

CHAÎNE DE LA DONNÉE GÉOSPATIALE

LIVRE BLANC TECHNIQUE

LiDAR en 2026 : du nuage de points à l'exploitation SIG

Comprendre la technologie, choisir ses données, maîtriser la chaîne de traitement open-source

Guide complet à destination des professionnels SIG, bureaux d'études et collectivités : de la définition du LiDAR jusqu'aux architectures de diffusion cloud-native, en passant par les formats, le workflow d'intégration et les outils open-source.

SOMMAIRE

- Pourquoi ce sujet est stratégique
- Le périmètre de ce document
- Profils de lecture
- **Partie 1 – La technologie LiDAR**
 - 1.1 Définition et principe physique
 - 1.2 LiDAR vs LiDAR HD – deux réalités à ne pas confondre
 - 1.3 Histoire de la technologie (1960–2026)
- **Partie 2 – Familles de capteurs**
 - 2.1 Les quatre familles principales
 - 2.2 Cas particulier : l’ALB bathymétrique
 - 2.3 Matrice de choix capteur
- **Partie 3 – Usages sectoriels**
 - 3.1 Panorama des usages par secteur
 - 3.2 Trois cas emblématiques
 - 3.3 Chiffres-clés du LiDAR en 2026
- **Partie 4 – Données : open data et sources payantes**
 - 4.1 Les sources open data à connaître
 - 4.2 Les limites du LiDAR
 - 4.3 Quand les données payantes s’imposent
- **Partie 5 – Formats LiDAR**
 - 5.1 Évolution des formats (2003–2025)
 - 5.2 Les cinq formats à connaître
 - 5.3 Comparatif technique
- **Partie 6 – Workflow d’intégration SIG**

· 6.1 Les cinq phases d'intégration

· 6.2 Commandes PDAL essentielles

· 6.3 Les trois dérivés essentiels : MNT, MNS, MNH

→ **Partie 7 — Outils open-source 2026**

· 7.1 Les outils de la chaîne complète

· 7.2 Alertes licences — à vérifier avant déploiement

· 7.3 Versions QGIS à retenir

→ **Guide décisionnel**

· Arbre de décision

· Matrice d'usage

· Scénarios types

→ **Architectures de référence**

· Comparaison des coûts d'infrastructure

→ **Tendances et horizon 2027**

→ **À propos de l'auteur**

Préface

Il y a quelques années, j'ai travaillé sur un projet d'inventaire forestier à La Réunion (forêt primaire). Le brief initial était simple : cartographier la structure de la végétation sur plusieurs milliers d'hectares de forêt tropicale dense pour quantifier le stock de carbone. J'ai commencé avec une approche photogrammétrique classique — drones, restitution de nuage de points depuis les photos, modélisation de surface. Les résultats étaient corrects là où la végétation était basse ou clairsemée. Là où la forêt était dense, la photogrammétrie s'arrêtait à la surface de la canopée. Impossible de savoir ce qu'il y avait en dessous : la hauteur des fûts, la densité du sous-bois, la topographie réelle du sol sous couvert.

La donnée LiDAR disponible sur la zone — issue d'un programme de recherche, pas d'un open data systématique — a changé radicalement ce que je pouvais produire. Pas parce que le LiDAR est magique, mais parce qu'il répond à une question précise que la photogrammétrie ne peut pas résoudre : que se passe-t-il *sous* la surface visible ?

Ce projet est resté en tête quand, quelques années plus tard, j'ai vu le programme IGN LiDAR HD prendre forme. Soixante millions d'euros, une couverture nationale, des données ouvertes sous Licence Ouverte 2.0 — gratuitement téléchargeables pour n'importe quel projet SIG. Ce qui nécessitait auparavant un budget de programme institutionnel est devenu accessible à une collectivité de taille moyenne, à un bureau d'études, à une équipe de recherche sans financement exceptionnel.

La vraie barrière s'est déplacée. Ce n'est plus l'accès aux données — c'est la capacité à les exploiter. Comprendre ce qu'on a reçu, choisir le bon format de stockage, construire un workflow de traitement reproductible, générer les dérivés utiles, intégrer le tout dans un projet SIG opérationnel. C'est précisément ce que ce livre blanc cherche à couvrir : pas la théorie du LiDAR pour elle-même, mais la chaîne complète, du nuage de points brut à la donnée exploitable en production. Ce document reprend et complète deux articles de blog publiés sur mp-i.pro en avril 2026. Il est conçu pour être autoportant — aucune lecture préalable n'est nécessaire.

Introduction

En 2026, les données LiDAR couvrent la quasi-totalité du territoire français et sont téléchargeables gratuitement. La vraie question n'est plus «comment accéder aux données ?» — c'est «comment les exploiter correctement ?» Ce livre blanc répond à cette question de bout en bout : technologie, sources, formats, workflow d'intégration, outils open-source et architectures selon le profil et le volume.

Pourquoi ce sujet est stratégique

Le LiDAR n'est plus une technologie réservée aux grands programmes institutionnels. La convergence de trois facteurs a changé l'équation en moins de cinq ans : le programme IGN LiDAR HD qui diffuse des données open data haute densité sur la France métropolitaine, la miniaturisation des capteurs drone qui rend les levés accessibles aux PME et bureaux d'études, et la maturité de la chaîne open-source (PDAL, QGIS 3.32+, CloudCompare) qui couvre l'ensemble des besoins sans licence propriétaire.

Les domaines concernés sont larges : planification territoriale, prévention des risques d'inondation, gestion forestière et inventaire carbone, archéologie, énergie et réseaux, patrimoine bâti. Dans chacun de ces domaines, le LiDAR apporte une réponse à un problème fondamental — mesurer précisément la géométrie tridimensionnelle d'un environnement, qu'il soit visible depuis le ciel ou caché sous la végétation.

Le périmètre de ce document

Ce livre blanc couvre la technologie LiDAR topographique et géospatiale dans son acception professionnelle : familles de capteurs aéroportés, terrestres, mobiles et drone ; sources de données ouvertes et payantes ; formats de fichiers et leurs usages ; workflow d'intégration dans un projet SIG ; outils open-source ; architectures de traitement et de diffusion.

Il ne couvre pas le LiDAR embarqué sur les véhicules autonomes (capteurs de perception temps réel — usage et contraintes radicalement différents), les traitements scientifiques avancés (OPALS, modélisation physique), ni les applications bathymétriques profondes (ALB au-delà de 20 m de profondeur).

Profils de lecture

TAB. 1 — COMMENT LIRE CE DOCUMENT SELON VOTRE PROFIL

PROFIL	PARTIES PRIORITAIRES	OBJECTIF
Décideur / DSI	Introduction, Partie 3 (usages), Partie 4 (données), Guide décisionnel	Comprendre les enjeux et évaluer la pertinence pour un projet
Chef de projet SIG	Parties 4, 5, 6, Guide décisionnel, Architectures	Cadrer un projet LiDAR et choisir la bonne architecture
Géomaticien / Technicien SIG	Parties 5, 6, 7 complètes avec blocs code	Maîtriser les formats, le workflow et les outils
Développeur	Parties 5, 6, 7, Architectures de référence	Intégrer LiDAR dans un pipeline de données géospatiales

Partie 1 — La technologie LiDAR

Avant d'exploiter des données LiDAR, il faut comprendre ce qu'elles représentent et comment elles sont produites. Cette partie pose les fondations : définition, principe physique, distinction des usages et histoire de la technologie sur soixante ans.

1.1 Définition et principe physique

Le terme LiDAR est développé comme **Light Detection And Ranging** — un acronyme rétroactif, construit délibérément sur le modèle de *radar* (*Radio Detection And Ranging*), retenu comme définition officielle par l'ASPRS (American Society for Photogrammetry and Remote Sensing) et l'ISO.

