

LIDAR HD

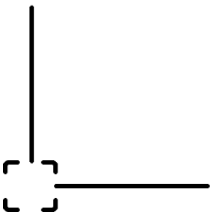
Version 1.0

Nuages de points

Modèles numériques

Descriptif de contenu

Date du document : Mai 2022
Révision : Septembre 2024



SOMMAIRE

SOMMAIRE	2
1. PRÉSENTATION DU DOCUMENT	4
1.1 Ce que contient ce document	4
1.2 Ce que ne contient pas ce document	4
2. PRÉSENTATION DES PRODUITS	5
2.1 Définitions et contenus.....	5
2.1.1 LiDAR HD.....	5
2.1.2 Nuages de points	5
2.1.3 Modèles numériques.....	6
2.2 Usages	6
2.3 Actualité et mise à jour.....	6
3. CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES	7
3.1 Sources des données	7
3.2 Extension géographique	7
3.3 Références géodésiques	7
3.3.1 Systèmes de référence	7
3.3.2 Codes EPSG et IGNF	8
4. NUAGES DE POINTS	9
4.1 Dallage du produit.....	9
4.2 Modèle de donnée	9
4.2.1 Géométrie du point (x, y, z).....	10
4.2.2 Intensité du signal retour.....	10
4.2.3 Échos (numéro et nombre)	11
4.2.4 Caractéristique du point	12
4.2.5 Canal du scanner	12
4.2.6 Sens de balayage du scanner.....	12
4.2.7 Fin d'axe de vol	13
4.2.8 Classe	13
4.2.8.1 Classe Sol (code 2)	13
4.2.8.2 Classe Végétation (codes 3,4 et 5)	13
4.2.8.3 Classe Bâtiment (code 6)	14
4.2.8.4 Classe Eau (code 9)	14
4.2.8.5 Classe Tablier de pont (code 17)	15
4.2.8.6 Classe Sursol pérenne (code 64)	15
4.2.8.7 Classe Points Virtuels (code 66)	15
4.2.8.8 Classe Divers – bâtis (code 67).....	15
4.2.8.9 Classe Non classé (code 1).....	16

4.2.9 Donnée utilisateur	16
4.2.10 Angle de scan	16
4.2.11 ID de l'axe de vol.....	17
4.2.12 Temps absolu.....	17
4.3 Spécifications pour les contrôles	17
4.3.1 Contrôles réalisés sur les nuages de points bruts	17
4.3.2 Contrôles réalisés sur la classification	17
4.4 Paramètres de qualité.....	18
4.4.1 Précision du nuage de point.....	18
4.4.2 Exhaustivité de la classification.....	18
5. MODÈLES NUMÉRIQUES	19
5.1 Grille.....	19
5.2 Résolutions (ou « pas »).....	19
5.3 Zones à caractère particulier	19
5.3.1 Zones non couvertes	19
5.3.2 Limite en zone frontalière terrestre	20
5.3.3 Limite en zone littorale.....	20
5.4 Structure des données.....	20
5.4.1 Définitions des termes employés	20
5.4.2 MNT.....	20
5.4.3 MNS	21
5.4.4 MNH	21
5.5 Paramètres de qualité.....	21

1. PRÉSENTATION DU DOCUMENT

1.1 Ce que contient ce document

Ce document décrit en termes de contenu, de précision géométrique et de qualité sémantique, les caractéristiques des produits LiDAR HD¹ version 1.0.

Le terme LiDAR HD fait référence aux termes LiDAR HD version 1.0 dans l'ensemble de ce document.

1.2 Ce que ne contient pas ce document

Ce document ne décrit pas les produits LiDAR HD en termes de structure de livraison, laquelle est traitée dans un document appelé « Descriptif de livraison » (*DL_LiDAR_HD_1-0.pdf*) qui contient les informations suivantes :

- emprise de livraison ;
- organisation des données ;
- nomenclature des fichiers et structure des données.

Ce document ne présente pas les évolutions du produit ni celles de la documentation ; ces informations sont diffusées dans un document spécifique associé au produit et nommé « Suivi des évolutions » (*SE_LiDAR_HD.pdf*).

L'ensemble de ces documents est disponible sur le site [géoservices](#) de l'IGN, accessible en cliquant sur l'imagette ci-dessous.



Ce document n'est pas un manuel d'utilisation des produits LiDAR HD.

Pour des compléments d'information, rejoindre la communauté LiDAR HD sur la plateforme



¹ **LiDAR** Haute Densité : *Light Detection And Ranging*. Système de mesure de terrain par balayage laser. Il est pris ici systématiquement au sens de LiDAR aéroporté : système permettant de mesurer la distance entre un point d'un avion et des points au sol.

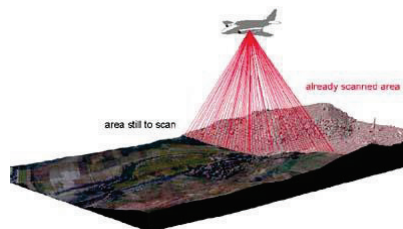
2. PRÉSENTATION DES PRODUITS

2.1 Définitions et contenus

2.1.1 LiDAR HD

LiDAR Haute Densité : *Light Detection And Ranging*.

Système par balayage laser aéroporté, permettant de faire des mesures de distance entre un point d'un avion et des points au sol, dont les domaines de fréquence peuvent être dans le visible ou l'infrarouge. Couplé à un système de balayage, d'un GPS² et d'une centrale inertielle, il permet d'obtenir un nuage de points géoréférencé lors d'une acquisition.



