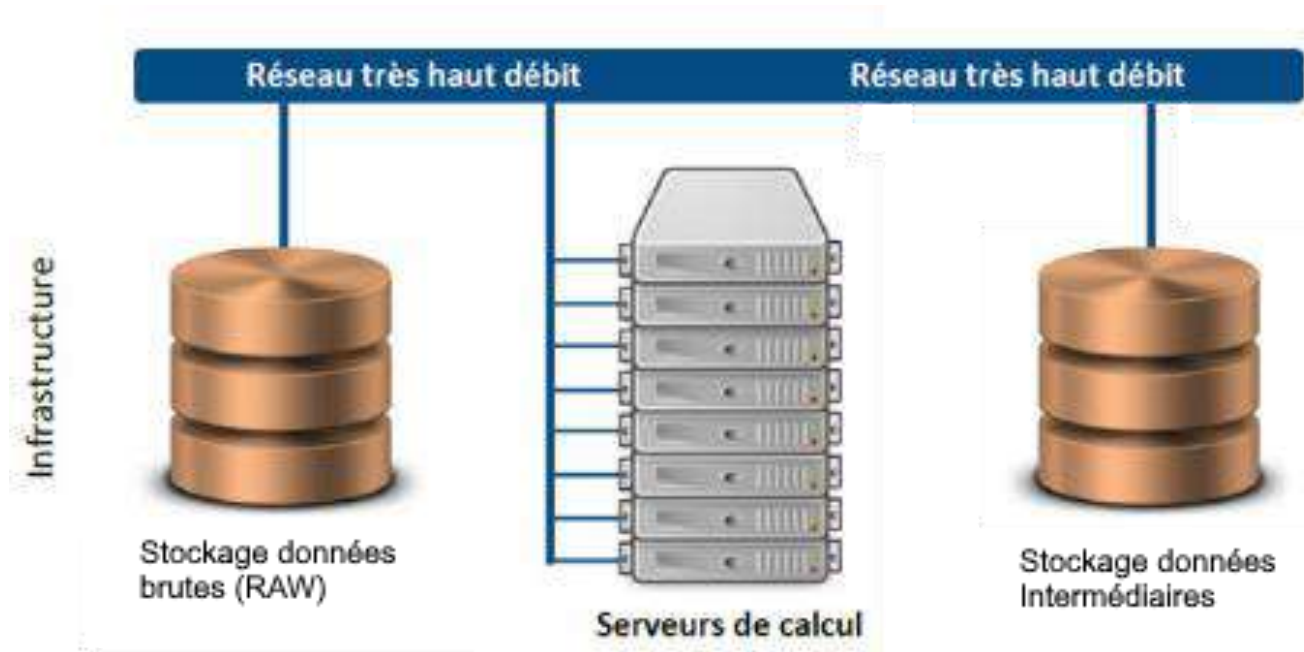
Objectif 3cm en X,Y et 6cm en Z



Géoréférencement du nuage

Volumes de données important

→ Calculs distribués sur 4 à 6 ordinateurs en parallèles



Calage relatif des bandes lidar

Le calage est réalisé avec les recouvrements entre bandes et les axes transversiers
Avec des vols à 2000m on atteints un calage relatif dans les 3 cm

H001_2000C_vs_H002_2000C

1397325 valid patches with size of 2 m found. Only patches with standard deviation < 0.05 m and minimum of 5 points are included.

Color	Limits (m)	Number of patches	Proportion of total number of patches (%)
Dark Green	≤ 0.03	1343188	96.82
Light Green	0.03-0.05	41780	3.01
Yellow	0.05-0.1	2326	0.17
Red	> 0.1	33	0.00

