



# **Guide d'orientation fédéral sur l'acquisition de données par lidar aéroporté**

Version 1.1

2017

Ressources naturelles Canada

Produit d'information général 117f

Ressources naturelles Canada

Sécurité publique Canada

© Sa Majesté la Reine du Chef du Canada,  
représentée par le ministre des  
Ressources naturelles, 2017

Lien permanent : <https://doi.org/10.4095/306355>

Pour obtenir des renseignements sur les droits de  
reproduction, veuillez communiquer avec Ressources  
naturelles Canada à l'adresse  
[nrcan.copyrightdroitdauteur.nrcan@canada.ca](mailto:nrcan.copyrightdroitdauteur.nrcan@canada.ca).



## *Table des matières*

REMERCIEMENT .....	1
AVIS .....	1
SÉRIE « GUIDES D'ORIENTATION FÉDÉRAUX SUR LA CARTOGRAPHIE DES PLAINES INONDABLES » .....	2
CADRE DE LA CARTOGRAPHIE DES PLAINES INONDABLES .....	2
LISTE DES ABRÉVIATIONS .....	3
1.0 INTRODUCTION ET OBJECTIF .....	5
2.0 NOTE SUR LA TERMINOLOGIE .....	6
3.0 PUBLIC CIBLE .....	6
4.0 STRUCTURE DU GUIDE D'ORIENTATION .....	6
5.0 RÉSUMÉ DES EXIGENCES RELATIVES À L'ENSEMBLE NATIONAL DE DONNÉES ALTIMÉTRIQUES .....	7
6.0 GUIDE D'ORIENTATION .....	9
6.1 Planification de projet .....	9
6.1.1 Méthode du projet .....	9
6.1.2 Instrumentation .....	10
6.1.3 Planification de la collecte des données .....	11
6.2 Collecte de données .....	13
6.2.1 Conditions .....	13
6.2.2 Densité des impulsions pour la collecte de données .....	14
6.2.3 Précision de la collecte de données .....	15
6.3 Traitement et gestion des données .....	16
6.3.1 Format des fichiers de données .....	16
6.3.2 Classification des impulsions .....	18
6.3.3 Système de coordonnées de référence .....	19
6.3.4 Famille de points .....	21
6.3.5 Structure de tuilage .....	21
6.3.6 Produits dérivés .....	23
6.4 Validation des données .....	24
6.4.1 Vérifications de la qualité .....	24
6.4.2 Précision du positionnement .....	24
6.4.3 Répartition spatiale et régularité .....	28
6.4.4 Vérification de la densité des impulsions .....	29

6.4.5	Zones sans données .....	29
6.4.6	Précision de la classification des impulsions.....	30
6.4.7	Vérification de l'exactitude relative.....	31
6.5	Produits à livrer.....	32
6.5.1	Produits à livrer.....	33
6.5.2	Données lidar brutes.....	36
6.6	Propriété des données et droit d'auteur .....	36
7.0	GLOSSAIRE.....	37
8.0	RÉFÉRENCES.....	45
ANNEXE A – Foresterie.....		46
ANNEXE B – Cartographie des plaines inondables .....		51
ANNEXE C – Terrain à fort relief.....		56
ANNEXE D – Cartographie des infrastructures urbaines .....		59
ANNEXE E – Contrat.....		64

## **REMERCIEMENT**

La *Série de guides d'orientation fédéraux sur la cartographie des plaines inondables* a été développée sous la direction du Comité de la cartographie des plaines d'inondables (CCPI), un partenariat entre Sécurité publique Canada, Ressources naturelles Canada, Environnement et Changement climatique Canada, le Conseil national de recherches du Canada, Recherche et développement pour la défense Canada et Affaires autochtones et du Nord Canada. Un groupe de travail technique (GTT) sur la cartographie des zones inondables mis sur pied en 2015 et composé d'intervenants provenant des administrations fédérales et provinciales, ainsi que du secteur privé et du milieu universitaire, a également offert de précieux commentaires sur la rédaction des documents de la *Série de guides d'orientation fédéraux sur la cartographie des plaines inondables*.

Nous souhaitons reconnaître les contributions importantes de M. Steven McArdle, président de 4DM inc, qui a développé ce document et Karl Hiedemann avec USGS qui a fourni un apport technique inestimable ainsi que son ouverture dans le partage de nombreuses expériences dans l'élaboration d'un guide aussi technique que celui-ci. Nous reconnaissons également que la base de ce document s'appuie sur de nombreuses spécifications lidar provinciales et internationales. En particulier, l'USGS "LiDAR Base Specification (v1.2, novembre 2014), et ASPRS LAS Specification v1.4 R13 15 juillet 2013 et ASPRS Positional Accuracy Standards for Digital Geospatial Data, novembre, 2014 ont été largement référencées dans ce guide d'orientation.

## **AVIS**

### **Exonération de responsabilité**

Le présent document technique a été publié par Sa Majesté la Reine du chef du Canada, représentée par Ressources naturelles Canada (RNCAN). RNCAN n'offre aucune garantie et ne fait aucune représentation, expresse ou implicite, légale ou autre en ce qui concerne le document, son efficacité, son exactitude ou son intégralité. RNCAN n'assume aucune responsabilité quant aux pertes ou dommages, directs ou indirects, engagés ou subis, en raison de l'utilisation faite du document, y compris la perte de profits, la perte de revenus ou de bénéfices, ou des réclamations par des tiers. En aucun cas RNCAN ne sera tenu responsable de pertes de quelque nature que ce soit découlant d'erreurs, d'imprécisions ou d'omissions dans ce document. RNCAN n'a aucune obligation, aucun devoir et aucune responsabilité en matière de contrat, de droit civil ou autre, y compris la négligence.

### **Renseignements supplémentaires**

Pour plus de renseignements à propos de ce document, veuillez communiquer avec le Centre canadien de cartographie et d'observation de la Terre de Ressources naturelles Canada à l'adresse suivante : [NRCAN.Geoinfo.RNCAN@Canada.ca](mailto:NRCAN.Geoinfo.RNCAN@Canada.ca).

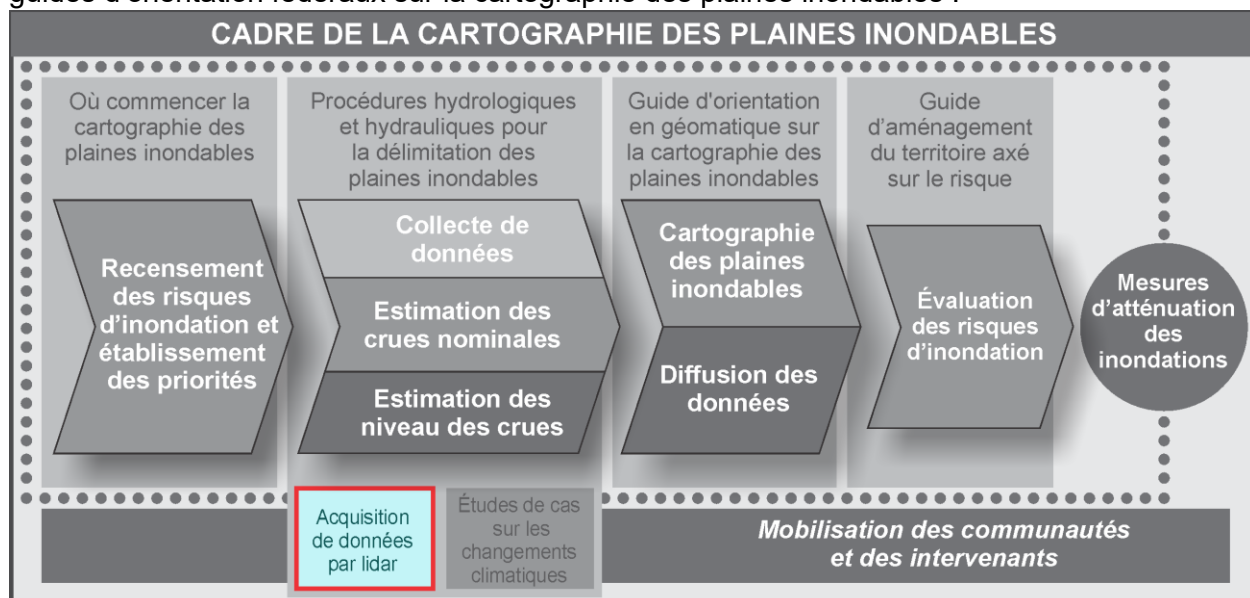
## SÉRIE « GUIDES D'ORIENTATION FÉDÉRAUX SUR LA CARTOGRAPHIE DES PLAINES INONDABLES »

Les documents qui suivent ont pour but d'informer toute personne ou organisme participant à la gestion des plaines inondables au Canada :

1. Cadre fédéral de la cartographie des plaines inondables (2017)
2. Recensement des risques d'inondation et établissement des priorités (*en cours de rédaction*)
3. Procédures hydrologiques et hydrauliques fédérales pour la délimitation des plaines inondables (2017)
4. **Ligne directrice fédérale sur l'acquisition de données par lidar aéroporté (2017)**
5. Études de cas sur les changements climatiques en cartographie des plaines inondables (2017)
6. Guide d'orientation en géomatique sur la cartographie des plaines inondables (2017)
7. Évaluation des risques d'inondation (*en cours de rédaction*)
8. Guide d'aménagement du territoire axé sur le risque : utilisation sécuritaire du territoire fondé sur l'évaluation des risques de dangers (2015)
9. Bibliographie des pratiques exemplaires et des références liées à l'atténuation des inondations (2017)

### CADRE DE LA CARTOGRAPHIE DES PLAINES INONDABLES

Le Cadre de la cartographie des plaines inondables comprend toutes les composantes du processus d'atténuation des inondations, de l'identification des risques d'inondation à la mise en œuvre des mesures d'atténuation des inondations. L'organigramme suivant illustre la relation entre ces différentes composantes et lie chacune d'entre elles au document de la Série de guides d'orientation fédéraux sur la cartographie des plaines inondables :



## LISTE DES ABRÉVIATIONS

Abréviation	Description
ASPRS	American Society of Photogrammetry and Remote Sensing
CCCOT	Centre canadien de cartographie et d'observation de la Terre
CGG2013	Géoïde canadien de 2013
CGVD	Système canadien de référence altimétrique
DNGI	Densité nominale globale des impulsions
DQM <sub>z</sub>	Différence quadratique moyenne dans l'axe des z (altitude)
EAZDV	Exactitude altimétrique sur les zones dépourvues de végétaux
EPC	Exactitude planimétrique calculée
ENGI	Espacement nominal global des impulsions
EPSG	European Petroleum Survey Group
EQM <sub>R</sub>	Erreur quadratique moyenne planimétrique dans la direction radiale (axes x et y)
EQM <sub>x</sub>	Erreur quadratique moyenne planimétrique dans l'axe des x (estant)
EQM <sub>y</sub>	Erreur quadratique moyenne planimétrique dans l'axe des y (nordant)
EQM <sub>z</sub>	Erreur quadratique moyenne altimétrique dans l'axe des z (altitude)
ESRI	Environmental Systems Research Institute
EAV	Évaluation altimétrique de la végétation
GLONASS	Globalnaya Navigazionnaya Sputnikovaya Sistema
GNSS	Global Navigation Satellite System
GPS	Global Navigation System
GRS80	Système de référence géodésique de 1980
Imp.	Impulsion(s)
ISO	Organisation internationale de normalisation
LAS	Format de fichier d'échange LASer
LAZ	LASzip
lidar	Détection et télémétrie par ondes lumineuses
MNA	Modèle numérique d'altitude
MNS	Modèle numérique de surface
MNT	Modèle numérique de terrain
NQC	Niveau de qualité canadien
OGC	Open Geospatial Consortium
PDOP	Affaiblissement de précision de la position
PIR	Proche infrarouge
PPP	Positionnement ponctuel précis
RNCan	Ressources naturelles Canada
RTK	Cinématique en temps réel
SBET	Meilleure estimation de trajectoire lissée
SCRS	Système canadien de référence spatiale
SNI	Système de navigation par inertie
SNRC	Système national de référence cartographique

<b>SRFC</b>	Station de référence à fonctionnement continu
<b>SRV</b>	Système de référence virtuel
<b>TIN</b>	Réseau triangulé irrégulier
<b>UMI</b>	Unité de mesure inertielle
<b>USGS</b>	United States Geological Survey
<b>UTM</b>	Transverse universelle de Mercator
<b>WKT</b>	Well Know Text
<b>XML</b>	Langage de balisage extensible
<b>ZI</b>	Zone d'intérêt
<b>ZICD</b>	Zone d'intérêt pour la collecte des données

## 1.0 INTRODUCTION ET OBJECTIF

L'élaboration du présent document a été coordonnée par le Centre canadien de cartographie et d'observation de la Terre (CCCOT), qui fait partie de Ressources naturelles Canada (RNCan), en réponse aux besoins de la communauté géospatiale et du gouvernement à l'égard d'un guide d'orientation national pour l'acquisition de données lidar aéroporté. L'une des stratégies clé du CCCOT est d'améliorer l'ensemble des données nationales d'altimétrie par l'application cohérente de la technologie lidar aéroporté. Au Canada, le lidar a été largement adopté par les municipalités, les provinces, les territoires et les ministères fédéraux comme technologie principale pour l'acquisition de données altimétriques de haute précision. Le présent document vise à définir les orientations minimales pour l'uniformisation de l'acquisition des données lidar aéroporté à toutes les échelles du gouvernement du Canada, et pour améliorer la coopération internationale avec les États-Unis le long des zones frontalières où des données sont recueillies.

Afin de favoriser l'harmonisation à l'échelle du gouvernement et de l'industrie, un guide d'orientation de base portant sur les lidar et axé sur les exigences relatives à la constitution d'un ensemble national de données altimétriques à haute résolution a été élaboré. Le processus d'élaboration du guide d'orientation a compris une consultation d'intervenants du gouvernement, de l'industrie et du milieu universitaire, ainsi qu'un examen des pratiques exemplaires à l'échelle internationale afin de fournir une vue d'ensemble. Le guide d'orientation national tient compte de nombreuses considérations complexes, dont l'acquisition de données, le traitement et la validation de celles-ci, et les produits à livrer, et il est axé sur l'élaboration de données précises d'altimétrie. Le guide d'orientation met l'accent sur les exigences relatives à la qualité et à l'exactitude des données, et ce, sans limiter l'innovation et les futures avancées technologiques. Le présent guide d'orientation n'a pas pour but de limiter les exigences propres aux projets, mais il existe des cas où certaines spécifications liées à l'acquisition de données lidar peuvent être assouplies ou modifiées en raison de facteurs telles les exigences relatives aux données du projet et des considérations financières. Le présent guide d'orientation vise à établir un seuil de qualité minimal afin de répondre aux besoins du gouvernement fédéral à l'égard d'un ensemble national de données altimétriques. Le guide d'orientation contient également des directives additionnelles pour l'acquisition de données lidar dans des champs d'applications spécifiques, notamment en foresterie, en cartographie des plaines inondables et en cartographie des régions à fort relief et des infrastructures urbaines.

L'industrie du lidar en est une qui dépend fortement de la technologie de pointe et qui, de ce fait, voit des améliorations constantes au niveau des logiciels et des méthodes utilisées dans le cadre des analyses lidar et des composantes technologiques utilisées pour la réalisation des levés. Le présent document reflète les pratiques exemplaires en matière d'acquisition de données lidar au moment de sa publication. Ressources naturelles Canada entend mettre régulièrement à jour ce document, au fur et à mesure que l'industrie se développera.



## **2.0 NOTE SUR LA TERMINOLOGIE**

Le présent guide d'orientation contient de nombreuses références à des termes utilisés spécifiquement dans l'industrie et qui peuvent varier par rapport à d'autres secteurs d'application ou d'autres lignes directrices ou spécifications. Par exemple, dans le domaine des lidars, le terme « MNA du sol nu » est couramment utilisé pour désigner la surface du terrain. Dans le présent guide d'orientation, le terme « modèle numérique de terrain (MNT) » est utilisé conformément à la terminologie de la Spécification de projet, 1<sup>re</sup> édition – série CanÉlévation – Modèle numérique d'élévation à haute résolution (MNEHR). L'abréviation MNT est considérée comme un équivalent de MNA du sol nu. Les termes MNA et MNE sont considérés comme équivalents. De plus, le terme « impulsion » est utilisé pour représenter l'énergie laser électromagnétique émise et reçue, tandis que le terme « données ponctuelles » représente les données qui ont été post-traitées et classifiées en un nuage de points. Un glossaire, inclus dans le présent document, définit les termes utilisés dans le contexte du présent guide d'orientation.

## **3.0 PUBLIC CIBLE**

Le présent document, qui fait partie de la Série de guides d'orientation fédéraux sur la cartographie des plaines inondables au Canada, est destiné à être utilisé en tant que ressource pour l'acquisition de données d'altitude de base à partir de données lidar aéroporté aux quatre coins du Canada. Il vise à fournir des conseils aux ministères fédéraux, provinciaux et territoriaux qui ont pour responsabilité de fournir des directives techniques à leurs organismes de mise en œuvre. Le présent document est également destiné aux personnes et aux organisations canadiennes qui ont besoin de comprendre et de planifier l'acquisition de données lidar par levés aériens. Les utilisateurs du présent guide d'orientation peuvent comprendre les gestionnaires de ministères, les coordonnateurs de projets, les experts en géomatique, les ingénieurs en ressources hydriques et les planificateurs du gouvernement et de l'extérieur. Le document présume que les utilisateurs ont une connaissance de base de la technologie et des données lidar, y compris de la terminologie et de la structure des données.

Certaines provinces et certains territoires ont déjà élaboré leur propre guide d'orientation pour l'acquisition de données par lidar aéroporté. Le présent guide d'orientation sert de base pour harmoniser davantage les exigences relatives à l'acquisition de données lidar à l'échelle du Canada.

## **4.0 STRUCTURE DU GUIDE D'ORIENTATION**

Le guide d'orientation a été organisé selon une structure organisationnelle comprenant des volets de planification, de collecte, de traitement, de validation de données et de fourniture de produits de données lidar aéroporté dans le contexte d'un paysage canadien. Les informations relatives aux applications de la cartographie des forêts, des infrastructures urbaines, des plaines

inondables et des zones à fort relief figurent dans les annexes du présent document, lesquelles comprennent notamment les pratiques exemplaires en matière de collecte de données lidar aéroporté. Les données et les paramètres de collecte recommandés sont également fournis dans cette section. En outre, le présent guide d'orientation comprend aussi une annexe portant sur les éléments contractuels liés à la collecte de données dans le cadre de projets. Le présent guide est structuré en catégories, comme suit :

1. Planification
2. Acquisition
3. Traitement des données
4. Validation
5. Produits à livrer

## **5.0 RÉSUMÉ DES EXIGENCES RELATIVES À L'ENSEMBLE NATIONAL DE DONNÉES ALTIMÉTRIQUES**

La Stratégie nationale sur les données altimétriques du Gouvernement du Canada vise à accroître la zone couverte par les données altimétriques à haute résolution au Canada. Le lidar aéroporté constitue un élément technologique clé de cette stratégie. L'objectif est d'élaborer une grille nationale d'altitudes à une résolution d'un mètre pour la partie méridionale du Canada (c'est-à-dire la partie qui s'étend au sud de la limite de la forêt productive). Le présent guide d'orientation énonce les exigences relatives à l'utilisation de données lidar aéroporté pour l'atteinte de l'objectif. Les exigences minimales concernant l'acquisition de données lidar aéroporté pour la création du produit national d'altimétrie sont résumées dans le tableau 1.

Le guide a mis l'accent sur les données et leur qualité. Collectivement, les exigences ont été désignées « niveau de qualité canadienne 1 » (NQC1). La portée des futures versions du présent document pourrait être élargie afin d'inclure des niveaux de qualité additionnels, par exemple des secteurs d'applications spécifiques comme celui de la cartographie des infrastructures urbaines et des plaines inondables. Le reste du document fournit de plus amples détails sur les spécifications du NQC1, y compris sur la planification de projets, la validation des données et les produits à livrer. On y trouve également des recommandations, des postulats et des considérations. Il est recommandé aux utilisateurs de lire l'ensemble du présent document pour en apprendre plus sur les exigences.

Tableau 1. Niveau de qualité canadienne 1 (NQC1) – Résumé des principales exigences relatives à la cartographie topographique de base.

