

# Contribution de l'information LiDAR et structure 3D des forêts tropicales pour la cartographie de la biodiversité par imagerie hyperspectrale

J.-B. Féret, IRSTEA - UMR TETIS

*Séminaire 3D Agriculture & Environnement, 24 Avril 2015*

# Déroulement de la présentation

## I. Introduction

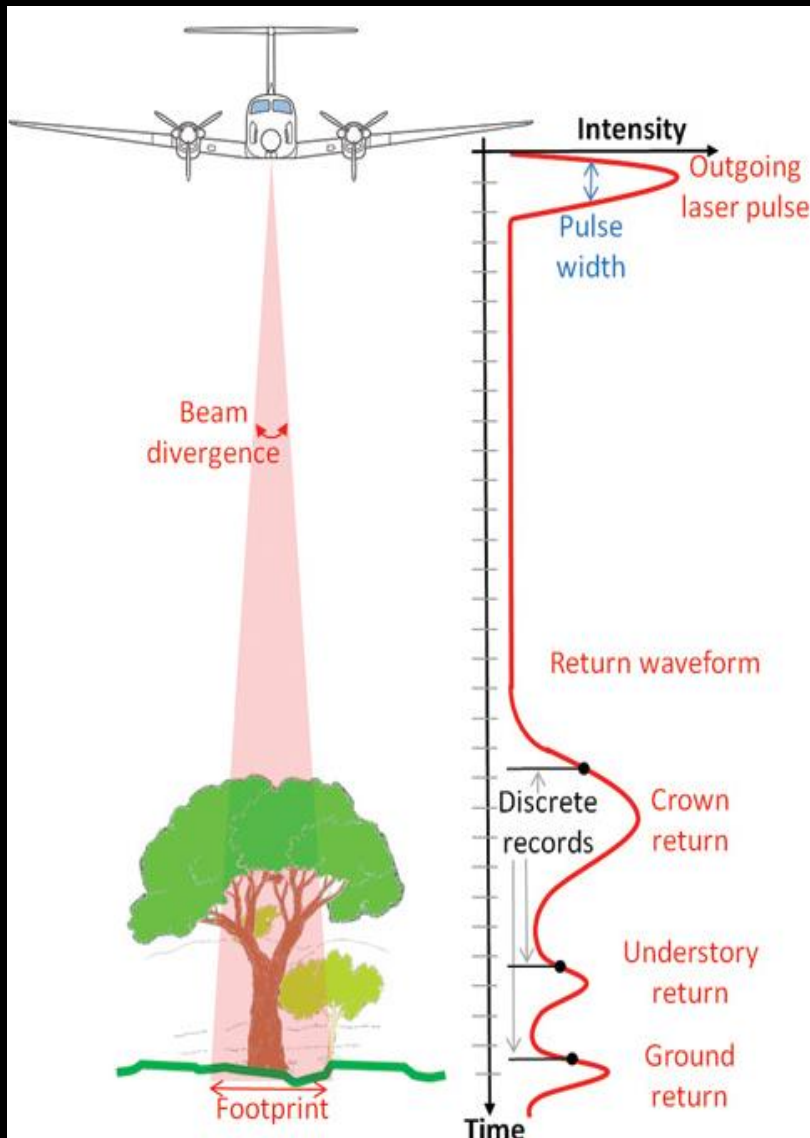
- a. Principe et utilisation de la mesure LiDAR
- b. Principe et utilisation de la mesure hyperspectrale
- c. Apport de l'information 3D pour l'écologie

## II. Applications

## III. Structure 3D et modélisation : préparation des futures missions spatiales

## IV. Conclusion et perspectives

# Principe et utilisation de la mesure LiDAR



Retour d'onde complète

Discrétisation

Retour discret

Nombre de retours

Temps de retour

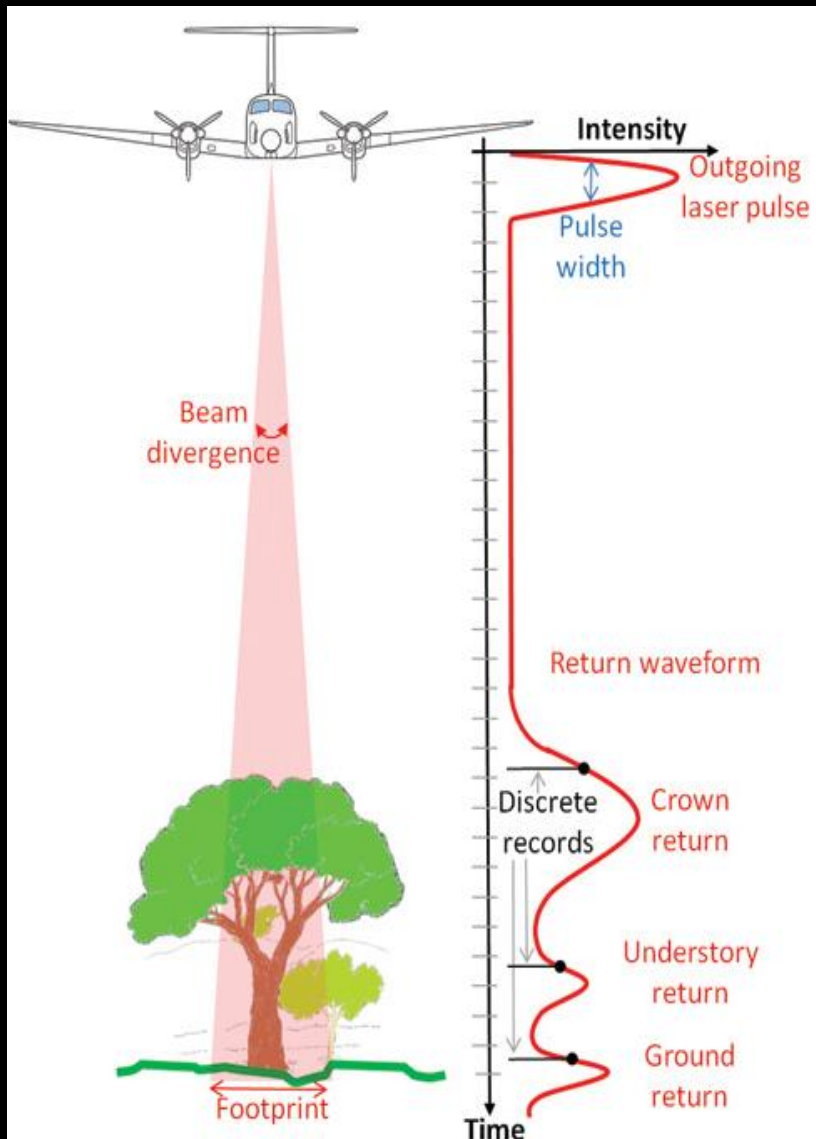
Intensité des retours

Modèles numériques de terrain et de canopée

Longueur d'onde du laser :

- Proche Infrarouge (1064 nm) + répandu
- Propriétés réfléchives de la végétation
- Autres longueurs d'onde utilisables

