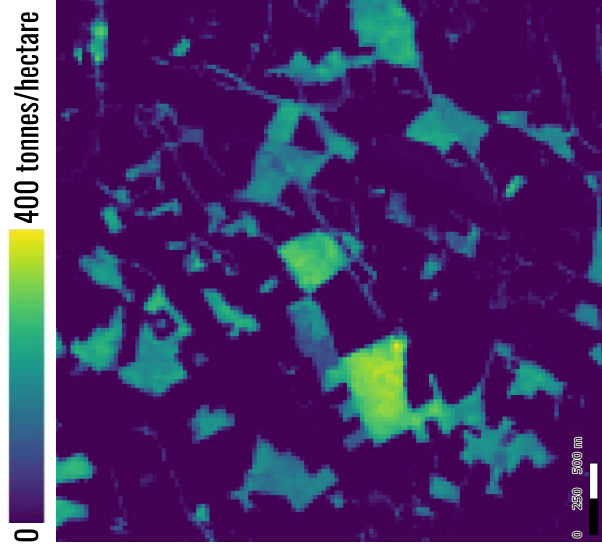
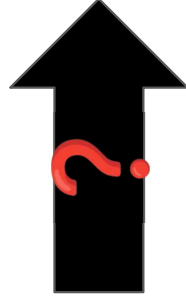


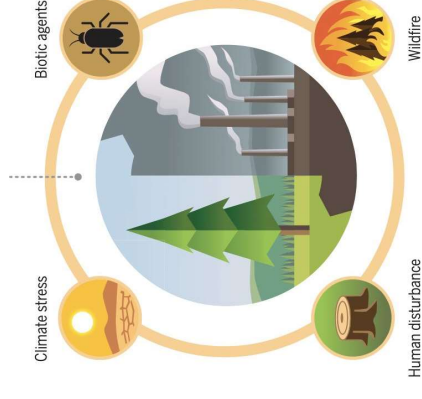
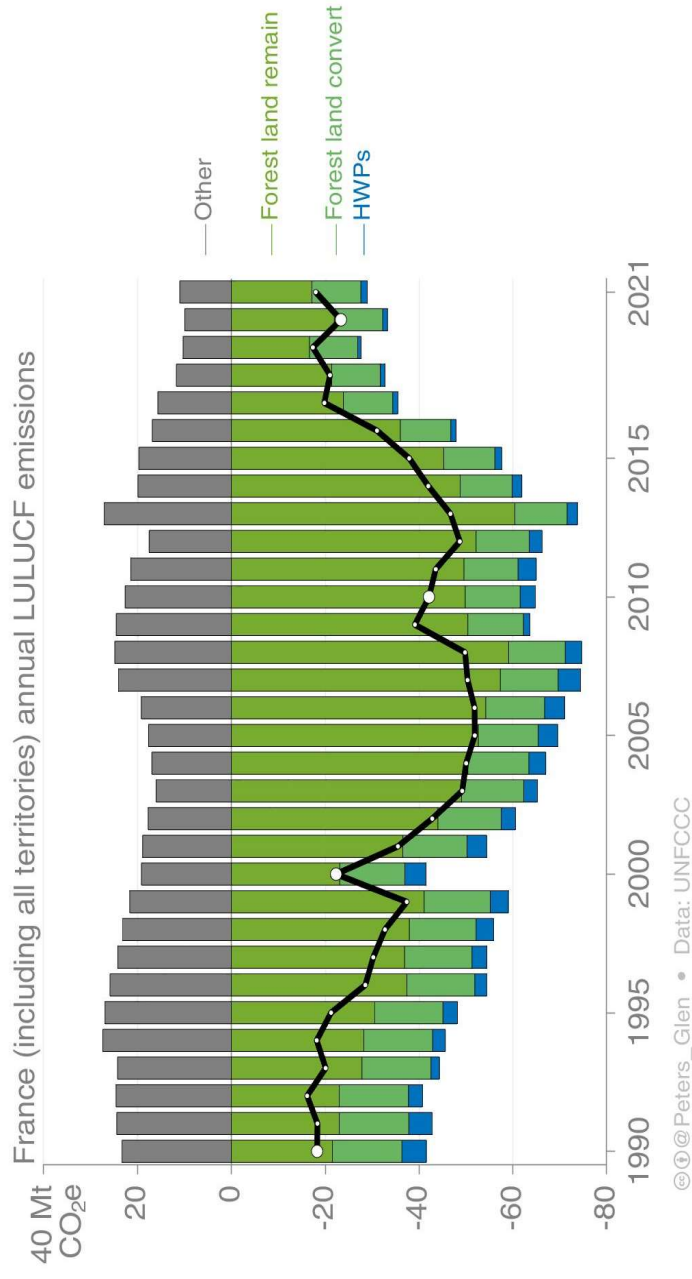
Estimation de la biomasse forestière par satellites avec des méthodes d'intelligence artificielle

Martin Schwartz

Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement (LSC E)



En france le puit de carbone des forêts a été divisé par 2 en moins de 10 ans !



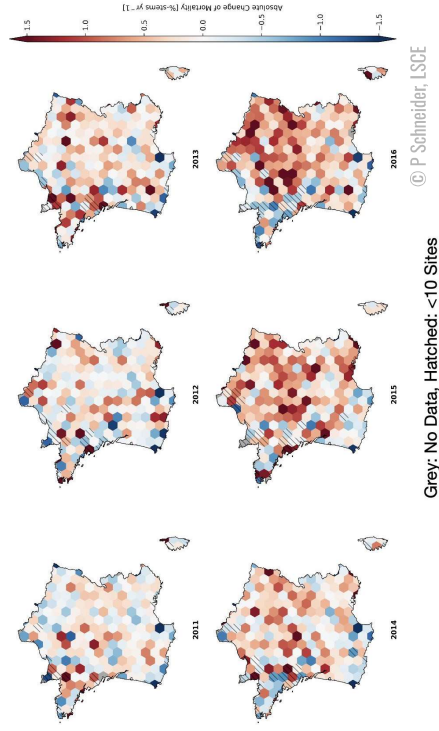
Comment suivre l'état des forêts ?

Les inventaires forestiers



- Mesures précises d'un grand nombre de paramètres à l'échelle d'une placette
- Re-mesures après 5 ans
- Un grand nombre de placettes réparties partout sur le territoire (>10 000 placettes mesurées chaque année) pour avoir des métriques stables au niveau régional

Change to 2010 in Natural Mortality [%-stems yr⁻¹]



Grey: No Data, Hatched: <10 Sites

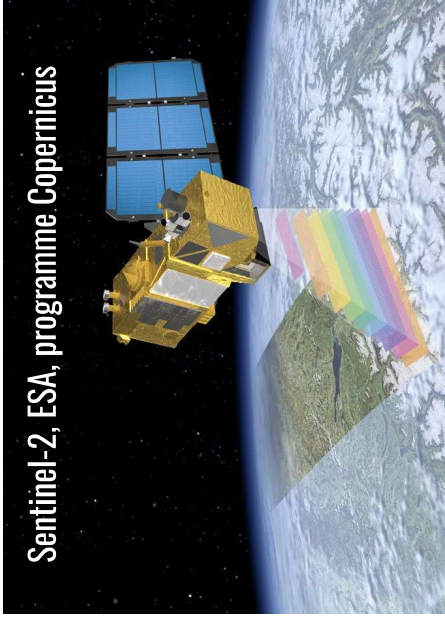
© P. Schneider, LSCE

- Faible taux de revisite temporelle
- Pas de couverture continue du territoire
- Inventaire coûteux



Observations spatiales

Le potentiel des observations spatiales



Différentes méthodes d'acquisition

- Optique (passif)
- Micro-onde passif ou actif (Radar à synthèse d'ouverture, SAR)
- LiDAR (infrarouge actif)



Différentes résolutions spatiales

- MODIS - 250 m
- Landsat - 30 m (optique)
- Sentinel-1 (SAR) et Sentinel-2 (Optique) - 10 m
- Planet - 3 m (optique)
- World-view 4 - 30 cm (optique)

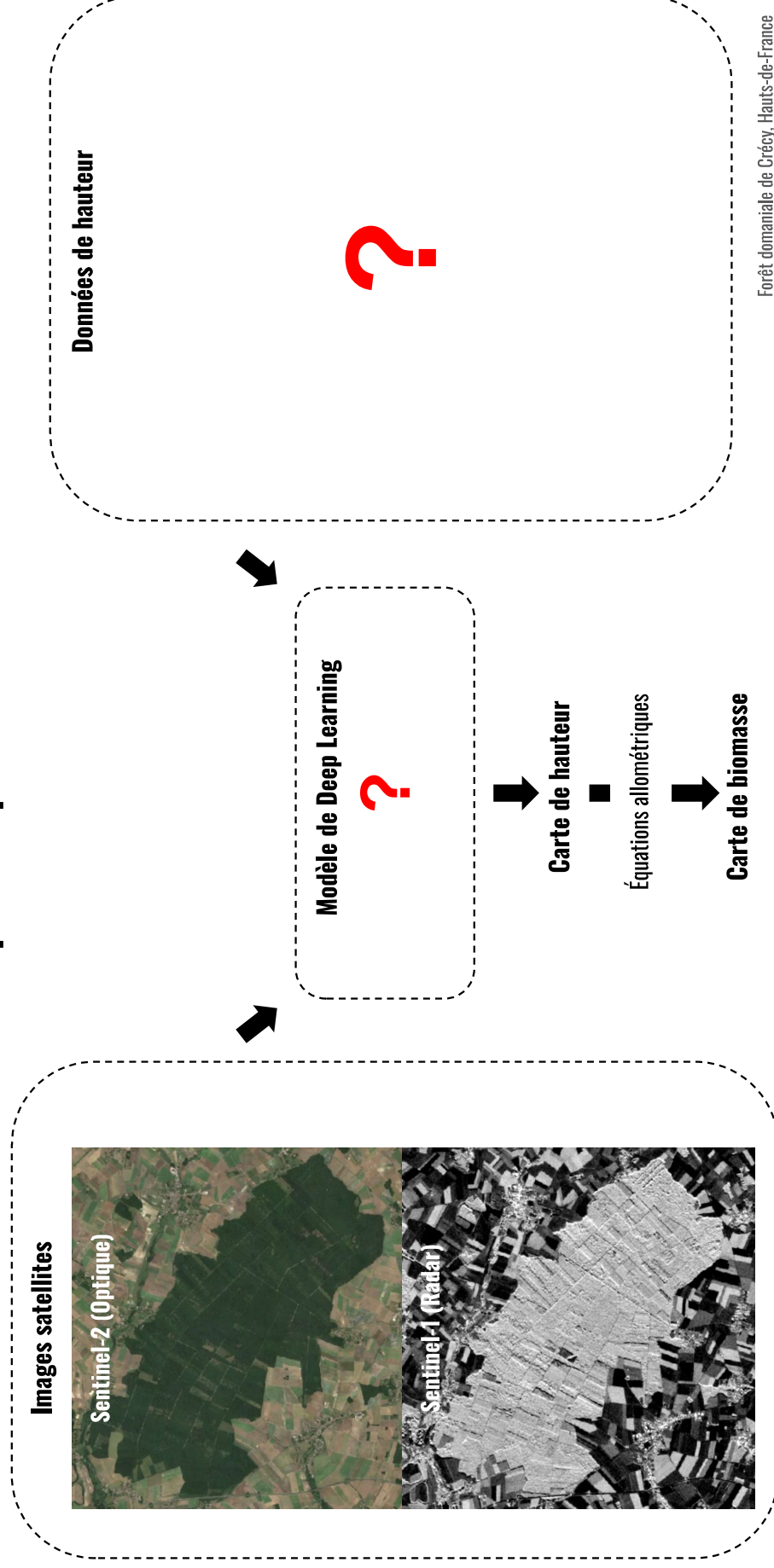
Petites parcelles très hétérogènes nécessitant une **haute résolution spatiale**