Exigences	Niveau de qualité canadienne 1 (NQC1)	Catégorie
Densité des impulsions (DNGL)	$\geq 2$ impulsions/m <sup>2</sup>	Acquisition
Espacement entre les impulsions (ENGL)	$\leq 0,71$ m	Acquisition
Exactitude altimétrique (EAZDV)		
Erreur quadratique altimétrique moyenne (EQM <sub>Z</sub> )	$\leq 10,0$ cm	Acquisition
Exactitude altimétrique – niveau de confiance de 95 % ( $\approx 1,96 * EQM_Z$ )	$\leq 19,6$ cm	Acquisition
Exactitude altimétrique (EAV) – 95 <sup>e</sup> percentile	$\leq 29,4$ cm	Acquisition
Exactitude planimétrique (EPF)		
Erreur quadratique planimétrique moyenne (EQM <sub>R</sub> )	$\leq 35,1$ cm	Acquisition
Exactitude planimétrique – niveau de confiance de 95 % ( $\approx 1,7308 * EQM_R$ )	$\leq 60,0$ cm	Acquisition
Exactitude planimétrique calculée (EPC)	$\leq 60,0$ cm	Acquisition
Exactitude altimétrique relative		
Intrafauchée (répétabilité sur surfaces lisses)	$\leq 6$ cm	Validation
Intrafauchée (écart dans le chevauchement des fauchées) – EQM <sub>Z</sub>	$\leq 8$ cm	Validation
Intrafauchée (différence dans le chevauchement des fauchées) – écart maximal	$\pm 16$ cm	Validation
Plan de référence planimétrique	NAD83 SCRS epoch 2010	Acquisition
Plan de référence altimétrique	CGVD 2013	Acquisition
Modèle du géoïde	CGG2013	Acquisition
Projection cartographique	Transverse Universelle de Mercator	Acquisition
Chevauchement minimal interfauchée	15 %	Acquisition
Retours d'impulsion	Minimum 2 retours (premier et dernier). Intermédiaire sont facultatifs.	Acquisition
Classification	1 – Traité mais non classifié 2 – Sol 9 – Eau 7 – Points bas (bruit) 17 – Tabliers de pont 18 – Bruit élevé (bruit)	Traitement

## 6.0 GUIDE D'ORIENTATION

### 6.1 Planification de projet

Avant la collecte de données lidar aéroporté, le fournisseur entreprendra des activités visant à concevoir un plan d'acquisition et un plan de traitement de données qui respectent les spécifications du présent document. Les principales activités de planification sont indiquées dans les sections qui suivent. Ces activités constitueront une partie des produits à livrer dans le cadre du projet. Les sections ci-dessous indiquent le type d'informations qui seront réunies sous forme de rapport de projet.

#### 6.1.1 Méthode du projet

##### *Description*

Le fournisseur est tenu de fournir les détails de la méthode qu'il a retenue pour satisfaire les exigences techniques des spécifications. La méthode de projet doit être décrite dans un rapport de planification de projet qui sera présenté préalablement à la collecte de données.

##### *Exigences*

Les principales exigences relatives à la méthode du projet sont présentées dans le Tableau 2.

Tableau 2. Exigences relatives à la méthode du projet.

Nom	Description	Catégorie
<b>Planification du vol</b>	Détails relatifs à la zone couverte par le vol, à l'emplacement des lignes de vol et des lignes transversales d'arrimage, y compris des références visuelles telles des cartes et des images. Un plan de travail détaillé comprenant des mesures de contrôle de la qualité ainsi qu'un processus d'arpentage sera fourni.	Planification
<b>Contrôle d'arpentage</b>	La mesure de contrôle d'arpentage proposée appuyant le système GNSS aéroporté et les mesures de validation au sol seront présentées en détail, y compris les stations de base (actives ou passives) qui seront utilisées et les informations de référence sur le contrôle de position.	Planification
<b>Vérification au sol</b>	Détails relatifs à la vérification prévue au sol et aux mesures in situ, y compris l'emplacement et la méthode proposée de collecte de données de levés au sol.	Planification
<b>Traitement des données</b>	Détails portant sur le traitement prévu des données, y compris les logiciels, les méthodes, le filtrage et toute donnée auxiliaire qui seront utilisés pour le traitement des données. Un schéma de déroulement des travaux montrant les étapes du traitement des données et les procédures de contrôle de la qualité intégrées aux activités de traitement sera aussi inclus.	Planification

<b>Contrôle de la qualité</b>	Méthode de validation des données, vérification de la classification, vérification de l'exactitude, de zones vides au sein des nuages de points et autres vérifications des données. L'information devrait comprendre la fréquence de l'échantillonnage ainsi que la quantité d'échantillons prélevés.	Planification
<b>Calendrier</b>	Calendrier prévu de collecte de données aéroportées et de vérification au sol.	Planification

*Considérations, limites et postulats*

Tout écart par rapport à la méthode du projet sera communiqué à l'autorité contractante avant la collecte des données, aux fins d'examen et d'approbation.

### 6.1.2 Instrumentation

*Description*

Un document fournissant des détails sur l'équipement d'arpentage aéroporté et au sol qui sera utilisé dans le cadre du projet doit être fourni. Ce document devrait comprendre les spécifications (y compris le fabricant, le modèle et l'année) du capteur lidar, du système GNSS utilisé dans l'aéronef, du capteur UMI et de l'instrumentation de levé au sol. De plus, le document devrait fournir des informations sur l'étalonnage des capteurs, notamment la date du dernier étalonnage. Enfin, le document devrait être fourni dans le cadre des produits à livrer du projet.

*Exigences*

Tableau 3. Exigences relatives aux instruments.

<b>Nom</b>	<b>Description</b>	<b>Catégorie</b>
<b>Capteur</b>	Des détails concernant le capteur lidar seront fournis, notamment le nom du fabricant, l'année, le modèle, le propriétaire, ainsi que la date du plus récent étalonnage. Une copie du plus récent certificat d'étalonnage du système complet par le fabricant, y compris pour le laser, l'UMI et le système GNSS utilisé peut être exigée. Ce certificat doit être fourni sur demande. Toute modification au capteur, toute défaillance de celui-ci ou tout remplacement avant ou pendant la collecte des données doit être signalé.	Planification
<b>GNSS</b>	Le type de capteurs de position utilisés pour l'acquisition (au sol et dans les airs) doit être documenté. Il incombe d'indiquer le nom du fabricant, l'année et le modèle du capteur. Toute information sur le réseau de référence (actif ou passif), y compris le numéro, les monuments d'emplacement, les énoncés de référence et les coordonnées publiés, doit être fournie.	Planification

<b>UMI</b>	Il incombe de fournir les détails relatifs à l'UMI pour la collecte des données, y compris le nom du fabricant, l'année et le modèle.	Planification
------------	---	---------------

#### *Considérations, limites et postulats*

Tout écart par rapport à l'instrumentation proposée doit être communiqué à l'autorité contractante avant la collecte des données, aux fins d'approbation. L'instrumentation de rechange doit être de qualité égale ou supérieure aux capteurs prévus. L'autorité contractante se réserve le droit d'accepter ou de refuser les changements proposés.

### 6.1.3 Planification de la collecte des données

#### *Description*

Les exigences minimales relatives à la planification de la collecte des données lidar aéroporté sont énoncées ci-dessous.

#### *Exigences*

Tableau 4. Exigences relatives à la planification de la collecte de données.

<b>Nom</b>	<b>Description</b>	<b>Catégorie</b>
<b>Zone d'intérêt (ZI)</b>	Une zone d'intérêt pour le projet est définie sous la forme d'une limite géographique fermée définie d'après le système de coordonnées établi dans le présent guide d'orientation.	Planification
<b>Zone d'intérêt pour la collecte de données (ZICD)</b>	Une zone tampon de 100 mètres est appliquée uniformément à la ZI. Cette zone tampon représente la région couverte par les activités de collecte de données. Les données recueillies dans la zone tampon doivent être soumises dans le cadre des produits à livrer et elles doivent être recueillies selon les mêmes exigences que les données recueillies dans la ZI.	Planification
<b>Retours discrets</b>	Les systèmes utilisés pour recueillir les données doivent pouvoir recueillir de multiples retours discrets par impulsion. Au minimum, premier et dernier retours sont exigés. Les retours intermédiaires sont facultatifs. Les données sur la forme d'onde sont optionnelles.	Planification
<b>Intensité</b>	L'intensité de chacun des retours discrets sera enregistrée et stockée sous forme de valeur normalisée à 16 bits. Un rehaussement linéaire sera appliqué comme défini dans la spécification ASPRS LAS 1.4 R13 à la page 10.	Planification
<b>Chevauchement des fauchées</b>	Un chevauchement des fauchées d'au moins 15 % est requis.	Planification

*Considérations, limites et postulats*

- L'acquisition de données lidar aéroporté dépend de l'utilisation d'une source de données de référence pour établir avec précision l'emplacement des retours d'impulsions lidar provenant de la surface terrestre. Les données de référence servant à cartographier l'emplacement des signaux réfléchis utilisent un ensemble de systèmes mondiaux de navigation par satellites (GNSS). Ces systèmes comprennent différentes constellations (GPS, GLONASS, QZSS, Galileo ou BeiDOU). Toutefois, l'application du système de positionnement GNSS est affectée par la géométrie des satellites et les éruptions solaires qui créent de l'instabilité dans l'ionosphère. Il est recommandé qu'un affaiblissement de la précision de position (PDOP) soit toujours inférieur à 3, qu'au moins 7 satellites soient toujours en vue et que la météorologie solaire soit vérifiée avant et pendant la collecte des données. En ce qui concerne la correction des signaux GNSS, les stations au sol devraient habituellement se trouver dans un rayon maximum de 25 à 35 km de la collecte sur le terrain. Selon la taille et la configuration de la ZICD, deux stations ou plus pourraient être requises lorsque le rayon d'action dépasse les 35 km. La correction GNSS à contrôle actif pour la cinématique en temps réel (RTK) qui utilise des stations de référence opérationnelles continues (SROC) pour la correction en temps réel ou le post-traitement, comme le positionnement ponctuel précis (PPP) des levés géodésiques canadiens, est acceptée. Le fournisseur doit fournir des informations sur la méthode positionnelle et s'assurer que la solution proposée satisfait les exigences en matière d'exactitude du présent guide d'orientation. De plus amples renseignements se trouvent dans les Lignes directrices concernant les levés GNSS en mode RTK/RTN au Canada (2013). Les lignes de vol transversales d'arrimage sont des lignes de vol acquises perpendiculairement aux lignes de vol prévues pour l'acquisition des données. Les lignes de vol transversales d'arrimage fournissent des données qui appuient la validation de l'exactitude et qui peuvent être utilisées pour appuyer l'ajustement des données, notamment dans les cas de mauvaise PDOP inattendue. Il est fortement recommandé d'acquérir ce type de lignes afin d'appuyer l'évaluation et la validation de la qualité des données.
- Il est recommandé que les fauchées se chevauchent d'au moins 15 % afin d'appuyer l'évaluation de la qualité entre les fauchées adjacentes et de réduire le plus possible les vides potentiels dans les nuages de points. À l'heure actuelle, le chevauchement des fauchées lors des activités de collecte est laissé à la discrétion du responsable de la collecte de données afin de s'assurer qu'il n'y a aucun vide dans les portions utilisables des fauchées (typiquement au centre de 95 % de la largeur de la fauchée) et que la densité des données requises est atteinte.
- L'angle de balayage utilisé pour la collecte des données lidar aéroporté est habituellement compris entre  $\pm 15$  et  $\pm 30$  degrés. Des angles de balayage plus larges ne sont pas recommandés puisqu'ils entraînent une empreinte accrue, ce qui réduit l'énergie de l'impulsion aux extrémités de la fauchée et accroît les erreurs de positionnement et la diffusion sur les arêtes des structures verticales. En outre, lors de la collecte sur des terrains ondulés et / ou en relief élevé, des angles de balayage plus élevés sont déconseillés. Les pratiques exemplaires misent sur des angles variant entre  $\pm 20$  et  $\pm 25$  degrés. La sélection des angles de balayage devrait tenir compte des objectifs du projet et des exigences en matière d'exactitude altimétrique et planimétrique.

## 6.2 Collecte de données

Cette section fournit les détails pour rencontrer les exigences minimales d'acquisition de données de NQC1 pour la cartographie topographique de base lors de la planification de l'acquisition de données lidar aéroporté.

### 6.2.1 Conditions

#### *Description*

La collecte de données lidar est affectée par les conditions à la surface et dans l'atmosphère, lesquelles ont une incidence sur la qualité et la quantité de retours d'impulsions lidar. Cette section décrit les exigences minimales (atmosphériques, de surface et autres) requises pour l'acquisition de données lidar aéroporté.

*Tableau 5. Exigences concernant les conditions de la collecte de données.*

Nom	Description	Catégorie
<b>Atmosphériques</b>	La collecte ne devrait pas avoir lieu lorsqu'il pleut, lorsqu'il neige, ou lorsqu'il y a de la fumée ou du brouillard. Il ne devrait pas y avoir de brume sèche ou de nuages entre l'aéronef et le sol.	Acquisition
<b>Surface</b>	La surface ne doit pas être inondée, elle ne doit pas être recouverte de neige et il ne doit pas y avoir d'accumulations de glaces sur les rives ou au sol. Pour que l'acquisition des données puisse avoir lieu, le sol doit être sec. La présence de givre est acceptable.	Acquisition
<b>Marées</b>	En ce qui concerne les zones affectées par les marées, la collecte de données doit avoir lieu à moins de deux heures de la marée basse. La marée basse est le moment où la marée sera à son point le plus bas pour le lieu et l'heure donnés où la collecte aura lieu.	Acquisition
<b>Levé</b>	L'activité solaire et les conditions du GNSS affectant l'affaiblissement géométrique de la position lors de l'acquisition doivent faire l'objet d'un suivi et être consignées.	Acquisition
<b>Considérations temporelles</b>	Outre l'exigence de marée basse, il n'y aucune restriction quant au moment de la journée où l'acquisition de données lidar peut avoir lieu. Les données peuvent être acquises de jour comme de nuit, pourvu que la collecte de données respecte les dispositions réglementaires ou juridiques et que les exigences en matière de sécurité soient scrupuleusement respectées.	Acquisition



*Considérations, limites et postulats*

- On encourage la collecte des données lidar lorsque le débit des cours d'eau est à son plus bas (étiage) afin de maximiser la couverture du lit des rivières et des plaines inondables.
- À la discrétion de l'autorité contractante, on peut passer outre à l'exigence voulant que la surface ne soit pas enneigée pour les zones où l'on retrouve en permanence des champs de neige ou des glaciers.
- Sauf pour les projets spéciaux de collecte de données sur la végétation (par exemple, les études portant sur la biomasse forestière), il est préférable de procéder à la collecte de données lorsque les arbres ont perdu leurs feuilles puisque cela autorise une meilleure pénétration au sol et donne une surface de sol nu de meilleure qualité (voir l'annexe A). La collecte de données lorsque les arbres portent leurs feuilles peut être acceptable si la méthode de collecte du fournisseur permet d'atteindre un niveau de pénétration suffisant pour obtenir une caractérisation fiable et précise du sol nu qui satisfait aux exigences. L'autorité contractante travaillera de pair avec le fournisseur afin de déterminer les conditions de végétation acceptables pour une acquisition de données lidar dans la ZICD.
- Un couvert de neige très mince (moins d'un centimètre) n'occasionnant pas de poudrière peut être acceptable. La décision est laissée à la discrétion de l'autorité contractante.

**6.2.2 Densité des impulsions pour la collecte de données***Description*

Dans le présent guide d'orientation, la densité et l'espacement des impulsions lidar dans la ZICD sont définis comme étant la densité nominale globale des impulsions (DNIGI) et l'espacement nominal global entre les impulsions (ENGI). La densité / espacement de l'impulsion globale est appelée une densité / espacement de l'impulsion globale, de sorte qu'une bande peut chevaucher d'autres bandes complètement, partiellement ou pas du tout. On obtient un chevauchement de fauchée lorsqu'une partie de celle-ci est recouverte par une ligne de vol adjacente, lorsqu'un capteur unique survole une partie de fauchée déjà observée, ou que des données sont acquises par deux capteurs indépendants à l'aide d'UMI distinctes à l'aide d'axes de visée distincts d'un même aéronef. On considère qu'un système à deux canaux exploitant un seul système de navigation par inertie (SNI) acquière des données dans une seule fauchée. Pour ce qui est des fauchées qui n'ont aucun chevauchement, la DNIGI/ENGI équivalent à la densité nominale des impulsions (DNI) et à l'espacement nominal entre les impulsions (ENI). Prière de consulter le glossaire pour de plus amples détails à ce sujet.

### Exigences

Tableau 6. Exigences relatives à la densité des impulsions et absences de données.

Nom	Description	Catégorie
Densité des impulsions (DNGI)	$\geq 2,0$ impulsions/m <sup>2</sup> pour les premiers retours et retours uniques dans la ZICD	Acquisition
Espacement entre les impulsions (ENGI)	$\leq 0,71$ m	Acquisition
Retours laser	La collecte de données par impulsions repose sur les retours d'impulsions laser reçues au niveau du capteur. Au minimum, les premiers et les derniers retours sont nécessaires et les retours intermédiaires sont optionnels.	Acquisition

### Considérations, limites et postulats

- Dans le présent guide d'orientation, la DNGI et l'ENGI renvoient à la densité et à l'espacement global net des impulsions pour de multiples capteurs indépendants ou de multiples fauchées qui se chevauchent. Pour ce qui est des fauchées uniques, la DNGI et l'ENGI correspondent à la DNI et à la ENI, respectivement.
- Les impulsions intermédiaires peuvent fournir des informations additionnelles pour les applications axées sur les forêts/les arbres, les lignes de transmission/distribution d'énergie et les bâtiments.

## 6.2.3 Précision de la collecte de données

### Description

Cette section porte sur les exigences d'exactitudes altimétrique et planimétrique absolue et relative lors de l'acquisition de données lidar.

### Exigences

Tableau 7. Exigences d'exactitude lors de la collecte de données.

Nom	Description	Catégorie
Exactitude altimétrique, zones dépourvues de végétation (EAZDV)		
Erreur quadratique moyenne altimétrique (EQM <sub>z</sub> )	$\leq 10,0$ cm	Acquisition
Exactitude altimétrique – niveau de confiance de 95 % ( $1,96 * EQM_z$ )	$\leq 19,6$ cm	Acquisition
Exactitude altimétrique – zone avec végétation (EAV)	$\leq 29,4$ cm au 95 <sup>e</sup> percentile	Acquisition
Exactitude planimétrique fondamentale (EPF)		

Erreur quadratique moyenne planimétrique (EQM <sub>r</sub> )	≤ 35,1 cm	Acquisition
Exactitude planimétrique – niveau de confiance de 95 % ( 1,7308 * EQM <sub>r</sub> )	≤ 60,0 cm	Acquisition
Exactitude planimétrique calculée (EPC)	≤ 60,0 cm	Précision
Exactitude altimétrique relative		
Intrafauchée (répétabilité des surfaces lisses et dures)	≤ 6 cm	Acquisition
Interfauchée (écarts dans le chevauchement des fauchées – EQM <sub>z</sub> )	≤ 6 cm	Acquisition

Exactitude planimétrique calculée (EPC) – L'exactitude planimétrique est influencée par les erreurs positionnelles du GNSS, les erreurs angulaires provenant de l'UMI utilisée et de l'altitude de vol. Une exactitude planimétrique calculée sera dérivée à l'aide de l'erreur quadratique planimétrique moyenne du lidar (EQM<sub>r</sub>) énoncée dans la norme ASPRS 2014 *Positional Accuracy Standards for Digital Geospatial Data*, section 7.5 (consulter le glossaire pour l'équation).

*Considérations, limites et postulats*

- L'évaluation de l'exactitude devrait être réalisée à l'intérieur de la partie de la fauchée géométriquement utilisable (habituellement la bande qui occupe 95 % de la largeur de la fauchée à partir du centre), et elle devrait présumer que l'exactitude planimétrique et altimétrique des points de contrôle au sol est < 5 cm dans 95 % des cas (voir la section 6.4.1 portant sur la vérification de l'exactitude).
- L'exactitude altimétrique relative est utilisée pour examiner la stabilité géométrique dans toutes les parties de la fauchée et vérifier l'uniformité des données. La partie de chevauchement peut être considérée comme une mesure de l'alignement géométrique de deux fauchées qui se chevauchent par rapport aux décalages positionnels et à l'alignement vertical. En outre, l'exactitude relative est une mesure prise à l'intérieur de la fauchée qui permet de détecter toute donnée d'impulsion anormale potentielle causée par des problèmes avec le laser ou par des irrégularités du capteur. L'évaluation doit être réalisée à plusieurs endroits dans la ZICD. Voir la section sur la validation des données pour de plus amples renseignements.

