
**Qualité de l'air — Météorologie de
l'environnement —**

**Partie 2:
Télédétection du vent par lidar Doppler
pulsé hétérodyne basée sur le sol**

iTeh STANDARD PREVIEW
Air quality — Environmental meteorology —

(standards.iteh.ai)
*Part 2: Ground-based remote sensing of wind by heterodyne pulsed
Doppler lidar*

ISO 28902-2:2017

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/be703a4d-5309-4493-918e-8c36e0d6e73e/iso-28902-2-2017>



iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

ISO 28902-2:2017

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/be703a4d-5309-4493-918e-8c36e0d6e73e/iso-28902-2-2017>



DOCUMENT PROTÉGÉ PAR COPYRIGHT

© ISO 2017, Publié en Suisse

Droits de reproduction réservés. Sauf indication contraire, aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie, l'affichage sur l'internet ou sur un Intranet, sans autorisation écrite préalable. Les demandes d'autorisation peuvent être adressées à l'ISO à l'adresse ci-après ou au comité membre de l'ISO dans le pays du demandeur.

ISO copyright office
Ch. de Blandonnet 8 • CP 401
CH-1214 Vernier, Geneva, Switzerland
Tel. +41 22 749 01 11
Fax +41 22 749 09 47
copyright@iso.org
www.iso.org

Sommaire

Page

Avant-propos	iv
Introduction	v
1 Domaine d'application	1
2 Références normatives	1
3 Termes et définitions	1
4 Principes essentiels du lidar Doppler pulsé hétérodyne	4
4.1 Présentation générale.....	4
4.2 Détection hétérodyne.....	5
4.3 Analyse spectrale.....	7
4.4 Variables cibles.....	10
4.5 Sources de bruit et d'incertitudes.....	10
4.5.1 Bruit de Schottky de l'oscillateur local.....	10
4.5.2 Bruit du détecteur.....	11
4.5.3 Bruit d'intensité relatif (RIN).....	11
4.5.4 Chatoiement.....	11
4.5.5 Fréquence du laser.....	11
4.6 Assignation de la portée.....	12
4.7 Limites connues.....	12
5 Spécifications et essais du système	12
5.1 Spécifications du système.....	12
5.1.1 Caractéristiques de l'émetteur.....	12
5.1.2 Caractéristiques de l'émetteur/recepteur.....	13
5.1.3 Paramètres d'échantillonnage du signal.....	14
5.1.4 Caractéristiques du système de pointage.....	14
5.2 Relation entre caractéristiques et performances du système.....	15
5.2.1 Facteur de mérite.....	15
5.2.2 Compromis entre temps et bande passante.....	17
5.3 Fidélité et disponibilité des mesurages.....	17
5.3.1 Exactitude de mesure de la vitesse radiale.....	17
5.3.2 Disponibilité des données.....	17
5.3.3 Portée opérationnelle maximale.....	18
5.4 Modes opératoires d'essai.....	19
5.4.1 Généralités.....	19
5.4.2 Validation du mesurage de la vitesse radiale.....	19
5.4.3 Évaluation de l'exactitude par comparaison avec d'autres instruments.....	20
5.4.4 Validation de la portée opérationnelle maximale.....	21
6 Planification du mesurage et instructions relatives à l'installation	23
6.1 Exigences relatives au site.....	23
6.2 Conditions limites pour usage général.....	24
6.3 Maintenance et essai de fonctionnement.....	24
6.3.1 Généralités.....	24
6.3.2 Maintenance.....	24
6.3.3 Essai de fonctionnement.....	24
6.3.4 Incertitude.....	24
Annexe A (informative) Lidar Doppler à ondes continues	26
Annexe B (informative) Extraction du vecteur vent	27
Annexe C (informative) Applications	32
Annexe D (informative) Champs d'application typiques et exigences correspondantes	36
Bibliographie	38

Avant-propos

L'ISO (Organisation internationale de normalisation) est une fédération mondiale d'organismes nationaux de normalisation (comités membres de l'ISO). L'élaboration des Normes internationales est en général confiée aux comités techniques de l'ISO. Chaque comité membre intéressé par une étude a le droit de faire partie du comité technique créé à cet effet. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec l'ISO participent également aux travaux. L'ISO collabore étroitement avec la Commission électrotechnique internationale (IEC) en ce qui concerne la normalisation électrotechnique.

