

ONERA

THE FRENCH AEROSPACE LAB

r e t u r n o n i n n o v a t i o n

www.onera.fr

Tour d'horizon sur l'imagerie laser 3D

Apports, limites, défis technologiques et scientifiques

Nicolas Riviere



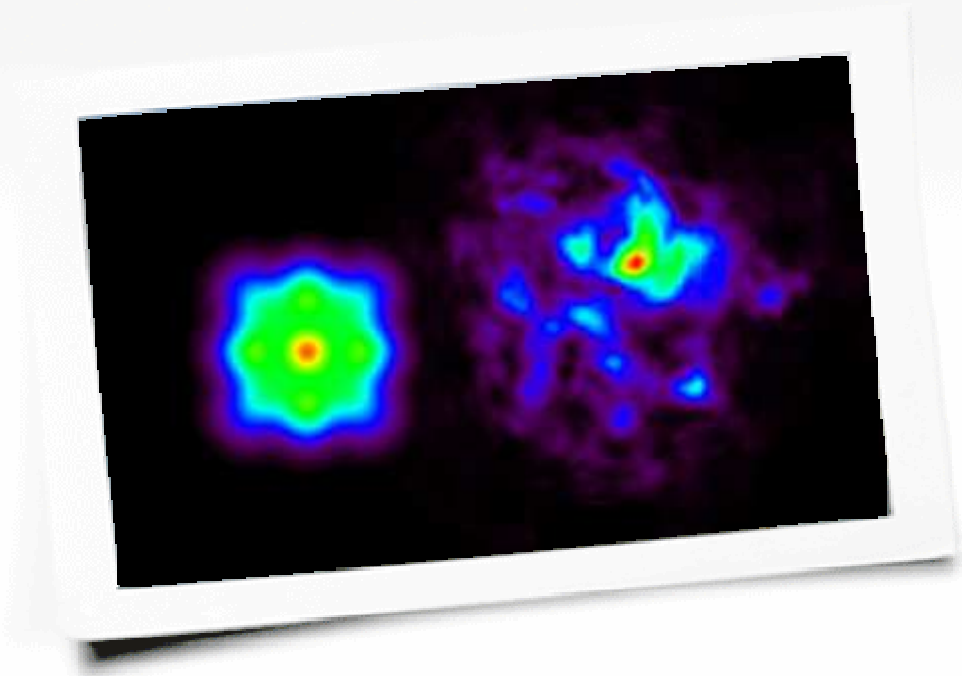
Nicolas RIVIERE

ONERA – Optronics Department

Light Matter Interaction, Imaging and Detection Laser Systems Unit
2 av Edouard Belin – F31055 Toulouse – France

Phone : +33 (0) 562 252 624

E.mail : riviere@onera.fr



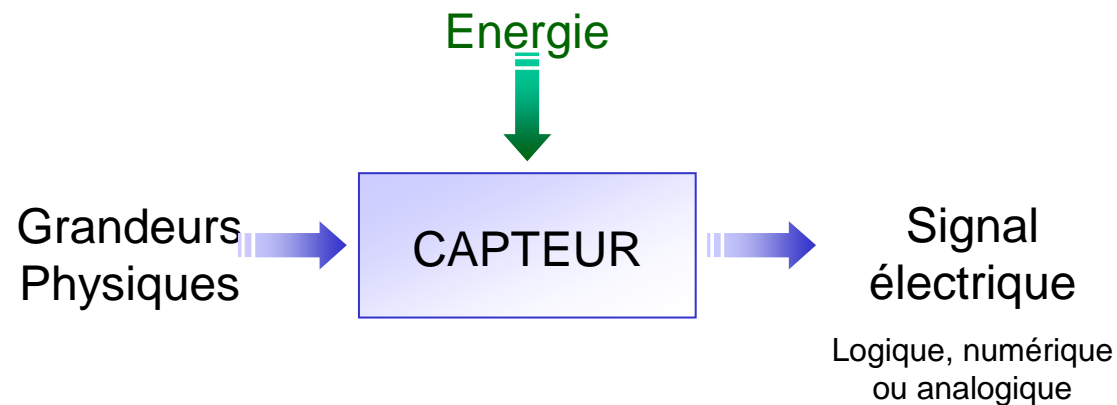
1

**Du passif...
à l'actif**

Du passif... à l'actif

▪ Notion de capteur

La CAPTEUR transforme une grandeur physique en une grandeur normée (généralement électrique) qui peut être interprétée par un dispositif de contrôle



Caractéristiques capteur

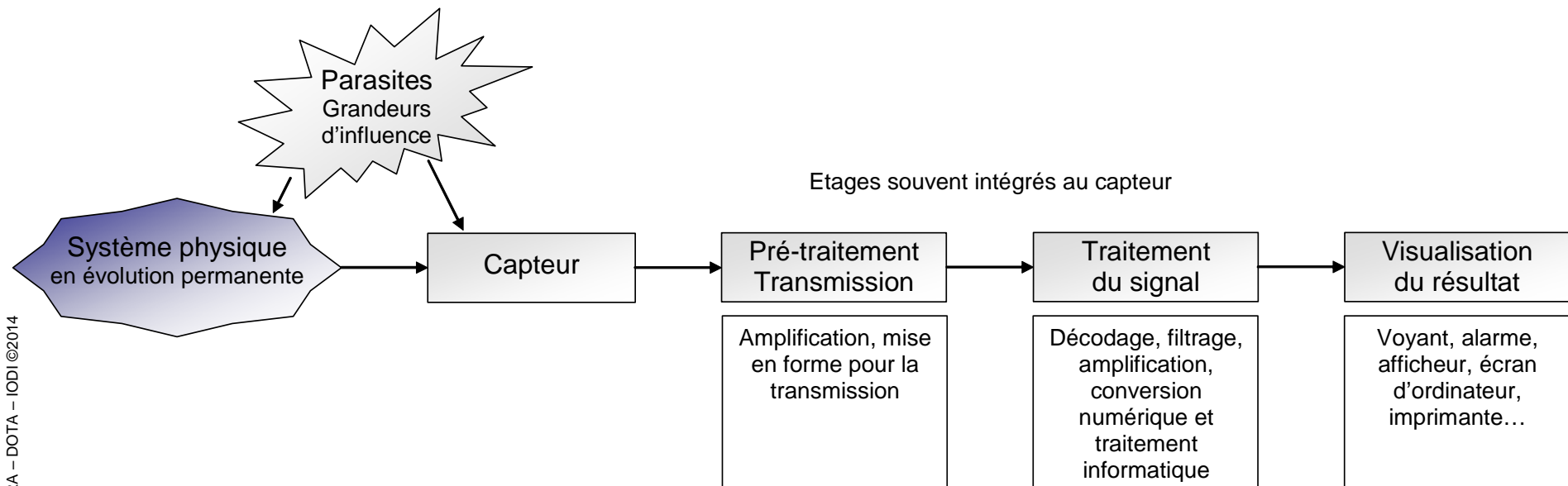
Etendue de mesure	Valeurs extrêmes pouvant être mesurées par le capteur.
Résolution	Plus petite variation de grandeurs mesurables par le capteur.
Sensibilité	Variation du signal de sortie par rapport à la variation du signal d'entrée.
Précision	Aptitude du capteur à donner une mesure proche de la valeur vraie.
Rapidité	Temps de réaction du capteur. La rapidité est liée à la bande passante.
Linéarité	Représente l'écart de sensibilité sur l'étendue de mesure.

Du passif... à l'actif

- **Notion de capteur**

La CAPTEUR transforme une grandeur physique en une grandeur normée (généralement électrique) qui peut être interprétée par un dispositif de contrôle

- **Le capteur dans la chaîne de mesure**



ONERA - DOTA - IODI ©2014

© Property of Onera. Information of all kinds which may include commercial, financial or technical data cannot be used, reproduced or disclosed without its previous written agreement.

Du passif... à l'actif

- Comment "imager" notre environnement ?

Du passif... à l'actif

- Comment "imager" notre environnement ?
Besoin d'une source extérieure



Que se passe-t-il
en l'absence
de sources naturelles ?

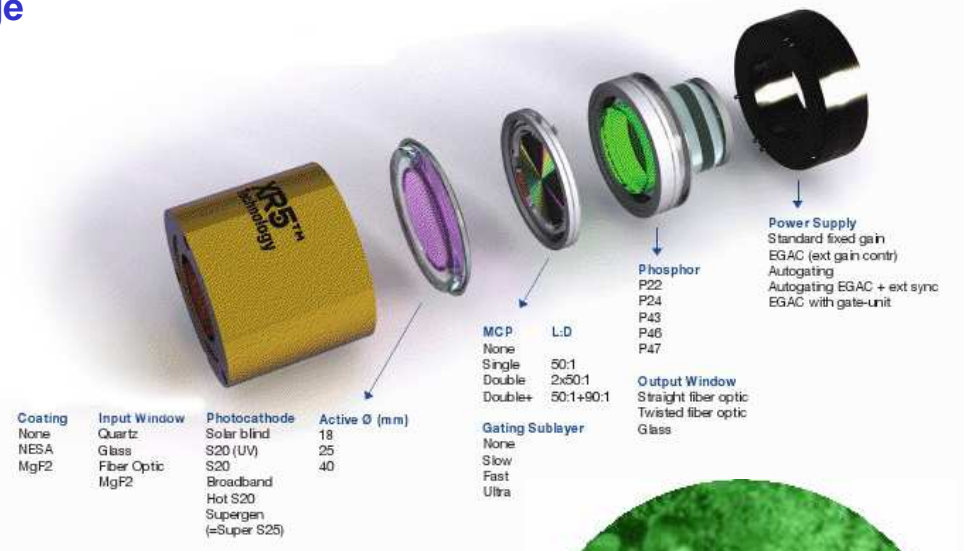
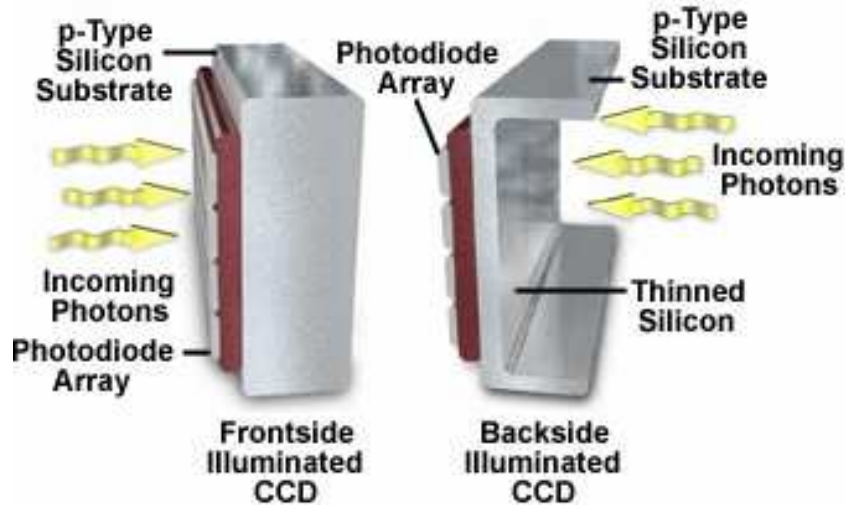
Du passif... à l'actif

Exemple : la vision de nuit

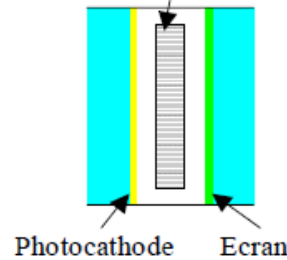
1/3

Plusieurs types de technologies sont utilisées pour la vision de nuit

- **Imagerie passive de nuit** avec détecteurs ultra-sensibles Back-illuminated CCD, low light level CCD...
- Détecteurs munis d'**intensificateurs d'image**



Galette à microcanaux



Du passif... à l'actif

▪ Exemple : la vision de nuit

1/3

Plusieurs types de technologies sont utilisées pour la vision de nuit

- **Imagerie passive de nuit** avec détecteurs ultra-sensibles Back-illuminated CCD, low light level CCD...
- Détecteurs munis d'**intensificateurs d'image**