## 6.3 Traitement et gestion des données

### 6.3.1 Format des fichiers de données

*Description*

Les données de nuages de points lidar recueillies devraient être stockées dans le format ASPRS LASer (.las). En ce qui concerne le stockage de masse des données, les fichiers LAS peuvent être compressés sans perte dans le format LAZ (LAS zippé).

*Exigences*

Tableau 8. Exigences relatives au format des fichiers de données.

Nom	Description	Catégorie
<b>Norme</b>	La norme ASPRS LAS 1.4 – R13 sera utilisée pour le stockage des données de nuages de points lidar. La norme LAS 1.4 passe à une structure de fichiers 64-bits.	Traitement des données
<b>Contenu</b>	Le champ de l'en-tête public doit être rempli.	Traitement des données
<b>Données d'impulsion</b>	Les formats d'enregistrement 6, 7, 8, 9 ou 10 devront être utilisés pour les données d'impulsions discrètes. Le format dépendra de l'ajout ou non d'informations couleur et de l'ajout ou non de paquets d'ondes à la structure de dossier LAS.	Traitement des données
<b>Chevauchement et dépassement</b>	Les impulsions de dépassement dans la zone de chevauchement de fauchée (c.-à-d. Les points qui ne font pas partie du filet) doivent être identifiées comme utilisant le bit de chevauchement 3 tel que décrit dans le tableau 16 de la spécification LAS 1.4 - R13 'Specification for record format 6'. La classification de points de dépassement / chevauchement n'est pas autorisée. Voir la définition de dépassement dans le glossaire.	
<b>Impulsions mises de côté</b>	Les impulsions mises de côté en raison du bruit, de points de données erronés et de points peu fiables sur le plan géométrique devraient être retenues au moyen du bit de classification 2, conformément au tableau 16 de la spécification LAS 1.4 – R13.	Traitement des données
<b>Identification des fauchées</b>	Un identificateur de fichier unique pour les fauchées individuelles doit être appliqué avant le traitement des données et il doit être disponible pour lier chacune des fauchées à une source, tel qu'indiqué dans la spécification LAS 1.4. Un identificateur de source ponctuelle (Point Source ID) doit également être affecté à chacun des points à l'intérieur d'une fauchée, et cet identificateur doit correspondre à l'identificateur de fichier unique. Ces deux identificateurs doivent être permanents et être conservés tout au long du processus de traitement des données.	Traitement des données
<b>Géoréférencement</b>	Une géoréférence appropriée et adéquatement formatée doit être présente dans tous les en-têtes des fichiers LAS. On utilisera le Well Know Text (WKT) du Open Geospatial Consortium (OGC) comme système de coordonnées de référence (SCR).	Traitement des données
<b>Accès libre</b>	Seul le format libre LAS doit être utilisé. Aucun format exclusif n'est accepté.	Traitement des données
<b>Compression</b>	La compression du format LAS à l'aide d'un produit logiciel libre est acceptable pour la gestion des données. La	Traitement des données

	compression doit être sans perte et assurer une conversion harmonieuse qui préserve toutes les informations. Le format LAZ est le format de compression recommandé. L'autorité contractante indiquera le format de fichier spécifique requis en qualité de produit à livrer.	
<b>Temps GPS</b>	Chaque mesure de position d'un aéronef effectuée par le Système mondial de navigation par satellite (GNSS) doit être horodatée au moyen de l'heure ajustée du système mondial de localisation (GPS) et ce, à une précision suffisante pour permettre l'application d'horodatages uniques à chacune des impulsions lidar. L'heure GPS ajustée est l'heure du satellite GPS moins $1 \times 10^9$ . La balise de codage de l'en-tête LAS doit être correctement réglée.	Traitement des données
<b>Unités de mesure</b>	Les mesures sont exprimées en mètres (m) et doivent comprendre, au minimum, 3 décimales.	Traitement des données

*Considérations, limites et postulats*

- Les spécifications sur la géoréférence sont actuellement établies dans la norme OGC 2001 WKT qui a depuis été obsolète. En 2015, OGC a adopté les normes ISO WKT. Cependant, les normes ASPRS LAS sont toujours basées sur le texte OGC 2001 WKT. La mise à jour de la spécification de géoréférence peut être requise dans l'avenir.
- À sa discrétion, l'autorité contractante peut exiger les données de forme d'onde, lesquelles sont optionnelles.
- Toutes les données recueillies dans la ZICD doivent être traitées et fournies en tant que produit à livrer. Aucune donnée d'impulsion ne doit être supprimée des fichiers de fauchée LAS.

### 6.3.2 Classification des impulsions

*Description*

Toutes les données sur les impulsions lidar, à l'exception des impulsions mises de côté, seront assujetties à un processus de classification. Tous les éléments topographiques de surface (végétation, bâtiments et autres objets) sont filtrés pour produire des données ponctuelles de « sol nu ». Le logiciel et les processus utilisés, tout comme le recours à des données auxiliaires pour atteindre le seuil d'exactitude de la classification est laissé à la discrétion du fournisseur. La structure de la classification reposera sur la spécification LAS 1.4 – R13 pour le format d'enregistrement 6-10 de données ponctuelles, tableau 17. Les impulsions non désignées comme étant retenues doivent être traitées aux fins de classification. Aucune donnée du nuage de points LAS ne doit être assignée à la classe 0 (donnée créée, mais non classée).

*Exigences*

La désignation de classe minimale est indiquée ci-dessous.

Tableau 9. Exigences relatives à la classification des impulsions (classes exigées selon la norme LAS 1.4-R13).

Nom	Description	Catégorie
<b>Classification</b>	1 – Traitée mais non classifiée 2 – Sol 9 – Eau 7 – Points bas (bruit) 17 – Tabliers de ponts 18 – Bruit élevé	Traitement des données

*Considérations, limites et postulats*

- Si des lignes de rupture sont requises, il est recommandé d'inclure la classe 20 – segment au sol ignoré (à proximité d'une ligne de rupture). Remarque : La classe 10 LAS de l'ASPRS qui a été utilisée dans le passé pour les points au sol ignorés est maintenant affectée aux points de type ferroviaire.
- Les points créés à partir de techniques indépendantes des données lidar telles que la numérisation à partir d'un modèle stéréoscopique de photographies aériennes sont considérés comme des points synthétiques. Les points synthétiques sont découragés et, s'ils sont utilisés, doivent être classés en utilisant un encodage dont le bit est réglé à la valeur 0. Les détails sont fournis dans le cadre du rapport de projet. Voir le Tableau 16 Spécification ASPRS LAS 1.4 R13 pour point (s) synthétique (s).

### 6.3.3 Système de coordonnées de référence

*Description*

Le système de coordonnées des données lidar livrées sera fondé sur la version actuelle du Système canadien de référence spatiale (SCRS). Les données seront représentées selon une altitude orthométrique et seront projetées selon les modalités indiquées ci-dessous.

*Exigences*

Tableau 10. Exigences relatives au système de coordonnées de référence.

Nom	Description	Catégorie
<b>Système de référence planimétrique</b>	NAD83 SCRS, époque 2010	Traitement des données
<b>Système de référence altimétrique</b>	CGVD 2013	Traitement des données
<b>Modèle de géoïde</b>	CGG2013a	Traitement des données
<b>Projection cartographique</b>	Projection transversale universelle de Mercator (UTM)	Traitement des données

*Considérations, limites et postulats*

- Les données sur les impulsions lidar devraient être traitées en se limitant à un seul fuseau UTM pour chaque jeu de données, sauf aux endroits où la ZICD s'étend dans plusieurs zones et où l'ensemble de données serait assujéti à des distorsions inacceptables. Les données seraient dans ce cas divisées en sous-régions selon les fuseaux UTM qui s'appliquent. Les tuiles complètes, avec une couverture complète des données, devraient être conservés lorsque les données sont divisées entre les zones UTM. Une tuile de chevauchement doit être maintenue dans chaque zone. Chaque sous-région sera traitée et présentée en tant que livrable de sous-projet distinct. Les exigences appliquées au projet s'appliqueront également à chacun des sous-projet.
- Le système de référence NAD83(SCRS) est un système de référence géométrique en trois dimensions utilisé par la plupart des organismes fédéraux et provinciaux en tant que norme nationale de référencement. Ce système utilise l'ellipsoïde du GRS80 comme ellipsoïde de référence et le modèle géoïde actuel (présentement CGG2013a) pour convertir des altitudes ellipsoïdales en altitudes orthométriques dans le plan de référence altimétrique CGVD2013. Les coordonnées NAD83(SCRS) peuvent être exprimées en tant que coordonnées géographiques (latitude, longitude et altitude ellipsoïdale) ou UTM (estant, nordant et hauteur), et peuvent être transformées à l'aide d'un logiciel de transformation géodésique à partir d'autres systèmes de référence, par exemple le système WGS84. Les récepteurs GNSS utilisent le système WGS84 en tant que système par défaut de référence des coordonnées pour les hauteurs ellipsoïdales. Les Levés géodésiques du Canada (LGC) offrent un certain nombre de services et d'applications pour transformer les coordonnées. L'application logicielle GPS-H permet de traiter des données dérivées du GNSS afin de transformer des hauteurs ellipsoïdales soit en systèmes de référence de coordonnées ITRF (compatibles avec WGS84, lequel est actuellement harmonisé avec ITRF08), ou des hauteurs orthométriques de l'époque du NAD83(SCRS) en système de référence altimétrique CGVD28 ou CGVD2013. L'application logicielle TRX permet de transformer des coordonnées entre les systèmes NAD83(SCRS) et diverses réalisations ITRF. Ce logiciel permet la conversion entre les systèmes géographiques, les systèmes cartésiens et les systèmes de coordonnées locales. Les coordonnées NAD83(SCRS) de l'époque actuelle peuvent aussi être obtenues directement par le post-traitement de données statistiques ou cinématiques brutes GNSS au moyen de données du Système de contrôle actif canadien (CACs) et/ou du service en ligne de positionnement ponctuel précis (SCRS-PPP). Le service SCRS-PPP utilise les meilleures éphémérides et corrections ionosphériques disponibles. Des produits dits « ultrarapides » sont utilisés environ 90 minutes après la collecte de données et offrent une exactitude de  $\pm 15$  cm. Les produits « rapides » sont utilisés au cours de la journée suivante et offrent une exactitude de  $\pm 5$  cm. Enfin, les produits finaux sont utilisés après 13 jours et offrent les positions très précises pour les données brutes d'observation ( $\pm 2$  cm). Il est laissé à l'acquéreur de données de déterminer si la solution SCRS-PPP satisfait adéquatement aux normes NCQ1 pour l'emplacement et le temps de collecte des données.
- Les codes EPSG sont une norme efficace et un moyen efficace d'attribuer un système de référence de coordonnées. Il existe actuellement 52 codes EPSG différents pour les différents systèmes de coordonnées projetés et un pour le NAD83SCRS (EPSG :: 6140). Cependant, le code EPSG 6140 traite les différentes réalisations et les époques de NAD83SCRS comme identiques et ne reconnaît pas les différences. Au Canada, chaque province a adopté une réalisation et une époque différente de NAD83SCRS. Ceux-ci ne sont

actuellement pas reconnus au moment de la publication, mais il est prévu qu'ils le seront au cours de la prochaine mise à jour du registre EPSG. À l'avenir, l'utilisation des codes EPSG comme système de référence de coordonnées mérite d'être envisagée.

- Les systèmes de référence virtuels (SRV) s'appuient sur un réseau de récepteurs GNSS qui sont espacés les uns par rapport aux autres d'environ 40 à 60 km. Les récepteurs GNSS servent de stations de référence à fonctionnement continu (SRFC). Les informations colligées par les récepteurs GNSS diffusent activement les corrections locales au réseau. Les corrections sont téléchargées pour la surveillance et la correction en temps réel des récepteurs GNSS statiques et RTK. Lors de l'utilisation du contrôle SRV, il est recommandé de mettre en œuvre les étalonnages et les vérifications appropriés afin de valider les données et les résultats. Les récepteurs SRV constituent une autre solution potentielle pour le contrôle des récepteurs GNSS aéroportés et au sol. L'utilisation de ces réseaux pour s'assurer que les exigences d'exactitude sont respectées est permise, à la discrétion du fournisseur et de l'autorité contractante.

#### 6.3.4 Famille de points

##### *Description*

Une impulsion lidar transmise peut avoir un ou plusieurs retours. L'ensemble complet de retours multiples résultant d'une seule impulsion lidar est considéré comme une famille de points.

##### *Exigences*

Les familles de points (retour des « enfants » multiples d'une seule impulsion « parent ») seront conservées tout au long du traitement avant le tuilage. Les retours multiples d'une impulsion donnée seront stockés dans l'ordre séquentiel (ordre d'acquisition).

##### *Considérations, limites et postulats*

Les systèmes avec des lasers à plusieurs canaux ou des points multiples dans l'air maintiendront les familles d'impulsions pour chaque retour d'impulsion unique.

#### 6.3.5 Structure de tuilage

##### *Description*

Le traitement des données lidar comprendra la préparation et la fourniture des données à l'aide d'une structure de tuilage.

##### *Exigences*

Tableau 11. Exigences relatives à la structure de tuilage.

Nom	Description	Catégorie
Dimension	1 km x 1 km	Traitement des données
Condition	Contiguïté parfaite des bordures, aucune lacune et aucun chevauchement.	Traitement des données



<b>Nomenclature</b>	Chaque tuile doit être désignée selon la norme de nomenclature ci-dessous.	Traitement des données
<b>Géoréférencement</b>	Un système de coordonnées de référence et les unités des données seront utilisés.	Traitement des données
<b>Type</b>	Les données d'impulsion, les données ponctuelles et les données de trame devront utiliser la même structure de tuilage.	Traitement des données
<b>Format</b>	Les tuiles de données seront produites en format LAS ou LAZ, tel que déterminé par l'autorité contractante.	Traitement des données
<b>Fichier d'index</b>	Un fichier d'index numérique (fichier de forme ESRI) doit être fourni avec les données. La convention d'appellation des fichiers doit figurer dans le tableau d'attributs, et des champs distincts doivent être prévus pour les références de l'index, le nom du projet et la date d'acquisition des données.	Traitement des données

Les tuiles seront créées au moyen d'une convention d'appellation unique reposant sur les principes suivants :

- La structure doit être conçue de manière à être facilement programmable.
- Chaque tuile doit être définie de façon unique dans l'ensemble de données, et ce, sur les plans temporel et positionnel de sorte qu'il n'y ait aucune duplication.
- Le nom de fichier doit être facile à interpréter et doit clairement indiquer le contenu du fichier.
- La structure doit respecter les normes, notamment celles qui concernent les codes postaux des provinces et des territoires.

Le tableau 12 présente sommairement une convention d'appellation des fichiers de données lidar.

*Tableau 12. Convention d'appellation pour les fichiers de données lidar.*

Nom	Description	Exemple
<b>Province/territoire</b>	Abréger les noms selon la norme relative aux codes postaux	Ont., C.-B., Yuk., etc.
<b>Identification ou nom du projet</b>	Nom de projet court (maximum 20 caractères), habituellement une référence géographique comme une ville, un village, un bassin hydrographique ou une région.	Kitmat, ParcBanff, LongPoint, 2698A
<b>Date de collecte des données du projet</b>	Année et mois (AAAAMMJJ) de la date de fin de la collecte.	20170511
<b>Système de référence coordonnées</b>	Référence au système de coordonnées ou à la projection cartographique.	NAD83SCRS_UTMZ9
<b>Dimension de la tuile</b>	Taille de la tuile, en kilomètres	1 km

<b>Coordonnées du coin de la tuile</b>	À partir du coin sud-ouest de la tuile, établir les valeurs d'estant et de nordant UTM. Utiliser une valeur à 4 chiffres pour l'estant et à 5 chiffres pour le nordant - EXXXX_NYYYYY	E5237_N59906
<b>Niveau de qualité</b>	Champ réservé au niveau de qualité du produit de données	NQC1
<b>Produit</b>	Court nom pour les produits lidar tels des données ponctuelles classifiées, des données fusionnées avec des orthophotographies ou des produits dérivés tels des MNS.	CLASS – Classification du nuage de points CLASSRGB DTMR – MNT de sol nu matriciel BEP – sol nu – données ponctuelles sur les points sol DSMR – Modèle numérique de surface matriciel UNCLASS – Nuage de points non classifiés INT – Image d'intensité HS – Estompage CHM – Modèle de hauteur de la canopée Etc.
<b>Extension de fichier</b>	Extensions de fichiers normales utilisées	LAS, LAZ, TIF et shp

Le format est le suivant :

P/T\_NomouIDduprojet\_Datecollecteduprojet(AAAAMMDD)\_Système de coordonnées\_Tailledetuile\_Coindetuiler(SOE)XXXX\_NYYYYY\_Niveauqualité\_Extension.Produit

Exemple :

BC\_Kitmat\_NAD83SCRS\_20170511\_UTMZ9\_1km\_E5237\_N59906\_NQC1\_CLASS.LAS

#### *Considérations, limites et postulats*

Les données recueillies le long des bordures de la ZI seront générées à l'aide de la ZICD (ZI tamponnée) puis jointes à la ZI pour éviter les effets de bord.

#### 6.3.6 Produits dérivés

Il a été déterminé que les produits dérivés, à l'exception des classifications d'impulsions, ne sont pas visés par la portée du présent guide d'orientation. Toutefois, certains produits, tels les MNT à grille ou matriciels et les images d'intensité et d'estompage peuvent être créés afin d'appuyer l'évaluation de la qualité. Pour de plus amples renseignements sur les produits dérivés, voir la spécification de produit (version 1) visant le modèle altimétrique numérique à haute résolution (HRDEM) – série CanElevation.

## 6.4 Validation des données

### 6.4.1 Vérifications de la qualité

L'évaluation de la qualité des données lidar dans le cadre du présent guide d'orientation implique la mise en œuvre de procédures de validation. Cette approche vise à s'assurer que les exigences relatives à la qualité sont satisfaites. Dans le présent guide d'orientation, plusieurs procédures de contrôle de la qualité ont été jugées indépendantes pour évaluer si les exigences touchant les données lidar ont été satisfaites. Les vérifications de la qualité comprennent ce qui suit :

- Précision du positionnement
- Distribution spatiale et régularité
- Densité des impulsions
- Classification des impulsions
- Lacunes en matière de données
- Exactitude relative

Il incombe à l'autorité contractante de choisir un groupe qui réalisera les vérifications indépendantes de la qualité en tout ou en partie. Le groupe peut être constitué d'une ou de plusieurs organisations indépendantes, d'intervenants internes du client ou du fournisseur de services de collectes de données.

### 6.4.2 Précision du positionnement

#### *Description*

La vérification de l'exactitude du positionnement lidar planimétrique et altimétrique devrait être effectuée au moyen de points de vérification indépendants. Les points de vérification devraient être divisés en zone sans végétation et avec végétation. Les points de contrôle peuvent être acquis par le fournisseur qui recueille les données lidar, par l'autorité contractante ou par une tierce partie indépendante, à la discrétion de l'autorité contractante. Le processus de collecte de points de vérification repose sur le choix de la taille de la zone d'échantillonnage, le type de couverture terrestre présente dans la zone d'échantillonnage, le nombre de zones d'échantillonnage et le nombre de points de vérification à acquérir. Le processus de validation des points de vérification devrait respecter au moins les lignes directrices de l'ASPRS relatives aux normes de précision de la position pour les données géospatiales numériques 2014 (ASPRS 2014). Les lignes directrices de l'ASPRS établissent le nombre recommandé de points de vérification pour l'évaluation de l'exactitude planimétrique et altimétrique des données d'altitude en fonction de la ZI (tableau C.1). Des points de vérification seront recueillis pour évaluer l'exactitude altimétrique en zone dépourvue de végétaux (EAZDV), l'exactitude altimétrique en zone végétalisée (EAV), et l'exactitude planimétrique fondamentale, tel que décrit ci-dessous.

*Exigences*

Tableau 13. Exigences relatives aux points de vérification.