Les procédures utilisées pour élaborer le présent document et celles destinées à sa mise à jour sont décrites dans les Directives ISO/IEC, Partie 1. Il convient, en particulier de prendre note des différents critères d'approbation requis pour les différents types de documents ISO. Le présent document a été rédigé conformément aux règles de rédaction données dans les Directives ISO/IEC, Partie 2 (voir www.iso.org/directives).

L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments du présent document peuvent faire l'objet de droits de propriété intellectuelle ou de droits analogues. L'ISO ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de propriété et averti de leur existence. Les détails concernant les références aux droits de propriété intellectuelle ou autres droits analogues identifiés lors de l'élaboration du document sont indiqués dans l'Introduction et/ou dans la liste des déclarations de brevets reçues par l'ISO (voir www.iso.org/brevets).

Les appellations commerciales éventuellement mentionnées dans le présent document sont données pour information, par souci de commodité, à l'intention des utilisateurs et ne sauraient constituer un engagement.

(standards.iteh.ai)

Pour une explication de la nature volontaire des normes, la signification des termes et expressions spécifiques de l'ISO liés à l'évaluation de la conformité, ou pour toute information au sujet de l'adhésion de l'ISO aux principes de l'Organisation mondiale du commerce (OMC) concernant les obstacles techniques au commerce (OTC), voir le lien suivant: www.iso.org/avant-propos.

Le présent document a été élaboré par le comité technique ISO/TC 146, *Qualité de l'air*, sous-comité SC 5, *Météorologie*, en collaboration avec l'Organisation météorologique mondiale (OMM), en tant que norme commune ISO/OMM dans le cadre de l'Accord sur les arrangements de travail signé par l'OMM et l'ISO en 2008.

Une liste de toutes les parties de la série ISO 28902 se trouve sur le site web de l'ISO.

Introduction

Les lidars («Light Detection And Ranging»), signifiant lidars atmosphériques dans le domaine d'application du présent document, se sont révélés être des systèmes intéressants pour la télédétection par laser des polluants atmosphériques et de plusieurs paramètres météorologiques tels que les nuages, les aérosols, les gaz et (lorsque la fonctionnalité Doppler est disponible) le vent. Les mesures sont effectuées sans contact direct et dans n'importe quelle direction à l'aide d'un rayonnement électromagnétique. Les systèmes lidar complètent les technologies de mesure *in situ* classiques. Ils peuvent être utilisés pour plusieurs applications qui ne peuvent pas être correctement mises en œuvre avec des méthodes de mesure *in situ* ou ponctuelles.

Plusieurs méthodes permettent d'utiliser les lidars pour mesurer le vent atmosphérique. Les quatre méthodes les plus couramment utilisées sont le lidar Doppler cohérent, pulsé ou à ondes continues, le lidar Doppler à détection directe et le lidar Doppler à résonance (couramment utilisé pour les mesurages de la couche de sodium mésosphérique). Pour de plus amples informations, se reporter aux Références [1] et [2].

Le présent document décrit l'utilisation de systèmes lidars Doppler pulsés hétérodynes. Certaines informations générales sur le lidar Doppler à ondes continues sont données dans l'[Annexe A](#). Une Norme internationale sur cette méthode est en préparation.

iTeh STANDARD PREVIEW (standards.iteh.ai)

[ISO 28902-2:2017](#)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/be703a4d-5309-4493-918e-8c36e0d6e73e/iso-28902-2-2017>

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

ISO 28902-2:2017

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/be703a4d-5309-4493-918e-8c36e0d6e73e/iso-28902-2-2017>

Qualité de l'air — Météorologie de l'environnement —

Partie 2:

Téledétection du vent par lidar Doppler pulsé hétérodyne basée sur le sol

1 Domaine d'application

Le présent document spécifie les exigences et les modes opératoires d'essais de performance relatifs aux techniques de lidar Doppler pulsé hétérodyne et présente leurs avantages et limites. Dans le présent document, le terme «lidar Doppler» s'applique uniquement à des systèmes lidars pulsés hétérodynes permettant d'extraire des mesures du vent à partir de la diffusion d'une lumière laser sur des aérosols dans l'atmosphère. Les performances et les limites sont décrites sur la base de conditions atmosphériques normalisées.