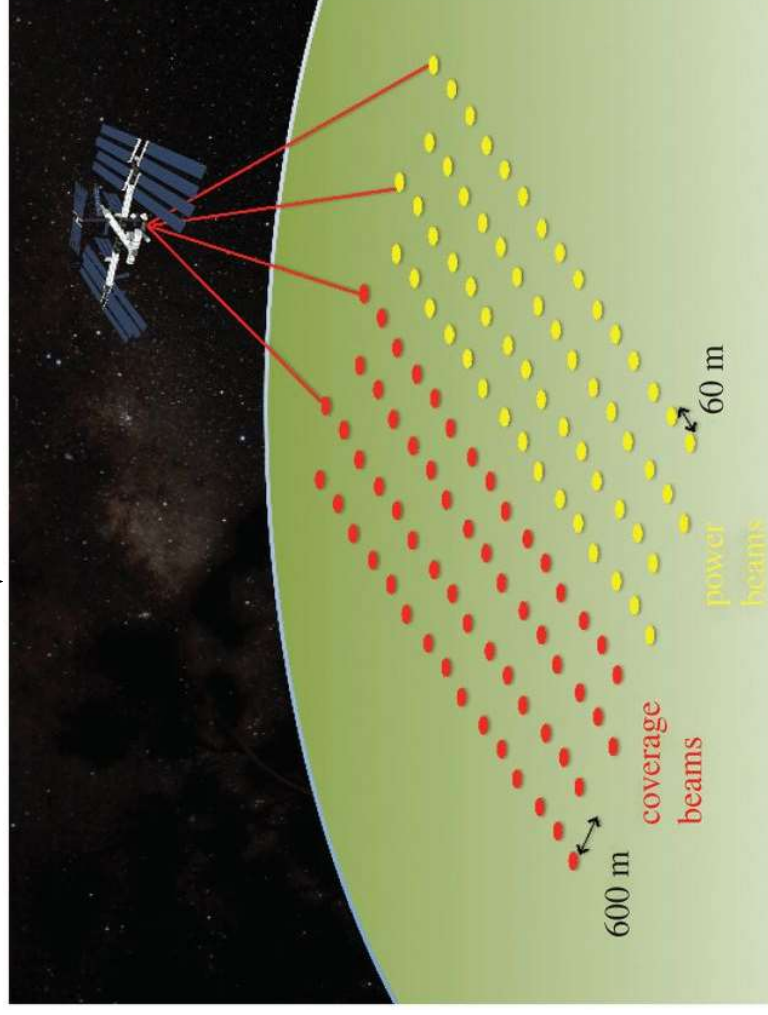
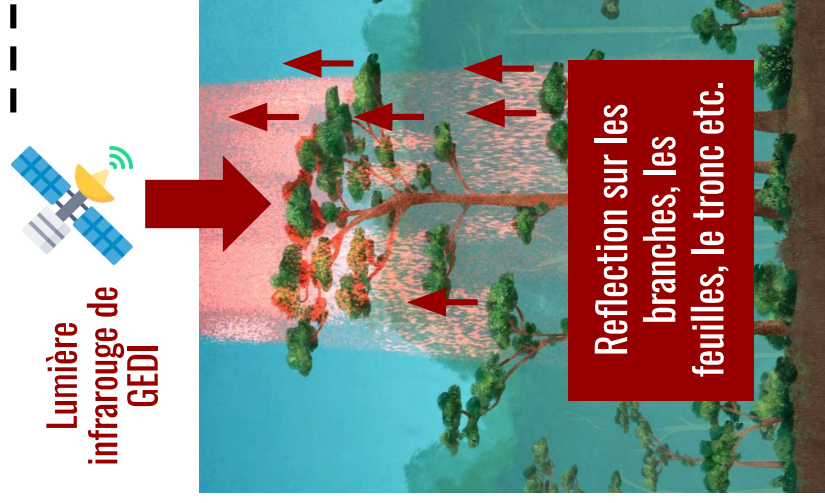


Lailfour, Ardennes

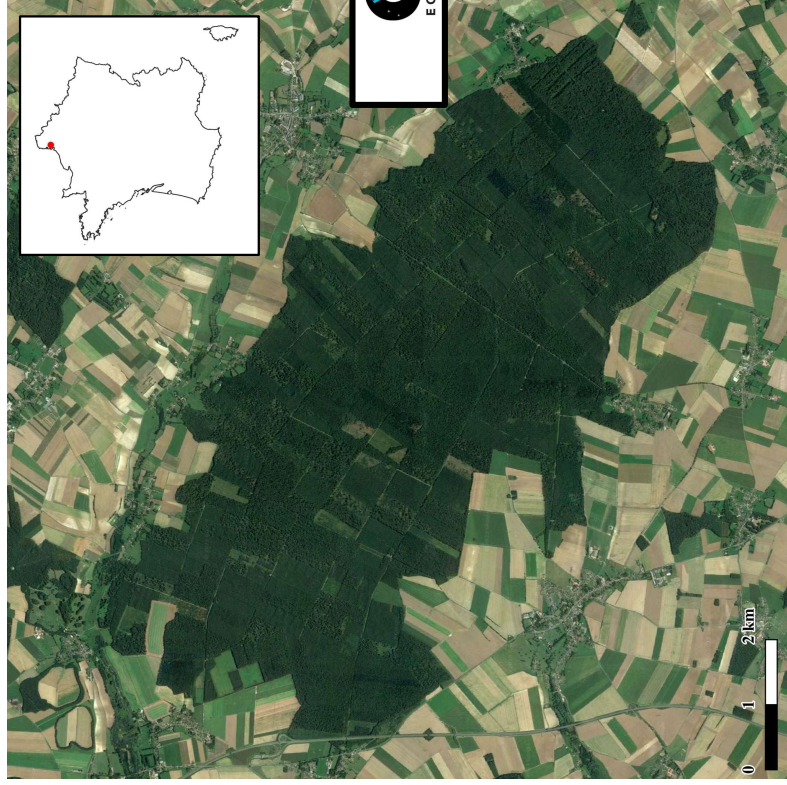
Comment obtenir des cartes de biomasse à partir de données satellites ?

→ **En passant par la hauteur**





Forêt de Crecy, Somme, © Google Maps



Mesures de hauteur de GEDI



Comment obtenir des cartes de biomasse à partir de données satellites ?