Nom	Description	Catégorie
<b>Exactitude altimétrique, zones dépourvues de végétaux (EAZDV)</b>	<p>Les points de vérification servant à l'évaluation des zones sans végétaux seront relevés dans des zones à découvert dépourvues d'éléments verticaux (p. ex. : végétation, véhicules, poteaux, câbles, etc.), où les impulsions lidar entraînent un seul retour. La zone du relevé doit avoir une taille minimale de <math>(ENGI \times 5)^2</math> et devrait être caractérisée par un terrain plat présentant une pente de moins de 10 degrés. Couvertures terrestres acceptables : zones à découvert constituées d'herbes basses (pelouses et terrains de golf), de sols dénudés et de zones urbaines pavées. Les zones perturbées où la surface a été modifiée (p. ex. : champs labourés) ne sont pas acceptables. Le levé devrait être bien réparti afin de représenter l'ensemble de la ZI et les divers types de couvertures terrestres qui s'y trouvent.</p> <p>Exigences relatives à l'exactitude de la EAZDV :</p> <p>Erreur quadratique altimétrique moyenne (<math>EQM_z</math>) <math>\leq 10,0</math> cm            Exactitude altimétrique – niveau de confiance de 95 %  <math>(1,96 * EQM_z) \leq 19,6</math> cm</p>	Validation
<b>Exactitude altimétrique en zone végétalisée (EAV)</b>	<p>L'évaluation de la EAV sera réalisée dans des zones végétalisées (herbes hautes, cultures, broussailles, petits arbres et forêts). La zone du relevé doit mesurer au moins <math>(ENGI \times 5)^2</math> et présenter un sol plat (pente inférieure à 10 degrés).</p> <p>Exactitude altimétrique – zone végétalisée (EAV) <math>\leq 29,4</math> cm au 95<sup>e</sup> percentile.</p>	Validation
<b>Exactitude planimétrique fondamentale (EPF)</b>	<p>Les points de vérification servant à l'évaluation de l'exactitude planimétrique fondamentale devraient être acquis sur des entités linéaires bien définies présentant des ruptures claires au niveau de l'altitude ou de l'intensité (p. ex. : marques sur la chaussée, bâtiments, murs, rails de chemin de fer et bordures de revêtements routiers). Les zones doivent être planes (pente inférieure à 10 degrés) et présenter une surface dure ou compactée.</p> <p>Erreur quadratique moyenne planimétrique (<math>EQM_r</math>) <math>\leq 35,1</math> cm            Exactitude planimétrique – niveau de confiance de 95 %  <math>(1,7308 * EQM_r) \leq 60,0</math> cm</p>	Validation

Les exactitudes altimétrique et planimétrique absolues seront évaluées à la lumière des points de vérification EAZDV et EAV. La vérification de l'exactitude altimétrique est également réalisée pour le MNT, les EAZDV et les EAV. Les exigences relatives au contrôle des MNT seront fournies par l'autorité contractante.

- L'évaluation de l'exactitude présume que les erreurs sont réparties normalement et donc, que les mesures comme les EQM sont statistiquement valides. Une méthode numérique de rechange pourrait être requise si les erreurs ne sont pas réparties normalement.
- Le nombre de zones d'échantillonnage de points de vérification pour l'évaluation combinée de la précision est basé sur les normes ASPRS Positional Accuracy Standards for Digital Geospatial Data version 1 Novembre 2014. La zone d'échantillonnage de point de vérification désignée est équivalente à  $(ANPS \times 5)^2$ . Pour les projets avec un site d'intérêt inférieur à 500 km<sup>2</sup>, un nombre minimal de zones d'échantillonnage des points de vérification est déterminé par l'autorité contractante. Pour les projets de plus de 500 km<sup>2</sup> et de moins de 2 500 km<sup>2</sup>, le nombre de points de vérification sera une expansion linéaire du tableau C.1 de l'ASPRS 2014 en tant que superficie minimale d'échantillonnage, soit environ 1 point de contrôle par 25 km<sup>2</sup>. L'autorité contractante peut demander que des points de vérification supplémentaires soient effectués par le fournisseur ou indépendamment pour vérifier l'exactitude des données. Cela peut inclure la sélection de zones de couverture de terrain et topographie variées. Pour le contrôle altimétrique dans des zones > 2 500 km<sup>2</sup>, ajouter cinq points de vérification verticaux supplémentaires pour chaque zone supplémentaire de 500 km<sup>2</sup>. Chaque ensemble supplémentaire de cinq points de vérification verticaux pour 500 km<sup>2</sup> comprendrait trois points de vérification pour l'EAZDV et deux points de vérification pour l'EAV. Le nombre et la répartition recommandés des points de vérification EAZDV et EAV peuvent varier en fonction de l'importance des différentes catégories de couverture terrestre et des exigences de l'autorité contractante. Pour le contrôle planimétrique de zones de plus de 2 500 km<sup>2</sup>, l'autorité contractante devrait déterminer le nombre de points de vérification horizontaux supplémentaires, le cas échéant, en fonction de critères tels que la résolution de l'imagerie et l'étendue de l'urbanisation.
- L'évaluation de l'exactitude planimétrique fondamentale (EPF) impliquera la réalisation d'un échantillonnage au-dessus de surfaces présentant des entités linéaires visibles ou des entités facilement identifiables au sol à l'aide d'une image d'intensité interpolée..
- En général, le nombre minimal de points de vérification qu'il faudra recueillir dans les zones d'échantillonnage est de 20, mais il serait préférable d'en recueillir 30 répartis uniformément dans la zone d'échantillonnage des points de vérification pour la EAZDV et la EAV comme recommandé dans la norme ASPRS Positional Accuracy Standards for Digital Geospatial Data version 1 Novembre 2014. Les points de contrôle peuvent être répartis de manière plus dense à proximité d'entités importantes et de manière plus dispersée dans des zones qui présentent peu ou pas d'intérêt. L'autorité contractante peut ajuster le nombre de points de vérification à recueillir dans des endroits problématiques ou en raison de zones difficiles pour la EAZDV, la EAV et la EPF.
- Les points de vérification ne seront pas examinés dans les zones caractérisées par une absorption extrême du rayonnement dans le proche infrarouge (PIR) (bitume frais, sol humide ou toiture de bâtiment en bardeaux d'asphalte), ou dans les zones qui sont proches de changements abrupts dans la réflectivité PIR (plage de sable blanc à proximité de l'eau),

puisque de tels changements abrupts provoquent habituellement des décalages verticaux non naturels dans les mesures d'altimétrie lidar.

- En ce qui concerne les couvertures terrestres autres que les forêts et les villes à forte densité, les points de vérification devraient se trouver en des lieux exempts d'obstructions au-dessus de 15 degrés au-dessus de l'horizon (afin d'améliorer la réception GPS et de maximiser la collecte d'impulsions lidar).
- Les points de vérification doivent être des points indépendants utilisés uniquement aux fins de l'évaluation de l'exactitude altimétrique et/ou planimétrique des données recueillies. Ils ne peuvent en aucun cas servir à l'étalonnage ni être intégrés à l'acquisition des données.
- L'arpentage des points de vérification pour chaque type d'évaluation (EAZDV, EAV et EPF, lorsque possible) devra être équitablement réparti dans l'ensemble de la ZI.
- L'exigence relative à l'exactitude des points de vérification est  $\leq 5$  cm à un niveau de confiance de 95 %. L'autorité contractante peut demander un niveau d'exactitude supérieur pour les points de vérification. L'exactitude des points de vérification altimétriques devrait être trois fois plus précise que celle exigée pour les données altimétriques examinées. Outre les points de contrôle nouvellement acquis, des points historiques peuvent aussi être utilisés, pourvu que ces derniers aient été acquis au cours des trois dernières années et qu'ils n'aient pas été utilisés à des fins d'étalonnage ou acquis dans le cadre du projet actuel. Les points historiques doivent tous satisfaire l'ensemble des exigences relatives aux points de vérification, et les conditions de surface à l'emplacement des points de vérification doivent être invariables dans le temps et non perturbés. L'autorité contractante doit être informée d'avance si des points historiques seront utilisés. Cette dernière se réserve le droit de rejeter les points en totalité ou en partie.
- La vérification de l'exactitude altimétrique des données ponctuelles utilisera un modèle de réseau triangulé irrégulier (TIN) pour effectuer la comparaison entre les données ponctuelles et les points de vérification. Le premier et unique retour d'impulsion sera utilisé pour créer le TIN. Ce dernier sera utilisé pour extraire la valeur interpolée à l'endroit où les points de vérification ont été recueillis aux fins de la comparaison.

#### *Considérations, limites et postulats*

- Tous les points de vérification requis doivent être acquis à l'intérieur de la ZI. Toutefois, à la discrétion de l'autorité contractante, des points de contrôle supplémentaires peuvent être recueillis dans les zones tamponnées de 100 mètres.
- Dans certains ZICD, les restrictions d'accès, la sécurité, les terrains difficiles et les contraintes de transport peuvent empêcher la distribution spatiale souhaitée des points de contrôle sur tous les types de couverture terrestre. Lorsqu'il n'est pas géométriquement ou pratiquement possible d'appliquer les recommandations de points de vérifications recommandés, les fournisseurs de données de concert avec l'autorité contractante le doivent utiliser leur meilleur jugement professionnel pour appliquer l'esprit de cette méthode décrite dans la norme ASPRS Positional Accuracy Standards for Digital Geospatial Data version 1 Novembre 2014 dans la sélection des emplacements pour les points de vérification.

## 6.4.3 Répartition spatiale et régularité

*Description*

Les impulsions comprises dans la partie géométriquement utilisable de la fauchée (habituellement la portion située à 95 % dans le centre de la fauchée) seront recueillies uniformément afin de produire une distribution régulière en forme de treillis. Bien que les capteurs lidar ne recueillent pas de données selon une disposition régulière, la collecte sera conçue et exécutée afin de produire un groupement de premiers et uniques retours en nuage de points s'approchant d'un treillis régulier d'impulsions, tel que défini dans les exigences ci-dessous.

*Exigences*

Tableau 14. Exigences relatives à l'exactitude de la classification.

Nom	Description	Catégorie
Répartition spatiale et régularité	L'uniformité de la répartition spatiale des impulsions et la régularité de la répartition de celles-ci sont évaluées à l'aide d'une grille de répartition qui utilise les fauchées individuelles (uniques) et les premiers et uniques retours d'impulsions se trouvant dans la partie centrale géométriquement utilisable de chacune des fauchées. Les zones sans données en seront exclues. La résolution de la grille de densité devrait équivaloir à deux fois l'ENGI arrondie, et le rayon doit être égal à l'ENGI d'origine. L'exigence quant à l'uniformité est d'avoir au moins une impulsion par cellule de la grille dans 90 % du temps.	Validation

*Considérations, limites et postulats*

- L'approche utilisée pour compter les impulsions lidar dans la grille de distribution dépend de l'outil logiciel utilisé. Certains outils logiciels utilisent un compte basé sur des impulsions qui entrent dans la cellule de la grille et d'autres utilisent un rayon de recherche pour compter les impulsions qui se situent dans une grille. Pour les outils logiciels qui utilisent une approche de rayon de recherche pour déterminer les comptes dans une cellule de grille, le rayon de recherche doit être égal à la ENGI établie.
- L'évaluation exclut les zones dépourvues de données jugées acceptables, tel qu'indiqué dans la section 6.4.4
- Cette analyse n'est associée qu'à la répartition régulière et uniforme des points. L'évaluation ne vise pas l'examen de la DNGI ou de la DNI à l'échelle de la ZICD (voir la section 6.4.3)
- Ce seuil peut être remplacé par un autre pour les zones à fort relief, à la discrétion de l'autorité contractante.

## 6.4.4 Vérification de la densité des impulsions

*Description*

Une vérification des données est menée afin s'assurer que la DNGI a été atteinte à l'échelle de la ZICD. Une grille de densité des impulsions est utilisée pour déterminer si la densité des impulsions voulue a été atteinte pour le NQC indiqué. L'exigence précise est définie dans le tableau ci-dessous :

*Exigences*

Tableau 15. Exigences relatives à la vérification de la densité des impulsions.

Nom	Description	Catégorie
Matrice de densité des impulsions	La vérification de la densité des impulsions sera réalisée à l'aide d'une matrice de 20 m x 20 m couvrant l'ensemble de la ZICD.	Validation
Évaluation	L'DNGI doit être satisfaite au moins 90 % du temps dans les cellules de la matrice de densité des impulsions de la ZICD, d'après les premiers et uniques retours. Une grille visuelle indiquera en rouge les cellules n'atteignant pas l'ANDP et en vert les cellules atteignant l'ANDP. Un histogramme sera utilisé pour quantifier la distribution de la densité des impulsions.	Validation

*Considérations, limites et postulats*

Une densité d'impulsions insuffisante pourrait nécessiter une nouvelle collecte de données dans les zones concernées, et ce, à la discrétion de l'autorité contractante.

## 6.4.5 Zones sans données

*Description*

Des données du nuage de points lidar peuvent être perdues en raison de l'absorption des impulsions à la surface ou de la réfraction du laser dans le proche infrarouge, en raison de problèmes de capteur, d'anomalies au niveau du traitement ou d'une collecte de données inadéquate. Les vides locaux de données provoqués par des erreurs au niveau de la collecte et du traitement doivent être cernés et corrigés. Ces lacunes en matière de données ne sont pas permises dans la ZICD, comme l'indiquent les exigences.

*Exigences*

Tableau 16. Exigences relatives à l'exactitude de la classification.

Nom	Description	Catégorie
-----	-------------	-----------



<b>Vides locaux de données</b>	Par « données manquantes » on entend toute région ayant une superficie égale ou supérieure à $4 \times (\text{ENGI})^2$ qui n'est mesurée qu'à l'aide des premiers et uniques retours. Les lacunes en matière de données dans une fauchée unique ne sont pas acceptables, sauf lorsque l'absence de données est causée par des plans d'eau, par une faible réflectivité du rayonnement dans le proche infrarouge, où aux endroits où les données manquantes ont été remplacées adéquatement par des données provenant d'une autre fauchée. Les fauchées chevauchantes qui sont utilisées comme fauchées de remplacement doivent satisfaire toutes les exigences indiquées dans le présent guide d'orientation.	Validation
--------------------------------	--	------------

#### *Considérations, limites et postulats*

L'autorité contractante pourrait exiger du fournisseur qu'il survole à nouveau la région concernée afin d'acquérir de nouvelles données si les vides de données excèdent le seuil prescrit.

#### 6.4.6 Précision de la classification des impulsions

##### *Description*

La classification des données d'impulsion est un processus itératif qui nécessite l'utilisation d'outils logiciels et d'informations auxiliaires pour convertir les données sur les impulsions en catégories de couvertures terrestres. Le processus peut miser sur des routines logicielles automatisées et semi-automatisées de traitement des informations auxiliaires afin de produire des données de nuages de points classifiées. Une évaluation de l'exactitude est ensuite réalisée afin de déterminer si les données ont la qualité voulue. L'évaluation spécifique de la qualité est présentée ci-dessous.

##### *Exigences*

Tableau 17. Exigences relatives à l'exactitude de la classification.

Nom	Description	Catégorie
Zone d'essai	Utilisation d'une grille de 20 m x 20 m	Validation
Exactitude	Un maximum de 2 % des points mis de côté peut avoir une erreur démontrable de classification dans la ZI	Validation

<b>Évaluation</b>	L'évaluation de la classification devrait être mise à l'épreuve en comparant les points de contrôle au sol et/ou des informations auxiliaires, y compris des orthoimages haute résolution ou tout autre ensemble de données géospatiales. L'échantillonnage devrait être bien réparti dans l'ensemble de la ZI. Au moins 5 cellules par kilomètre carré seront échantillonnées. L'autorité contractante pourrait augmenter les exigences en matière d'échantillonnage.	Validation
<b>Uniformité</b>	La classification ponctuelle doit être uniforme à l'échelle du projet. Des variations perceptibles au niveau de la nature, de la texture ou de la qualité de la classification entre les tuiles, les fauchées, les vols ou toute autre division non naturelle peuvent justifier un rejet de la totalité du produit à livrer.	Validation

*Considération, limites et postulats*

La classification peut être assouplie par l'autorité contractante dans les zones exigeantes.

#### 6.4.7 Vérification de l'exactitude relative

*Description*

L'exactitude des retours devrait être uniforme dans toutes les parties utilisables d'une fauchée unique ainsi que dans les parties des fauchées qui se chevauchent. Des vérifications de l'exactitude altimétrique relative sont utilisées pour valider la stabilité géométrique de la collecte de données.

*Exigences*

Tableau 18. Exigences en matière d'exactitude relative.

Nom	Description	Catégorie
<b>Exactitude altimétrique relative– Intrafauchée (répétabilité des surfaces lisses et dures)</b>	L'évaluation intrafauchée doit porter sur une seule fauchée et en n'utilisant que les premiers retours dans une zone dépourvue de végétation. L'évaluation sera réalisée sur des surfaces lisses et dures afin de déterminer toute irrégularité altimétrique ne dépassant pas le seuil de $\leq 6$ cm calculée en utilisant l'Erreur quadratique moyenne altimétrique dans l'axe des z (EMQz) entre le minimum et le maximum. L'évaluation utilisera une matrice des écarts signés (+/-) ayant des cellules de 2 fois l'ENGI arrondies au nombre entier le plus près. L'échantillonnage se fera dans une zone d'environ 50 m <sup>2</sup> à plusieurs endroits dans la fauchée et le long de celle-ci, dans la partie utilisable. Au moins trois zones d'échantillonnage seront établies pour chacune des fauchées dans la ZI. L'autorité contractante pourrait exiger ou réaliser un échantillonnage supplémentaire. La zone	Acquisition

	d'échantillonnage sera évaluée au moyen d'une matrice différentielle entre l'altitude maximale et minimale pour chacune des cellules. Les écarts dans la matrice ne doivent pas dépasser les valeurs indiquées dans le tableau d'exactitude relative dans la fauchée.	
<b>Exactitude altimétrique relative – Interfauchée (différence dans le chevauchement des fauchées - EQMz)</b>	L'uniformité entre les fauchées est évaluée en produisant une matrice quadrillée à partir de retours simples dans une zone dépourvue de végétaux. La comparaison utilisera une matrice de comparaison des différences signées (+/-) dont les cellules mesureront 2 fois l'ENGI, arrondies au nombre entier le plus près pour chacune des fauchées. L'évaluation sera réalisée en soustrayant l'écart par rapport à la surface de la grille. L'Erreur quadratique moyenne altimétrique dans l'axe des z (EMQz) calculée entre le minimum et le maximum pour les points à la surface de la matrice devrait être égale ou inférieure à 8 cm.	Acquisition

*Considérations, limites et postulats*

Les images matricielles de l'estompage sont utiles pour déceler les anomalies au niveau du processus de traitement des données.

## 6.5 Produits à livrer

Un rapport de projet détaillé doit être fourni. Ce dernier doit comprendre l'ensemble du contenu assemblé, soit la documentation, les images, les notes et les données créées pour le projet.

