

Simulation numérique

pour le dimensionnement des systèmes lidars

*T. Ristorcelli*¹, N. Rivière², L. Hespel² & G. Cazanave¹



¹ Magellium, ² ONERA

07/04/2014



1. Introduction

2. Dimensionner un système

- Aspects radiométriques
 - Portée, Rapport signal / bruit
- Aspects géométriques
 - Résolution, précision
- Applications spécifiques
 - Conditions dégradées, ...

3. Simulation Numérique

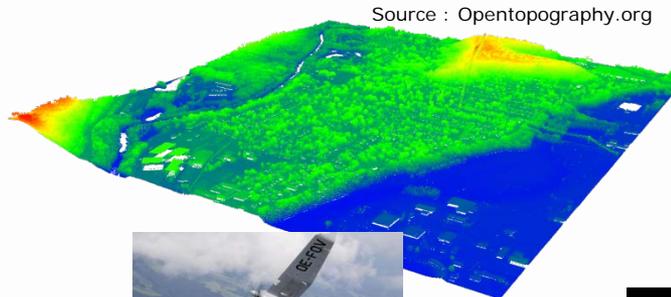
- Quelques outils existants

4. Conclusions & Perspectives

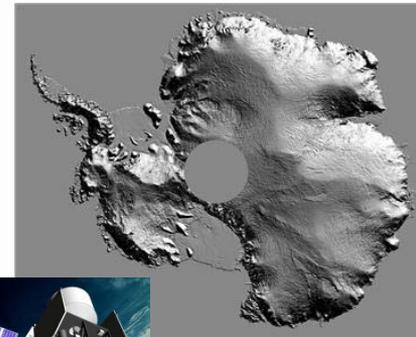
- Scanners laser terrestres / aéroportés & lidar spatiaux



Source : ONERA



Source : Opentopography.org



Source : nsidc.org



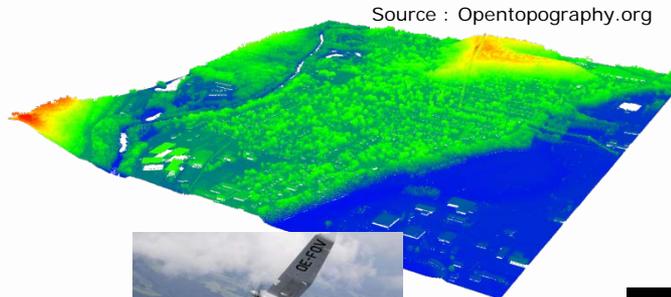
- Systèmes à détection directe (asynchrone), mesure du temps de vol
- Systèmes à retours discrets (mono ou multi-échos) / onde complète



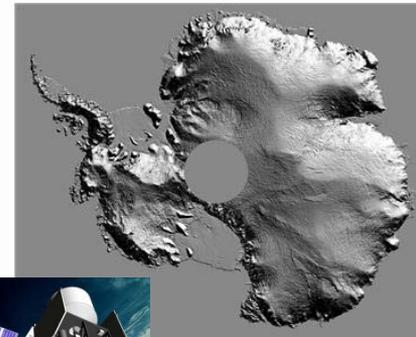
- Scanners laser terrestres / aéroportés & lidar spatiaux



Source : ONERA



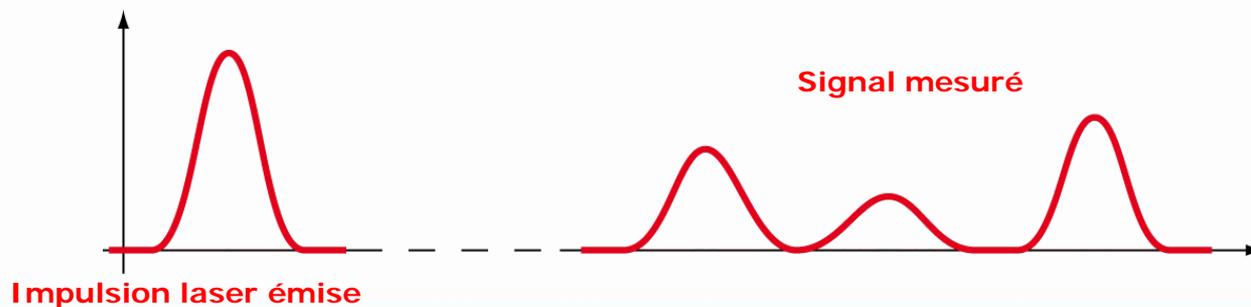
Source : Opentopography.org



Source : nsidc.org



- Systèmes à détection directe (asynchrone), mesure du temps de vol
- Systèmes à retours discrets (mono ou multi-échos) / onde complète

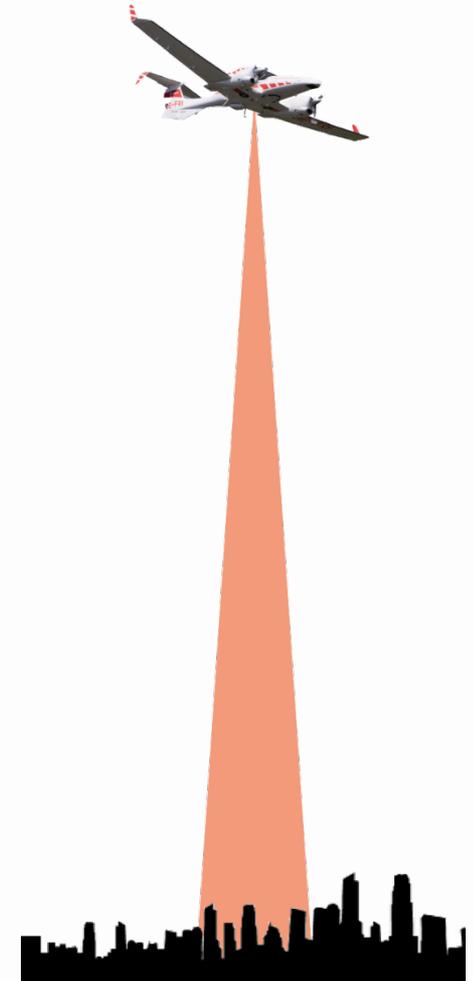


Quelle portée pour mon système ?