# Principe et utilisation de la mesure LiDAR



Retour d'onde complète

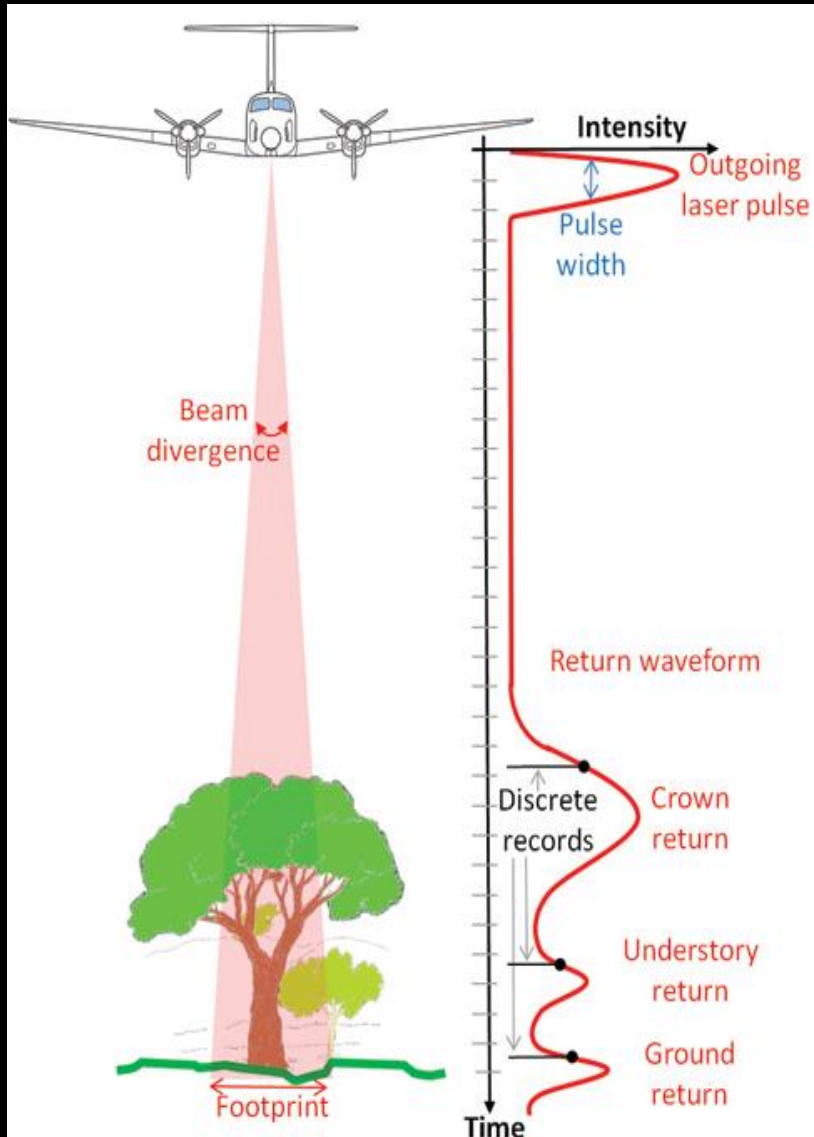
Discretisation

Retour discret

Image optique RGB réajustée



# Principe et utilisation de la mesure LiDAR

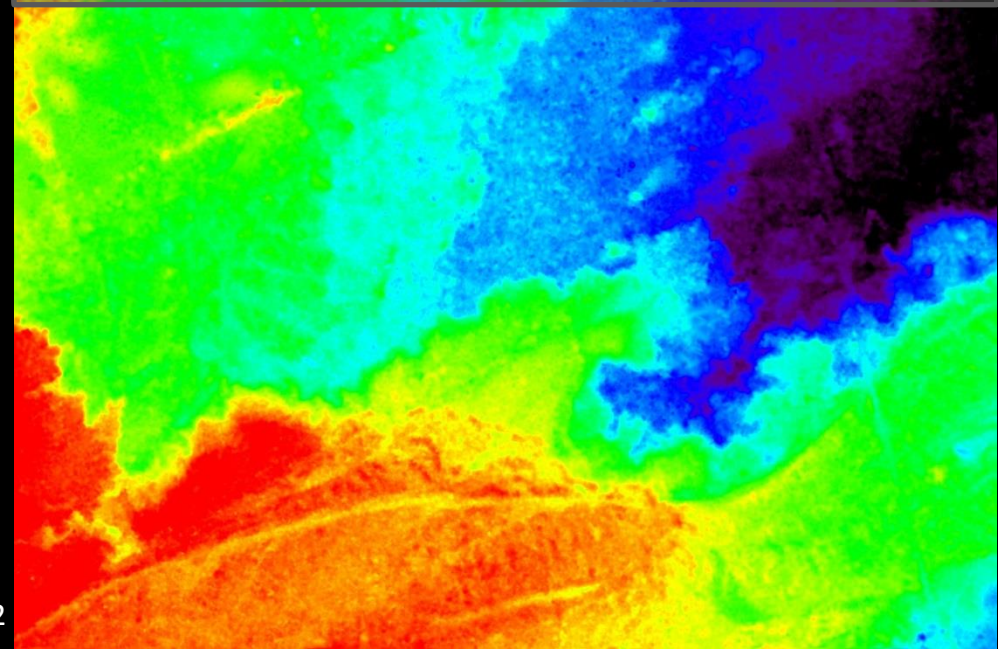


Retour d'onde complète

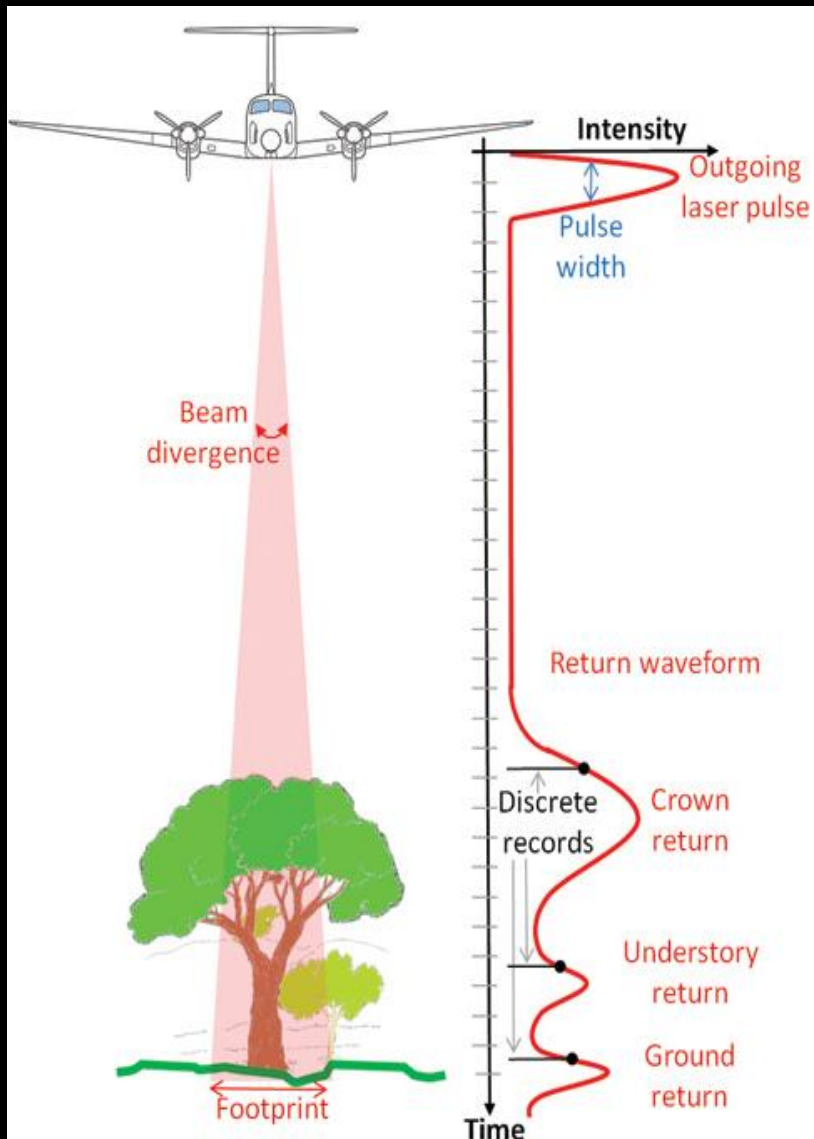
Discrétisation

Retour discret

Modèle numérique de terrain



# Principe et utilisation de la mesure LiDAR

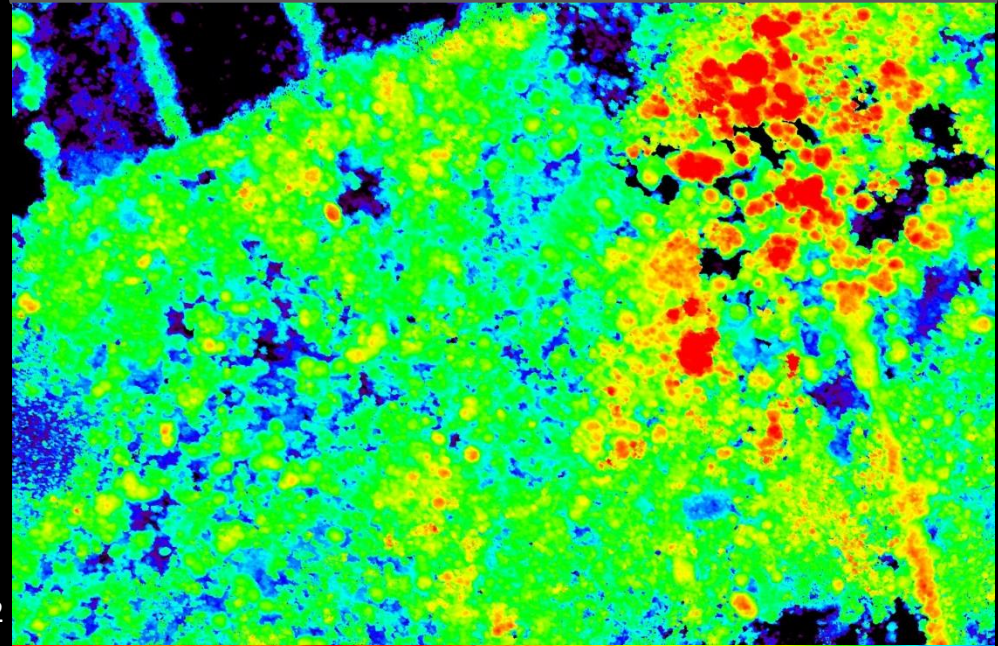


Retour d'onde complète

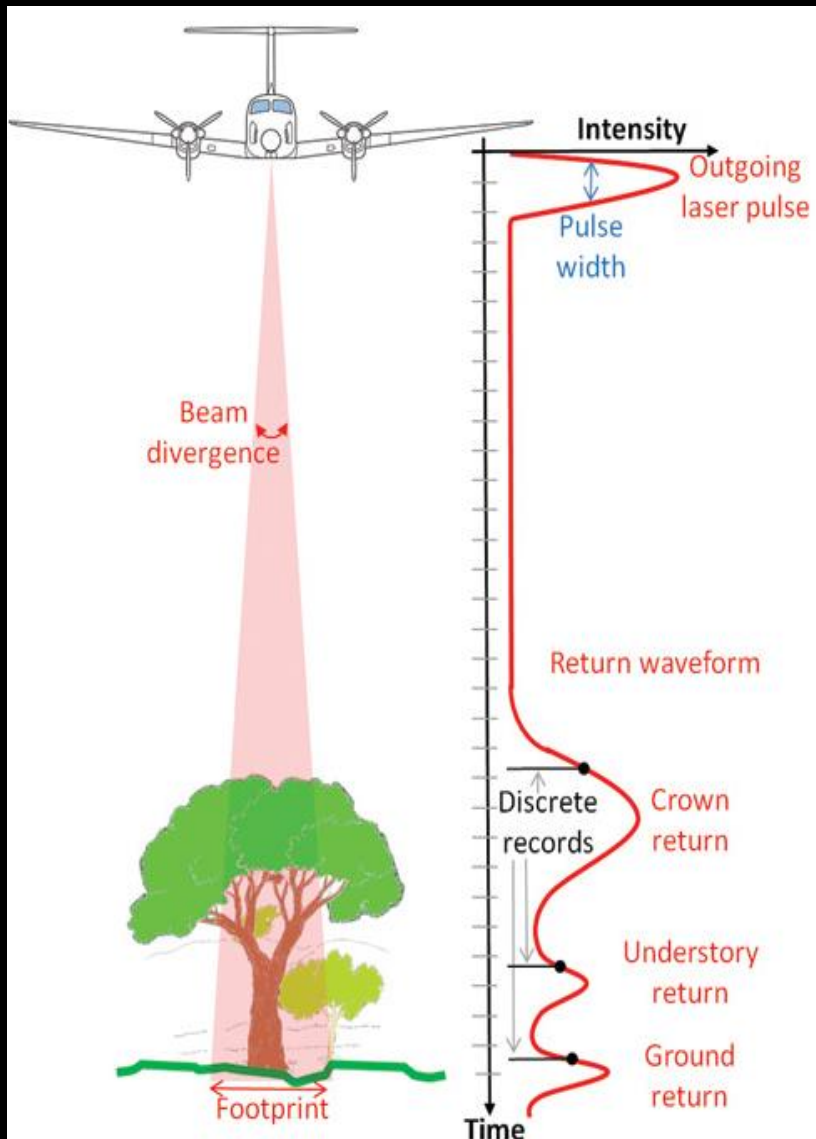
Discretisation

Retour discret

Modèle de hauteur de canopée



# Principe et utilisation de la mesure LiDAR

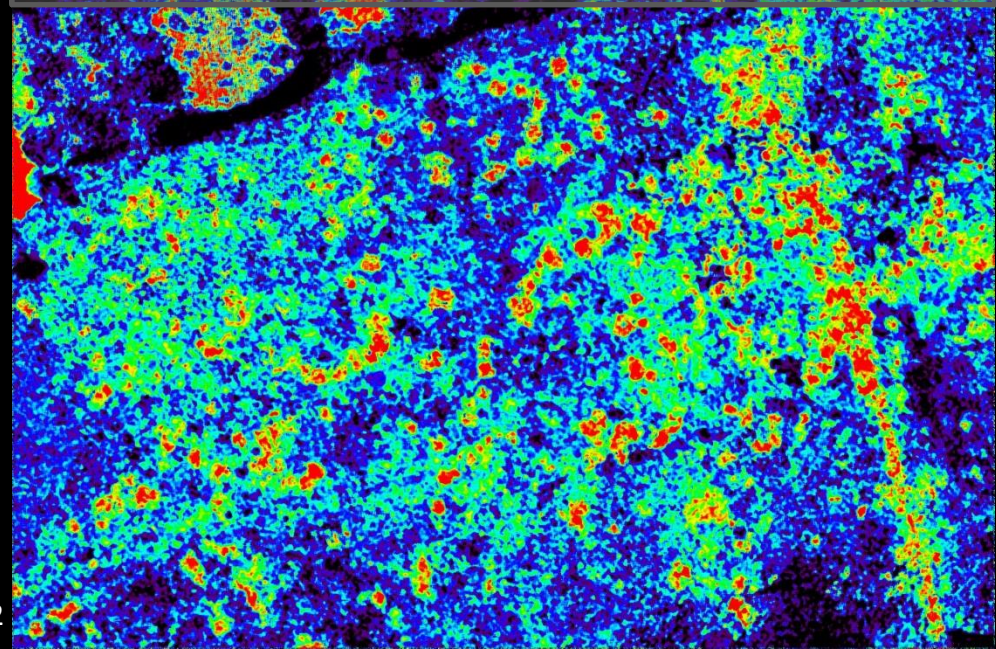


Retour d'onde complète

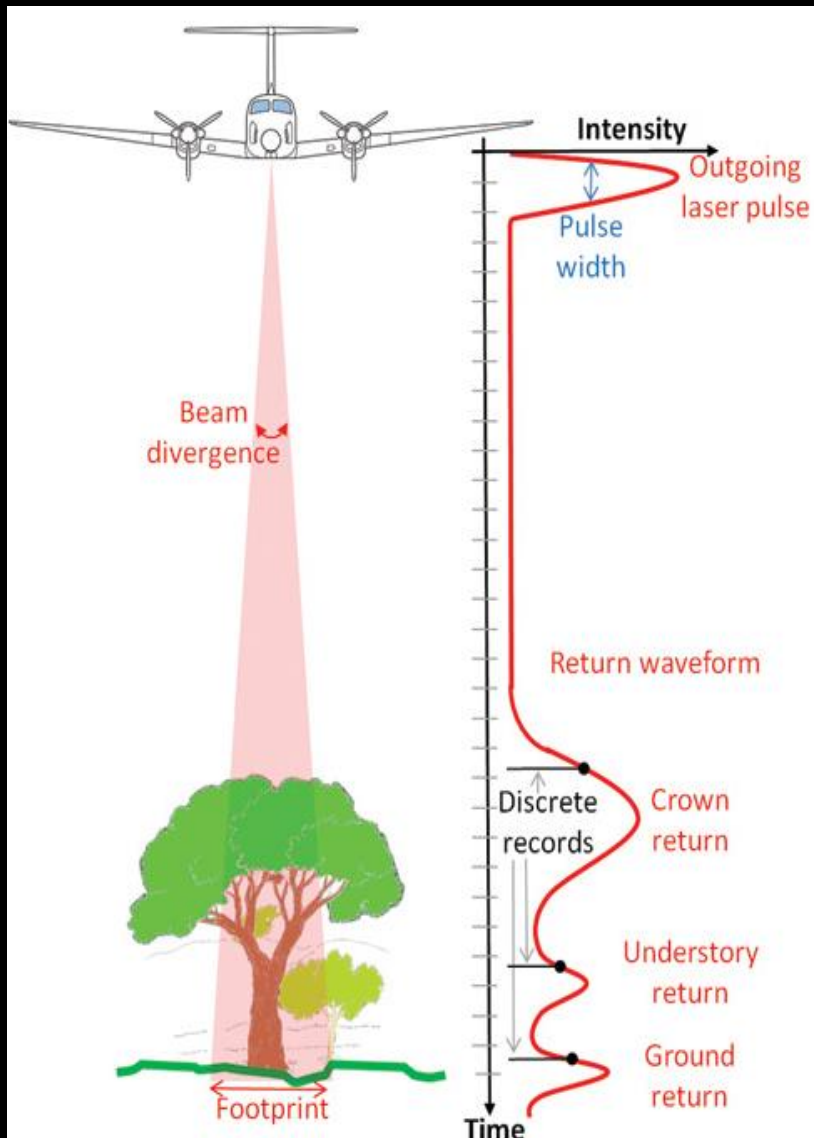
Discretisation

Retour discret

Intensité du premier retour



# Principe et utilisation de la mesure LiDAR



Retour d'onde complète

Discretisation

Retour discret

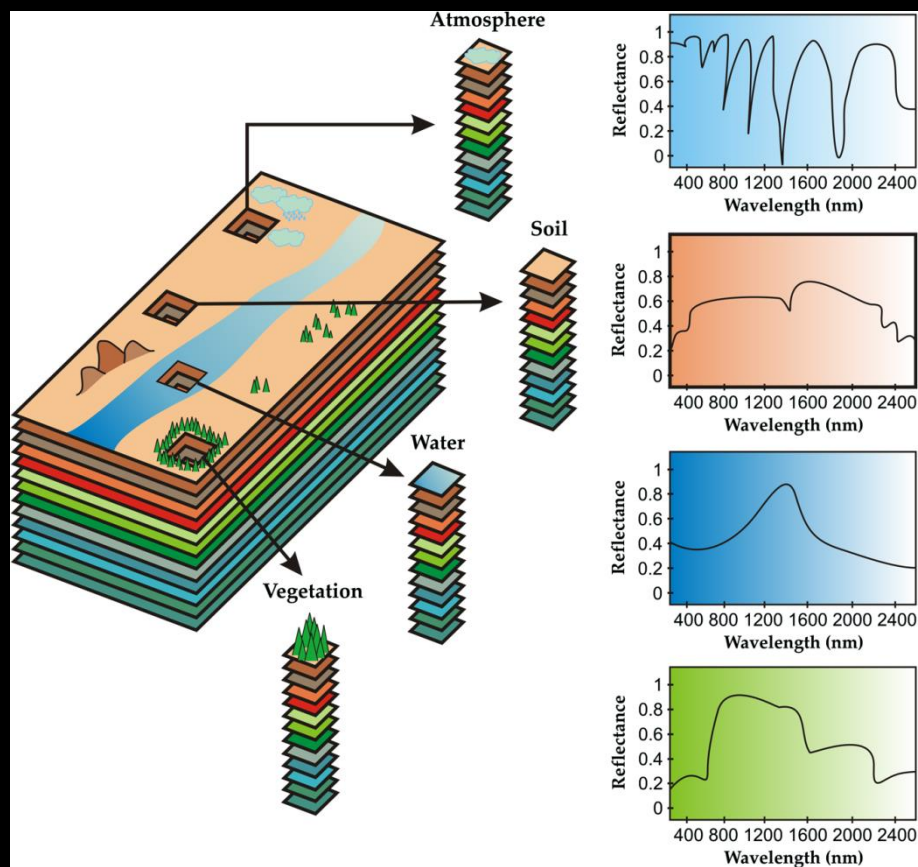
Intensité du premier retour

L'analyse orientée objet permet de dériver de nombreuses variables permettant une meilleure caractérisation de la surface