Le principe physique est celui du temps de vol : un capteur émet une impulsion laser, mesure le délai jusqu'au retour de l'écho sur un obstacle, et en déduit la distance. Répété à très haute fréquence — de quelques dizaines de milliers à plusieurs millions d'impulsions par seconde selon le capteur — dans toutes les directions d'un faisceau balayant, ce processus produit un **nuage de points tridimensionnel**. Chaque point est porteur de coordonnées X, Y, Z et d'attributs associés : intensité du retour, numéro de retour (premier, intermédiaire, dernier), classification sémantique, et couleur RGB si le capteur est couplé à une caméra.

Les longueurs d'onde varient selon l'application : infrarouge à 1 064 nm ou 1 550 nm pour les applications topographiques aéroportées, vert à 532 nm pour le LiDAR bathymétrique capable de pénétrer l'eau peu profonde. La différence fondamentale avec le radar (ondes radio) ou le sonar (ultrasons) est la longueur d'onde du support — la lumière laser, dont la courte longueur d'onde permet une résolution spatiale très fine, impossible à atteindre avec des ondes radio ou sonores.



La règle des retours multiples

Un laser peut traverser partiellement la végétation et générer plusieurs retours distincts depuis une seule impulsion : le premier retour correspond au sommet de la canopée, les retours intermédiaires aux couches de sous-bois, le dernier retour au sol ou à un objet opaque de surface. C'est ce mécanisme qui permet au LiDAR de «voir» le terrain sous la forêt — là où la photogrammétrie s'arrête à la surface visible.

1.2 LiDAR vs LiDAR HD — deux réalités à ne pas confondre

En France, le terme **LiDAR HD** désigne deux choses radicalement différentes selon le contexte. La confusion est fréquente et peut conduire à des erreurs de cadrage dans les projets.

IGN LIDAR HD		LIDAR HD EMBARQUÉ
Topographique / SIG		Véhicule autonome
<ul style="list-style-type: none">✓ Programme national de couverture du territoire français✓ Densité ≥ 10 pts/m², précision altimétrique 10–20 cm✓ Données ouvertes, Licence Ouverte 2.0, téléchargement gratuit✓ Référence pour les projets SIG, collectivités, bureaux d'études	vs	<ul style="list-style-type: none">→ Capteur de perception temps réel embarqué sur véhicule→ Haute fréquence, haute résolution angulaire pour la détection d'obstacles→ Aucune finalité topographique ou SIG→ Fabricants : Ouster, Hesai, Luminar, Innoviz

Dans ce livre blanc, **LiDAR** désigne exclusivement la **technologie topographique et géospatiale**. Le LiDAR véhicule autonome est mentionné uniquement pour éviter la confusion.

1.3 Histoire de la technologie (1960–2026)

La trajectoire du LiDAR sur soixante ans est celle d'une technologie née dans les laboratoires militaires, longtemps bloquée faute d'un géoréférencement précis, puis démocratisée par la convergence du GPS, de la miniaturisation et des drones grand public.

1960–1980	1980–1995	1995–2005	2005–2018	2018–2026
Recherche pure	Blocage GPS	Tournant GPS + IMU	Diversification	Démocratisation
1960 premier laser (Maiman) · 1962 mesure Terre–Lune MIT · Atmosphère et espace	LiDAR bathymétrique côtier · Pas de géoréférencement civil · Usage institutionnel uniquement	Premier ALS commercial · 2 000–25 000 pts/s · IGN intègre les premiers systèmes	TLS (Leica, FARO, Riegl) · MLS linéaire · Véhicule autonome (Velodyne → Ouster 2023)	Drone LiDAR < 500 g · IGN LiDAR HD 60 M€ · Open data national · Stack open–source mature

Le tournant décisif est la conjonction GPS + IMU à la fin des années 1980 et au début des années 1990. Couplé à une centrale inertielle mesurant l'orientation et les accélérations du capteur en continu, le GPS permet de connaître à tout instant la position et l'attitude précises de l'avion portant le scanner. Le problème du géoréférencement — connaître la distance à un obstacle ne suffit pas, il faut aussi savoir exactement d'où on mesure — est résolu.

Depuis 2020, la miniaturisation des capteurs drone (moins de 500 g, compatibles DJI Matrice et équivalents) a ouvert le LiDAR à des équipes de deux personnes avec un budget auparavant réservé aux grands programmes institutionnels. Le programme IGN LiDAR HD, lancé en 2021 avec 60 millions d'euros dans le cadre du plan France Relance, a achevé cette démocratisation pour les données nationales.



Résumé

Trois ruptures structurantes en soixante ans : GPS + IMU dans les années 1990 (géoréférencement résolu), miniaturisation drone à partir de 2020 (accès PME), programme IGN LiDAR HD en 2021 (données gratuites sur la France).

Partie 2 — Familles de capteurs

Tous les LiDAR ne font pas la même chose. La famille d'appartenance d'un capteur conditionne la surface couvrable, la précision obtenue, le coût d'acquisition et les cas d'usage pertinents. Choisir le mauvais type de capteur pour un projet, c'est produire des données inadaptées — trop peu denses, dans une géométrie incompatible avec le besoin, ou à un coût disproportionné.

2.1 Les quatre familles principales

GRANDE SURFACE

ALS — Aéroporté (Airborne Laser Scanning)

Avion ou hélicoptère

Couvre de dizaines à centaines de km² par jour de vol. Base du programme IGN LiDAR HD. Précision altimétrique 10–20 cm à 10 pts/m². Incontournable pour les grands programmes territoriaux.

Topographie

IGN

PPRI

Forêt

PRÉCISION MM

TLS — Terrestre fixe (Terrestrial Laser Scanner)

Trépied stationnaire 360°

Relevé millimétrique de façades, tunnels, sites industriels et patrimoniaux. Champ de vision à 360°, densité de points très élevée sur la zone scannée. Mobilité nulle — plusieurs stations à fusionner pour les grands levés.

BIM

Patrimoine

Industrie

Contrôle

LINÉAIRE

MLS — Mobile (Mobile Laser Scanner)

Véhicule / train / bateau

Capteur embarqué en déplacement continu. Cartographie rapide de réseaux routiers, ferroviaires, côtiers. Flotte IGN Stéréopolis pour les voies publiques françaises. Précision inférieure au TLS, couverture linéaire incomparable.

Réseaux

Mobilité

Voirie

ACCESSIBLE

Drone — UAS LiDAR

Multirobot ou voilure fixe

Capteurs légers (< 500 g) sur drone commercial. Surfaces de quelques hectares à quelques km². Accès aux zones difficiles. Budget accessible aux PME et bureaux d'études depuis 2020. Point d'entrée pour les équipes sans moyens institutionnels.

PME

Bureau d'études

Zones difficiles

2.2 Cas particulier : l'ALB bathymétrique

L'ALB (Airborne Laser Bathymetry) est une variante de l'ALS qui utilise un laser vert à 532 nm — au lieu de l'infrarouge topographique — capable de pénétrer l'eau peu profonde jusqu'à 15–20 m selon la turbidité du fond et la couleur de l'eau. Même plateforme aéroportée, technologie et traitement différents, usage radicalement différent.

L'ALB est l'outil de référence pour cartographier la continuité terre–mer dans une seule acquisition : du cordon dunaire à –15–20 m de profondeur selon la turbidité, en passant par la zone intertidale. Applications principales : cartographie des fonds côtiers, suivi du trait de côte, PPRI en zone littorale, inventaire des herbiers marins.



ALB — à ne pas confondre avec l'ALS topographique

Un fichier LAZ issu d'un vol ALB bathymétrique contient des points sous le niveau de la mer — avec des valeurs Z négatives correspondant à la profondeur. Les pipelines de traitement (classification, génération MNT) doivent être adaptés en conséquence. Ne pas appliquer un workflow topographique standard sur des données bathymétriques.

2.3 Matrice de choix capteur

TAB. 2 — QUEL CAPTEUR POUR QUEL BESOIN ?

