

# PRECIDRONE

Réunion M18

LAAS

18 octobre 2016

## Rappel des objectifs du LT14 & LT15

### LT14: Déploiement d'une flotte de drones

- Comment optimiser le ratio qualité des informations acquises / temps de vol ?  
→ Thèse (Christophe Reymann, 10/2015 – 09/2018)

### LT15: Charge utile : quelles améliorations futures ?

- Exploitation de Lidar (télémètres laser)
- Exploitation de caméras hyperspectrales (?)  
→ 18 p.m PostDoc ou ingénieur (X fin 2016)

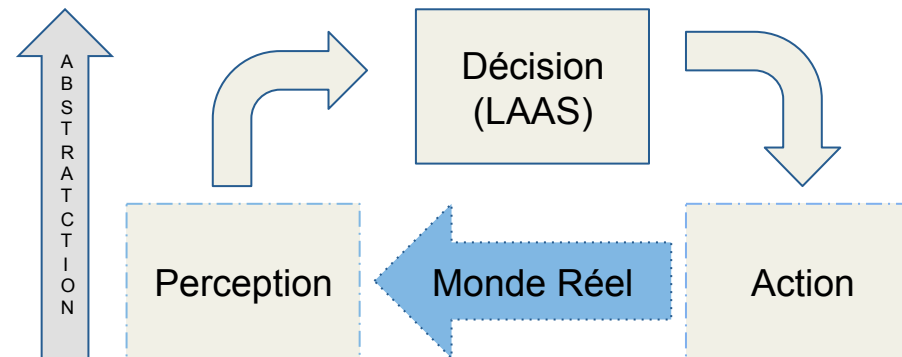
# Rappel feuille de route 6 derniers mois et état d'avancement

<b>LT14 Etude et développement des scénarii de déploiement des drones – leader LAAS</b>	<b>Etat d'avancement</b>
LT141–LAAS étudie bibliographie	<b>EN COURS / Conforme</b>
LT142 – LAAS modélise le problème de l'acquisition des informations par le drone	<b>EN COURS / Conforme</b>
LT143 – LAAS sélectionne des outils informatiques et développe la plateforme de simulation (en consultation avec DLT)	<b>REPORTÉ (consultation avec DT : fait)</b>
LT144 – LAAS échange avec le laboratoire de recherche US au Minnesota	<b>FAIT</b>
<b>LT15 Etude de l'apport des télémètres Laser – leader LAAS</b>	<b>Etat d'avancement</b>
LT151 – LAAS recrute post-doc pour prendre en charge la tâche	<b>EN COURS (retard ~ 2 mois)</b>

## LT14 - Généralités

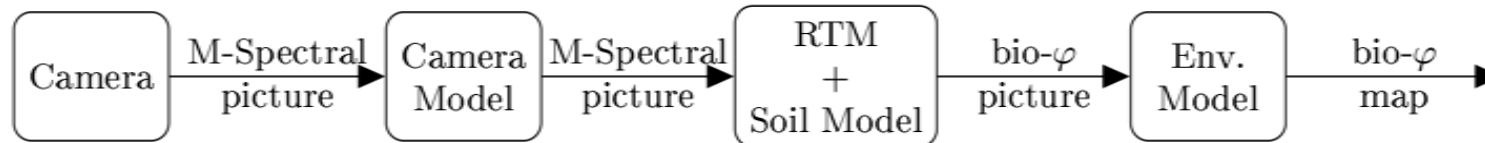
- Objectif : déploiement de flottes de drones pour les tâches d'observation des cultures
- Gain opérationnel espéré : informations de meilleure qualité, pour un temps de déploiement inférieur (synergies apportées par la *coopération* entre les drones)
- Cadre général : passage de l'automatique (= autonomie d'exécution) à l'autonomie (= décisions bouclées en temps réel sur les informations acquises)
- Thèse en ingénierie :
  - Proposer des outils et méthodes (idéalement formalisées) de résolution
  - Équilibre entre contexte(s) d'application et développements génériques

