

## Biomasse forestière et changement de couverture forestière



Thuy Le Toan

Stephane Mermoz, Alexandre Bouvet, Marie Ballère,  
Milena Planells, Ludovic Villard, Thierry Koleck

*CESBIO (CNRS, CNES, Université Toulouse 3, IRD, INRAE)  
Toulouse, France*



# Enjeux des forêts

1. Rôle **socio-économique** clé : production de bois (bois d'oeuvre, bois d'énergie, cellulose pour le papier..), services écologiques et écosystémiques
2. Principal réservoir de la **diversité biologique** végétale et animale
3. Maintien des grands équilibres globaux:
  - Les forêts stockent plus de la moitié du **carbone** des terres émergées et jouent un rôle déterminant dans la régulation du CO2 atmosphérique.
  - Les forêts interviennent dans **cycle de l'eau** et qualité de l'eau

Rôle majeur de la forêt menacé par le changement climatique et activités humaines:

- incendie, tempête, attaque phytosanitaire
- déforestation, dégradation, exploitation

**Très fort enjeu au niveau international sur la conservation, l'adaptation et la gestion durable des forêts, et à l'atténuation et la réduction des émissions de CO2**

# La Forêt est l'Objectif de Développement Durable N° 15



## LIFE ON LAND: WHY IT MATTERS

### What's the goal here?

To sustainably manage forests, combat desertification, halt and reverse land degradation, and halt biodiversity loss.

### Why?

Forests cover nearly 31 per cent of our planet's land area. From the air we breathe, to the water we drink, to the food we eat—forests sustain us.

Think about it. Around 1.6 billion people depend on

forests for their livelihood.

Almost 75 per cent of the world's poor are affected directly by land degradation. Did you know that forests are home to more than 80 per cent of all terrestrial species of animals, plants and insects? And of the 8,300 animal breeds known, 8 per cent are extinct and 22 per cent are at risk of extinction.

Biodiversity and the ecosystem services it underpins can also be the basis for climate change

Around  
**1.6 billion**  
people depend  
on **forests**  
for their  
livelihood.

*Besoin pressante de  
l'information sur la forêt  
pour la gestion des ressources,  
combattre la désertification,  
freiner ou inverser la dégradation,  
freiner la perte de biodiversité*

# **Les produits de télédétection**

- **Les produits :Tree cover, Tree cover change**
- **Les produits biomasse à 1 km et 500m**

Les pays qui ne possèdent pas de données d'inventaire forestier suffisantes utilisent ces résultats pour leur MRV .

Exemple de: l’Ethiopie, Guyana, Kenya...

### LÉGENDE

### ANALYSE

Disputed Political  
Boundaries

Gain de couvert arboré  
- 2001-2012

Gain de couvert arboré

Perte de la couverture  
arborée - 2001-2019

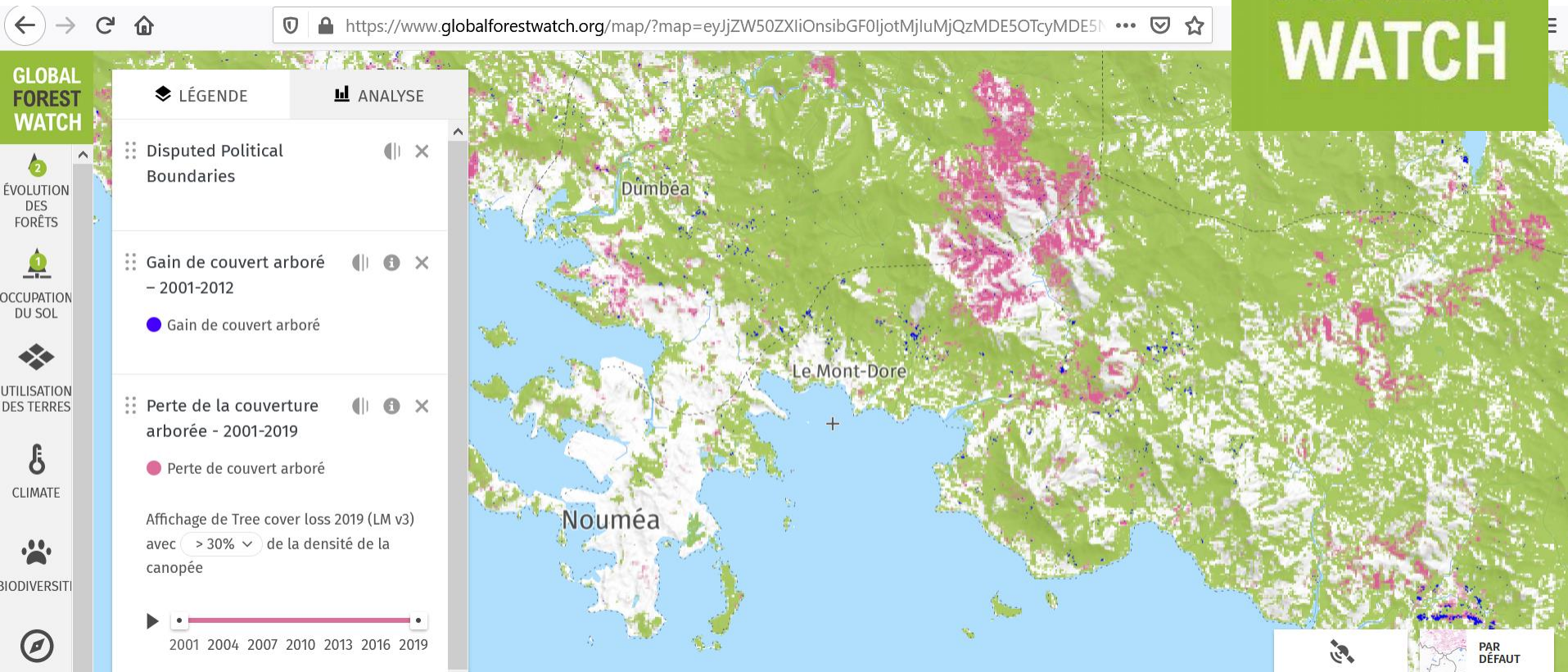
Perte de couvert arboré

Affichage de Tree cover loss 2019 (LM v3)  
avec  de la densité de la  
canopée

2001 2004 2007 2010 2013 2016 2019

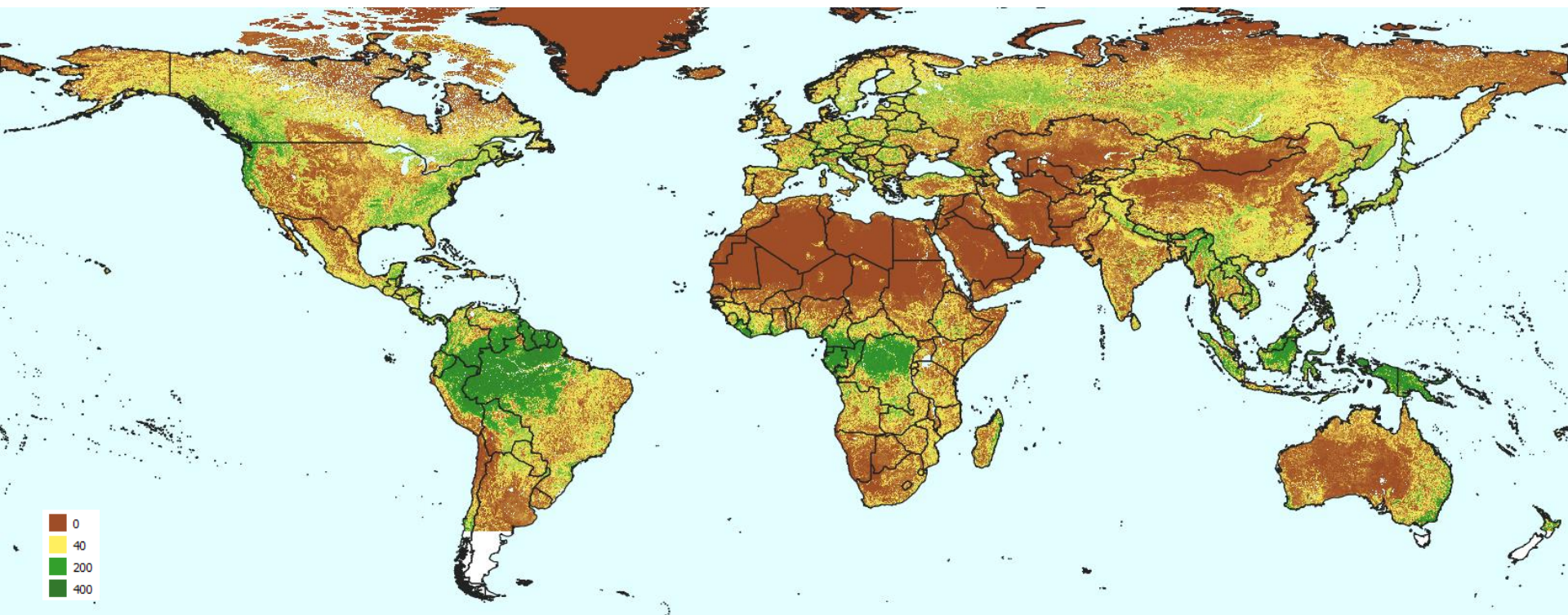






# Produit Biomass à l'échelle globale

CCI+ Biomass 2017 at 100 m





# En même temps, des travaux de recherche s'activent pour exploiter les données de satellites de plus en plus accessibles

