

Programme LiDAR HD : vers une nouvelle cartographie 3D du territoire

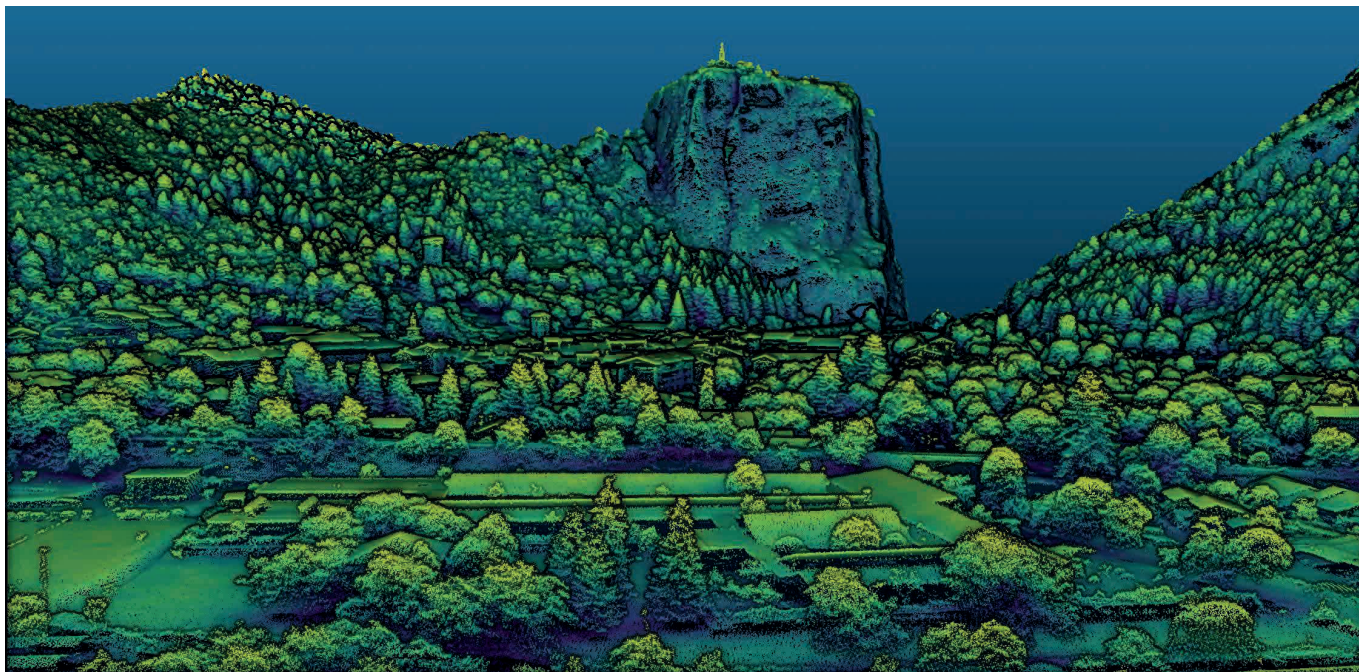


Figure 1. Visuel de la commune de Castellane en nuage de points bruts.

■ Terry MOREAU - Hélène BUISSART - Arnaud ALLGEYER - Sofiane KRIAT - Pierre-Yves DECAVELE - Romuald DORE - Gabrielle ROY

Le programme LiDAR HD est d'une ampleur inédite et porte un objectif ambitieux : acquérir des données LiDAR haute densité (HD) sur l'ensemble du territoire métropolitain et ultramarin (hors Guyane) pour en proposer la description 3D la plus fine jamais établie à l'échelle France entière. L'IGN coordonne ce programme et s'emploie à soutenir tous les usages de ce géocommun en devenir.

MOTS-CLÉS

Technologie, données, système d'information géographique, traitements, algorithmes, usages, communs.

des services déconcentrés de l'État : gestion des risques naturels, gestion des ressources forestières et agricoles, aménagement du territoire, architecture, archéologie. Néanmoins, l'hétérogénéité de la précision des données pousse les collectivités et autres partenaires publics à financer des acquisitions LiDAR sur leurs territoires sans réelle coordination.