Limitations physiques

Facteurs d'atténuation du signal :

- Atténuation géométrique en $1/R^2$

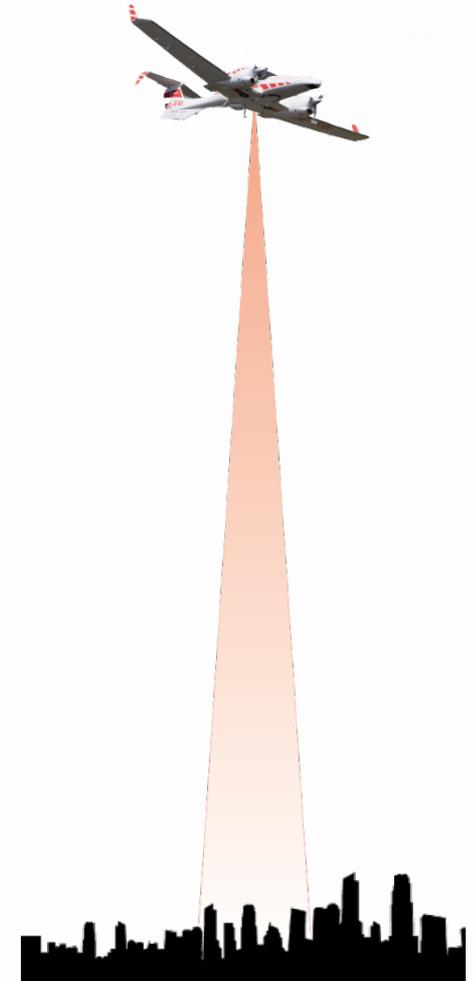


Quelle portée pour mon système ?

Limitations physiques

Facteurs d'atténuation du signal :

- Atténuation géométrique en $1/R^2$
- Atténuation atmosphérique en $e^{-2\alpha R}$

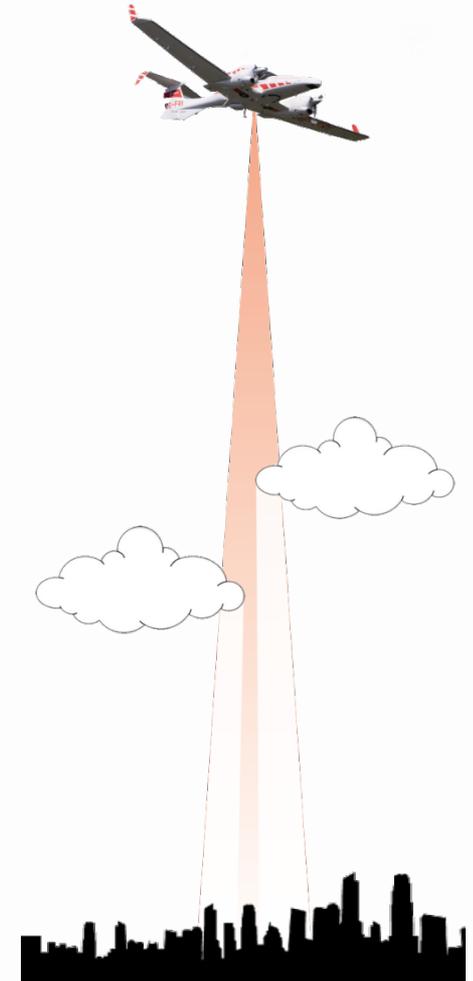


Quelle portée pour mon système ?

Limitations physiques

Facteurs d'atténuation du signal :

- Atténuation géométrique en $1/R^2$
- Atténuation atmosphérique en $e^{-2\alpha R}$
- Conditions dégradées (neige, brouillard, fumée, nuages, ...)

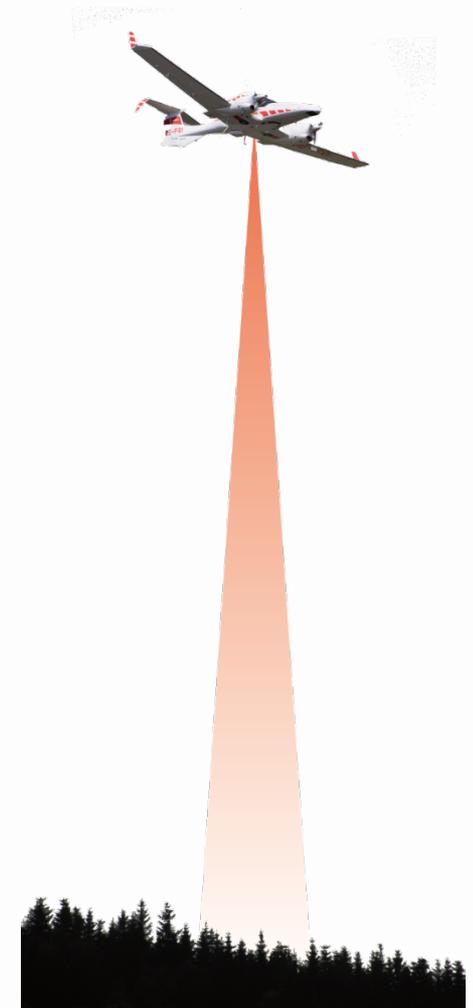


Quelle portée pour mon système ?

Limitations physiques

Facteurs d'atténuation du signal :

- Atténuation géométrique en $1/R^2$
- Atténuation atmosphérique en $e^{-2\alpha R}$
- Conditions dégradées (neige, brouillard, fumée, nuages, ...)
- Albédo des surfaces cibles



Quelle portée pour mon système ?

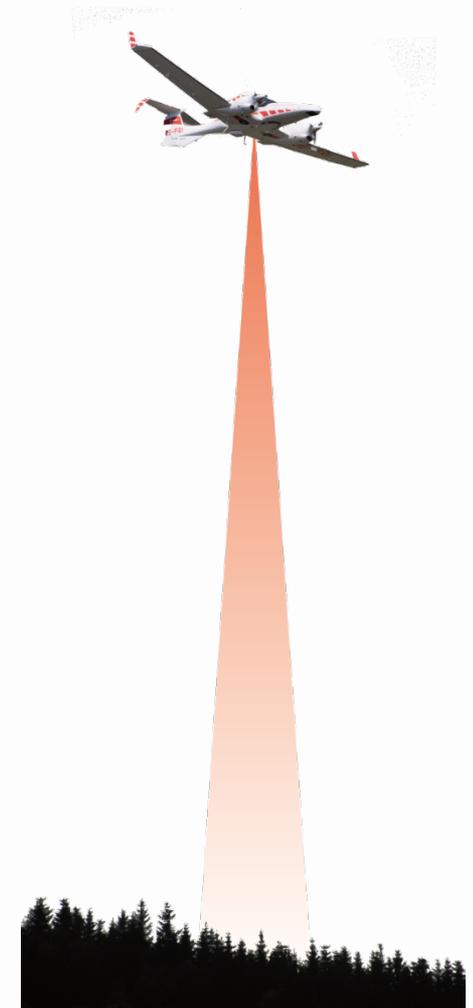
Limitations physiques

Facteurs d'atténuation du signal :