*Focus sur les données globales et d'accès libre*

| Satellite         | Caractéristiques           | Cycle                                         | Couverture                                 | Distribution                     | Traitements à faire                              |
|-------------------|----------------------------|-----------------------------------------------|--------------------------------------------|----------------------------------|--------------------------------------------------|
| SPOT6/7<br>CNES   | VIS-NIR<br>1.5-6m          | Annuel<br>(mosaïques)<br>2013- ?              | Accès libre sur la<br>France               | Géosud                           | /                                                |
| Sentinel-2<br>ESA | VIS-NIR-SWIR<br>10-20m     | / 5-10 jours<br>2016- ?                       | Monde                                      | ESA-Scihub<br>CNES-PEPS<br>THEIA | /                                                |
| Landsat-5/7       | VIS-NIR-SWIR<br>30m        | / 16 jours<br>2009-2011<br>2013- ?            | Monde                                      | NASA<br>Earthexplorer<br>THEIA   | /                                                |
| Sentinel-1<br>ESA | SAR C-band<br>VH-VV<br>10m | / 6-12 jours<br>2015- ?                       | Monde                                      | ESA-Scihub<br>CNES-PEPS<br>...   | Calibration et<br>filtrage (enlever le<br>bruit) |
| ALOS-1/2<br>JAXA  | SAR L-band<br>HV-HH<br>25m | Annuel<br>(mosaïques)<br>2007-2010<br>2015- ? | Monde                                      | JAXA                             | Calibration et<br>filtrage (enlever le<br>bruit) |
| BIOMASS           | SAR P-band<br>~50-100m     | Bi-annuel<br>2021-2026                        | (Monde)<br>Zones tropicales<br>et boréales | ESA                              | ?                                                |

# Objectif du CES Forêt au CESBIO

**1 | Développer des méthodes pour détecter et cartographier des changements dans la couverture forestière**

→ à partir de Sentinel-1

**2 | Fournir des cartes de biomasse**

→ à partir de données existantes: ALOS-PALSAR, Sentinel-1..  
( et préparation pour données futures: BIOMASS, NISAR..)

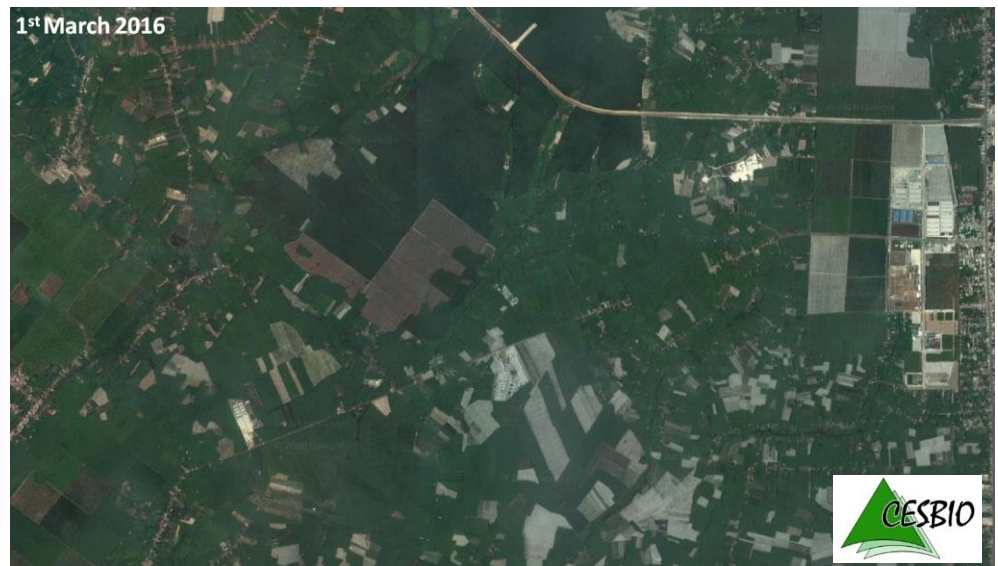


# Détection de changement de la couverture forestière avec Sentinel-1

- Développement de méthodes utilisant les séries temporelle de Sentinel-1
- Détection de changement tous les 12 jours (ou 6 jours) pour un produit mensuel de 10 ou 20 m de résolution
- Méthodes en cours de test sur plusieurs sites

## Pérennité des méthodes avec données SAR bande C

- Observations systématiques tout temps
- Cycle d'observation: 12 jrs, ou 6 jrs
- Données utilisées: IW, 10 m de résolution, HV et VV, orbites desc. et ascendante
- Outils de pré-traitement et Données prêtes à analyser disponibles
- Test sur DataCube

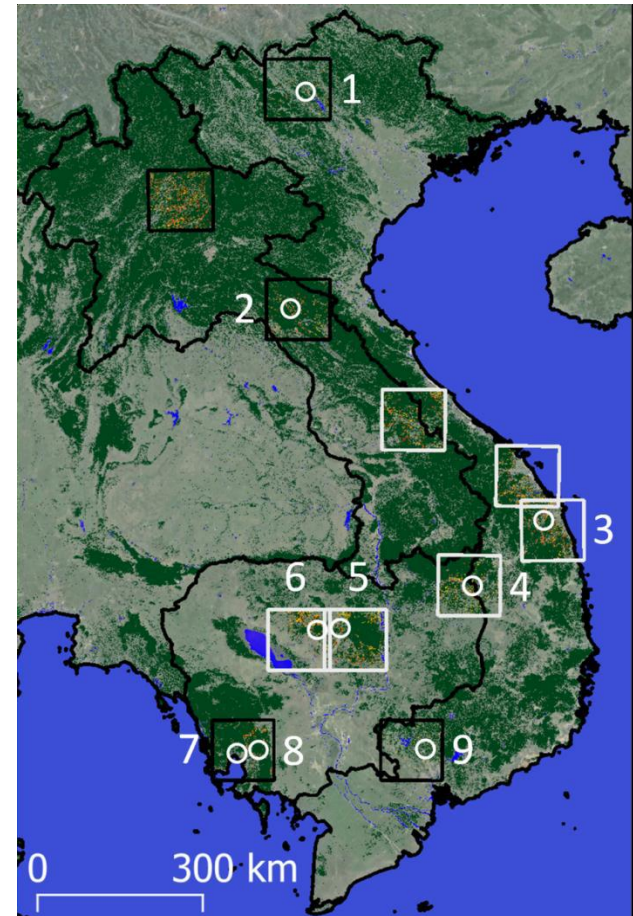
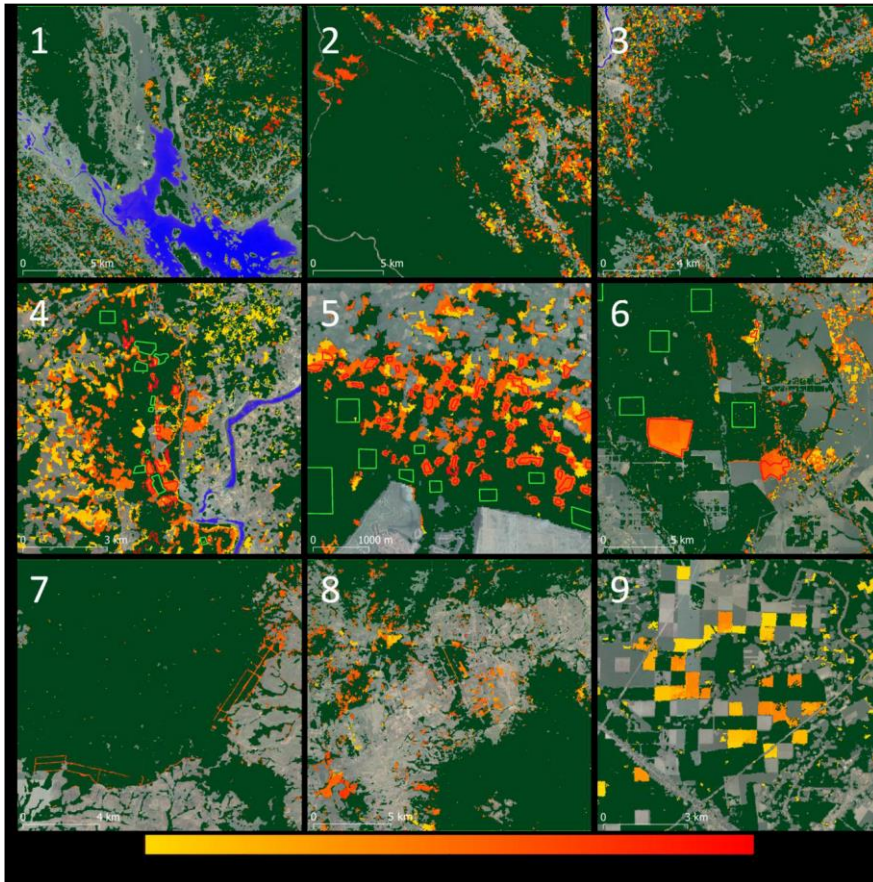