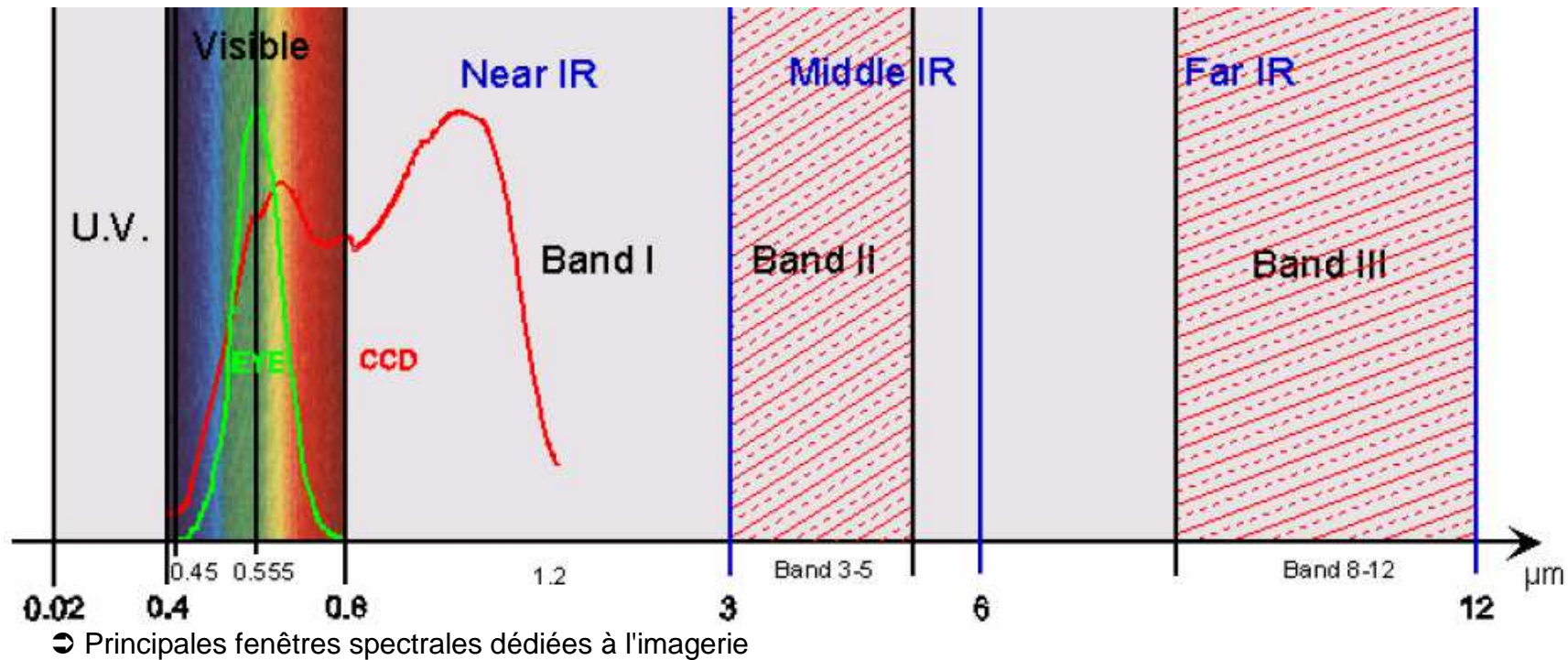
- ✓ Techniques très performantes pour faire de l'imagerie dans des conditions de luminosité très faible (Lune, étoiles...)
- ✗ Nécessitent des temps de pose ou temps d'intégration de plusieurs millisecondes excluant bon nombre d'applications embarquées

Du passif... à l'actif

- Exemple : la vision de nuit

2/3

Autre technique très utilisée pour l'observation de nuit : **imagerie infrarouge** dans les bandes 3 à 5 μm et 8 à 12 μm



Du passif... à l'actif

▪ Exemple : la vision de nuit

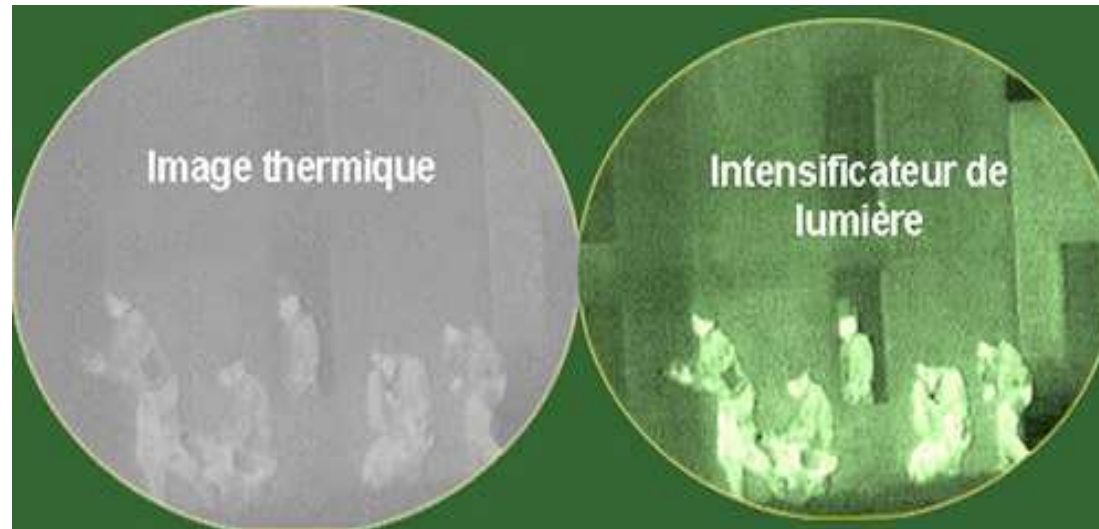
2/3

Autre technique très utilisée pour l'observation de nuit : **imagerie infrarouge** dans les bandes 3 à 5 μm et 8 à 12 μm

Capteur constitué par :

- une matrice de microbolomètres ne nécessitant pas de refroidissement
- une matrices de PtSi ou autres

- ✓ Techniques d'imagerie basées à la fois sur les propriétés d'**émissivité des corps** ainsi que sur leurs **rayonnements thermiques**



Du passif... à l'actif

▪ Exemple : la vision de nuit

2/3

Autre technique très utilisée pour l'observation de nuit : **imagerie infrarouge** dans les bandes 3 à 5 μm et 8 à 12 μm

Capteur constitué par :

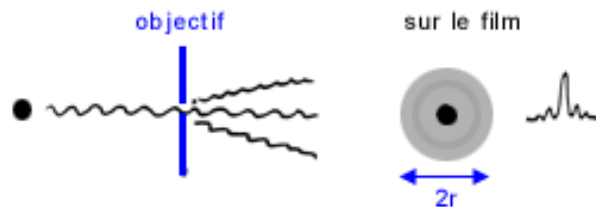
- une matrice de microbolomètres ne nécessitant pas de refroidissement
- une matrices de PtSi ou autres

✓ Techniques d'imagerie basées à la fois sur les propriétés d'**émissivité des corps** ainsi que sur leurs **rayonnements thermiques**

✗ Temps d'intégration relativement élevés

✗ Longueur d'onde élevée dans l'IR

La fréquence de coupure donnée par la tâche de diffraction est inversement proportionnelle à la longueur d'onde \Rightarrow il est plus favorable, en terme de fréquence de coupure de **travailler à faible longueur d'onde**



↪ Jumelle/Caméra thermique Sophie (Thales)

Du passif... à l'actif

- **Exemple : la vision de nuit**

3/3

Dernière technique possible pour l'observation de nuit : **imagerie laser** ou **imagerie active**

Une **source d'éclairage artificielle** est associée au système d'observation pour illuminer la scène à observer

Contrainte de temps d'intégration court ⇒ Source d'éclairage capable de délivrer une **forte puissance** d'éclairage pendant la durée d'intégration du récepteur

Du passif... à l'actif

▪ Exemple : la vision de nuit

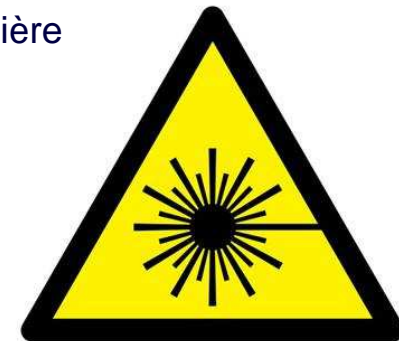
3/3

Dernière technique possible pour l'observation de nuit : **imagerie laser** ou **imagerie active**

Une **source d'éclairage artificielle** est associée au système d'observation pour illuminer la scène à observer

Contrainte de temps d'intégration court ⇒ Source d'éclairage capable de délivrer une **forte puissance** d'éclairage pendant la durée d'intégration du récepteur
⇒ **Sources laser**

- ✓ Directivité
- ✓ Sources pulsées
- ✓ Du visible au proche IR
fréquences de coupure > celles de l'imagerie IR
- ✓ Travail même en l'absence totale de lumière
ciel couvert, de nuit...
- ✓ **Imagerie 3D**





2

Introduction à l'imagerie laser

© Property of Onera. Information of all kinds which may include commercial, financial or technical data cannot be used, reproduced or disclosed without its previous written agreement.

Introduction à l'imagerie laser

▪ Définition

La **téledétection par laser**, notamment pour la mesure à distance des propriétés de l'atmosphère, est un domaine de recherche actif depuis plus de 30 ans et qui connaît un fort développement lié aux contrôles et **mesures pour l'environnement**.

Le principe est voisin de celui du RADAR, d'où le nom : mm et cm pour les radar, 250 nm à 10 µm pour les LiDAR

LIDAR = Ligh Detection And Ranging

ou LADAR

Technique optique **active** de mesure à distance, par opposition aux techniques passives de téledétection d'une source de rayonnement naturel.

Grace à l'exploitation à la fois de la **cohérence temporelle et spatiale** spécifiques des sources laser, le lidar se différencie aussi des autres instruments de mesure à distance utilisant une source de lumière conventionnelle.

Introduction à l'imagerie laser

▪ Applications du LIDAR

Mesure optronique utilisant un **laser** pour sonder à distance des milieux étendus peu denses
Atmosphère terrestre, structure et topographie des surfaces et couverts naturels ou urbanisés

Important en recherche et dans l'industrie depuis les années 80

Domaines d'application :

- Atmosphère : qualité de l'air et pollution, climat et météorologie
- Topographie des surfaces terrestres et de zones urbanisés
- Couverts végétaux et canopées
- Géologie
- Zones inondées, bathymétrie
- Pollution marine...

✓ Le lidar permet d'imager des objets sur de longues distance, par tout temps (pluie, brouillard, fumée...), de jour comme de nuit et en haute résolution spatiale

Introduction à l'imagerie laser

▪ Capacités offertes par l'imagerie laser

- ✓ Vision en conditions de visibilité et météorologiques difficiles (pluie, neige, brouillard, fumées...)
- ✓ Vision à travers la végétation et application au décamouflage
- ✓ Identification et classification des objets (vers le *targeting*)
- ✓ Réalisation de modèles numériques de terrains (vers la reconnaissance)
- ...