CRITÈRE	ALS	TLS	MLS	DRONE	ALB
Surface couvrable	> 100 km ² /jour	< 500 m ² par station	Linéaire km	Quelques km ²	> 100 km ² /jour
Précision altimétrique	10–20 cm	1–3 mm	2–5 cm	3–10 cm	10–20 cm
Pénétration végétation	Partielle	Faible	Faible	Partielle	N/A
Cartographie sous eau	Non	Non	Non	Non	Oui 0–20 m
Accessibilité PME	Prestataire	Location / achat	Prestataire	Achat accessible	Prestataire
Coût acquisition	Vol sur commande	30–100 k€ achat	Vol sur commande	5–20 k€ capteur	Vol spécialisé



Résumé

ALS pour les programmes territoriaux et les grands périmètres (c'est la base du programme IGN LiDAR HD). Drone pour les PME et bureaux d'études sur des surfaces de quelques km². TLS pour le bâti, le patrimoine et le contrôle industriel. MLS pour les linéaires routiers et ferroviaires. ALB pour la cartographie terre-mer.

Partie 3 — Usages sectoriels

Le LiDAR répond à un besoin fondamental commun à de nombreux secteurs : mesurer précisément la géométrie tridimensionnelle d'un environnement — terrain, bâtiment, forêt, infrastructure — de manière rapide, à grande échelle et avec une précision impossible à atteindre par d'autres moyens. Le fait que la technologie soit accessible en open data sur la France renforce encore son potentiel d'usage dans les projets de toute taille.

3.1 Panorama des usages par secteur



Topographie & génie civil

MNT haute précision, calculs de cubature, implantation de projets. Référence pour les études d'impact, les VRD et les suivis de chantier. Capteur adapté : ALS ou Drone.



Forêt & environnement

Hauteur de canopée, estimation de biomasse et stock carbone, inventaire forestier, suivi des coupes et de la régénération. Le LiDAR pénètre partiellement la canopée là où la photogrammétrie s'arrête. Capteur adapté : ALS ou Drone.



Archéologie

Détection de structures sous végétation dense — pyramides, routes, réseaux d'irrigation invisibles depuis le sol ou par optique satellite. Démonstration emblématique : PACUNAM Guatemala 2018. Capteur adapté : ALS.



Gestion des risques & du littoral

PPRI (Plans de Prévention des Risques d'Inondation), modélisation des zones de submersion, suivi de l'érosion côtière, cartographie terre-mer. Exige un MNT précis à 10–20 cm. Capteur adapté : ALS / ALB.



Énergie & réseaux

Cartographie de lignes haute tension, corridors d'éoliennes, cadastre solaire, inventaire du mobilier urbain. Combinaison ALS et drone selon la surface. Capteur adapté : Drone / MLS.



Patrimoine & BIM

Relevé de façades, numérisation de bâtiments et d'ouvrages d'art, documentation de sites patrimoniaux, maquette numérique BIM. Précision millimétrique requise. Capteur adapté : TLS.

3.2 Trois cas emblématiques

PACUNAM Guatemala — 2018

Le projet PACUNAM LiDAR Initiative a survolé 2 100 km² de jungle tropicale au Guatemala. Le résultat a dépassé toutes les attentes : plus de 60 000 structures mayas — pyramides, routes surélevées, systèmes d'irrigation, quartiers d'habitation entiers — ont été détectées sous la canopée du Petén, totalement invisibles depuis le sol ou par photographie satellite optique. C'est la démonstration la plus spectaculaire de ce que le LiDAR permet là où aucune autre technologie ne peut aller.

Inventaire forestier en forêt primaire — La Réunion

Sur un projet d'inventaire forestier en forêt primaire à La Réunion, la comparaison entre photogrammétrie et LiDAR est sans appel. La photogrammétrie produit une surface de canopée précise mais s'arrête là — impossible de connaître la hauteur des fûts, la densité du sous-bois, la topographie du sol sous couvert végétal. Le LiDAR, grâce aux retours multiples, pénètre partiellement la forêt dense et fournit des informations sur la structure verticale de la végétation : hauteur de fût, densité de sous-bois, relief du sol réel.

“ Là où la photogrammétrie s'arrête à la surface de la canopée, le LiDAR pénètre partiellement et fournit des informations sur la structure verticale de la végétation — hauteur de fût, densité de sous-bois, topographie du sol sous couvert.

— Mattieu Pottier, MP-i — retour terrain, projet d'inventaire forestier en forêt primaire, La Réunion

PPRI et gestion du risque inondation

Le LiDAR est l'outil de référence pour les Plans de Prévention des Risques d'Inondation. Un MNT précis à 10–20 cm est indispensable pour modéliser les zones de submersion avec la précision attendue par les services de l'État. Les acquisitions répétées dans le temps permettent de suivre l'érosion côtière, le recul du trait de côte, la dynamique des dunes. En zone littorale, l'ALB bathymétrique permet de cartographier la continuité terre-mer dans une seule acquisition.

3.3 Chiffres-clés du LiDAR en 2026

60 M€

budget programme IGN
LiDAR HD (France Relance
2021)

**≥ 10
pts/m²**

densité minimale IGN LiDAR
HD

60 000+

structures mayas détectées
par LiDAR (PACUNAM 2018)

< 500 g

poids des capteurs drone
LiDAR légers actuels



Résumé

Le LiDAR couvre des usages très diversifiés — de l'archéologie au risque inondation, de l'inventaire forestier au BIM. Le programme IGN LiDAR HD a rendu la majorité de ces usages accessibles sans budget d'acquisition de données pour les projets français.

Partie 4 — Données : open data et sources payantes

La question qui revient dans chaque projet SIG impliquant du LiDAR : ai-je besoin d'acheter des données, ou puis-je trouver ce qu'il me faut gratuitement ? En France en 2026, la réponse est le plus souvent positive — à condition d'être dans la zone couverte et que la densité standard suffise au besoin.

4.1 Les sources open data à connaître

IGN LiDAR HD est le programme phare pour tout projet français. Lancé en 2021 avec un budget de 60 millions d'euros dans le cadre du plan France Relance, il couvre la France métropolitaine, la Guadeloupe, la Martinique, La Réunion et Mayotte avec une densité minimale de 10 pts/m² (non garantie au-delà de 2 500 m d'altitude). La couverture complète est attendue d'ici fin 2026, avec un report partiel possible sur certaines zones. Les données — nuages de points classifiés, MNT, MNS et MNH dérivés — sont diffusées sous Licence Ouverte 2.0 sur geoservices.ign.fr.

TAB. 3 — SOURCES DE DONNÉES LIDAR OPEN DATA — COMPARATIF 2026

SOURCE	COUVERTURE	DENSITÉ	FORMAT	ACCÈS
IGN LiDAR HD	France métró + 4 DOM	≥ 10 pts/m ²	LAZ + dérivés GeoTIFF	geoservices.ign.fr — gratuit
USGS 3DEP	États-Unis	1–8 pts/m ² selon zone	LAZ / LAS	usgs.gov/3dep — gratuit
OpenTopography	Mondial (agrégateur)	Variable selon source	LAZ / LAS	opentopography.org — gratuit/payant
Copernicus / EEA	Europe (partiel)	Variable selon pays	Variable	land.copernicus.eu — gratuit



En France en 2026

Pour tout projet en France métropolitaine, Guadeloupe, Martinique, La Réunion ou Mayotte : commencer systématiquement par vérifier la disponibilité IGN LiDAR HD sur geoservices.ign.fr avant d'envisager une acquisition sur commande. Dans la grande majorité des cas, les données existent, sont récentes (2021–2026) et gratuites.



Exception Guyane

La Guyane est la seule exclusion du programme IGN LiDAR HD. Des données LiDAR y existent ponctuellement, produites par l'ONF, la DEAL ou des programmes de recherche scientifique, mais sans couverture systématique ni open data centralisé. Pour un projet en Guyane, une acquisition dédiée ou un accès aux données de recherche est nécessaire.