Le présent document décrit la détermination de la vitesse du vent sur la ligne de visée (vitesse radiale du vent).

NOTE La détermination du vecteur vent à partir de mesures individuelles sur la ligne de visée n'est pas décrite dans le présent document car elle est hautement spécifique à une configuration de lidar particulière. Un exemple d'extraction du vecteur vent est donné dans l'[Annexe B](#).

Le présent document ne traite pas de l'extraction du vecteur vent.

Le présent document peut être utilisé dans les champs d'application suivants:

- points météorologiques, par exemple pour l'aviation, la sécurité aéroportuaire, les applications maritimes et les plates-formes pétrolières;
- production d'énergie éolienne, par exemple évaluation d'un site et détermination de la courbe de puissance;
- mesurages de routine des profils de vent dans les stations météorologiques;
- surveillance de la dispersion des polluants dans l'atmosphère;
- gestion des risques industriels (surveillance directe des données ou par assimilation des données dans des modèles de flux à micro-échelle);
- processus d'échanges (émissions de gaz à effet de serre).

Le présent document s'adresse aux fabricants de lidars Doppler pulsés hétérodynes ainsi qu'aux organismes en charge des essais et de la certification de leur conformité. Le présent document fournit également des recommandations aux utilisateurs pour un usage adéquat de ces instruments.

2 Références normatives

Le présent document ne contient aucune référence normative.

3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions suivants s'appliquent.

L'ISO et l'IEC tiennent à jour des bases de données terminologiques destinées à être utilisées en normalisation, consultables aux adresses suivantes:

- IEC Electropedia: disponible à l'adresse <http://www.electropedia.org/>
- ISO Online browsing platform: disponible à l'adresse <http://www.iso.org/obp>

3.1 taux de disponibilité des données

rapport entre le nombre de données de mesure effectivement acquises ayant une qualité de données prédéfinie et le nombre attendu de données de mesure pendant une *période de mesure* (3.10) donnée

3.2 résolution en portée affichée

intervalle spatial constant entre les centres de deux *portes de mesure* (3.13) successives

Note 1 à l'article: La résolution en portée affichée est également la taille d'une porte de mesure sur le dispositif d'affichage. Elle est déterminée par la longueur de la porte de mesure et le recouvrement entre des portes successives.

3.3 résolution en portée effective

variable liée à l'application décrivant un intervalle de portée intégré pour lequel la variable cible est fournie avec une incertitude définie

[SOURCE: ISO 28902-1:2012, 3.14]

3.4 résolution temporelle effective

variable liée à l'application décrivant un intervalle de temps intégré pour lequel la variable cible est fournie avec une incertitude définie

[SOURCE: ISO 28902-1:2012, 3.12, modifiée.]

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

ISO 28902-2:2017

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/be703a4d-5309-4493-918e-8c56e0d6e73e/iso-28902-2-2017>

3.5 coefficient d'extinction

α

mesure de l'opacité atmosphérique, exprimée par le logarithme népérien du rapport de l'intensité lumineuse incidente à l'intensité lumineuse transmise, par longueur unitaire du trajet lumineux

[SOURCE: ISO 28902-1:2012, 3.10]

3.6 durée d'intégration

temps nécessaire à la détermination de la vitesse dans la ligne de visée

3.7 portée maximale d'acquisition

R_{MaxA}

distance maximale jusqu'à laquelle le signal lidar est enregistré et traité

Note 1 à l'article: Elle dépend du nombre de points d'acquisition et de la fréquence d'échantillonnage.

3.8 portée minimale d'acquisition

R_{MinA}

distance minimale à partir de laquelle le signal lidar est enregistré et traité

Note 1 à l'article: Si la portée minimale d'acquisition n'est pas indiquée, elle est supposée être égale à zéro. Elle peut être différente de zéro lorsque la réception est masquée pendant l'émission des impulsions.