### 6.5.1 Produits à livrer

#### *Reddition de comptes*

Tableau 19. Rapports à remettre

Élément	Description	Format
<b>Planification du projet</b>	Ce document doit contenir les éléments suivants : <ul style="list-style-type: none"> <li>Détails relatifs à la méthode du projet (section 6.1.1)</li> <li>Détails relatifs aux instruments (section 6.1.2)</li> <li>Collecte de données (section 6.1.3)</li> </ul>	Microsoft Word ou PDF
<b>Rapports d'étape</b>	Lors de l'acquisition des données, des rapports d'étape doivent être fournis à la fréquence indiquée par l'autorité contractante. <ul style="list-style-type: none"> <li>Respect ou non des échéanciers</li> <li>% de données recueillies et lieux de la collecte</li> <li>Modification au plan de collecte, y compris aux ressources humaines et à l'instrumentation</li> <li>Tout problème à l'origine de retards</li> <li>Tout problème anticipé affectant la collecte de données, le budget ou le calendrier</li> </ul>	Microsoft Word ou PDF
<b>Produits à livrer</b>	Les rapports qui doivent être fournis en tant que produits à livrer doivent comprendre ce qui suit : <ul style="list-style-type: none"> <li>Notes de terrain concernant les levés et registres de vols.</li> <li>Rapport d'assurance qualité des données comprenant des détails relatifs à la validation de l'exactitude altimétrique et planimétrique, la vérification des points de vérification, de la classification, de la régularité et de la densité des impulsions, ainsi que tous les calculs et les résultats.</li> <li>Rapport à fournir – Assemblage d'informations touchant tous les produits livrés ainsi que les activités de traitement, la liste des données et les métadonnées. Le contenu devrait être suffisamment étoffé pour démontrer que les spécifications ont été respectées pour chacune des données impulsions recueillies.</li> </ul>	Microsoft Word ou PDF
<b>Liste d'inventaire des données</b>	Un inventaire de données et un dictionnaire décrivant toutes les données et la documentation recueillies dans le cadre du projet doivent être fournis sous forme de tableau structuré. Ce produit à livrer doit comprendre le nom du fichier, la date de création ainsi que les renseignements propres à la personne-ressource responsable des éléments.	Microsoft Excel ou PDF

*Données recueillies sur le terrain*

Tableau 20. Produits à livrer – Données recueillies sur le terrain

Élément	Description	Format recommandé
<b>Contrôle du levé</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Les données sur la station active ou passive doivent inclure l'emplacement de la station ainsi que toute station monument et la marque d'horodatage. Les données du GNSS recueillies doivent aussi être incluses.</li> <li>• Points de contrôle utilisés pour l'étalonnage et le traitement des données d'impulsion.</li> <li>• Photos du contrôle du levé et carte de l'emplacement utilisé pour les stations de base.</li> </ul>	RINEX, PDF
<b>Vol</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Trajectoire de vol – fichiers SBET – y compris toutes lignes de vol transversales ou les vols d'étalonnage. Un fichier de forme comprenant toutes les informations relatives à la trajectoire, à l'orientation, à l'heure et à la date devrait être retenu. Les vols devraient être séparés selon les décollages et selon une séparation logique comme des blocs de vol.</li> </ul>	Shapefile
<b>Validation in situ</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mesure des points de vérification</li> <li>• Toutes les données GNSS et de contrôle recueillies sur le terrain, y compris les paramètres de la collecte</li> <li>• Photographies des zones de mesure au sol et sur le site</li> <li>• Carte montrant l'emplacement des zones de contrôle et des vérifications de la classification</li> </ul>	Excel RINEX/MS Word- PDF TIFF/JPG  PDF/JPG
<b>Métadonnées</b>	Des métadonnées seront fournies pour les données de terrain. La structure des métadonnées utilisera le format XML et sera fondée sur la norme ISO 19115:2003.	XML

*Données lidar*

Tableau 21. Données lidar à livrer

Élément	Description	Format
Données de nuage de points	Données de nuage de points classifiées dans les tuiles à l'aide de la convention d'appellation.	LAS/LAZ
Fichier d'Index	Fichier d'index des données de nuages de points contenant la date, la convention d'appellation, le nom du projet et le lieu de collecte.	Fichier de forme
Données brutes	Données à livraison facultative, sauf si l'autorité contractante le demande ou si des données de nuages de points ne sont pas livrées. Le fournisseur doit garder les données brutes originales pendant 6 mois à compter de la date de livraison.	
Métadonnées	Métadonnées des données livrées en format XML à l'aide de la norme ISO 19115:2003 – profil nord-américain, et informations supplémentaires sur les acquisitions lidar.	XML (métadonnées) Excel (informations supplémentaires sur les acquisitions lidar)

Informations supplémentaires sur les acquisitions lidar.

Les *informations supplémentaires sur les acquisitions lidar* doivent être incluses dans un fichier Excel afin de compléter les métadonnées ISO 19115:2003 – profil nord-américain.

- |                            |  |
|----------------------------|--|
| • Code de classification   | Classe LAS utilisée  |
| • ldr_sensor               | Capteur lidar utilisé  |
| • ldr_max_number_return    | Nombre maximal de retours par impulsion  |
| • ldr_aggregate_density    | DNGI   |
| • ldr_flight_height        | Altitude du vol (m)  |
| • ldr_flight_speed         | Vitesse du vol (nœuds et km/h)   |
| • ldr_scan_angle           | Angle du balayage (degrés)   |
| • ldr_scan_frequency       | Fréquence du balayage (Hz)   |
| • ldr_pulse_rate           | Fréquence de répétition des impulsions (kHz)   |
| • ldr_pulse_width          | Taille de l'empreinte de l'impulsion lidar (m)   |
| • ldr_wave_length          | Longueur d'ondes exploitée par le capteur (nm)   |
| • ldr_multi_pulse_in_air   | Le capteur est-il exploité en mode Impulsions multiples dans les airs? 0=Non; 1=Oui.             |
| • ldr_beam_divergence      | Divergence du faisceau (mrad)  |
| • ldr_swath_width          | Largeur de la fauchée (m)  |
| • ldr_swath_overlap        | Chevauchement de la fauchée (%)  |
| • las_version              | Version LAS utilisée (ex. v 1.4)   |
| • las_overlap              | Les points classés dans les zones se chevauchent.  |
| • las_withheld             | Description détaillée sur les points supprimés en tant que bruit, points bas ou points anormaux. |
| • las_intensity_resolution | Résolution en bits de l'intensité  |

*Validation des données*

Tableau 22. Produits à livrer – Validation des données

Élément	Description	Format recommandé
Distribution spatiale et régularité	Résultats de la vérification des données de distribution des impulsions	Excel et PDF
Précision relative	Calcul de l'exactitude relative, y compris de toutes les données utilisées pour : <ul style="list-style-type: none"> <li>• la comparaison intrafauchée</li> <li>• la comparaison interfauchées</li> </ul>	Excel, GeoTiff, PDF
Densité de l'impulsion	Grille visuelle et histogramme pour le calcul des résultats de l'application de la grille de densité des impulsions.	GeoTiff
Lacunes en matière de données	Résultats de la vérification des vides de données.	Excel, GeoTiff et PDF
Classification des impulsions	Résumé des résultats de la classification	Excel, GeoTiff et PDF
Précision positionnelle	Résultats de l'exactitude positionnelle, y compris toutes les données utilisées pour l'établissement de l'emplacement des points de vérification verticaux et horizontaux – EAZDV, EAV, EPF et EPC seront fournis	Excel, GeoTiff et PDF

### 6.5.2 Données lidar brutes

Les sources de données brutes du projet, comme les fichiers de données lidar de format natif, n'ont PAS à être OBLIGATOIREMENT livrées. Toutefois, le fournisseur doit garder une copie de toutes les données brutes pertinentes du projet pendant la période minimale indiquée dans le tableau 21 ou toute autre période convenue entre l'autorité contractante et le fournisseur, après la livraison des produits à livrer dans le cadre du projet. Cette période est considérée comme étant une période d'examen qui vise à s'assurer que toutes les exigences concernant les produits à livrer sont satisfaites. Au cours de cette période, un contrôle de la qualité additionnel peut avoir lieu au besoin, tel que déterminé par l'autorité contractante. Toute lacune au niveau des produits à livrer, du contenu et des données, ou tout écart par rapport aux spécifications du guide d'orientation, pourrait entraîner le rejet des données par l'autorité contractante. Une telle situation nécessiterait la livraison des produits à livrer, le retraitement ou un nouveau survol des zones problématiques dans un délai établi par l'autorité contractante.

### 6.6 Propriété des données et droit d'auteur

Il est recommandé que le fournisseur livre toutes les données avec droit d'auteur illimité accordant le droit à l'autorité contractante de placer les données dans le domaine public ou de les distribuer comme bon lui semble. L'arrangement spécifique doit être convenu par et le fournisseur. Cette recommandation est fortement encouragée pour toute donnée acquise au moyen de fonds fédéraux.

## 7.0 GLOSSAIRE

**95<sup>e</sup> percentile** : Une exactitude établie au 95<sup>e</sup> percentile indique que 95 % des erreurs altimétriques seront égales ou inférieures à l'exactitude indiquée et que 5 % des erreurs altimétriques seront supérieures. Ce terme est utilisé lorsque les erreurs altimétriques sont susceptibles de ne pas suivre la distribution normale des erreurs (p. ex., dans les zones boisées où la classification des altitudes du sol pourrait avoir un biais positif).

**Attitude** : Position d'un corps définie par les angles entre les axes du système de coordonnées du corps et les axes d'un système de coordonnées externe. En photogrammétrie, l'attitude est l'orientation angulaire d'une caméra (roulis, tangage et lacet) ou de l'image captée par la caméra, relativement à un quelconque système de référence externe. En ce qui concerne les systèmes lidar, l'attitude se rapporte habituellement au roulis, au tangage et à au cap de l'instrument au moment où une impulsion active est émise du capteur.

**Axe de pointage (*boresight*)** : Étalonage d'un système lidar doté d'une unité de mesure inertielle (UMI) et d'un système mondial de localisation (GPS) pour établir avec précision :

- la position de l'instrument (x, y, z) par rapport à l'antenne GPS ;
- l'orientation (roulis, tangage et cap) de l'instrument lidar par rapport au vol rectiligne et horizontal.

**Bonne répartition** : En ce qui concerne un ensemble de données couvrant une zone rectangulaire présentant une exactitude positionnelle uniforme, les points de vérification devraient être distribués de façon à ce qu'ils soient espacés à des intervalles d'au moins 10 pour cent de la distance diagonale à l'échelle de l'ensemble de données et à ce qu'au moins 20 pour cent des points soient situés dans chacun des quadrants de l'ensemble de données (adaptation de la NSSDA du Federal Geographic Data Committee, 1998). En ce qui concerne la présente spécification, ces lignes directrices s'appliquent à chacune des classes de couverture terrestre pour lesquelles les points de vérification sont recueillis.

**Champ de vision (FOV)** : Étendue angulaire de la partie de l'objet sondé par un capteur lidar, mesuré en degrés. Pour éviter toute confusion, un capteur lidar aéroporté type ayant un champ de vision de 30 degrés est communément désigné comme ayant un angle de balayage de  $\pm 15$  degrés de part et d'autre du nadir.

**Chevauchement** : Pourcentage de chevauchement associé à deux lignes de vol adjacentes. Un chevauchement se produit lorsqu'un aéronef survole la zone du projet pour obtenir une densité de données uniforme et une couverture optimale sous le couvert forestier.

**Classification** : Classification des retours du nuage de points lidar conformément à une modalité de classification afin d'identifier le type de chacune des cibles produisant un retour lidar. Le processus permet la différenciation future entre les cibles de sols dénudés, les plans d'eau, le bruit, la végétation, les bâtiments, des objets créés par l'homme et tout autre objet d'intérêt.



**Densité nominale globale des impulsions (DNIGI) :** Variante de la densité nominale des impulsions qui exprime la densité totale attendue ou réelle des impulsions dans un secteur donné et découlant de survols multiples de l'instrument de détection et de télémétrie par ondes lumineuses (lidar), ou d'un survol unique d'une plateforme comprenant plusieurs lidars, au-dessus d'un même secteur. À tout autre égard, la DNIGI est identique à la densité nominale des impulsions (DNI). Lors d'une collecte de données par passage unique, la DNIGI et la DNI seront équivalentes. Remarque :

$$DNI = 1/ENI^2$$

**Dépassement :** Parties d'une fauchée qui ne sont pas nécessaires pour assurer une couverture unique, sans chevauchement et sans vides de données par rapport aux fauchées adjacentes. Parties non nobles d'une fauchée. Pour ce qui est des collectes de données misant sur des passages multiples, les excédents sont les parties de la fauchée qui ne sont pas nécessaires à l'obtention d'une couverture complète sans chevauchement aux profondeurs prévues. Dans la spécification LAS version 1.4 (American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, 2011), ces points sont identifiés au moyen du bit indicateur incorrectement nommé « chevauchement ». Voir chevauchement, non noble.

**Dernier retour :** La dernière partie mesurable d'une impulsion lidar retournée.

**Données de forme d'onde (forme complète du signal) :** Système ou données lidar dans lequel la réflexion complète de l'impulsion laser est entièrement numérisée, captée et stockée. Des nuages de points de retours discrets peuvent être extraits des données de forme d'onde lors du post-traitement.

**Distribution spatiale :** Dans le créneau des lidars, la distribution spatiale est synonyme de régularité ou d'uniformité de la densité des points au sein d'une collection. Sur le plan théorique, la distribution spatiale idéale pour une collecte de données lidar est un treillis parfait et régulier de points équidistants sur les axes X et Y.

**Empreinte de l'impulsion :** Section au sol traversée par l'impulsion laser. L'empreinte est fonction de la portée, de l'angle d'incidence, de la pente du sol et de la divergence du faisceau. La distribution énergétique de l'empreinte de l'impulsion est définie par une distribution gaussienne de  $1/e$  ou  $1/e^2$ , selon la source utilisée.

**Erreur altimétrique :** Déplacement de l'altitude consignée d'un élément faisant partie d'un ensemble de données par rapport à son altitude véritable ou plus précise. Cette valeur est habituellement représentée par la valeur Delta ( $Z_D$ ).

**Espacement nominal global entre impulsions (ENGI) :** Variante de l'espacement nominal entre les impulsions qui exprime la distance latérale type ou moyenne entre les impulsions dans un ensemble de données lidar découlant de survols multiples de l'instrument de détection et de télémétrie par ondes lumineuses (lidar), ou d'un survol unique d'une plateforme comprenant plusieurs lidars, au-dessus d'un même secteur. À tous les autres égards, l'ENGI est identique à l'espacement nominal entre les impulsions (ENI). Lors d'une collecte de données par passage unique l'ENGI et le ENI seront équivalents. Remarque :

$$ENI = \frac{1}{\sqrt{DNI}}$$

**Étalonnage :** Se rapporte au processus d'identification et de correction d'erreurs systématiques au niveau du matériel, des logiciels ou des procédures. L'étalonnage peut également être défini comme la détermination des erreurs systématiques d'un appareil de mesure en comparant les mesures prises par cet appareil avec les marquages ou les mesures d'un autre appareil jugé correct. Les capteurs aéroportés doivent être étalonnés sur les plans géométrique et radiométrique.

**Exactitude :** Degré de conformité d'une valeur mesurée ou calculée par rapport à la valeur réelle. L'exactitude se rapporte à la qualité d'un résultat et elle se différencie de la précision, laquelle se rapporte à la qualité de l'opération de laquelle le résultat est obtenu (directives de l'ASPRS en matière d'acquisition).

- **Exactitude absolue :** Une mesure qui tient compte de toutes les erreurs systématiques et aléatoires dans un ensemble de données. L'exactitude absolue se rapporte à un plan ou à un système de référence défini.
- **Exactitude relative :** Mesure de la variation sous forme d'exactitude point à point dans l'ensemble de données. Dans le créneau des lidars, ce terme peut signifier spécifiquement la concordance positionnelle entre les points faisant partie d'une fauchée, les fauchées adjacentes d'un même vol, les vols adjacents d'un projet, ou entre projets adjacents.

**Exactitude altimétrique :** Mesure de l'exactitude positionnelle d'un ensemble de données par rapport à une référence altimétrique spécifiée et à un percentile ou niveau de confiance spécifié. Au niveau de confiance de 95 %, l'exactitude altimétrique est définie comme suit :

Exactitude altimétrique à 95 % = 1,9600 x EQMz

$$EMQ_z = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_{i(LiDAR)} - x_{i(levé)})^2}$$

Remarque :  $x_{i(LiDAR)}$  est l'ensemble de points lidar faisant l'objet de l'évaluation et  $x_{i(levé)}$  représente les points de vérification du levé correspondant utilisés pour comparer les points d'altitude lidar (z) à l'emplacement géographique. Le terme  $n$  représente le nombre de points de vérification.

- **Exactitude altimétrique – zone végétalisée (EAV) :** Remplace l'exactitude altimétrique supplémentaire (SVA) et l'exactitude altimétrique consolidée (CVA). Cette mesure constitue une estimation de l'exactitude altimétrique fondée sur le 95<sup>e</sup> percentile dans les terrains végétalisés où les erreurs n'ont pas une distribution nécessairement normale.
- **Exactitude altimétrique, zone dépourvue de végétation (EAZDV) :** Remplace l'exactitude altimétrique fondamentale (FVA). L'exactitude altimétrique au niveau de confiance de 95 % en terrain ouvert dépourvu de végétation, où les erreurs devraient suivre une distribution normale.

**Exactitude planimétrique :** Compare les positions planimétriques de points au sol/de vérification bien connus et facilement perceptibles aux positions des points lidar au sol. L'exactitude planimétrique est exprimée en tant qu'erreur quadratique moyenne (EQM) ou en tant qu'erreur au niveau de confiance de 95 % (ASPRS 2014). L'exactitude planimétrique est définie en tant que rayon d'un cercle d'incertitude et suppose une distribution normale. Au niveau de confiance de 95 %, l'exactitude planimétrique radiale est définie comme suit :

Exactitude planimétrique = 1,7308 x EQM<sub>r</sub>

où

$$EQM_r = \sqrt{EQM_x^2 + EQM_y^2}$$

$$EQM_x \text{ ou } EQM_y = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_{i(lidar)} - x_{i(levé)})^2}$$

Nota :  $x_{i(LiDAR)}$  est l'ensemble de points lidar faisant l'objet d'une évaluation et  $x_{i(levé)}$  constitue les points de vérification correspondants utilisés pour comparer les points lidar horizontaux (r) à l'emplacement géographique. Le terme  $n$  représente le nombre de points de vérification.

**Exactitude planimétrique calculée (EPC) :** L'exactitude planimétrique est déterminée à l'aide de la formule suivante tirée de la norme ASPRS 2014 Positional Accuracy for Digital Geospatial Data.

*Erreur horizontale du LiDAR (EMQ<sub>r</sub>) =*

$$\sqrt{(\text{erreur positionnelle du GNSS})^2 + \left(\frac{\tan(\text{erreur UMI})}{0,5594170} \times \text{altitude du vol}\right)^2}$$

**Fauchée :** Données résultant d'une seule ligne de vol consacrée à la collecte de données et représentant la largeur totale de la couverture dans la trajectoire de vol du capteur lidar.

**Filet :** Partie centrale d'une fauchée qui, lorsqu'elle est jumelée aux filets des fauchées adjacentes, forme une couverture complète, unique, sans chevauchement et sans lacune. Dans le cas des campagnes de collecte conçue pour utiliser des couvertures multiples, les filets constituent les parties des fauchées qui sont nécessaires à la création d'images complètes, sans chevauchement et sans lacune à l'étendue de couverture prévue.

**Fréquence de répétition de l'impulsion (PRF) :** Fréquence des impulsions laser émises. Une PRF élevée entraîne un espacement serré des points au sol, ce qui autorise une caractérisation haute résolution du paysage. Toutefois, puisque la PRF est inversement liée à l'énergie d'impulsion, une PRF élevée pourrait réduire la pénétration du feuillage dans les zones fortement végétalisées.

**Grille :** Modèle de données géographiques qui représente l'information sous forme de matrice formée de cellules carrées de taille égale. Chaque cellule est désignée par ses coordonnées géographiques ou orthogonales (x/y).

**Impulsion :** Une impulsion laser est une émission d'énergie électromagnétique produite par une source de lumière cohérente à l'aide d'un laser à une longueur d'onde précise.

**Impulsion mise de côté :** Dans la spécification relative aux fichiers LAS, un point mis de côté est indiqué par un bit unique indiquant que le point lidar associé est géométriquement anormal ou non fiable et qu'il devrait être ignoré dans le cadre de tous les processus normaux. Ces points sont mis de côté en raison de leur valeur dans les analyses spécialisées. Habituellement, les points mis de côté sont identifiés et étiquetés lors du prétraitement ou par l'utilisation de routines de classification automatiques.

**Intensité :** Pour ce qui est des instruments lidar à retours discrets, l'intensité correspond à l'amplitude enregistrée de l'impulsion lidar réfléchie au moment où la réflexion est captée en qualité d'écho par l'instrument lidar. Les valeurs d'intensité lidar peuvent être affectées par de nombreux facteurs, comme l'ajustement instantané du contrôle de gain automatique de l'instrument et l'angle d'incidence. L'intensité ne correspond pas à la mesure véritable de l'énergie. Dans les systèmes à forme d'onde complète, la réflexion entière est échantillonnée, ce qui autorise la mesure de l'énergie véritable pour chaque retour ou pour la réflexion globale. Les valeurs d'intensité des retours discrets dérivées d'un système à forme d'onde complète peuvent ou non être étalonnées afin de représenter l'énergie véritable.

**Vides de données :** Dans le créneau des lidars, un vide de données est une lacune au niveau de la couverture du nuage de points provoquée par la non-réflexion de l'impulsion lidar à la surface, une anomalie ou une défaillance de l'instrument ou du processus de traitement, l'obstruction de l'impulsion lidar ou une mauvaise planification de la collecte en vol. Toute zone égale ou supérieure à (quatre fois l'espacement entre impulsions nominales globales [ENGI]) au carré, mesurée à l'aide des premiers retours seulement est considérée comme étant un vide de données.

**LAS :** Format de fichier public permettant l'échange de données de nuages de points 3D entre les utilisateurs des données. L'extension du fichier est .las.

**lidar :** Instrument servant à mesurer la distance par rapport à un objet réfléchissant par l'émission d'impulsions minutées de lumière et en mesurant l'écart temporel entre l'émission de l'impulsion laser et la réception de l'impulsion réfléchie. L'écart temporel mesuré pour chaque impulsion est converti en distance laquelle, lorsqu'elle est combinée à la position et à l'attitude extraites du GPS, de l'UMI et de l'instrument lui-même, autorise l'établissement de l'emplacement ponctuel 3D de la cible réfléchissante.