Il faudra attendre 2018 pour que la sphère politique intervienne sur le sujet : un tel référentiel national est recommandé par la députée de la Loire Valeria Faure-Muntian dans son rapport sur les données géographiques souveraines. Outre les enjeux économiques, l'idée principale du rapport est de mettre à disposition des acteurs publics et privés une donnée altimétrique précise et homogène sur l'entièreté du territoire. Dans ce rapport, l'IGN est identifié comme l'établissement public compétent pour mener à bien la mise en place de ce référentiel national.

En parallèle, le positionnement de l'IGN est revu à travers le COP 2020-2024 et

Contexte et description du programme

■ Remise en contexte

Rappels sur le RGE ALTI®

Le besoin de disposer d'une donnée de référence décrivant de manière très fine le territoire français en 3D ne date pas d'hier. Le produit RGE ALTI® en est l'illustre exemple : lancé en 2009, il permet aujourd'hui à toutes et tous¹ d'accéder à un modèle numérique de terrain (MNT) sur n'importe quelle zone du territoire français. Cela dit, la précision altimétrique de ces données varie selon les zones, les enjeux et la techno-

logie d'acquisition. À titre d'exemple, l'erreur moyenne quadratique varie entre 20 cm dans les zones inondables ou littorales² acquises en LiDAR (à 2 points/m²) pour répondre aux besoins de prévention des risques inondation, et 8 m dans certains secteurs montagneux où le MNT est issu d'acquisitions par radar. Les acquisitions réalisées par la technologie LiDAR représentent un tiers de la superficie du territoire.

Des causes multifactorielles à l'origine du programme

L'accès au RGE ALTI® a permis le développement des usages au sein

¹ Cf. la nouvelle politique de libre accès de la donnée (publique).

² L'aire acquise en LiDAR (2 pts/m²) représente un tiers de la superficie du territoire métropolitain.



orienté vers le rôle d'intermédiaire entre communautés de producteurs et d'utilisateurs.

Le programme LiDAR HD, une évidence aujourd'hui

C'est dans ce contexte favorable qu'est lancé le programme LiDAR HD. Les premiers partenaires à s'engager sont :

- la DGPR, en tant qu'utilisatrice historique des données RGE ALTI® pour ses besoins de prévention des risques inondation notamment ;
- le ministère de l'Agriculture et de la souveraineté alimentaire (MASA) et l'Office national des forêts (ONF), en tant que porteur de cas d'usages agricoles et forestiers ;
- des collectivités font aussi part de leur volonté de contribuer au projet, comme la région Occitanie, la région Sud-Provence-Alpes-Côte d'Azur ou encore le conseil départemental des Alpes-Maritimes (CD06).

Un dossier de Fonds pour la transformation de l'action publique (FTAP) est déposé pour solliciter des financements et permet de lancer concrètement le projet à l'automne 2020.

Depuis, l'IGN joue un rôle de chef d'orchestre, pour des partenaires exprimant des besoins, avec des financeurs publics qui investissent, des sous-traitants qui contribuent au défi de la production, des PME qui développent des services, notamment à travers l'appel à projets IGNfab³.

■ Description du programme LiDAR HD

Un calendrier et des objectifs ambitieux
Séquenté sur cinq ans (2020-2025), le programme vise la mise à disposition de données 3D relatives au sol et au sursol qui seront à la fois homogènes en densité, riches, fiables et ouvertes. Il couvre les objectifs suivants :

- acquisition des nuages de points, à une densité moyenne de 10 points/m² ;
- traitement de classification des nuages et production de modèles numériques de terrain, surface et hauteur ;

³ IGNfab : accélérateur de start-up mis en place par l'IGN.

- hébergement et diffusion de l'ensemble de ces données en open data ;
- accompagnement des utilisateurs dans l'exploitation de ces données.

Pour mener le programme à terme dans les délais impartis, l'IGN s'appuie sur ses moyens propres et sur quatre groupements industriels pour les volets "Acquisitions" et "Traitements / Classification" :

- Avineon / APEI ;
- Geofit / Geofly ;
- Sintegra / Pixair / BlueSky ;
- Eurosense / SFS.

Chiffres clés :

- nombre d'heures d'acquisition : 7 000 h prévues pour l'ensemble du programme ;
- fréquence du LiDAR lors des acquisitions : 2 millions de points par seconde (capteur en *figure 2*) ;
- volumétrie des données : 610 Go pour un bloc (soit 3 à 4 départements BD ORTHO®, 3 Po (= 3 000 To) pour l'ensemble du programme ;
- coût total du projet : 60 millions d'euros ;
- quatre groupements industriels ;
- six avions mobilisables (*figure 3*) pour effectuer les levés LiDAR.