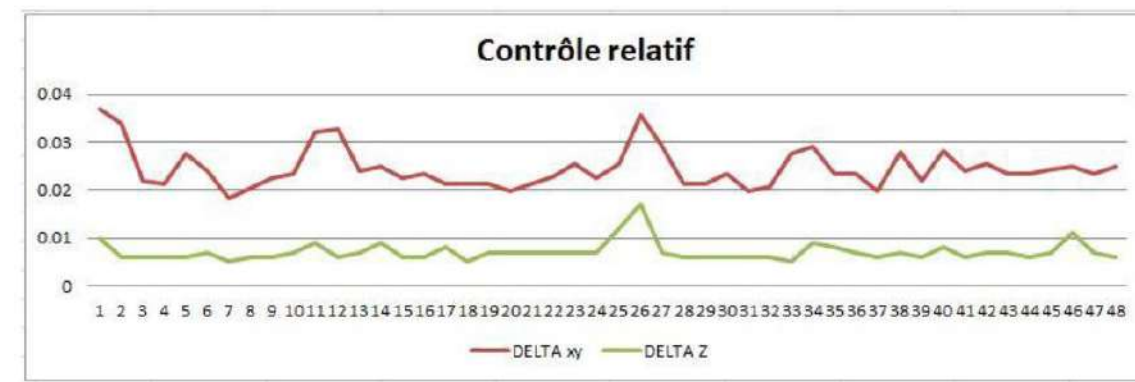
96.8 % of patches
have vertical
match within 3 cm



III-2.2 Contrôle du recalage relatif