→ **En passant par la hauteur**

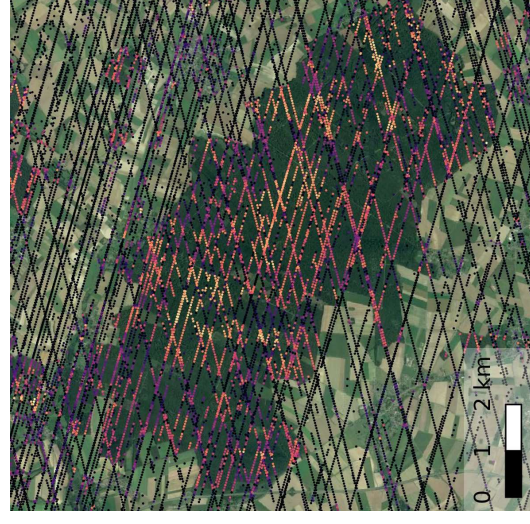
Images satellites



Données de hauteur



Hauteur GEDI



Modèle de Deep Learning



Carte de hauteur

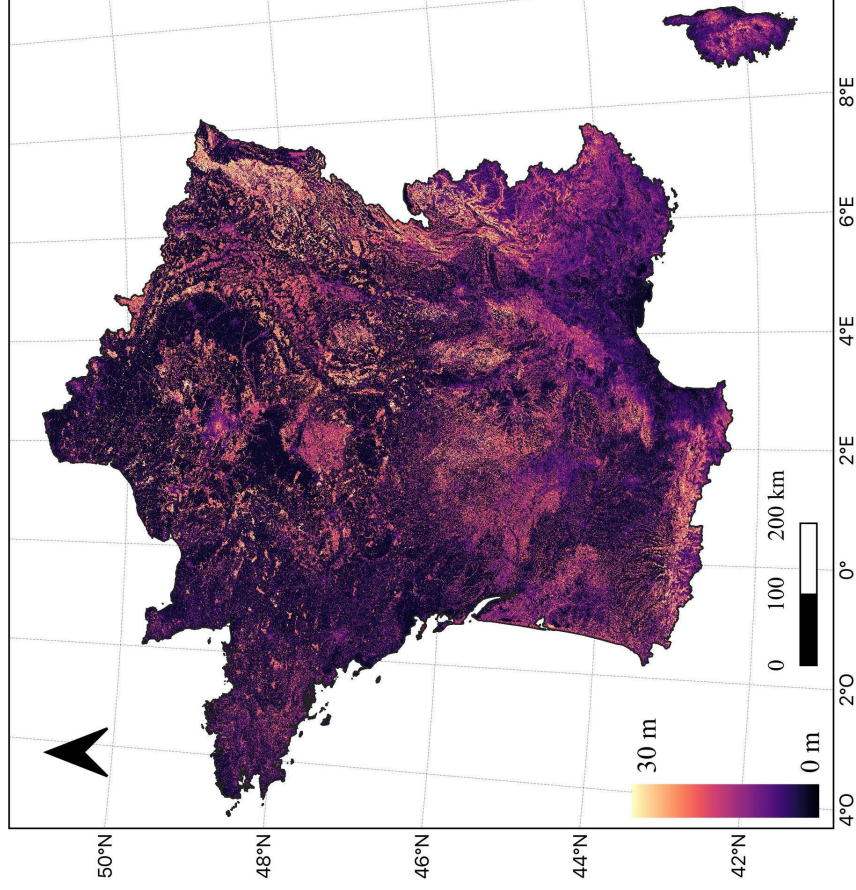
■
Équations allométriques

Carte de biomasse

Forêt domaniale de Crécy, Hauts-de-France

Résultats

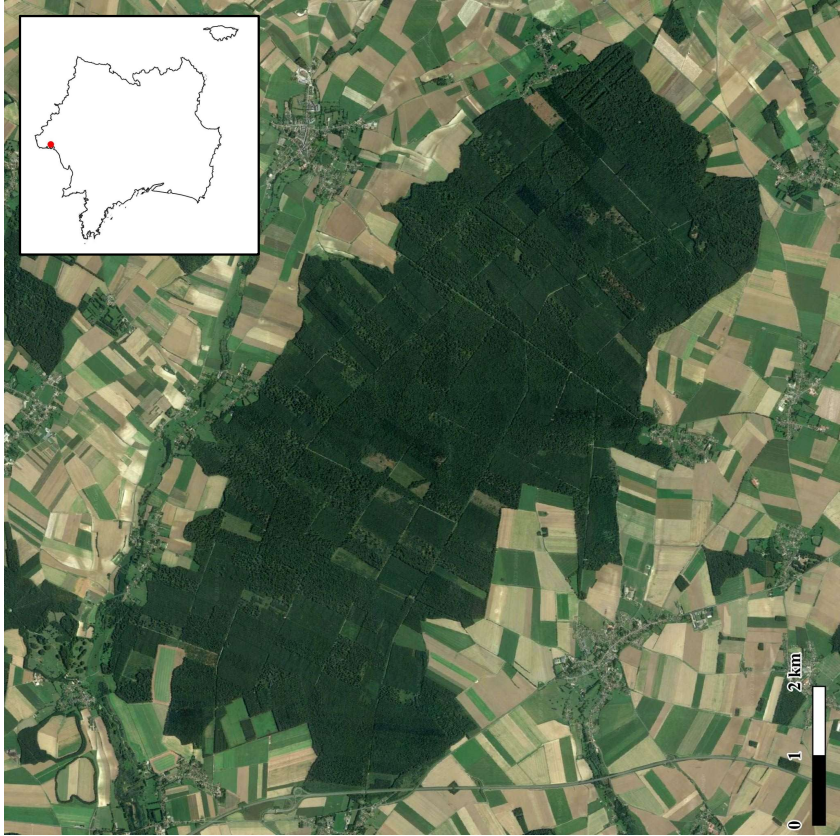
Carte de hauteur et de biomasse en France à 10 m de résolution



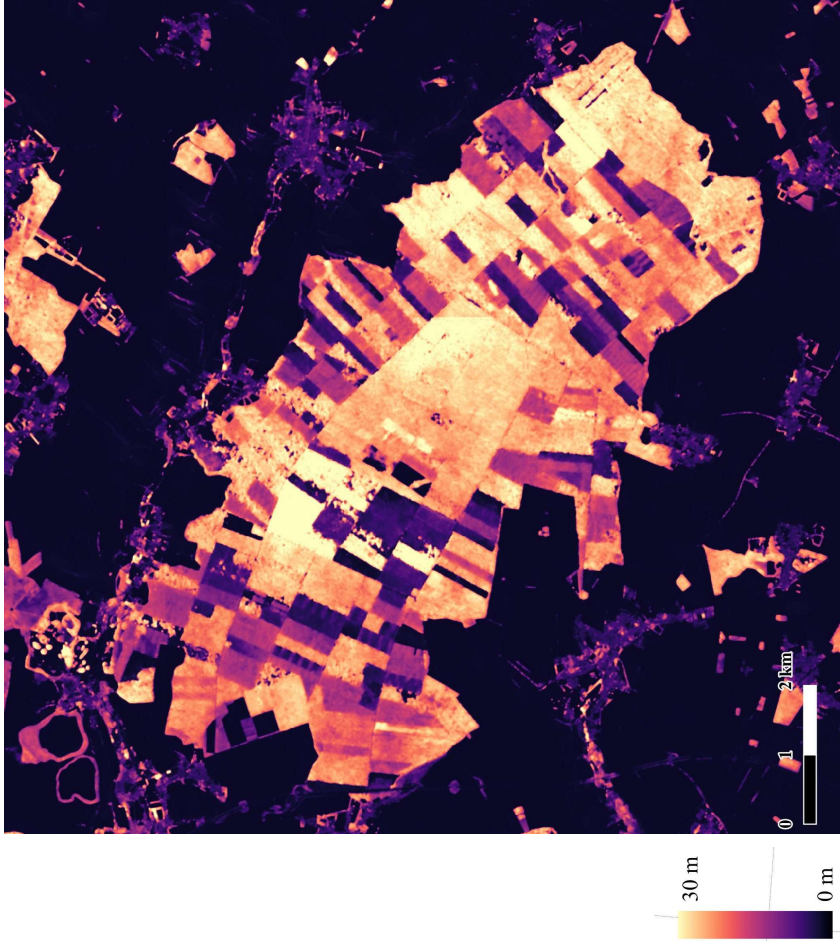
Résultats

Carte de hauteur et de biomasse en France à 10 m de résolution

Google Maps, Forêt de Crécy (France)