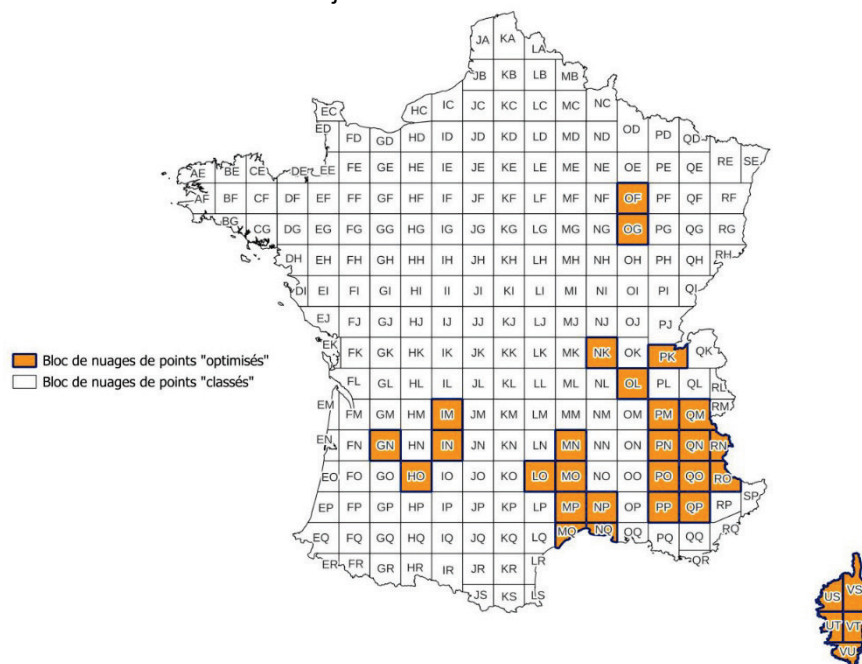
Lidar aéroporté

2.1.2 Nuages de points

Les nuages de points 3D acquis dans le cadre du programme LiDAR HD sont d'abord classifiés en plusieurs classes (sol, eau, végétation, bâtiments, ponts, sursol pérenne) puis donnent lieu à la production de modèles numériques.

Les nuages de points LiDAR HD sont distingués en deux catégories :

- les « nuages de points classés », issus d'un processus très automatisé de classification internalisé (mêlant algorithmes IA³ et classiques), mis au point par l'IGN ;
- les « nuages de points optimisés », ces nuages ont fait l'objet de corrections interactives. Des points virtuels sont présents dans ces nuages (sous les ponts ou passages supérieurs), en vue de modéliser le sol sous ces objets.



² *Global Positioning System* : Système de localisation par satellite.

³ Intelligence Artificielle.

Les contrôles réalisés sur ces deux types de nuages sont précisés au paragraphe **3.5.1 Contrôles réalisés sur la classification**.

Voir également le paragraphe **4. NUAGES DE POINTS**.

2.1.3 Modèles numériques

Ensemble de points référencés en planimétrie et en altimétrie doté d'une méthode d'interpolation modélisant le relief du sol et/ou du sursol sous forme numérique.

Les modèles numériques issus du programme LIDAR HD sont des modèles numériques de terrain, de surface et de hauteur maillés qui ont pour vocation la description du relief français. Ils décrivent la forme et l'altitude de la surface du sol à grande échelle.

Les modèles numériques issus du LIDAR HD sont des modélisations du sol et du sursol sous la forme d'une grille régulière et carrée (pas de la grille identique en X et en Y), appelée aussi « matrice d'altitudes ».

L'altitude de chacun des nœuds de cette grille correspond à l'altitude du terrain définie par le nœud de la grille.

Les modèles numériques issus du LIDAR HD sont diffusés sous la forme de dalles définies par :

- un point origine (angle Nord-Ouest) ;
- un nombre de lignes et un nombre de colonnes, tous deux identiques ;
- un pas (voir paragraphe 5.1 Résolution ou « pas »).

L'orientation des lignes et colonnes des modèles numériques est celle des axes de coordonnées de la projection utilisée.

Voir également le paragraphe **5. MODÈLES NUMÉRIQUES**.

2.2 Usages

Exploitation des données altimétriques issues d'acquisitions LiDAR HD sur des cas d'usage précis :

- prévention des risques d'inondations ;
- gestions forestières et agricoles ;
- urbanisme.

2.3 Actualité et mise à jour

L'ensemble des acquisitions et des productions est réparti sur 5 ans en fonction des besoins prioritaires exprimés par les commanditaires nationaux et locaux du projet et de leurs usages.

3. CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES

3.1 Sources des données

Les produits LiDAR HD sont issus d'une acquisition aérienne LiDAR avec une densité d'au moins 10 impulsions au m² et 5 impulsions au m² au-dessus de 3200 m d'altitude.

3.2 Extension géographique

Les produits LiDAR HD doivent couvrir toute la France métropolitaine et les DROM (Départements et Régions d'Outre-Mer sauf la Guyane) d'ici 2026. L'avancement de la production est consultable sur le site [géoservices](https://geoservices.ign.fr/lidarhd) : <https://geoservices.ign.fr/lidarhd>.

3.3 Références géodésiques

Les systèmes de coordonnées planimétrique et altimétrique employés pour générer les grilles d'altitude sont fixés légalement par le décret n° 2000-1276 modifié du 26 décembre 2000 portant application de la loi n° 95-115 du 4 février 1995.