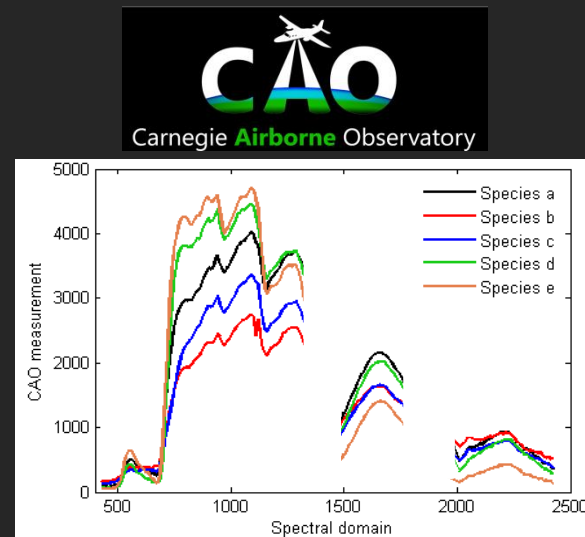


# Principe et utilisation de la mesure hyperspectrale

Mesure de réflectance sur un grand nombre de bande spectrales contigües (VIS/NIR/SWIR)  
→ Nombreuses applications (identification d'espèces, estimation de chimie foliaire)



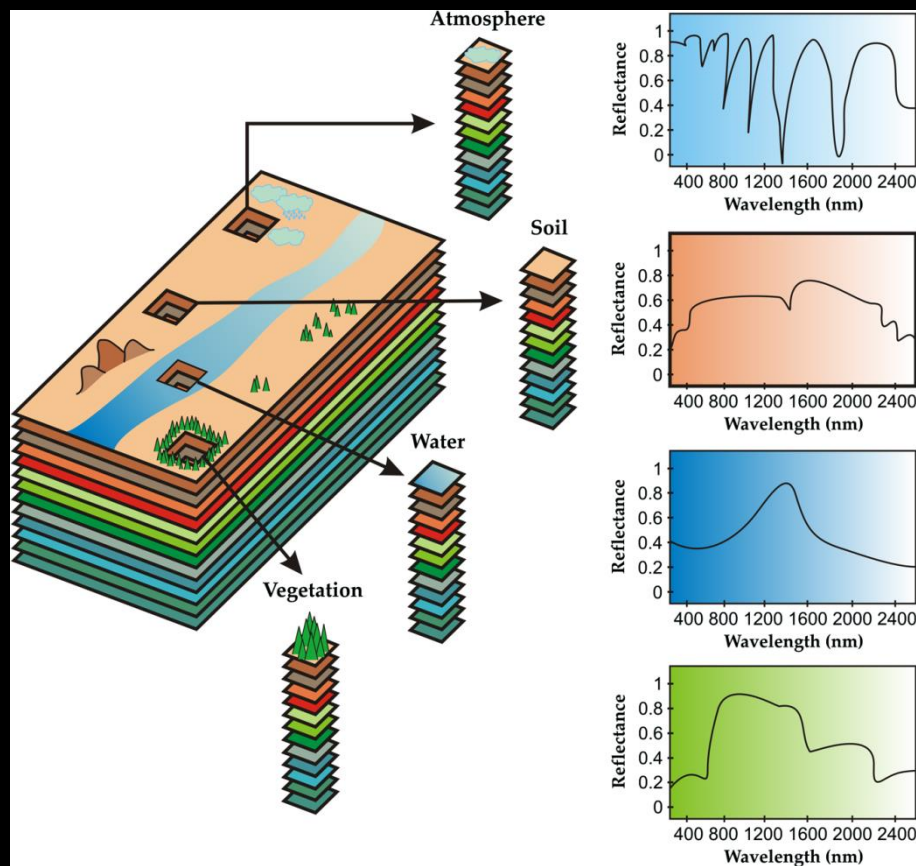
## Identification d'espèces d'arbres



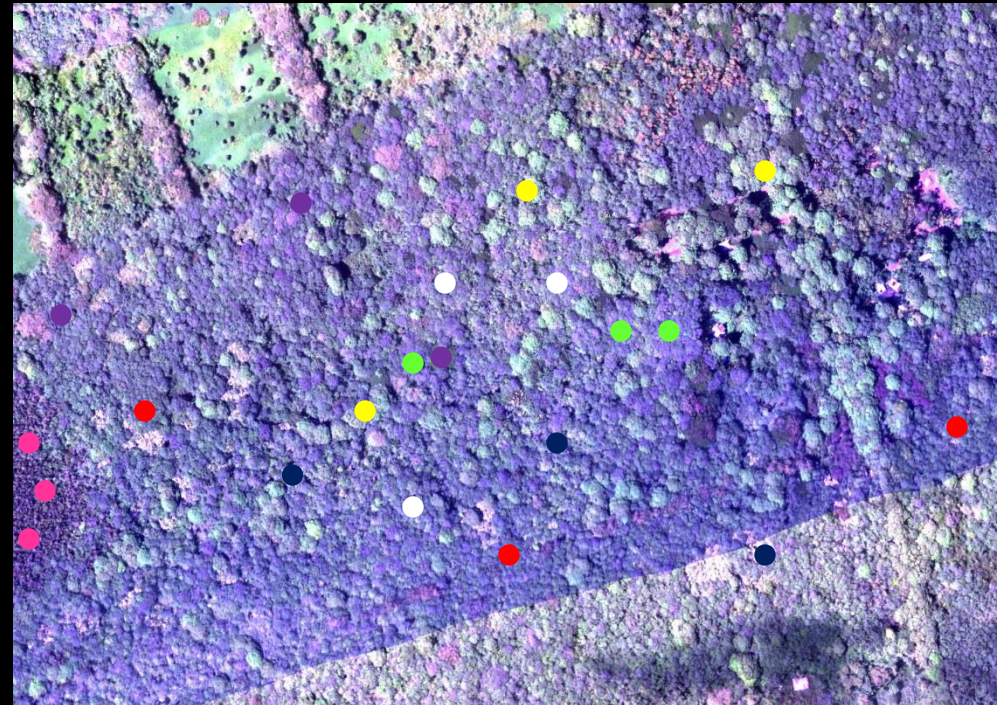
Librairie de signatures spectrales  
issues d'observations terrain

# Principe et utilisation de la mesure hyperspectrale

Mesure de réflectance sur un grand nombre de bande spectrales contigües (VIS/NIR/SWIR)  
→ Nombreuses applications (identification d'espèces, estimation de chimie foliaire)

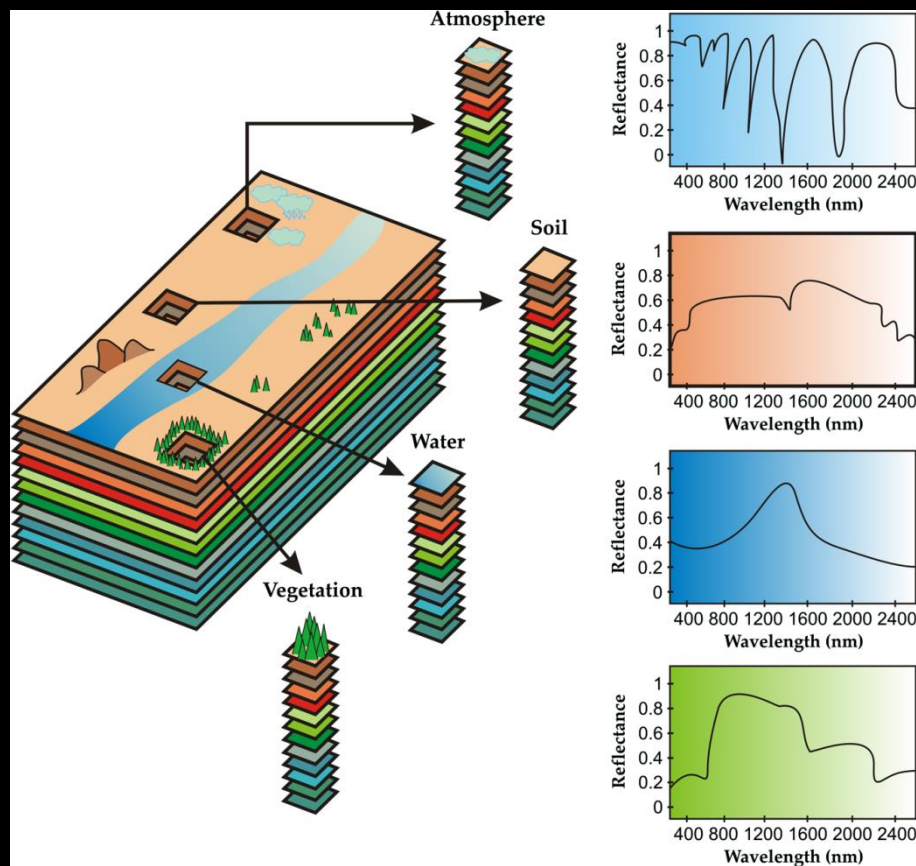


Identification d'espèces d'arbres

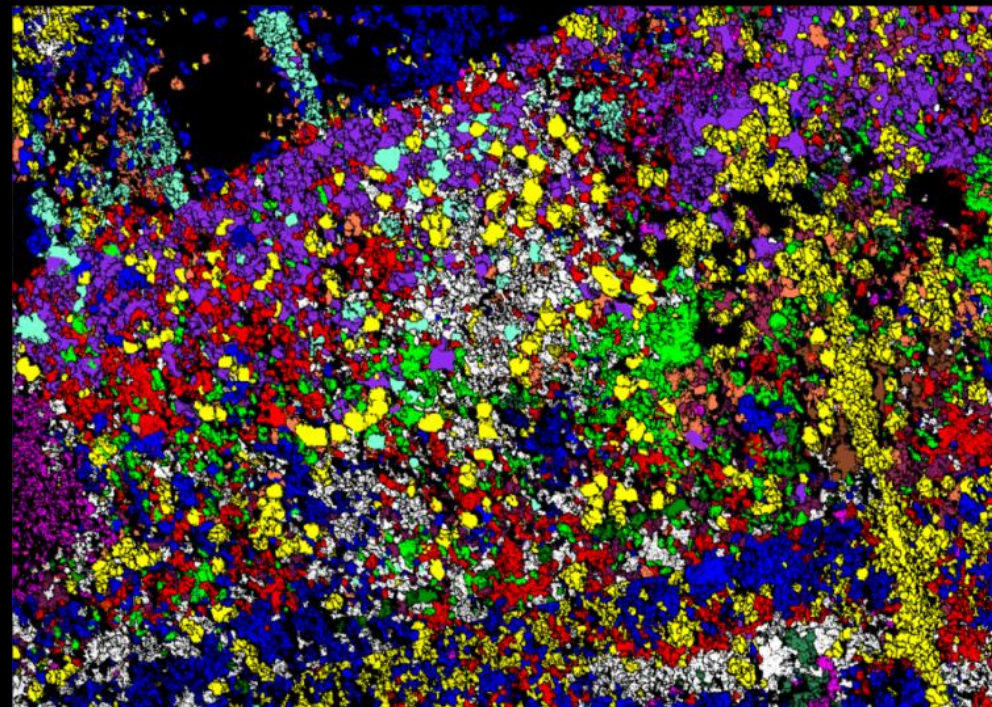


# Principe et utilisation de la mesure hyperspectrale

Mesure de réflectance sur un grand nombre de bande spectrales contigües (VIS/NIR/SWIR)  
→ Nombreuses applications (identification d'espèces, estimation de chimie foliaire)