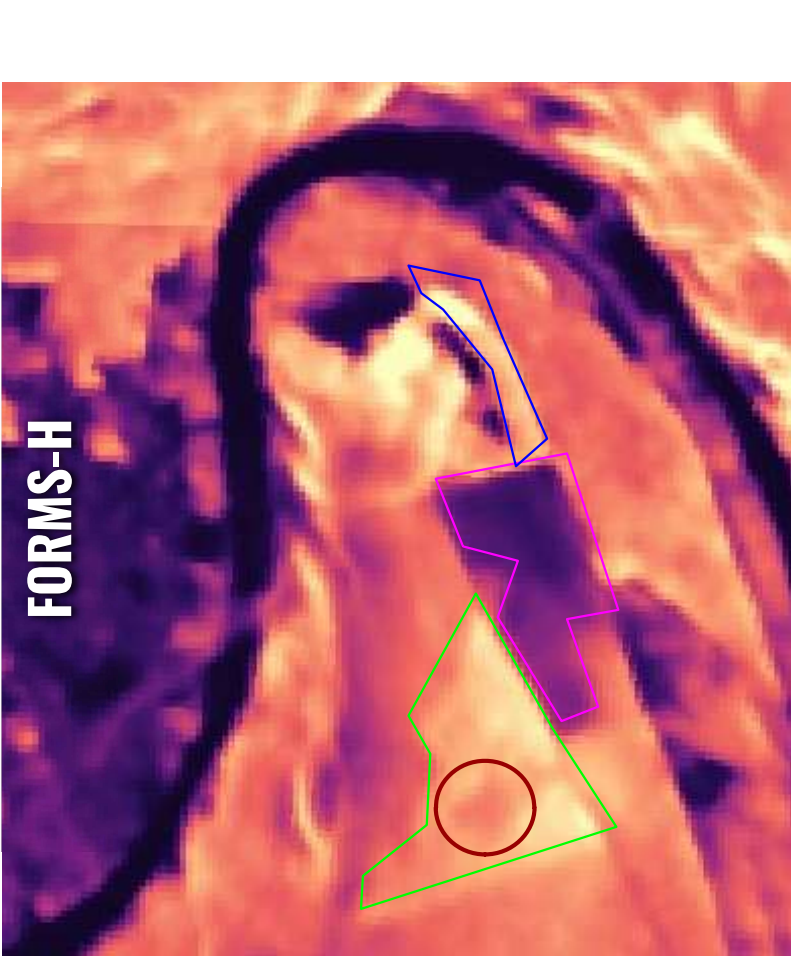


Carte de **60m** pour
ECOSYSTEM LIDAR

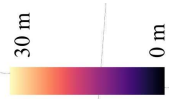




Laifour, Ardennes



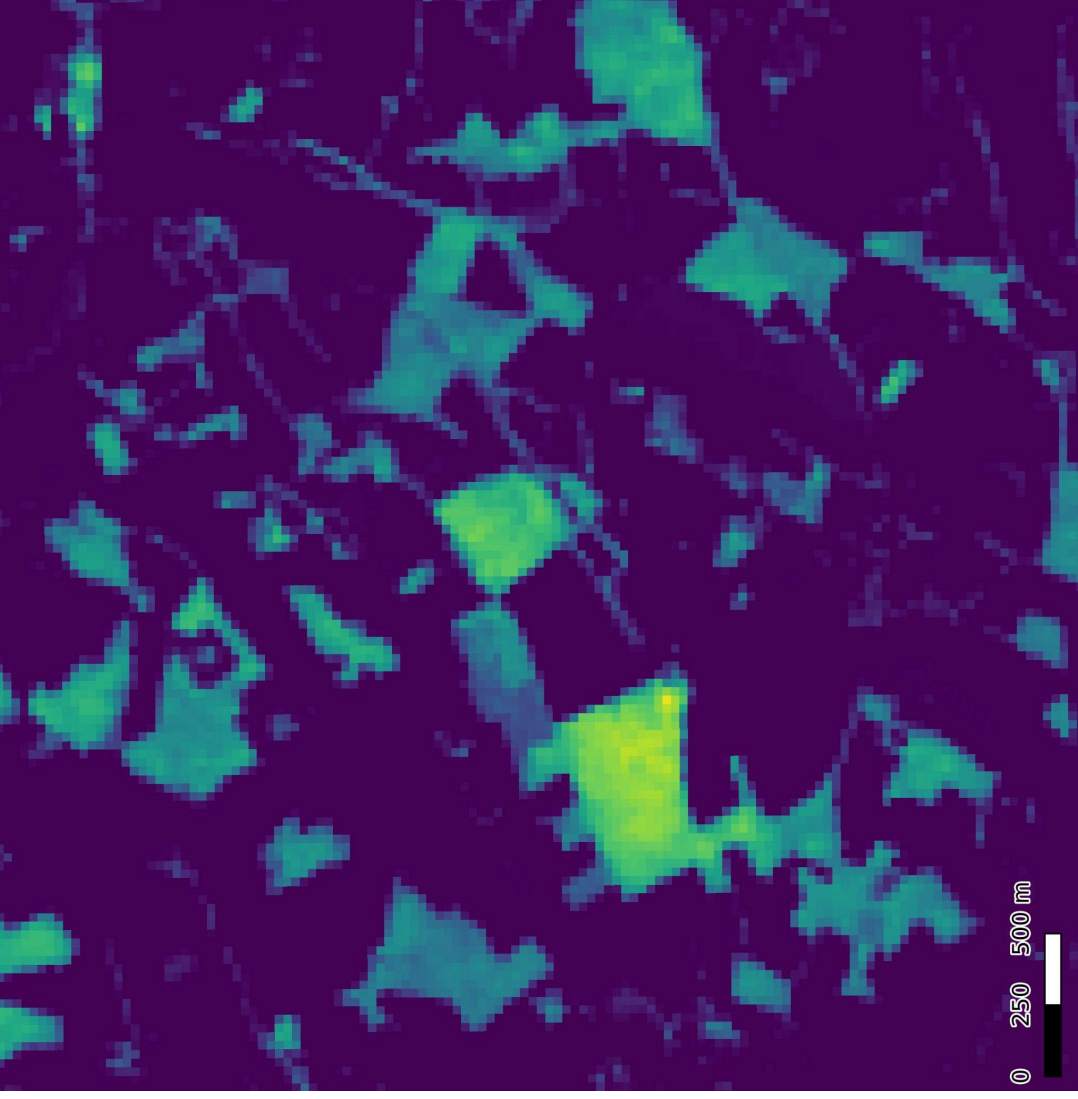
FORMS-H



Hauteur

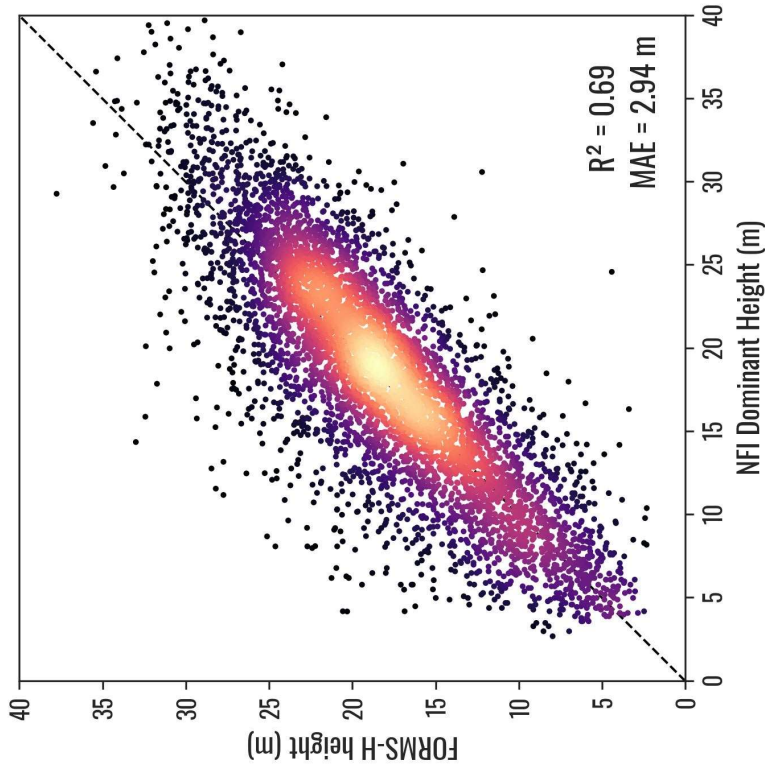


Biomasse

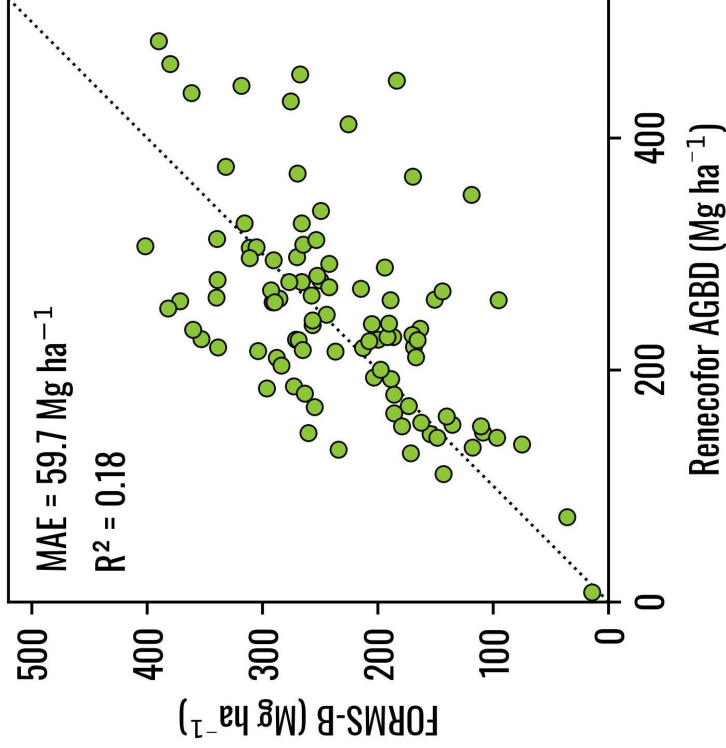


Résultats : Comparaison aux données terrain

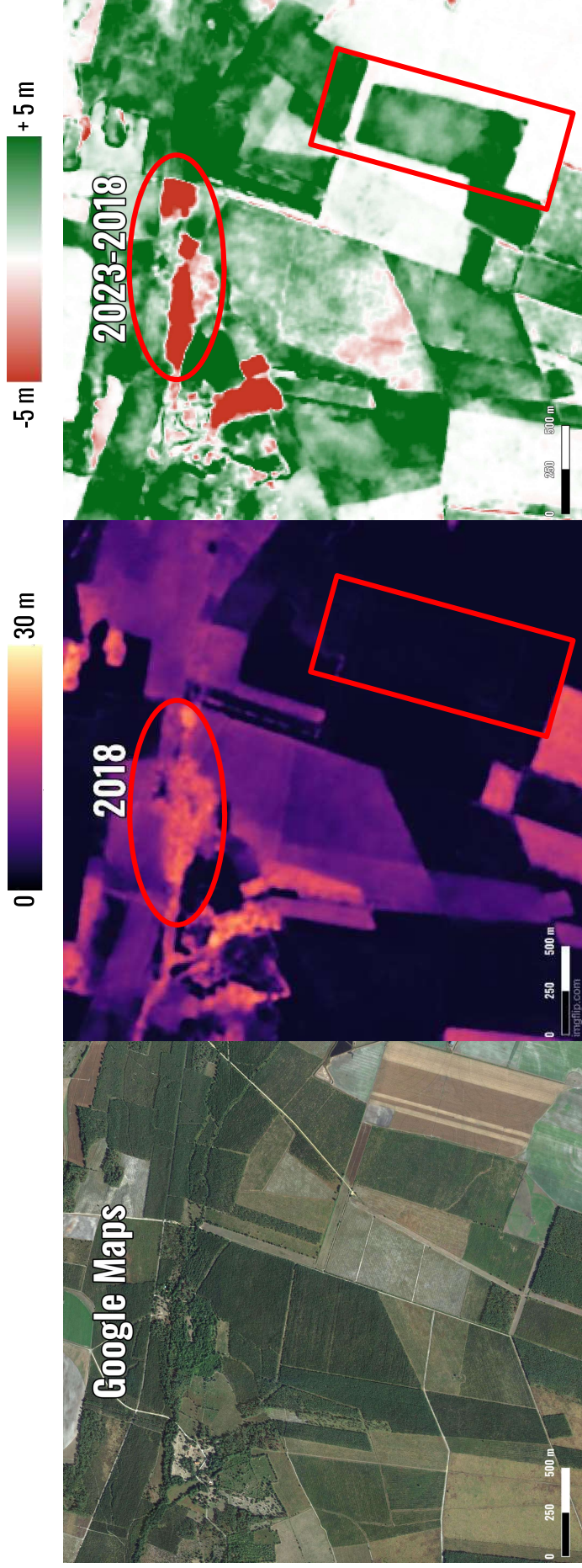
Inventaire Forestier national, 2020, IGN (5 475 plots)