3.3.1 Systèmes de référence

Les données sont proposées de façon standard dans les systèmes légaux de référence suivants :

Zone		Système géodésique	Ellipsoïde associé	Projection	Système altimétrique	Type d'altitudes
France continentale		RGF93	IAG GRS 1980	Lambert 93	IGN 1969	Normale
Corse					IGN 1978C	
Guadeloupe	Grande Terre - Basse Terre	RGAF09		UTM Nord fuseau 20	IGN 1988	Orthométrique
	Marie-Galante				IGN 1988 MG	
	La Désirade				IGN 1992 LD	
	Les Saintes				IGN 1988 LS	
Martinique		RGAF09		UTM Nord fuseau 20	IGN 1987	Orthométrique
La Réunion		RGR92	IAG GRS 1980	UTM Sud fuseau 40	IGN 1989	
Mayotte		RGM04		UTM Sud fuseau 38	SHOM 1953	

3.3.2 Codes EPSG et IGNF

Systèmes de référence géodésique EPSG⁴ et IGNF :

Zone		Code EPSG projection	Code IGNF projection	Code EPSG altitude	Code IGNF altitude
France continentale		2154	LAMB93 (RGF93LAMB93)	5720	IGN69
Corse				5721	IGN78C
Guadeloupe	Grande Terre - Basse Terre	5490	RGAF09UTM20	5757	GUAD88
	Marie-Galante			5617	GUAD88MG
	La Désirade			5618	GUAD92LD
	Les Saintes			5616	GUAD88LS
Martinique				5756	MART87
La Réunion		2975	RGR92UTM40S	5758	IREUN89
Mayotte		4471	RGM04UTM38S	5793	MAYO53

⁴ European Petroleum Survey Group : <https://epsg.io>.

4. NUAGES DE POINTS

Les nuages de points LiDAR HD sont des nuages de points acquis lors du programme LiDAR HD France entière diffusés au format binaire standard LAS (LAZ 1.4), respectant les spécifications de l'ASPRS (*American Society for Photogrammetry and Remote Sensing*) ; cliquer sur l'image pour y accéder :



4.1 Dallage du produit

Chaque bloc d'acquisition LiDAR HD (bloc carré de 50 km x 50 km en général) est découpé en dalles LAZ de 1 km x 1km.

Chaque dalle est diffusée dans le système légal de référence associé à son territoire (voir paragraphe [3.3 Références géodésiques](#)).

4.2 Modèle de donnée

Chaque point du nuage possède les attributs suivants :

Attribut au sein des données	Point Data Record Format 6 (standard ASPRS)	Traduction
x	X	x
y	Y	y
z	Z	z
intensity	Intensity	Intensité du signal retour
return	Return Number	Numéro de l'écho
number_of_return	Number of Returns (given pulse)	Nombre d'écho
classification_flags	Classification Flags	Caractéristique du point
scanner_channel	Scanner Channel	Canal du scanner
scan_direction	Scan Direction Flag	Sens de balayage du scanner
flight_line_edge	Edge of flight line	Fin d'axe de vol
classification	Classification	Classe
user_data	User Data	Donnée utilisateur
angle	Scan Angle	Angle de scan
point_source_id	Point Source ID	ID de l'axe de vol
gps_time	GPS Time	Temps absolu

4.2.1 Géométrie du point (x, y, z)

La géométrie d'un point est définie par trois attributs :

- x ;
- y ;
- z.

Chaque point de la surface terrestre est d'abord projeté sur l'ellipsoïde selon la direction normale. Puis l'ellipsoïde est transformé en surface plane. Les coordonnées associées à cette surface plane sont des coordonnées cartésiennes bidimensionnelles calculées en fonction de la longitude et de la latitude :

- x pour l'abscisse ;
- y pour l'ordonnée.

L'altitude d'un point de la surface topographique est, de manière très approchée, la distance entre le point et une surface de référence qui correspond approximativement au niveau moyen des mers. Plus rigoureusement l'altitude est définie par :

- z pour l'altitude.

Les coordonnées projetées (x, y) et l'altitude (z) sont exprimées dans le système de référence légal de la zone géographique du produit (voir paragraphe [3.3 Références géodésiques](#)).

4.2.2 Intensité du signal retour

C'est une valeur sans unité qui indique l'intensité (*intensity*) du signal retour lors de l'acquisition. Cette valeur est conditionnée par la calibration de l'instrument, l'angle d'incidence à la surface de l'objet rencontré et la nature de ce dernier. L'intensité est calibrée en fonction de l'appareil LiDAR et de l'acquisition. Les valeurs d'intensité peuvent donc être différentes selon les blocs.