- Atténuation géométrique en $1/R^2$
- Atténuation atmosphérique en $e^{-2\alpha R}$
- Conditions dégradées (neige, brouillard, fumée, nuages, ...)
- Albédo des surfaces cibles

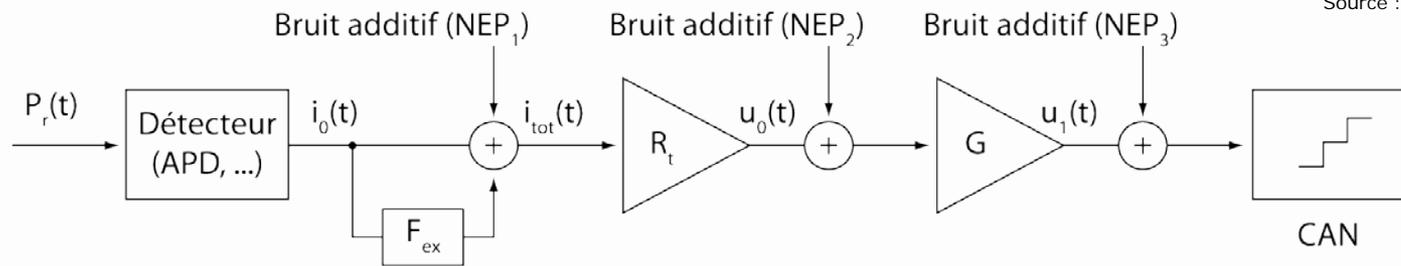
Paramètres système clés :

- Intensité laser (énergie et durée des impulsions, divergence du faisceau)
- Longueur d'onde laser
- Diamètre du collecteur



Quelle portée pour mon système ?

Limitations matérielles



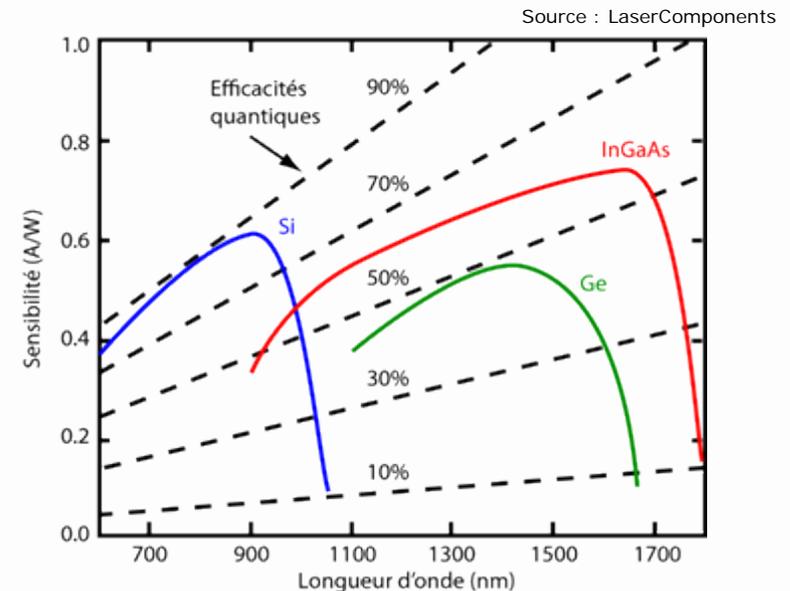
Source : Thèse T.Ristorcelli

Facteurs limitants :

- Transmission du système optique
- Efficacité du convertisseur optique - électrique
- Efficacité de l'amplification électronique

Paramètres système clés :

- Qualité intrinsèque des composants
- Longueur d'onde laser
- Type de détecteur (APD, PM, ...)



Source : LaserComponents

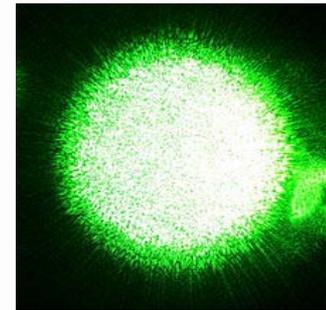
Sensibilité des différents types de Photodiodes à avalanche

Quel rapport signal / bruit ?

Portée et rapport signal sur bruit sont intimement liés

Bruits impactant la mesure d'intensité :

- Turbulence atmosphérique
- Scintillation, speckle
- Variabilité de la source laser
- Bruits de détection (excès de gain, bruit thermique, ...)
- Bruits d'amplification
- Effet de la numérisation



Ces bruits perturbent :

la mesure de l'intensité du signal

&

la mesure de la distance

Paramètres système clés :

- Emission laser
- Qualité des composants
- Nombres de bits pour la numérisation du signal
- Technique de traitement du signal (détection d'échos ...)

Quelle résolution orthogonale ?

Paramètres du dispositif de balayage :

Variet suivant le type de scanner...

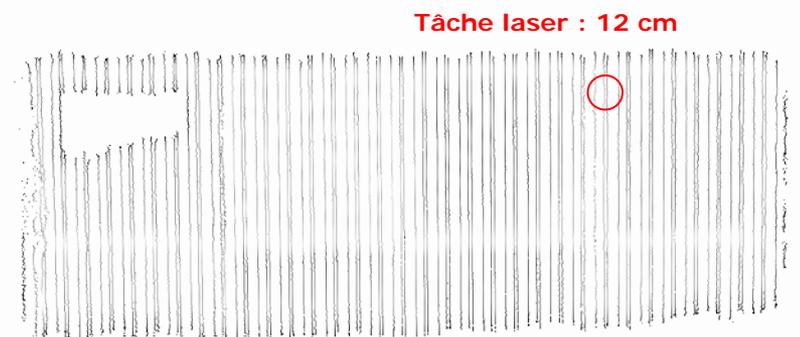
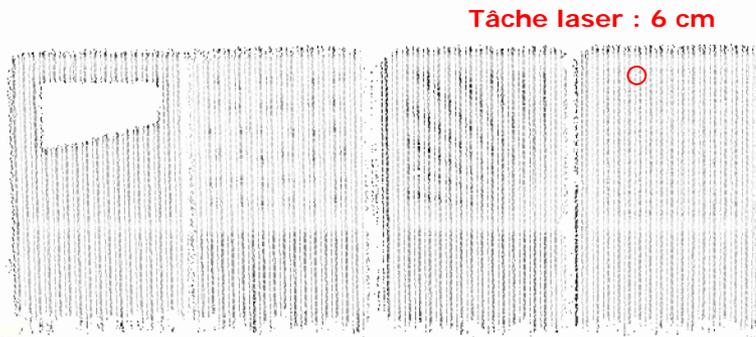
- Fréquence de mesure (fréquence laser & fréquence détecteur)
- Fréquence de balayage (répétition du motif)