*Logging date for Rubber plantation (Vietnam)*



# Suivi de déforestation/exploitation forestière Vietnam, Cambodge, Laos 2020

S. Mermoz  
GlobEO- CESBIO



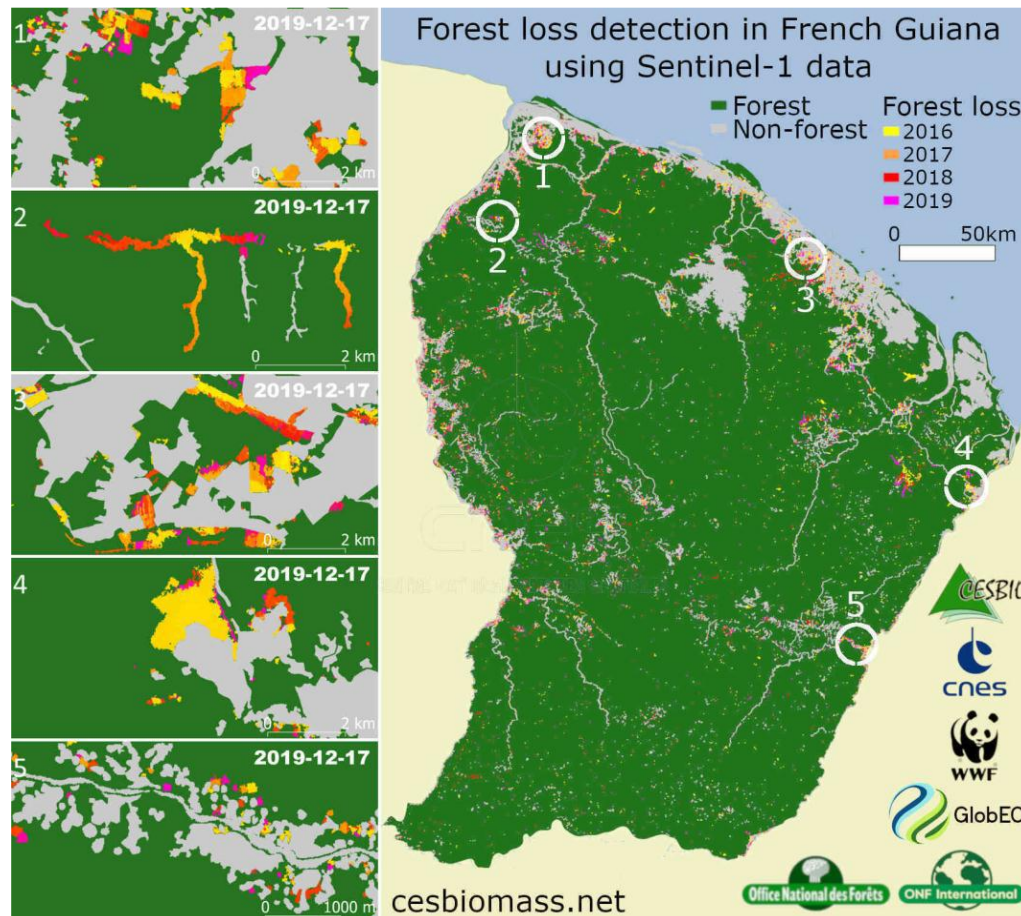


# Suivi de la couverture forestière en Guyane

SAR data for tropical forest disturbance alerts in French Guiana: benefit over optical imagery

Marie Ballère, Alexandre Bouvet, Stéphane Mermoz, Thuy Le Toan, Thierry Koleck, Caroline Bedeau, Mathilde André, Elodie Forestier, Pierre-Louis Frison, Cédric Lardeux

In press, RSE





Article

# Forest Disturbances and Regrowth Assessment Using ALOS PALSAR Data from 2007 to 2010 in Vietnam, Cambodia and Lao PDR

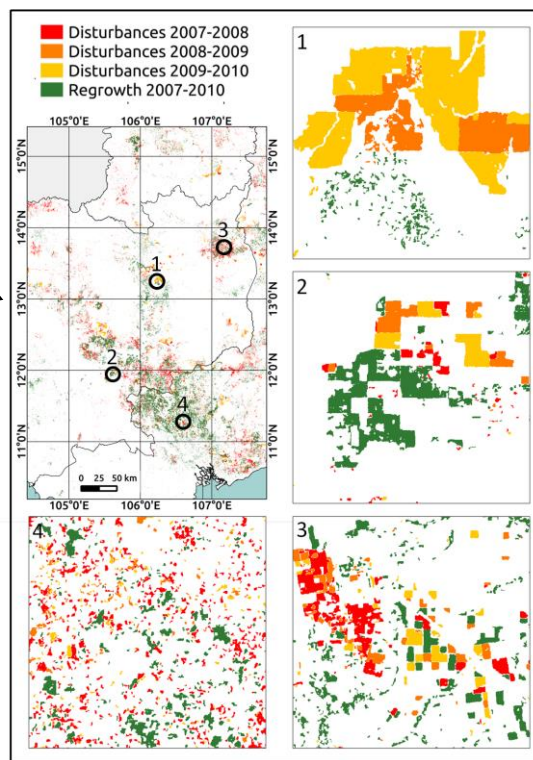
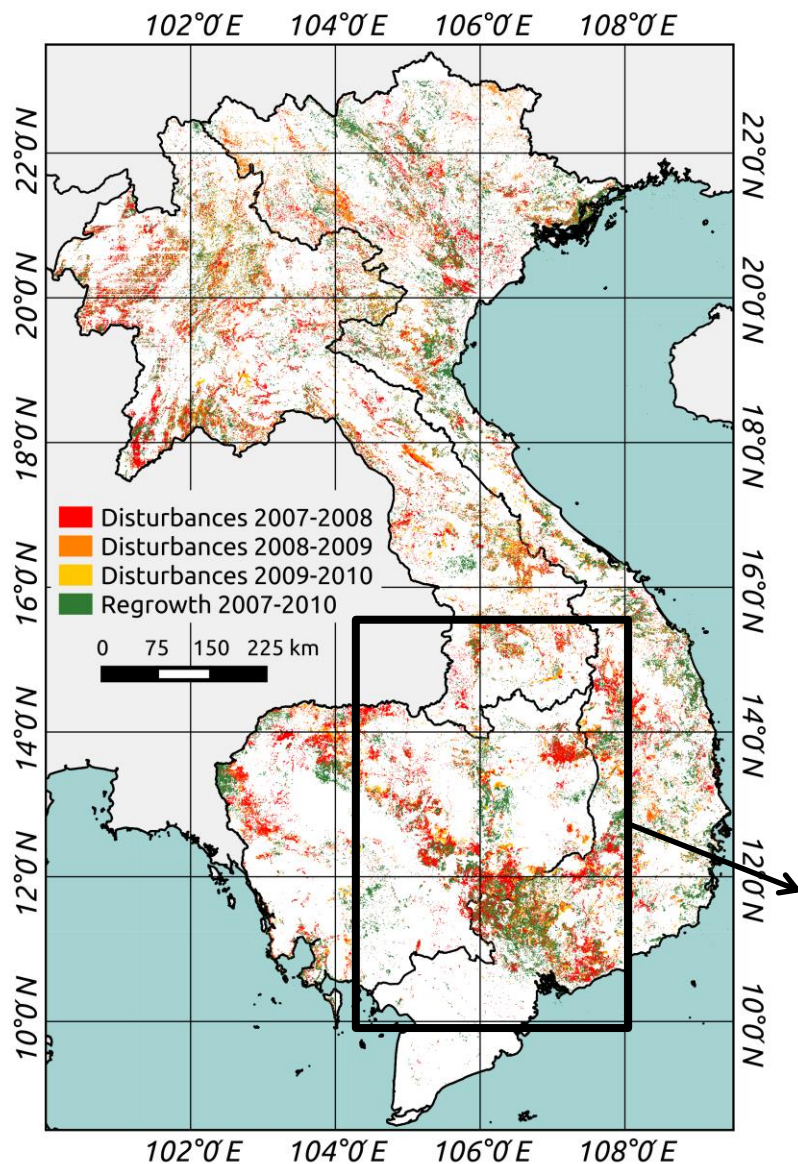
Stéphane Mermoz \* and Thuy Le Toan

Centre d'Études Spatiales de la BIOsphère, UMR CNRS 5126, University of Paul Sabatier, 18 avenue Edouard Belin, Toulouse 2801, France

\* Correspondence: stephane.mermoz@cesbio.cnes.fr; Tel.: +33-5-61-55-85-35; Fax: +33-5-61-55-85-00

Academic Editors: Josef Kelldorfer and Prasad S. Thenkabail

Received: 18 December 2015; Accepted: 14 February 2016; Published: 8 March 2016



|                                         | Vietnam | Cambodia | Lao PDR |
|-----------------------------------------|---------|----------|---------|
| Disturb.rates (%)<br><i>This study</i>  | −1.07   | −1.22    | −0.94   |
| Disturb. rates (%)<br><i>Hansen</i>     | −1.16   | −1.58    | −0.96   |
| Regrowth rates (%)<br><i>This study</i> | 0.82    | 0.49     | 0.35    |

# Estimation de la Biomasse



# La biomasse des forêts est une composante clef du cycle du carbone

1. Biomasse est constitué d'environ 50% de carbone
2. Les forêts représentent 70–90% of de la biomasse aérienne des surfaces continentales, et une majorité est située dans les tropiques
3. Les stocks de biomasse des forêts restent mal connus



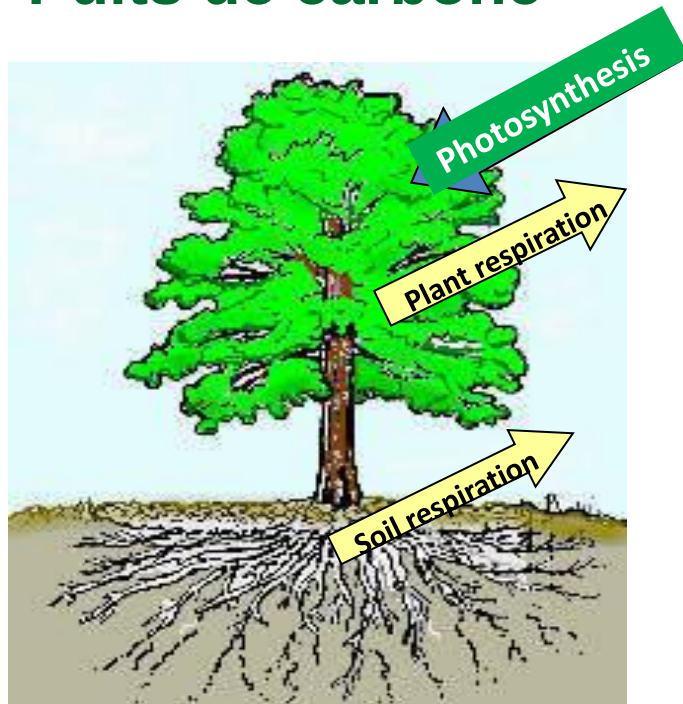
Biomasse = poids sec de matière ligneuse (en tonnes/ha)