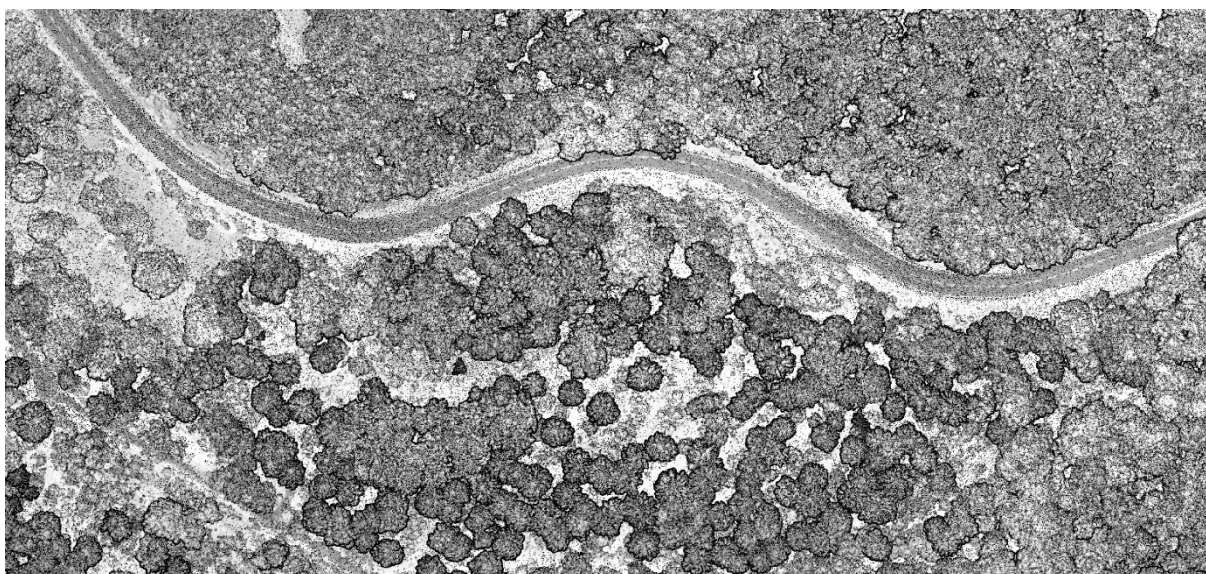


Illustration d'un nuage de point colorisé par intensité

Le tableau ci-dessous présente les valeurs des intensités relatives en fonction des éléments détectés :

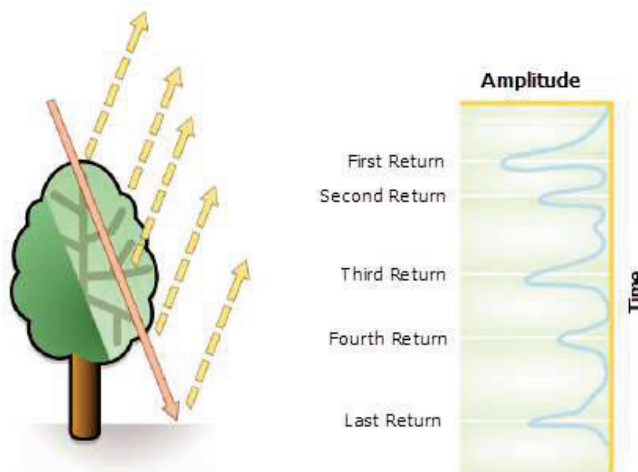
Valeur basse	Valeur intermédiaire	Valeur haute
Goudron	Arbre	Herbe / Sable blanc

Ainsi, sur du goudron la valeur de l'intensité sera basse, elle sera intermédiaire pour un arbre et haute pour l'herbe ou du sable blanc.

La valeur par défaut de l'intensité est **0** (absence d'intensité, représentée par un point noir).

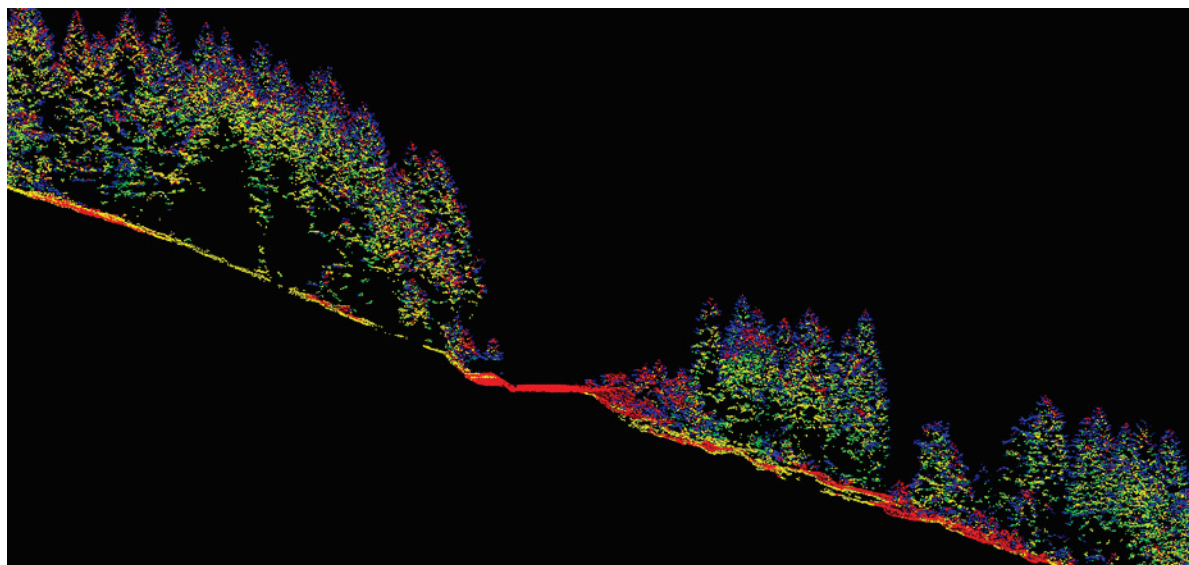
4.2.3 Échos (numéro et nombre)





Une impulsion lumineuse provenant du LiDAR peut renvoyer plusieurs retours sur son trajet appelés « échos » (voir illustration ci-dessous).



Deux attributs distincts concernent les échos du point :

- le numéro de l'écho (*return*) : rang de l'écho retour du signal (1^{er}, 2nd, 3^{ème}, ... pour l'impulsion) ;
- le nombre d'échos (*number_of_returns*) : nombre d'écho retour total pour l'impulsion.



Écho unique :	
1 ^{er} de plusieurs échos :	
Écho intermédiaire :	
Dernier écho :	

La valeur par défaut du numéro d'écho est **0**.

La valeur par défaut du nombre d'échos est **0**.