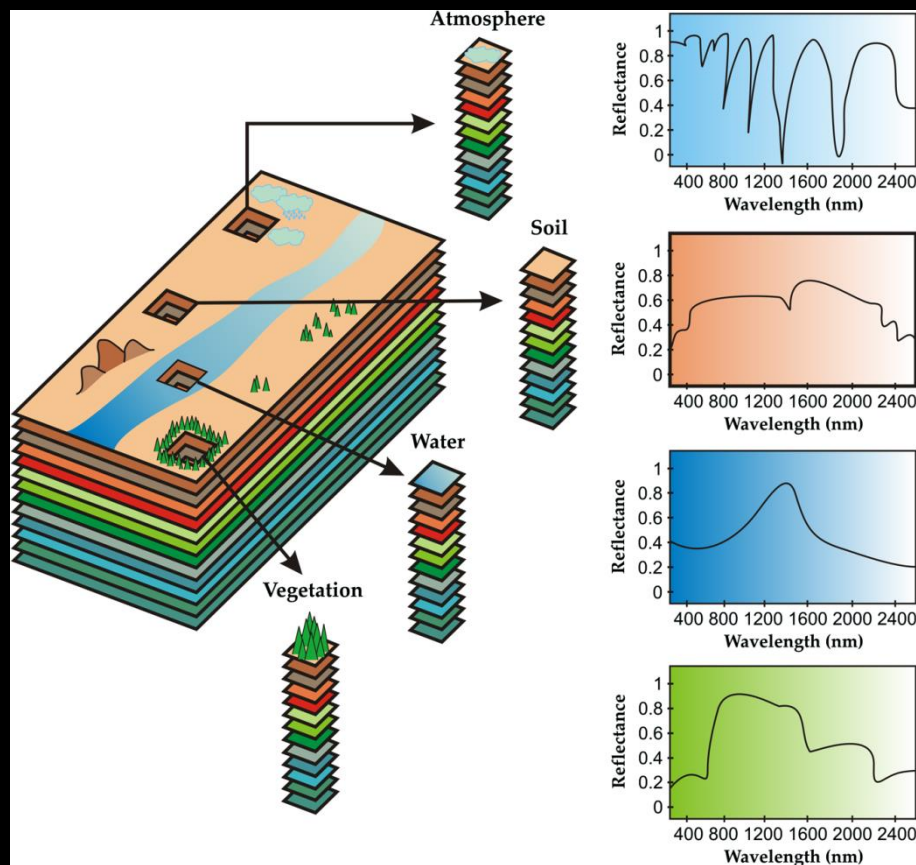


Identification d'espèces d'arbres

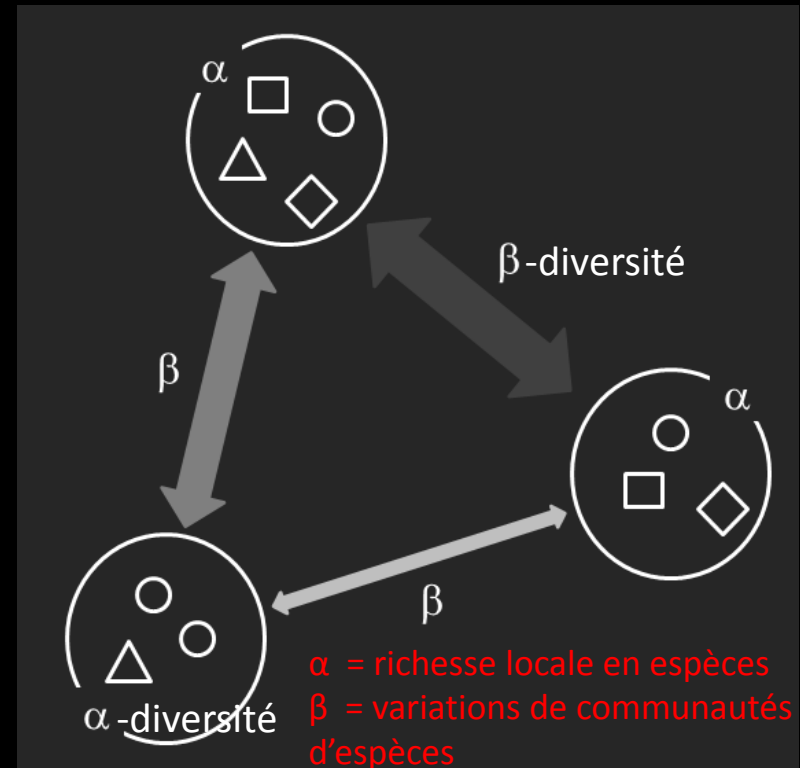


# Principe et utilisation de la mesure hyperspectrale

Mesure de réflectance sur un grand nombre de bande spectrales contigües (VIS/NIR/SWIR)  
→ Nombreuses applications (identification d'espèces, estimation de chimie foliaire)

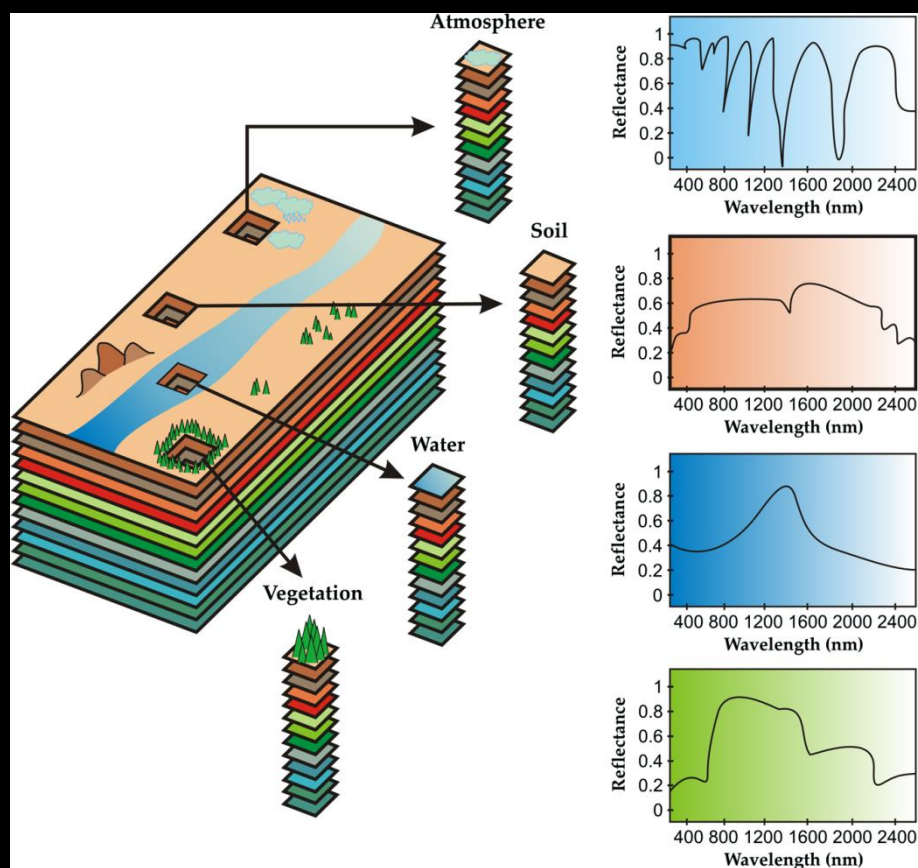


## Cartographie de la biodiversité

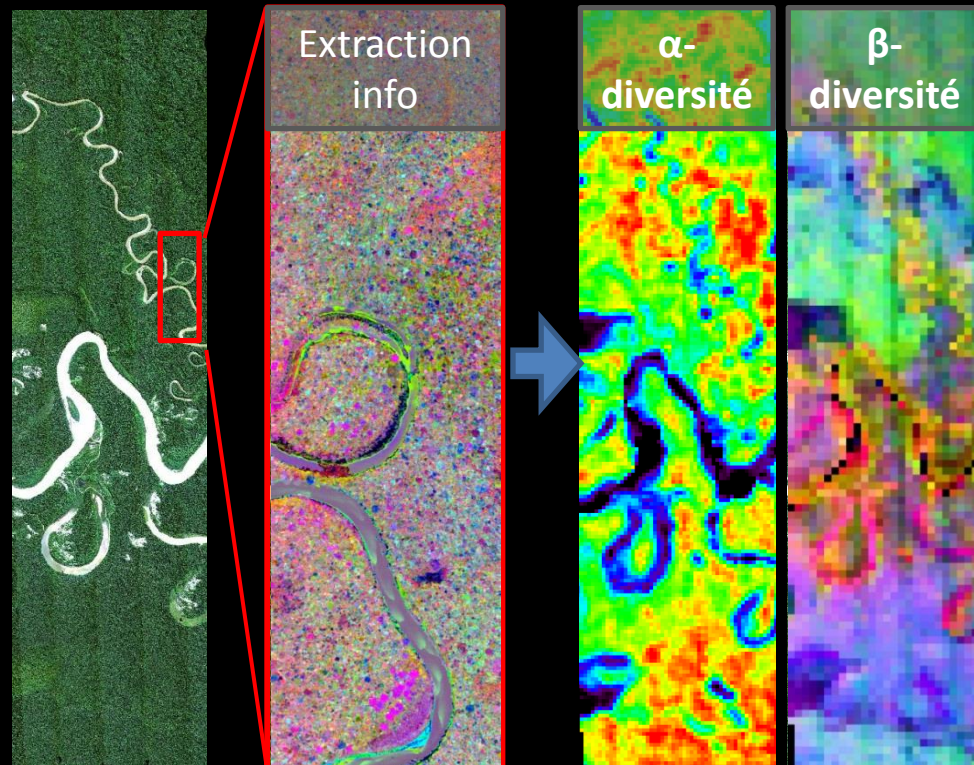


# Principe et utilisation de la mesure hyperspectrale

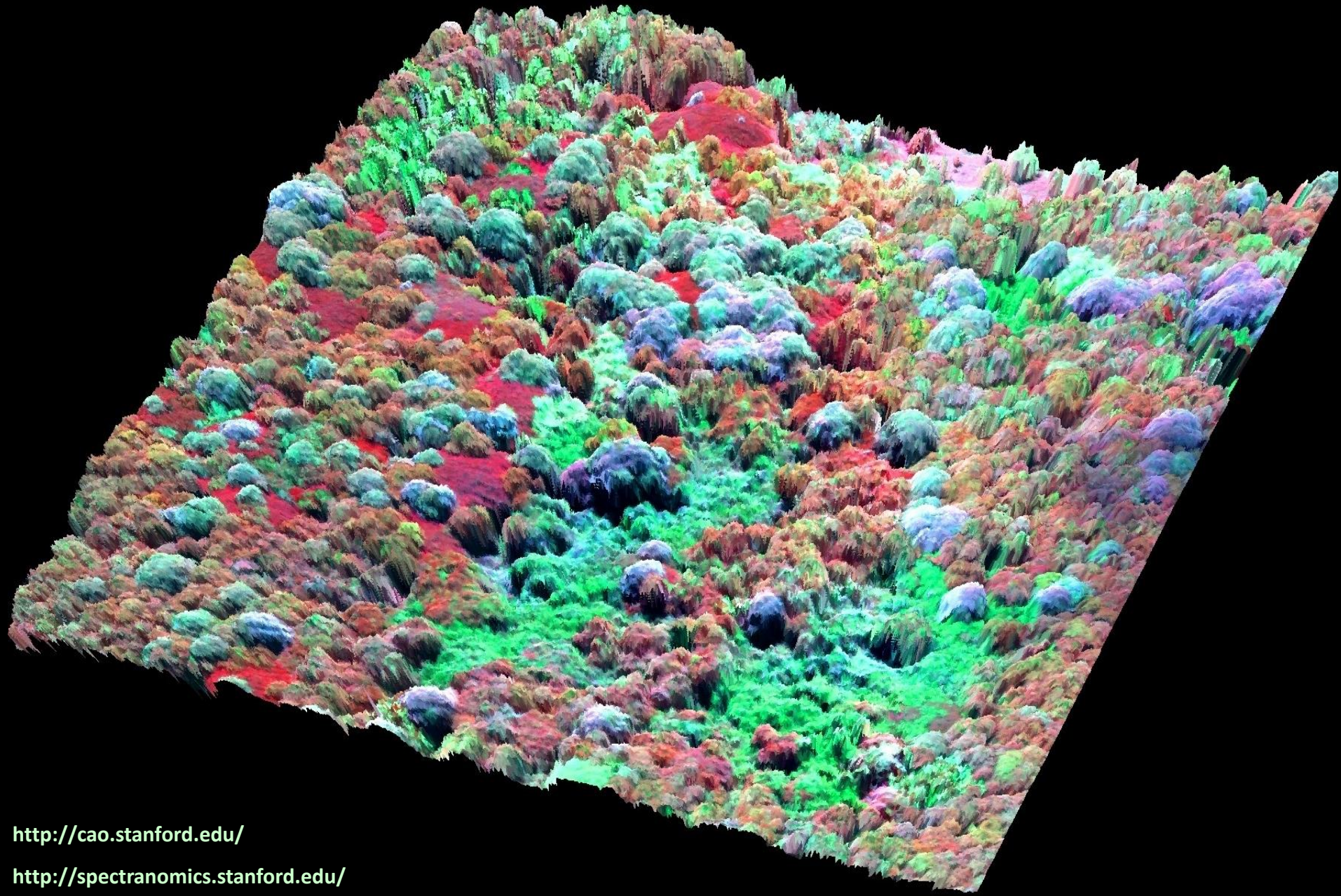
Mesure de réflectance sur un grand nombre de bande spectrales contigües (VIS/NIR/SWIR)  
→ Nombreuses applications (identification d'espèces, estimation de chimie foliaire)



## Cartographie de la biodiversité



# Apport de l'information 3D pour l'écologie



<http://cao.stanford.edu/>

<http://spectranomics.stanford.edu/>

# Introduction : Contexte

L'information sur la structure 3D de la végétation (hauteur, densité,...) informe sur :

- les processus écologiques naturels : trouées, dynamique de mortalité/régénération, de dégradation, d'ouverture/fermeture des milieux, ...
- l'impact de facteurs climatiques / environnementaux / humains sur la forêt et les écosystèmes naturels en général

Exploitation of natural resources



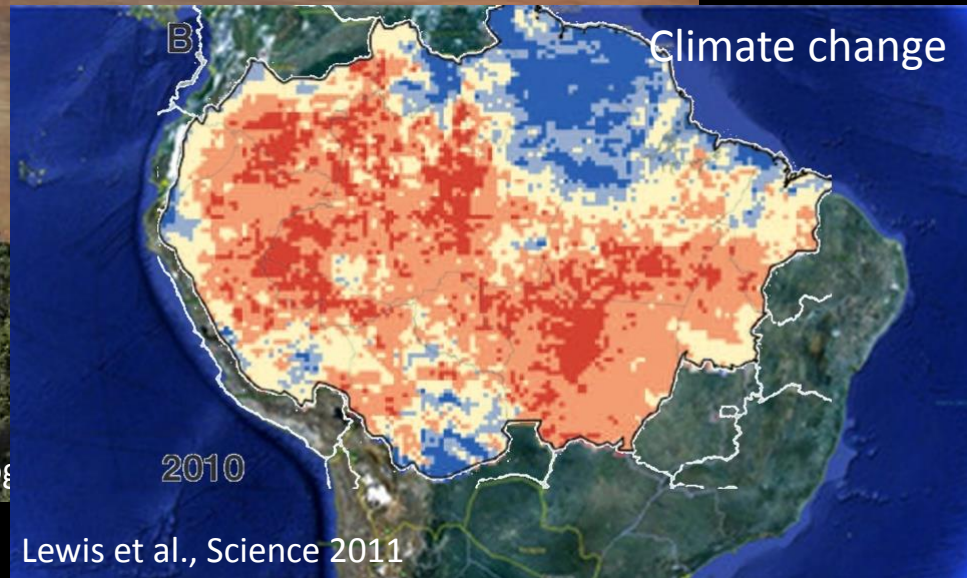
Google Earth

Land use change



<http://green.blog>

Climate change



# Déroulement de la présentation

## I. Introduction

## II. Applications

- a. Identification des espèces d'arbre
- b. Cartographie de la biomasse
- c. Etude des facteurs environnementaux influençant la biodiversité