→ Biomasse est une ECV (Essential Climate Variable) du programme Climate Change Initiative de l'ESA



# La forêt : puits et source de carbone

## Puits de carbone



## Sources de carbone



Conventions internationales et projets nationaux sur la forêt visent à:

- Accroître la séquestration du carbone
- Réduire les émissions

Enjeu: besoin de quantification des pertes et gains de C pour les MRV  
REDD+, SDG 15, SDG13, Accord de Paris

# Estimations des émissions

Les émissions de carbone par déforestation et dégradation des forêts sont estimées à partir du changement de biomasse et de la surface impactée



Déforestation



Dégradation

$$DC = \underbrace{\sum DA \cdot B \cdot E}_{\substack{\text{Surface impactée} \quad \text{Biomasse}}} + \underbrace{\sum A \cdot DB \cdot E}_{\text{Facteur d'efficience}}$$

# Pourquoi utiliser les radars pour estimer la biomasse ?

Les ondes radar interagissent avec les éléments de l'arbre en fonction de la longueur d'onde du radar



**Austrian pine**



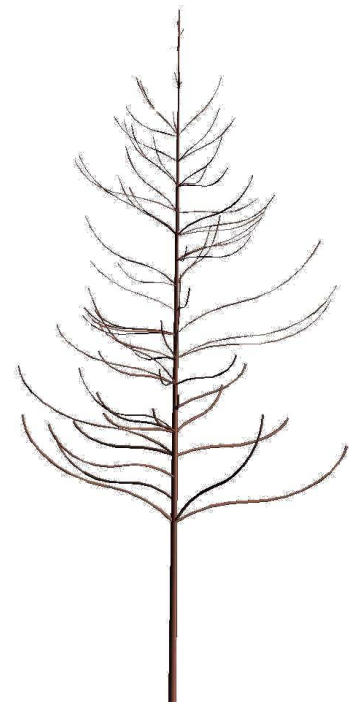
**X band**  
 $\lambda = 3 \text{ cm}$

**TerraSAR X**  
**Cosmo Skymed**



**L band**  
 $\lambda = 27 \text{ cm}$

**ALOS-PALSAR**  
**NISAR**

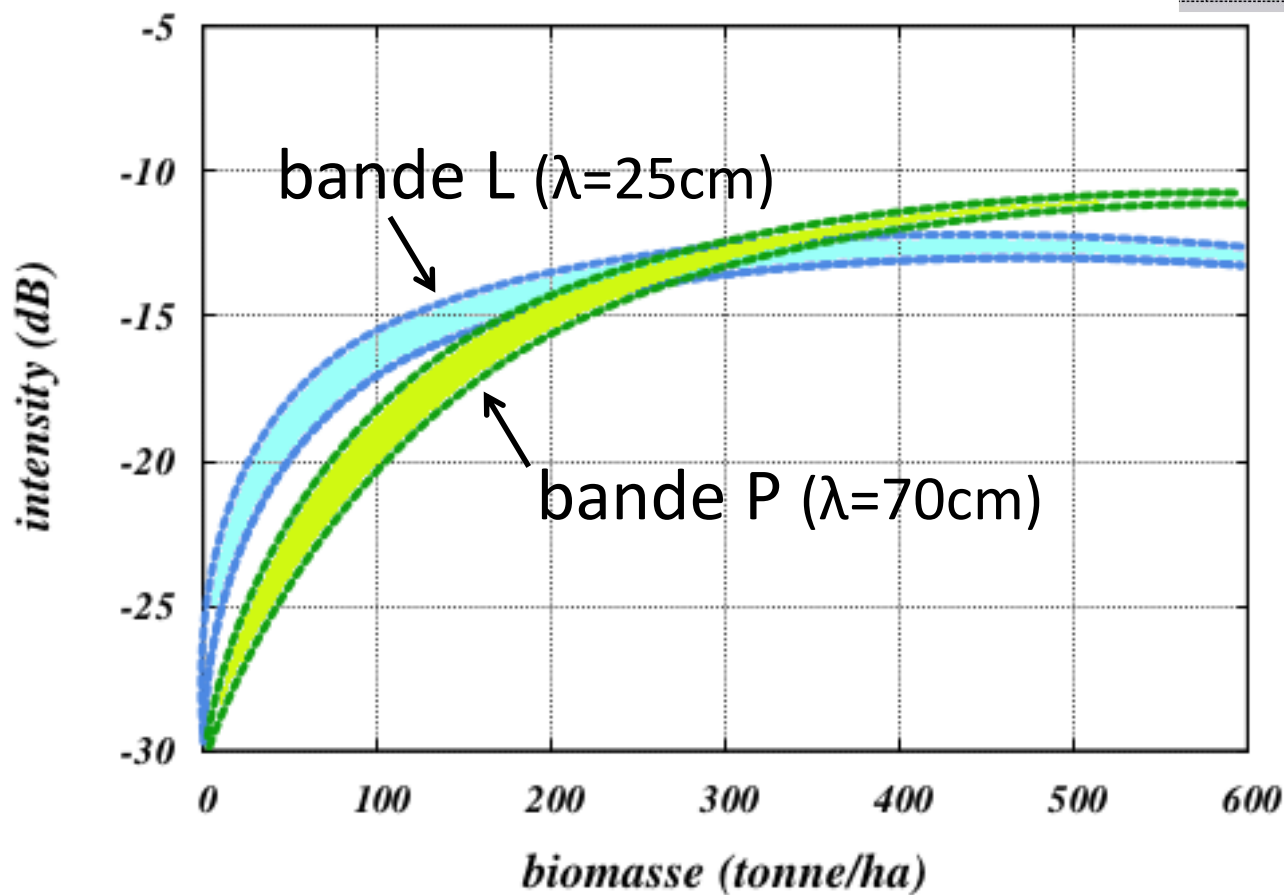
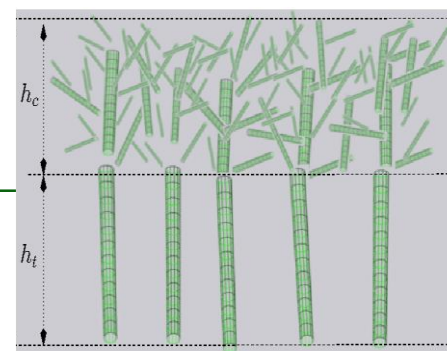


**P band**  
 $\lambda = 70 \text{ cm}$

**BIOMASS**

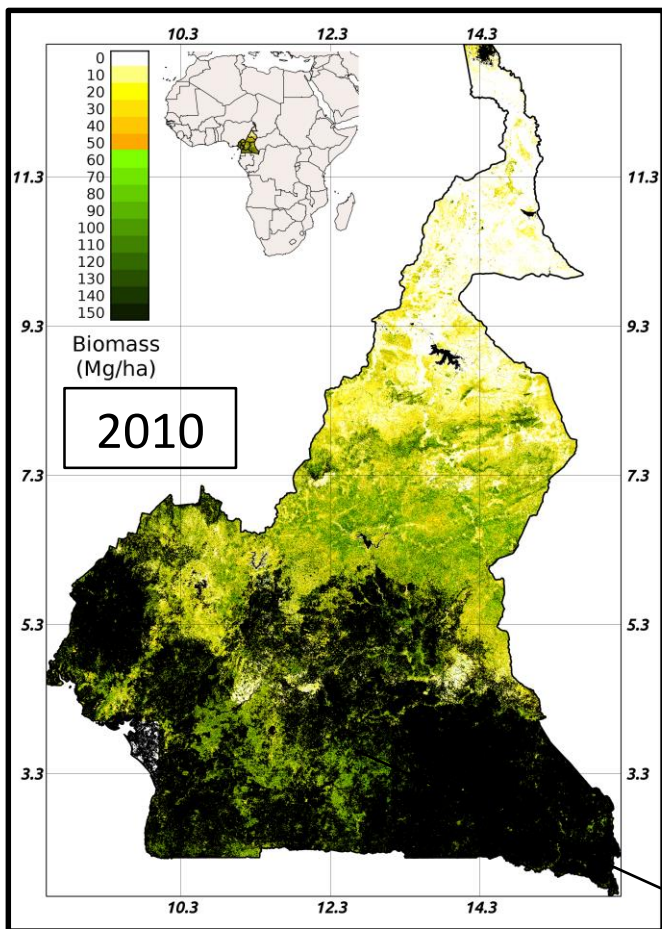


# Relations théoriques radar biomasse à basse fréquence



# Estimation de la biomasse à l'échelle nationale ( Cameroun)

Mermoz, S., Le Toan, T., Villard, L., Réjou-Méchain, M., & Seifert-Granzin, J. (2014). Biomass assessment in the Cameroon savanna using ALOS PALSAR data. *Remote sensing of environment*, 155, 109-119.