Impact de la dimension de la tâche laser

Distance d'observation



Source : ONERA-LIMA – Thèse T. Ristorcelli



Observation du même dispositif depuis des distances de 200m (à gauche) et 400m (à droite)

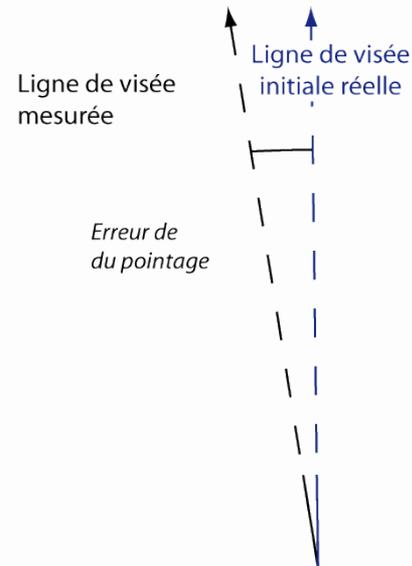
Quelle précision orthogonale ?

Aspects « système » (jitter) :

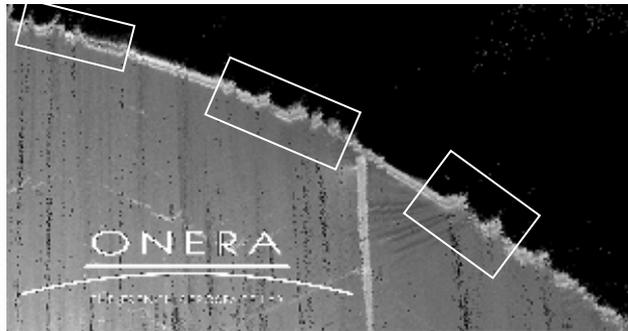
- Qualité mécanique du système de balayage
- Précision de la mesure de la direction de visée

Aspects « propagation » (Beam wandering) :

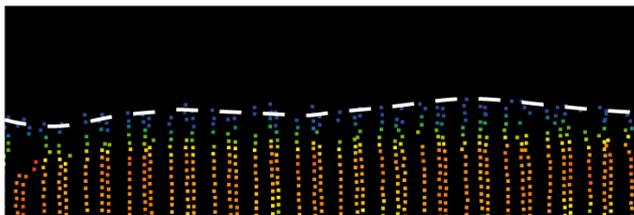
- Dépointage lié à la turbulence



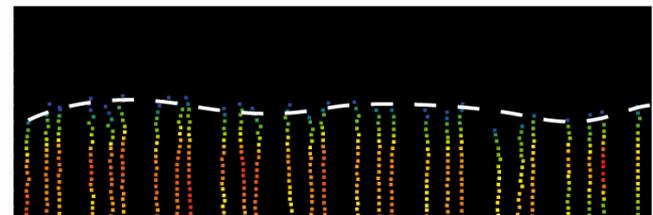
Effets de distorsion lié au dépointage du faisceau



R = 200m



R = 400m



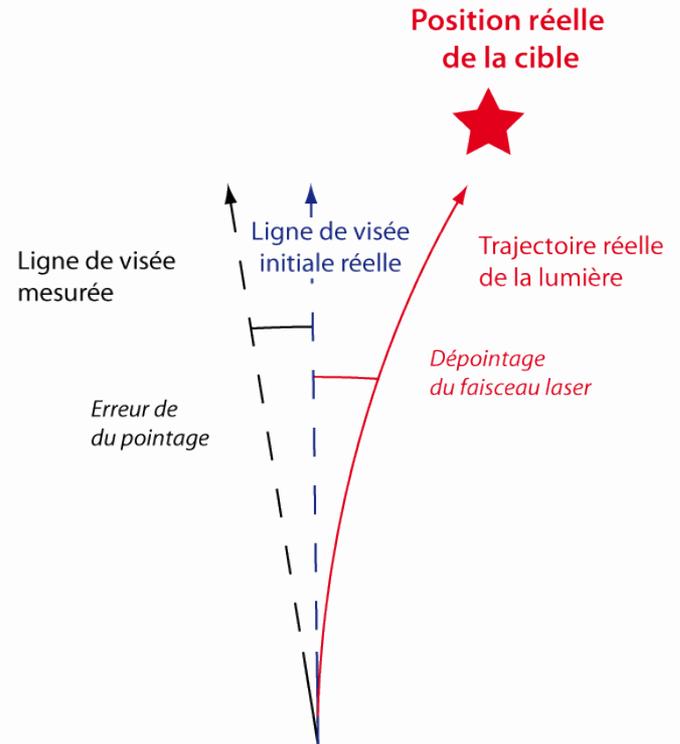
Quelle précision orthogonale ?

Aspects « système » (jitter) :

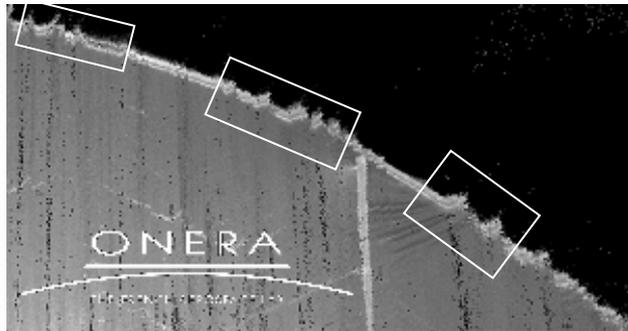
- Qualité mécanique du système de balayage
- Précision de la mesure de la direction de visée

Aspects « propagation » (Beam wandering) :