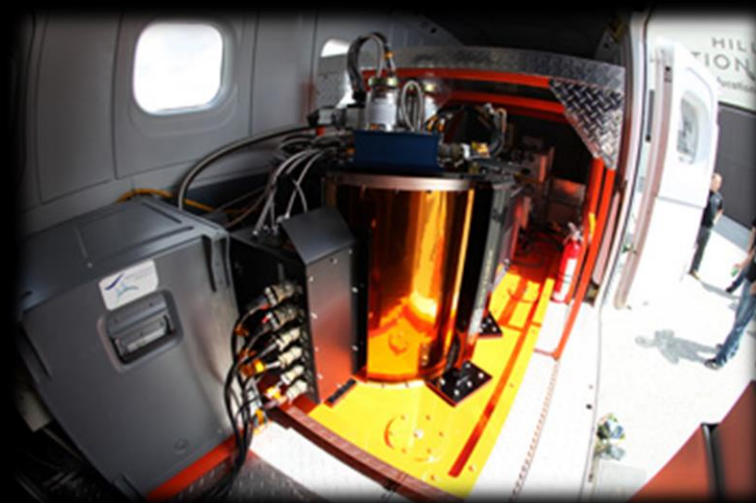
## III. Structure 3D et modélisation : préparation des futures missions spatiales

## IV. Conclusion et perspectives





**AToMS**  
**(Airborne Taxonomic Mapping System)**



*Carbon mapping*  
*Canopy chemistry*  
*Species identification*  
*Canopy structure*  
*...*



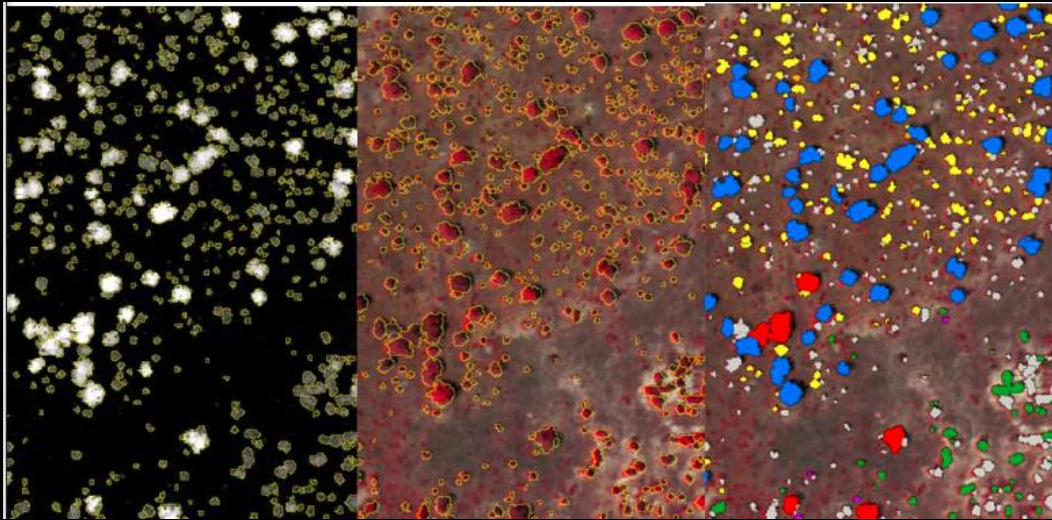
# a. Identification des espèces d'arbres

## 1. Espèces de Savane (parc Kruger, Afrique du Sud)

LiDAR

Hyperspectral

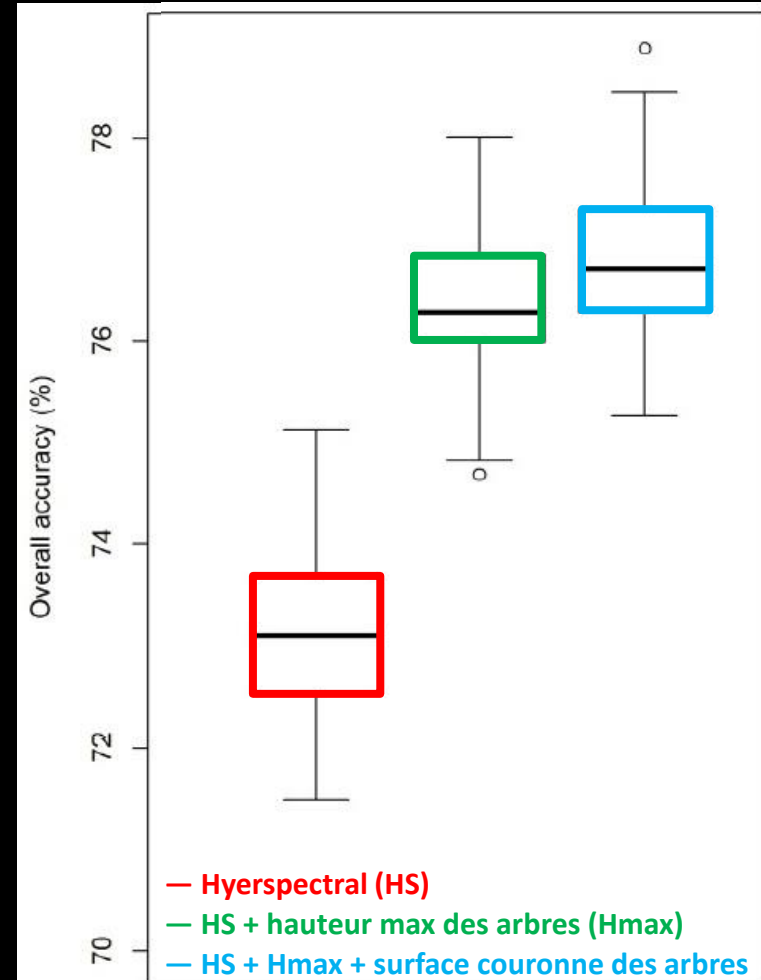
Classification



-Délimitation individuelle des couronnes permise par les données LiDAR

→ Analyse orientée objet

- Amélioration modérée des performances de la classification sur l'ensemble des espèces



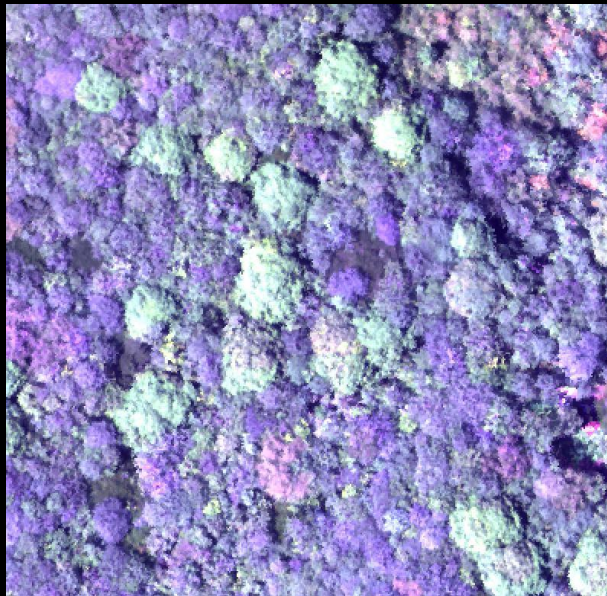
Colgan et al., 2012. *Remote Sensing*.

L'étude des données LiDAR (combine éventuellement à des dispositifs GPS) permet aussi d'étudier les interactions entre faune et flore

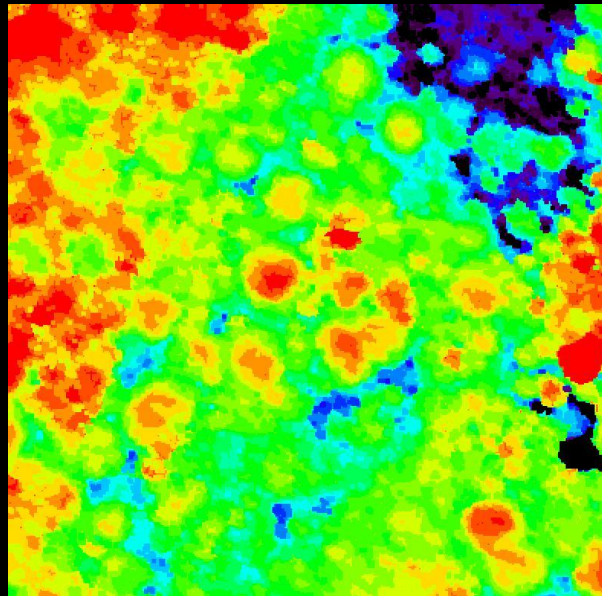
# a. Identification des espèces d'arbres

## 2. Espèces tropicales (Laupahoehoe, Hawaii USA)

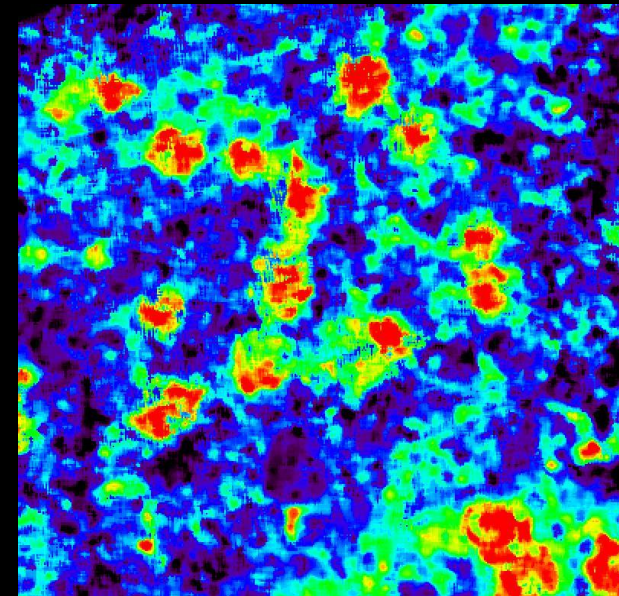
**Hyperspectral**



**Hauteur d'arbres (LiDAR)**



**Intensité de retour (LiDAR)**

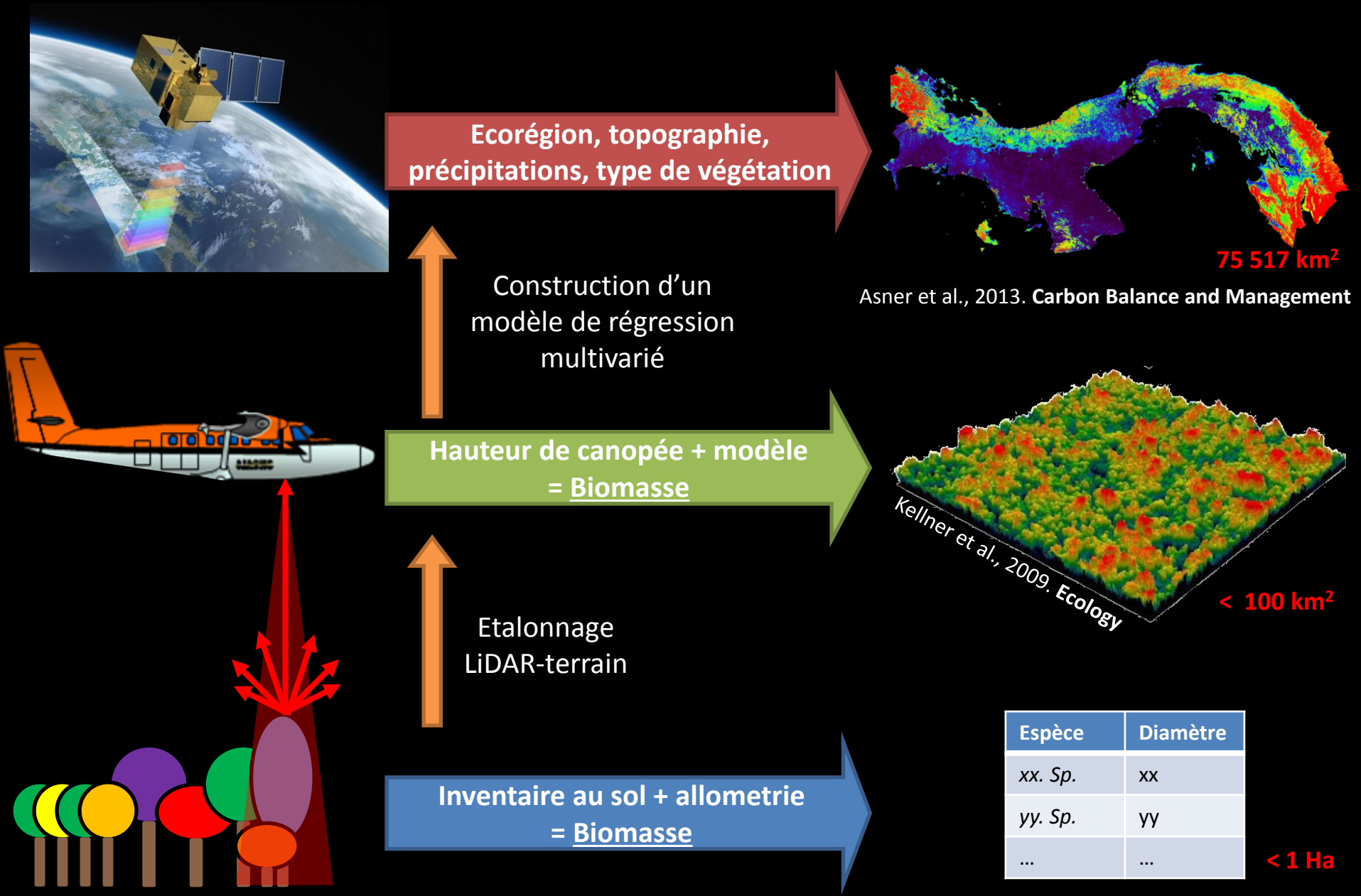


Féret & Asner, 2012

### → Structure très complexe de la végétation

- Délimitation individuelle des couronnes difficile même avec les données LiDAR
- Amélioration modérée des performances de la classification sur l'ensemble des espèces
- Intensité aide à identifier certaines espèces (densité / taille / angle foliaire + prop. Opt.)
- Complémentarité entre données optiques passives et LiDAR