Réseau RENECOFOR, ONF



Application 1: Suivi des changements de hauteur et biomasse



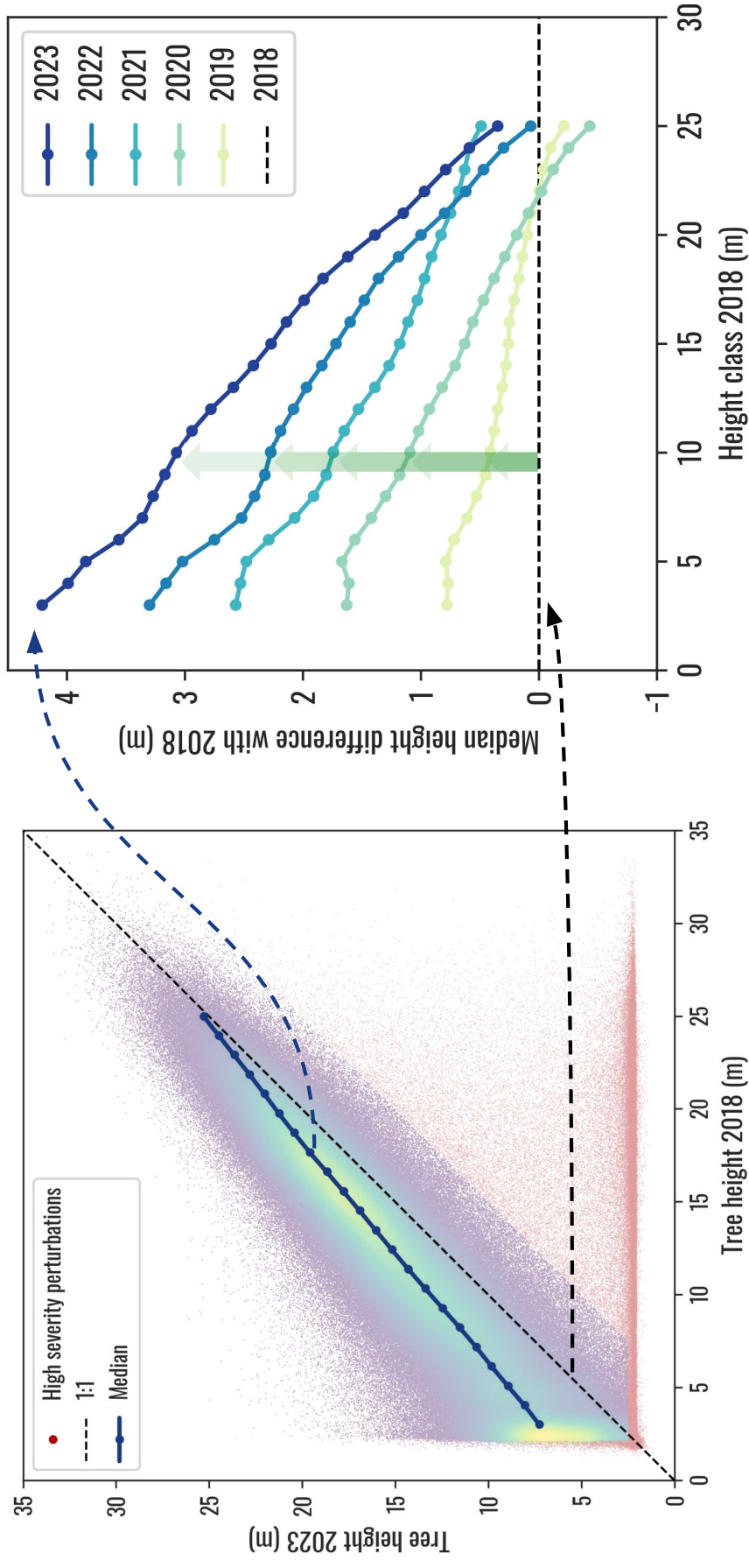
Forêt des Landes

Evolution de la hauteur 2018→2023

Différence de hauteur

Application 1: Suivi des changements de hauteur et biomasse

Exemple dans la forêt des Landes



Application 2: Détection des perturbations

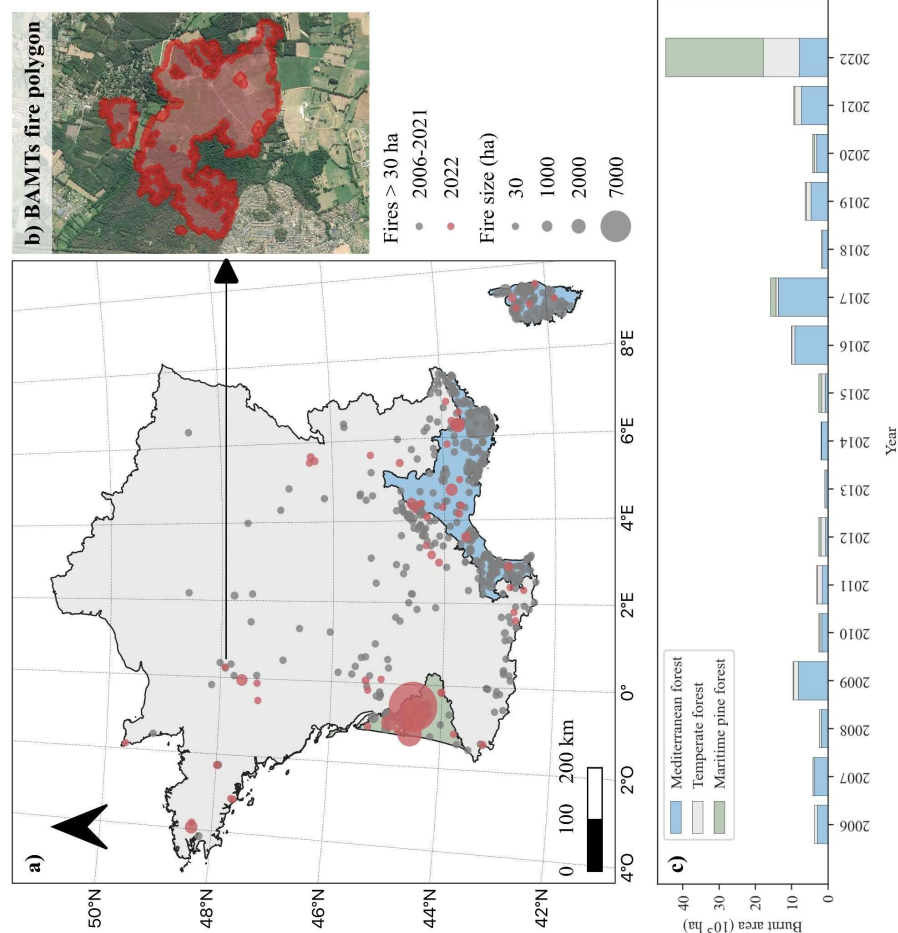


Forêt de la Teste de Buch (Landes)

Application 2: Détection des perturbations

Exemple

Incendies en France en 2022



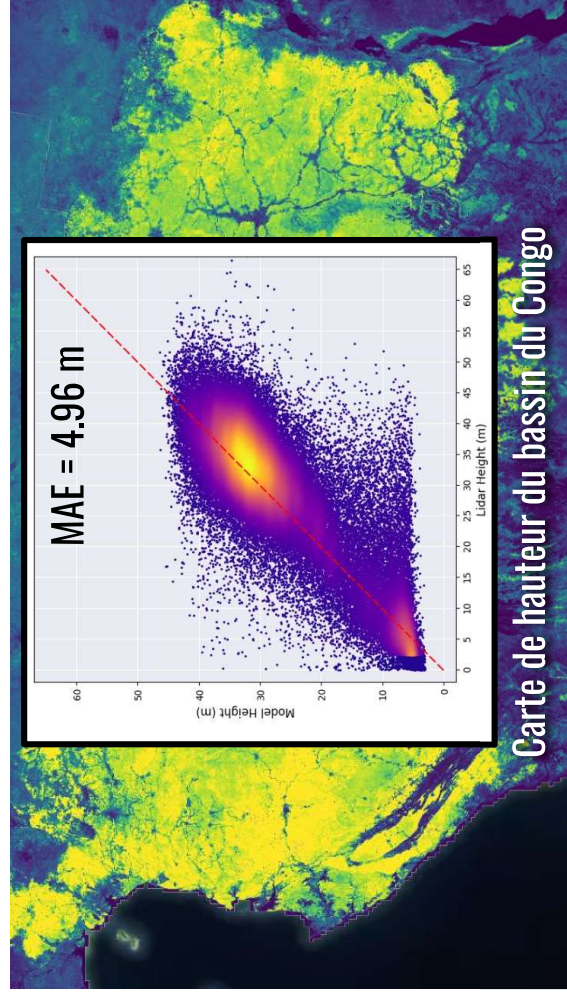
Perspectives : Des cartes de biomasse à haute résolution à l'échelle globale ?



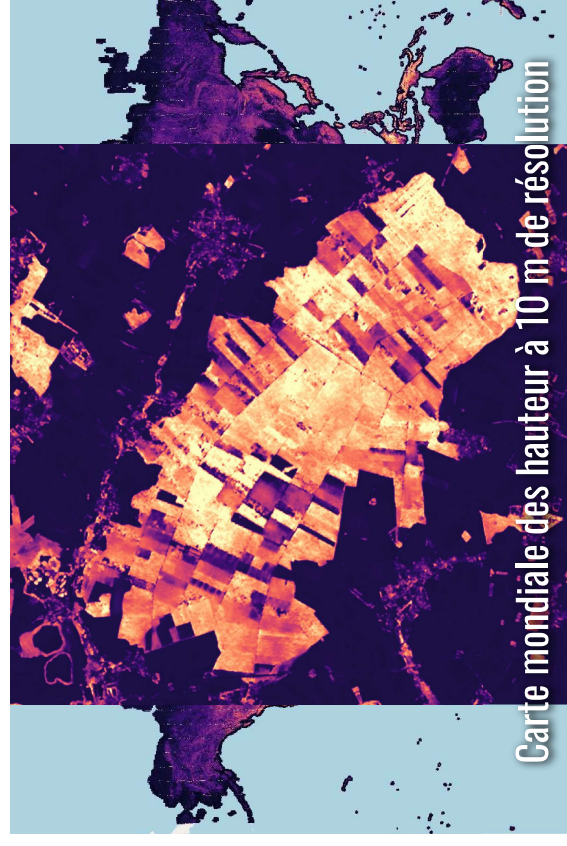
Collaboration avec Kayrros pour le suivi de
conservation des forêts tropicales



Collaboration avec l'Université de Münster



Carte de hauteur du bassin du Congo



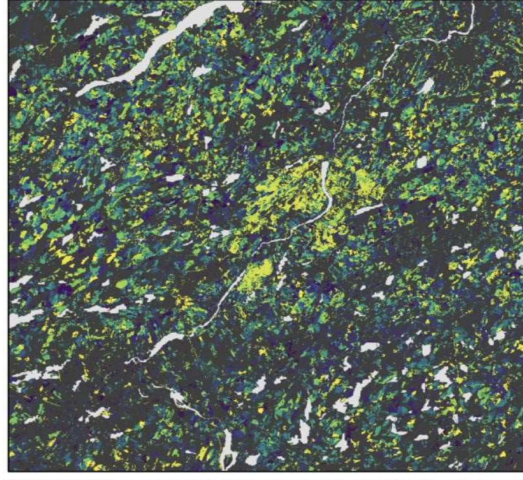
Carte mondiale des hauteur à 10 m de résolution

Que peut-on faire d'autre avec les satellites ?