-Sur tous les points du nuage-

Calage des axes de vol : conforme

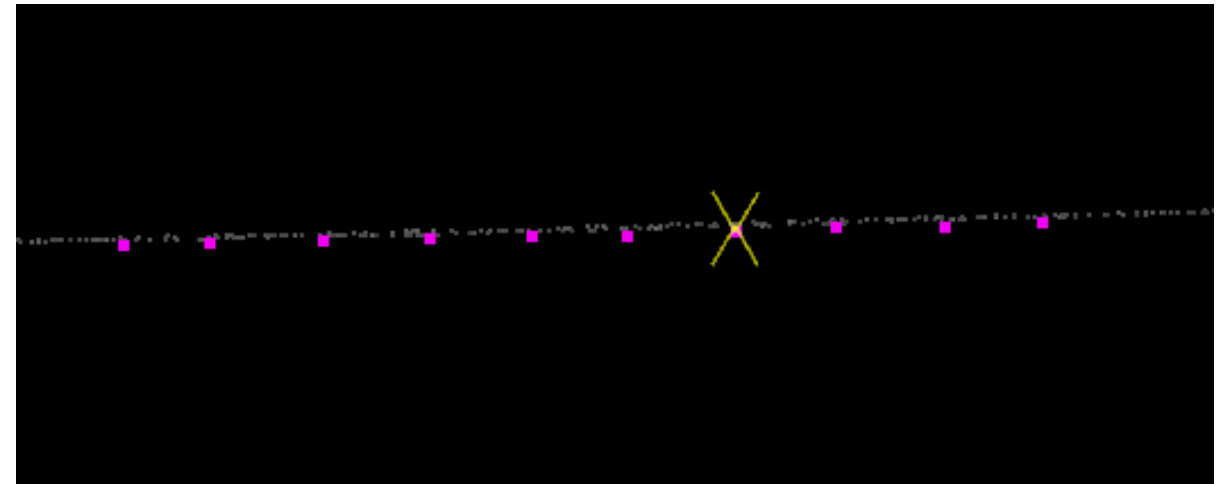
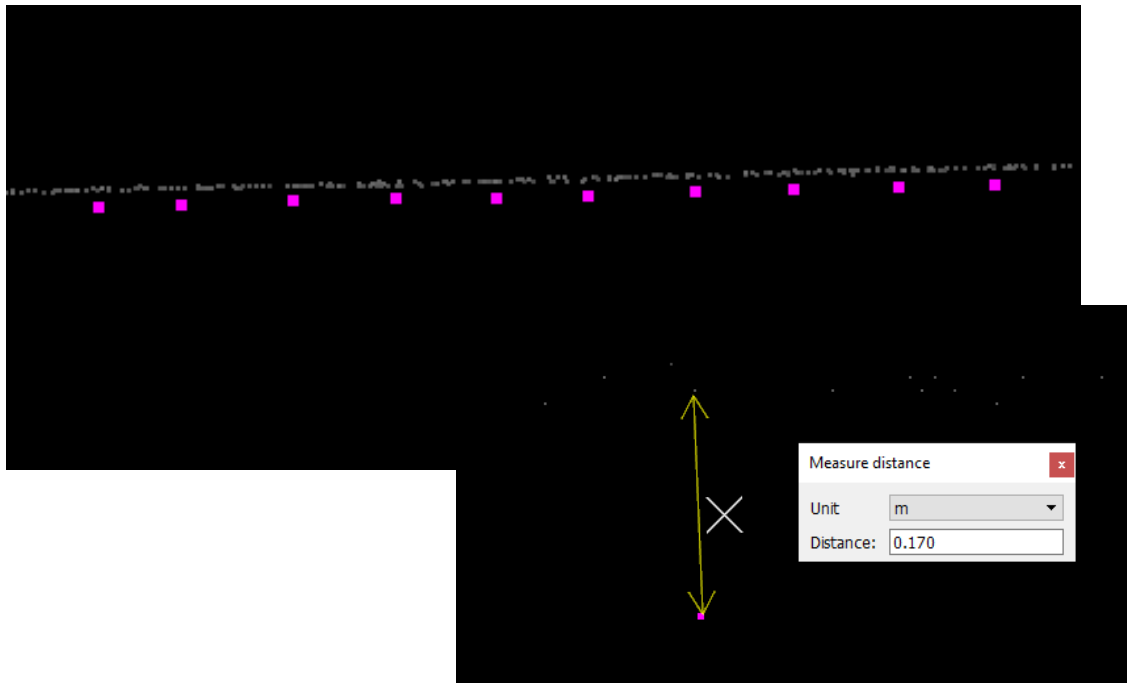