4.2.4 Caractéristique du point

L'attribut *classification_flags* permet d'indiquer des caractéristiques spéciales associées au point. Cet attribut n'est pas forcément rempli dans la donnée finale. Les différentes valeurs sont :

Valeur	Nom (Name)	Traduction	Description
0	<i>Synthetic</i>	Synthétique	S'il est défini, ce point a été créé par une technique autre que la collecte LIDAR, telle que la numérisation à partir d'un modèle stéréo photogrammétrique ou en traversant une forme d'onde.
1	<i>Key-point</i>	Point clé	S'il est défini, ce point est considéré comme un point clé du modèle et ne doit donc généralement pas être retenu dans un algorithme d'amincissement.
2	<i>Withheld</i>	Retenu	S'il est défini, ce point ne doit pas être inclus dans un traitement (synonyme de « supprimé »).
3	<i>Overlap</i>	À cheval	S'il est défini, ce point se trouve dans la zone de chevauchement d'au moins deux bandes ou prises. La définition de ce bit n'est pas obligatoire mais permet de conserver la classification des points de chevauchement.

Extrait et traduction des spécifications LAS Version 1.4-R13 de l'ASPRS

4.2.5 Canal du scanner

L'attribut *scanner_channel*, lorsqu'il est renseigné, est utilisé pour indiquer le canal du scanner pour des systèmes multi-canaux. Jusqu'à quatre canaux peuvent être supportés.

Valeur	Description
0	Systèmes à canal unique.
1	Systèmes multi-canaux.
2	
3	

4.2.6 Sens de balayage du scanner

Le sens de balayage (*scan_direction*) indique la direction dans laquelle le miroir du laser se déplaçait au moment de l'impulsion de sortie.

Valeur	Description
0	sens de balayage négatif
1	sens de balayage positif*

* Un sens de balayage positif est un mouvement de balayage du côté gauche vers le côté droit.

4.2.7 Fin d'axe de vol

Cet attribut représente la fin d'axe de vol (*flight_line_edge*). Si un point est à la fin d'un axe de vol, il aura une valeur de **1**, sinon la valeur sera de **0**.

Valeur	Description
0	Valeur par défaut.
1	Point à la fin d'un axe de vol.

4.2.8 Classe

Attribut de classe du point :

- 8 classes respectant des valeurs prédéfinies des spécifications ASPRS ;
- 3 classes avec une valeur personnalisée (64, 66 et 67).

Valeur	Description
1	Non classé
2	Sol
3	Végétation basse (0-50 cm)
4	Végétation moyenne (50 cm-1,50 m)
5	Végétation haute (+1,50 m)
6	Bâtiment
9	Eau
17	Tablier de pont
64	Sursol pérenne
66	Points virtuels
67	Divers - bâtis

4.2.8.1 Classe Sol (code 2)

La classe « Sol » contient l'ensemble des points situés à la surface du sol naturel ou artificiel, et donc à l'exception des objets décrits dans les autres classes ci-dessous. En particulier, les points situés sur des surfaces en eau ou sur des tabliers de ponts ne sont pas considérés comme appartenant à la classe sol.

La notion de terrain dégagé est fixée comme étant une zone :

- sans points végétation, bâtiment, eau ou sursol pérenne ;
- telle que tous les points non classés soient à moins de 50 cm de points sol.

En terrain dégagé (en dehors des zones végétalisées ou bâties et des zones en eau), la densité moyenne des points de la classe sol est d'au moins de 10 pts/m² (pour autant que la densité du nuage de points brut le permette).

4.2.8.2 Classe Végétation (codes 3,4 et 5)

La classe « Végétation » comprend l'ensemble des arbres, arbustes, végétation basse (ex : garrigue, fougères, roselière, ...) du sursol. La végétation située au niveau du sol (hauteur inférieure à 20 cm non mesurable avec précision, typiquement l'herbe) est classée en « Sol ». Les classes de végétation comprennent également l'ensemble des arbres de culture (vergers, vignes), à l'exception des cultures annuelles susceptibles de disparaître à un moment de l'année. Ces cultures annuelles sont classées en « Non classé ».

La végétation est scindée en 3 classes, selon sa hauteur par rapport au sol :

- entre 0 et 50 cm, elle figure dans la classe « Végétation basse » (code 3) ;
- entre 50 cm et 1 m 50, elle figure dans la classe « Végétation moyenne » (code 4) ;
- à plus de 1 m 50, elle figure dans la classe « Végétation haute » (code 5).

4.2.8.3 Classe Bâtiment (code 6)

Les toits et façades de bâtiment sont classés en classe « Bâtiment ». Est considérée comme bâtiment toute construction pérenne de superficie supérieure à 10 m² :

- à usage résidentiel ;
- agricole (silos, serres, ...);
- industriel ;
- commercial ;
- religieux, sportif, ...

Le caractère pérenne d'un bâtiment ne pouvant être assuré avec l'analyse du nuage LiDAR, il figure dans cette classe des constructions légères, parfois sans murs, telles que des abris de jardin, à matériaux, à bestiaux, des carports, des bungalows (chantier, camping), des chapiteaux, des toiles de marchés, des stores, des pergolas, ...

Les monuments, châteaux, moulins, châteaux d'eau, phares, cheminées industrielles et remparts, fortifications font également partie de cette classe.

Les éléments suivants, présents sur ou à proximité immédiate des bâtiments sont en classe 6 :

- les cheminées ;
- les lucarnes ;
- les verrières ;
- les balcons et terrasses (en saillie du bâtiment ou non).

Toutes les parties des bâtiments ruinés ou en construction ne possédant pas de toit sont traités comme des murs, donc dans le cas général (plus haut que large) en « Non classé ».

4.2.8.4 Classe Eau (code 9)

La classe « Eau » contient l'ensemble des points situés sur la surface des cours d'eau et plans d'eau ainsi que la mer ou l'océan. Cette classe ne décrit pas de manière exhaustive les plans d'eau.