▪ Trois grandes classes de systèmes

1. Observation	Longue distance	2D	Mode vidéo	Identification
2. Tactical mapping	Moyenne distance	3D	Image unique	Reconnaissance
3. Perception	Courte distance	3D	Mode vidéo	Détection

➔ Simulation et modélisation de l'imagerie active



3 Imagerie Laser Flash 2D

Imagerie Laser Flash 2D

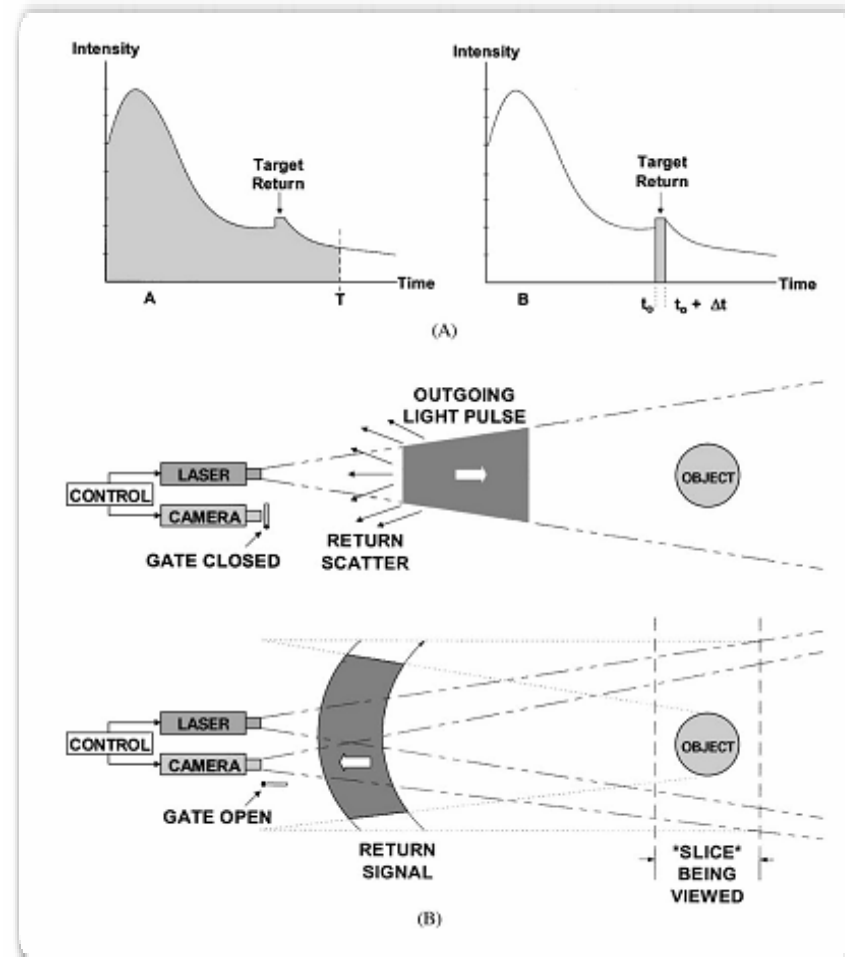
Principe de l'Imagerie Laser Flash 2D

Illumination laser couplée à une porte temporelle pour la détection

- ✓ Image de **toute** la scène avec une seule impulsion
- ✓ Tau de rafraîchissement important sur un capteur matriciel (FPA) \Rightarrow Mode vidéo possible
- ✗ Résolution en profondeur ?



↳ Tour à 3 km de distance. ONERA \ GIBI images



Imagerie Laser Flash 2D

Principe de l'Imagerie Laser Flash 2D

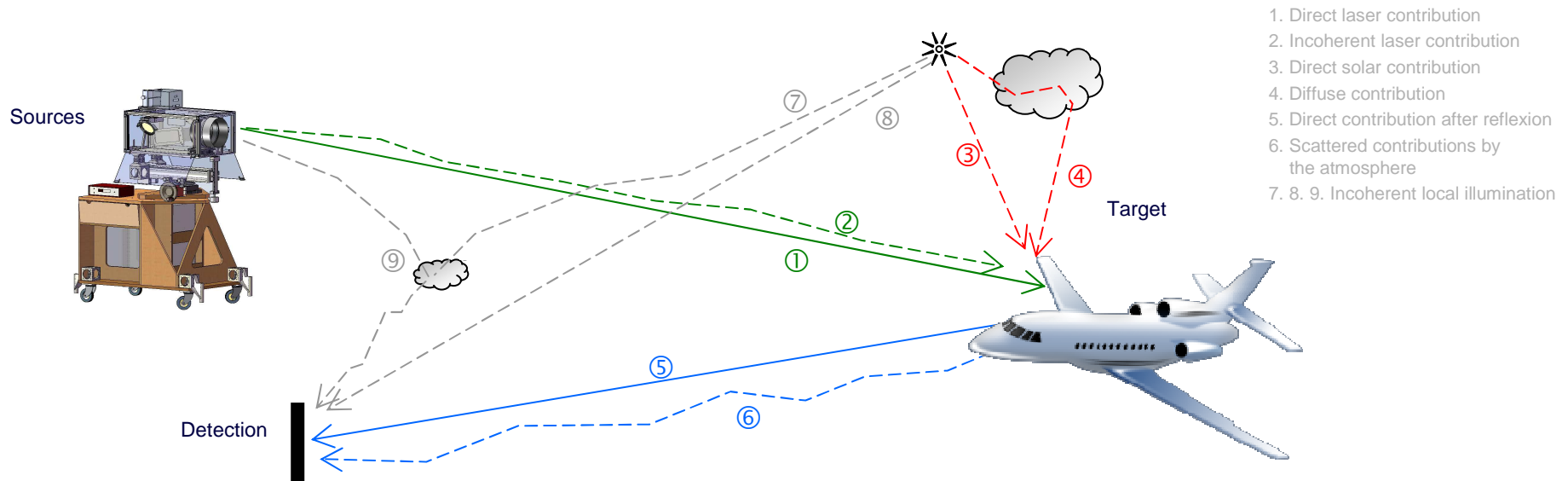
- ✓ Description de la source Laser
- ✓ Propagation à travers l'atmosphère
- ✓ Interaction avec la scène
- ✓ Caractéristiques capteur
- ✓ Traitement des données

Choix de la durée d'impulsion, de la longueur d'onde...

Effets de scintillation dus à la turbulence

Signature optique des matériaux (diffusion, absorption...)

Bruits de photon, spatial, Schottky... et autres artefacts (pixels morts...)



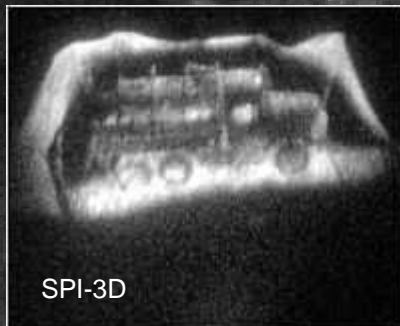
Imagerie Laser Flash 2D

Exemples de systèmes terrestres ou embarqués (longue portée)

Systèmes pour *targeting* / observation à longue distance (identification, classification) ⇒ App. militaire

- LTIP, Lightning attack pod
- AFRL systems
- Long-Range Identification System (LRID) programs, US Army & Northrop Grumman
- SELEX UK
- Standoff Precision Identification in Three Dimensions (SPI-3D)
- ONERA : système GIBI, IAAIS
- Sagem / Thalès / DGA : système MILPAT

...



ONERA
THE FRENCH AEROSPACE LAB

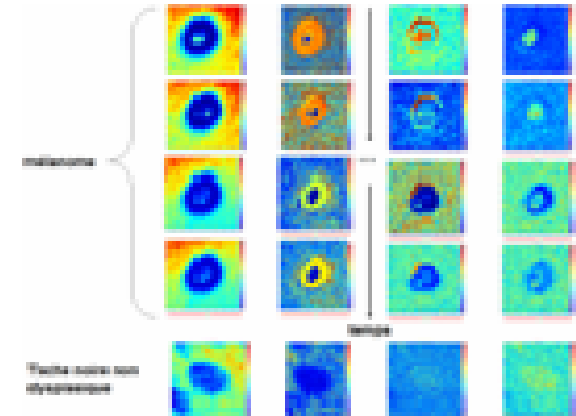
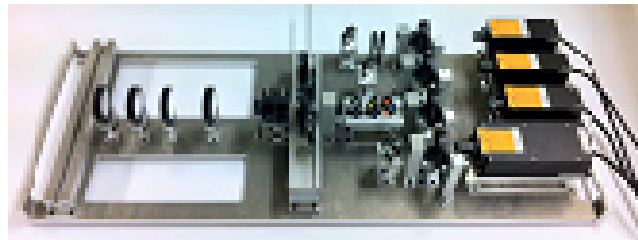
Imagerie Laser Flash 2D

- **Exemples de systèmes d'imagerie laser courte-portée**

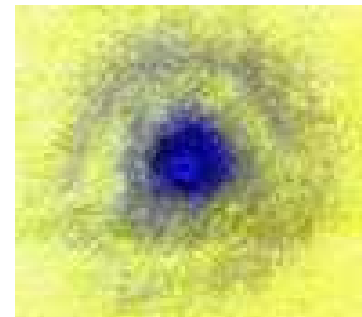
Systèmes polarimétriques et multispectraux d'identification

⇒ App. Sécurité, médical...

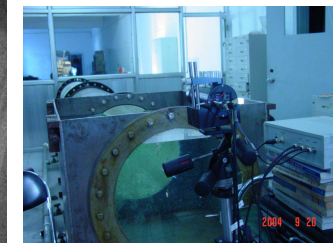
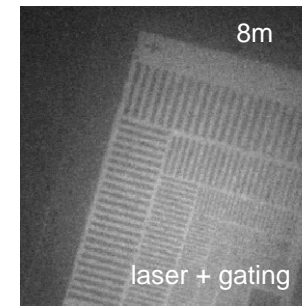
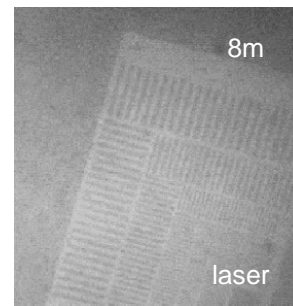
- Détection de mélanomes



- Détection de produits
Ex. ANR Syllabes



- Underwater (532 nm)



Imagerie Laser Flash 2D

▪ Simulation et modélisation

- Pourquoi ?

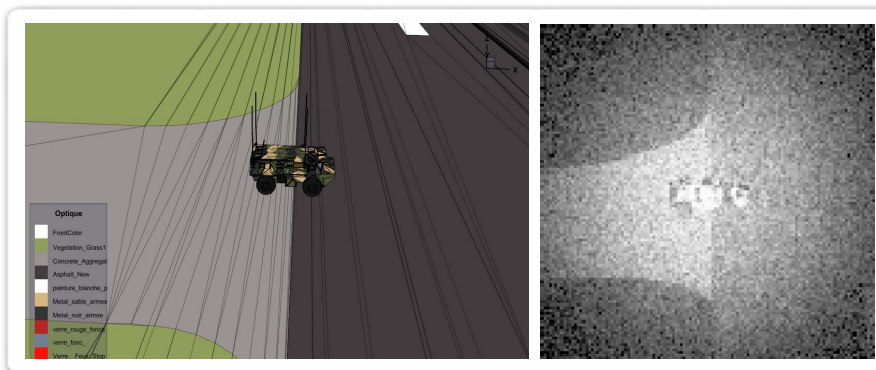
- ✓ Comprendre la Physique
- ✓ Réaliser des études de sensibilité
- ✓ Développer des modèles ingénieur, des méthodes "inverses", des logiciels de simulation...
- ✓ Réaliser des études de performances

- Modèles de référence pour la propagation laser

PILOT (Onera, FR)
ALTM (Ontar, USA)...

- Modèles physiques 2D

IRMA (AFRL, USA)
WaveTrain (MZA, USA)
PIAF (Onera, FR)...



Flight altitude = 2000 m ; Slant Range = 2 to 6 km

Imagerie Laser Flash 2D

▪ Simulation et modélisation

- Pourquoi ?

- ✓ Comprendre la Physique
- ✓ Réaliser des études de sensibilité
- ✓ Développer des modèles ingénieur, des méthodes "inverses", des logiciels de simulation...
- ✓ Réaliser des études de performances

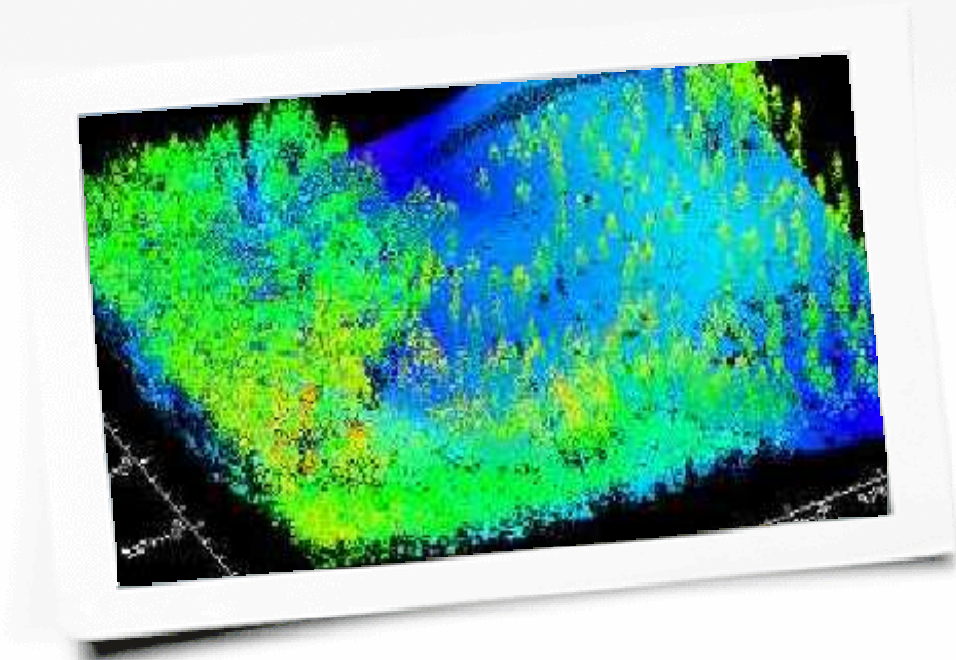
- Modèles de référence pour la propagation laser

PILOT (Onera, FR)
ALTM (Ontar, USA)...