# Résultats LT142 - Modélisation du Problème

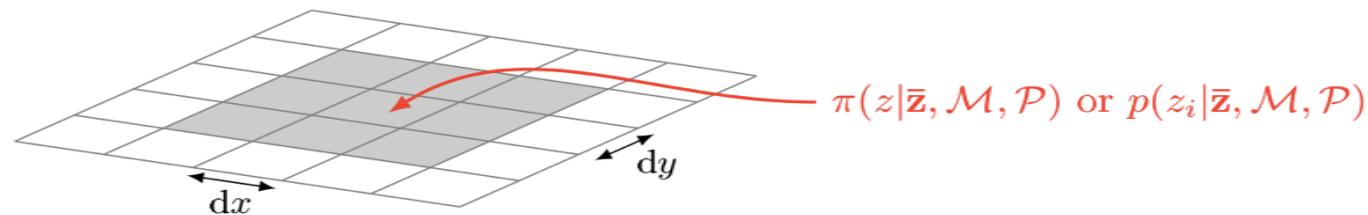


- Modèles de la décision
  - information disponible aux autres agents (multi-drones)
- Modèles de la perception
  - image multispectral → variable bio-phy → carte
- Modèles de l'action
  - dynamique de l'UAV : points de passage → trajectoire → actions élémentaires
  - qualité/nature des liens de télécommunications
- Simulation du monde réel :
  - perception : simulateur de caméra multispectrale ? de capteur abstrait ?
  - action : simulateur de vol, simulation de télécommunications
- Plusieurs modèles de niveaux d'abstractions différents nécessaires pour la planification

## Résultats LT142 - Perception

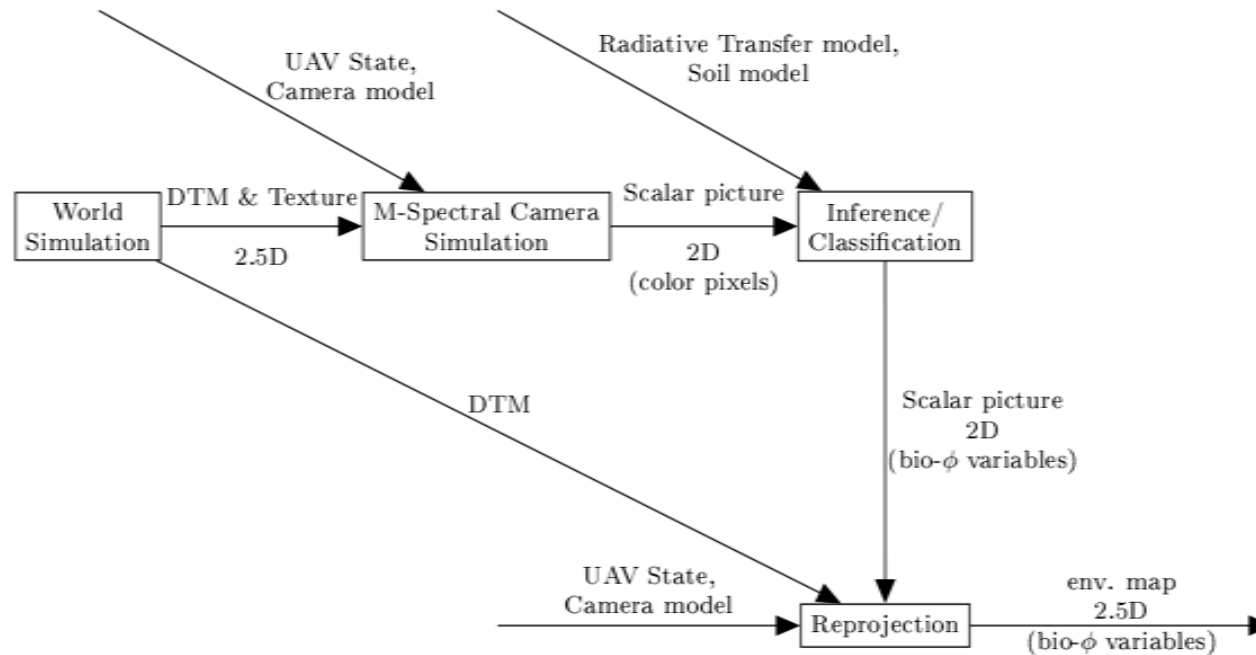


*Figure* : Pipeline de perception tel qu'utilisé actuellement (INRA + DT). Les images multispectrales (DT) sont corrigées pour les déformations de la caméra. Puis en sont inférées des images des variables bio- $\bar{A}$  (INRA). Enfin une reprojection basée sur l'orthorectification produit une carte des variables d'intérêt sur le champ (DT).