4.2.8.5 Classe Tablier de pont (code 17)

Un pont est un ouvrage d'art enjambant un ou plusieurs éléments du réseau routier, ferré ou hydrographique. Figure dans la classe « Tablier de pont » tout point situé sur le tablier d'un pont, quelle que soit sa largeur, longueur ou le réseau qu'il enjambe. Ainsi, les passerelles (généralement à usage piétonnier) figurent dans cette classe « Tablier de pont ».

Sont classés dans la classe « Non classé » (1) les points sur les éléments de structure du pont tels que les piles et les parapets. Seuls les éléments de structure très hauts (situés à plus de 5 m du niveau du tablier) tels que des piliers, des haubans sont classés en « Sursol pérenne » (64).

Les passages aménagés en tunnel dans le sol (dont les buses, ouvertures dans le sol pour permettre généralement l'écoulement de l'eau) sont considérés comme constitutifs du sous-sol et à ce titre ne sont pas classés en Tablier de pont.

Les passages inférieurs sous des réseaux construits en remblai (digues, levées, talus) peuvent parfois prêter à confusion, lorsqu'un tablier de pont n'est pas aisément distinguable dans le nuage de points ou sur l'orthophotographie. Dans ces cas-là il s'agit de déterminer si l'ouvrage interrompt le remblai, auquel cas il sera considéré comme un pont, ou bien au contraire si c'est le remblai qui prédomine, auquel cas l'ouvrage sera considéré comme un conduit busé.

4.2.8.6 Classe Sursol pérenne (code 64)

La classe « Sursol pérenne » contient l'ensemble des éléments du sursol qui ne sont ni un bâtiment ni de la végétation ni un pont, identifiés comme pérennes et de nature à marquer le paysage.

Ce qui figure dans cette classe (liste non exhaustive) :

- les points « hauts » tels les éoliennes, les téléphériques, antennes de télécommunication, réseaux de distribution d'électricité (câbles et pylônes), caténaires, ...
- les éléments de ponts situés au-dessus du tablier (haubans, piliers, ...).

Ne figure pas dans cette classe :

- les véhicules de tout type ;
- les personnes, les animaux ;
- les objets transitoires (grues de chantiers, tas de bois, de fumier, de betteraves, bottes de foin ou de paille, ...)
- les éléments trop petits pour être identifiés avec assurance.

4.2.8.7 Classe Points Virtuels (code 66)

La classe « Points Virtuels » contient les points artificiels qui ont été créés sous les ponts dans le but de retirer ces derniers dans les modèles numériques.

Seuls les « nuages de points optimisés » contiennent des points classés avec cette valeur.

4.2.8.8 Classe Divers – bâtis (code 67)

Au cours du processus de classification automatique réalisé par l'IGN, une classe de « Divers – bâtis » est isolée. Les groupes de points présents dans cette classe présentent des caractéristiques de bâtiments (surfaces planes, hautes, ...) mais ne passent pas la confirmation croisée de la BD TOPO® et du module de traitement par Intelligence Artificielle.

Ce qui figure dans cette classe (liste non exhaustive) :

- certains types de végétation (haies bien taillées, pins parasols, massifs proches d'habitation) ;
- des rochers et zones de ruptures de pentes ;
- des terrasses ;
- des cabanes de chantiers, du stockage de matériaux, ainsi que des constructions de faibles surfaces ;
- des bâtiments non visibles sur les photos aériennes et non présents dans la BD TOPO® car construits récemment ;
- des morceaux de bâtiments bas (auvents par exemple) ;
- des caravanes et bungalows ;
- des bâtiments aux formes atypiques.

4.2.8.9 Classe Non classé (code 1)

Par construction, la classe « Non classé » contient le reste des points.

À titre d'exemple, y figurent les points situés sur des véhicules, des animaux ou êtres humains, objets provisoires, tas de bois, ...

4.2.9 Donnée utilisateur

Cet attribut (*user_data*) est rempli selon le souhait de l'organisme qui acquiert les données. Il n'est pas soumis à une contrainte du cahier des charges.

4.2.10 Angle de scan

L'angle de scan (*angle*), exprimé en degré entier, représente l'angle entre le faisceau émis lors de l'acquisition du point et le 0° de l'instrument (correspondant à l'angle de roulis de l'avion).

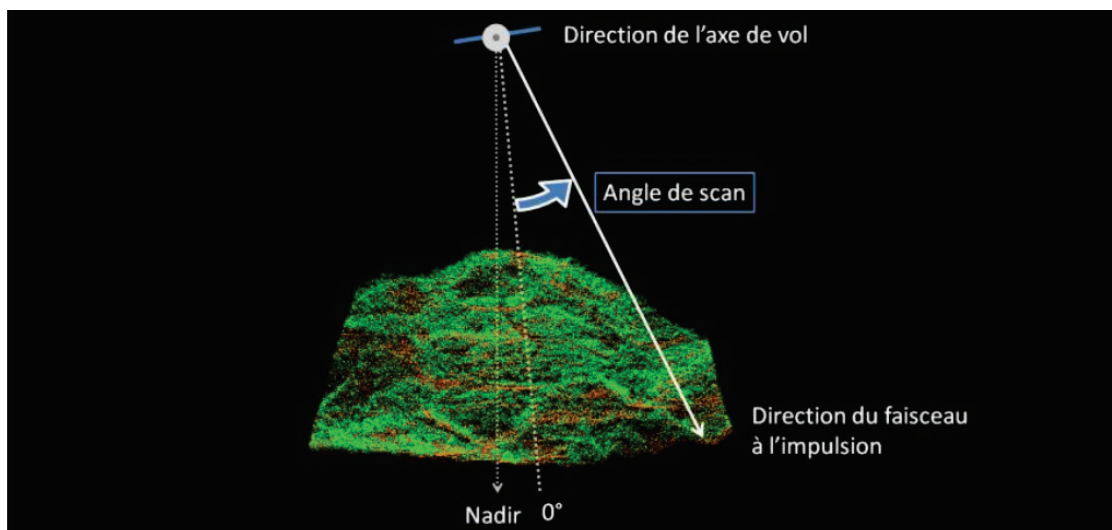


Illustration de l'angle de scan

La valeur par défaut de l'angle de scan est 0.