- Modèles physiques 2D

IRMA (AFRL, USA)
WaveTrain (MZA, USA)
PIAF (Onera, FR)...

- ➔ Besoins toujours actuels pour prendre en compte tous les phénomènes physiques
- ➔ Une grande précision sur les données d'entrée reste nécessaire
- ➔ Besoins en validation physique des modèles pour déterminer les domaines de validité



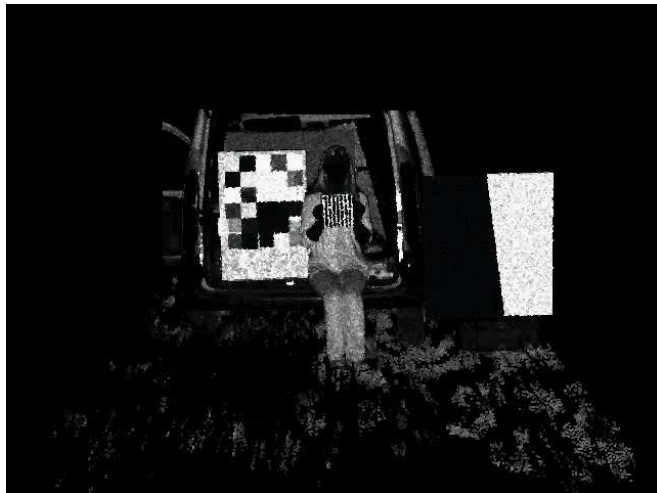
Imagerie Laser Scanner 3D

Imagerie Laser Scanner 3D

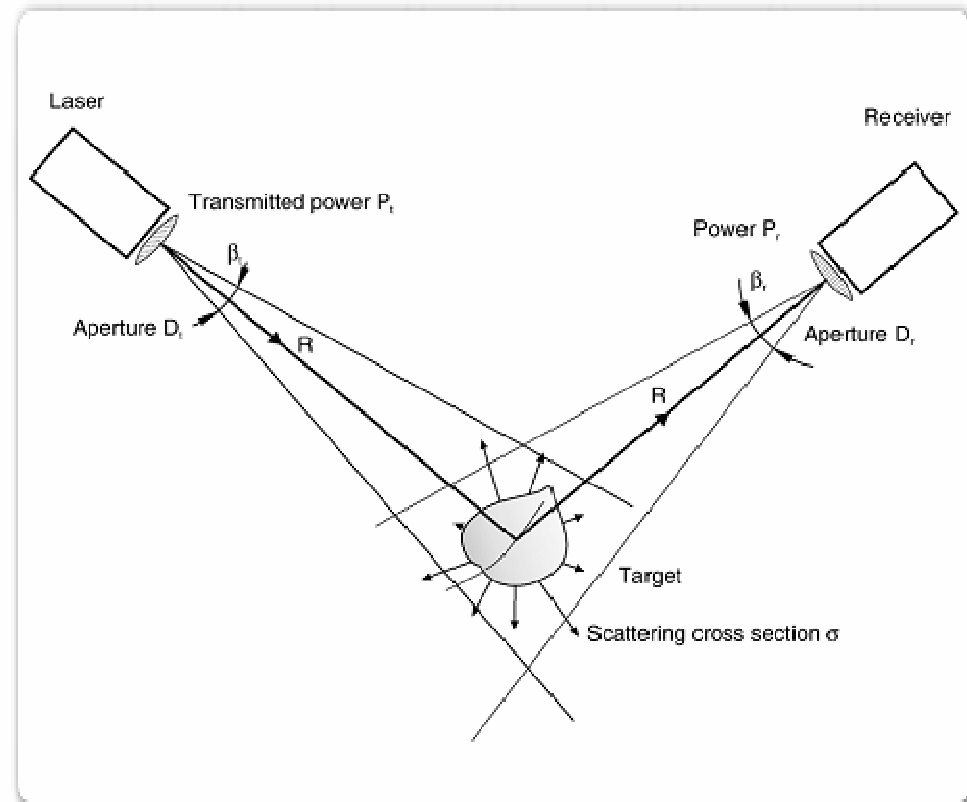
Principe de l'Imagerie Laser scanner 3D

Estimation de distances par laser scanner
impulsionnel

- ✓ Image la scène point par point
- ✓ Reconstitution de surfaces et volumes
- ✓ Bonne résolution spatiale
- ✗ Lenteur de la mesure ?



ONERA - DOTA - IODI ©2014



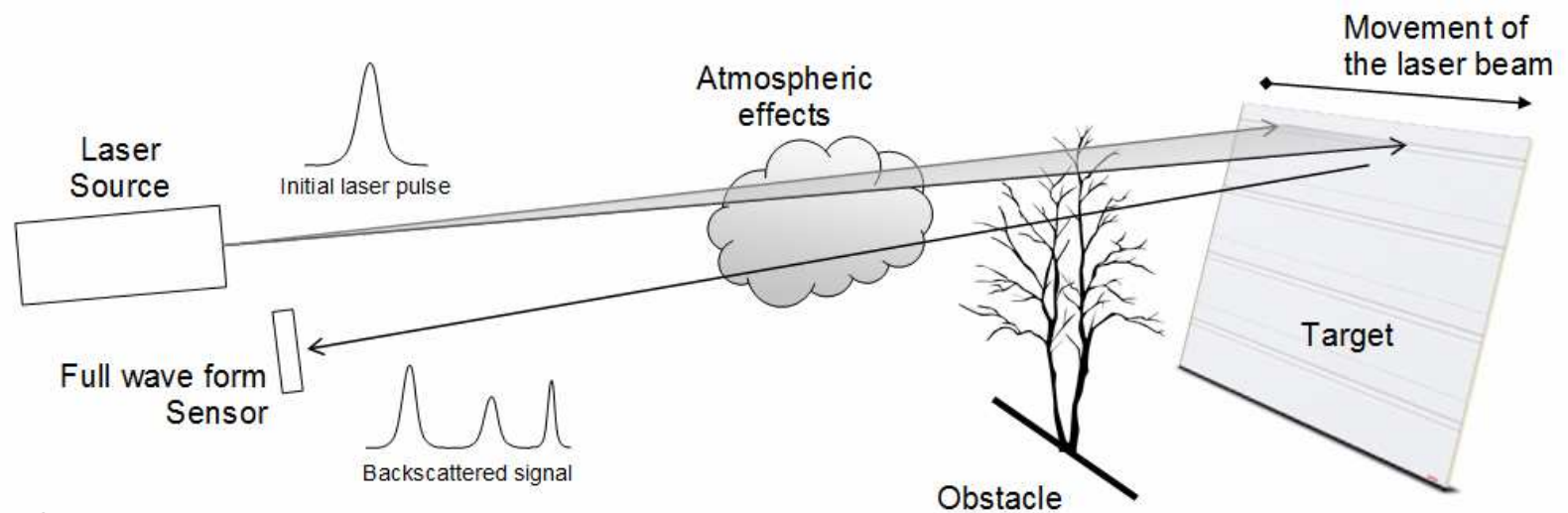
⇒ Nuage de points 3D et intensité détectée. Images ONERA.

© Property of Onera. Information of all kinds which may include commercial, financial or technical data cannot be used, reproduced or disclosed without its previous written agreement.

Imagerie Laser Scanner 3D

▪ Principe de l'Imagerie Laser scanner 3D

- ✓ Source Laser directionnelle
- ✓ Propagation dans un milieu
- ✓ Interaction avec la scène
- ✓ Détection du signal



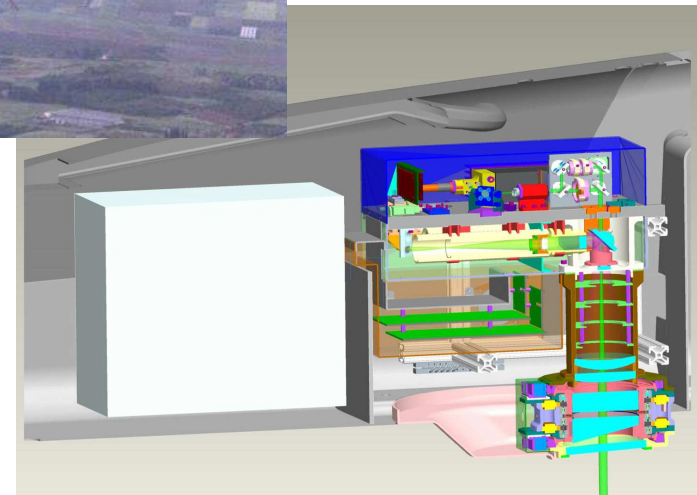
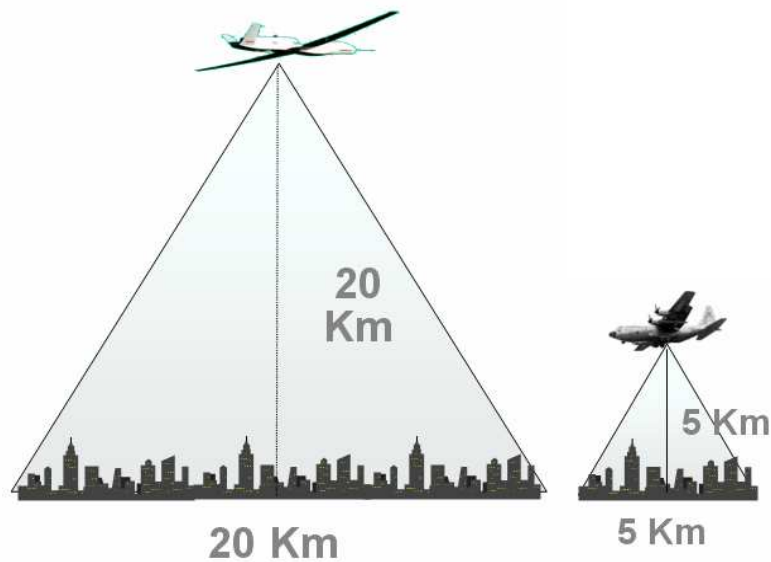
↻ Full wave form instrument
for terrestrial and aerial applications