Pour suivre l'avancement de la diffusion dalle par dalle :
macarte.ign.fr/carte/mThSup/diffusionMNxLiDARHD.

4.2 Les limites du LiDAR

Connaître les limites du LiDAR permet d'éviter des déconvenues sur des projets où il serait mal adapté, ou d'anticiper les contraintes dès le cadrage.



Conditions météo

Pluie, brouillard dense et neige diffusent ou absorbent le signal laser infrarouge, rendant les acquisitions aéroportées impossibles ou inutilisables.

Les créneaux météo contraignent fortement la planification des campagnes, particulièrement en montagne ou en milieu tropical.



Végétation très dense

En forêt tropicale très dense ou sous une haie compacte, le signal peut être quasi-totalement bloqué — la densité de points au sol devient insuffisante. Compensation possible par une densité d'acquisition plus élevée, mais cela a un coût.



Surfaces réfléchissantes

L'eau calme, les vitres, les surfaces métalliques brillantes et certains revêtements routiers réfléchissent le laser hors capteur, générant des données manquantes ou des artefacts. Le LiDAR bathymétrique (laser vert 532 nm) est la réponse spécifique pour l'eau peu profonde.



Volume de données

Un vol LiDAR à 10 pts/m² sur 100 km² génère plusieurs centaines de Go de données brutes. Stocker, transférer et traiter ces volumes nécessite une infrastructure adaptée — contrainte souvent sous-estimée en phase de cadrage.



Compétences de traitement

Un nuage de points brut n'est pas directement exploitable. Classification, filtrage, génération des dérivés, intégration SIG — ces étapes nécessitent des compétences spécifiques et des outils dédiés. La courbe d'apprentissage est réelle.



Coût hors open data

Là où des données open data existent, le LiDAR est gratuit. Hors zone couverte (Guyane, international) ou densité insuffisante, un vol sur commande coûte entre 1 000 et 10 000 € selon la surface, la densité requise et l'accessibilité de la zone.

4.3 Quand les données payantes s'imposent

Quatre situations rendent l'acquisition sur commande incontournable malgré l'open data disponible.

Zone non couverte — Guyane, territoires internationaux, zones où la campagne IGN n'a pas encore été diffusée en 2026.

Densité insuffisante — Pour certaines applications (inspection d'infrastructures, contrôle dimensionnel, détection fine d'objets), 10 pts/m² est insuffisant. Des densités de 50 à 100+ pts/m² nécessitent un vol dédié auprès d'un prestataire spécialisé.

Données trop anciennes — Pour un suivi temporel (évolution d'un chantier, érosion côtière saisonnière), les données IGN acquises entre 2021 et 2026 peuvent ne pas refléter l'état actuel du terrain.

Attributs spécifiques — RGB haute résolution, infrarouge, retour d'onde complet (full waveform), données bathymétriques — autant d'attributs non couverts par les données standard IGN.

Dans ces cas : vol sur commande auprès d'un bureau de géomètres ou d'une société de photogrammétrie (Géocarta, Sintegra, Litto3D...), ou plateformes commerciales à couverture régulière (Nearmap, Vexcel, Airbus Defence & Space) pour les zones internationales.



Résumé

Open data IGN LiDAR HD suffit dans la grande majorité des projets français. Quatre exceptions : zone non couverte, densité insuffisante, données trop anciennes, attributs spécifiques. Dans ces cas, prévoir un budget de 1 000 à 10 000 € selon la surface et les exigences.

Partie 5 — Formats LiDAR

Le format d'un fichier LiDAR n'est pas un détail technique — il conditionne les outils utilisables, les performances de traitement et les possibilités de diffusion. Choisir le mauvais format peut bloquer un workflow entier ou rendre une diffusion web impossible. Cinq familles de formats sont à connaître en 2026.

5.1 Évolution des formats (2003–2025)

2003	2011	2018	2021	2025
Standardisation ASPRS	Compression sans perte	Indexation web	Cloud-native	Nouvelle version ASPRS
LAS 1.0 · Format binaire structuré · Référence mondiale	LAS 1.4 (64-bit, attributs étendus) · LAZ compression 7–25 % · Standard d'échange	EPT (Entwine Point Tiles) · Visualisation Potree/Cesium · Indexation hiérarchique	Cloud-Optimized Point Cloud · Octree LAZ · Streaming HTTP Range · Hobu / PDAL	Approuvé août 2025 (selon l'ASPRS) · Adoption progressive · LAS 1.4 reste référence production

5.2 Les cinq formats à connaître

LAS 1.0–1.4 — le format de production universel

LAS est le format binaire standardisé par l'ASPRS. La version 1.0 est publiée en mai 2003 ; LAS 1.4 est approuvée en novembre 2011 (révision R15 : juillet 2019). Chaque point stocke ses coordonnées X, Y, Z, son intensité de retour, son numéro de retour, sa classification, et optionnellement la couleur RGB et le temps GPS. LAS 1.4 introduit les formats de points 6 à 10 — plus d'attributs, coordonnées en 64-bit — et reste en 2026 **le format déployé dans la quasi-totalité des chaînes de production.**

LAS 1.5 — en cours d'adoption

LAS 1.5 est approuvée en août 2025 par l'ASPRS (selon l'ASPRS). Son adoption en production est encore limitée en 2026 : QGIS, PDAL et CloudCompare l'intègrent progressivement. Dans la pratique, LAS 1.4 reste la référence pour la compatibilité maximale.

LAZ — le standard de fait pour l'échange

LAZ est la version compressée de LAS, développée par Martin Isenburg (rapidlasso). La compression est sans perte et réduit le fichier à 7–25 % de sa taille originale selon la densité et les attributs. Initialement sous licence GNU LGPL, LAZ est **relicencié Apache 2.0 fin 2021** — ce qui lève les dernières réticences d'usage en entreprise. C'est le format à privilégier pour tout stockage local et tout échange.

COPC — le choix cloud-native

COPC (*Cloud-Optimized Point Cloud*) est un fichier LAZ réorganisé en octree hiérarchique — une structure arborescente qui divise le nuage en octants imbriqués, du plus grossier au plus fin. Cette organisation permet le **streaming HTTP Range** : au lieu de télécharger l'intégralité du fichier, le client ne demande que les portions spatiales et les niveaux de détail dont il a besoin. COPC est rétrocompatible avec tout lecteur LAZ 1.4. Porté par Hobu Inc. et l'équipe PDAL depuis 2021.

EPT/Entwine — l'indexation web, en recul

EPT (*Entwine Point Tiles*, 2018) est une indexation hiérarchique conçue pour la visualisation web dans Potree et Cesium. Entwine est moins actif depuis 2022 — COPC couvre désormais le même besoin avec un fichier unique plutôt qu'un répertoire d'index. Pour les nouveaux projets, COPC est préférable.

E57 — le format des scanners terrestres

E57 (ASTM, 2010) est né du monde des scanners terrestres fixes (FARO, Leica, Riegl). Il stocke les nuages de points, les images panoramiques et les métadonnées capteur dans un conteneur unique. Peu courant en topographie aéroportée, il reste la référence pour les relevés intérieurs et les projets BIM.

5.3 Comparatif technique

TAB. 4 — COMPARAISON DES FORMATS LIDAR — CRITÈRES TECHNIQUES 2026

CRITÈRE	LAS 1.4	LAZ	COPC	EPT	E57
Compression	✗ Non	✓ 7–25 %	✓ 7–25 %	✓ Variable	⚠ Partielle
Streaming HTTP	✗ Non	✗ Non	✓ Range Request	⚠ Partiel	✗ Non
Web-natif	✗	✗	✓	✓ Potree	✗
QGIS natif	✓ 3.18+	✓ 3.18+	✓ visu 3.26+ / stream 3.32+	✗	✗
Licence	ASPRS open	Apache 2.0	Open (Hobu)	Open	ASTM open
Maturité 2026	★★★ Référence	★★★ Référence	★★★ Production	★★ Déclin	★★★ TLS/BIM
Usage principal	Production	Échange / stockage	Cloud / web	Visu web legacy	Scanner TLS



Règle de décision

LAZ pour tout usage local ou en échange — c'est le format universel, compressé, Apache 2.0, supporté partout. COPC dès que la diffusion web ou l'accès distant est envisagé — streaming HTTP Range, rétrocompatible LAZ 1.4. E57 uniquement pour les projets TLS et BIM avec des scanners terrestres.