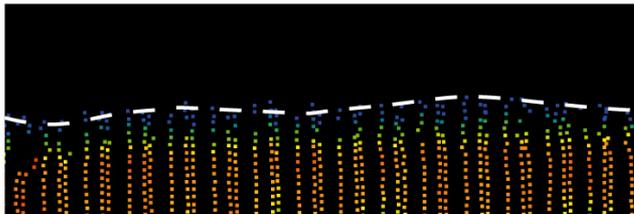
- Dépointage lié à la turbulence



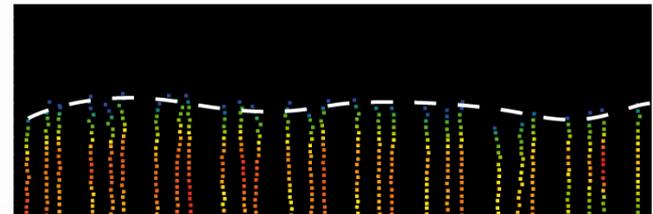
Effets de distorsion lié au dépointage du faisceau



R = 200m



R = 400m



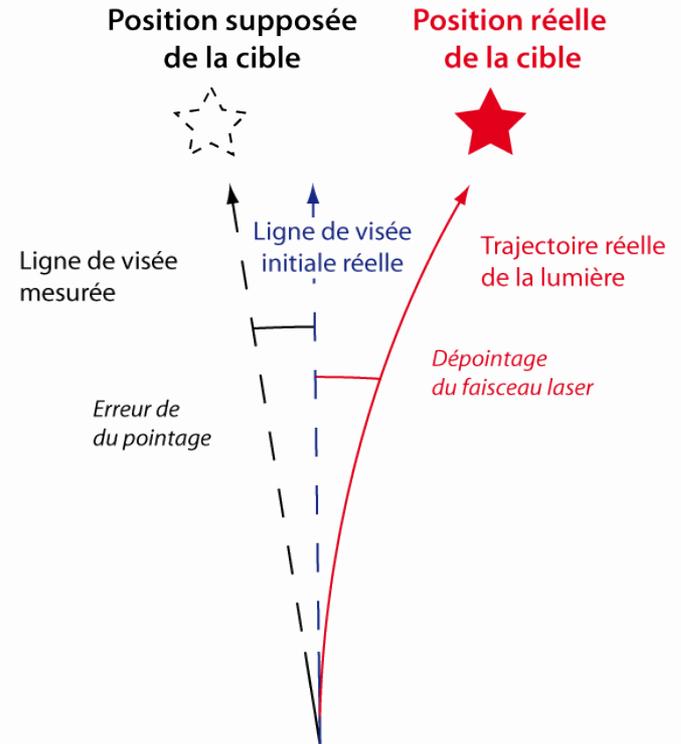
Quelle précision orthogonale ?

Aspects « système » (jitter) :

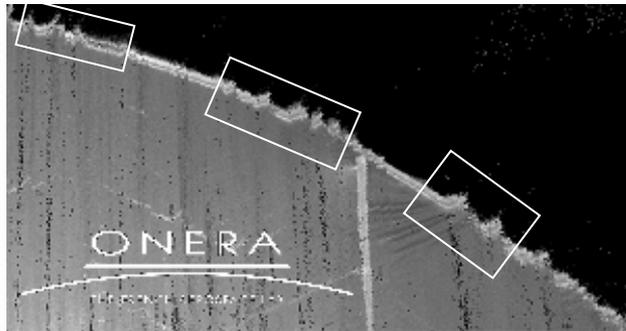
- Qualité mécanique du système de balayage
- Précision de la mesure de la direction de visée

Aspects « propagation » (Beam wandering) :

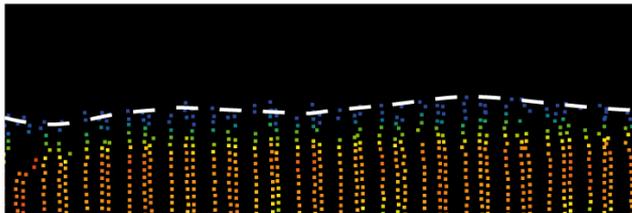
- Dépointage lié à la turbulence



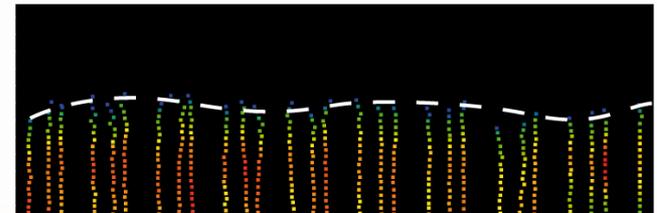
Effets de distorsion lié au dépointage du faisceau



R = 200m



R = 400m



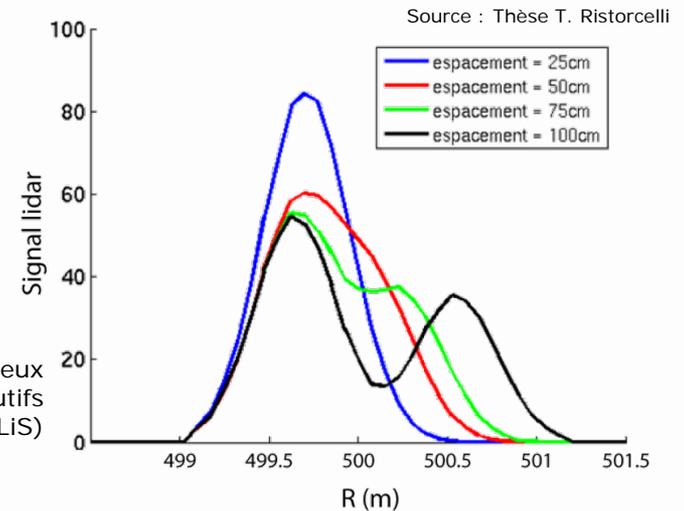
Quelle précision / résolution radiale ?

Capacité à :

- Séparer deux échos consécutifs
- Estimer précisément une distance

Paramètres clés :

- Fréquence d'échantillonnage du signal
- Durée de l'impulsion laser
- Technique de détection d'écho

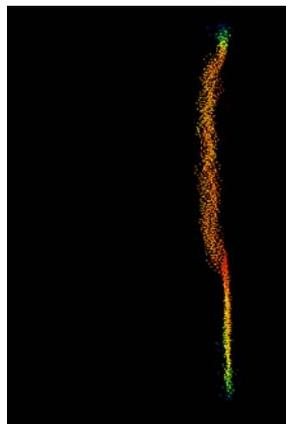


Observation de deux plans consécutifs (simulation DELIS)

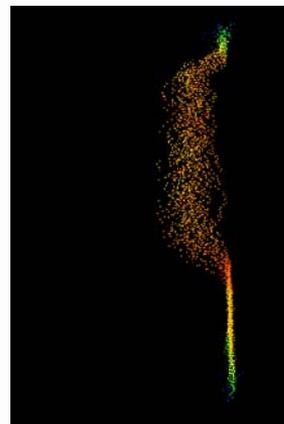
Observation d'un panneau plein à travers un panneau à barres évidées.