*Figure* : Carte de l'environnement stockée par l'UAV. Chaque cellule regroupe un certain nombre de pixels en un patch de taille fixe (par exemple 1mx1m). Au lieu d'associer directement la valeur de la variable bio- $\bar{A}$  on stocke la distribution de probabilité sur l'ensemble des valeurs possibles.

# Résultats LT142 - Perception



*Figure* : Pipeline idéal de simulation de la perception. Chaque noeud correspond à un algorithme prenant en entrée des données et des modèles. Il est possible de remplacer certain noeud pour simplifier (et abstraire) la simulation. Exemple: en absence du noeud d'inférence/classification, il est possible d'injecter directement les variables bio-physiques dans la simulation et simuler une caméra percevant directement ces variables.

# Résultats LT142 - Planification (Rappel)

## Actuellement :

- plan de vol généré hors ligne
- pas d'adaptation aux prises de vues manquantes dues à des perturbations externes
- pas de garantie de complétude de la carte
- temps de vol allongé par tx recouvrement conservatif



## But de la recherche au LAAS :

- réparation du plan de vol en ligne
- adaptation aux changements de conditions externes
- optimisation du temps de vol
- garantie de complétude
- utilisation de flottes de drones (>1)

→ Une bonne **planification (décision)** s'appuie sur des modèles de qualité

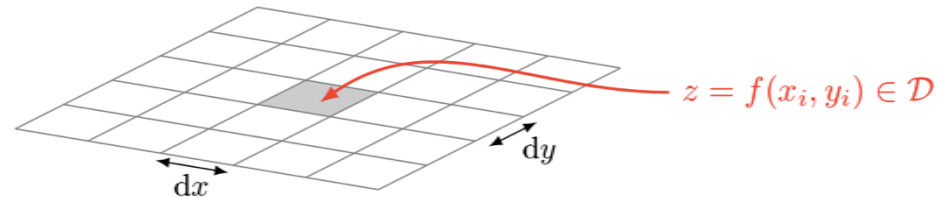




# Résultats LT142 - Planification

Modélisation du problème de planification (mono-agent):

- Abstraction de l'environnement. Grille de cellules, chaque cellule contient une variable binaire  $z_i \in D=\{0,1\}$  indiquant si elle a été perçue ( $z_i = 1$ ) ou non ( $z_i = 0$ ) après une observation  $o_i^1$ .



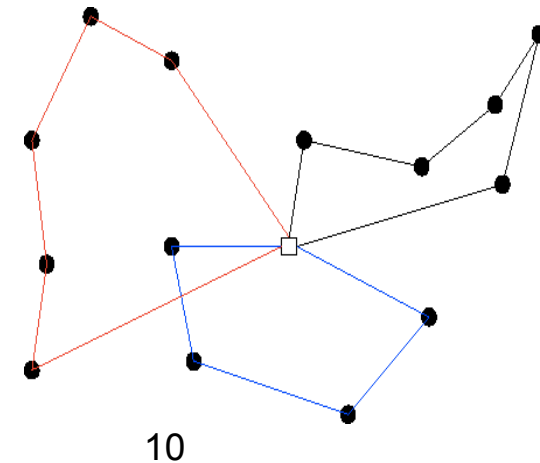
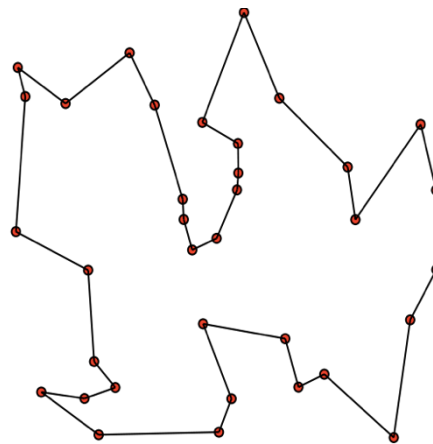
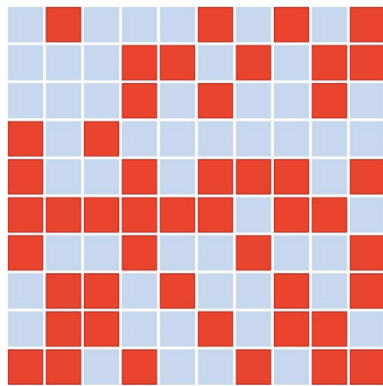
- Processus de perception stochastique (probabilité d'échec) :  $p(z_i=0 \mid o_i^1) = p_f$ , probabilité  $p_f$  indépendante spatialement et temporellement.
- On dispose d'un plan initial  $P_0$  en début de mission. Un plan  $P_i$  au temps  $i$  contient toutes les cellules non perçues au temps  $i$ , ordonnées selon l'ordre de parcours futur des cellules.