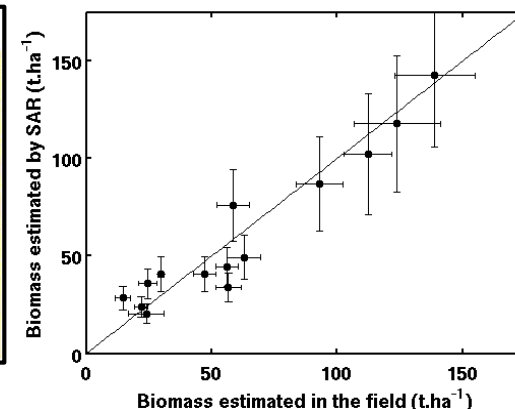
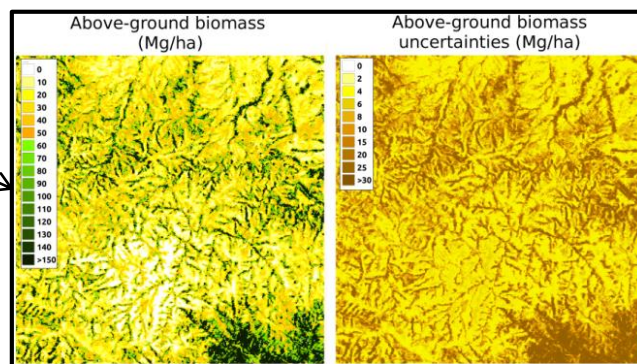


|                                    | Surface area (ha) | Mean AGB (Mg.ha <sup>-1</sup> ) | AGB (Tg)    | Carbon (TgC) |
|------------------------------------|-------------------|---------------------------------|-------------|--------------|
| Mosaic forest-croplands            | 1,811,150         | 89.5                            | 162.9       | 81.4         |
| Mosaic forest-savanna              | 5,187,900         | 75.6                            | 394.2       | 197.1        |
| Deciduous woodland                 | 10,352,400        | 53.3                            | 553.6       | 276.8        |
| Deciduous shrubland – sparse trees | 1,949,000         | 30.7                            | 59.8        | 29.9         |
| Others                             | 6,622,340         | 12.6                            | 83.4        | 41.7         |
| <b>TOTAL</b>                       | <b>25,922,790</b> | <b>48.2</b>                     | <b>1253</b> | <b>626.9</b> |

RMSE=11.5 t.ha<sup>-1</sup>

Cal:3 plots

Vali:14 plots



**Stock carbone total:**

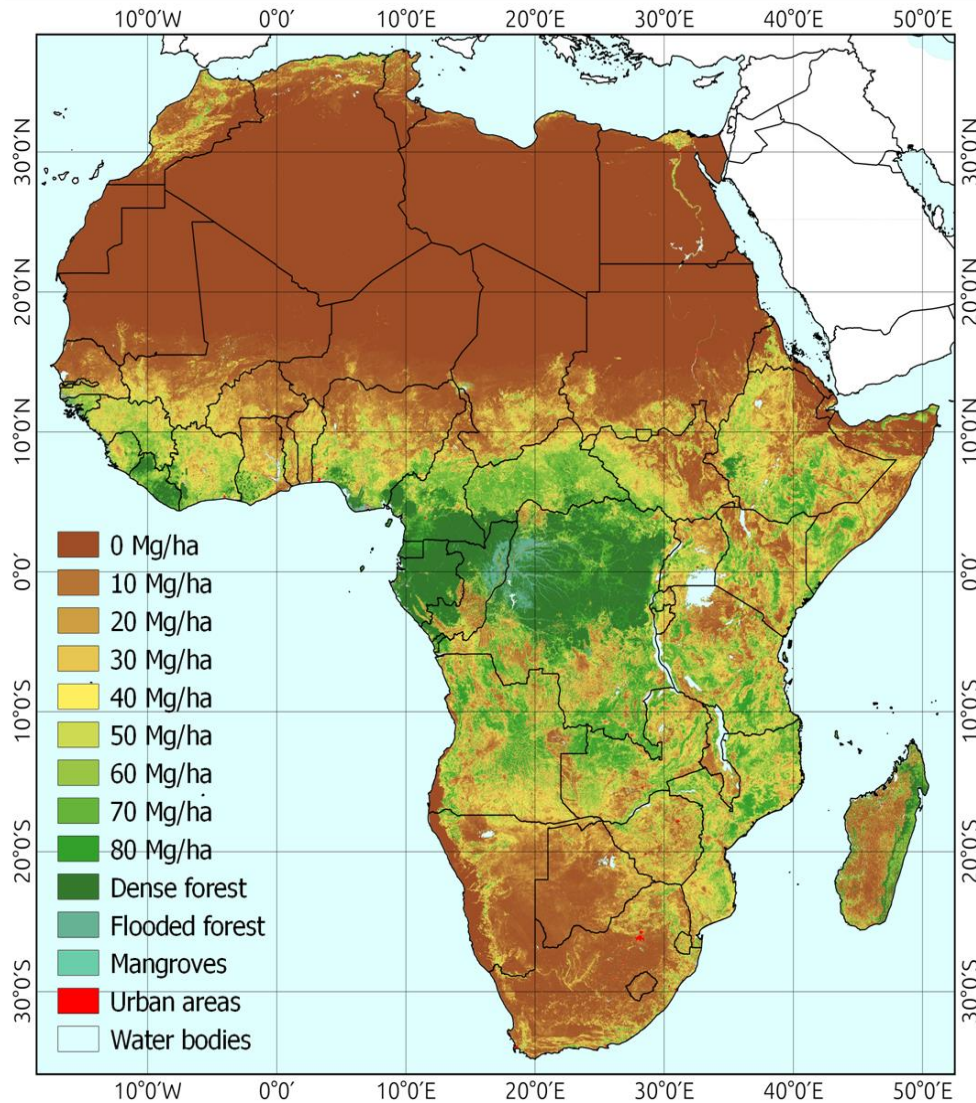
- Cette étude: **627 TgC**

- Nasi et al. (2009): **710 TgC**

Example of products  
THEIA

# Biomass mapping of woodlands and savannahs

❑ Biomass mapping at continental scales in the range of biomass up to 80 t/ha, covering woodlands and savannahs in Africa, S. America, and Australia.





Contents lists available at [ScienceDirect](https://www.sciencedirect.com)

Remote Sensing of Environment

journal homepage: [www.elsevier.com/locate/rse](https://www.elsevier.com/locate/rse)

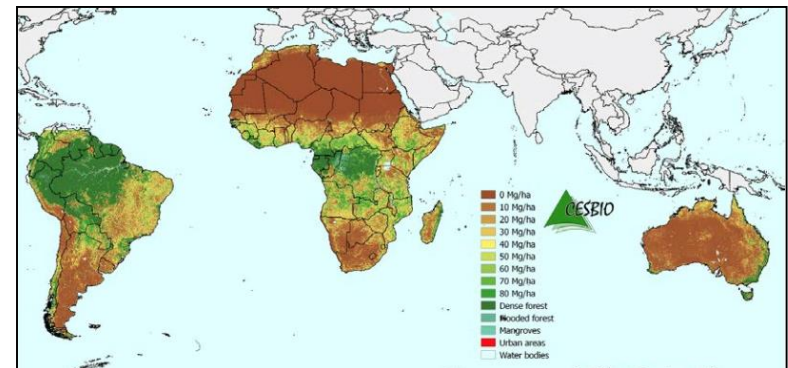


An above-ground biomass map of African savannahs and woodlands at 25 m resolution derived from ALOS PALSAR

Alexandre Bouvet<sup>a,\*</sup>, Stéphane Mermoz<sup>a</sup>, Thuy Le Toan<sup>a</sup>, Ludovic Villard<sup>a</sup>, Renaud Mathieu<sup>b</sup>, Laven Naidoo<sup>b</sup>, Gregory P. Asner<sup>c</sup>

<sup>a</sup> CESBIO, Université de Toulouse, CNRS/CNRS/IRD/UPS, Toulouse, France  
<sup>b</sup> Ecosystems Earth Observation, Natural Resource and the Environment, CSIR, Pretoria, South Africa  
<sup>c</sup> Department of Global Ecology, Carnegie Institution for Science, Stanford, CA, USA



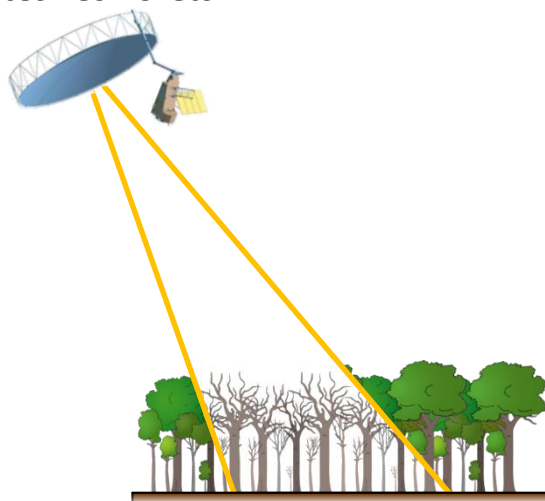




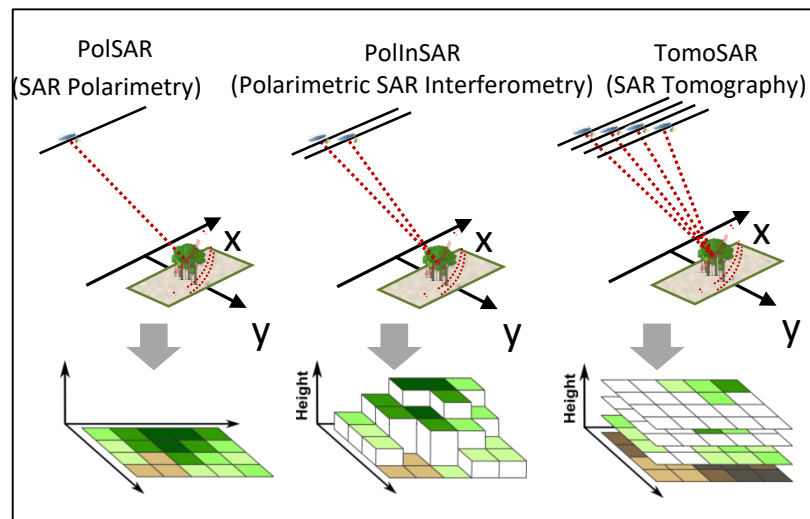
# Mission Biomass: une première dans les mesures de la Biosphère