Imagerie Laser Scanner 3D

- Applications de l'imagerie Laser scanner 3D

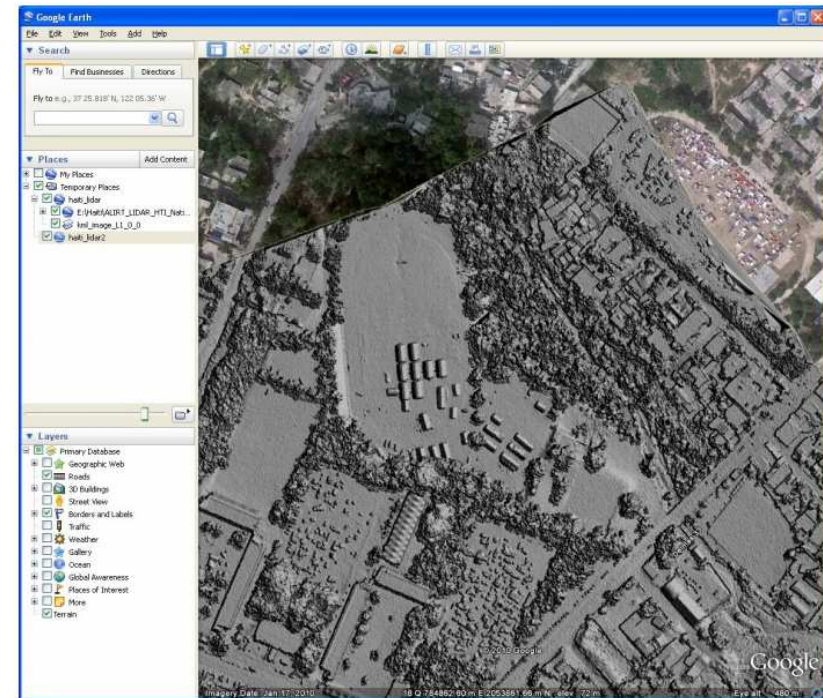
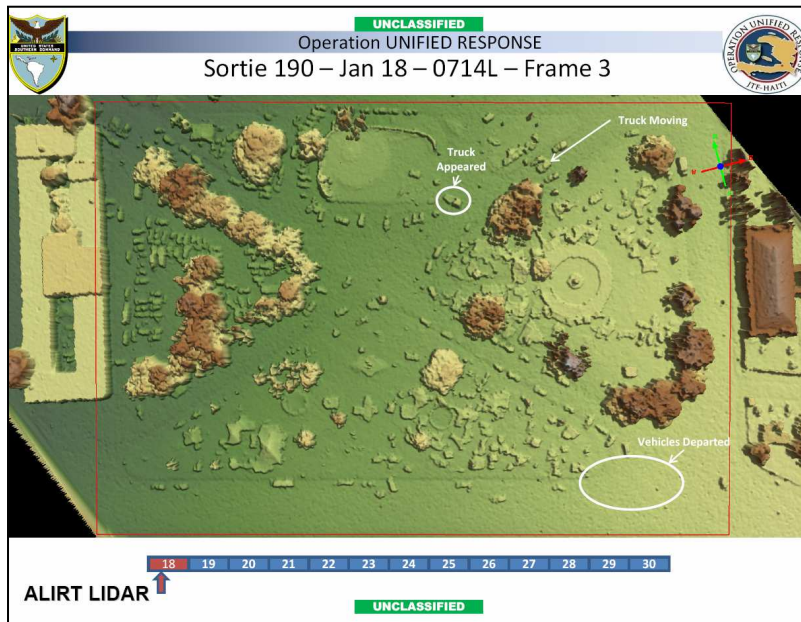
- ✓ Applications aéroportées, détection d'objets... ⇒ **D**étection **R**econnaissance **I**dentification
Prise en compte de la 3D ou de la 4D (full wave form)

- Continuous Urban Surveillance : drone couvrant 20km² @ 1Hz, détection d'activité humaine (résol. 0,3 m)



Imagerie Laser Scanner 3D

- Applications de l'imagerie Laser scanner 3D
 - ✓ Applications aéroportées, détection d'objets... ⇒ **D**étection **R**econnaissance **I**dentification
 - Prise en compte de la 3D ou de la 4D (full wave form)
 - Système ALIRT USAF, vers le *mapping*



ONERA - DOTA - IODI ©2014

© Property of Onera. Information of all kinds which may include commercial, financial or technical data cannot be used, reproduced or disclosed without its previous written agreement.

Imagerie Laser Scanner 3D

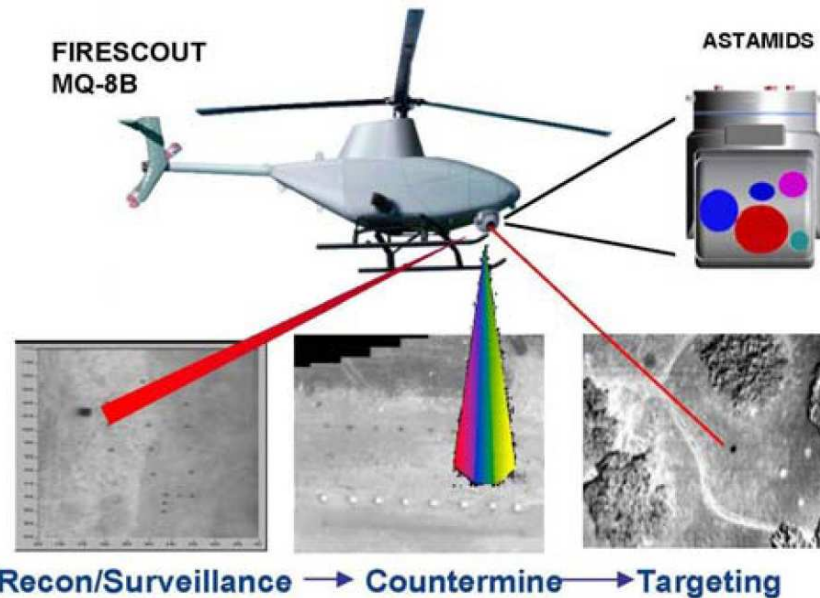
▪ Applications de l'imagerie Laser scanner 3D

- ✓ Applications aéroportées, détection d'objets... ⇒ **D**étection **R**econnaissance **I**dentification
Prise en compte de la 3D ou de la 4D (full wave form)

- ASTAMIDS (US Army) pour la détection de mines et d'obstacles

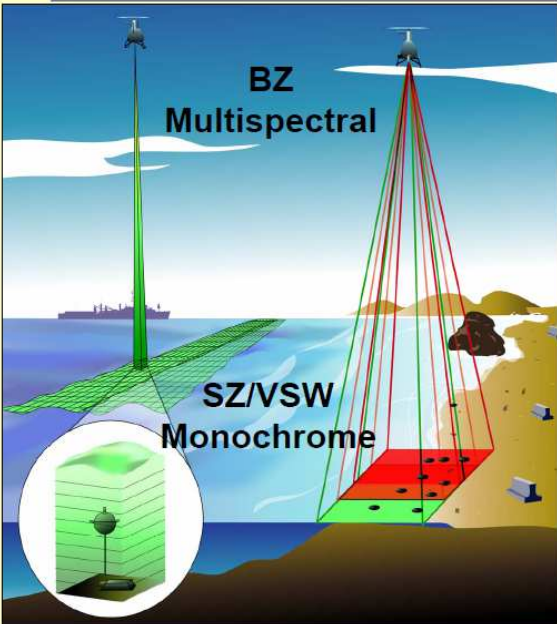
Imagerie multi-spectrale incluant laser (app. jour/nuit)

Masse 34 kg



Imagerie Laser Scanner 3D

- Applications de l'imagerie Laser scanner 3D
- ✓ Applications aéroportées, détection d'objets... ⇒ **D**étection **R**econnaissance **I**dentification
Prise en compte de la 3D ou de la 4D (full wave form)
- ROAR par BAE Systems



ONR Rapid, Overt, Airborne, Reconnaissance (ROAR)® **BAE SYSTEMS**

- COBRA Block II
- Optimized for surf zone
- Active multi-spectral
- True 3-D LIDAR system
- Multi-look scan pattern
- Compact design for UAV
- Team Includes:
 - BAE Systems
 - Lite Cycles
 - ASC
 - NSWC PCD
 - SAIC

5

Imagerie Laser Scanner 3D

▪ Applications de l'imagerie Laser scanner 3D

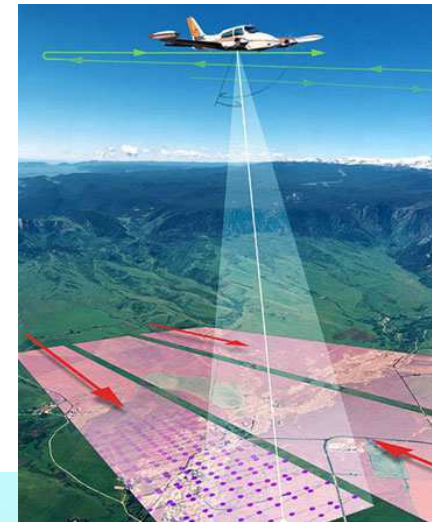
✓ Applications aéroportées, détection d'objets... ⇒ **D**étection **R**econnaissance **I**dentification
Prise en compte de la 3D ou de la 4D (full wave form)

✓ Cartographie précise de la surface, état de la végétation

Lidar aéroporté : haute cadence d'échantillonnage (ex. 50 kHz)

balayage $\pm 15^\circ$, résolution très fine

(15 cm en horizontal, 25 cm en vertical)



MNT USGS



MNT Lidar

Imagerie Laser Scanner 3D

▪ Applications de l'imagerie Laser scanner 3D

✓ Applications aéroportées, détection d'objets... ⇒ **D**étection **R**econnaissance **I**dentification
Prise en compte de la 3D ou de la 4D (full wave form)

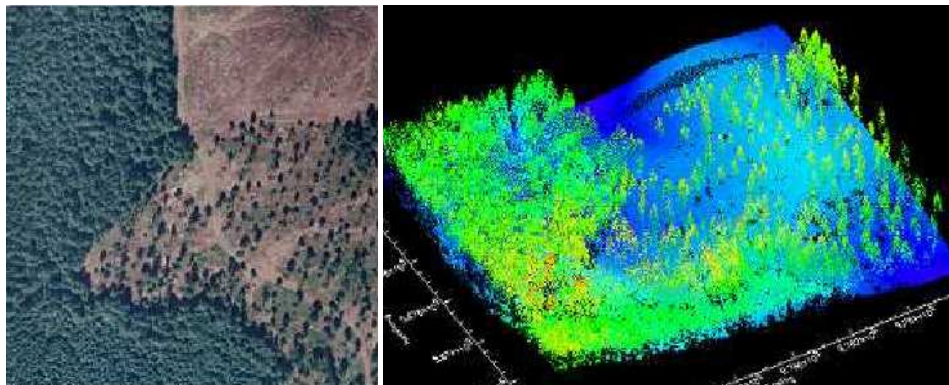
✓ Cartographie précise de la surface, état de la végétation

Lidar aéroporté : haute cadence d'échantillonnage (ex. 50 kHz)

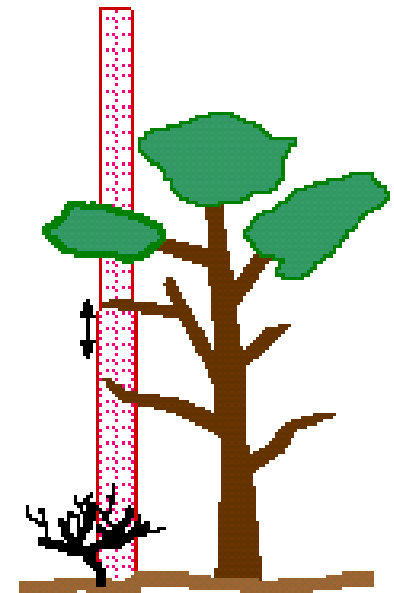
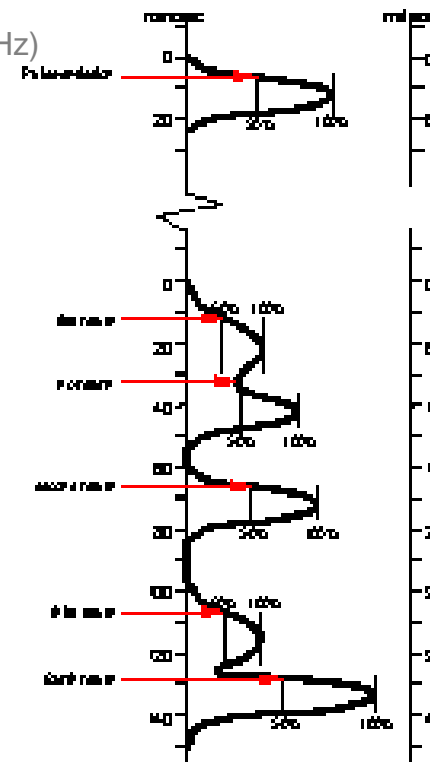
balayage $\pm 15^\circ$, résolution très fine
(15 cm en horizontal, 25 cm en vertical)

✓ Caractérisation des forêts

Technologie premier / dernier échos et onde complète



ONERA - DOTA - IODI ©2014



© Property of Onera. Information of all kinds which may include commercial, financial or technical data cannot be used, reproduced or disclosed without its previous written agreement.