# Résultats LT142 - Planification

But de la mission :

minimiser  $t$  tq.  $P_t = \{\}$   $\rightarrow$  minimiser  $E(t)$  tq  $P_t = \{\}$  ( avec  $E(t)$  l'espérance de  $t$  )

- Quelle **stratégie calculable en ligne** minimise le temps de mission *en moyenne* ?  
Outils d'analyse : Analyse compétitive, Théorie des jeux (problème de location de skis), TSP (voyageur de commerce), ...
- Stratégies multi-drones ? Quels avantages ?



# Résultats LT143 - Simulateur

- Modélisation de :
  - État du monde, sous la forme d'un SIG
    - Couche modèle numérique de terrain
    - Couche parcelles et état des cultures (à différents niveaux d'abstraction)
  - Perception : caméras (à différents niveaux d'abstractions), lidar (?)
  - Vol : mécanique du vol, modèle de vent réaliste
  - Communications
- Exigences :
  - Support multi-agents
  - Outils d'affichage et de débogage
  - Temps réel (validation, HIL) ou "au plus rapide" (analyse statistique)
  - Architecture modulaire, gestion des synchronisations temporelles (HLA)
  - Open Source
  - Reconfiguration rapide (scriptable)
  - Passage rapide de la simulation à l'expérimentation : HIL, simulations hybrides (?)

(développements supportés par le projet SUDOE "Fire-RS")

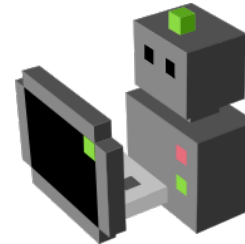
# Résultats LT143 - Simulateur

Middleware robotique + simulation :



- ROS 1 : inadapté à la simulation
- ROS 2 : pas encore vivant
- HLA : standard IEEE complexe
- Genom 3 : peu de documentation, peu d'utilisateurs, pas d'outils spécifiques à la simulation

Simulateurs robotique open source :



- Morse : polyvalent mais pas tout à fait mort



GAZEBO

- Inadapté (pas de synchronisation temporelle, pas de multi-agents)

Bilan :

- Pas de solution ad-hoc
- Identification d'un manque de plateforme robotique intégrant un environnement de simulation polyvalent
- Nécessité de développement d'une solution appropriée

Autopilot + FDM simulation ?



ARDUPILOT

# Résultats LT144 - Échange Université du Minnesota (UMN)

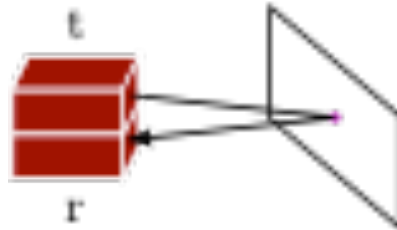
- Qu'est-ce qu'une collaboration scientifique ?
  - But : production scientifique → publication
  - Moyens : échanges d'expertises et de points de vues différents
  - Vecteur : le doctorant
- Expertise professeur UMN :
  - Analyse théorique de problèmes d'optimisation (voyageur de commerce , placement de capteurs)
  - Problèmes stochastiques (théorie des jeux, poursuite-évasion)
- Résultats :
  - Abstraction et modélisation de la planification de séquences de points de vue en problème d'optimisation stochastique
  - Analyse théorique du problème et recherche de stratégies efficaces(en cours)