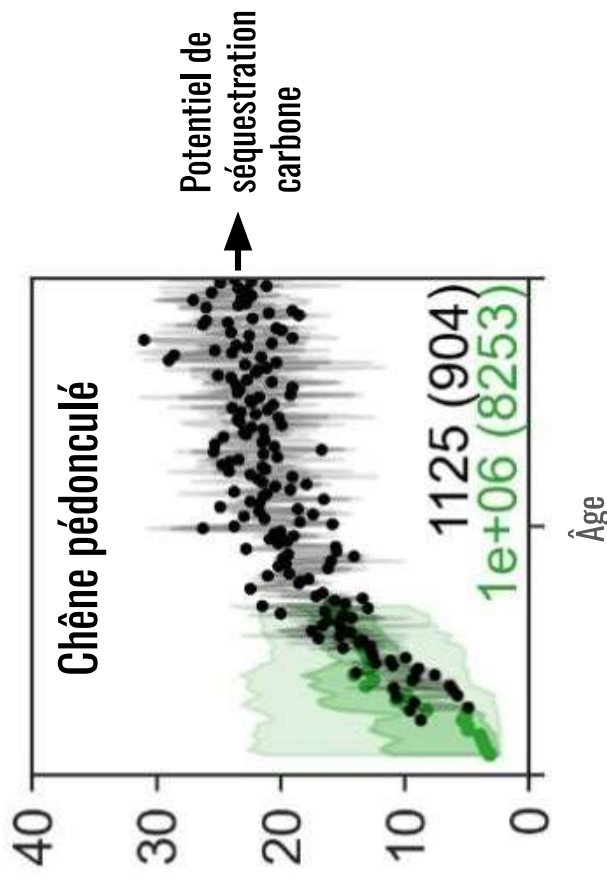
Carte de la biomasse actuelle + l'historique des perturbations



Taux de récupération et potentiel de séquestration carbone



Senf and Seidl (2020)

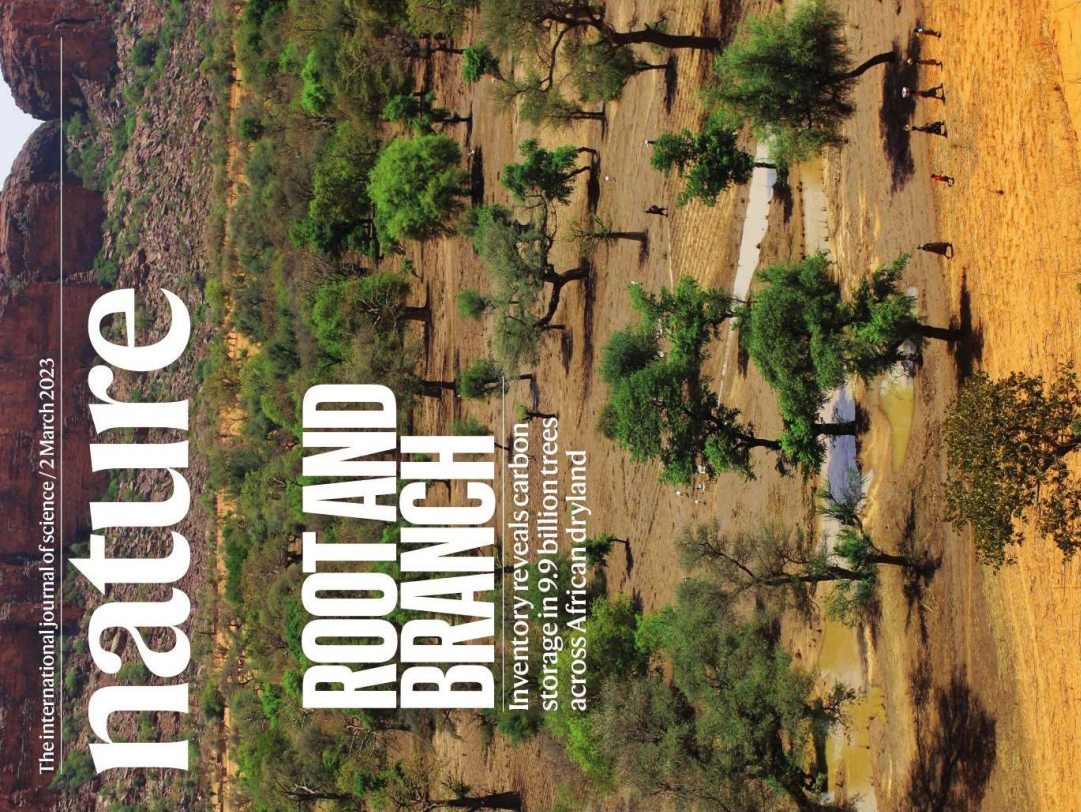


Pellissier Tanon et al. (2024)

nature

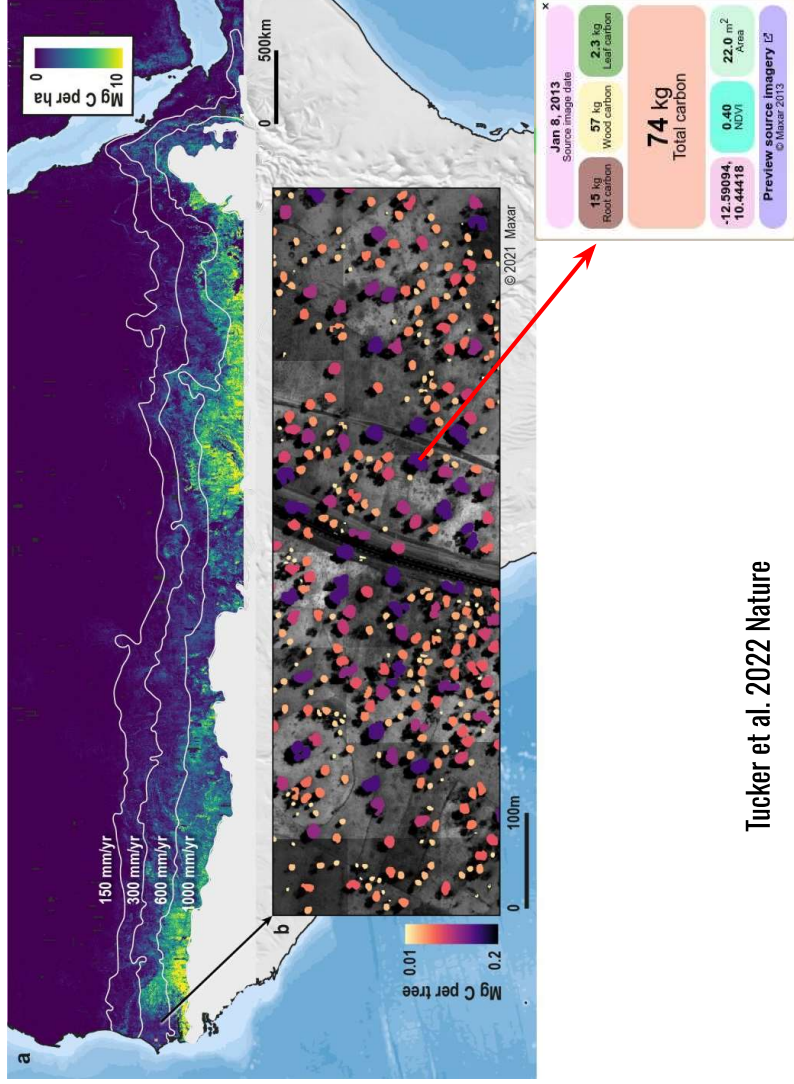
ROOT AND BRANCH

Inventory reveals carbon storage in 9.9 billion trees across African dryland



Estimation du stock de carbone arbre par arbre

→ Estimation de stocks de carbone qui ne sont pas pris en compte par les normes internationales

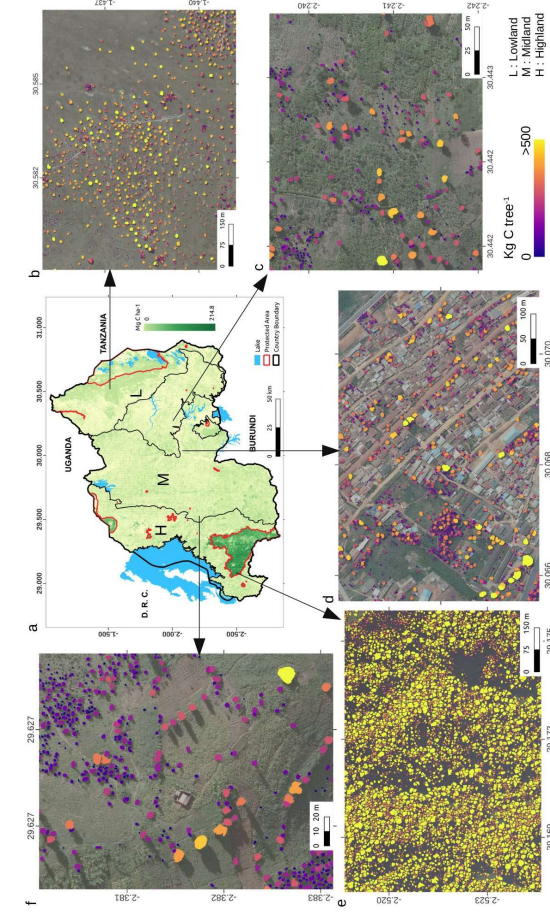


Tucker et al. 2022 Nature

Stocks de carbone arbre par arbre : Implémentation au Rwanda

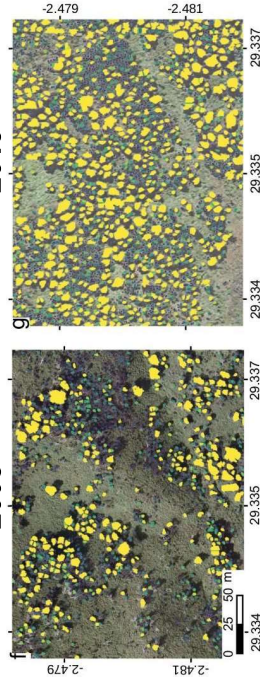
Stocks de carbone du Rwanda au niveau du pays entier en agrégeant les données obtenues arbre par arbre

Travail avec les autorités forestières au Rwanda pour intégrer cette approche dans la système nationale de surveillance des forêts