7ième Earth Explorer de l'ESA initié par le CESBIO

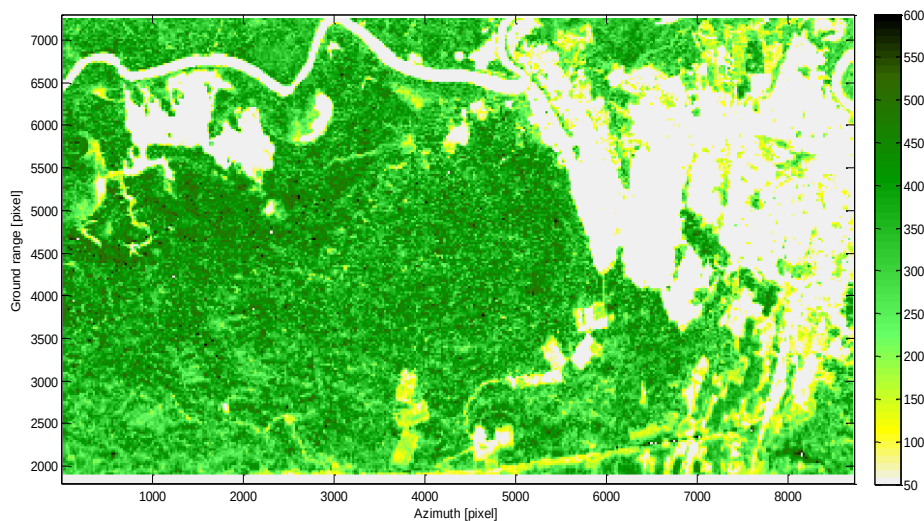
Un radar à basse fréquence pour sonder toutes les forêts



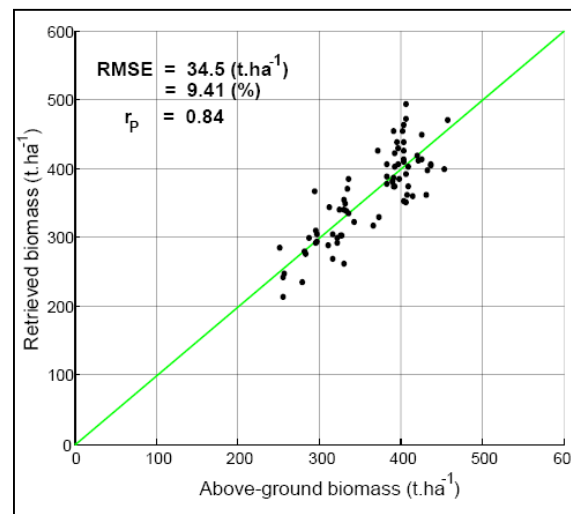
Des techniques avancées pour mesurer la biomasse en 3D



Première carte de biomasse validée de la forêt tropicale

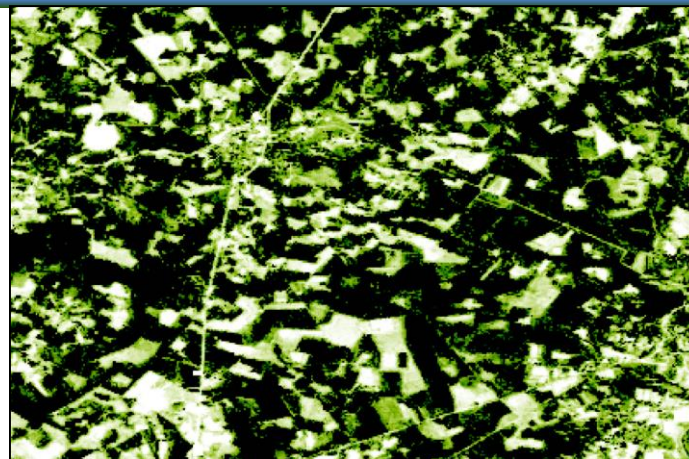
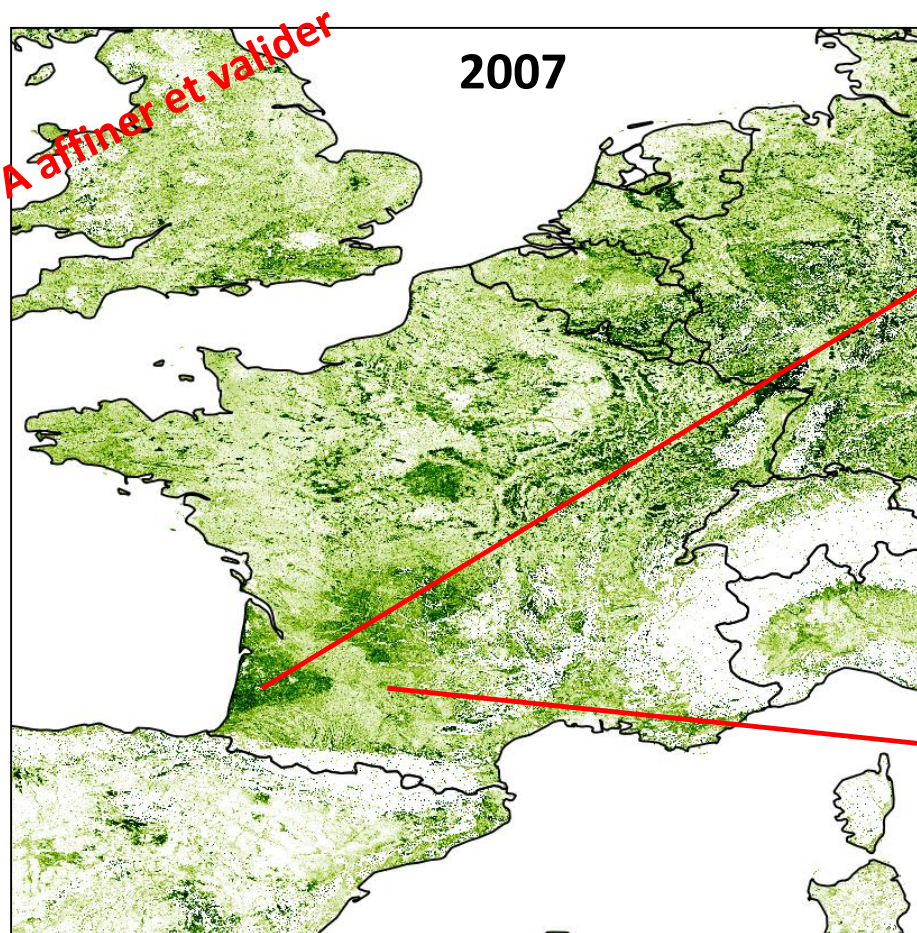


Une précision jamais atteinte par d'autres systèmes

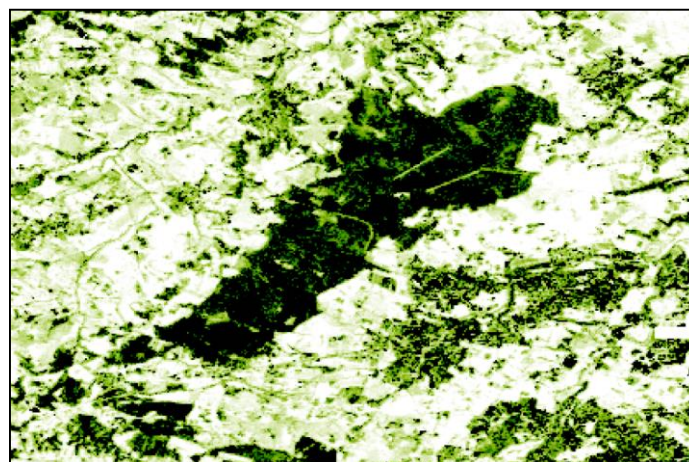


# Produits et R&D sur la France

# Estimation de la biomasse



Forêt des Landes



Forêt de Bouconne

A partir de ALOS-PALSAR  
Résolution: 50m. Les pixels saturent à  $150 \text{ Mg.ha}^{-1}$ .  
Les villes et les pentes  $> 25^\circ$  sont masquées .