# LT15 Charge utile : quelles améliorations futures ?

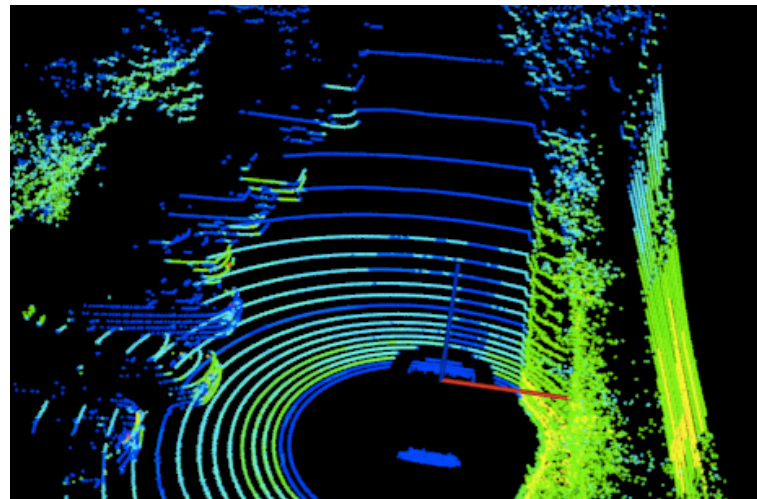
- Exploitation de Lidar (télémètres laser)
- Exploitation de caméras hyperspectrales (?)
  - 18 p.m PostDoc ou ingénieur (X fin 2016)

## LT15 : Exploitation de Lidar

- Principe des Lidar (télémètres laser)
- Télémètre laser : mesure de distance par temps de vol