3.9**portée opérationnelle maximale** R_{Max0}

distance maximale jusqu'à laquelle le signal lidar permet de déterminer une vitesse de vent fiable

Note 1 à l'article: La portée opérationnelle maximale est inférieure ou égale à la portée maximale d'acquisition.

Note 2 à l'article: La portée opérationnelle maximale est définie le long d'un axe correspondant à l'application. Elle est mesurée verticalement pour un profileur de vent. Elle est mesurée horizontalement pour les lidars à balayage capables de mesurer dans la totalité d'un hémisphère.

Note 3 à l'article: La portée opérationnelle maximale peut être augmentée en prolongeant la période de mesure et/ou en réduisant la résolution en portée.

Note 4 à l'article: La portée opérationnelle maximale dépend des paramètres lidar, mais aussi des conditions atmosphériques.

3.10**période de mesure**

intervalle de temps entre les première et dernière mesures

3.11**portée opérationnelle minimale** R_{Min0}

distance minimale à laquelle le signal lidar permet de déterminer une vitesse de vent fiable

Note 1 à l'article: La portée opérationnelle minimale est également appelée zone aveugle.

Note 2 à l'article: Dans les lidars pulsés, la portée opérationnelle minimale est limitée par la lumière parasite dans le lidar pendant l'émission des impulsions, par la profondeur de foyer ou par le temps de commutation émetteur/récepteur du détecteur. Elle peut dépendre de la durée d'impulsion (T_p) et de la largeur de porte de mesure (RGW).

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/be703a4d-5309-4493-918e-8c36e0d6e73e/iso-28902-2-2017>

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/be703a4d-5309-4493-918e-8c36e0d6e73e/iso-28902-2-2017>

3.12**résolution en portée physique**largeur (à mi-hauteur) de la *fonction de pondération en portée* (3.15)**3.13****porte de mesure**

largeur (à mi-hauteur) de la fonction de pondération sélectionnant les points de la série temporelle en vue du traitement spectral et du calcul de la vitesse du vent

Note 1 à l'article: La porte de mesure est centrée sur la distance de mesure.

Note 2 à l'article: La porte de mesure est définie en nombre d'intervalles ou en porte de mesure de distance équivalente.

3.14**résolution en portée**

variable liée au matériel décrivant le plus court intervalle de portée à partir duquel des informations de signal indépendantes peuvent être obtenues

[SOURCE: ISO 28902-1:2012, 3.13]

3.15**fonction de pondération en portée**

fonction de pondération de la vitesse radiale du vent le long de la ligne de visée

3.16

résolution temporelle

variable liée au matériel décrivant le plus court intervalle de temps à partir duquel des informations de signal indépendantes peuvent être obtenues

[SOURCE: ISO 28902-1:2012, 3.11]

3.17

biais de vitesse

écart systématique maximal dû à l'instrument lors du mesurage de la vitesse

Note 1 à l'article: Le biais de vitesse doit être réduit au minimum par un étalonnage adéquat, par exemple sur une cible fixe.

3.18

plage de vitesse

plage déterminée par la vitesse minimale mesurable du vent, la vitesse maximale mesurable du vent et l'aptitude à mesurer le signe de la vitesse, sans ambiguïté

Note 1 à l'article: Selon l'application lidar, la plage de vitesse peut être définie sur la vitesse radiale du vent (lidars à balayage) ou sur les vitesses horizontales du vent (profileurs de vent).

3.19

résolution en vitesse

écart-type instrumental de vitesse

Note 1 à l'article: La résolution en vitesse dépend de la durée d'impulsion, du rapport porteuse/bruit et du temps d'intégration.