Imagerie Laser Scanner 3D

▪ Applications de l'imagerie Laser scanner 3D

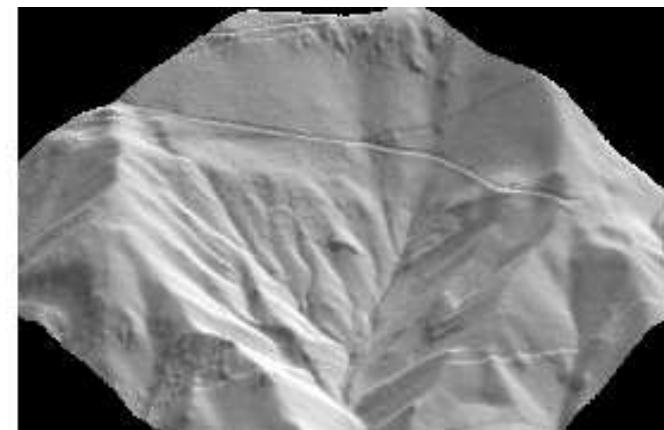
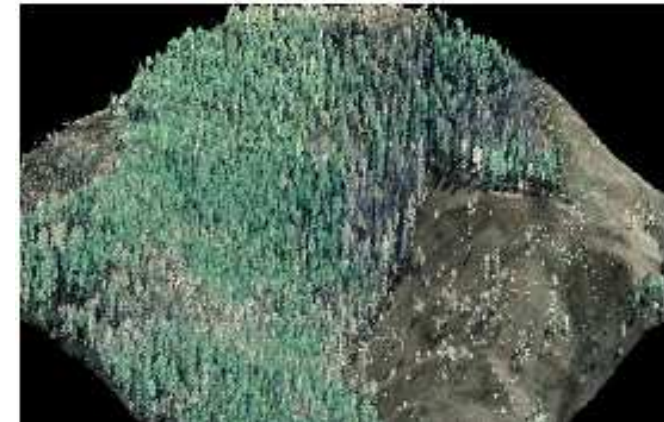
✓ Applications aéroportées, détection d'objets... ⇒ **D**étection **R**econnaissance **I**dentification
Prise en compte de la 3D ou de la 4D (full wave form)

✓ Cartographie précise de la surface, état de la végétation

Lidar aéroporté : haute cadence d'échantillonnage (ex. 50 kHz)
balayage $\pm 15^\circ$, résolution très fine
(15 cm en horizontal, 25 cm en vertical)

✓ Caractérisation des forêts

Technologie premier / dernier échos et onde complète



Imagerie Laser Scanner 3D

Applications de l'imagerie Laser scanner 3D

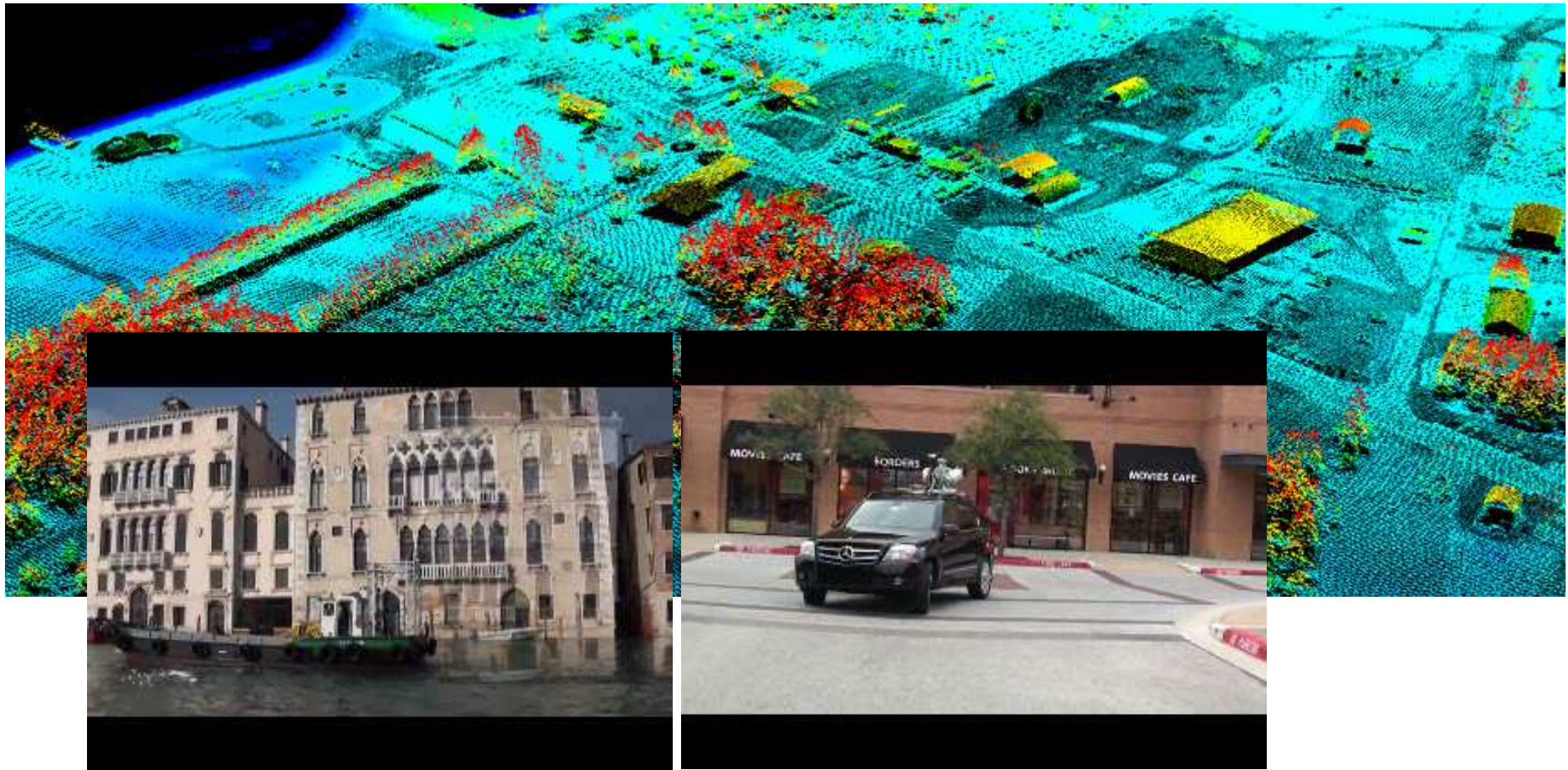
- ✓ Applications au "décamouflage" et à l'observation à travers la végétation



Imagerie Laser Scanner 3D

- Applications de l'imagerie Laser scanner 3D

- ✓ Caractérisation des milieux urbains



ONERA - DOTA - IODI ©2014

© Property of Onera. Information of all kinds which may include commercial, financial or technical data cannot be used, reproduced or disclosed without its previous written agreement.

Imagerie Laser Scanner 3D

- **Visibilité et conditions météorologiques dégradées**

- ✓ Application à la navigation, à l'aide au roulage...

Ex. Accident A380 / CRJ700 sur JFK airport, de nuit et temps de pluie

➡ 11 April 2011 An A380 clipped the wing of a smaller A/C

Amateur footage has captured the moment when an Air France A380, taxiing along the runway of JFK Airport in New York, clipped the wing of a smaller Comair CRJ jet, sending it into a spin.

Air France said 495 people and 25 crew members were on the Airbus A380 bound for Paris, while the Comair regional jet, which had just landed, was carrying 62 passengers and four crew members. There were no reports of injuries.

Both aircraft have been grounded pending an investigation.



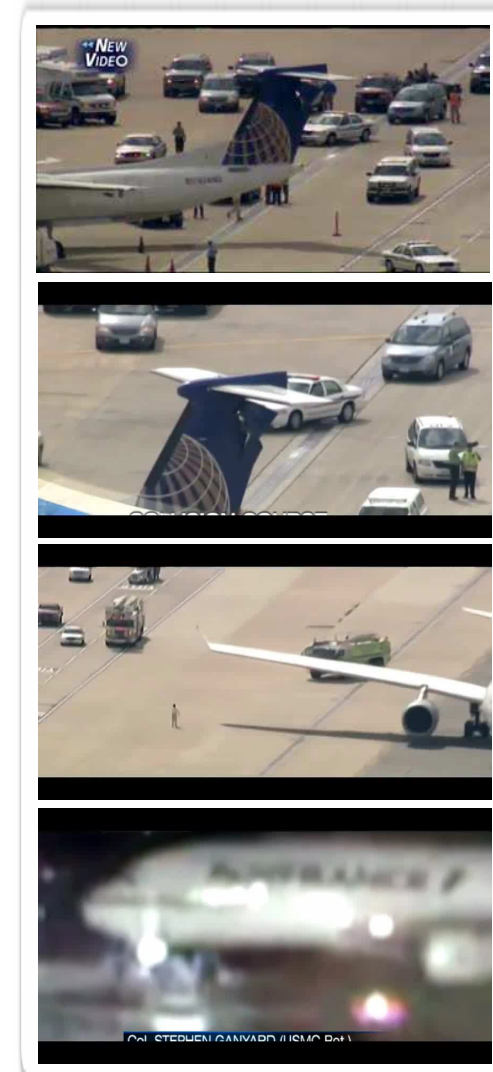
Imagerie Laser Scanner 3D

- **Visibilité et conditions météorologiques dégradées**

- ✓ Application à la navigation, à l'aide au roulage...

Ex. Accident A380 / CRJ700 sur JFK airport, de nuit et temps de pluie

➔ 10 August 2012 on Dulles Airport



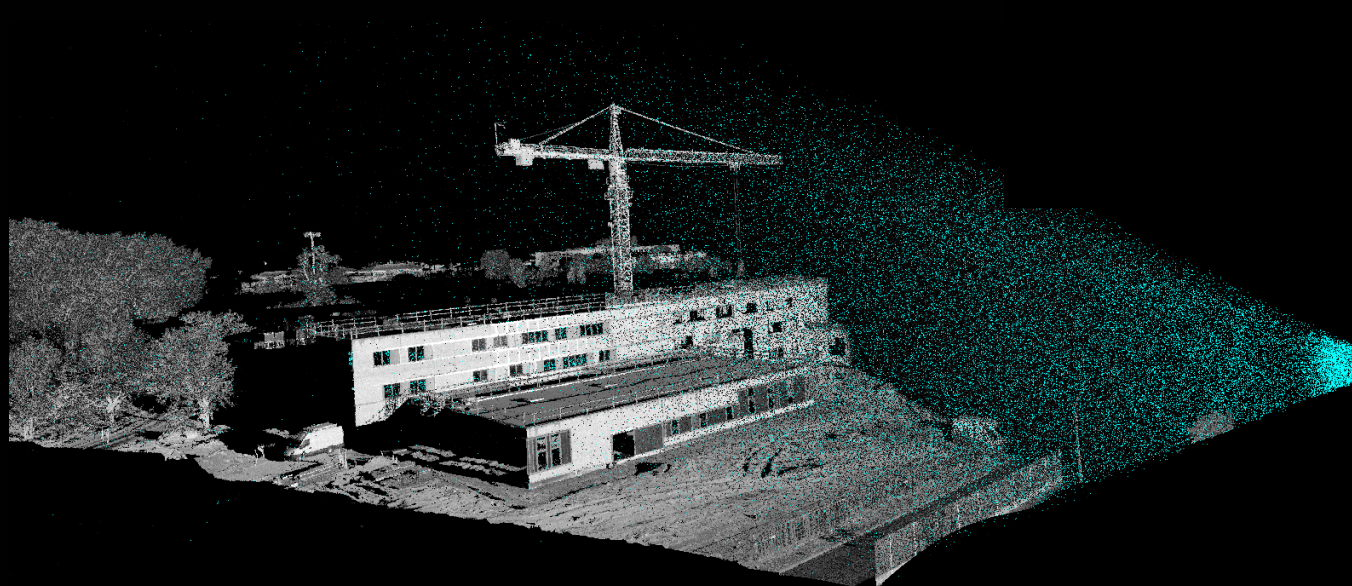
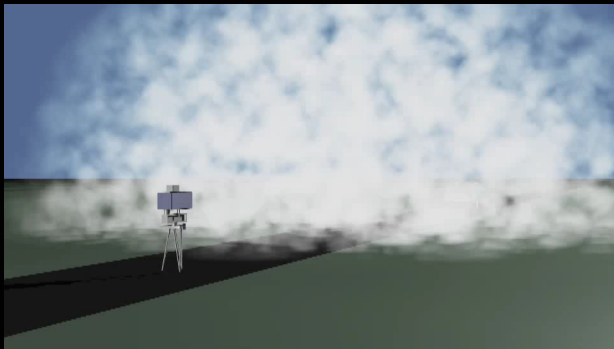
Part of the 7th framework programme
To reduce weather-related delays by 20%

1. **Delivering a robust worldwide operations capability**
allowing A/C to use airports with less capable ground based approach aids
2. **Delivering more autonomous A/C operation**
including anticipation & avoidance of weather disturbances and other possible perturbations on ground
3. **Delivering improved punctuality**
while simultaneously enhancing safety

Imagerie Laser Scanner 3D

Visibilité et conditions météorologiques dégradées

✓ Application à la navigation, à l'aide au roulage...