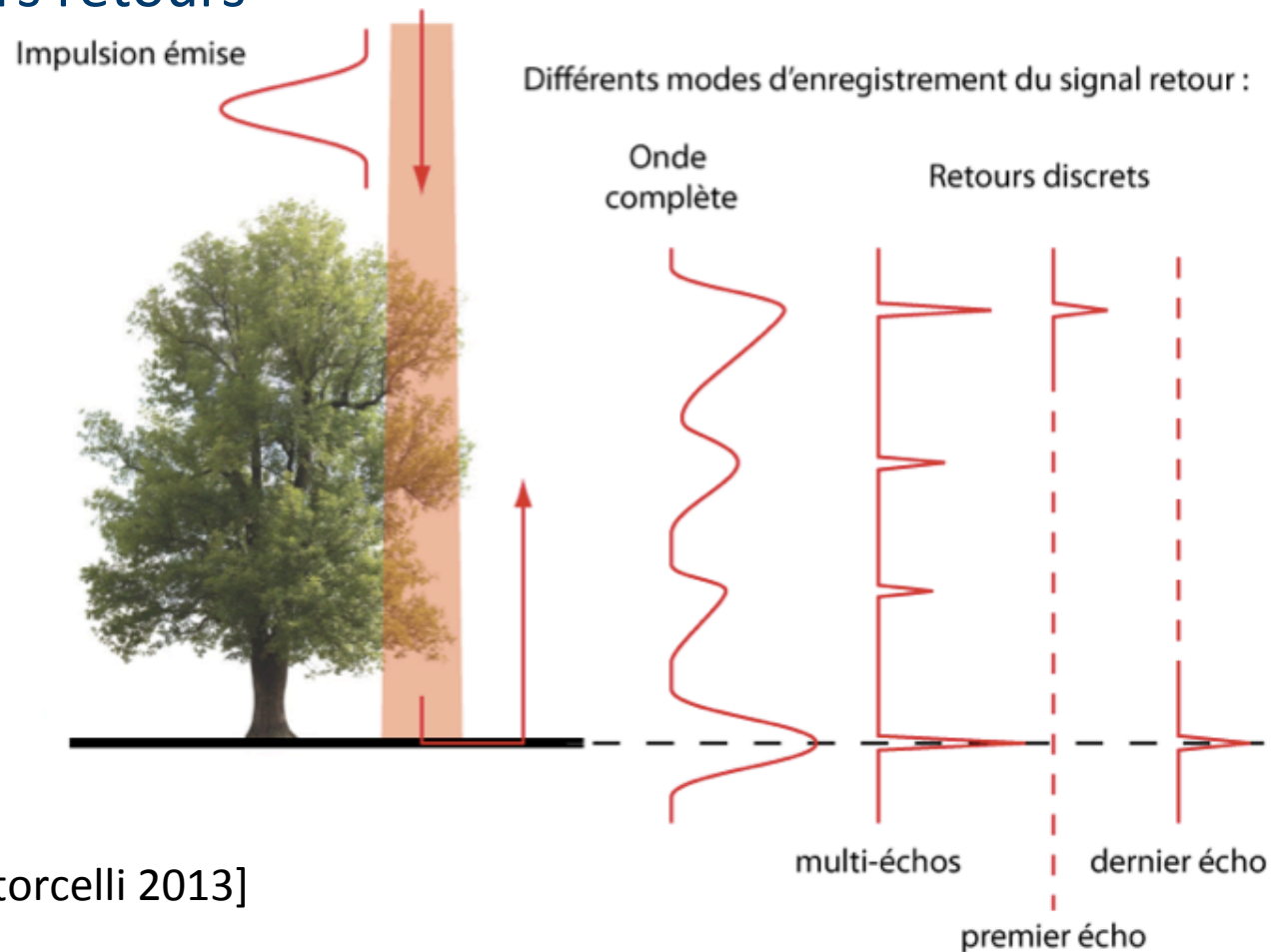


- système de balayage 1 axe : « Lidar 2D »
- système de balayage 2 axes : « Lidar 3D »



## LT15 : Lidar, au delà du premier écho

- Les faisceaux sont légèrement divergents (0.25 à 1 mRad) : plusieurs retours



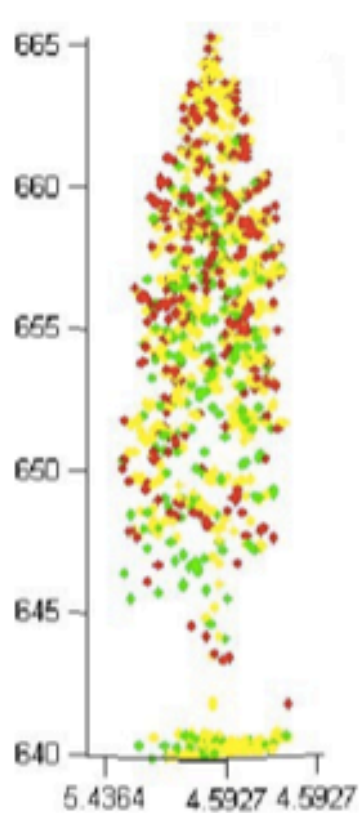
[Ristorcelli 2013]