**lidar à canaux multiples** : Les canaux multiples de données découlant d'un instrument unique sont considérés comme une fauchée unique. En ce sens, un instrument unique est considéré comme un instrument dont les deux canaux satisfont les critères suivants :

- elles partagent des composantes matérielles fondamentales du système, comme le système mondial de localisation (GPS), l'unité de mesure inertielle (UMI), le laser, le miroir ou le prisme, et l'ensemble de détection;
- elles partagent une procédure et une solution commune d'étalonnage ou de visée;
- elles sont conçues pour être exploitées en qualité d'unité de détection unique.

**Cassure** : Caractéristique linéaire délimitant un changement dans la continuité ou l'aspect lisse d'une surface, notamment des changements abrupts de l'altitude ou un cours d'eau.

**Métadonnées** : Toute information qui décrit ou appuie un ensemble de données géospatiales, y compris les fichiers de métadonnées officiellement structurés et formatés, les rapports et autres données connexes.

**Modèle numérique d'altitude (MNA)** : Représentation numérique d'un relief composé d'une grande quantité de valeurs altimétriques mises en relation avec un plan de référence altimétrique et correspondant à une grille normale de points à la surface de la Terre. Ces altitudes peuvent être des altitudes au niveau du sol ou de surfaces réfléchives.

**Modèle numérique de terrain (MNT)** : Représentation de la surface du sol dénudé et dépourvue de tout objet (végétation et bâtiments, notamment).

**Modèle numérique de surface (MNS)** : Représentation de la surface de la Terre, y compris de la végétation et des structures fabriquées par l'homme. Le modèle numérique de surface indique la hauteur des végétaux, du couvert forestier et des structures s'élevant au-dessus du plan de référence altimétrique.

**Nadir** : Point ou ligne se trouvant directement sous la plateforme collectrice, corrigé pour les variations d'attitude. En ce qui concerne les lidars, le nadir correspond à la ligne centrale d'une fauchée.

**Niveau de confiance de 95 %** : Une exactitude ayant un niveau de confiance de 95 % signifie que 95 % des positions contenues dans l'ensemble de données présenteront une erreur par rapport à la véritable position au sol qui est égale ou inférieure à la valeur d'exactitude indiquée. La valeur d'exactitude indiquée reflète toutes les incertitudes, y compris celles introduites par les coordonnées de contrôle géodésique, la compilation et le calcul final des valeurs des coordonnées au sol dans le produit. Lorsque les erreurs suivent une distribution normale, les exactitudes altimétrique et planimétrique sont dites être au niveau de confiance de 95 % (NDEP 2004).

**Nuage de points** : Souvent désigné « nuage de points bruts », cet élément est le produit de données principal d'un instrument lidar. Dans sa forme la plus élémentaire, un nuage de points bruts lidar est un ensemble de mesures de la distance et de paramètres d'orientation du capteur. Après le traitement initial, la distance et l'orientation associées à chacune des impulsions laser sont converties en une position dans un cadre tridimensionnel de référence. Ce nuage de points

cohérents dans l'espace constitue la base en vue d'un traitement et d'une analyse plus poussés. De façon générale, le nuage de points comprend habituellement le premier retour, le dernier retour et les retours intermédiaires pour chacune des impulsions laser émises. En plus de l'information spatiale, les données d'intensité lidar qui sont retournées comprennent des informations sur la texture et la couleur.

**Plan de référence** : Ensemble de points de référence à la surface de la Terre à la lumière desquels les mesures de positionnements sont prises. Cet ensemble constitue (souvent) un modèle connexe de la forme de la Terre (ellipsoïde de référence) pour définir un système de coordonnées géographiques. Des plans de référence horizontaux (par exemple, le Système de référence géodésique nord-américain de 1983, Système canadien de référence spatiale (NAD83[SCRS]) sont utilisés pour décrire un point à la surface de la Terre, soit à l'aide d'un système latitude-longitude ou d'un autre système de coordonnées. Un plan de référence altimétrique, par exemple le Système canadien de référence altimétrique de 2013, mesure les altitudes ou les profondeurs. En ingénierie et en dessin, un plan de référence est un point, une surface ou un axe de référence sur un objet auquel des mesures peuvent être comparées.

**Point** : Le guide définit un point comme étant une impulsion lidar qui a été captée, validée et classifiée.

**Point de contrôle** : Point arpenté utilisé pour ajuster géométriquement un ensemble de données lidar afin d'établir son exactitude positionnelle par rapport au monde réel. Les points de contrôle sont indépendants des points de vérification d'un même projet, et ils ne peuvent en aucun cas servir de points de vérification.

**Point de vérification** : Point de levé utilisé pour estimer l'exactitude positionnelle d'un ensemble de données géospatiales à la lumière d'une source indépendante de plus grande exactitude. Les points de vérification sont indépendants des points de contrôle d'un même projet et ils ne peuvent en aucun cas servir de points de contrôle.

**Premier retour** : Première partie importante mesurable d'un retour d'impulsion lidar.

**Réseau triangulé irrégulier (TIN)** : Structure de données vectorielles qui segmente l'espace géographique en triangles contigus qui ne se chevauchent pas. Dans le domaine du lidar, les sommets de chaque triangle sont des points lidar ayant des valeurs x, y et z. Dans la plupart des applications géographiques, les TIN reposent sur des algorithmes de triangulation de Delaunay dans lesquels aucun point d'un triangle donné ne se trouve dans le cercle circonscrit d'un autre triangle.

**Retours discrets** : Système ou donnée lidar dans lequel une crête importante dans la forme d'onde est captée et stockée. Chaque crête représente le retour (ou écho) d'une cible différente perceptible dans les domaines vertical ou horizontal. La plupart des systèmes lidar modernes sont capables de capter plusieurs retours distincts produits par chaque impulsion laser.

**Sol nu** : Données numériques d'altitude du terrain dépourvu de végétation, de bâtiments et de toute autre structure créée par l'homme. Altitude du sol.

**Système de navigation par inertie** : Ce système est une aide à la navigation qui utilise un système de contrôle informatique, une unité de mesure inertielle (capteurs de mouvement [des accéléromètres] et des capteurs de rotation [des gyroscopes]) jumelés à un système de géolocalisation et de navigation par satellites, comme le Système mondial de localisation, afin de calculer en continu (par navigation à l'estime) la position, l'orientation et la vitesse (direction et vitesse du mouvement) d'un aéronef.

**Treillis** : Méthode de représentation vectorielle en 3D créée par un ensemble rectangulaire de points espacés à un intervalle d'échantillonnage constant dans les directions x et y par rapport à une origine commune. Un treillis diffère d'une grille en ce sens qu'il représente la valeur de la surface seulement au point de maillage plutôt que l'altitude de la cellule entourant le centroïde d'une cellule de la grille.

**Vol** : Un vol est un cycle unique décollage-atterrissage d'une plateforme de collecte de données (à voilure fixe ou rotative) dans le cadre d'un projet de collecte de données aériennes, souvent réalisé à l'aide d'un lidar.

## 8.0 RÉFÉRENCES

American Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ASPRS), 2014, Positional accuracy standards for digital geospatial data – draft revision 7, version 1: American Society for Photogrammetry and Remote Sensing.

American Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ASPRS), 2011, LAS specification version 1.4 – R13: Bethesda, Md., American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, 27 p. Disponible à <http://www.asprs.org/Committee-General/LASer-LAS-File-Format-Exchange-Activities.html>.

Heidemann, Hans Karl, 2014, LiDAR base specification (ver. 1.2, November 2014): U.S. Geological Survey Techniques and Methods, book 11, chap. B4, 67 p. avec les annexes. Disponible à Geological Survey Techniques and Methods - <http://dx.doi.org/10.3133/tm11B4>.

Modèle numérique d'élévation de haute résolution (MNEHR) - Série CanÉlévation – Spécification de produit, édition 1, Ressources naturelles Canada, 31 mars 2017. <http://ouvert.canada.ca/fr/cartes-ouvertes>

Lignes directrices concernant les levés GNSS en mode RTK/RTN au Canada, Ressources naturelles Canada, version 1.1, juillet 2013. Disponible à [http://www.nrcan.gc.ca/sites/www.nrcan.gc.ca/files/earthsciences/pdf/Canada-RTK-UserGuide-v1\\_1-FR.pdf](http://www.nrcan.gc.ca/sites/www.nrcan.gc.ca/files/earthsciences/pdf/Canada-RTK-UserGuide-v1_1-FR.pdf).

Ressources naturelles, Directive canadienne pour l'acquisition de données avec le lidar aéroporté, version 1.0, 1<sup>er</sup> mai 2014.

Ontario Specifications for LiDAR Acquisition version 1.1. Gouvernement de l'Ontario, 15 avril 2016.

GEOBC Specifications for LiDAR, version 2.0, Ministère des Forêts, des Terres et de l'Exploitation des ressources naturelles de la Colombie-Britannique, 27 mars 2014.

Spécifications relatives à l'assurance de la qualité et à l'acquisition de données lidar de la Nouvelle-Écosse, version 1.0, Spatial energetics group, 11 avril 2012.

Ministère de l'Environnement et du Développement durable des ressources de l'Alberta, General Specification for Acquisition of lidar Data, mars 2015.

New Zealand National Aerial LiDAR Base Specification, Land Information New Zealand, décembre 2016.

National Network of Regional Coastal Monitoring Programmes of England, Specification for LiDAR Surveys Version 1.0. Août 2015.

ICSM LiDAR Acquisition Specifications and Tender Template, Australie, version 1.0. Novembre 2010.

Provision of LiDAR Services for The Government of Manitoba Water Management, Planning and Standards Service Area: Souris River Basin Term: To March 31, 2017.

Province of New Brunswick Draft LiDAR Specifications, Government of New Brunswick, June 2016.

Levés Laser Aéroporté (lidar), Traitement et Livraison des Données Classifiées pour des Territoires Situés Dans la Région de L'Abitibi-Témiscamingue, Ministère de L'énergie et des Ressources Naturelles, 13 juillet 2016.



## ANNEXE A – FORESTERIE

## Introduction

Des données lidar aéroporté distinctes et complètes ont été utilisées dans une gamme d'applications en foresterie, y compris pour la création d'inventaires des ressources forestières. De façon générale, l'application du lidar dans le secteur de la foresterie est soit axée sur une approche par surface zones ou sur une approche par arbres individuels. Bien que l'approche axée sur des zones soit considérée comme étant opérationnelle dans un contexte d'inventaire forestier, des approches axées sur les arbres individuels émergent. Les données lidar aéroporté permettent la cartographie 3D des structures végétales au travers du couvert forestier, ce qui est utile pour estimer les paramètres biophysiques tels la hauteur, le volume, la biomasse aérienne et, dans une certaine mesure, la densité de la végétation. En outre, les données lidar aéroporté peuvent indiquer la présence ou l'abondance de végétation du sous-étage et de la surface du sol (aux fins de cartographie du terrain) sous le couvert forestier, ce qui est impossible à obtenir à l'aide des autres technologies de télédétection. Le modèle numérique d'altitude du sol nu, désigné modèle numérique de terrain et dérivé des données lidar, s'est révélé très utile pour le secteur du génie forestier (notamment en ce qui concerne l'optimisation des chemins forestiers et la disposition des parterres de coupe). L'information fournie ci-dessous représente les recommandations actuelles portant sur l'acquisition de données lidar aéroporté pour des applications en foresterie. Les utilisateurs finaux devraient tenir compte de ces recommandations dans le contexte de leurs besoins spécifiques en matière d'information.

## Considérations relatives aux données

La collecte et l'utilisation de données lidar aéroporté pour les applications en foresterie dépendent des objectifs des projets. Les exigences devraient tenir compte du type de terrain, de la complexité des caractéristiques de la forêt et des besoins en information (c.-à-d., les paramètres requis) et des types de forêts (arbres décidus v. conifères). Le tableau A1 fournit quelques directives concernant les plages minimales de densité d'impulsions selon les différents types de forêts canadiennes et différentes mesures.

Tableau A1. Guide d'orientation concernant les densités d'impulsions minimales selon l'application et les types de forêts.

Applications en foresterie	Type de forêt et régions <sup>1</sup>	Description	Plage de densité d'impulsions
Approche sectorielle	Carolinienne et des Grands Lacs – forêt du Saint-Laurent	Cartographie zonale de forêts principalement feuillues et de secteurs mixtes comprenant des conifères	1 – 4 imp./m <sup>2</sup>

	Forêts boréale et acadienne	Cartographie zonale de forêts de conifères comportant des secteurs ayant des arbres décidus, particulièrement dans les zones riveraines	1 – 4 imp./m <sup>2</sup>
	Forêts côtières, montagnardes et colombiennes	Cartographie zonale de forêts denses dans des zones à relief élevé	6 – 12 imp./m <sup>2</sup>
<b>Approche portant sur les arbres individuels</b>	Région carolinienne et des Grands Lacs – Forêt du Saint-Laurent	Cartographie d'arbres individuels dans des forêts principalement décidues et de zones mixtes à conifères	4 – 8 imp./m <sup>2</sup>
	Arbres individuels, et estimation des attributs du couvert forestier dans la forêt boréale et la forêt acadienne	Cartographie des arbres individuels appartenant principalement à la forêt de conifères et de secteurs mixtes comprenant des arbres décidus, principalement en zones riveraines.	6 – 8 imp./m <sup>2</sup>
	Forêts côtières, montagnardes et colombiennes	Cartographie d'arbres individuels dans des forêts denses à zones de fort relief. La densité des impulsions doit être supérieure, selon la taille de l'arbre, de la densité de la végétation dans le peuplement.	6 – 12 imp./m <sup>2</sup>

<sup>1</sup>Régions forestières au Canada <http://cfs.nrcan.gc.ca/pubwarehouse/pdfs/24040.pdf>

- La densité des impulsions est définie par la densité nominale globale des impulsions (DNGI), laquelle est la densité moyenne ou médiane des impulsions telle qu'établie à la conception. Elle inclut les impulsions inter fauchées (fauchées qui se chevauchent), à l'exception des vides de données acceptables en matière de données, tel que défini dans le Guide d'orientation fédéral sur l'acquisition de données par lidar aéroporté
- Le tableau ci-dessus représente l'acquisition de données lidar aéroporté lorsque les arbres portent des feuilles. Les vols réalisés à l'automne ou tôt au printemps, lorsque les arbres des forêts décidues n'ont pas de feuilles et où le sous-étage et les autres couverts végétaux sont en dormance, peuvent produire davantage d'échos à la surface du sol, ce qui permet ainsi d'obtenir une caractérisation plus précise du terrain. À l'opposé, l'acquisition de données

lorsque les arbres portent des feuilles peut mener à une caractérisation améliorée de la structure forestière, bien que la nécessité des données « avec feuilles » et « sans feuilles » dépende du type de forêt et des besoins en matière d'informations. Pour prendre connaissance d'un exemple, et pour un résumé d'autres documents, voir les travaux de White et coll. (2015).

- Lorsqu'on applique une approche axée sur une région pour la modélisation des attributs forestiers, un modèle numérique de terrain (MNT) ayant une grille de 2 mètres est adéquat. À l'opposé, lors de la modélisation d'arbres individuels et de zones au terrain complexe, ou pour l'appui à la détermination des routes forestières, une grille d'un mètre est recommandée.

### Considérations relatives à l'acquisition de paramètres

Les capteurs lidar peuvent être configurés d'une manière à optimiser les applications en foresterie. Les paramètres choisis pour les applications en foresterie dépendent des objectifs visés par le projet et des besoins connexes en information. Le tableau A2 présente un résumé des paramètres d'acquisition recommandés en fonction des connaissances scientifiques actuelles et des capteurs disponibles.

*Tableau A2. Paramètres d'acquisition recommandés pour les lidar aéroportés utilisés en foresterie.*

Paramètres d'acquisition	Recommandation	Description
Divergence du faisceau laser	0,1-0,6 mrad	La divergence du faisceau laser représente la dispersion angulaire de l'impulsion laser jumelée à l'altitude de l'aéronef, à l'angle de balayage et au mouvement de l'aéronef (plus la pente du terrain) et détermine l'empreinte du lidar. Ce paramètre présume que la divergence du faisceau définit la largeur de l'empreinte du lidar à 1/e. De façon générale, on préfère les petites empreintes (< 30 cm) à énergie d'impulsion supérieure, particulièrement pour l'extraction de données sur les caractéristiques d'arbres individuels.
Angle de balayage	Un angle < $\pm 20^\circ$ est recommandé, mais même des angles de balayage plus étroits < $\pm 15^\circ$ sont souhaitables pour la plupart des applications en foresterie.	Les angles de balayage étroits augmentent la pénétration dans le couvert forestier, produisent des empreintes plus petites et augmentent l'énergie de l'impulsion incidente.

<b>Retours d'impulsions</b>	Au moins 2 retours par impulsion (premier et dernier)	Pour les systèmes lidar discrets, au moins 2 retours par impulsion sont recommandés pour la modélisation du couvert forestier et du sol (premier et dernier retours). Toutefois, il serait souhaitable d'avoir 4 retours ou plus par impulsion (premier et dernier retours, et retours intermédiaires). Les données de forme d'onde peuvent aussi être souhaitables du point de vue de la recherche lorsqu'on cartographie une forêt ou les caractéristiques structurales des arbres.
<b>Chevauchement de fauchées</b>	Minimum 20 %	Le chevauchement (interfauchées) est utilisé pour réduire le plus possible les vides de données qui découlent des changements dans l'attitude de l'aéronef et des changements de la topographie.
<b>Exactitude altimétrique</b>	+/- 0,3 – 0,5 m EQM <sub>z</sub>	Plage habituelle d'exactitude altimétrique pour les applications en foresterie.
<b>Exactitude planimétrique</b>	+/- 0,5 – 1,0 m EQM <sub>r</sub>	Plage habituelle d'exactitude planimétrique pour les applications en foresterie.

- Les capteurs lidar actuels ont des taux de répétition élevés qui fournissent une densité d'impulsions adéquate. La configuration du taux de répétition du capteur devrait être grandement déterminée par les paramètres de vol, la DNGL à la conception, l'angle de balayage, le chevauchement des fauchées pour éviter les vides de données et une énergie d'impulsion suffisante pour éviter l'affaiblissement des signaux.
- Les acquisitions lidar prévues devraient être conçues et réalisées sans vides de données, sauf dans les zones où des conditions de faible réflectance de surface dans le proche infrarouge sont présentes, comme de l'eau. La distribution spatiale des points géométriquement utilisables doit être régulière et uniforme, sauf dans les zones comprenant des vides de données. Une densité d'impulsions minimale spécifiée, tel que recommandée dans le tableau A1 ou définie par les objectifs du projet, devrait être présente dans 90 % des cellules d'une grille de densité uniforme dans la partie utilisable de la fauchée. Voir la section 6.1.1 Méthode du Projet du Guide d'orientation fédéral sur l'acquisition de données par lidar aéroporté pour des détails supplémentaires sur les considérations relatives à la planification de l'acquisition les spécifications.
- Une classification minimale recommandée du nuage de points lidar sera effectuée pour l'application en foresterie, conformément à la spécification et au format de la norme ASPRS LAS 1.4 – R13. Les impulsions étalonnées seront classées comme suit : transférées de classe 0 à la classe 7 pour points bas (bruit), classe 18 pour points hauts et classe 2 pour le sol nu. Les valeurs aberrantes, les données d'impulsion géométriquement instables et les fautes seront identifiées au moyen de l'indicateur « mis de côté » et ne seront pas utilisées dans le processus de classification. Le nuage de points restant sera classé dans la classe 1 – Traité mais non classifié. La classification devra être uniforme à l'échelle du projet, elle ne

devra contenir aucune variation perceptible de la nature, de texture ou de la qualité de la classification entre les tuiles, les fauchées, les vols ou toute autre division non naturelle. L'exactitude de la classification devra satisfaire l'article 4 du Guide d'orientation fédéral sur l'acquisition de données par lidar aéroporté. Les autres exigences relatives à la classification dépendront des exigences spécifiques du projet. Ceci qui pourrait inclure la classe 3 pour la végétation basse, la classe 4 pour la végétation moyenne, la classe 5 pour la végétation haute et la classe 9 pour l'eau.