Résumé

Deux formats dominant en 2026 : LAZ (standard universel pour l'échange et le stockage local) et COPC (futur du web et de la diffusion cloud-native). LAS 1.4 reste le format de production dans les pipelines établis. EPT recule au profit de COPC. E57 est réservé au monde des scanners terrestres.

Partie 6 — Workflow d'intégration SIG

La réception d'une dalle LAZ brute n'est pas le point de départ d'une exploitation — c'est le début d'un workflow structuré en cinq phases. Sauter une étape ou la négliger produit des données mal intégrées, des incohérences de CRS, ou des dérivés incorrects. Cette partie détaille chaque phase et les outils associés.

6.1 Les cinq phases d'intégration

Phase 1

Réception et vérification

Auditer les métadonnées avant tout traitement. `pdal info fichier.laz` retourne le CRS, le nombre de points, les statistiques Z, l'étendue spatiale et la présence d'une classification existante. Une dalle avec un CRS incorrect ou une densité insuffisante doit être signalée au prestataire avant toute intégration.

Phase 2

Reprojection si nécessaire

Aligner le nuage sur le CRS du projet. France métropolitaine → RGF93/Lambert-93 (EPSG:2154). Guyane → RGFG95/UTM 22N (EPSG:2972). Martinique → RRAF91/UTM 20N. Guadeloupe → RGAFO9/UTM 20N (EPSG:5489, officiel depuis 2016). Reprojection via PDAL (`filters.reprojection`) ou QGIS. Ne jamais mélanger des dalles dans des CRS différents sans reprojection préalable.

Phase 3

Classification du nuage

Attribuer à chaque point une classe sémantique ASPRS — sol (2), végétation basse (3), végétation moyenne (4), végétation haute (5), bâti (6), eau (9). Outils disponibles : PDAL `filters.smr` pour la détection du sol, LAStools `lasground` pour les cas complexes, QGIS Processing 3.32+ pour une approche graphique sans ligne de commande.

Phase 4

Génération des dérivés raster

À partir du nuage classifié, produire les trois modèles numériques (MNT, MNS, MNH). Export en GeoTIFF. Résolution cible : 0,5 m pour une densité de 10 pts/m², 1 m pour 4 pts/m². Les trois modèles peuvent être générés en série depuis un seul nuage classifié.

Phase 5

Intégration dans le projet

Les rasters (MNT, MNS, MNH) s'intègrent dans QGIS directement ou dans PostGIS via raster2pgsql. Les vecteurs dérivés (courbes de niveau, emprise des bâtiments, polygones de végétation) s'importent dans PostGIS ou GeoPackage. À ce stade, les données LiDAR sont des couches SIG standard.



Classes IGN LiDAR HD ≠ classes ASPRS standard

Les données IGN LiDAR HD livrent une classification propre en 11 catégories — sol, végétation basse (0–50 cm), végétation moyenne (50 cm–1,50 m), végétation haute (> 1,50 m), bâtiment, eau, tablier de pont, sursol pérenne, points virtuels, divers bâtis, non classé. Les numéros de classes IGN ne correspondent pas aux numéros ASPRS. Si tu chaînes un pipeline PDAL sur des données IGN, vérifier les filtres de classe utilisés — un filtre `Classification[2:2]` ASPRS (sol) ne sélectionnera pas les points sol IGN si le numéro de classe diffère.

6.2 Commandes PDAL essentielles

La première commande à avoir en réflexe à la réception d'une dalle inconnue :

BASH

```
# Inspecter les métadonnées complètes d'un fichier
pdal info fichier.laz

# Exécuter un pipeline de traitement versionné
pdal pipeline pipeline.json
```

Le pipeline JSON est le cœur de PDAL : il chaîne des opérations (lecture, filtrage, reprojection, classification, sous-échantillonnage, export raster) dans un fichier versionnable et reproductible. Exemple minimal — export MNT depuis un nuage classifié IGN LiDAR HD :

JSON

```
{
  "pipeline": [
    "input.laz",
    {
      "type": "filters.range",
      "limits": "Classification[2:2]"
    },
    {
      "type": "writers.gdal",
      "filename": "mnt.tif",
      "resolution": 0.5,
      "output_type": "mean"
    }
  ]
}
```

Ce pipeline lit le LAZ, filtre les points de classe 2 (sol ASPRS — adapter le numéro de classe pour les données IGN), et exporte un raster GeoTIFF à 0,5 m de résolution. C'est la base du MNT.

6.3 Les trois dérivés essentiels : MNT, MNS, MNH

Trois modèles numériques sont produits depuis le nuage classifié. Ils constituent la valeur exploitable du LiDAR pour la quasi-totalité des applications métier.

MNT — MODÈLE NUMÉRIQUE DE TERRAIN	vs	MNS — MODÈLE NUMÉRIQUE DE SURFACE
<p>Relief nu</p> <ul style="list-style-type: none">✓ Interpolation des points sol uniquement (classe 2 ASPRS)✓ Représente le terrain sans végétation ni bâtiments✓ Référence pour hydraulique, pentes, PPRI, profils de terrain✓ Résolution cible : 0,5 m à 10 pts/m²		<p>Surface visible</p> <ul style="list-style-type: none">→ Utilise le premier retour laser (premier écho reçu)→ Représente tout ce qui dépasse du sol : canopée, toits, infrastructures→ Référence pour ombrage solaire, propagation radio→ Source pour calculer le MNH par différence

Le **MNH (Modèle Numérique de Hauteur)** est la soustraction $MNS - MNT$. Il donne la hauteur normalisée au-dessus du sol de chaque objet : valeur 0 = sol, valeur 18 = objet de 18 m (arbre, bâtiment, pylône). Indispensable pour les inventaires forestiers (hauteur de canopée, estimation de biomasse) et la détection automatique des bâtiments.



Dans QGIS 3.32+

Processing → Point Cloud → Point Cloud to Raster. Pour le MNT : attribut Z, filtre classe sol (2 ASPRS ou classe sol IGN). Pour le MNS : attribut Z, premier retour uniquement. Résolution cible : 0,5 m pour 10 pts/m². Les trois modèles peuvent être générés en série depuis un seul nuage classifié sans ligne de commande. **Si vous n'utilisez pas PDAL en ligne de commande, cette interface QGIS couvre l'ensemble des besoins décrits aux phases 3 et 4.**



Résumé

Cinq phases séquentielles : vérification → reprojection → classification → dérivés raster → intégration SIG. Les pipelines PDAL en JSON sont l'outil central pour les étapes 2, 3 et 4 – versionnables, reproductibles, auditables. QGIS 3.32+ couvre l'ensemble pour les équipes sans pratique de la ligne de commande.

Partie 7 — Outils open-source 2026

La chaîne LiDAR open-source est mature en 2026. Six outils couvrent l'ensemble des besoins — de l'exploration visuelle au traitement batch industriel — sans licence propriétaire, à deux exceptions à vérifier soigneusement avant tout déploiement commercial.

7.1 Les outils de la chaîne complète

PDAL

Traitement batch, pipelines JSON versionnés, conversion de formats, filtrage, classification automatique du sol (filters.smrf), export raster (writers.gdal). La brique centrale de toute chaîne automatisée. Licence BSD.