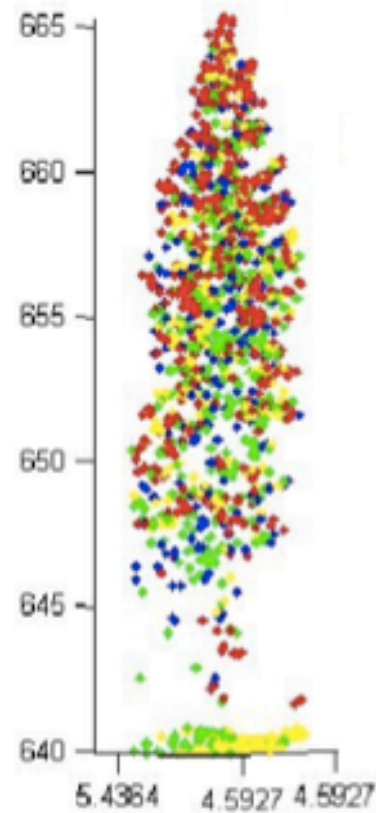
# LT15 : Lidar, au delà du premier écho

- Exploitation pour couverts forestiers

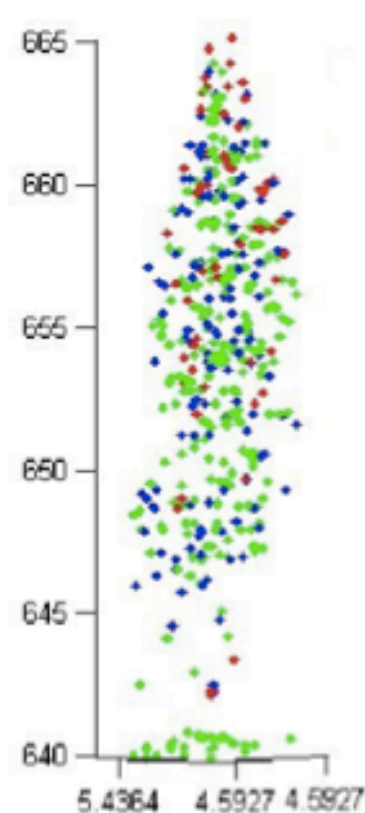
[Mallet 2013]



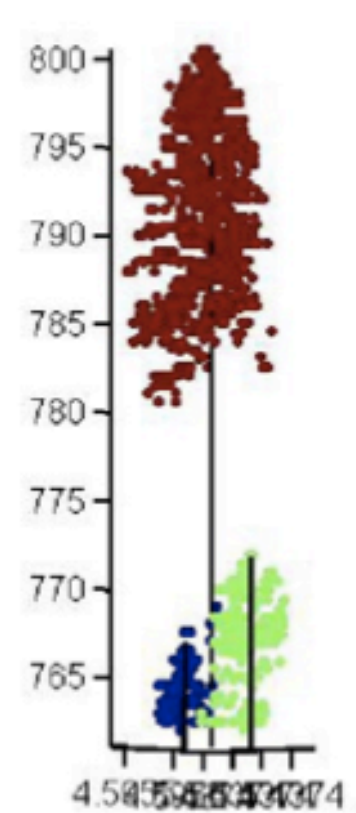
(a) First pulse/last point cloud.



(b) FW point cloud.



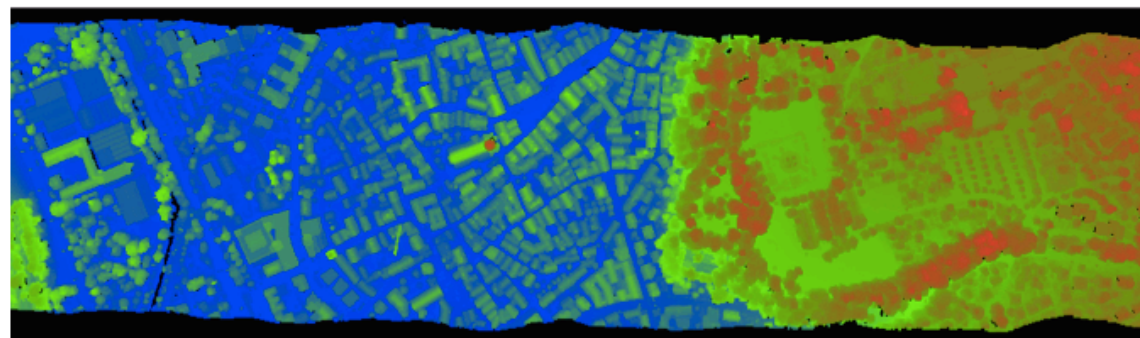
(c) Additional points retrieved.



(d) Tree detection (1).

# LT15 : Lidar, au delà du premier écho

- Exploitation en zones urbaines (classification) [Mallet 2013]