# Produits : variables biophysiques forestières



Article

## Estimation and Mapping of Forest Structure Parameters from Open Access Satellite Images: Development of a Generic Method with a Study Case on Coniferous Plantation

David Morin <sup>1,\*</sup>, Milena Planells <sup>1</sup>, Dominique Guyon <sup>2</sup>, Ludovic Villard <sup>1</sup>, Stéphane Mermoz <sup>1,3</sup>, Alexandre Bouvet <sup>1</sup>, Hervé Thevenon <sup>1</sup>, Jean-François Dejoux <sup>1</sup>, Thuy Le Toan <sup>1</sup> and Gérard Dedieu <sup>1</sup>

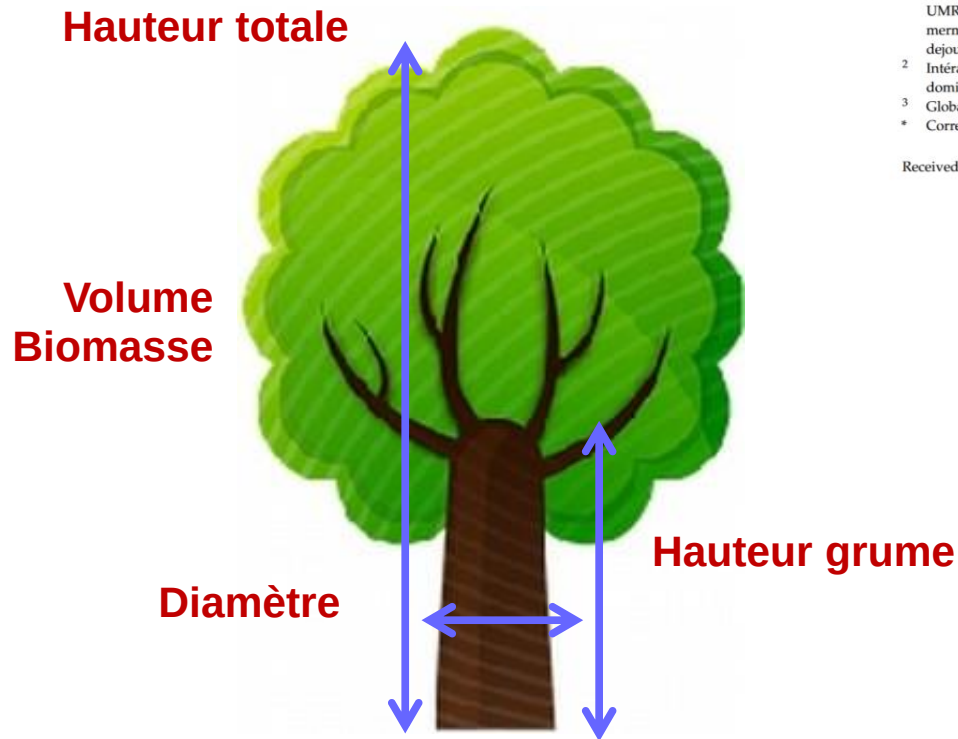
<sup>1</sup> Centre D'études Spatiales De La Biosphère (CESBIO), Université de Toulouse, CNES/CNRS/IRD/UT3, UMR 5126, 31401 Toulouse, France; milena.planells@cnes.fr (M.P.); villardl@cesbio.cnes.fr (L.V.); mermoz@globo.net (S.M.); bouveta@cesbio.cnes.fr (A.B.); thevenonh@cesbio.cnes.fr (H.T.); dejouxjf@cesbio.cnes.fr (J.-F.D.); letoant@cesbio.cnes.fr (T.L.T.); dedieug@cesbio.cnes.fr (G.D.)

<sup>2</sup> Interaktion Sol Plante Atmosphère (ISPA), INRA, UMR 1391, 33882 Villenave d'Ornon, France; dominique.guyon@inra.fr

<sup>3</sup> Global Earth Observation (GloEO), 31400 Toulouse, France

\* Correspondence: david.morin@cesbio.cnes.fr

Received: 24 April 2019; Accepted: 25 May 2019; Published: 29 May 2019



- Nombre d'arbres / ha
- Surface terrière m<sup>2</sup>/ha
- Diamètre moyen (DBH)
- Hauteur moyenne / dominante
- Volume m<sup>3</sup>/ha
- Biomasse tonnes/ha

Contact : david.morin@cesbio.cnes.fr



## 1 Remote sensing data

### Spaceborne remote sensing: favorable conditions for producing high resolution forest parameter maps

- Free tools and open access data, available worldwide

| Sensor                       | Characteristics                                        | Features                                                                                    |
|------------------------------|--------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>ALOS-PALSAR</b><br>(JAXA) | L-band SAR (~23cm)<br>Annual mosaics<br>Resampled 25m  | HV, HH and HV/HH (3)                                                                        |
| <b>Sentinel-1</b><br>(ESA)   | C-band SAR (~5cm)<br>1 image / 6 days<br>Resampled 10m | Summer and winter mean<br>VH, VV and VH/VV<br>VH and VV spatial texture indexes             |
| <b>Sentinel-2</b><br>(ESA)   | Optical, vis-nir-swir<br>1 image / 5 days<br>10-20m    | Summer and winter dates<br>NDVI, NDWI and Brightness<br>NDVI and BI spatial texture indexes |

*Table 1. Sensor characteristics and features used in the study.*

- Download georeferenced and orthorectified ALOS-PALSAR mosaics on JAXA website, then calibration and application of a multi-image filtering
- Download Sentinel-1 images on PEPS mirror<sup>(1)</sup>, then orthorectification, calibration and application of a multi-image filtering (open source processing chain)<sup>(2)</sup>
- Download Sentinel-2 images on THEIA platform<sup>(3)</sup> with atmospheric corrections and cloud mask (MAJA processing)

## 2 Reference data

249 plot measurements from 3 study sites

Generally flat topography

Oceanic and semi-oceanic climates

- Landes: 83 samples on maritime pine plantation; large dynamic of forest parameters
- Orleans: 88 samples, mixed broadleaved and coniferous (mainly oaks and Scots pines)
- St-Gobain: 78 samples, mixed broadleaved forests (mainly oaks, beech and hornbeam)

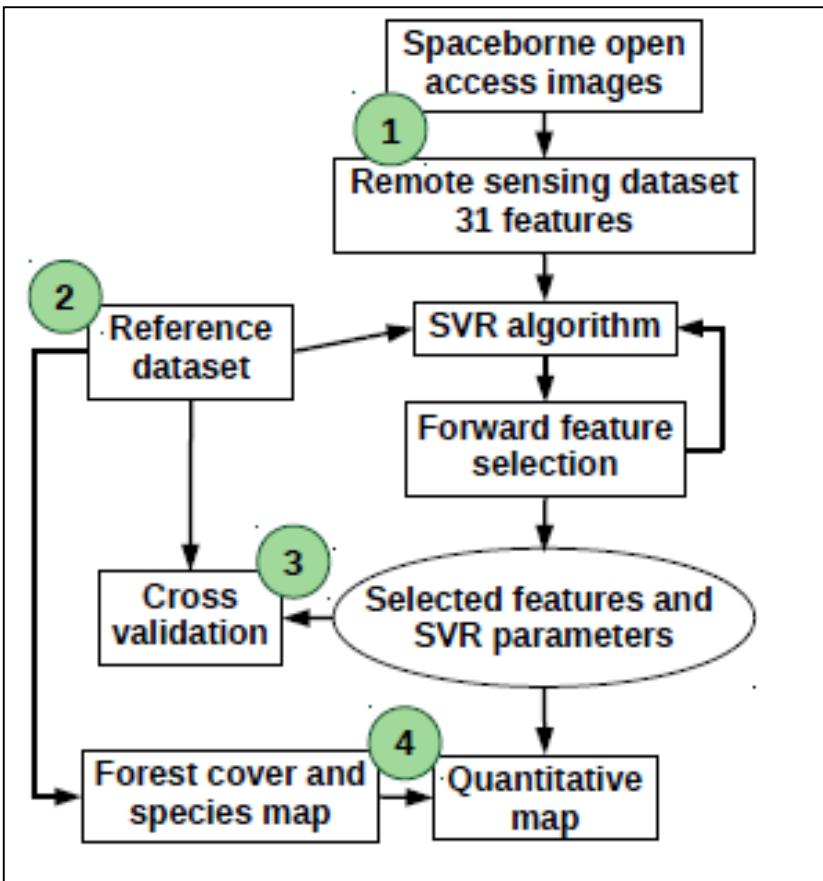


| Plots | Forest type             | BA (m <sup>2</sup> /ha) |      | DBH (cm) |      | Height (m) |     |
|-------|-------------------------|-------------------------|------|----------|------|------------|-----|
|       |                         | Mean                    | Std  | Mean     | Std  | Mean       | Std |
| 83    | Maritime pine (Landes)  | 21.2                    | 10.9 | 21.5     | 12.4 | 14.4       | 6.7 |
| 63    | Oak (Orleans)           | 17.4                    | 5.9  | 37.2     | 12.4 | 22.1       | 3.6 |
| 25    | Scots pine (Orleans)    | 22.6                    | 6.9  | 34.4     | 8.2  | 20.3       | 3.9 |
| 28    | Oak (StGobain)          | 22.9                    | 9.3  | 38.1     | 7.0  | 26.9       | 3.5 |
| 25    | Beech (StGobain)        | 18.4                    | 9.4  | 37.1     | 9.2  | 27.1       | 6.3 |
| 25    | Oak+hornbeam (StGobain) | 20.3                    | 6.2  | 33.5     | 3.5  | 27.2       | 1.7 |

**Table 2.** Mean values and standard deviation (Std) of basal area (BA), diameter at breast height (DBH), and dominant height (Height) for the 6 forest types.