Correction altimétrique

Montage du projet sous Terrasolid

Intégration des surfaces de contrôle altimétriques

Correction du nuage en altimétrie

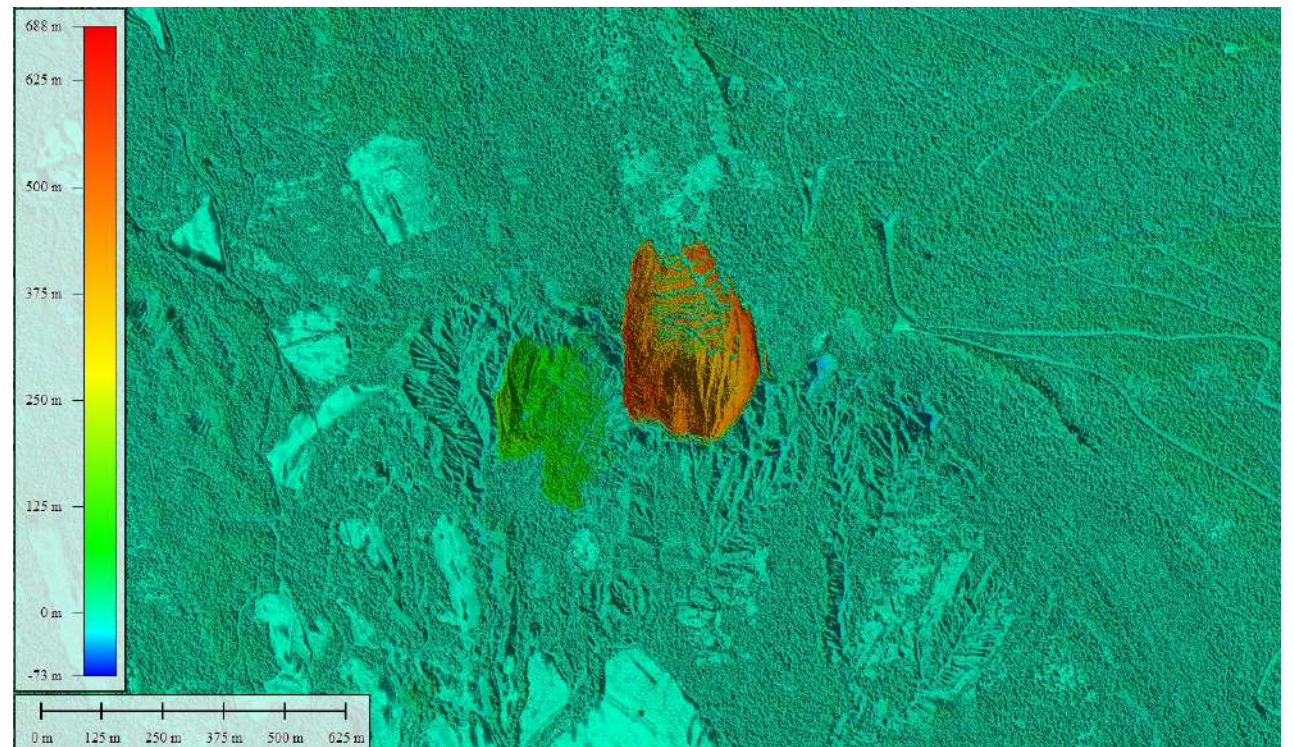
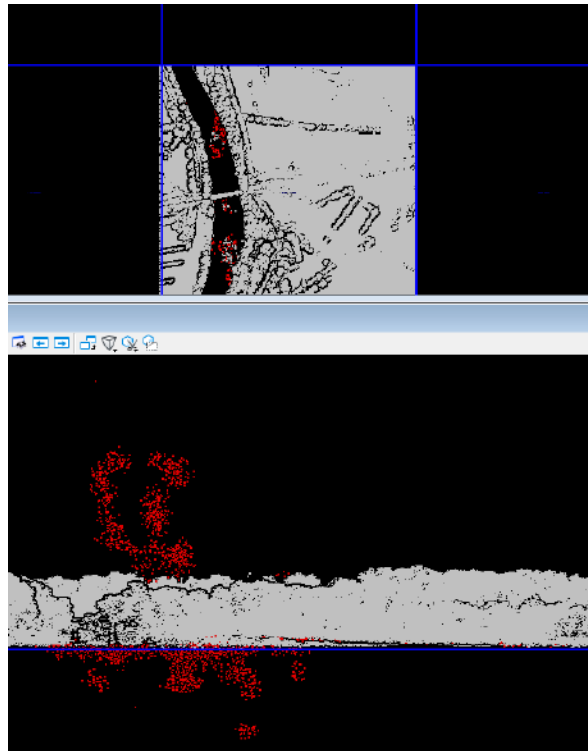


Suppression des artefacts/bruit

Classification automatique sous Terrascan avec macros spécifiques (5 classes de bruit)