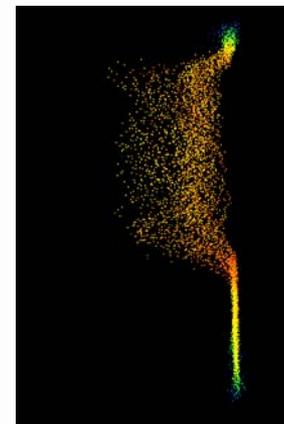
Source : ONERA-LIMA – Thèse T. Ristorcelli



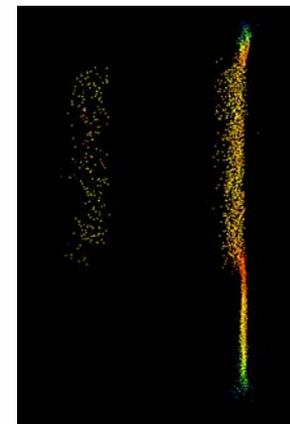
Espacement = 25 cm



Espacement = 50 cm



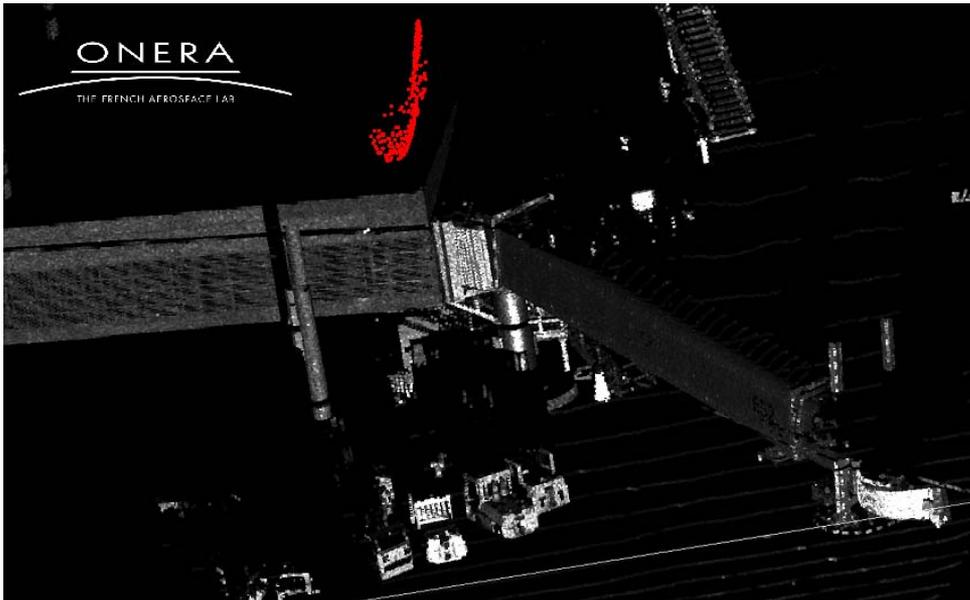
Espacement = 75 cm



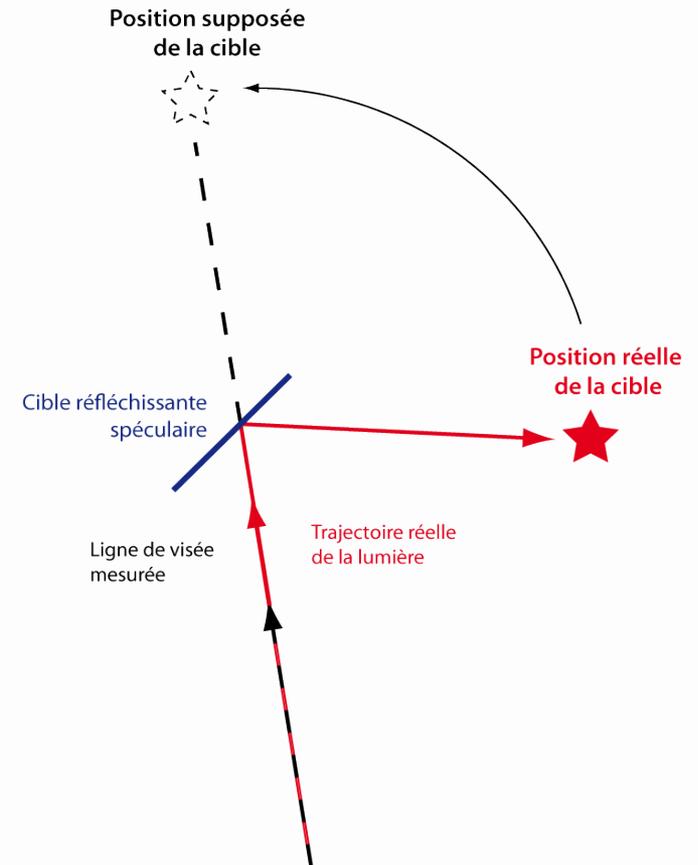
Espacement = 100 cm

Impact des diffusions multiples / réflexions spéculaires

Un autre facteur de bruit géométrique...



Observation d'un terminal d'embarquement (Aéroport de Blagnac).
Des points aberrants apparaissent derrière la vitre de la salle d'embarquement



Fonctionnement en conditions dégradées

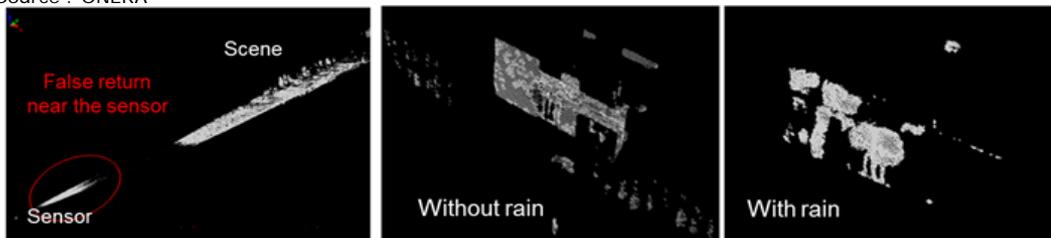
Brouillard, fumée, pluie, neige, ...