2008

2019

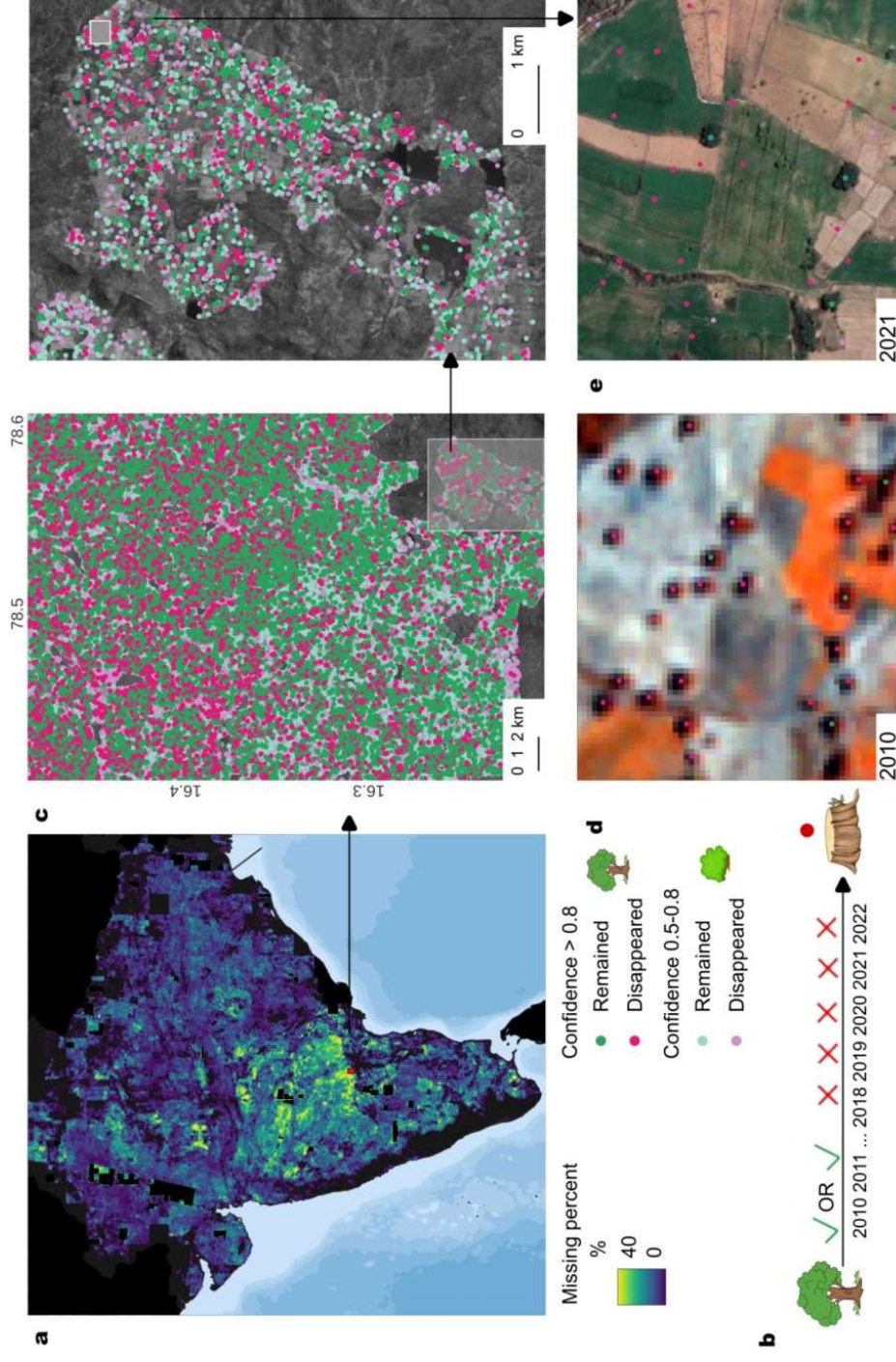


Changement au niveau de l'arbre sur 11 ans dans des forêts dégradées au Rwanda

Mugabowindeke et al. 2022 Nature Climate Change

Évolution de la biomasse des arbres entre 2008 et 2019 en Inde

- Rapideye (2010-11) et Planet Scope (2018-22)
- Forte diminution des grands arbres agroforestiers en Inde au cours de la dernière décennie
- Plus de 36 millions de grands arbres ont disparu en une dizaine d'années

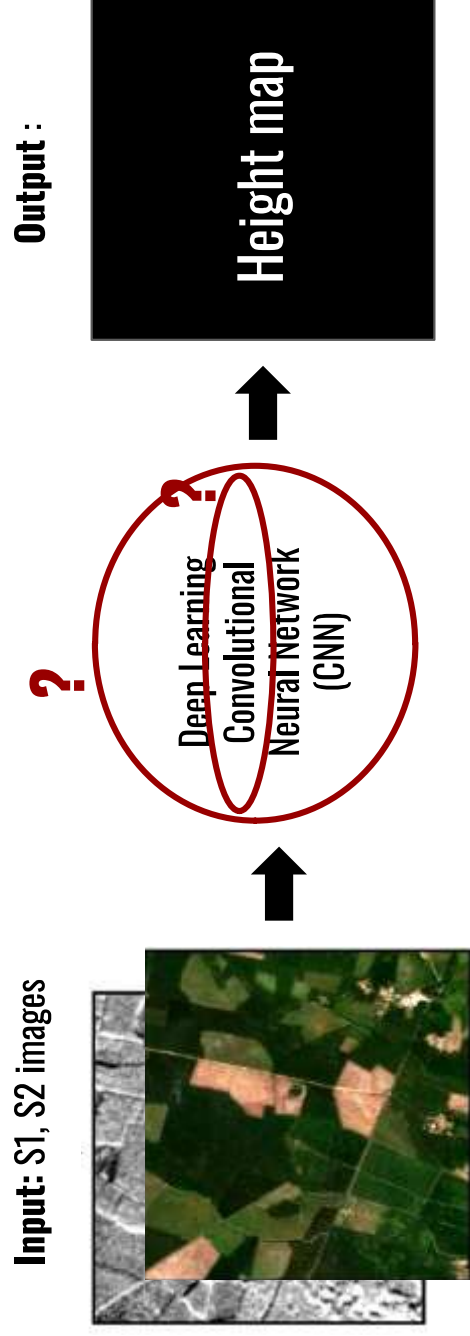


Brandt et al., in prep

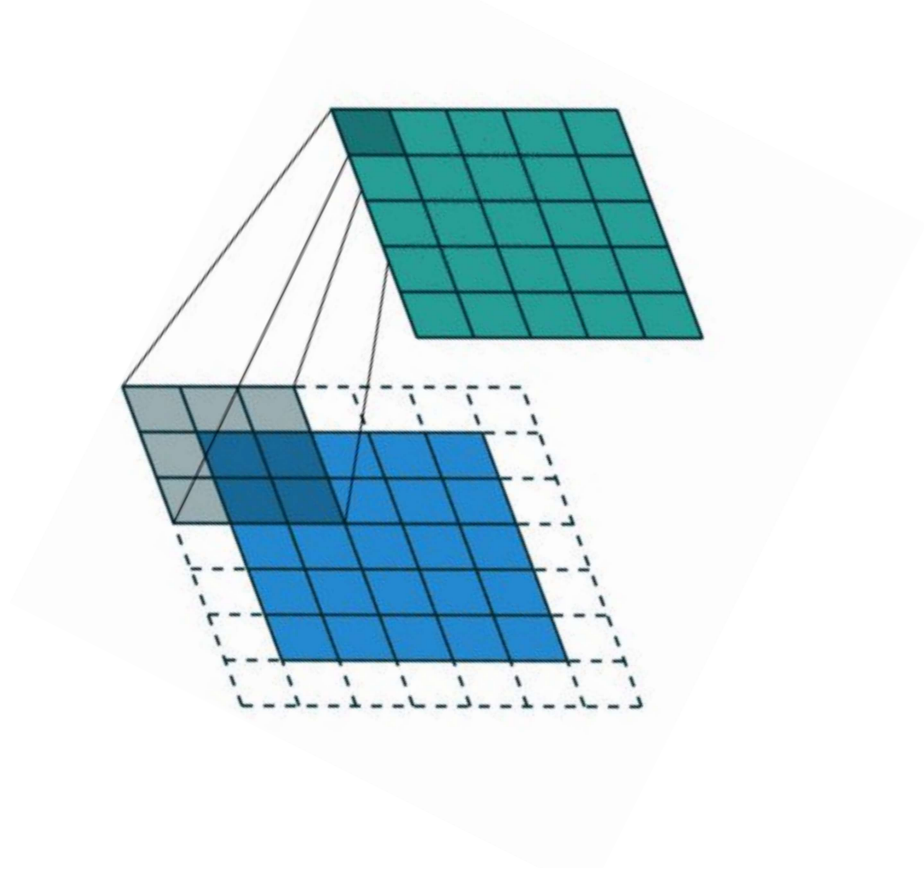
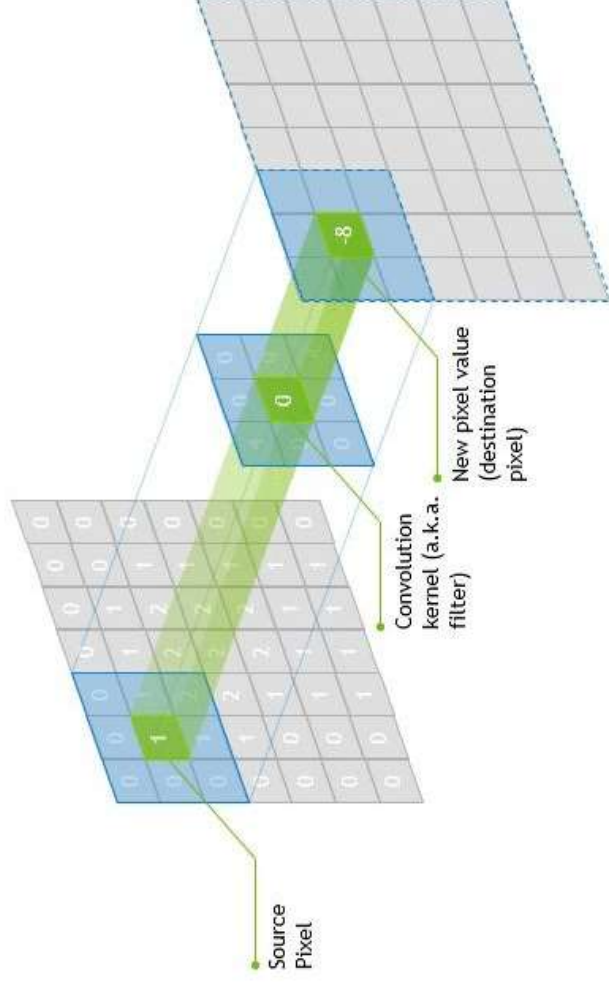
Merci pour votre attention