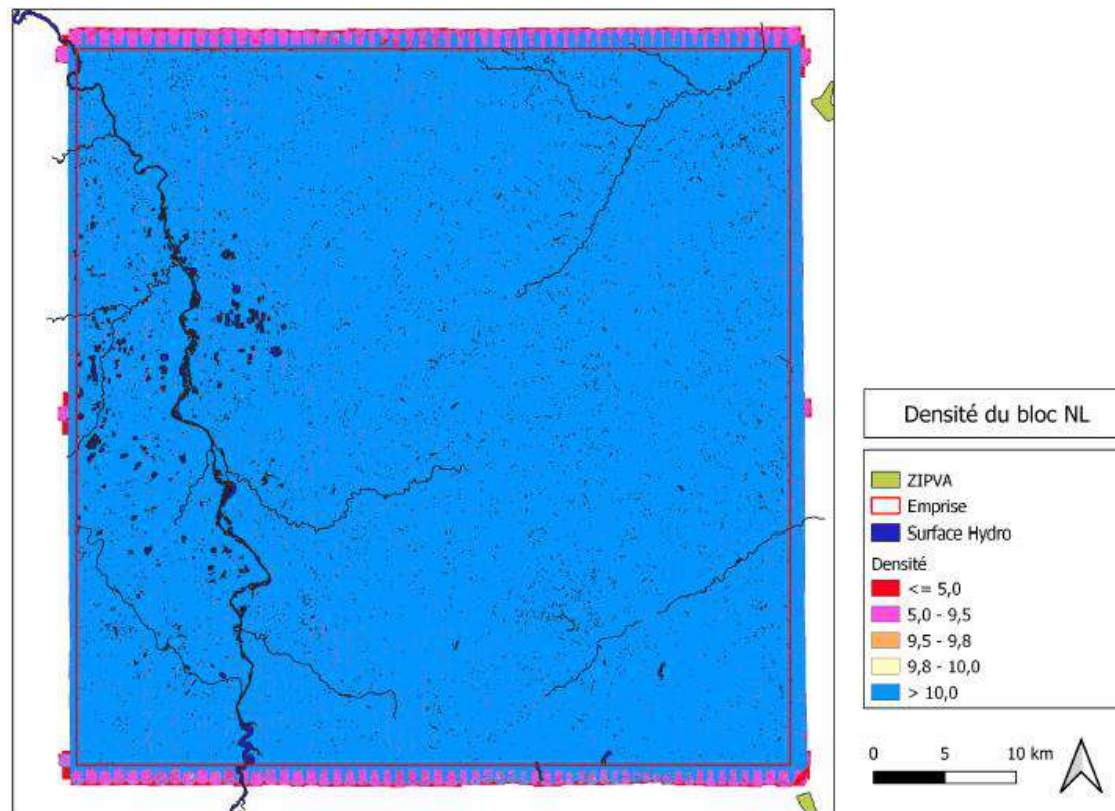
Attention à ne pas classifier en bruit des éléments sol ou sursol (câbles)

Création d'un MNH pour identifier les valeurs aberrantes $>+50\text{m}$ et $<-2\text{m}$



Contrôle densité

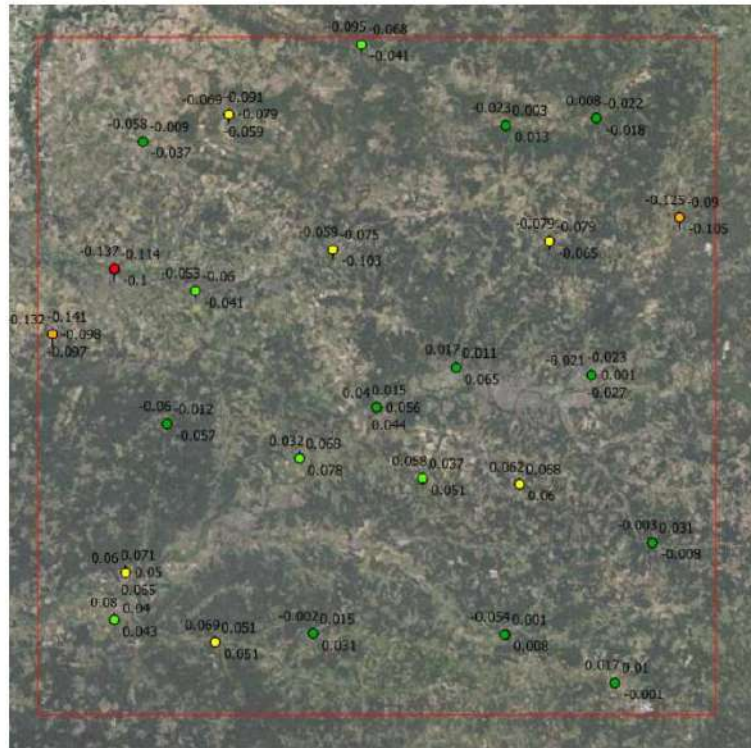
Carte de densité établies sur des dalles de 4x4m
Densité calculée sur le dernier écho