## b. Cartographie de la biomasse de surface



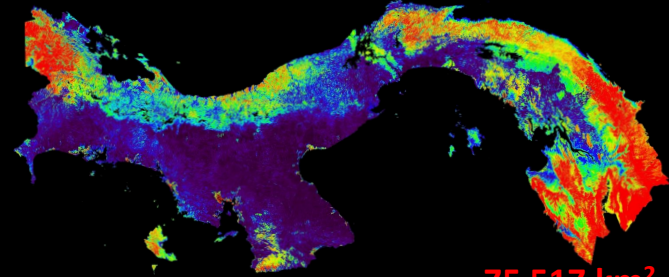
Ecorégion, topographie,  
précipitations, type de végétation

Construction d'un  
modèle de régression  
multivarié

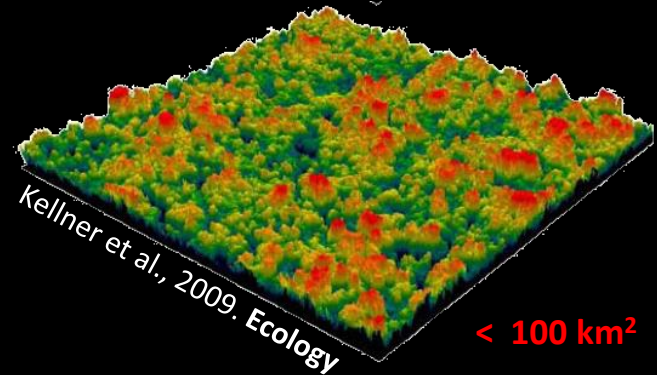
Hauteur de canopée + modèle  
= Biomasse

Etalonnage  
LiDAR-terrain

Inventaire au sol + allometrie  
= Biomasse



Asner et al., 2013. *Carbon Balance and Management*

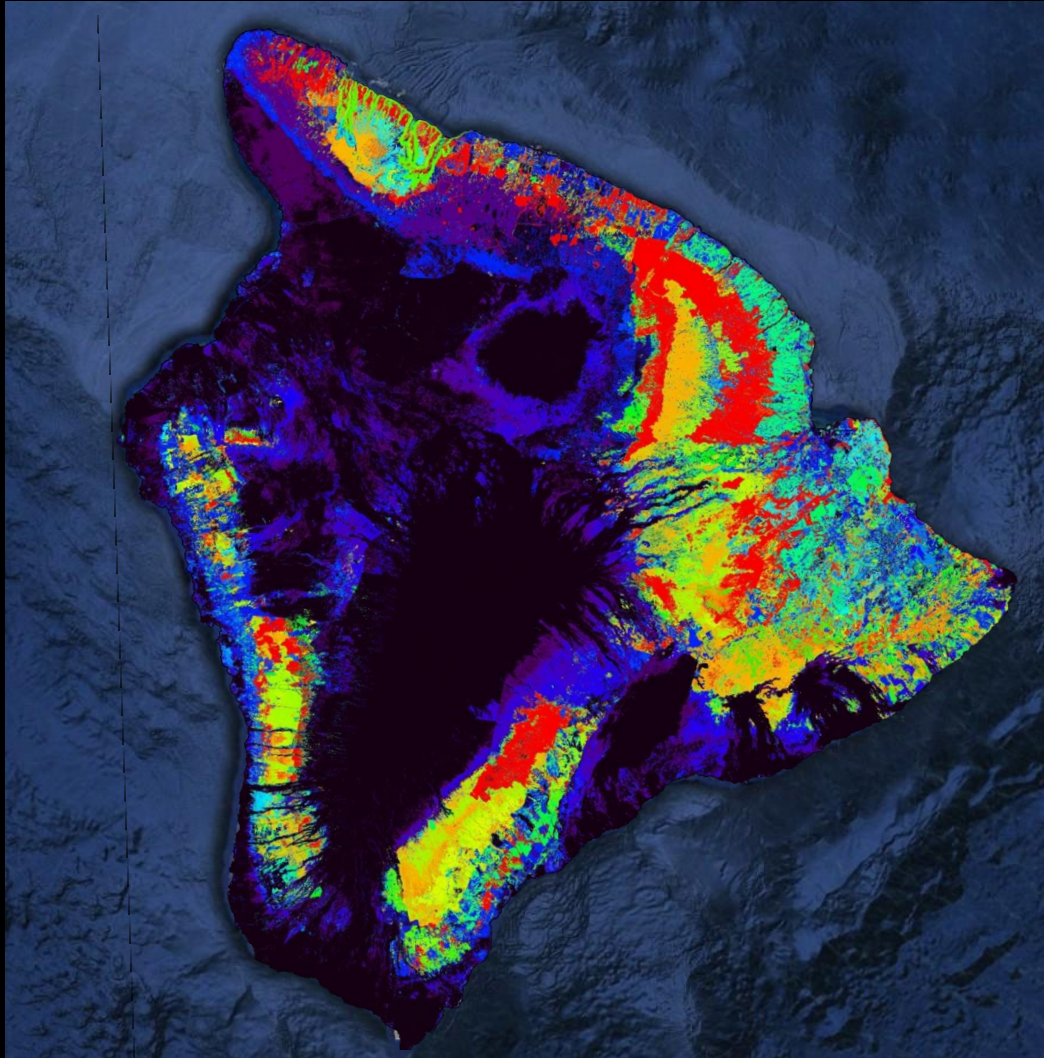


Kellner et al., 2009. *Ecology*

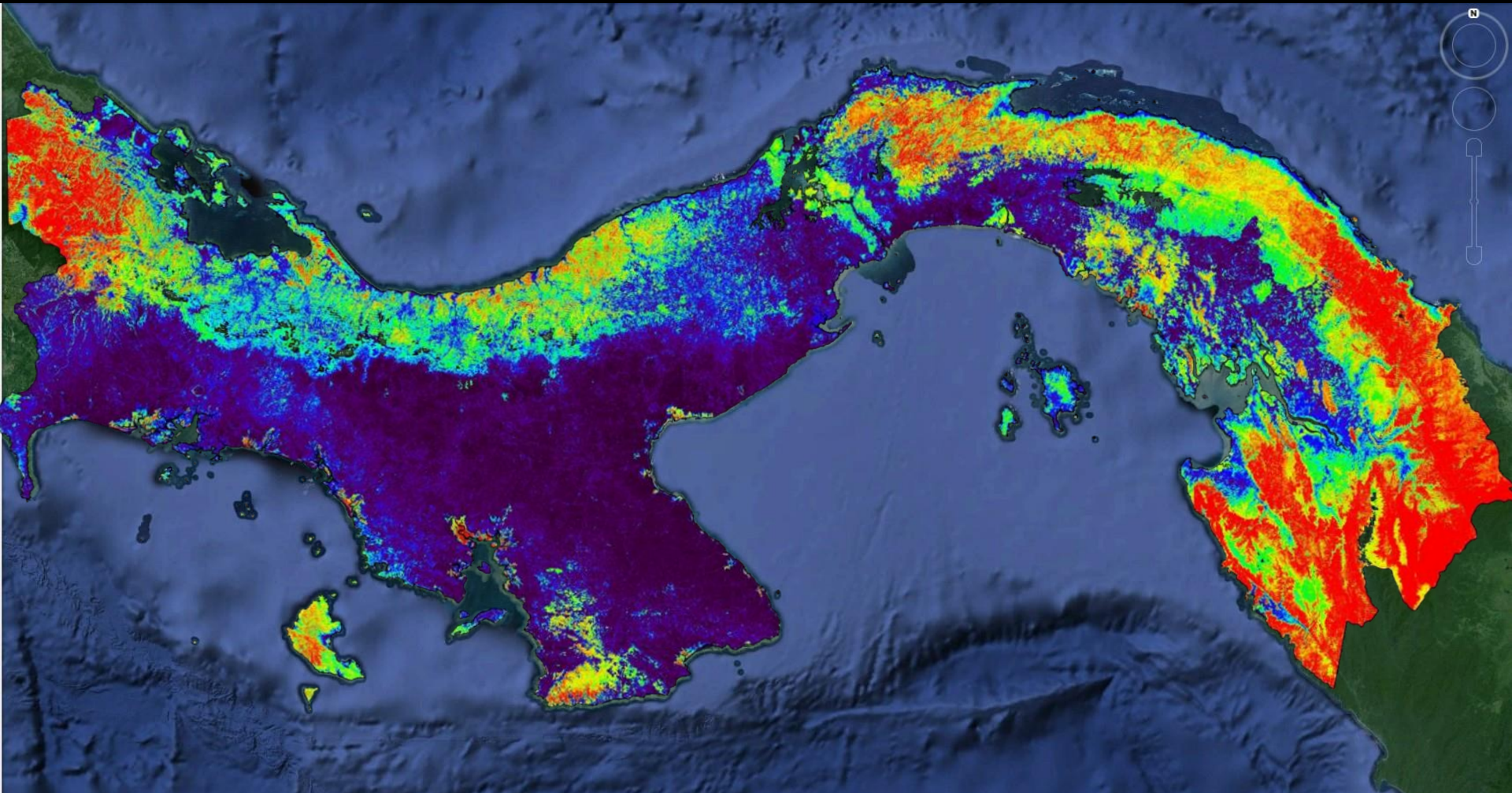
Espèce	Diamètre
xx. Sp.	xx
yy. Sp.	yy
...	...

**< 1 Ha**

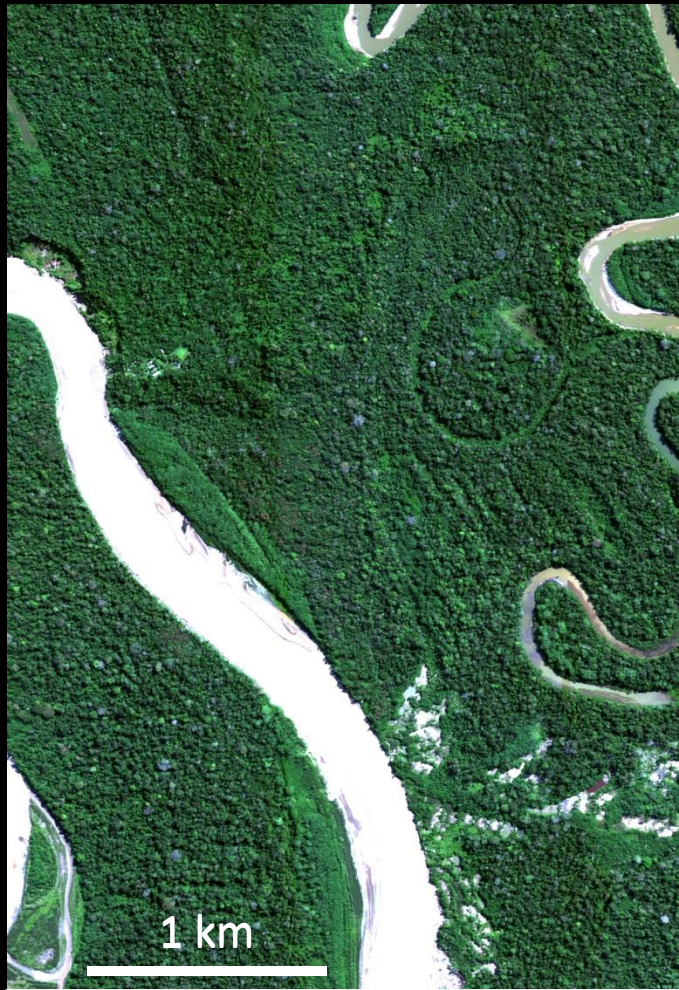
## b. Cartographie de la biomasse de surface, Hawaii



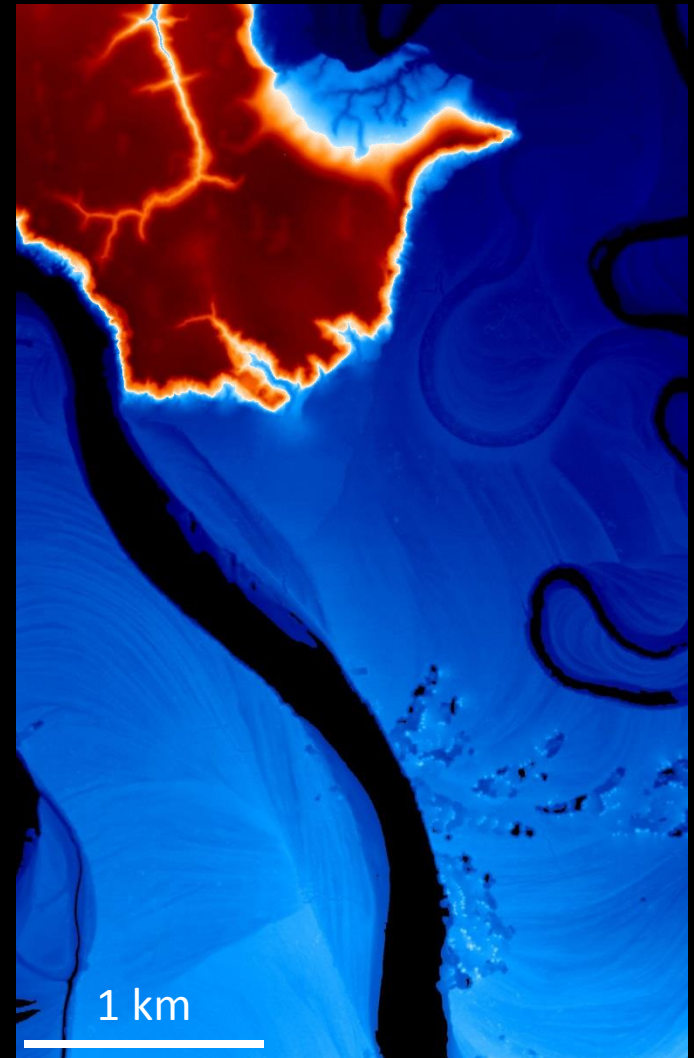
## b. Cartographie de la biomasse de surface, Panama