Figure 2. Capteur LiDAR T2000 dans un avion IGN.

Acquisitions LiDAR aéroporté

■ Organisation des acquisitions

En 2021, bien que les plans de vol définitifs ne soient pas encore réalisés, l'IGN présente aux services du contrôle aérien ce nouveau programme d'acquisition France entière : ses spécificités, les contraintes calendaires de chacun des blocs en fonction des besoins et usages de nos commanditaires et les objectifs d'acquisition visés chaque année afin de respecter l'objectif final d'une couverture France entière d'ici 2025.

Le nombre conséquent de vols, associé au calendrier particulièrement contraint du programme, nécessitent la réalisation de plusieurs vols simultanément, souvent même dans des espaces situés dans la zone de responsabilité d'un même secteur de contrôle.

L'IGN organise des réunions avec la DGAC⁴ en amont des périodes de vol ciblées et met en œuvre une coordination des vols et une priorisation des missions pour faciliter et fluidifier la prise en compte opérationnelle des vols par les services de contrôle (*figure 4*). Il est nécessaire d'optimiser l'occupation des différents espaces aériens afin de pouvoir profiter de chaque créneau de météo favorable.

L'augmentation du trafic aérien en 2022 renforce encore ce besoin d'une coordination fine des vols du programme. Celle-ci est sous la responsabilité du Service de l'imagerie et de l'aéronautique de l'IGN.

■ Contrôle géométrique des nuages de points bruts

Toutes les données du programme LiDAR HD, acquises par l'IGN ou un groupement industriel, sont contrôlées

⁴ Direction générale de l'aviation civile.



Figure 3. Avion IGN F-GMLT (Beech 200T Super King Air).