Contrôle qualité

Contrôle précisions nuage en X,Y et Z

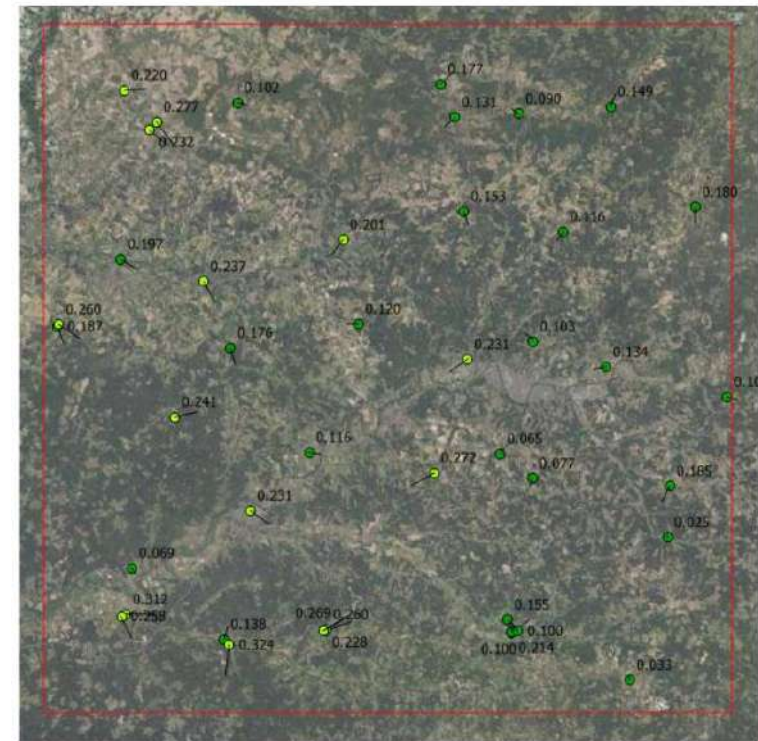
Précision altimétrique : conforme



Average dz	Minimum dz	Maximum dz	Average magnitude	EMQ	Ecart-type
-0.015 m	-0.141m	0.080 m	0.052 m	0.063 m	0.061 m

La précision altimétrique respecte bien les spécifications du cahier des charges. On obtient une précision de **6.3 cm**.