3.20

cisaillement du vent

variation du vecteur vent dans un plan perpendiculaire à la direction du vent

ISO 28902-2:2017
<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sis/06c703a4d-5309-4493-918e-8c36e0d6e73e/iso-28902-2-2017>

4 Principes essentiels du lidar Doppler pulsé hétérodyne

4.1 Présentation générale

Un lidar Doppler pulsé émet une impulsion laser dans un faisceau laser étroit (voir [Figure 1](#)). Lorsqu'il se propage dans l'atmosphère, le rayonnement laser est diffusé dans toutes les directions par les aérosols et les molécules. Une partie du rayonnement diffusé revient vers le lidar; elle est capturée par un télescope, détectée et analysée. Les aérosols et les molécules se déplaçant avec l'atmosphère, il en résulte un décalage de fréquence par effet Doppler pour la lumière laser diffusée.

Aux longueurs d'onde (et donc fréquences) pertinentes pour un lidar Doppler hétérodyne (cohérent), la majeure partie du rayonnement rétrodiffusé provient des aérosols.

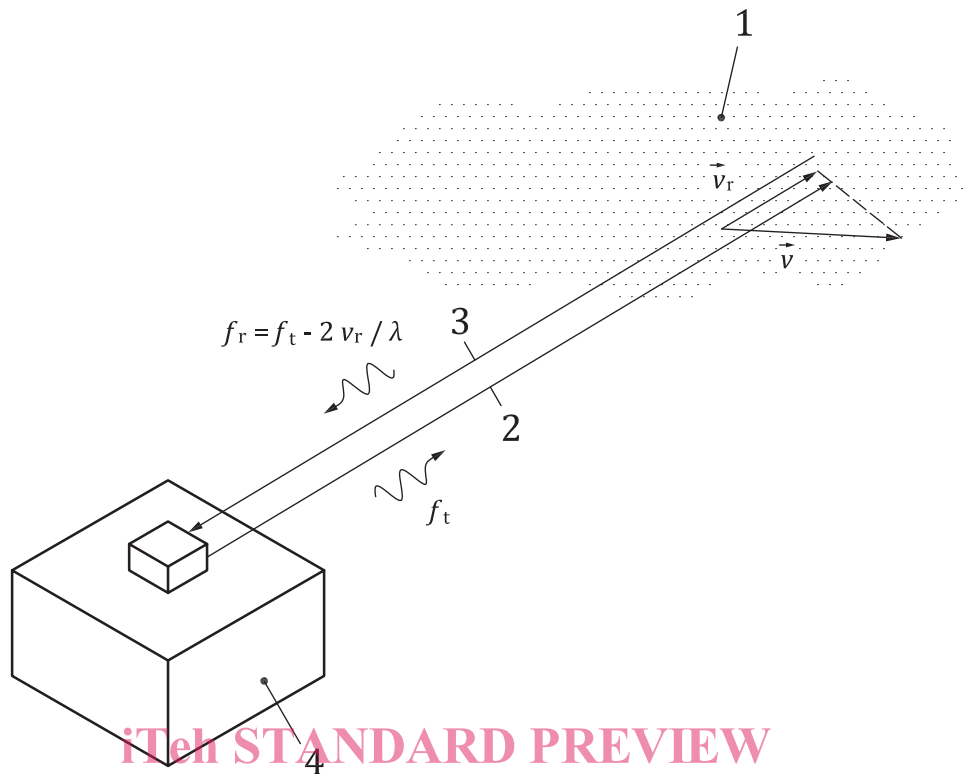
L'analyse vise à déterminer la différence, Δf , entre la fréquence, f_t , de l'impulsion laser émise et la fréquence, f_r , de la lumière rétrodiffusée. Selon l'équation de Doppler, cette différence est proportionnelle à la composante du vent sur la ligne de visée, comme indiqué dans la [Formule \(1\)](#):

$$\Delta f = f_r - f_t = -2v_r/\lambda \quad (1)$$

où

λ est la longueur d'onde du laser;

v_r est la composante du vent le long de la ligne de visée (composante du vecteur vent, \vec{v} , le long de l'axe du faisceau laser, considérée comme étant positive lorsque le vent souffle dans la direction opposée au lidar).