# LT15 : contexte de PreciDrone: quel Lidar ?

							
Manufacturer	Velodyne Lidar	Velodyne Lidar	Ibeo Automotive Systems	Ibeo Automotive Systems	Riegl	Riegl	Riegl
Model	VLP-16 ("The Puck")	HDL32E	LUX 4	LUX 8	VUX-1 HighAccuracy	VUX-1 UAV	VUX-1 LongRange
Weight (g)	830	1.050	1.100	1.100	3.650	3.650	3.650
Size (mm)	ø103.3 * 71.7	ø85.34 * 144.24	165 * 94 * 88	165 * 94 * 88	227 * 209 * 129	227 * 209 * 129	227 * 209 * 129
Power consumption (typ, W)	8	12	8	8	30-60, fan 5	30-60, fan 5	30-60, fan 5
Wavelength (nm)	905	905	905	905	1550	1550	1550
Eyesafe	yes	yes	yes	yes	yes	yes	yes
Operating temperature (deg C)	-10/60	-10/60	-40/85	-40/85	0/40	0/40	0/40
Ingress protection	IP 67	IP 67	IP 67	IP 67	IP 64	IP 64	IP 64
Min range (m)	1.0	1.0	0.3	0.3	1.2	3.0	5.0
Max estimated range (m)	120m at 80%, 50m at 10%	120m at 80%, 50m at 10%	200m at 90%	200m at 90%	400m at 80%, 150m at 10%	920m at 60%, 550m at 20%	1350m at 60%, 820m at 20%
Rotational speed (rpm)	300-1200	300-1200	750, 1500, 3000	325, 700	10-250	10-200	10-200
Max number of returns	2	2	3	3	4 at 550 KHz	4 at 550 KHz	4 at 550 KHz
Range resolution (mm)	2	2	40	40	3	5	10
Max ranging error (mm)	30	20	100	100	5	10	15
Max pulse repetition rate (PRR, KHz)	300	700			1000	500	750
Beam divergence (mrad) Footprint at 100m (mm)	3 / 300		1.4 horizontal / 140 14 vertical / 1400	1.4 horizontal / 140 14 vertical / 1400	0.5 / 50	0.5 / 50	0.5 / 50
Field of view horizontal (deg)	360	360	-60/50	-60/50	355	330	330
Field of view vertical (deg)	+15/-15	+30/-10	3.2	6.4	single layer	single layer	single layer
Number of lasers/planes	16	32	4	8	1	1	1
Angular spacing between planes (deg)	2	1.33	0.8	0.8	single layer	single layer	single layer
Max angular resolution (deg)	0.01	0.01	0.125	0.25		0.006	
Recommended scanning height AGL (m)	20-60	20-60	80-120	80-120	50-150	50-350	50-530

<http://phoenix-aerial.com>

## **LT15 : Lidar dans le contexte de PreciDrone**

- Adaptation des techniques existantes
- Pour quels paramètres ?
  - Indice de surface foliaire ?
  - Indice de croissance ?
  - Autres informations ?

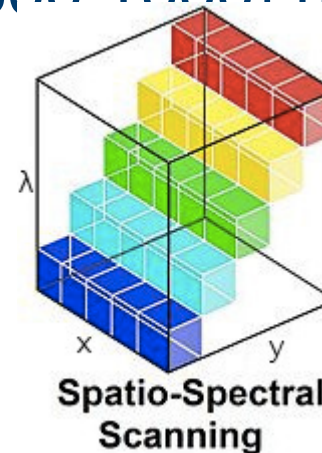
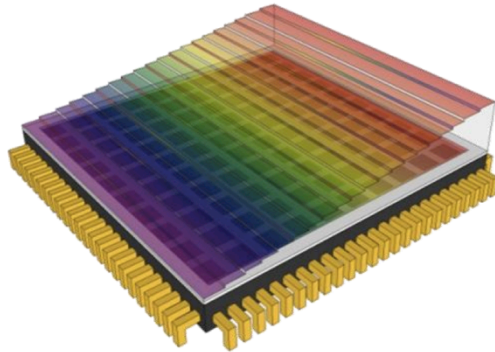
## LT15 : Travaux à mener sur le Lidar

- Analyse de l'état de l'art
- Qualification du (des) capteur(s) en laboratoire:
  - Sur scènes triviales
  - Sur végétaux
- Acquisition de données en vol
  - Développement d'une technique de recalage dédiée ? (en ligne ?)
  - Développement de techniques de classification



## LT15 : Caméra hyperspectrale ?

- Caméra « low-cost » LineScan de Ximea
  - 100 bandes de 4nm sur [600-1000] nm



- Avril / Août 2016: stage d'Alexis Comte
  - Qualification de la caméra
  - Tests sur acquisitions au sol, scènes « non agricoles »
- Acquisition d'une meilleure caméra ?