4.2.11 ID de l'axe de vol

Cet attribut précise de quel axe de vol est issu le point mesuré. Un identifiant (*point_source_id*) est utilisé pour renseigner l'axe de vol se trouvant en métadonnée.

La valeur par défaut de l'axe de vol est **9999**.

4.2.12 Temps absolu

La valeur du temps (*gps_time*) du point correspond au nombre de seconde écoulées depuis le 14/09/2011 à 00:00:00 UTC⁵.

4.3 Spécifications pour les contrôles

Lorsque des dalles du nuage de points intersectent une ou des emprises de zones interdites à la prise de vue aérienne, la donnée est retirée.

4.3.1 Contrôles réalisés sur les nuages de points bruts

Les vérifications faites comprennent notamment :

- le contrôle de la complétude du nuage ;
- le contrôle des attributs des points ;
- le contrôle géométrique de 1^{er} niveau (présence d'artefacts) ;
- le contrôle de la densité effective sur la base des éléments suivants :
 - carte de densité avec une résolution de 4 m,
 - la densité, calculée à partir des échos uniques et des derniers échos ;
- le contrôle géométrique de 2^{ème} niveau (présence de bruit) ;
- le contrôle de la conformité du recalage relatif ;
- le contrôle de la conformité de la précision planimétrique et altimétrique du nuage.

4.3.2 Contrôles réalisés sur la classification

Pour les nuages de points optimisés, les vérifications faites ont pour but de s'assurer :

- de l'intégrité, de l'exhaustivité des données, ainsi que de leur lisibilité et de leur complétude au regard de l'emprise prévue ;
- que seul l'attribut classe a été modifié sur les points du nuage classé par rapport à ceux du nuage brut : aucune modification de géométrie, ou d'autre attribut de points n'est tolérée ;
- que la densité de points sol est suffisante et ne présente pas de défaut d'homogénéité (en l'absence de raisons liées au terrain ou aux données brutes livrées) ;
- que la classification des points est conforme aux spécifications ;
- que la modélisation du terrain est conforme aux spécifications.

Concernant la classification des points, des vérifications systématiques, sous forme de contrôles automatiques, semi-automatiques et par échantillonnage sont effectués. Les contrôles par échantillonnage concernent 10 % des surfaces, sur des zones typiques et caractéristiques réparties sur le bloc.

⁵ Universal Time Coordinated : Temps universel coordonné.

Pour les nuages de points classés, les vérifications faites ont pour but de s'assurer :

- de l'intégrité, de l'exhaustivité des données, ainsi que de leur lisibilité et de leur complétude au regard de l'emprise prévue ;
- que seul l'attribut classe a été modifié sur les points du nuage classé par rapport à ceux du nuage brut : aucune modification de géométrie, ou d'autre attribut de points n'est tolérée ;
- que la classification des points ne comporte pas d'erreurs majeures et ait bien été réalisée sur l'ensemble de la zone prévue.

4.4 Paramètres de qualité

4.4.1 Précision du nuage de point

Après acquisition des données LiDAR HD, un contrôle géométrique est réalisé à partir de points de contrôle afin d'assurer une précision minimum de :

- 50 cm d'EMQ en planimétrie ;
- 10 cm d'EMQ en altimétrie ;

et une précision relative minimum de :

- 25 cm d'EMQ en planimétrie ;
- 5 cm d'EMQ en altimétrie.

Est défini comme EMQ ou Erreur Moyenne Quadratique, le calcul statistique utilisé généralement, s'agissant de données géographiques, pour qualifier la précision d'un positionnement.

Il s'agit de la mesure de la dispersion des observations autour de la valeur vraie (correspond à l'anglais *Root Mean Square* ou *rms*).

L'EMQ est le plus souvent exprimée en unité terrain.

4.4.2 Exhaustivité de la classification

Pour une classe donnée, rapport entre le nombre de points classés et le nombre de points disponibles.

L'exhaustivité de la classification n'a été mesurée que sur les nuages de points optimisés, et uniquement sur la classe « bâtiment ». Les autres classes n'ont pas fait l'objet d'évaluation.

Pour la définition de « bâtiment » dans le LiDAR HD voir le paragraphe [4.2.8.3 Classe Bâtiment \(code 6\)](#).

Les différents nuages de points sont précisés au paragraphe [4. NUAGES DE POINTS](#).

La classification optimisée présente un taux d'exhaustivité⁶ de 99,5% des bâtiments (moins d'un bâtiment manquant sur 200 bâtiments réels). Sur les zones à enjeux⁷, le taux d'exhaustivité^{Erreur ! Signet non défini.} est de 99,9% (moins d'un bâtiment manquant sur 1000 bâtiments réels).

La référence pour le calcul est le nombre d'objets « bâtiments » de la BD TOPO® de plus de 10 m² et le taux d'exhaustivité^{Erreur ! Signet non défini.} est calculé sur un chantier complet.

⁶ **Exhaustivité** : Pour une classe donnée, rapport entre le nombre de points classés et le nombre de points disponibles.