Légende

- 1 particules diffusantes se déplaçant avec le vent
- 2 trajet optique de l'impulsion laser émise (faisceau laser)
- 3 axe optique du récepteur
- 4 instrument lidar

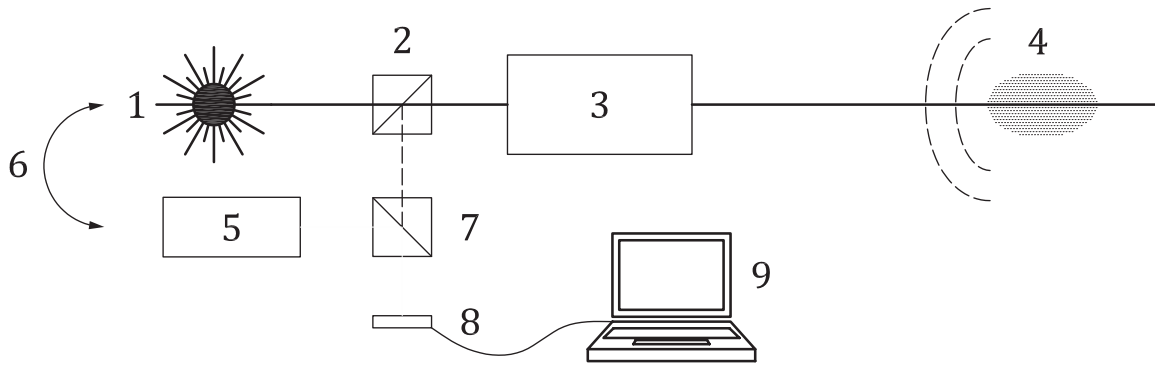
Figure 1 — Principe de mesure d'un lidar Doppler pulsé hétérodyne

Le mesurage est résolu en portée car le rayonnement rétrodiffusé reçu au temps, t , après l'émission de l'impulsion laser s'est propagé du lidar jusqu'aux aérosols à la portée, x , puis est retourné jusqu'au lidar à la vitesse de la lumière, c . La [Formule \(2\)](#) montre la relation linéaire entre la portée et le temps.

$$x = c \cdot \frac{t}{2} \quad (2)$$

4.2 Détection hétérodyne

Dans un lidar hétérodyne, la détection de la lumière captée par le télescope récepteur (à la fréquence $f_r = f_t + \Delta f$) est décrite schématiquement à la [Figure 2](#). La lumière reçue est mélangée au faisceau d'un laser continu très stable appelé oscillateur local. La somme des deux ondes électromagnétiques – rétrodiffusée et oscillateur local – est convertie en un signal électrique par un détecteur quadratique (produisant un courant électrique proportionnel à la puissance de l'onde électromagnétique éclairant sa surface sensible). Un filtre passe-haut analogique est ensuite appliqué pour éliminer les composantes basse fréquence du signal.



Légende

- 1 laser pulsé
- 2 élément optique séparant les lumières reçue et émise
- 3 télescope (utilisé pour l'émission et la réception)
- 4 diffuseurs
- 5 laser de l'oscillateur local (laser continu)
- 6 boucle d'asservissement de fréquence (ce dispositif fixe la différence, $f_t - f_{lo}$)
- 7 élément optique alignant le faisceau de l'oscillateur local sur l'axe optique du faisceau lumineux reçu et les mélangeant
- 8 détecteur quadratique
- 9 convertisseur analogique-numérique et unité de traitement numérique des signaux

Figure 2 — Principe de la détection hétérodyne

Le résultat est un courant, $i(t)$, de radiofréquence, $f_t + \Delta f - f_{lo}$.

$$i(t) = \underbrace{2 \cdot \frac{\eta \cdot e}{h \cdot f_t} \cdot K \cdot \xi(t) \cdot \sqrt{\gamma(t) \cdot P_r(t) \cdot P_{lo}}}_{i_{het}(t)} \cdot \cos[2\pi(\Delta f + f_t - f_{lo}) \cdot t + \varphi(t)] + n(t) \quad (3)$$

où

- t est le temps;
- h est la constante de Planck;
- η est le rendement quantique du détecteur;
- e est la charge électrique d'un électron;
- K est la constante instrumentale tenant compte des pertes de transmission dans le récepteur;
- $\xi(t)$ est la modulation aléatoire de l'amplitude du signal par l'effet de chatoiement (voir 4.5.2);
- $\gamma(t)$ est le rendement hétérodyne;
- $P_r(t)$ est la puissance de la lumière rétrodiffusée;
- P_{lo} est la puissance de l'oscillateur local;
- f_{lo} est la fréquence de l'oscillateur local;

- $\varphi(t)$ est une phase aléatoire;
- $n(t)$ est le bruit blanc de détection;
- $i_{\text{het}}(t)$ est le signal hétérodyne.