## c. Facteurs environnementaux et biodiversité

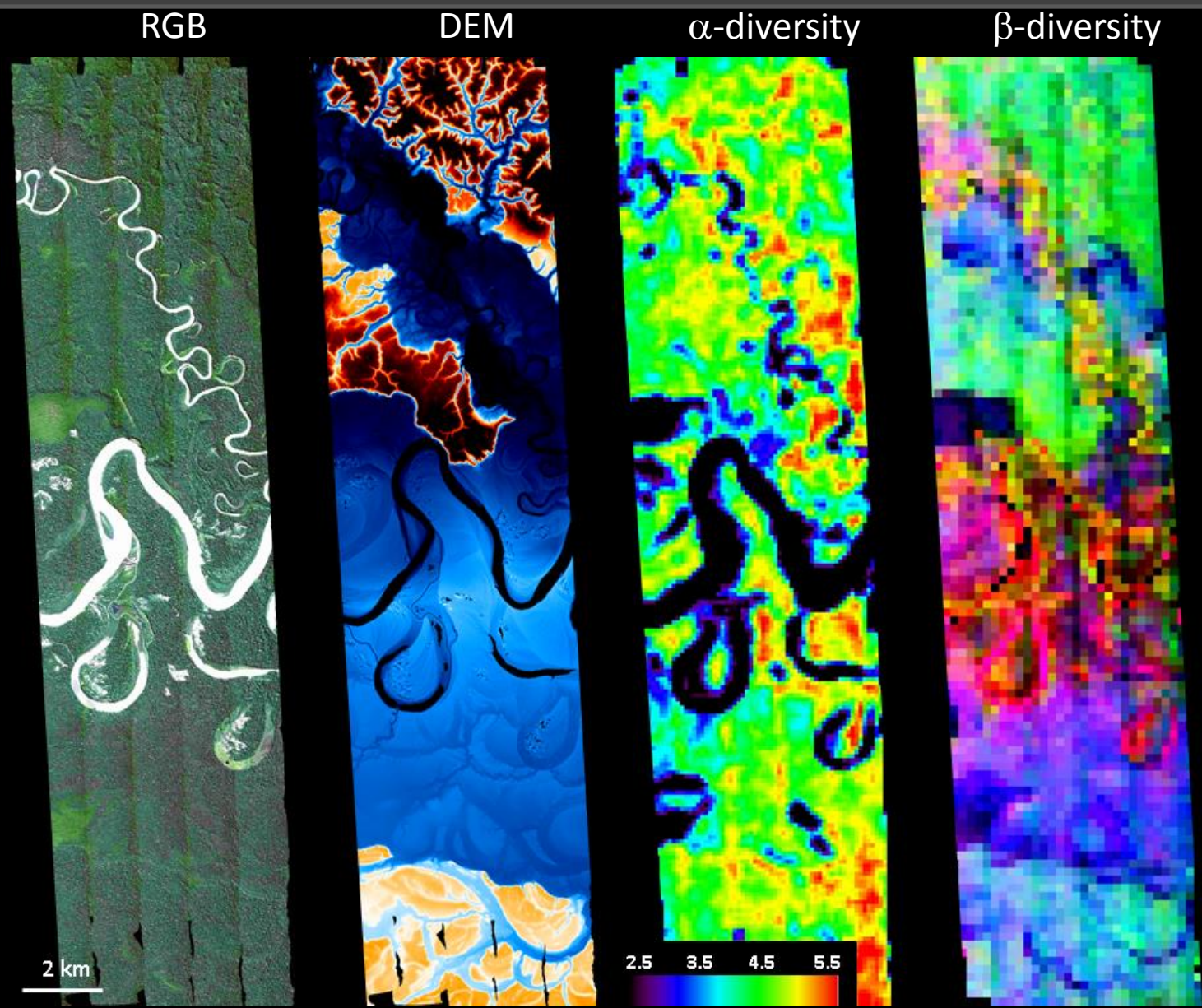


**Spectroscopic imagery**  
1 pixel = 2 m  
214 spectral bands VSWIR



**DEM derived from LiDAR**  
Red: terraces, blue: floodplains

# c. Facteurs environnementaux et biodiversité





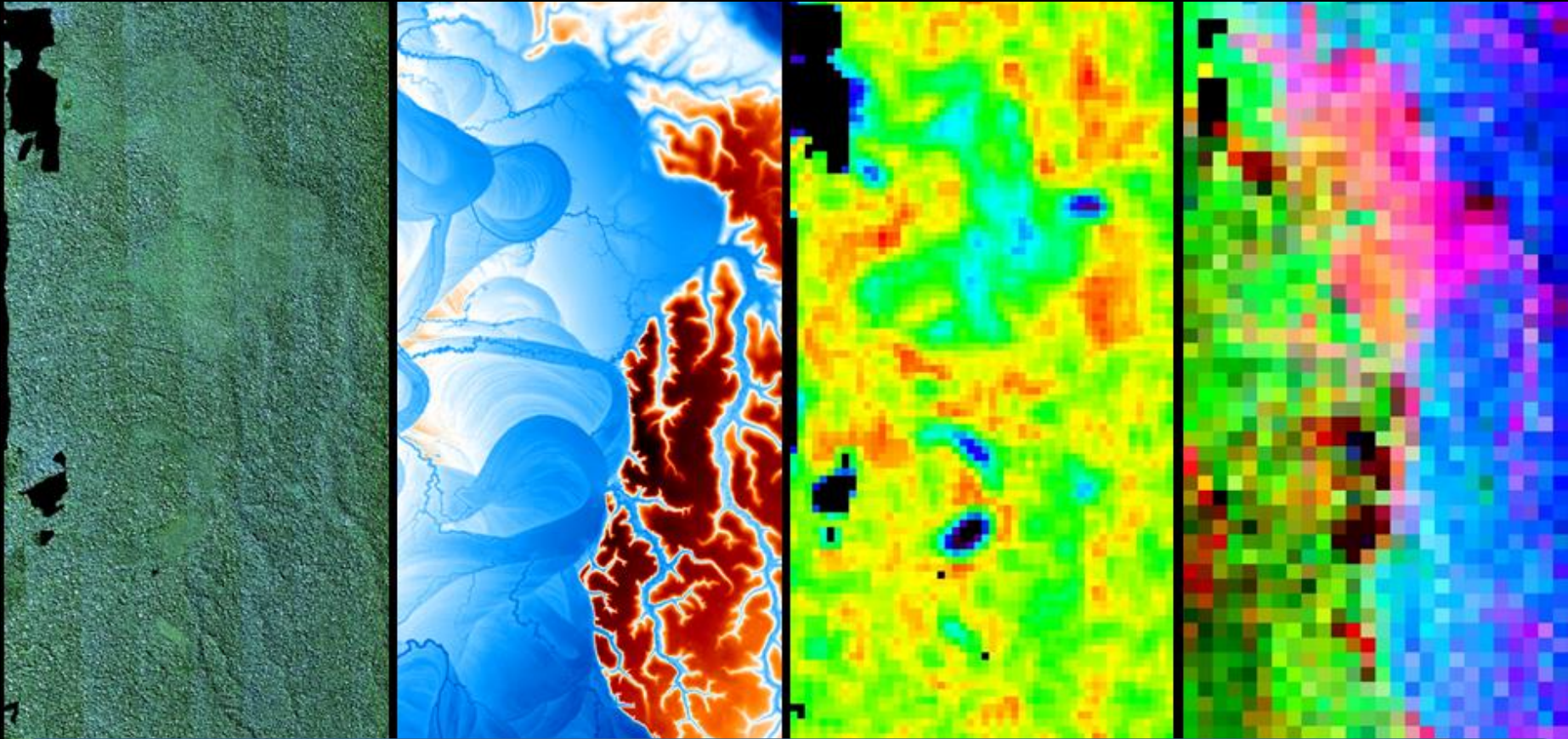
## c. Facteurs environnementaux et biodiversité

RGB

DEM

$\alpha$ -diversity

$\beta$ -diversity



Distribution spatiale de la biodiversité mise en relation avec un ensemble de variables dérivées plus ou moins directement du modèle de terrain:

- Topographie: pente, convexité, orientation
- Hydrologie
- Contexte pédologique / géologique

Féret & Asner, 2014. *Ecological Applications*

Details about the site: Asner & Martin, 2011 (*New Phytol.*)

PREV



# Déroulement de la présentation

I. Introduction

II. Applications

**III. Structure 3D et modélisation : préparation des futures missions spatiales**

- a. Défis à relever pour les prochaines missions spatiales
- b. Modélisation 3D du transfert radiatif

IV. Conclusion et perspectives

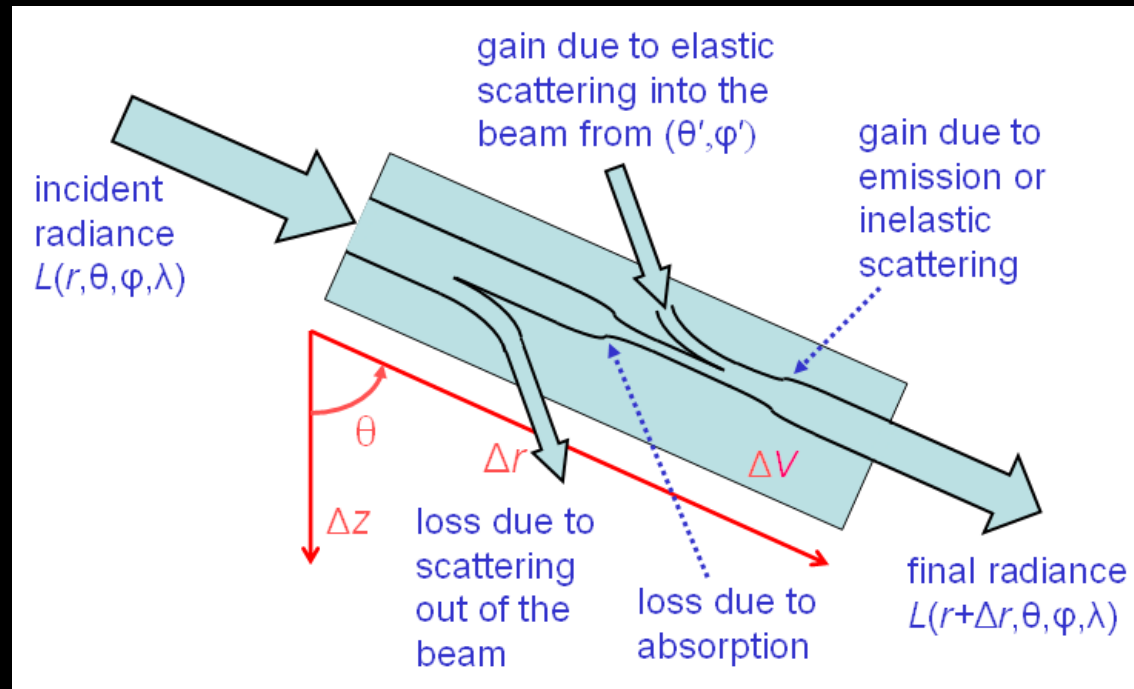
## a. Défis à relever pour les prochaines missions spatiales

- Le signal mesuré par un satellite permet-il de cartographier la biodiversité tropicale avec les mêmes méthodes ?
- Quelles sont les conditions limites ?
  - Atmosphère
  - Prise de vue (angle solaire, angle de visée)
  - Caractéristiques capteur (résolution spatiale, spectrale,...)
- Comment améliorer l'interprétation physique du signal réfléchi par des milieux extrêmement complexes :
  - Structure 3D
  - Chimie foliaire
  - ...

## b. Modélisation 3D du transfert radiatif

### Le transfert radiatif, qu'est ce que c'est?

Interactions entre un rayonnement lumineux et la matière. Phénomènes physiques de réflexion, d'émission, d'absorption et de diffusion. En résulte une variation d'intensité du rayonnement selon une direction de propagation donnée.



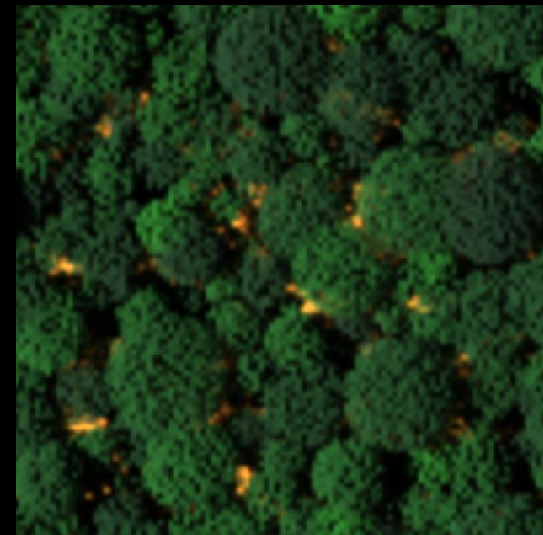
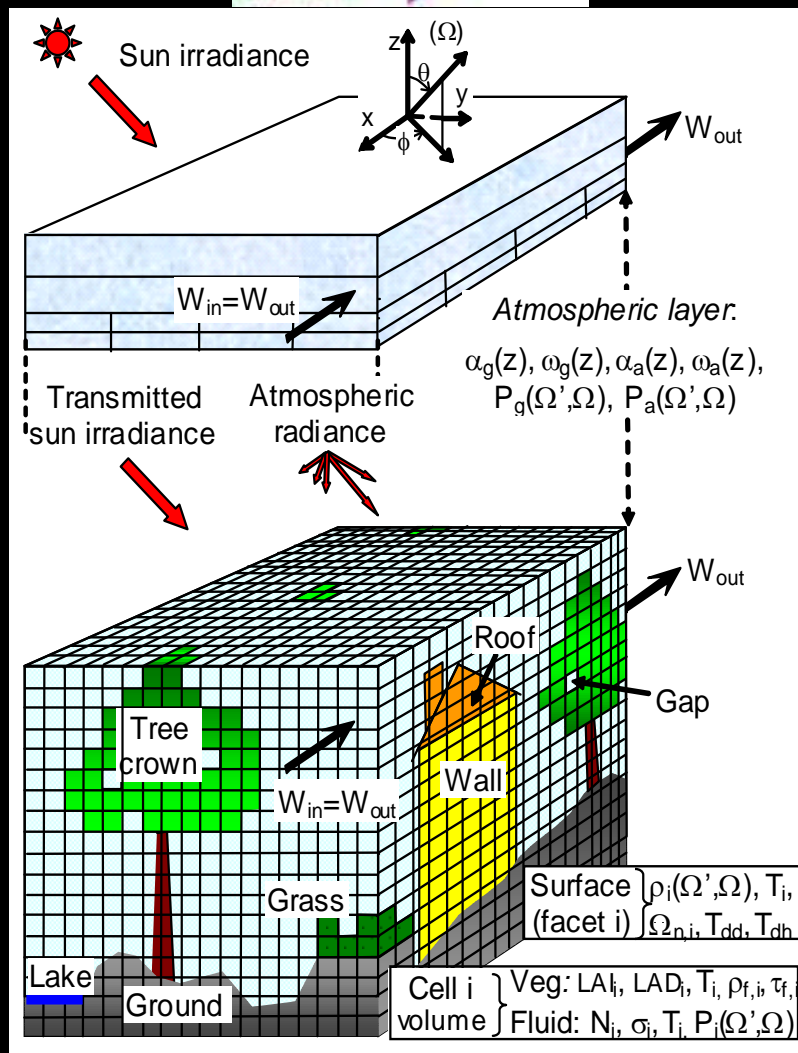
<http://www.oceanopticsbook.info>