# Méthodologie



- Free tools (Orfeo ToolBox<sup>(4)</sup> and Python + scikit-learn<sup>(5)</sup>)
- Open access remote sensing data ①
- Reference data: geolocated plots 15-25m radius ②

## Machine learning algorithm:

- We tested SVR, RF and MLR; SVR provided the best results and is adapted to small dataset

## Parameter optimization by minimizing RMSE:

- SVR parameters: C, gamma and epsilon

## Dimensionality reduction:

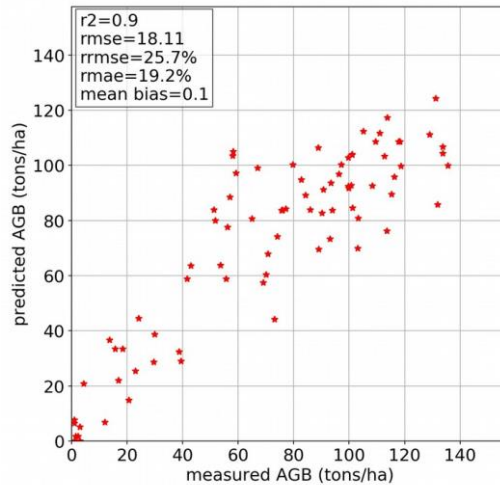
- We tested PCA, forward and backward feature selection, and no selection. Feature selection improves accuracy of estimates; forward selection is more adaptable and performs better in case of small reference dataset

- Quality assessment of the estimates: leave-one-out ③
- Map production: forest classification and model application ④

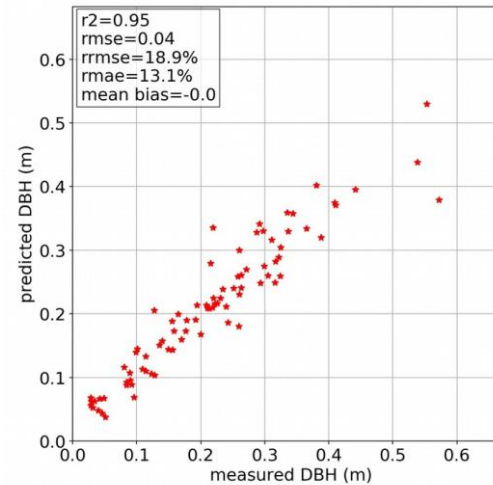
# Produits : variables biophysiques forestières

Étude sur des parcelles de pin maritime (Landes de Gascogne)  
(thèse David Morin, CNES ADEME)

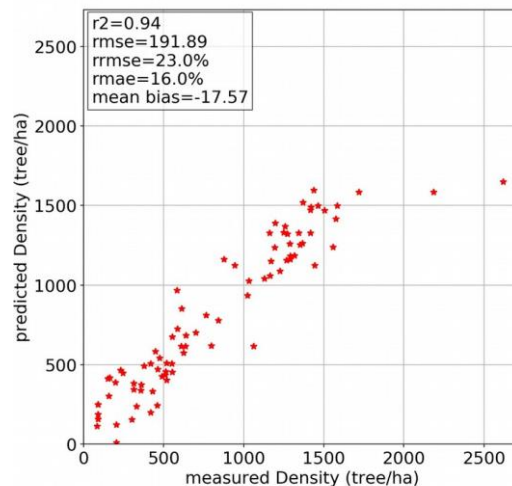
**Biomasse**  
20-25 % erreurs



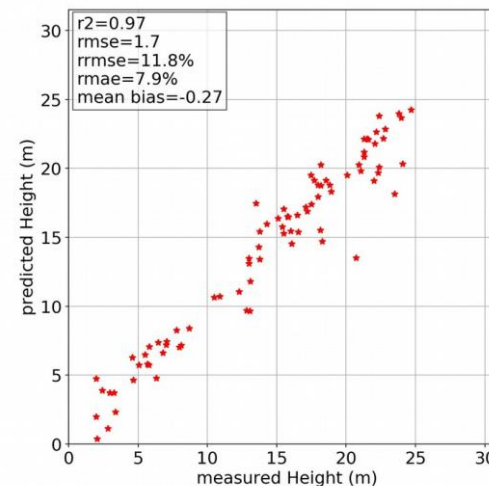
**DBH**  
3-19 % erreurs



**Densité  
arbres/ha**  
16-23 % erreurs

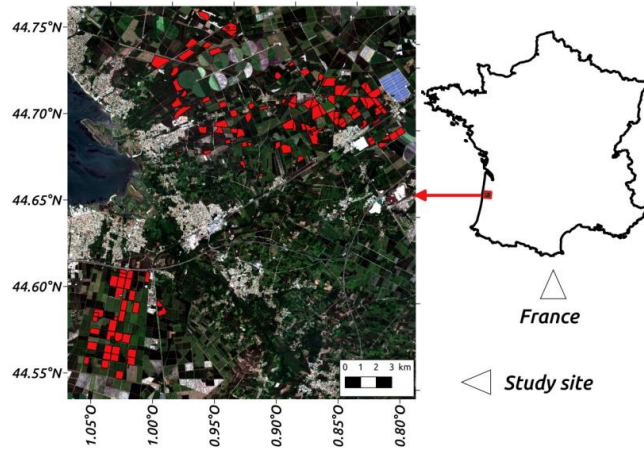


**Hauteur**  
8-12 % erreurs

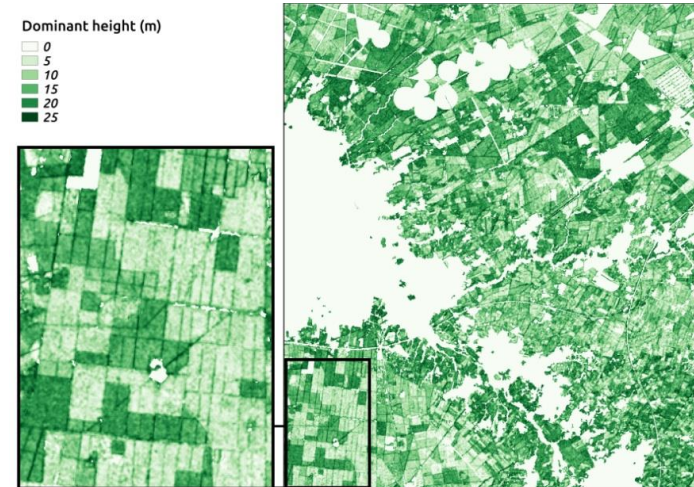


# Produits : variables biophysiques forestières

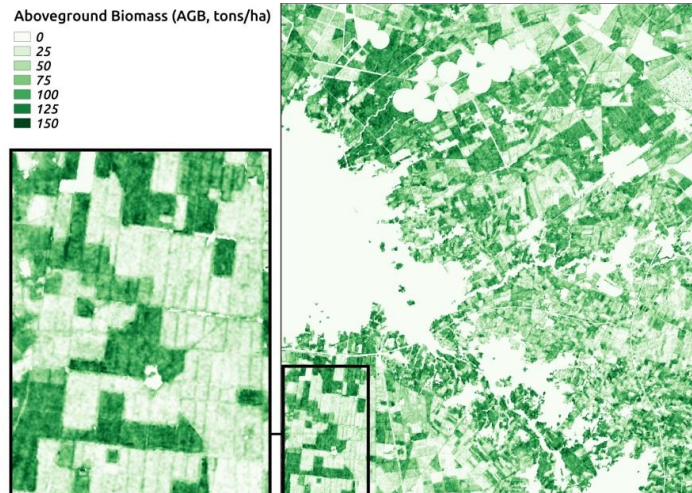
## Étude sur des parcelles de pin maritime (Thèse D. Morin)



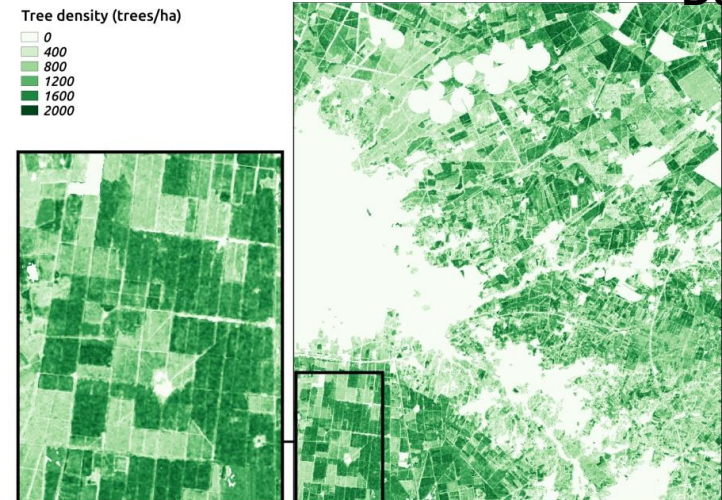
Hauteur



Biomasse



Densité







# Résumé sur la France

## Télédétection spatiale

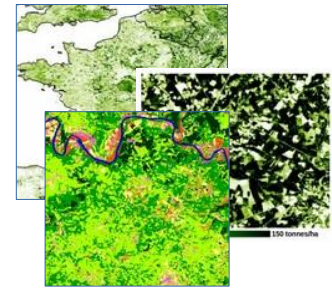
- Sentinel-1 (SAR C-band ; 10m ; 5-10j)
- Sentinel-2 (Optique ; 10-20m ; 5-12j)
- ALOS-PALSAR (SAR L-band ; 25m ; annuel)
- SPOT6-7 (Optique ; 1,5-6m ; annuel)
- BIOMASS (SAR P-band ; 100m ; bi-annuelle, 2021)

## Produits : suivi des forêts

- Masque des forêts
- Cartographie des essences
- Cartographie de la biomasse (et autres variables forestières)
- Phénologie

### Données in-situ

*(font souvent défaut)*



## Utilisations

- Modélisation stocks et flux de carbone
- Analyse des paysages
- Suivi/prévention des perturbations
- Suivi de la ressource en bois
- Impacts du changement climatique

## Améliorations

- Mise à jour annuelle
- Changement d'échelle facilité (national/parcelle = même produit)
- Coût logiciel et image nul
- Coût et expertise & production...

Merci !