⁷ **Zones à enjeux** : Les zones à enjeux sont définies de la manière suivante :

- les zones inondables, définies à partir des emprises dans lesquelles des MNT LiDAR ont été produits pour la DGPR entre 2010 et 2019 ;
- les zones urbaines : les zones urbaines sont définies au sens de la couche « Zone d'habitation » de la BD TOPO® d'importance 1.

5. MODÈLES NUMÉRIQUES

Les produits modèles numériques issus du LIDAR HD sont composés :

- d'un modèle numérique de terrain maillé (MNT);
- d'un modèle numérique de surface maillé (MNS);
- d'un modèle numérique de hauteur maillé (MNH);

5.1 Grille

Les modèles numériques sont composés d'une grille rectangulaire dont chaque nœud est doté d'une altitude.

Ils sont découpés en dalles de 1 km².

À un nœud de la grille correspond un numéro de colonne et un numéro de ligne (c,l), des coordonnées bidimensionnelles (X,Y) et une altitude Z exprimées en mètres.

Les coordonnées X et Y associées aux nœuds des modèles numériques sont des valeurs métriques entières en projection.

Ces grilles sont écrites et fournies sous forme **raster** (image). Ainsi, le premier nœud de la grille correspond au centre du premier pixel du raster. Chaque nœud de la grille est calculé en utilisant les points contenus dans le pixel considéré, en utilisant une interpolation de type TIN.

5.2 Résolutions (ou « pas »)

Les modèles numériques issus du LIDAR HD sont disponibles aux pas suivants :

- 50 centimètres ;
- 5 mètres dans sa version sous-échantillonnée⁸.

5.3 Zones à caractère particulier

5.3.1 Zones non couvertes

Certains nœuds de la grille du MNT peuvent ne pas avoir d'information altimétrique.

Les modèles numériques issus du LiDAR HD font l'objet de restrictions sur les ZICAD (Zones Interdites à la Captation Aérienne des Données) pour lesquelles l'information est confidentielle.

Les données ne sont pas fournies sur ces zones conformément à la réglementation en vigueur ou aux spécifications de l'autorité gestionnaire.

Dans ce cas, une valeur **nodata**⁹ est utilisée : « **sans donnée** ».

⁸ Le sous-échantillonnage se fait par décimation ce qui permet de ne pas altérer les calculs effectués à partir des nuages de point d'origine.

⁹ Absence de données.

5.3.2 Limite en zone frontalière terrestre

Les modèles numériques issus du LiDAR HD couvrent l'intégralité des zones à l'intérieur des frontières.

5.3.3 Limite en zone littorale

Les modèles numériques issus du LiDAR HD couvrent en partie l'estran jusqu'à la limite des acquisitions LiDAR. Cette limite ne peut être définie précisément a priori : elle est établie au cas par cas en fonction de la topographie locale et du régime de marée.

5.4 Structure des données

5.4.1 Définitions des termes employés

Une classe regroupe des objets de même genre (linéaire, ponctuel ou surfacique), de même dimension (bidimensionnel ou tridimensionnel) et définis par les mêmes attributs.

Chaque classe est présentée sous forme de fiche contenant les informations suivantes :

Définition : Définition de la classe. Cette définition s'applique à tous les objets de cette classe.

Topologie : Description de la topologie des données : simple, complexe, grille, ...

Genre : Spécification de la géométrie des objets de la classe (**exemple** : ponctuel 2D, linéaire 3D, multi-surfacique 2D, ...).

Attributs : Des attributs sont associés à chaque objet d'une classe et permettent de lui associer des informations à caractère quantitatif (valeurs d'attribut numériques) ou qualitatif (énumération de valeurs).

Sélection : Précision sur le caractère exhaustif ou non des objets de cette classe.

Modélisation géométrique : Précision sur la façon dont la structure géométrique traduit la réalité de l'objet topologique.

5.4.2 MNT

Définition	Modèle numérique de terrain.
Topologie	Grille
Genre	Ponctuel 3D
Attributs	Sans objet

Sélection : Sans objet (les nœuds de la grille ne correspondent pas à des objets du terrain).

Modélisation géométrique : Grille ou matrice d'altitudes. Le pas de la grille en X et en Y est de 50 cm ou 5 m.

Le MNT issu du LiDAR HD est dérivé des points « sol » (classe 2), points « eau » (classe 9) et « points virtuels » (classe 66).

5.4.3 MNS

Définition	Modèle numérique de surface.
Topologie	Grille
Genre	Ponctuel 3D
Attributs	Sans objet

Sélection : Sans objet (les nœuds de la grille ne correspondent pas à des objets du terrain).

Modélisation géométrique : Grille ou matrice d'altitudes. Le pas de la grille en X et en Y est de 50 cm ou 5 m.

Le MNS issu du LIDAR HD est dérivé des points « sol » (classe 2), « eau » (classe 9), « végétation basse/moyenne/haute » (classe 3, 4, 5), « bâtiment » (classe 6) et « tablier de pont » (classe 17).

5.4.4 MNH

Définition	Modèle numérique de hauteur.
Topologie	Grille
Genre	Ponctuel 3D
Attributs	Sans objet

Sélection : Sans objet (les nœuds de la grille ne correspondent pas à des objets du terrain).

Modélisation géométrique : Grille ou matrice d'altitudes. Le pas de la grille en X et en Y est de 50 cm ou 5 m.

Le MNH issu du LIDAR HD est le résultat de la différence d'altitude entre le MNT et le MNS décrits ci-dessus.

5.5 Paramètres de qualité

Les modèles numériques issus du LiDAR HD proviennent exclusivement de sources LiDAR à une précision altimétrique de 10 cm et planimétrique de 50 cm.

Voir paragraphe [4.6.1 Précision du nuage de point](#).

Les paramètres de qualité intrinsèque des modèles numériques n'ont pas encore été mesurés.