- Night vision
- Vehicle, strong rain
- Vehicle, fog
- Building, snow

Imagerie Laser Scanner 3D

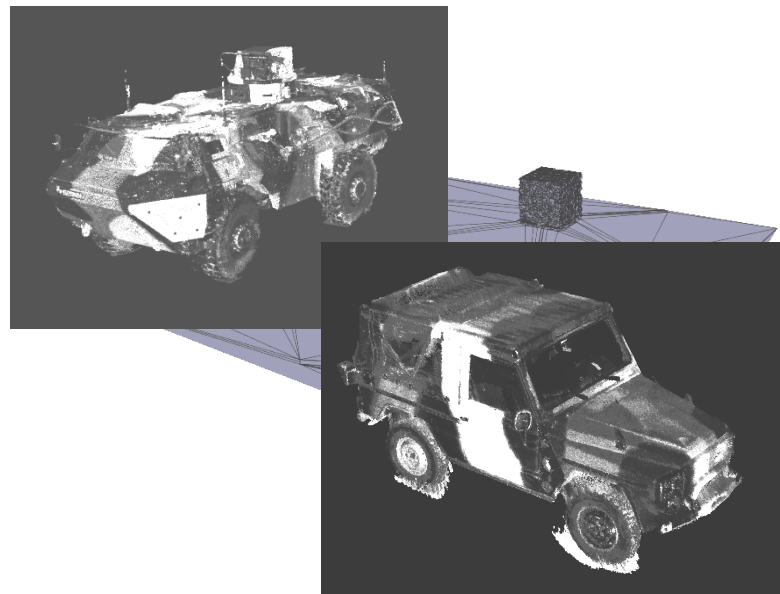
▪ Simulation et modélisation

- Modèles physiques 3D

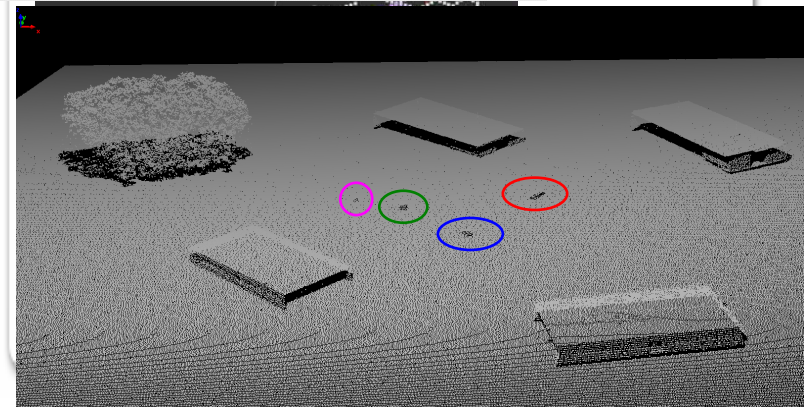
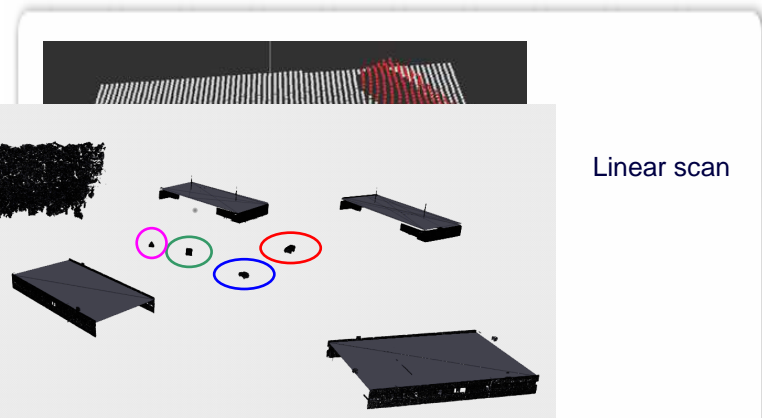
MATLIS, DELIS (ONERA, FR)

LADARSIM (Utah State University & FOI)

DIRSIG (Rochester IT, USA)...



MATLIS



Imagerie Laser Scanner 3D

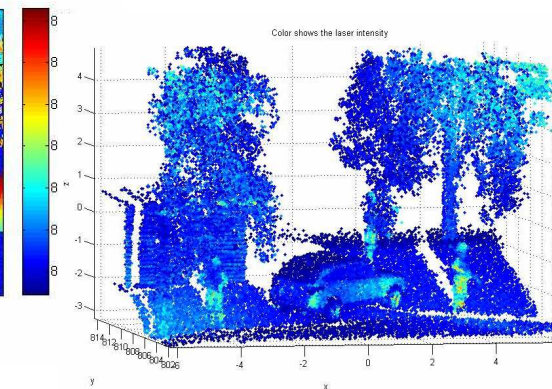
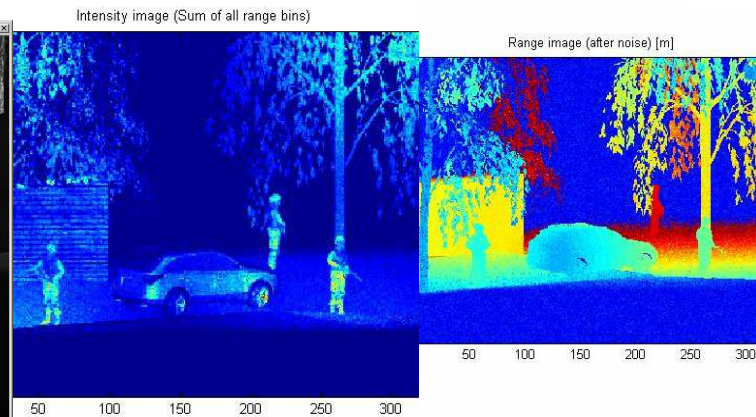
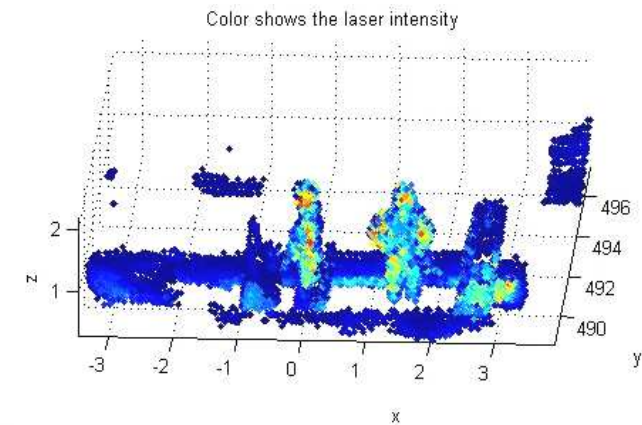
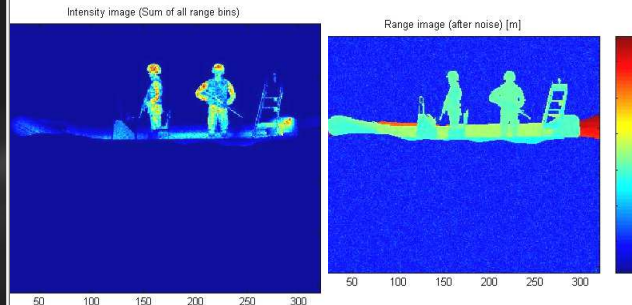
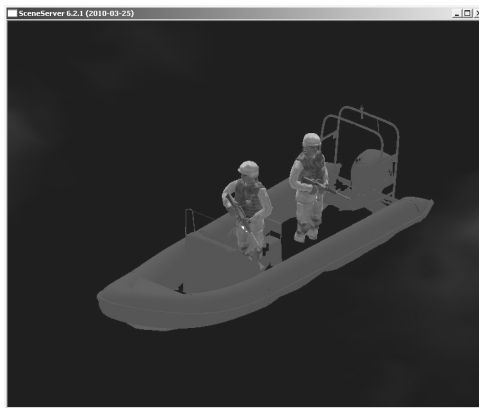
▪ Simulation et modélisation

- Modèles physiques 3D

MATLIS, DELIS (ONERA, FR)

LADARSIM (Utah State University & FOI)

DIRSIG (Rochester IT, USA)...



ONERA - DOTA - IODI ©2014

© Property of Onera. Information of all kinds which may include commercial, financial or technical data cannot be used, reproduced or disclosed without its previous written agreement.

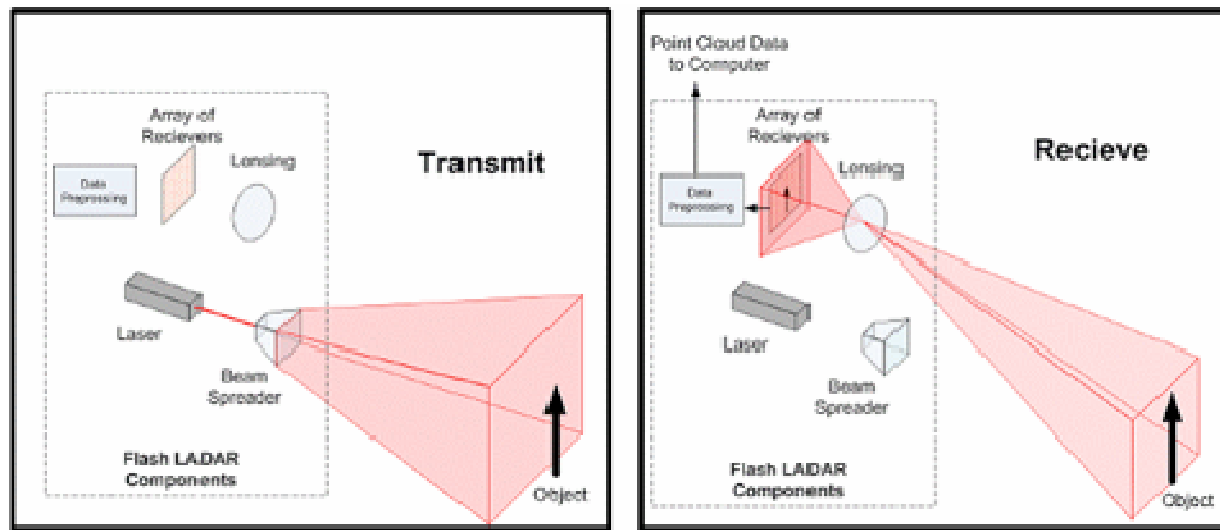


5 Imagerie Laser à plans focaux 3D

Imagerie Laser à plans focaux 3D

- **Système imageur matriciel**

✓ Technologie innovante qui relie l'imagerie laser flash 2D et l'imagerie laser 3D