Source : ONERA

Observations réalisées dans la chambre climatique de l'ONERA sans brouillard, et avec des visibilités de 2m puis 50cm

Source : ONERA

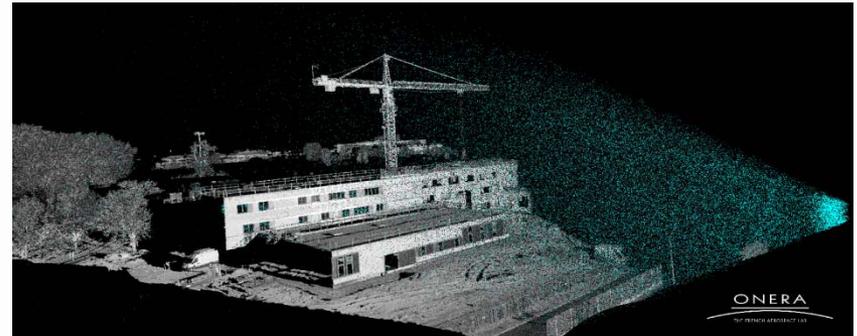


Observation scanner laser terrestre par temps de pluie

Paramètres système clés :

- Émission laser (géométrie, énergie, longueur d'onde)

Absorption + diffusion
=
perte d'information



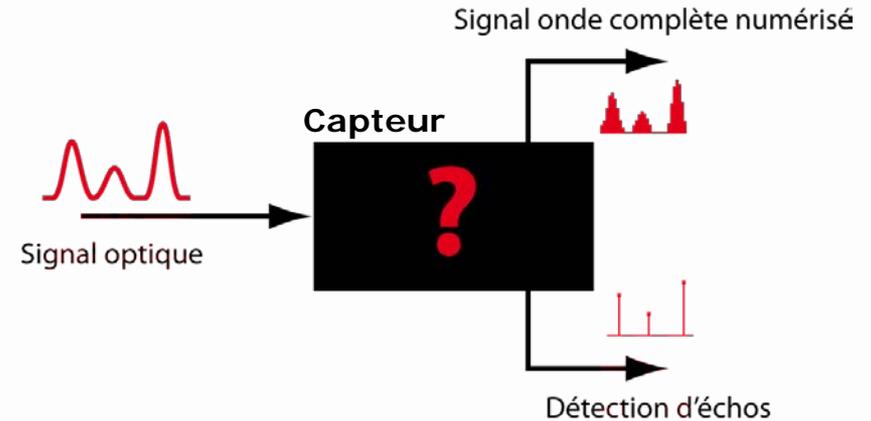
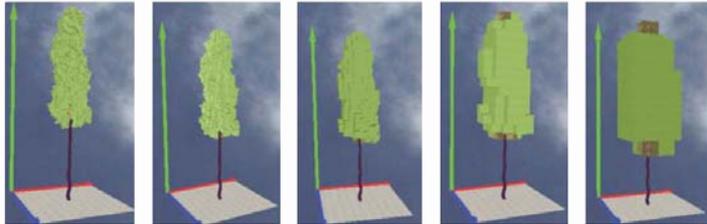
Rétrodiffusion sur la ligne de visée
=
fausses alarmes

Paramètres environnementaux clés :

- Type et forme des hydrométéores
- Granulométrie, indice, albedo, ...
- densité

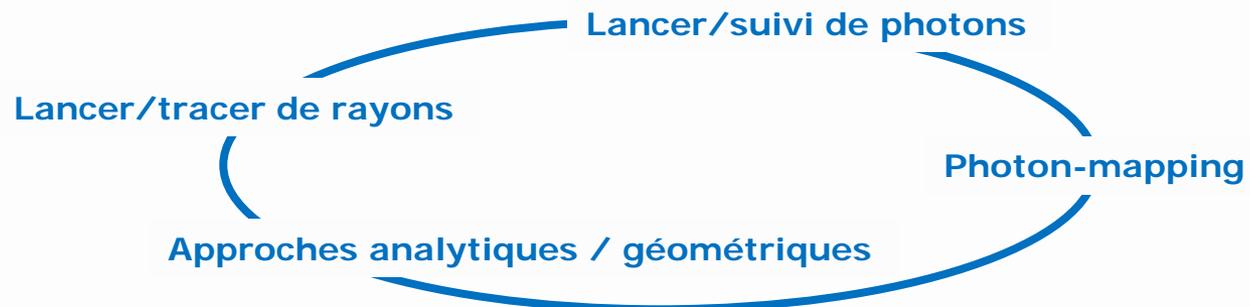
Modéliser

- Le comportement du système
- La scène observée



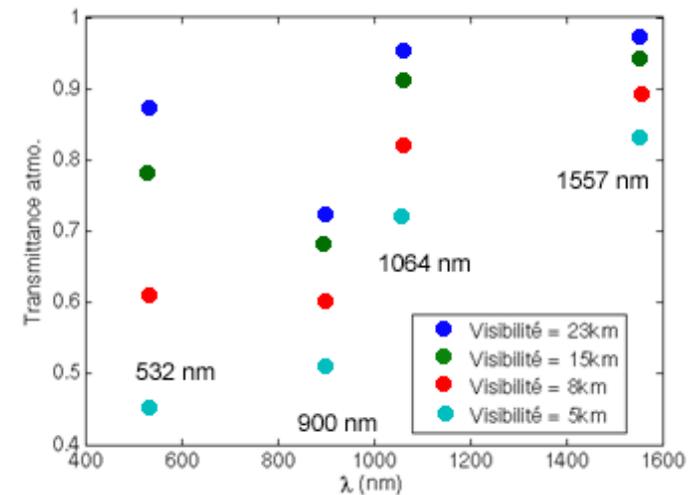
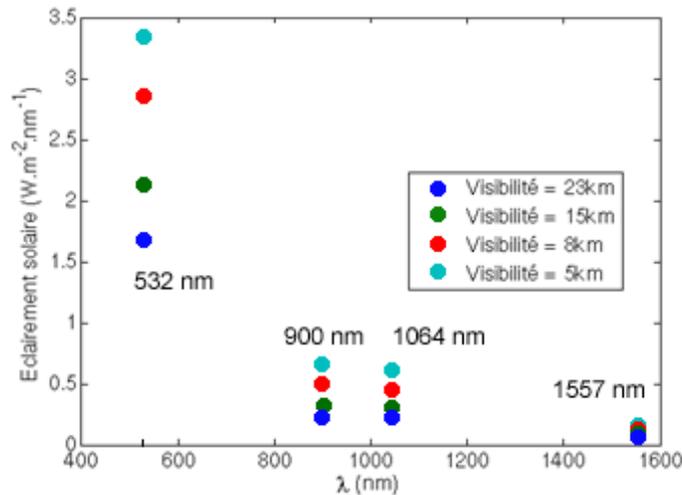
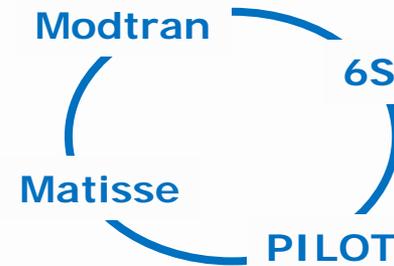
Simuler