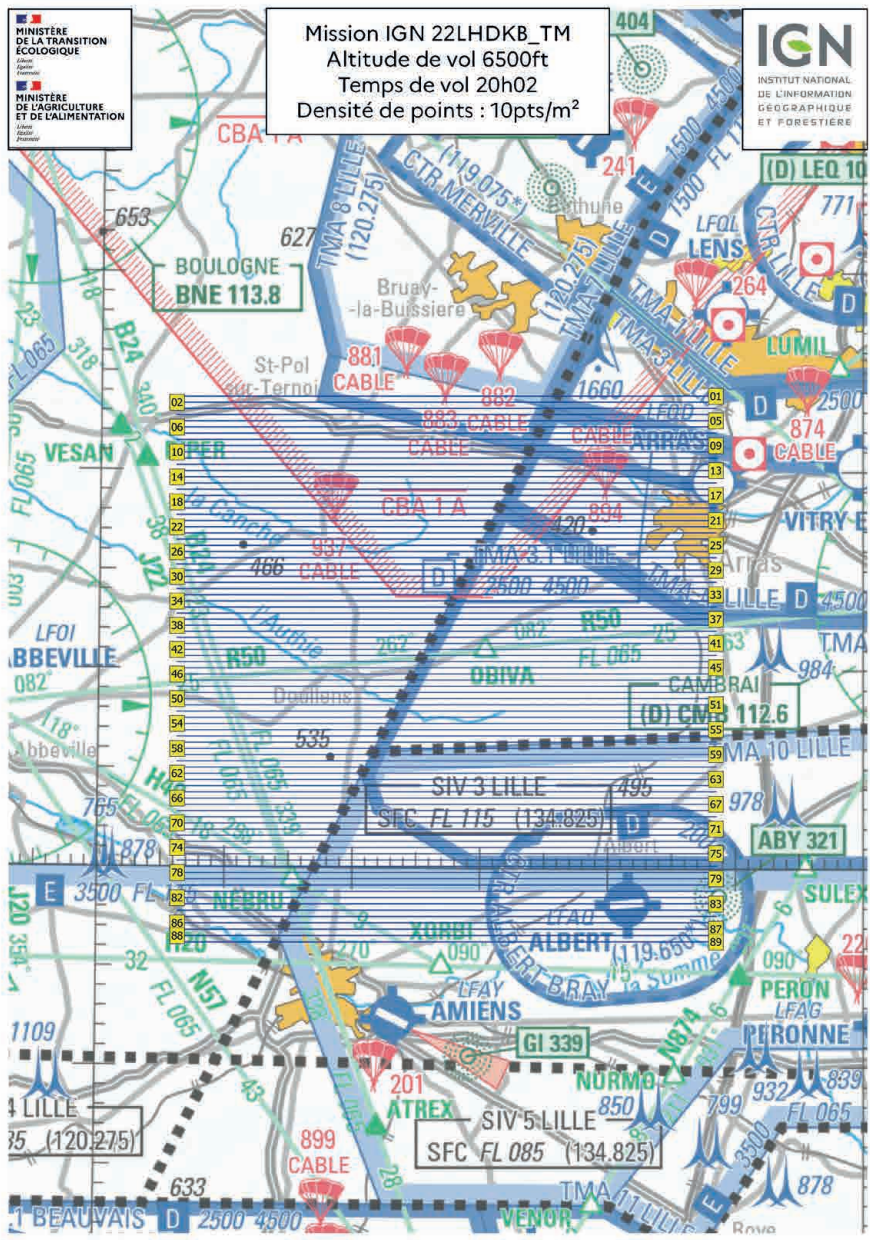


Figure 4. Exemple du plan de vol du bloc KB.

par le SIA de l'IGN avec un unique processus de contrôle.

Dans un premier temps, la vérification d'aptitude permet de vérifier la validité générale des données avec une première vision de leur qualité. Cette étape est un enchaînement de plusieurs contrôles. Certains, élémentaires, s'attachent à la forme des données, en vérifiant la lisibilité, le format, la complétude. D'autres contrôlent le contenu des nuages de points eux-mêmes, la présence d'artefacts ou la densité cible par un balayage du nuage de points et l'exploitation de ses attributs (échos, intensité, angle, axe de vol...).

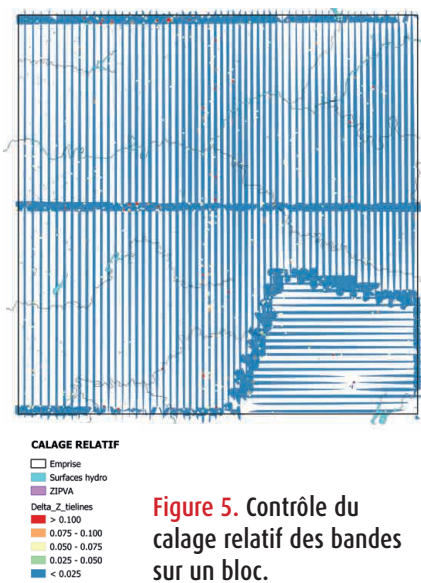


Figure 5. Contrôle du calage relatif des bandes sur un bloc.

Dans un second temps, la vérification de service régulier permet de qualifier géométriquement les données en évaluant en particulier deux points : le bruit et le calage géométrique, relatif et absolu, planimétrique et altimétrique. Le bruit est mis en évidence en mesurant la dispersion des points sur des surfaces planes de référence définies à l'aide de la BD ORTHO®. Le contrôle du calage relatif entre les bandes d'acquisition exploite des lignes homologues, préalablement détectées par TerraMatch⁵. Les écarts calculés sont moyennés par interbande, ce qui permet de savoir pour chaque couple d'axes la précision du calage (figure 5).

Ce contrôle peut être rendu difficile par l'absence de lignes homologues (cas assez courant en forêt ou en montagne), par un plan de vol multipliant les axes ou par une acquisition s'étalant sur plusieurs semaines/mois, ce qui rend possible le changement en surface (croissance de végétation, accumulation de neige...).

Enfin, la précision absolue est mesurée grâce aux points terrain mesurés par le Service de géodésie et de métrologie de l'IGN. Pour la planimétrie (figure 6 et tableau 1), la création d'une image d'intensité permet de mesurer des objets dont les coordonnées sont connues (passage piéton, grille d'égout,...). Quant à l'altimétrie, une classification rapide sol/sursol du nuage de points est faite et utilisée pour quantifier le décalage par rapport à la vérité terrain.

	DX	DY	DXY
Min	-0,164	-0,252	0,004
Max	0,143	0,084	0,264
Moyenne	0,007	-0,015	0,096
EMQ	0,075	0,082	0,111
Écart type	0,075	0,081	0,055

Tableau 1. Carte des écarts planimétriques et rapport de mesure du même bloc.