Gratuit (open-source)

QGIS 3.32+

Visualisation interactive, algorithmes Processing natifs point cloud (Point Cloud to Raster, Clip, Thin, Filter Point Cloud by Class), intégration dans le projet SIG. Point d'entrée pour les équipes sans pratique de la ligne de commande. Licence GPL.

Gratuit (open-source)

CloudCompare

Analyse de changement M3C2 (Multiscale Model to Model Cloud Comparison) entre deux nuages — suivi d'érosion, de tassement, d'avancement de chantier. Segmentation manuelle, filtres statistiques, mesures de distance directe. Licence GPL.

Gratuit (open-source)

Potree

Visualisation web de gros volumes (centaines de millions à milliards de points) avec LOD progressif. Résultat intégrable dans une page HTML sans plugin. Licence BSD. Combiner avec COPC sur stockage objet pour les nouvelles architectures.

Gratuit (open-source)

LAStools

Suite de traitement LiDAR
— lasground (classification
sol), lasclassify, laszip
(compression LAZ), lasthin
(sous-échantillonnage),
las2dem (export MNT).
Référence pour les
traitements avancés de
classification.

Licence hybride – voir alerte ci-dessous

py4dgeo

Analyse de changement 4D (M3C2 et dérivés),
interface Python. Utile pour automatiser les
analyses de changement sur de longues séries
temporelles. Développé par l'Université de
Heidelberg. Licence MIT.

Gratuit (open-source)

7.2 Alertes licences — à vérifier avant déploiement



LAStools — licence hybride à vérifier impérativement

laszip (compression/décompression LAZ) est sous Apache 2.0 depuis fin 2021 — usage libre en production. Les autres outils LAStools (lasground, lasclassify, las2dem, lasthin...) sont sous licence propriétaire rapidlasso : gratuits pour un usage non-commercial ou de recherche, payants pour tout usage commercial. Ne pas intégrer ces outils dans une chaîne de production commerciale sans avoir acquis la licence correspondante.



OPALS — usage académique uniquement sans licence

OPALS (Orientation and Processing of Airborne Laser Scanning data), développé par la TU Wien, est un outil de traitement scientifique avancé. Il est gratuit pour la recherche académique, payant pour un usage commercial. Ne pas l'intégrer dans une chaîne de production sans avoir vérifié et acquis les conditions de licence.

7.3 Versions QGIS à retenir

VERSION	APPORT LIDAR MAJEUR
QGIS 3.18	Support natif LAZ/LAS via moteur PDAL intégré — visualisation 3D de base
QGIS 3.26	Support COPC, visualisation avec streaming et LOD progressif
QGIS 3.32	Streaming HTTP optimisé (octree, LOD), algorithmes Processing natifs — Point Cloud to Raster, Clip, Thin, Filter Point Cloud by Class — sans plugin supplémentaire



Version recommandée en production : QGIS 3.32+

QGIS 3.32 est la version charnière : elle active le streaming HTTP optimisé pour COPC et les algorithmes Processing point cloud natifs. C'est le minimum recommandé pour un usage en production. La limite pratique est d'environ 500 millions de points selon la configuration machine — au-delà, COPC avec streaming reste la seule option pour des performances acceptables.



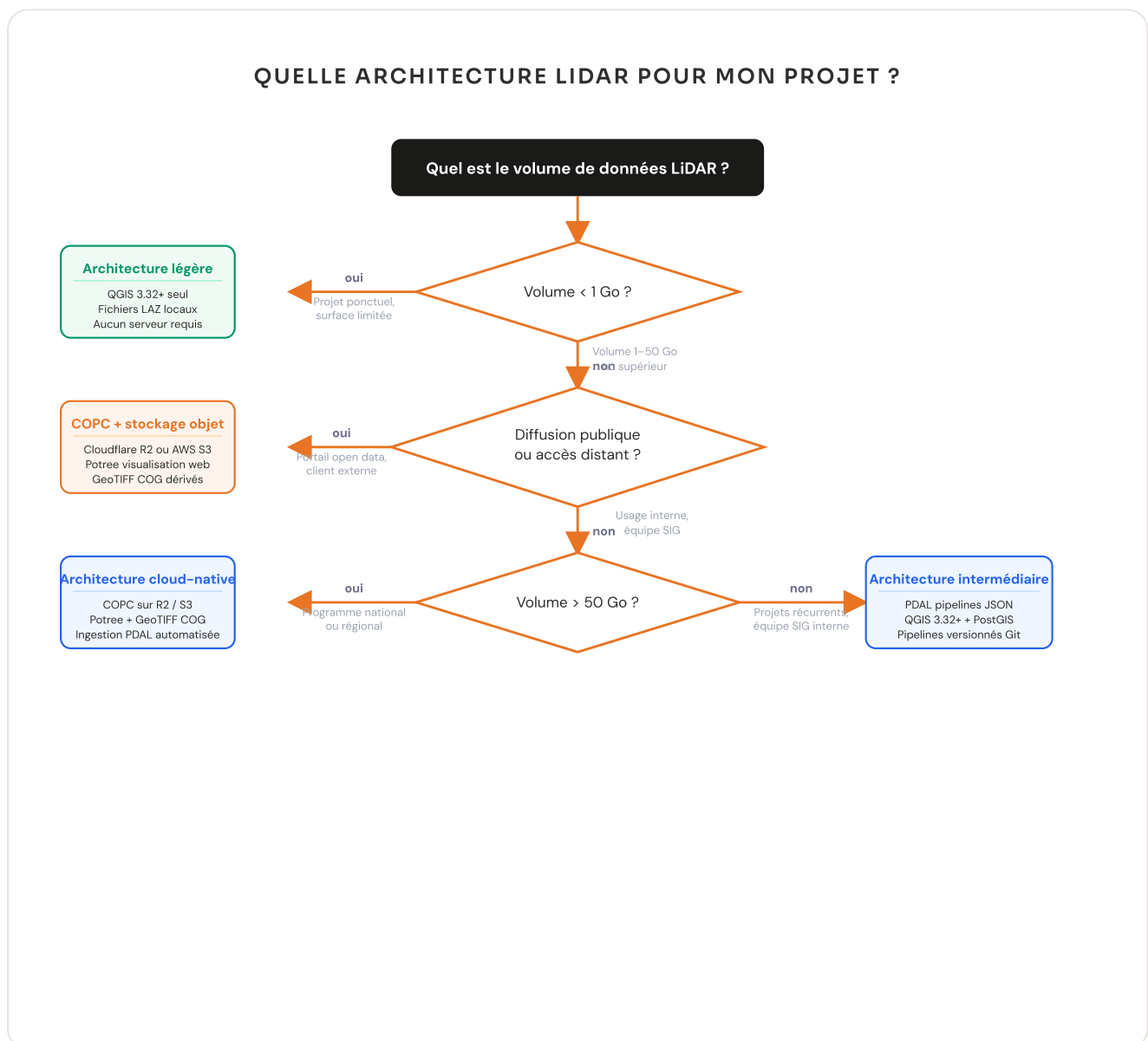
Résumé

PDAL + QGIS 3.32+ + CloudCompare couvrent l'ensemble des besoins sans licence propriétaire. LAStools est puissant mais requiert une vérification de licence pour tout usage commercial. py4dgeo est l'outil Python de référence pour l'analyse de changement en série temporelle.

Guide décisionnel

Trois questions structurantes suffisent à déterminer l'architecture et le stack d'outils adapté à un projet LiDAR. Les réponses à ces questions guident vers l'un des trois profils décrits dans la section Architectures de référence.