- La propagation de l'impulsion laser
- Son interaction avec la cible



Modèles spécialisés

- Transfert radiatif atmosphérique
 - Transmission atmosphérique le long d'une ligne de visée
 - Eclairage solaire en bas de l'atmosphère
 - Rétrodiffusion le long de la ligne de visée (laser et/ou soleil)
 - Déformation, dépointage du faisceau laser



Exemple de simulations Modtran : éclairage total en bas de l'atmosphère et transmission atmosphérique le long d'une ligne de visée (nadir, 1km) pour 4 longueurs d'onde laser

Modèles end-to-end

- DART (CNES - CESBIO)

(Discrete Anisotropic Radiative Transfer)

Initialement un modèle de transfert radiatif général, maintenant doté d'un module lidar

- Approche mixte : Monte-Carlo photon tracking / ray tracing
- Spécialités : approche turbide pour la végétation, modèle scène + atmosphère, bathymétrie

Information : <http://www.cesbio.ups-tlse.fr/us/dart.html>

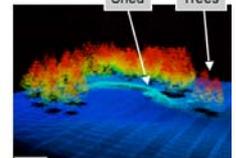
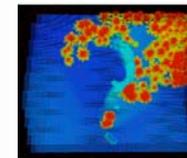
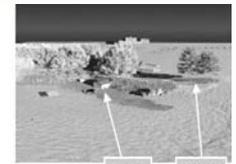
Contact : Jean-Philippe.Gastellu@cesbio.cnes.fr



- DIRSIG

(Digital Imaging and Remote Sensing Image Generation)

- Approche originale : Photon Mapping modifié
- Points forts : scènes complexes, plusieurs modèles instrument



Information : <http://www.dirsig.org/docs/new/lidar.html>

Contact : dirsig@cis.rit.edu

Modèles end-to-end

- DELiS (Magellium - ONERA)
(n-Dimensional Estimation of Lidar Signal)



Simulateur de lidar onde complète développé pour l'étude de la pénétration sous feuillage

- Modèle basé sur le code de lancer de rayon LuxRender, algorithme de path-tracing
- Spécialités : modèles géométriques maillés de grandes dimensions, scènes de végétation

Contact : thomas.ristorcelli@magellium.fr

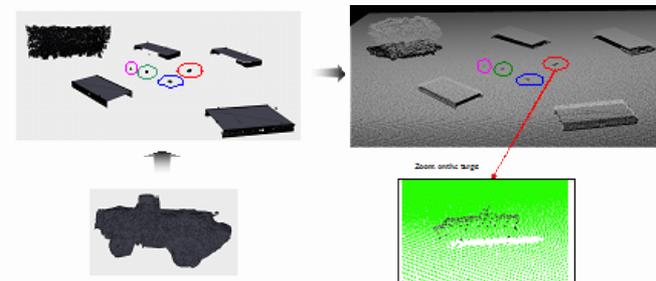


Contact : laurent.hespel@onera.fr

- MATLIS (ONERA)

Simulateur de scanner laser en conditions dégradées

- Modèle basé sur le lancer de rayon (diffusions d'ordre 1 uniquement)
- Points forts : atmosphère et conditions dégradées



Modèles end-to-end



- LadarSim (FOI, Suède & Utah State University)

Modèle orienté vers les systèmes lidar onde complète matriciels



- Modèle Finlandais (A.Kukko & J.Hyyppä)

Simulation de nuages de points lidar par division de faisceau (diffusions d'ordre 1 uniquement)

- Points forts : environnement urbain, gros nuages de points, comparés à des scanners réels

Contact : Antero.Kukko@fgi.fi, Juha.Hyyppa@fgi.fi

- Liste non exhaustive...

AMAP, Montpellier, France

Morsdorf, Université de Zurich, Suisse

Les outils existent & sont (parfois) disponibles

- Dimensionnement de systèmes : des précédents existent, surtout dans le spatial

Exemple : CNES (lidar FW spatial) / Astrium (comptage de photons) / NASA (DesDynI) utilisent DART

- Les codes de simulations sont plutôt utilisés pour le développement/dimensionnement de traitements

Biais lié à la rareté des communications ?

Les codes utilisés pour dimensionner et concevoir des systèmes sensibles sont eux-mêmes sensibles

Fabricants :

- Disposent d'un savoir faire
- Adressent un marché



Chercheurs :

- Développent de nouvelles applications
- Doivent se débrouiller avec les solutions du commerce

Développement de nouvelles applications

Aide à la conception de nouveaux systèmes

- Lidars multi-spectraux
- Matrices de détecteurs
- Systèmes à comptage de photons

Modtran

Berk, Alexander ; Bernstein, Lawrence S. ; Robertson, David C., *MODTRAN: A Moderate Resolution Model for LOWTRAN*, technical report, 1987

DART

Rubio, J.; Grau, E.; Sun, G.; Gastellu Etchgorry, J.; Ranson, K. J., *Lidar modeling with the 3D DART model*, American Geophysical Union, Fall Meeting 2009.

DELiS

T. Ristorcelli, *Evaluation de l'apport des visées multi-angulaires en imagerie laser pour la reconstruction 3D des couverts végétaux*, thèse de doctorat, Université de Toulouse, 2013.

DIRSIG

Scott D. Brown, Daniel Blevins and John R. Schott, *Time-gated topographic LIDAR scene simulation*, Proc SPIE, Vol. 5791, pp 342-353, 2005

LadarSim

Carlsson, T., O. Steinvall, and D. Letalick, 2001. Signature Simulation and Signal Analysis for 3-D Laser Radar, FOI-Swedish Defence Research Agency, Technical Report, Linköping, Sweden.

Antero Kukko, Juha Hyypä , *laser scanner simulator for system analysis and algorithm development: a case with forest measurements* , ISPRS Workshop on Laser Scanning 2007 and SilviLaser 2007

Weichel, Hugo. *Laser Beam Propagation in the Atmosphere*. SPIE Press, 1990.