## Références

- Evans, J.S., Hudak, A.T., Faux, R.; Smith, A.M.S. 2009. Discrete Return LiDAR in Natural Resources: Recommendations for Project Planning, Data Processing, and Deliverables. *Remote Sensing*. 1: 776-794.
- Gatzolis, D.; Andersen, H-E. 2008. A guide to LIDAR data acquisition and processing for the forests of the Pacific Northwest. General Technical Report. PNW-GTR-768. Portland, OR: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station. 32 p.
- Haugerud, R., Curtis, T., Maddin, I., Martinez, D., Nelson, S., Nile, E., Reutebuch, S. 2008. A proposed specification for LiDAR surveys in the Pacific Northwest. Puget Sound LiDAR Consortium 12 p.
- Laes, D., Reutebuch, S., McGaughey, B., Maus, P., Mellin, T., Wilcox, C., Anhold, J., Finco, M., Brewer, K.. Practical LiDAR acquisition considerations for forestry applications. RSAC-0111-BRIEF1, Salt Lake City, Utah, US Department of Agriculture, Forest Service, Remote Sensing Applications Center, 2008.
- McGaughey, R.J., Andersen, H-E., Reutebuch, S.e. "Considerations for planning, acquiring, and processing LIDAR data for forestry applications." In 11th Biennial USDA Forest Service Remote Sensing Applications Conference, Salt Lake City, UT. 2006.
- Montaghi, A. 2013. Effect of scanning angle on vegetation metrics derived from a nationwide Airborne Laser Scanning acquisition. *Journal canadien de télédétection*, 39(s1): S152-S173, DOI: 10.5589/m13-052
- Reutebuch, S.E., McGaughey, R.J. 2008. LIDAR: An emerging tool for multiple resource measurement, planning, and monitoring." *Western Forester*, 53: 1-5.
- White, J.C., Arnett, J.T.T.R., Wulder, M.A., Tompalski, P., Coops, N.C. 2015. Evaluating the impact of leaf-on and leaf-off airborne laser scanning data on the estimation of forest inventory attributes with area based approach. *Revue canadienne de recherche forestière*, 45: 1498-1513.  
[https://scf.rncan.gc.ca/publications?id=36446&lang=fr\\_CA](https://scf.rncan.gc.ca/publications?id=36446&lang=fr_CA)
- White, J.C., Wulder, M.A., Varhola, A., Vastaranta, M., Coops, N.C., Cook, B.D., Pitt, D, Woods, M. 2013. A best practices guide for generating forest inventory attributes from airborne laser scanning data using an area-based approach. *The Forestry Chronicle* 89(6): 722–723.
- White, J.C., Wulder, M.A., Varhola, A., Vastaranta, M., Coops, N.C., Cook, B.D., Pitt, D, Woods, M. 2013. Guide des meilleures pratiques pour générer des attributs d'inventaire forestier provenant de données obtenues par balayage laser aéroporté en utilisant une approche par zones. Service canadien des forêts, Centre canadien sur la fibre de bois, Centre de foresterie du Pacifique, Victoria (C.-B.). 50 p.  
<http://cfs.nrcan.gc.ca/publications?id=35375>
- Wulder, M., White, J.C., Nelson, R.F., Næsset, E., Ørka, H.O., Coops, N.C., Hilker, T., Bater, C.W., Gobakken, T. 2012. LiDAR sampling for large-area forest characterization: A review, *Remote Sensing of Environment*, 121: 196-209.

## ANNEXE B – CARTOGRAPHIE DES PLAINES INONDABLES

### Introduction

Les données lidar sont considérées comme étant la source principale de données des modèles numériques d'altitude (MNA) pour les diverses applications de cartographie des plaines inondables, y compris des produits techniques spécialisés tels les cartes des zones inondables, les cartes indiquant les dangers et les risques d'inondation, et les cartes d'information publiques. L'objectif principal des applications lidar destinées à la cartographie des plaines inondables est d'obtenir des données altimétriques précises, lesquelles sont nécessaires tant pour la modélisation hydraulique (dérivation de l'altitude des eaux et de l'étendue des inondations de diverses ampleurs) que pour la composante cartographique des projets visant les plaines inondables. Les ensembles de données d'altitude comprennent ce qui suit :

- Des données d'altitude du terrain qui sont obtenues des derniers retours lidar et qui ne contiennent que des éléments topographiques. Ces données constituent ce qu'on appelle habituellement un modèle numérique de terrain (MNT).
- Des données d'altitude basées sur les premiers retours qui reposent sur les premiers retours et qui comprennent les structures (p. ex., bâtiments et ponts) et le couvert végétal constituent ce qu'on appelle habituellement un modèle numérique de surface (MNS).

Les données lidar servent également à faciliter la caractérisation des plaines inondables (p. ex., extraction de caractéristiques planimétriques ou de la carte de base utiles pour l'orientation de la modélisation hydraulique et la création de cartes des zones inondables, comme des routes et des secteurs pavés, des berges, des ponts, des tranchées, etc.). L'utilisation d'un système lidar en combinaison avec des orthophotos constitue la meilleure solution pour caractériser les plaines inondables. Le niveau de détail de la caractérisation des zones inondables devrait être adapté à l'échelle de la cartographie souhaitée (p. ex., un niveau accru de détails sera nécessaire pour une carte à l'échelle 1:2 000 par rapport à une carte à l'échelle 1:5 000).

### Considérations relatives à l'acquisition de données

#### Conditions de faible débit

Outre les conditions environnementales qui doivent habituellement être réunies pour recueillir des données lidar (exemption de neige ou de glace au sol, côtes et cours d'eau sans amoncèlements de glace importants, absence de débordements ou d'inondations inhabituels), la collecte de données lidar aux fins de cartographie des zones inondables devrait avoir lieu lors de conditions d'étiage (saison sèche) afin de maximiser la partie exposée des cours d'eau et, du coup, de maximiser l'utilité des données recueillies aux fins de modélisation hydraulique.

#### Niveaux et débits stables

Le débit et le niveau de l'eau présents dans les plans d'eau et les cours d'eau devraient demeurer stables (c.-à-d., exempts de variations importantes tout au long de la campagne de collecte de données afin de maximiser l'uniformité des données recueillies). Cet aspect est important dans les situations où le débit/le niveau des eaux risque de changer rapidement (p.

ex., les rivières qui réagissent rapidement ou les rivières régularisées). Lorsque la collecte de données s'étend sur une longue période (habituellement en raison de la taille de la zone visée par la collecte, laquelle pourrait potentiellement nécessiter plusieurs saisons), la préférence devrait être accordée à la collecte de données dans des conditions similaires de niveau et de débit d'eau.

#### Absence de feuilles dans les arbres

Il est recommandé de procéder à la collecte des données lorsque les arbres ne portent aucune feuille et ce, afin d'optimiser la pénétration dans le couvert forestier et maximiser la densité des points au sol et la qualité du MNT connexe. Toutefois, l'acquisition de données en l'absence de feuilles dans les arbres n'est pas requise tant et aussi longtemps que la densité des points et l'exactitude altimétrique des retours sans canopée suffisent à satisfaire les exigences d'exactitude des MNT et des MNS. Dans certaines situations, l'acquisition de données alors que les arbres sont en feuilles peut être préférée ou nécessaire pour cartographier et caractériser les types de végétation, notamment pour la modélisation hydrologique ou la modélisation hydraulique détaillée (p. ex., estimation du n de Manning).

#### Paramètres d'acquisition

Le tableau B1 résume les paramètres minimaux requis et recommandés pour l'acquisition de données lidar pour les applications de cartographie de zones inondables. Un chevauchement de fauchée plus important est recommandé pour les secteurs qui comportent des terrains à fort relief.

*Tableau B1. Paramètres minimaux requis et recommandés d'acquisition de données lidar pour les applications de cartographie des plaines inondables.*

Paramètres d'acquisition	Minimum	Recommandés
Chevauchement de fauchée – Chevauchement entre les portions géométriquement utilisables des fauchées (95 % de la largeur de la fauchée)	20 %	50 %
Champ de vision (FOV)	± 25 degrés du nadir	± 20 degrés du nadir
Nombre de retours	≥ 2	≥ 3
Intensité	Oui	Oui

#### Acquisition d'orthophotographies

Les images aériennes, particulièrement les orthophotographies, sont extrêmement utiles pour la cartographie des plaines inondables puisqu'elles fournissent de précieuses informations pour les analyses hydrologiques, hydrauliques et des risques. De plus, elles constituent des ensembles de données cartographiques de base très utiles pour tous les types de cartes des plaines inondables. Les orthophotographies sont aussi indispensables pour le conditionnement hydrologique des MNT, ce qui constitue une pratique recommandée pour le post-traitement de MNA dérivés de lidar (voir ci-dessous). Si un nombre suffisant d'orthophotographies à jour et de

haute qualité ne sont pas disponibles pour la zone visée par la collecte de données lidar, il incombe de songer à recueillir des orthophotographies au cours de la même période d'acquisition de données lidar afin de maximiser l'utilisation des données aux fins de la cartographie des plaines inondables.

### **Considérations relatives à la qualité des données**

#### Exactitude et densité des données

Les plaines inondables peuvent présenter divers types de couvertures terrestres, qu'il s'agisse de végétation dégagée et basse, de broussailles, de forêts et même d'éléments urbains. L'acquisition de données lidar dans les plaines inondables est donc assujettie à une multitude de conditions. Celle-ci devrait donc être guidée par le besoin de recueillir suffisamment de retours d'impulsions pour tous les types de couvertures présentes dans la plaine inondable. Par exemple, si une portion de la zone visée par la collecte de données est couverte d'une dense végétation riveraine, une densité de collecte plus élevée pourrait être requise pour obtenir une densité de points au sol suffisante dans la zone riveraine.

L'ampleur de l'effort déployé pour colliger les données (densité des points, exactitude altimétrique et exactitude planimétrique) devrait généralement refléter les exigences de l'application prévue de cartographie des zones inondables, laquelle dépend généralement de l'ampleur des risques d'inondation et du cadre réglementaire en place. Le tableau B2 présente les spécifications approximatives recommandées en lien avec la densité et l'exactitude des données lidar pour les applications de cartographie des zones inondables en tant que fonction de la catégorie de risque d'inondation, selon l'examen des lignes directrices provinciales et territoriales existantes (Alberta Environment, 2011; Kerr Wood Leidal, 2011; Spatial Energistics Group, 2012; Elevation Coordination and Consultation Committee, gouvernement de l'Ontario, 2016) et du National Floodplain Mapping Assessment report présenté par MMM Group Limited (2014). Les catégories de risques d'inondation sont définies à la lumière du rapport de MMM et sont similaires aux classes d'exactitude altimétrique adoptées dans les lignes directrices de l'Ontario :

- Catégorie de risque élevé d'inondation : Toutes les zones urbaines et rurales qui sont protégées par des digues.
- Catégorie de risque moyen d'inondation : Toutes les autres zones rurales qui comprennent les zones de peuplement et les terres agricoles.
- Catégorie de risque faible d'inondation : Zones faiblement peuplées.



Tableau B2. Exactitude et densité approximatives de données lidar recommandées pour les applications de cartographie des plaines inondables.

	Catégorie de risque d'inondation		
	Élevé	Moyenne	Faible
<b>Exactitude altimétrique (surfaces ouvertes, de niveau et dures)</b>			
Exactitude altimétrique, zones dépourvues de végétaux (EAZDV) – Erreur quadratique moyenne altimétrique (EQM <sub>z</sub> )	≤ 5,0-7,5 cm	7,5-10,0 cm	15 cm
Exactitude altimétrique, zones dépourvues de végétaux (EAZDV) – niveau de confiance de 95 % (≈ 1,96 * EQM <sub>z</sub> )	≤ ±10-15 cm	±15-20 cm	±30 cm
<b>Exactitude planimétrique (surfaces ouvertes, de niveau et dures)</b>			
Erreur quadratique moyenne planimétrique (EQM <sub>r</sub> )	≤ 11-15 cm	30-45 cm	60 cm
Exactitude planimétrique – niveau de confiance de 95 % (≈ 1,7308 * EQM <sub>r</sub> )	≤ ±20-25 cm	±50-75 cm	±100 cm
<b>Densité des données</b>			
Densité nominale globale des points (DNGI) pour les MST (premier retour) et les MNA (dernier retour)	≥ 4-10 points/m <sup>2</sup>	2-4 points/m <sup>2</sup>	1-2 points/m <sup>2</sup>

### Classification

Les classes minimales requises comprennent les suivantes : sol, non-sol et eau. Ces classes sont nécessaires pour le conditionnement hydrologique des MNT. Les classes bâtiments et autres structures fabriquées par l'homme seront également requises pour créer des MNS, et pour faciliter la suppression des retours d'immeubles/de structures du MNT. Il est recommandé qu'au moins 90 à 95 % des bâtiments et des structures soient retirés des MNT. De plus, les catégories de végétation pourraient être nécessaires pour la modélisation hydrotechnique et la cartographie de base.

### Aplanissement des étendues d'eau

L'aplanissement des étendues d'eau est un post-traitement appliqué aux MNA dérivés de données lidar et qui s'assure que les surfaces aquatiques sont planes dans l'axe des deux rives (perpendiculaire à la direction apparente du courant), sans accroissement vers l'aval. Dans certains cas, un conditionnement hydrologique supplémentaire peut être requis pour les éléments de drainage zone de rivière plate avec des îles / canaux où des flux 2D peuvent se produire. L'aplanissement des étendues d'eau est recommandé dans le cadre des applications visant les plaines inondables. Les lignes directrices et les spécifications précises seront définies par l'autorité contractante

## Autres considérations

### *Lidar topobathymétrique*

On devrait envisager l'utilisation de systèmes lidar topobathymétriques pour l'acquisition simultanée et en continuum de données topographiques et bathymétriques. Les méthodes traditionnelles de collecte de données bathymétriques (dans la portion sous-marine de la géométrie du chenal de la rivière), qui misent sur l'installation d'échographes sur des navires ou la réalisation manuelle de levés, coûtent cher, nécessitent du temps et sont potentiellement dangereuses. Les systèmes topobathymétriques comprennent un laser vert capable de pénétrer les plans d'eau et de mesurer la bathymétrie. En outre, ces systèmes sont capables de produire des données uniformes d'altitude au-dessus des eaux et sous celles-ci. Les détails sur l'utilisation du lidar topo-bathymétrique seront inclus dans une version ultérieure de ce guide

## Références

Alberta Environment, 2011. Flood Hazard Identification Program Guidelines. Alberta Environment, Water Management Operations, River Forecast Section, 92 p.

American Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ASPRS), 2014. Positional accuracy standards for digital geospatial data, Edition 1, Version 1.0: American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, 26 p., [http://www.asprs.org/wp-content/uploads/2015/01/ASPRS\\_Positional\\_Accuracy\\_Standards\\_Edition1\\_Version100\\_November2014.pdf](http://www.asprs.org/wp-content/uploads/2015/01/ASPRS_Positional_Accuracy_Standards_Edition1_Version100_November2014.pdf)

Federal Emergency Management Agency (FEMA), 2016. Guidance for Flood Risk Analysis and Mapping, Elevation Guidance (May 2016): Federal Emergency Management Agency, 21 p.

Heidemann, Hans Karl, 2014. LiDAR base specification (Version 1.2, November 2014): U.S. Geological Survey Techniques and Methods, book 11, chap. B4, 67 p. with appendixes, <http://dx.doi.org/10.3133/tm11B4>. ISSN 2328-7055.

Kerr Wood Leidal, 2011. Coastal floodplain mapping – guidelines and specifications. Prepared for the Ministry of Forests, Lands and Natural Resource Operations, Gouvernement de la Colombie-Britannique, 91 p.

Mapcon Mapping Ltd., 2009. Imagery and Elevation Acquisition Guidelines, Version 1.2. Préparé pour le compte du gouvernement du l'Ontario, 18 p.

MMM Group Limited, 2014. Évaluation nationale de la cartographie des plaines inondables – Rapport final. Préparé pour le compte de Sécurité publique Canada.

Ressources naturelles Canada, 2014. Guide d'orientation canadien relatif à l'acquisition d'un lidar aéroporté, version 1.0, 1<sup>er</sup> mai 2014, 26 p.

Elevation Coordination and Consultation Committee, Gouvernement de l'Ontario, 2016. Ontario Specifications for LiDAR Acquisition, Version 1.1, 2016-04-15.

Spatial Energistics Group, 2012. LiDAR Data Acquisition and Quality Assurance Specifications, version 1.0. Préparé pour le compte du ministère des Pêches et de l'Aquaculture, Gouvernement de la Nouvelle-Écosse, 61 p.

## ANNEXE C – TERRAIN À FORT RELIEF

## Introduction

Les activités de cartographie topographique et/ou la réalisation d'inventaires forestiers en terrain à fort relief au moyen de données lidar aéroporté exigent une approche adaptée pour la collecte de données. Les zones à fort relief sont généralement des zones montagneuses qui comportent des pentes abruptes (p. ex., > 35 degrés) et qui sont caractérisées par des variations importantes sur le plan de l'altitude, lesquelles ont une incidence sur la collecte de données par lidar (p. ex., les conditions de surface découlant de la différence de températures à diverses altitudes) ou sur les paramètres de vol en raison des caractéristiques du terrain. Les zones à fort relief compliquent la collecte des données en raison de l'ondulation du terrain, des pentes abruptes, de l'accès difficile et des conditions environnementales. La présente section vise à formuler des recommandations et des considérations quant à la collecte de données par lidar aéroporté dans les zones à fort relief.

Tableau C1. Paramètres de collecte recommandés

Paramètre	Condition	Description
Angle de balayage	Choisir des angles de balayage étroits $\leq \pm 15^\circ$	La modification rapide des pentes en terrain montagneux peut allonger l'empreinte des impulsions laser et avoir un effet plus prononcé sur les structures verticales, tels les arbres. Les pentes raides augmentent également l'incertitude positionnelle aux extrémités des fauchées. Les angles de balayage étroits minimisent cet effet et permettent une meilleure cartographie des arbres en terrains montagneux.
Chevauchement	Recommandation : 50 %	La modification des terrains augmente la possibilité de vides de données sur le plan des données. Un chevauchement accru entre les lignes de vol minimise ces lacunes au niveau des données et augmente la pénétration jusqu'au sol dans les terrains à haut relief.
Fréquence de répétition des impulsions (PRF)	Diminuer la PRF afin d'accroître l'énergie des retours d'impulsions et de réduire les évanouissements d'impulsion.	Les terrains inégaux et à pentes abruptes augmentent la diffusion des impulsions lidar, ce qui entraîne un évanouissement des signaux. Une faible PRF augmente l'énergie des impulsions émises, ce qui peut potentiellement diminuer l'évanouissement des impulsions. En outre, l'aéronef peut voler plus haut, ce qui accroît la marge de sécurité.

<p><b>Conditions de la collecte</b></p>	<p>En altitude, la neige reste plus longtemps au sol et le terrain peut occasionner de plus fortes turbulences aériennes</p>	<p>En altitude, la neige reste plus longtemps au sol. La fenêtre de collecte de données est plus étroite et la planification devrait tenir compte de l'incidence des longues périodes d'enneigement à haute altitude. Les caractéristiques du terrain pourraient accroître les turbulences aériennes dans la zone visée par la collecte de données. Ces conditions auront une incidence sur la qualité des données, et pourraient favoriser les vides de données en raison du roulis de l'avion pour compenser les vents violents.</p>
<p><b>Positionnement</b></p>	<p>Perte du signal GNSS</p>	<p>L'aéronef et les mesures des points de vérification in situ qui utilisent des récepteurs GNSS pourraient être affectés par les obstacles topographiques. La topographie pourrait avoir une incidence sur la valeur de PDOP, réduisant du coup le nombre de satellites visibles et la capacité de détermination de la position. La distance de la station contrôle au sol recommandée est de 25-30 km.</p>
<p><b>Lignes de vol</b></p>	<p>Ajuster l'orientation et la dimension des blocs à lever.</p>	<p>La planification du vol devrait tenir compte des caractéristiques topographiques, y compris l'orientation et la taille des blocs à lever afin de créer des zones de fauchées égales et une distribution harmonisée de la densité d'impulsions. Des blocs à lever de petite taille sont recommandés</p>
<p><b>Accès à distance</b></p>	<p>Difficulté à recueillir les points de vérification</p>	<p>Les secteurs à fort relief compliquent la collecte des points de vérification. L'accès peut être difficile, ce qui pourrait limiter le nombre de points de vérification.</p>

**Références**

Evans, Jeffery, S., Hudak, Andrew, T., Faux, Russ, and Smith, Alistair, M.S. Discrete Return LiDAR in Natural Resources: Recommendations for Project Planning, Data Processing and Deliverables. *Remote Sens.* 1, 776-794, 2009.

Hirata, Y. The Effect of Footprint Size and Sampling Density In Airborne Laser Scanning To Extract Individual Trees in Mountainous Terrain. *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Science*, Vol. XXXVI-8/W2.