### ... Et la modélisation du transfert radiatif?

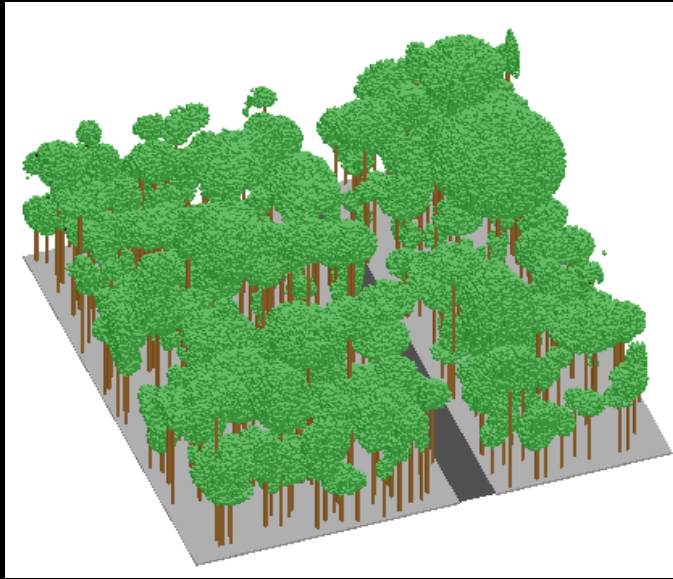
Mise en équations mathématiques de ces phénomènes physiques, décrits plus ou moins finement depuis l'échelle microscopique jusqu'à l'échelle macroscopique

# b. Modélisation 3D du transfert radiatif

Atm  
sol



## b. Modélisation 3D du transfert radiatif



Maquette



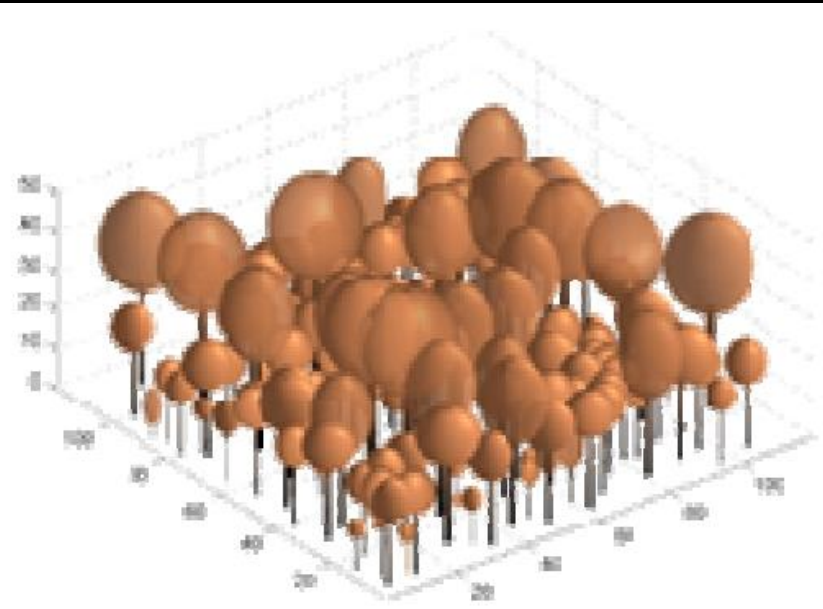
Simulation

### **Apport de la modélisation 3D pour l'étude de la biodiversité tropicale**

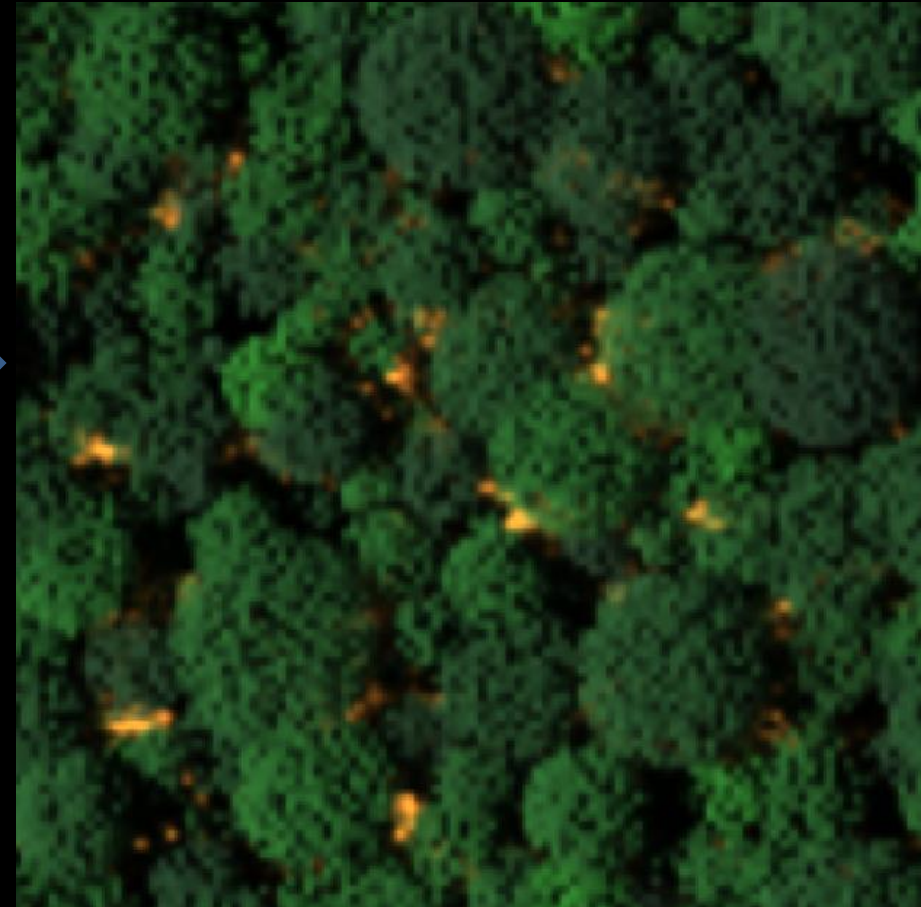
- Mieux comprendre la mesure issue des interactions végétation / rayonnement
- Améliorer les méthodes d'analyse
- Tester les conditions limites des méthodes d'analyse
- Tester la robustesse aux conditions expérimentales (direction du soleil, relief, atmosphère, biodiversité)
- Tester la robustesse aux conditions instrumentales (résolution spatiale, spectrale, direction de visée)

## b. Modélisation 3D du transfert radiatif

**Maquette 3D DART**



**Simulation satellite**



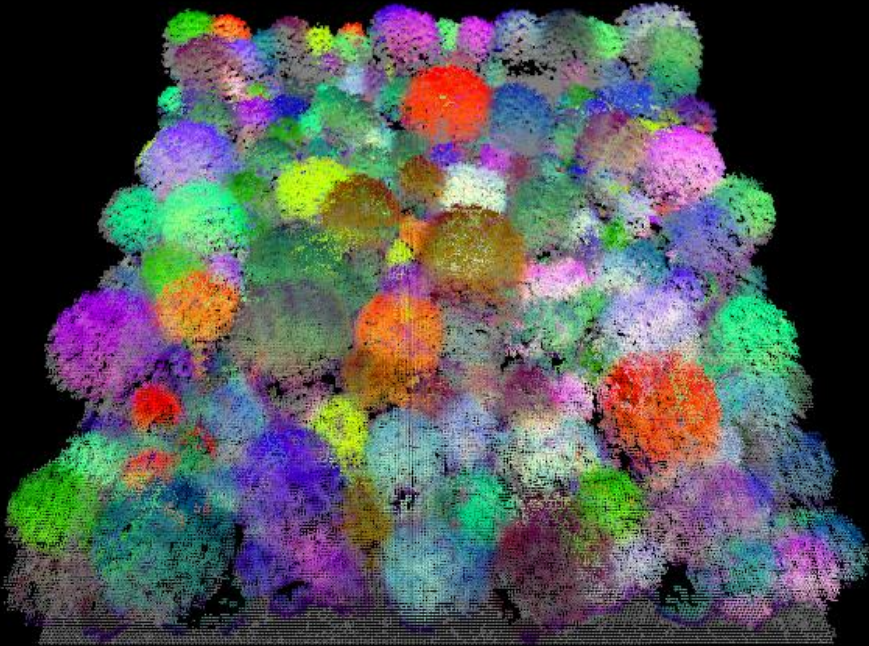
**+ simulation de vol au dessus d'une forêt**

Tiangang Yin, *communication personnelle*



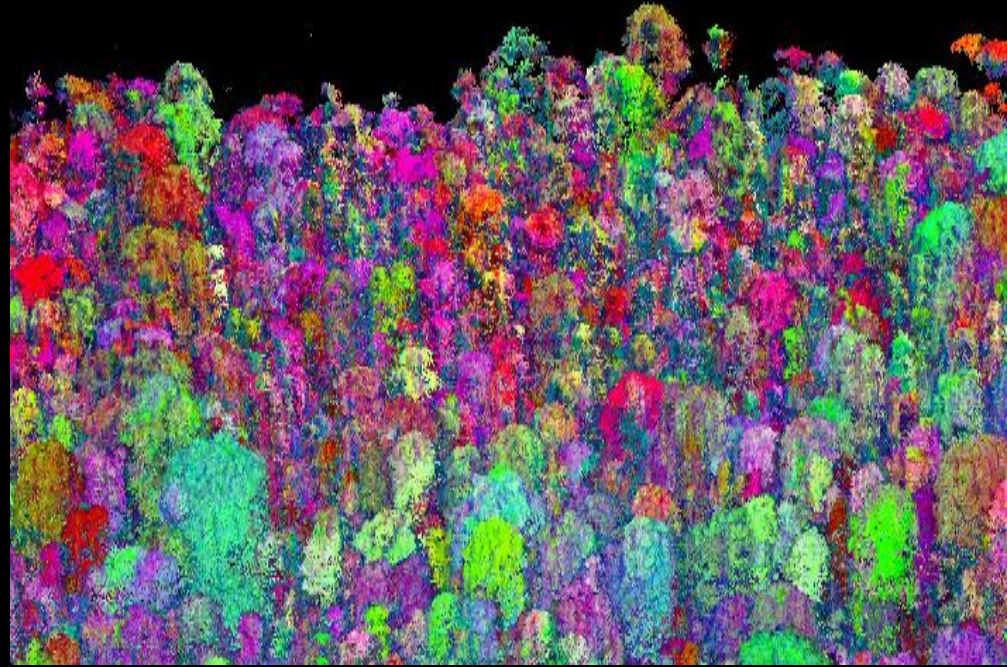
## b. Modélisation 3D du transfert radiatif

Sortie DART  
Hyperspectral + LiDAR



[http://www.cesbio.ups-tlse.fr/us/dart/dart\\_model.html](http://www.cesbio.ups-tlse.fr/us/dart/dart_model.html)

Fusion données CAO  
Hyperspectral + LiDAR



<http://cao.stanford.edu/>

**Validation de la précision des images simulées :  
Intégration d'acquisitions LiDAR lors de la création de maquette 3D**

# Déroulement de la présentation

**I. Introduction**

**II. Applications**

**III. Structure 3D et modélisation : préparation des futures missions spatiales**

**IV. Conclusion et perspectives**

# Apport de l'information 3D pour l'écologie

- Information sur canopée
  - Détection de trouées (déforestation / régénération)
  - Estimation de la biomasse de surface
  - Amélioration de la classification
- Information sur la topographie
  - Contexte physique (orientation, pente, convexité,...)
  - Contexte hydrologique
- La complexité de la structure 3D des forêts tropicales influence le signal mesuré par les satellites : sa prise en compte est essentielle pour le développement de méthodes d'observation plus performantes.

# Remerciements

## Centre d'Etudes spatiales de la BIOSphere

Equipe de développement DART : Jean-Philippe Gastellu-Etchegorry, Nicolas Lauret, Tristan Grégoire, Thomas Cajgfinger, Jordan Guilleux

## Centre National d'Etudes Spatiales / TOSCA

Merci pour le financement !

## Carnegie Institution for Science

Field coordinators and workers : Felipe Sinca Cansino, Raul Tupayachi and their team

Carnegie Airborne Observatory's flight crew and scientific team : Greg Asner, Chris Anderson, Claire Baldeck, Mark Higgins, Ty Kennedy Bowdoin, Dave Knapp, Katie Kryston, Robin Martin, Elif Tasar & the pilots

The Carnegie Airborne Observatory is made possible by the Avatar Alliance Foundation, Grantham Foundation for the Protection of the Environment, Gordon and Betty Moore Foundation, the John D. and Catherine T. MacArthur Foundation, W. M. Keck Foundation, the Margaret A. Cargill Foundation, Mary Anne Nyburg Baker and G. Leonard Baker Jr., and William R. Hearst III.