Precision planimetric : conforme

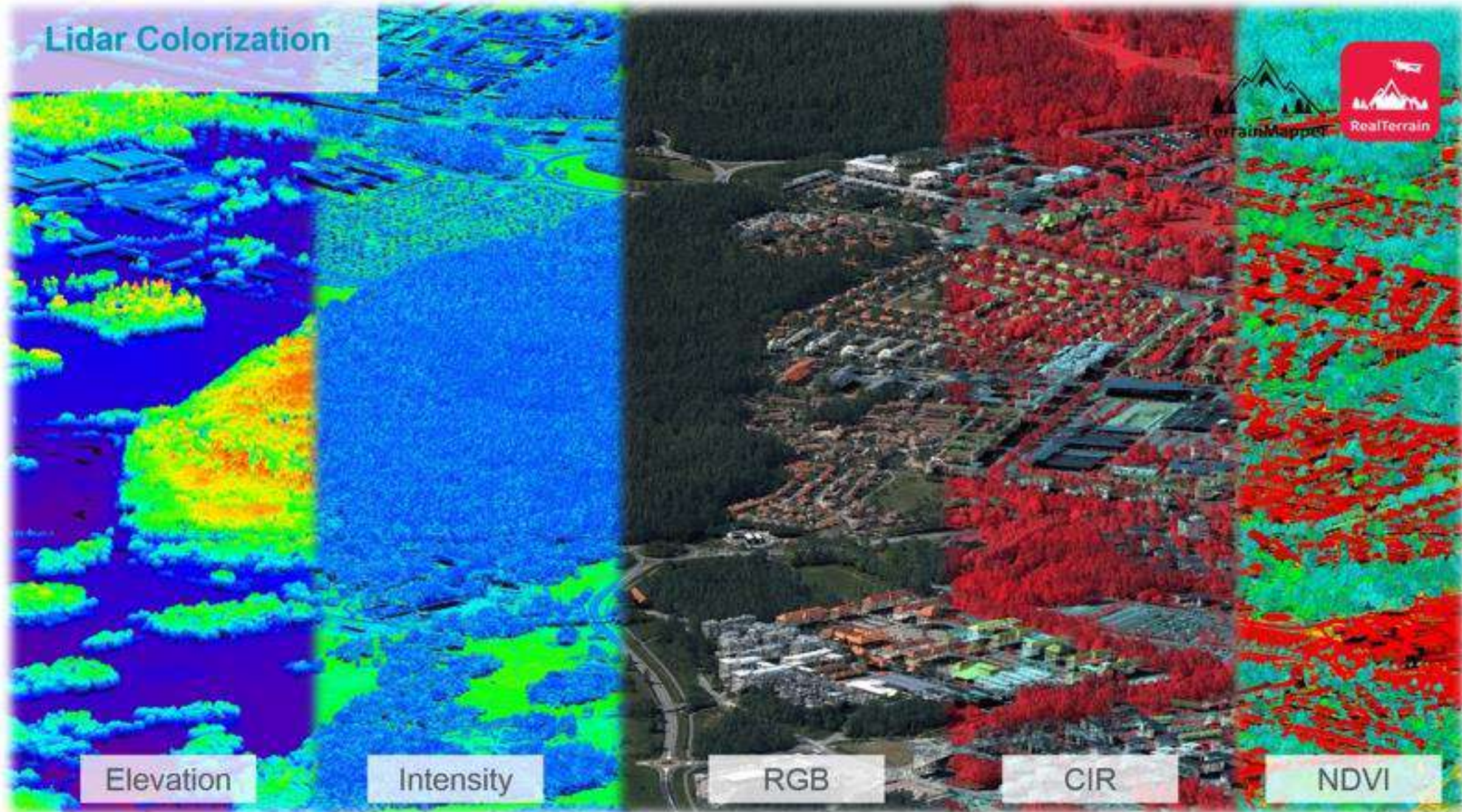


La précision planimétrique respecte bien les spécifications du cahier des charges. On obtient une précision de **18.9 cm**.

Contrôle précision planimétrique



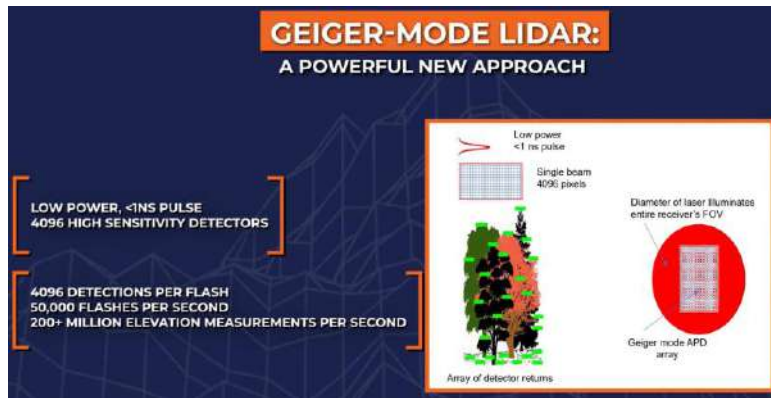
Lidar Colorization



L'avenir

GML

Geiger mode Lidar



SPL

Single Photon lidar



Ils utilisent tous deux des détecteurs matriciels, où l'impulsion renvoyée est enregistrée à l'aide d'un réseau de récepteurs au lieu d'un récepteur unique

Les impulsions laser transmises sont de faible énergie. Ces impulsions de faible énergie sont détectées par des récepteurs sensibles aux photons individuels ; permettant ainsi l'avantage supplémentaire d'altitudes de vol plus élevées

Vols plus haut et plus vite → hausse de la productivité jusqu'à 1500 km²/h



Merci de votre attention

Questions

Aéro Photo Europe investigation

Aérodrome de Moulins Montbeugny

www.apei.fr

Tel : 04 70 20 63 67

Bruno MALLERET, chargé d'affaires

b.malleret@apei.fr