Pour être validées, les données devront respecter certaines spécifications. Notamment :

- précision planimétrique pour le nuage de points (EMQ_{XY}) : meilleure que

⁵ Outil de la suite Terrasolid. Plus d'informations dans la partie "Classification automatique des nuages de points LiDAR HD".

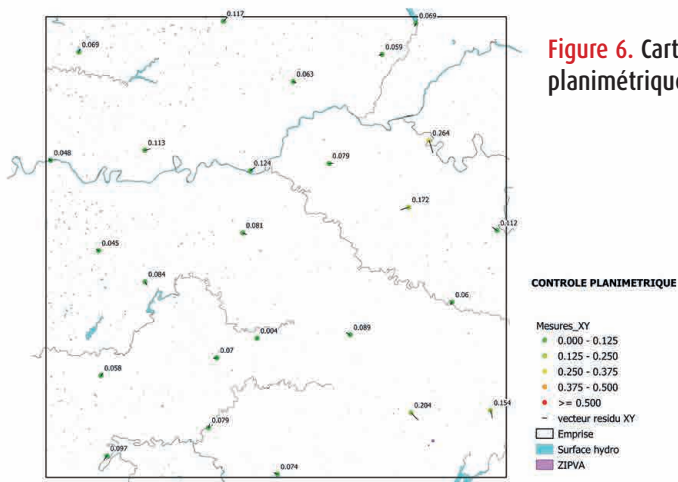


Figure 6. Carte du contrôle planimétrique du même bloc.



50 cm ;
 - précision altimétrique pour le nuage de points (EMO_Z) : meilleure que 10 cm ;
 - décalage entre bandes d'acquisition meilleur que 5 cm en altimétrie et meilleur que 25 cm en planimétrie.
 D'autres contrôles (d'intégrité, de cohérence par contrôle visuel sur un échantillonnage, etc.) sont réalisés sur les nuages de points avant que ceux-ci soient diffusés aux utilisateurs.

Classification automatique des nuages de points LiDAR HD

Traiter la donnée LiDAR est une activité bien connue de l'IGN : depuis plus de quinze ans, la production est réalisée sur une suite logicielle finlandaise, Terrasolid, pour visualiser et classer les nuages. Elle propose des traitements élémentaires de nuages de points qui, enchaînés, forment des scripts baptisés "macros". Historiquement, ces macros, conçues pour ne classer que le sol (processus RGE Alti[®]), exploitaient uniquement les attributs intrinsèques du nuage de points (comme la position relative du point par rapport à son environnement, le rang de l'écho qui a formé le point, l'intensité du signal, etc.) et classaient les points "unitairement" (chaque point recevait le même traitement). Ainsi, le sol était trouvé par triangulation des points les plus bas, les bâtiments étaient repérés en cherchant les points formant des plans suffisamment grands. Pour orienter au mieux la classification de cette donnée dense, de nouveaux attributs, non directement issus du nuage, y sont exploités. À titre d'exemple, la couleur de l'orthophotographie sous-

jacente est affectée aux points (par projection) pour exploiter la colorimétrie : statistiquement, il y a plus de "chance" de trouver des zones de végétation si les points sont colorisés en vert que s'ils le sont en bleu ou en gris. Par ailleurs, la BD TOPO[®] est aussi exploitée pour servir de guide à la classification : là encore, il y a plus de chance de trouver des points à classer en pont à proximité des vecteurs ponts. Toutefois, l'exploitation de ces données exogènes n'est pas sans inconvénients : les orthos, la BD TOPO[®] et le levé LiDAR ne sont pas synchrones (les dates d'acquisition respectives diffèrent). Il faut donc gérer les cas où ces données se contredisent ! En cas de conflit ou de doute, c'est toujours la donnée LiDAR qui a le dernier mot.