Hopkinson, Chris, Demuth, Mike, Sitar, Mike, and Chasmer, Laura. Application of Airborne LiDAR Mapping in Glacierised Mountainous Terrain. *Geoscience and Remote Sensing Symposium*, 2001. IGARSS '01. IEEE 2001 International.

Hsu, Wei-Chen, Wu, Li-Wei, and Liu, Jin-King. Airborne LiDAR Survey in Cloudy and Extremely High Relief Mountainous Terrain of Taiwan. IGARSS 2012.

Jordan, Thomas, Marguerite Madden, Byungyun Yang, J. Sharma, and Sudhanshu Panda. "Acquisition of LiDAR for the Tennessee Portion of Great Smoky Mountains National Park and the Foothills Parkway." Center for Remote Sensing and Mapping Science (CRMS), Department of Geography, The University of Georgia, Athens, Georgia, USA, Tech. Rep. USGS Contract (2011).

Mitchell, Brent, Mike Walterman, Tom Mellin, Craig Wilcox, Ann M. Lynch, John Anhold, Donald A. Falk et al. "Mapping vegetation structure in the Pinaleno Mountains using LiDAR-phase 3: Forest inventory modeling." (2012).

Su, Jason, and Bork, Edward. Influence of Vegetation, Slope and LiDAR Sampling Angle on DEM Accuracy. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* Vol 72, No 11, pp 1265-1274, 2006.

## ANNEXE D – CARTOGRAPHIE DES INFRASTRUCTURES URBAINES

### Introduction

L'avancement de la technologie lidar aéroportée fournit une source de données multidimensionnelles à la cartographie 3D haute précision des milieux urbains. Les applications lidar destinées aux villes comprennent notamment la cartographie des caractéristiques des immeubles et de la foresterie urbaine, la définition des zones inondables, l'extraction des caractéristiques des services publics, la classification de la couverture du sol et l'évaluation de corridors. Il est donc nécessaire d'apporter des ajustements à la collecte et au traitement des données lidar pour tenir compte de la variation du paysage urbain. Le présent guide d'orientation vise à fournir une orientation générale pour la collecte de données lidar pour les différents types d'applications urbaines.

### Considérations relatives à la collecte de données

Le tableau D1 présente les considérations et recommandations générales relatives à la collecte de données en milieux urbains.

*Tableau D1. Considérations relatives à la collecte de données*

Élément	Description
<b>Conditions</b>	Il est préférable de recueillir des données lidar portant sur les structures urbaines lorsque les arbres n'ont pas de feuilles, sauf lorsque la collecte vise la foresterie urbaine. Ces conditions augmentent l'exposition du sol, des toitures des bâtiments et des câbles de distribution d'électricité. Les autres conditions de collecte indiquées dans la section 4 sont aussi recommandées.
<b>Chevauchement des fauchées</b>	Le chevauchement entre les fauchées ne devrait pas être inférieur à 50% afin de réduire les vides de données, l'occultation des bâtiments ou les surfaces réfléchissant peu ou pas les ondes du proche infrarouge, tel le bitume.
<b>Angle de balayage</b>	Angles de balayage aigus ayant un champ de vision $\leq 40$ (+/- 20 degrés de part et d'autre du nadir) afin de réduire les zones occluses.
<b>Exigences en matière d'exactitude</b>	Les applications types de la technologie lidar aux environnements urbains nécessitent une exactitude altimétrique en zone ouverte de $\leq 15$ cm à 95 % et une exactitude planimétrique $\leq 40$ cm à 95 %.
<b>Empreinte de l'impulsion</b>	De petites empreintes sont préférables afin de détecter les arêtes des objets.
<b>Retour</b>	Habituellement, plusieurs retours discrets sont requis (au minimum le premier et le dernier retours). Les impulsions intermédiaires sont utiles pour les applications portant sur les arbres/la foresterie, les nombreux câbles de transport d'électricité et la détection des arêtes des bâtiments.
<b>Orientation du vol</b>	Selon l'orientation des routes, il serait préférable pour les villes dominées par une grille routière rectiligne que les lignes de vol soient perpendiculaires à l'orientation des routes. De plus, afin de réduire le plus possible les zones occluses, les vols pourraient être orientés de façon à obtenir des lignes parallèles et perpendiculaires. Toutefois, cela entraînera des coûts supplémentaires en raison de l'accroissement des exigences liées aux vols.

## Considérations relatives au traitement des données

Le processus d'acquisition de données lidar doit comprendre les images d'intensité, la classification du nuage de points et les modèles numériques de surface. Les modèles numériques de surface visant les villes comprennent les modèles numériques d'altitude comportant les lignes de rupture appropriées et l'aplanissement des masses d'eau, les modèles numériques de surface et le modèle de hauteur du couvert. La classification additionnelle des nuages de données d'impulsions (LAS 1.4 – classification R13 dans le tableau A2) dépendrait des exigences spécifiques du projet, mais peut inclure certaines caractéristiques tels les chemins de fer, les revêtements de route, les fils et la végétation. D'autres classes susceptibles d'être affectées à la classe 64-255 pour les environnements urbains comprennent notamment les lampadaires, les marquages routiers, les rails de tramway, les poteaux électriques, les trottoirs, les terrains de stationnement et les sentiers.

Tableau D2. Classification LAS 1.4

Classe	Description
0	Créé mais jamais classé
1	Non attribué
2	Sol
3	Végétation basse 0-0,3 m
4	Végétation moyenne 0,3-2,0 m
5	Végétation haute 2 m et +
6	Bâtiment
7	Point bas (bruit)
8	Réservé
9	Eau
10	Ferroviaire
11	Surface routière
12	Réservé
13	Fil métallique – protection
14	Fil métallique – conducteur (phase)
15	Tour de transmission
16	Connecteur de structure métallique (p. ex., isolant)
17	Tablier de pont
18	Point haut
19-63	Réservé
64-255	Définis par l'utilisateur

## Densité d'impulsions pour l'extraction des caractéristiques

Le tableau ci-dessous présente les plages d'intensité d'impulsions lidar recommandées (DNGL) pour les diverses applications urbaines aux fins d'extraction des caractéristiques. La recommandation générale quant à la cartographie urbaine est la suivante : la densité d'impulsions doit être  $\geq 10$  imp./m<sup>2</sup>. Toutefois, selon les objectifs spécifiques du projet, la densité d'impulsions peut varier en fonction du type d'extraction de caractéristiques. Le tableau A3 présente les recommandations d'DNGL pour les différents types d'extraction de caractéristiques.

Tableau D3. Plages de densités d'impulsions pour l'extraction des caractéristiques

Application	Collecte de données	Traitement des données
Extraction de l'empreinte des bâtiments	8 - 15 imp./m <sup>2</sup>	L'extraction des empreintes de bâtiments dépend du niveau de détails souhaité des structures et de l'espacement physique entre les bâtiments et les caractéristiques des toitures. Pour les milieux urbains développés, une densité d'impulsions accrue avec une empreinte d'impulsion plus petite est préférable pour définir avec précision les bords des bâtiments, les espaces entre les bâtiments et les caractéristiques des toitures. Les impulsions intermédiaires peuvent être utiles pour le raffinement des bords de bâtiments.
Couverture terrestre	5 - 10 imp./m <sup>2</sup>	La classification générale de la couverture terrestre en ville au moyen de données lidar exige une densité d'impulsions suffisante pour distinguer les caractéristiques des différentes couvertures terrestres. Dans les villes, la couverture terrestre change rapidement, et la détection de petits types de couverture terrestre exige une densité d'impulsions accrue.
Terrain	4– 15 imp./m <sup>2</sup>	La cartographie de la topographie urbaine exige une densité d'impulsions suffisamment bien répartie pour permettre l'extraction des caractéristiques du sol. La densité d'impulsions dépend de la complexité du terrain et du niveau d'exactitude requis.
Cartographie des services publics et de corridors	10 – 25 imp./m <sup>2</sup>	La cartographie des fils électriques, des lampadaires, des marques routières et des panneaux exige une forte densité d'impulsions à empreinte étroite, à impulsions courtes régulières. Les retours d'impulsions intermédiaires pourraient également être utiles pour la cartographie des poteaux à fils électriques multiples.
Arbres individuels	4 - 12 imp./m <sup>2</sup>	La modélisation des arbres nécessite une densité d'impulsions plus élevée que pour la cartographie des zones boisées. Pour ce type d'application, il incombe de favoriser une petite empreinte au sol.



<b>Zones boisées</b>	2 – 4 imp./m <sup>2</sup>	Ceci est adéquat pour la modélisation de la hauteur du couvert forestier et les retours de sols nus.
<b>Modélisation urbaine 3D</b>	6 – 20 imp./m <sup>2</sup>	La densité d'impulsions pour la création de MNS et de MNA, les nuages de points classifiés sont fonction de l'application visée pour le modèle.

### Considérations, limites et postulats

- L'acquisition de données lidar aéroporté au-dessus de zones urbaines peut avoir lieu de jour comme de nuit, et elle peut être restreinte en raison des limites associées au contrôle du trafic aérien. La planification de la collecte de données devrait tenir compte des répercussions sur le calendrier en raison des restrictions de collecte de données à proximité des aéroports.
- Dans les secteurs urbains, l'altitude des bâtiments et des structures peuvent produire des ombres et des occlusions lidar ce qui peut entraîner une absence considérable de données dans le nuage de points lidar. De ce point de vue, il pourrait être nécessaire d'obtenir plusieurs angles ou de recourir à un champ de vision étroit pour l'application des systèmes lidar en milieux urbains. Cette approche devrait permettre un juste équilibre entre la densité des bâtiments, la hauteur de ceux-ci et l'orientation du réseau routier et les considérations financières.
- Aux fins de la cartographie, les bâtiments et les lignes de transport d'électricité pourraient être cachés par les arbres, ce qui pourrait nuire à leur extraction complète des données lidar. La collecte de données alors que les arbres n'ont pas de feuilles pourrait améliorer la détection de ces caractéristiques.
- Certains murs et toits de bâtiments sont vitrés, c'est-à-dire transparents ou partiellement transparents. Ainsi, il pourrait y avoir un nombre considérable de points lidar inattendus venant de la réflexion des impulsions sur des objets se trouvant à l'intérieur des bâtiments et sous les toitures. Bon nombre de ces points peuvent être considérés comme du bruit, ce qui signifie que les nuages de points classifiés devraient tenir compte des catégories de bruit.

**Références**

- Alexander, Cici, Kevin Tansey, Jörg Kaduk, David Holland, and Nicholas J. Tate. "Backscatter coefficient as an attribute for the classification of full-waveform airborne laser scanning data in urban areas." *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 65, no. 5 (2010): 423-432.
- Awrangjeb, Mohammad, Chunsun Zhang, and Clive S. Fraser. "Automatic extraction of building roofs using LIDAR data and multispectral imagery." *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 83 (2013): 1-18.
- Awrangjeb, Mohammad, and Clive S. Fraser. "An automatic and threshold-free performance evaluation system for building extraction techniques from airborne LiDAR data." *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing* 7, no. 10 (2014): 4184-4198.
- Awrangjeb, Mohammad, Guojun Lu, and C. Fraser. "Automatic building extraction from LiDAR data covering complex urban scenes." *The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* 40, no. 3 (2014): 25.
- Clode, Simon, Peter J. Kootsookos, and Franz Rottensteiner. "The automatic extraction of roads from LIDAR data." In *The International Society for Photogrammetry and Remote Sensing's Twentieth Annual Congress*, vol. 35, pp. 231-236. ISPRS, 2004.
- Dorninger, Peter, and Norbert Pfeifer. "A comprehensive automated 3D approach for building extraction, reconstruction, and regularization from airborne laser scanning point clouds." *Sensors* 8, no. 11 (2008): 7323-7343.
- Hu, Xiangyun, Yijing Li, Jie Shan, Jianqing Zhang, and Yongjun Zhang. "Road centerline extraction in complex urban scenes from LiDAR data based on multiple features." *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 52, no. 11 (2014): 7448-7456.
- Jarzabek-Rychard, M., and H. G. Maas. "Aerial image based geometric refinement of building models derived from airborne LiDAR data." (2016).
- Jwa, Yoonseok, and Gunho Sohn. "A piecewise catenary curve model growing for 3D power line reconstruction." *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* 78, no. 12 (2012): 1227-1240.
- Li, Zhengrong, Troy S. Bruggemann, Jason J. Ford, Luis Mejias, and Yuee Liu. "Toward automated power line corridor monitoring using advanced aircraft control and multisource feature fusion." *Journal of Field Robotics* 29, no. 1 (2012): 4-24.
- Marks, Kate, and Paul Bates. "Integration of high-resolution topographic data with floodplain flow models." *Hydrological Processes* 14, no. 11-12 (2000): 2109-2122.
- McLaughlin, Robert A. "Extracting transmission lines from airborne LIDAR data." *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters* 3, no. 2 (2006): 222-226.
- Meesuk, Vorawit, Zoran Vojinovic, Arthur E. Mynett, and Ahmad F. Abdullah. "Urban flood modelling combining top-view
- Yan Wai Yeung, Shaker Ahmed, and El-Ashamwy Nagwa. "Urban land cover classification using airborne LiDAR data: a review." *Volume 158*, 1 March 2015, Pages 295-310.

## **ANNEXE E – CONTRAT**

Le guide d'orientation cadre avec les spécifications relatives à la collecte de données lidar aérien, et le contrat définit les exigences spécifiques visant la modification ou l'amélioration du présent guide. Les éléments contractuels clés sont énoncés ci-dessous.

### **Définition**

Inclure une liste des termes utilisés dans le contrat, accompagnés de leur définition.

### **Renseignements sur le fournisseur**

Renseignements sur le fournisseur, y compris sa dénomination sociale, son centre opérationnel et les coordonnées de la personne-ressource.

### **Portée**

Les exigences spécifiques au projet seront énoncées dans la présente section. Cette dernière comprendra les demandes relatives aux données (p. ex., données de forme d'onde, assurance qualité accrue lorsque le fournisseur exige un échantillonnage accru, et une densité d'impulsions supérieure). Le calendrier et les détails relatifs aux produits à livrer devraient également être clairement présentés.

Voici une liste de certains des éléments contractuels prévus dans la portée du projet dont l'autorité contractante devrait tenir compte :

- ZICD
- Densité d'impulsions exigée
- Examen de la méthode
- Écarts en matière d'instrumentation
- Exactitudes altimétrique et planimétrique
- Demande de données d'impulsions, de données intermédiaires ou de données de forme d'onde
- Période de collecte de données
- Considérations relatives aux points de vérification, y compris le nombre de personnes qui réaliseront l'initiative et leur nom
- Propriété et utilisation des données
- Plan de contingence
- Période consacrée à la validation et à la vérification des données sur les produits à livrer dans le cadre du projet
- Exigences relatives aux données brutes
- Champs additionnels post-classification
- Tout produit dérivé (c.-à-d., MNA, contours, aplanissement des masses d'eau)
- Dimension et format des tuiles, et convention d'appellation

- Renonciations ou ajustement pour les zones à fort relief, aux secteurs enneigés et aux conditions de végétation
- Acceptation des fichiers LAZ compressés
- Utilisation de systèmes de référence virtuels
- Nombre de vérification de la classification
- Conditions pour le rejet des données (p. ex., vides de données ou densité des données)

### **Assurance**

Une assurance couvrant les aéronefs et les automobiles est requise. Cette assurance doit comprendre une assurance responsabilité civile commerciale générale et une assurance responsabilité contre les erreurs et les omissions. Les montants spécifiques couverts par ces assurances seront indiqués. L'autorité contractuelle serait désignée « passager » sur la police d'assurance.

- Confirmer la police d'assurance et fournir le certificat demandé
- Confirmer la police d'assurance contre les accidents en milieu de travail

### **Sécurité**

Un plan de sécurité sera fourni afin d'assurer que les données sont recueillies en toute sécurité, surtout en régions éloignées. Ce plan identifiera et évaluera les risques, il comprendra un plan d'atténuation et il indiquera l'équipement de sécurité requis. La sécurité doit respecter toute la réglementation du gouvernement fédéral et provincial. Exemples : sécurité routière des véhicules, heures de la collecte des données et dangers liés à la faune.

- Demander le plan de santé et de sécurité du fournisseur

### **Clause de résiliation**

Condition si le fournisseur faillit à ses responsabilités ou s'il viole le contrat. Une clause de résiliation indiquant les conditions d'une résiliation sera incluse dans le contrat.

### **Résolution des différends**

Advenant un désaccord concernant le contrat ou les modalités des besoins, cette section traitera en détail du processus de résolution du différend, y compris de l'avis du fournisseur ou de l'autorité contractante, du processus de médiation et des mesures qui peuvent être prises.

### **Renonciation**

Toute exception ou modification des modalités du contrat et de la collecte de données faite par l'autorité contractante doivent être présentée par écrit avant leur mise en œuvre.

**Période d'examen des produits à livrer**

Le fournisseur fournira, dans le cadre des produits qu'il doit livrer tôt dans le cadre du projet, un plan présentant la méthode qui permettra de respecter les objectifs établis par le guide d'orientation en matière de collecte de données, de traitement et des produits à livrer. Une période adéquate doit être prévue pour inspecter et accepter les produits à livrer. Les modalités doivent être indiquées et un certificat doit être fourni par le fournisseur pour tous les travaux acceptés.

**Modalités de paiement**

Les paiements financiers liés au projet devraient tenir compte des coûts initiaux des opérations aéroportées et des produits à livrer. Les paiements d'étape et le pourcentage des paiements doivent être compris dans la structure du contrat. Toute retenue doit être indiquée.

**Sous-traitants**

Tout changement additionnel de sous-traitant nécessite le consentement écrit de l'autorité contractante. Les sous-traitants sont tenus de respecter toutes les exigences relatives aux assurances et à la sécurité au travail.

**Force Majeure**

Une description de tout bris de contrat découlant d'événements tels une guerre, une émeute, un incendie, un acte de sabotage, la sécurité nationale ou tout autre événement ou circonstance qui ne peuvent être raisonnablement prévus et qui n'ont pas été causés par un acte, une omission ou une négligence et qui échappent au contrôle du fournisseur ou de l'autorité contractante. Cette section doit comprendre les conditions et les avis relatifs à ce qui se passerait.

**Intégralité de l'entente**

Le contrat doit préciser toutes les conditions, les exigences et les spécifications. Aucune autre modalité, entente ou condition ne liera les parties.

**Prestations des services**

Clause indiquant la rigueur des délais et la volonté à réaliser les tâches exigées dans les délais prescrits. L'autorité contractante pourrait mettre fin au contrat en cas de défaut ou selon des conditions convenues mutuellement.

**Permis**

Une clause indiquant l'ensemble des permis requis pour réaliser les vols, pour accéder aux lieux par la voie terrestre ou toute autre exigence concernant la prestation des services et la fourniture des produits. Le fournisseur doit obtenir ces permis à ses frais.

**Conformité aux lois**

Clause visant à lier le fournisseur et tout sous-traitant, représentants et entrepreneurs afin qu'ils respectent toutes les lois et réglementations applicables de tous les paliers gouvernementaux. Le fournisseur indemnise également l'autorité contractante pour toute négligence de la part du fournisseur, de ses représentants et de ses sous-traitants.

**Expédition**

Une clause peut être ajoutée au contrat pour accélérer les travaux et la livraison des produits s'il devient apparent que les échéanciers ne seront pas respectés.

**Garantie**

Une garantie visant les produits à livrer est fournie. Cette garantie couvre le respect des spécifications, la quantité et la qualité. La garantie doit comprendre une période pour la correction des non-conformités. La clause de garantie peut porter sur toute responsabilité potentielle découlant d'un produit défectueux.

**Lois applicables**

Les lois en vertu desquelles le contrat s'applique peuvent être provinciales, fédérales et/ou internationales.

**Indemnisation**

Le contrat devrait contenir des clauses relatives à toute indemnisation pour la non-prestation d'un service ou la non-livraison d'un produit, pour toute négligence dans la réalisation de la collecte des données ou pour toute violation de contrat.

**Confidentialité**

Les renseignements que le fournisseur transmet à l'autorité contractante sont confidentiels et sont protégés contre toute utilisation, divulgation ou reproduction non autorisées.

**Successeurs et attributions**

Une clause pourrait empêcher un vendeur de transférer le contrat à une autre partie sans le consentement de l'autorité contractante. Cette clause indiquerait les droits de l'autorité contractante d'accepter ou de refuser la demande.

**Propriété des données**

Les données appartiennent à l'autorité contractante, laquelle est la seule à pouvoir les utiliser. Le modèle de propriété des données déterminé entre l'autorité contractante et le fournisseur varie de projet en projet.