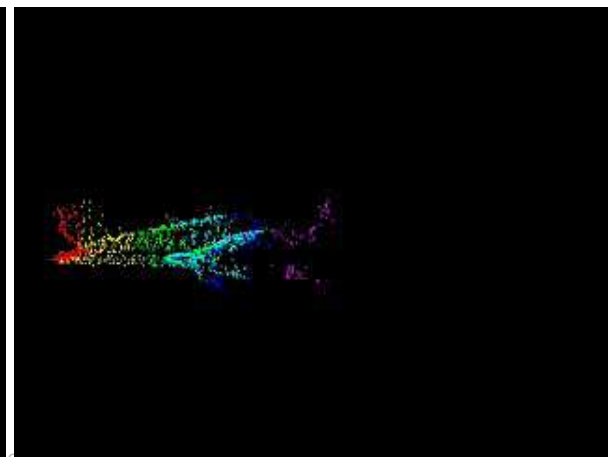
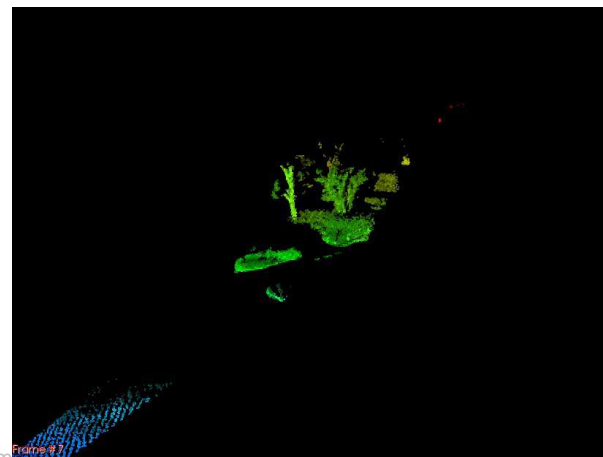
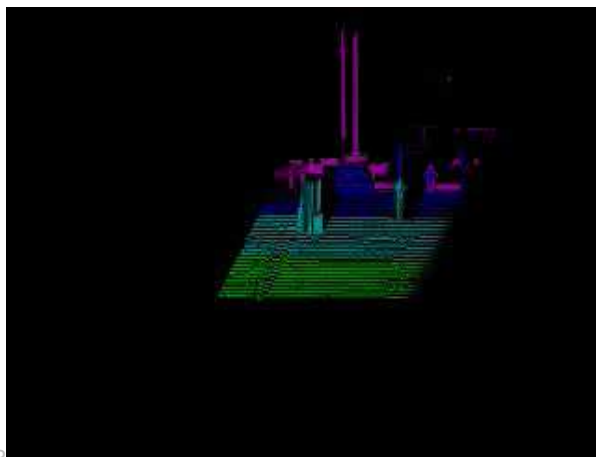
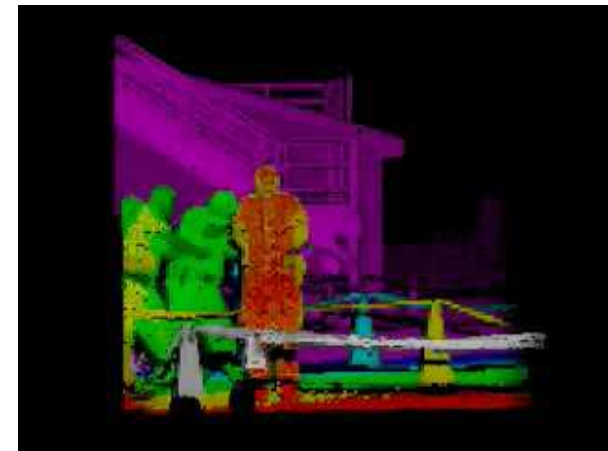
ASC - Integrated 3D Flash LIDAR Video Camera

11 x 11.2 x 12.1 cm 3D Sensor Engine : 128 x 128 InGaAs APD (detector array)
1570 nm eye-safe laser
Laser assembly (2.5 to 7 mJ/pulse depending on configuration)
Passive air-cooling operations up to 30 Hz
Windows-based notebook PC including ASC control and viewing software

Imagerie Laser à plans focaux 3D

- **Système imageur matriciel**

✓ Technologie innovante qui relie l'imagerie laser flash 2D et l'imagerie laser 3D



ONERA - DOTA - IODI ©2014

Imagerie Laser 3D

- **Système imageur matriciel**

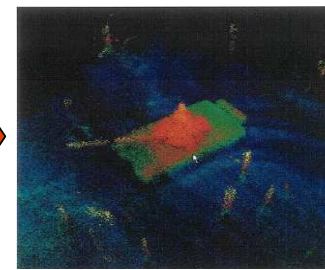
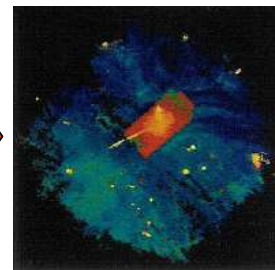
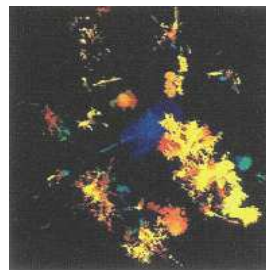
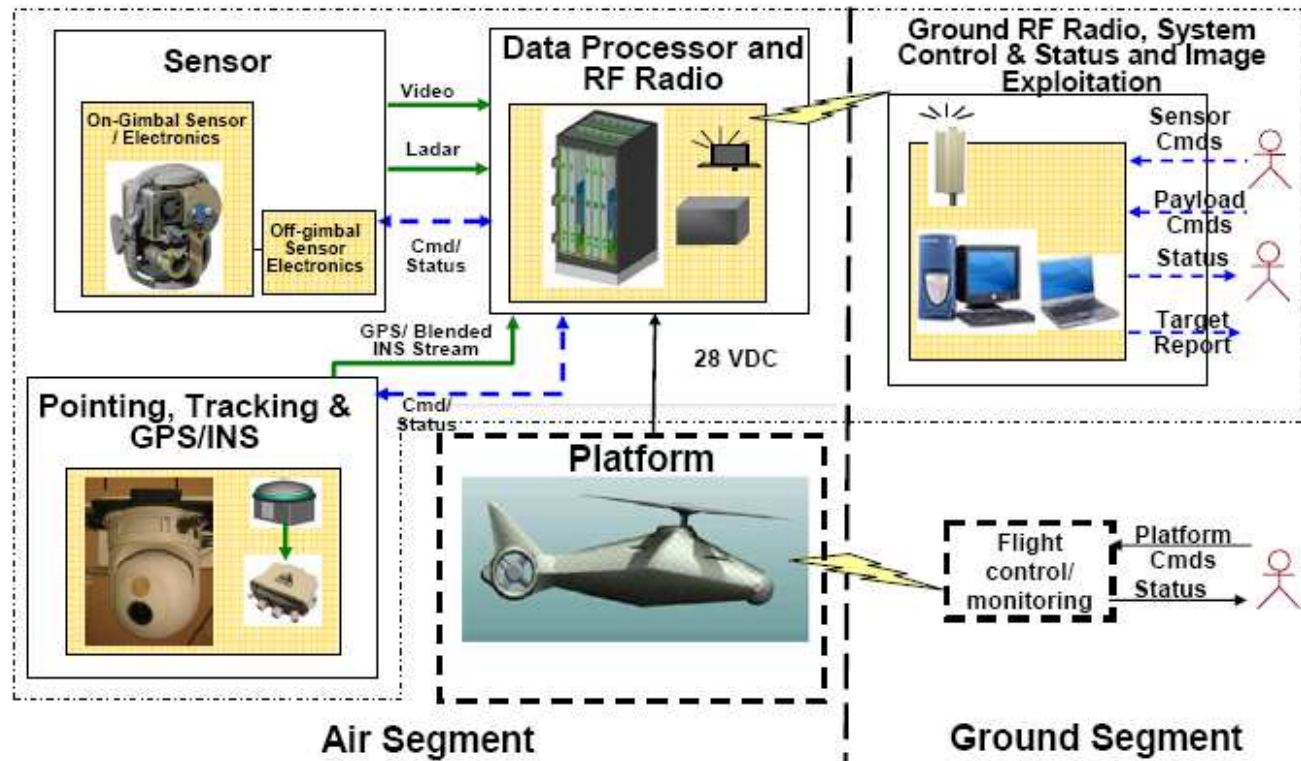
✓ Technologie innovante qui relie l'imagerie laser flash 2D et l'imagerie laser 3D



Imagerie Laser à plans focaux 3D

- Système embarqué pour la reconnaissance et le *mapping*

Flash 3D – JIGSAW (DARPA)



ONERA – DOTA – IODI ©2014

© Property of Onera. Information of all kinds which may include commercial, financial or technical data cannot be used, reproduced or disclosed without its previous written agreement.



Synthèse

Synthèse

▪ Systèmes longue distance

- ☒ Besoins
 - Temps réel + Reconnaissance (personnes et objets)
 - Aéroporté, terrestre, maritime
 - Distances supérieures à plusieurs kilomètres
 - Sécurité oculaire

- ✓ Techniques possibles
 - Flash 2D, Scanner 3D, 3D à plan focal matriciel
 - Multispectral, polarimétrique, *multivue*

- ✗ Enjeux techniques
 - Embarquabilité sur POD (espace limité, miniaturisation)
 - Complémentarité laser / détecteur / optiques avec d'autres fonctions
 - Complexité du système peut nuire à la fiabilité globale
 - Nombre de données important
 - Affichage en temps réel de métadonnées (nD)

- ✗ Enjeux scientifiques
 - Vision à travers des obscurants
 - Atténuation des effets de turbulence ?
 - Génération de bases de données spectrales pour la classification
 - Traitement des métadonnées + Temps réel

Synthèse

▪ Systèmes dédiés à la reconnaissance et au *mapping*

☒ Besoins

Observation différée + Reconnaissance (personnes et objets)

Aéroporté, maritime

Distances entre 0,3 et 6 km (scénario drone autonome ou piloté)

Sécurité oculaire

Pénétration sous feuillage

✓ Techniques possibles

Flash 2D, Scanner 3D, 3D à plan focal matriciel

Multispectral, polarimétrique, multivue

✗ Enjeux techniques

Forte recherche et savoir-faire dans les laboratoires

Dépend de l'altitude de vol (donc du scénario)

Complémentarité laser / détecteur / optiques avec d'autres fonctions

Nombre de données important

Affichage en temps réel de métadonnées (nD)

✗ Enjeux scientifiques

Exigences des différents vecteurs : véhicule, avion, hélicoptère, drone

Génération de bases de données spectrales pour la classification

Nuages de points 3D et signaux onde complète + Traitement des métadonnées

Reconstruction multivue

Complémentarité avec d'autres technologies (imagerie passive, radar)

Synthèse

▪ Systèmes courte distance

- ☒ Besoins
 - Détection de changements et reconnaissance spécifique
 - Détection et localisation d'obstacles
 - Aéroporté, terrestre, maritime
 - Distances inférieures au kilomètre
 - Sécurité oculaire
 - Embarquable sur drones

- ✓ Techniques possibles
 - Flash 2D, Scanner 3D, 3D à plan focal matriciel
 - Multispectral, polarimétrique, multivue

- ✗ Enjeux techniques
 - Embarquabilité sur drone / mini-drone (espace et masse limités, miniaturisation)
 - Complémentarité laser / détecteur / optiques avec d'autres fonctions

- ✗ Enjeux scientifiques
 - Exigences liées aux applications (grande diversité)
 - Algorithmes de traitement embarqués (ex. détection automatique d'obstacles)
 - Génération de bases de données spectrales et polarisées pour la classification

Synthèse

▪ Modélisation et Simulation

- ☒ Besoins
 - Modèles physiques "end-to-end" (de la source au capteur)
 - Modèles ingénieurs "end-to-end"
 - Modélisation / simulation de plateformes multi-capteurs optroniques

- ✗ Enjeux techniques
 - Parallélisations des outils numériques (ex. GPU)
 - Accès distants aux moyens de calcul ?

- ✗ Enjeux scientifiques
 - Modélisation de la diffusion atmosphérique, des hydrométéores, des aérosols...
 - Identification des variations spectrales (modélisation multi-longueur d'onde)
 - Prise en compte des effets de polarisation (lien avec les bases de données)
 - Génération de l'onde complète réaliste sur cibles complexes (ex. végétation)
 - Couplage des modèles d'imagerie active et passive pour permettre des comparaisons de performance système



Tour d'horizon sur l'imagerie laser 3D

Apports, limites, défis technologiques et scientifiques

Nicolas RIVIERE

ONERA – Optronics Department

Light Matter Interaction, Imaging and Detection Laser Systems Unit

2 av Edouard Belin – F31055 Toulouse – France

Phone : +33 (0) 562 252 624

E.mail : riviere@onera.fr