La suite finlandaise enrichit sa gamme de traitements élémentaires et propose par exemple des traitements s'appuyant sur des groupes de points. Ceux-ci ouvrent de nouvelles perspectives de classification, permettant de composer avec l'imperfection naturelle d'un nuage de points : tous les toits de bâtiments ne sont pas de simples pans, la végétation n'est pas toujours uniformément verte. Depuis juin 2021, l'équipe projet LidarHD imagine, conçoit, expérimente, valide (de façon itérative) des macros détectant les onze classes attendues dans le nuage de points LiDAR HD, et ordonnance ces macros afin de tirer le meilleur parti de ces classifications. Elle inclut une équipe dédiée à l'apprentissage profond⁶, qui a conçu entre autres un module de pré-validation de la classe bâtiment, qui exploite les vecteurs de la BD TOPO[®]

6 Cf. Article "Des systèmes IA pour la classification des nuages de points LiDAR HD" page 27.

et les prédictions d'un modèle d'intelligence artificielle dans le but d'améliorer la qualité des résultats et, si nécessaire, de concentrer la reprise opérateur sur les cas les plus complexes. L'équipe fourmille d'idées pour améliorer le processus de classification automatique, l'une des plus prometteuses étant l'exploitation des cartes de chaleur du produit OCSGE (Occupation du sol à grande échelle), un bel exemple de coopération entre grands projets de l'IGN !

Diffusion des données issues d'acquisitions LiDAR HD

■ Contexte

Une diffusion temporaire a été mise en place pour les données brutes sous forme de paquets de dalles kilométriques téléchargeables directement sur le site Géoservices⁷ de l'IGN. L'approche adoptée, aussi bien pour la préparation des données que pour l'interface utilisateur, est spécifique au produit LiDAR HD. Sa mise en œuvre a été très rapide pour mettre à disposition les premiers résultats du programme. Elle a pour ambition d'être adaptée à l'arrivée progressive des données classifiées. L'ensemble des données acquises et produites dans le cadre du programme (nuages de points bruts et classés, produits dérivés) est diffusé en open data (licence ouverte Etalab 2.0) en tenant compte de l'arrêté listant les zones du territoire national interdites à la captation aérienne de données. Les zones concernées seront sans données.

■ Aujourd'hui disponible

Téléchargement

Actuellement, les nuages de points bruts validés sont accessibles en téléchargement⁸ au format LAZ 1.4 sur le site Géoservices de l'IGN. Par souci de volumétrie des données, les blocs (50 km²) sont divisés en prépaquets de 2x2 dalles kilométriques zippées. Il ne reste plus qu'à importer les données dans un SIG pour visualiser le nuage de points. De quel volume parle-t-on exactement ? Les données sous forme de dalles kilomé-

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

8 <https://geoservices.ign.fr/LiDARhd#telechargement>.



triques représentent 250 Mo chacune en moyenne. Extrapolé à la France entière, on arrive à environ 130 To (soit environ 15 % du volume archivé annuellement ou 4 à 5 % du volume total géré sur le système d'archivage). Un bloc standard de 50 km de côté va représenter 610 Go soit l'équivalent de trois à quatre départements de BD ORTHO®.

Flux

Il est également possible d'afficher directement le nuage de points dans le navigateur⁹. En effet, l'IGN a mis en place, grâce à une interface de visualisation de données 3D iTowns¹⁰ et l'utilisation de pyramides 3D type COPC¹¹ à partir de nuages de points, des flux sur lesquels il est très facile pour un utilisateur non-initié de naviguer¹². En langage informatique, on parle de stockage objet. Cette manière de visualiser les données a été ciblée très tôt dans le programme pour que le plus grand nombre ait accès à cette donnée sans compétence requise.

En plus de proposer une navigation intuitive, le démonstrateur (figure 7) offre une palette d'outils de mesures (distance et plan) et de traçage de courbes de profil. La gestion du nuage de points est possible, avec notamment l'affichage des points par leurs attributs (intensité, classification, colorisation). L'internaute peut aussi extraire une partie précise du nuage de points par la saisie d'un polygone pour manipuler en local une partie du nuage de points. Il peut ainsi l'exploiter dans un outil plus complet permettant de faire des traitements : Qgis, TerraScan, CloudCompare, etc.