Le rendement hétérodyne, $\gamma(t)$, est une mesure de la qualité du mélange optique des ondes rétrodiffusées et de l'oscillateur local sur la surface du détecteur. Il ne peut pas dépasser 1. Un bon rendement hétérodyne nécessite un dimensionnement et un alignement soigneux de l'oscillateur local par rapport à l'onde rétrodiffusée. Les conditions optimales de mélange sont décrites dans la Référence [3]. Le rendement hétérodyne n'est pas une fonction purement instrumentale; il dépend aussi de la turbulence de l'indice de réfraction (Cn^2) le long du faisceau laser (voir la Référence [4]). Dans des conditions de forte turbulence atmosphérique, les fluctuations de l'indice de réfraction dégradent le rendement hétérodyne. Cela peut se produire lorsque le lidar est utilisé à proximité du sol pendant une chaude journée d'été.

Dans la Formule (4), $P_r(t)$ est la puissance instantanée de la lumière rétrodiffusée. Elle est donnée par l'équation lidar (voir la Référence [3]):

$$P_r(t) = A \cdot \int_0^{+\infty} x^{-2} \cdot G(x) \cdot g\left(t - \frac{2x}{c}\right) \cdot \beta(x) \cdot \tau^2(x) dx \quad (4)$$

avec

$$\tau(x) = \exp\left[-\int_0^x \alpha(\zeta) d\zeta\right]$$

où

- x est la distance par rapport au lidar;
- A est la surface collectrice du télescope récepteur;
- $G(x)$ est la fonction de sensibilité dépendant de la portée ($0 \leq G(x) \leq 1$) tenant compte, par exemple, de l'atténuation du rendement du récepteur à courte portée pour éviter la saturation du détecteur;
- $g(t)$ est l'enveloppe de la puissance des impulsions laser ($\int g(t) dt = E_0$, E_0 étant l'énergie de l'impulsion laser);
- $\beta(x)$ est le coefficient de rétrodiffusion de la cible atmosphérique explorée;
- $\tau(x)$ est la transmission atmosphérique en fonction du coefficient d'extinction, α .

4.3 Analyse spectrale

L'extraction de la mesure de la vitesse radiale à partir de signaux hétérodynes fait appel à une analyse spectrale. Celle-ci est effectuée dans le domaine numérique après conversion analogique-numérique des signaux hétérodynes. Un aperçu du traitement est donné à la Figure 3. L'analyse de fréquence est appliquée à une fenêtre temporelle ($t, t + \Delta t$) et répétée pour un nombre, N , d'impulsions lidar. La fenêtre définit une porte de mesure ($x, x + \Delta x$) avec $x = c \cdot t / 2$ et $\Delta x = c \cdot \Delta t / 2$. N est lié au temps d'intégration, $t_{\text{int}} = 1/f_{\text{PRF}}$, du mesurage (f_{PRF} est la fréquence de répétition des impulsions). L'analyse des signaux consiste à moyenniser les fonctions de densité de puissance spectrale des signaux par porte de mesure. Un estimateur de fréquence est ensuite utilisé pour estimer la fréquence centrale du pic du signal. Il s'agit d'une estimation, \hat{f}_{het} , de la fréquence, $f_{\text{het}} = \Delta f + f_t - f_{l0}$, du signal hétérodyne (voir Figure 3).

En raison de la conversion analogique-numérique, l'intervalle de fréquence résolu par l'analyse de fréquence est limité à $(0, +F_s/2)$ ou $(-F_s/2, +F_s/2)$ pour des signaux à valeur complexe. Cela limite les