Arbre de décision



Matrice d'usage

TAB. 5 — QUEL STACK SELON VOTRE CONTEXTE — SYNTHÈSE DÉCISIONNELLE

CONTEXTE	LÉGÈRE	INTERMÉDIAIRE	CLOUD-NATIVE
Volume de données	< 1 Go	1–50 Go	> 50 Go
Diffusion publique	Non	Non	Oui
Taille d'équipe	Solo ou binôme	2–10 personnes	Équipe + public
Budget infra mensuel	~0 €	30–60 €	50–150 €
Compétences requises	QGIS seul	PDAL + SQL + Git	DevOps + cloud
Reproductibilité pipeline	Manuelle	✓ Git versionné	✓ CI/CD

Scénarios types

1 Bureau d'études — projet ponctuel

- ✓ Volume : levé drone ou quelques dalles IGN (< 1 Go)
- ✓ Stack : QGIS 3.32+ avec fichiers LAZ en local
- ✓ Traitement : algorithmes Processing natifs (Point Cloud to Raster)
- ✓ Infrastructure : poste de travail 16 Go RAM — aucun serveur
- ✓ Budget : 0 €/mois (hors acquisition données si hors open data)

2 Collectivité — suivi pluriannuel

- ✓ Volume : couverture communale ou intercommunale (1–20 Go)
- ✓ Stack : PDAL pour les pipelines + QGIS pour la visualisation + PostGIS pour les dérivés
- ✓ Pipelines PDAL versionnés dans Git — reproductibles et auditables
- ✓ Infrastructure : VPS 8 cœurs, 32 Go RAM, 500 Go SSD
- ✓ Budget : 40–60 €/mois

3 Portail open data territorial

- ✓ Volume : département ou région (20–200 Go)
- ✓ Stack : COPC sur Cloudflare R2 ou AWS S3 + Potree pour la visualisation web
- ✓ Diffusion publique sans serveur dédié — HTTP Range depuis stockage objet
- ✓ GeoTIFF COG pour les dérivés raster accessibles via navigateur
- ✓ Budget : 50–120 €/mois selon volume et trafic

4 Programme national ou gros volumes

- ✓ Volume : > 200 Go, acquisition continue ou mise à jour régulière
- ✓ Stack : ingestion automatisée PDAL + COPC cloud-native + Potree + PostGIS pour les métadonnées
- ✓ Pipeline CI/CD versionné, traitements parallèles, monitoring intégré
- ✓ Infrastructure cloud : R2/S3 + compute à la demande
- ✓ Budget : 150 €/mois et plus selon volume et fréquence d'ingestion

Architectures de référence

Les trois architectures présentées ici correspondent aux scénarios les plus courants. Chacune est dimensionnée pour un profil précis — les adapter selon le volume réel, les contraintes de l'équipe et les exigences de diffusion.

SIMPLE

Architecture légère — projet ponctuel

~0 €/mois

Bureau d'études, levé ponctuel, volume < 1 Go, équipe solo ou binôme. Aucune infrastructure serveur requise — un poste de travail avec 16 Go de RAM suffit pour des volumes jusqu'à 500 M de points.

QGIS 3.32+ · Fichiers LAZ locaux · Processing natif point cloud · Export GeoTIFF sur disque

INTERMÉDIAIRE

Architecture intermédiaire — équipe SIG, projets récurrents

40–60 €/mois (VPS 8c/32Go/500Go SSD)

Collectivité, bureau d'études, équipe SIG de 2 à 10 personnes. Volumes 1–50 Go, mise à jour régulière, reproductibilité des traitements. Pipelines PDAL versionnés dans Git — chaque traitement est traçable et reproductible sans dépendance à une machine spécifique.

PDAL pipelines JSON · QGIS 3.32+ · PostGIS raster · GeoPackage vecteurs · Git

CLOUD-NATIVE




Architecture cloud-native — diffusion publique, gros volumes

50–150 €/mois selon volume et trafic

Portail open data territorial, programme régional ou national. Volumes > 50 Go, diffusion publique, accès concurrent multi-utilisateurs. COPC sur stockage objet permet à tout client compatible (QGIS, navigateur, application JavaScript) de streamer uniquement la portion spatiale utile.

COPC sur Cloudflare R2 ou AWS S3 · Potree visualisation web · GeoTIFF COG · Ingestion PDAL automatisée

Comparaison des coûts d'infrastructure

Architecture légère (poste de travail existant)		~0 €/mois
Architecture intermédiaire (VPS dédié)		40-60 €/mois
Architecture cloud-native (stockage objet + compute)		50-150 €/mois



Note sur les coûts

Les coûts d'infrastructure sont indicatifs et hors acquisition de données. Pour l'architecture cloud-native, le coût de stockage sur R2 (Cloudflare) est de 0,015 \$/Go/mois (indicatif – vérifier la tarification en vigueur sur cloudflare.com/r2) – 100 Go de COPC revient à environ 1,5 \$/mois de stockage, hors trafic sortant (gratuit sur R2). Le poste de coût dominant est le compute pour les traitements PDAL, facturé à la demande.

Tendances et horizon 2027

Le LiDAR open-source est mature, mais l'écosystème continue d'évoluer rapidement. Voici les évolutions à surveiller dans les 12 à 24 mois qui viennent — certaines sont déjà en cours, d'autres sont à anticiper dès aujourd'hui dans les nouveaux projets.



LAS 1.5 en production

Approuvé en août 2025, LAS 1.5 entre progressivement dans les outils majeurs (QGIS, PDAL, CloudCompare). L'adoption en production restera limitée en 2026 — LAS 1.4 reste le format de référence — mais les nouveaux projets devraient surveiller la compatibilité dès maintenant.



Classification automatique par ML

Les modèles de deep learning appliqués aux nuages de points (PointNet++, RandLA-Net, KPConv) commencent à sortir des laboratoires de recherche pour entrer dans les pipelines de production. La classification automatique du sol et de la végétation — aujourd'hui manuelle ou semi-automatique — devrait être significativement accélérée d'ici 2027.



Drone LiDAR < 500 g — accessibilité PME

La miniaturisation continue des capteurs LiDAR légers (DJI Zenmuse L2, Livox Mid-360, YellowScan) ouvre des cas d'usage nouveaux pour des équipes de 2 personnes avec un budget maîtrisé. La démocratisation observée depuis 2020 va s'accélérer.



COPC comme standard par défaut

COPC remplace progressivement LAZ comme format de référence pour la diffusion et le stockage cloud. Les nouvelles plateformes open data des collectivités devraient adopter COPC par défaut d'ici 2026–2027. Anticiper dès aujourd'hui pour les projets de portail.



Convergence LiDAR + IA terrain

La détection automatique de structures (bâtiments, réseaux, végétation) depuis des nuages de points LiDAR par apprentissage profond devient opérationnelle. Les cas d'usage incluent la mise à jour automatique des référentiels topographiques et la détection de changements dans les zones urbaines.



Réglementation drone en évolution

La réglementation EASA sur les drones (catégories Open/Specific/Certified) continue d'évoluer. Les opérations LiDAR drone en zones peuplées ou au-dessus de 120 m nécessitent des autorisations spécifiques en France. Vérifier les exigences DGAC avant tout projet de levé drone en milieu urbain ou périurbain.



Recommandation prospective

Trois actions concrètes à anticiper dès aujourd'hui : (1) adopter COPC pour tout nouveau projet de diffusion ou d'archivage — le coût de conversion LAZ → COPC est faible maintenant, il sera plus élevé quand les volumes auront grossi ; (2) tester un pipeline de classification automatique (PDAL filters.smrf + py4dgeo) sur un jeu de données IGN représentatif avant que le volume le rende incontournable ; (3) vérifier la conformité EASA de la chaîne drone si des levés en milieu urbain sont envisagés.

Conclusion

La chaîne LiDAR ouverte est une réalité en 2026, pas une promesse. Le programme IGN LiDAR HD a levé la principale barrière d'accès aux données sur la France. La stack open-source — PDAL, QGIS 3.32+, CloudCompare, Potree — couvre l'ensemble du workflow sans licence propriétaire. Les trois architectures décrites dans ce livre blanc (légère, intermédiaire, cloud-native) permettent à une équipe de toute taille de s'adapter à son volume et à ses contraintes de diffusion.