Ce démonstrateur existe aujourd'hui grâce à la combinaison de deux technologies : Potree et iTowns. La première contribue à la gestion et à l'affichage 3D de données LiDAR. iTowns est, quant à elle, un framework (infrastructure logi-

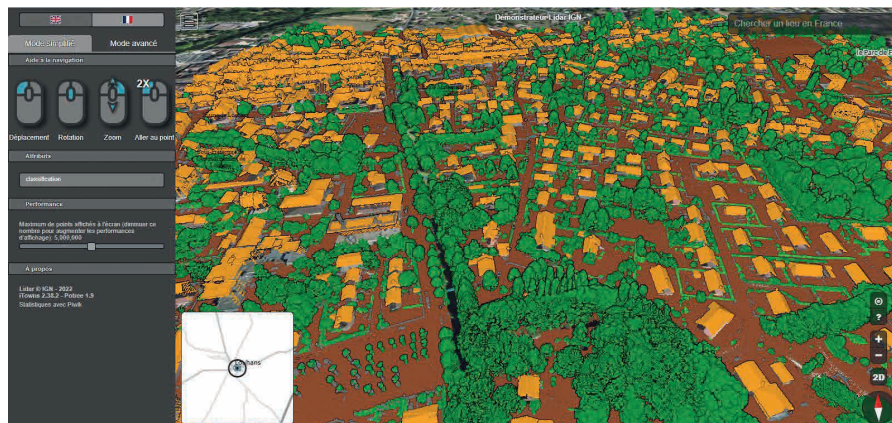


Figure 7. Interface du démonstrateur.

cielle), web open source développée par l'IGN qui permet la covisualisation et la manipulation de données 3D et 2D de différentes natures.

Ce démonstrateur illustre la nécessité d'un rendu 3D du nuage de points ouvert à tous, tels les techniciens et acteurs publics. À présent que la production du LiDAR HD est effective et que la production de données est en marche, il devient nécessaire de passer à l'échelle supérieure avec un outil capable de diffuser l'ensemble du LiDAR HD. Cela pose des questions de création du flux de données sur lesquelles travaillent les projets LiDAR HD et Géoplateforme.

■ Et maintenant ?

Avancement des acquisitions et des traitements

L'avancement des acquisitions et de leur diffusion sur Géoservices est disponible¹³. Aujourd'hui, 64 blocs sur 246 ont été acquis et une trentaine de blocs (hors classification) sont accessibles en téléchargement.

L'avancement des traitements de classification est également disponible¹⁴ à toutes et tous.

Nouveautés du côté de QGIS

En octobre, l'IGN a participé au financement d'une campagne de "crowdfunding" lancée par Lutra Consulting¹⁵, entreprise anglaise qui développe des outils libres de droits

principalement sur QGIS. L'objectif est de rendre la visualisation et la manipulation de données altimétriques 3D plus fluides et simples d'utilisation (éviter, par exemple, de passer par l'installation de plugins). Une belle synchronisation avec certains enjeux de diffusion autour du programme LiDAR HD ! ●

Contacts

Terry MOREAU

terry.moreau@ign.fr

Institut national de l'information géographique et forestière

Hélène BUISSART

helene.buissart@ign.fr - IGN

Arnaud ALLGEYER

arnaud.allgeyer@ign.fr - IGN

Sofiane KRIAT - sofiane.kriat@ign.fr - IGN

Pierre-Yves DECAVELE

pierre-yves.decavele@ign.fr - IGN

Romuald DORE - romuald.dore@ign.fr - IGN

Gabrielle ROY - gabrielle.roy@ign.fr - IGN

ABSTRACT

Key words: Technology, data, geographic information system, processing, algorithms, use cases, common.

The LiDAR HD Program is on an unprecedented scale and has an ambitious goal: to acquire High Density LiDAR data over France and the French overseas territories (excluding French Guiana) in order to offer the most accurate 3D description ever established on the scale of the entire country. IGN is coordinating this program and is working to support all the use cases of this future referential data.

9 <https://demo-LiDAR.ign.fr/?dataset=ANNECY>.

10 Pour plus d'informations : <https://www.itowns-project.org/>.

11 COPC : Cloud Optimized Point Cloud. Pour être précis, la librairie de visualisation des nuages de points s'appelle Potree et utilise le format Entwine pour "pyramider" le nuage et fluidifier la navigation.

12 Remarque : toutes les données brutes ne sont pas accessibles ainsi.

13 <https://macarte.ign.fr/carte/322ea69dab4c7e5afabc6ec7043b5994/acquisitionslidarhd>

14 <https://macarte.ign.fr/carte/28c909bde7d5a504c9e45178c8d363f4/traitementslidarhd>

15 <https://www.lutraconsulting.co.uk/>