La vraie difficulté n'est pas dans l'outillage — elle est dans la rigueur du workflow. Un nuage de points mal classifié produit un MNT incorrect. Des dalles en CRS différents mélangées sans reprojection produisent des artéfacts invisibles jusqu'à l'étape d'analyse. Un pipeline non versionné ne peut pas être reproduit six mois plus tard par une autre personne. Ce sont ces problèmes opérationnels — pas les choix technologiques — qui sont à l'origine de la majorité des échecs de projets LiDAR.

Les trois idées à retenir de ce livre blanc : les données existent et sont gratuites pour la France (vérifier la disponibilité IGN avant toute acquisition) ; la barrière est l'exploitation, pas l'accès ; et un pipeline bien structuré, documenté et versionné vaut plus qu'un outil sophistiqué mal utilisé.

Si vous avez un projet LiDAR à cadrer — choix des données, construction du pipeline, intégration dans votre infrastructure SIG, formation de l'équipe — MP-i peut vous accompagner de la phase de cadrage jusqu'à la mise en production.

Références et ressources

Documentation officielle

- IGN LiDAR HD — données et programme : geoservices.ign.fr ↗
- Avancement de la diffusion dalle par dalle : macarte.ign.fr ↗
- ASPRS LAS specification 1.4 R15 : www.asprs.org ↗
- COPC specification (Hobu) : copc.io ↗

Outils open-source

- PDAL (Point Data Abstraction Library) : pdal.io ↗
- QGIS : qgis.org ↗
- CloudCompare : cloudcompare.org ↗
- Potree : github.com ↗
- LAStools (rapidlasso) : rapidlasso.de ↗
- py4dgeo (Université de Heidelberg) : github.com ↗

Données open data

- IGN geoservices : geoservices.ign.fr ↗
- USGS 3DEP : www.usgs.gov ↗
- OpenTopography : opentopography.org ↗
- Copernicus Land Service : land.copernicus.eu ↗

Formats et standards

- COPC — Cloud-Optimized Point Cloud : copc.io ↗
- LAZ compression (rapidlasso / Apache 2.0) : laszip.org ↗

→ E57 format (ASTM) : www.libe57.org ↗

Lectures complémentaires

→ PACUNAM LiDAR Initiative (2018) : doi.org ↗

→ IGN LiDAR HD — classification des nuages de points : geoservices.ign.fr ↗

Glossaire

ALS

Airborne Laser Scanning. LiDAR aéroporté monté sur avion ou hélicoptère. Couvre de grandes surfaces rapidement — dizaines à centaines de km² par jour de vol. Base du programme IGN LiDAR HD.

ALB

Airborne Laser Bathymetry. Variante de l'ALS utilisant un laser vert (532 nm) capable de pénétrer l'eau peu profonde (0–20 m) pour cartographier les fonds marins et les zones littorales.

ASPRS

American Society for Photogrammetry and Remote Sensing. Organisation professionnelle américaine qui définit et maintient les standards LiDAR, notamment le format LAS et la classification des classes de points.

COPC

Cloud-Optimized Point Cloud. Fichier LAZ réorganisé en octree hiérarchique permettant le streaming HTTP Range — seule la portion spatiale utile est téléchargée, sans charger l'intégralité du fichier.

EPT

Entwine Point Tiles. Format d'indexation hiérarchique conçu pour la visualisation web des nuages de points dans Potree et Cesium. En recul depuis 2022 au profit de COPC.

IMU

Inertial Measurement Unit (centrale inertielle). Mesure l'orientation et les accélérations du capteur en continu. Couplée au GPS, elle permet le géoréférencement précis des points LiDAR depuis une plateforme en mouvement — le tournant des années 1990.

LAZ

Format compressé de LAS, sans perte. Compression de 7 à 25 % de la taille originale selon la densité et les attributs. Développé par Martin Isenburg (rapidlasso), relicencié Apache 2.0 en 2021. Standard de fait pour le stockage et l'échange.

LAS

Format binaire standardisé par l'ASPRS pour les nuages de points LiDAR. Versions 1.0 (2003) à 1.4 (2011, révision R15 2019). LAS 1.4 reste en 2026 le format de référence en production. LAS 1.5 approuvé en août 2025 (selon l'ASPRS), adoption en cours.

LiDAR

Light Detection And Ranging. Technologie de mesure active par impulsions laser, mesurant la distance par le temps de vol de l'écho. Produit un nuage de points tridimensionnel. Acronyme rétroactif construit sur le modèle de radar.

MLS

Mobile Laser Scanner. LiDAR embarqué sur véhicule routier, train ou bateau. Numérisation en déplacement continu. Flotte IGN Stéréopolis pour les voies publiques françaises.

MNH

Modèle Numérique de Hauteur. Différence MNS – MNT. Donne la hauteur normalisée de chaque objet au-dessus du sol. Valeur 0 = sol. Utilisé pour les inventaires forestiers et la détection des bâtiments.

MNS

Modèle Numérique de Surface. Produit depuis le premier retour laser — représente tout ce qui dépasse du sol : végétation, bâtiments, infrastructures. Source pour calculer le MNH.

MNT

Modèle Numérique de Terrain. Produit en interpolant uniquement les points classifiés sol (classe 2 ASPRS). Représente le relief nu, sans végétation ni bâtiments. Référence pour les calculs hydrauliques, les pentes et les études de risques.

PDAL

Point Data Abstraction Library. Bibliothèque open-source de traitement batch de nuages de points. Pipelines JSON versionnables, filtrage, reprojection, classification, export raster. Licence BSD. Brique centrale de toute chaîne automatisée.

pts/m²

Points par mètre carré. Mesure de la densité d'un nuage de points LiDAR. IGN LiDAR HD : densité minimale de 10 pts/m². Applications de contrôle industriel : jusqu'à 100+ pts/m².

TLS

Terrestrial Laser Scanner. Scanner LiDAR stationnaire monté sur trépied. Précision millimétrique, champ de vision à 360°. Référence pour les relevés de façades, tunnels, patrimoine et contrôle industriel.

UAS LiDAR

Unmanned Aerial System LiDAR. LiDAR embarqué sur drone. Capteurs légers (< 500 g) accessibles aux PME depuis 2020. Surfaces de quelques hectares à quelques km².

Historique des révisions

VERSION	DATE	AUTEUR	MODIFICATIONS
v1.0.0	19 avril 2026	Mattieu Pottier	Version initiale
v1.0.1	19 avril 2026	Mattieu Pottier	Corrections post-relecture : doublon syntaxique conclusion, comptage outils Partie 7, cohérence profondeur ALB, timeline Velodyne→Ouster, prudence LAS 1.5, tarif R2 indicatif, nom exact algorithme QGIS, callout orientation lecteur non-développeur
v1.0.3	19 avril 2026	Mattieu Pottier	Correctif renderer : numbering auto → none pour supprimer la double numérotation des titres
v1.0.4	20 avril 2026	Mattieu Pottier	Remplacement du projet terrain : forêt guyanaise → forêt primaire La Réunion (préface, cas emblématique, citation, biographie auteur)
v1.0.5	20 avril 2026	Mattieu Pottier	Remplacement du bloc flowchart par SVG inline : branches oui/non complètes, losange D2 sur 2 lignes, labels français
v1.0.6	20 avril 2026	Mattieu Pottier	SVG arbre de décision enrichi : textes de contexte sur chaque branche, boîtes résultat avec détails stack, séparateurs visuels

À propos de l'auteur

Mattieu Pottier

Consultant indépendant en transformation digitale — MP-i · Mattieu Pottier Indépendant

Consultant freelance spécialisé en SIG (QGIS, PostGIS, développement Python géospatial), ERP Odoo et applications web. Intervient sur des projets de cadrage, conception, développement et accompagnement au changement pour des PME, ETI, bureaux d'études et collectivités. Expérience terrain sur des projets LiDAR en forêt primaire à La Réunion, cartographie de risques et mise en place de chaînes de traitement géospatial open-source.

mp-i.pro