martin.schwartz@lsce.ipsl.fr

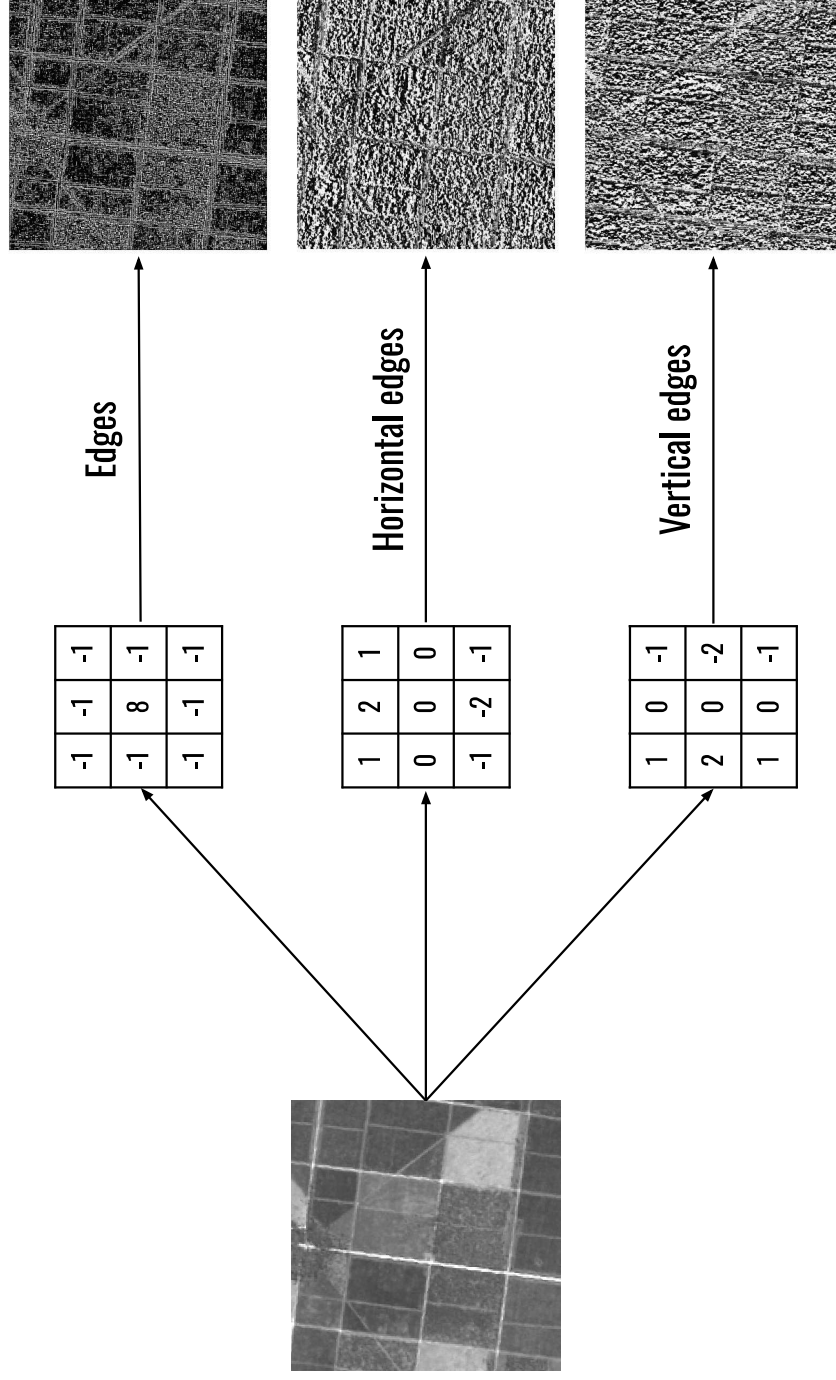
Methods: How to create our high resolution height-map ?



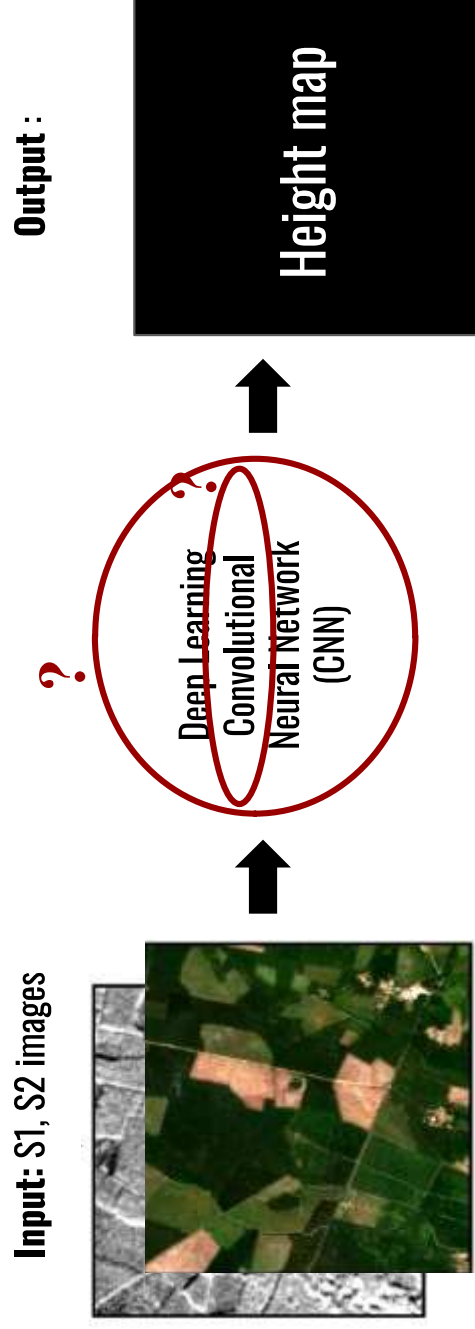
What is a Convolution ?



What is a Convolution ?



Methods: How to create our high resolution height-map ?

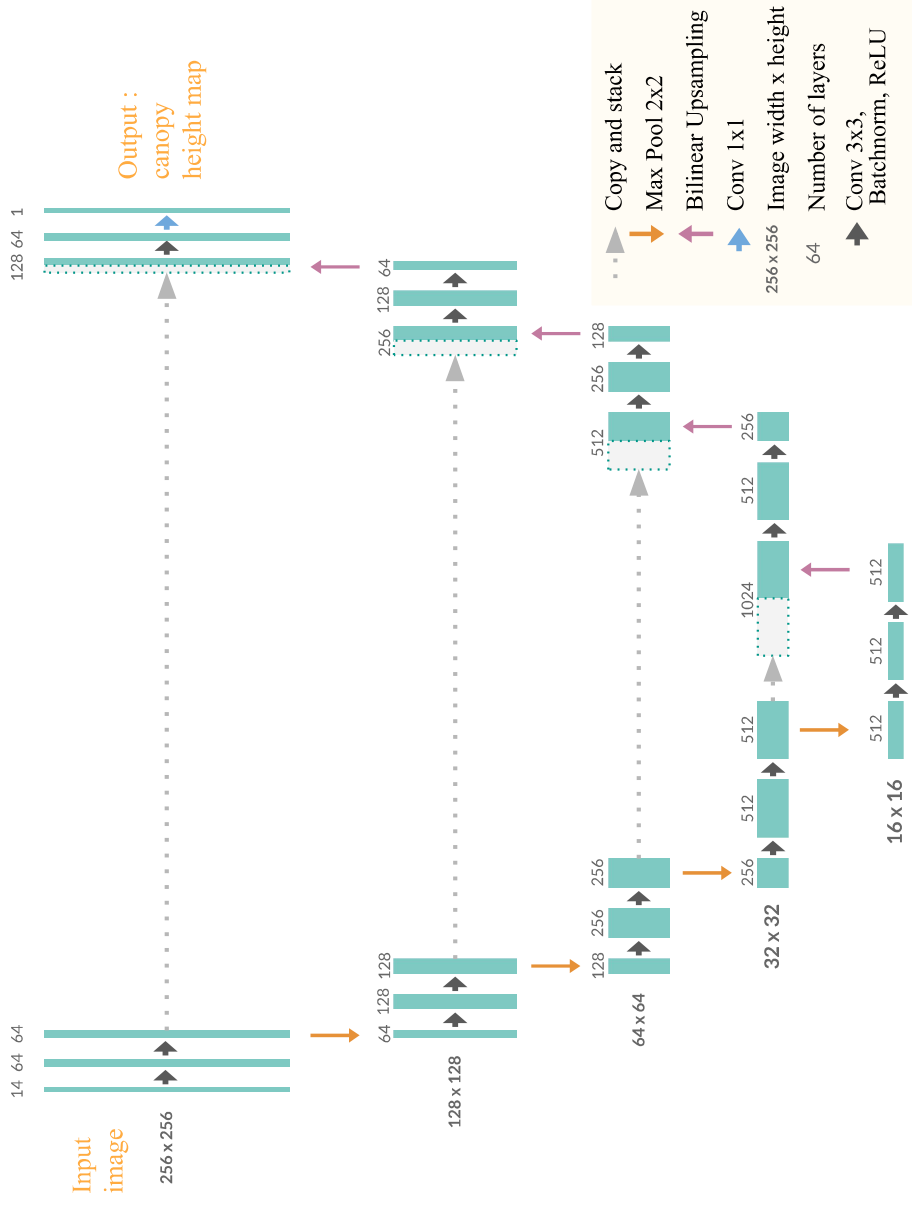


- Designed in 2015 for medical image segmentation

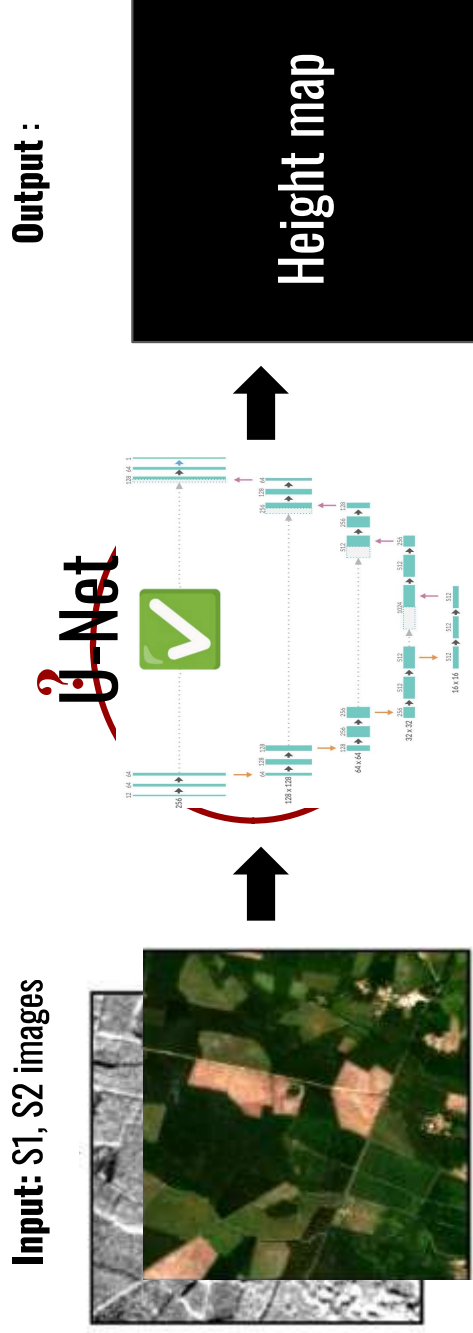
- **Outperforms classical ML algorithms**

- Learn from multi-scale image **texture** and **context**

- ~ 17 Million of weights



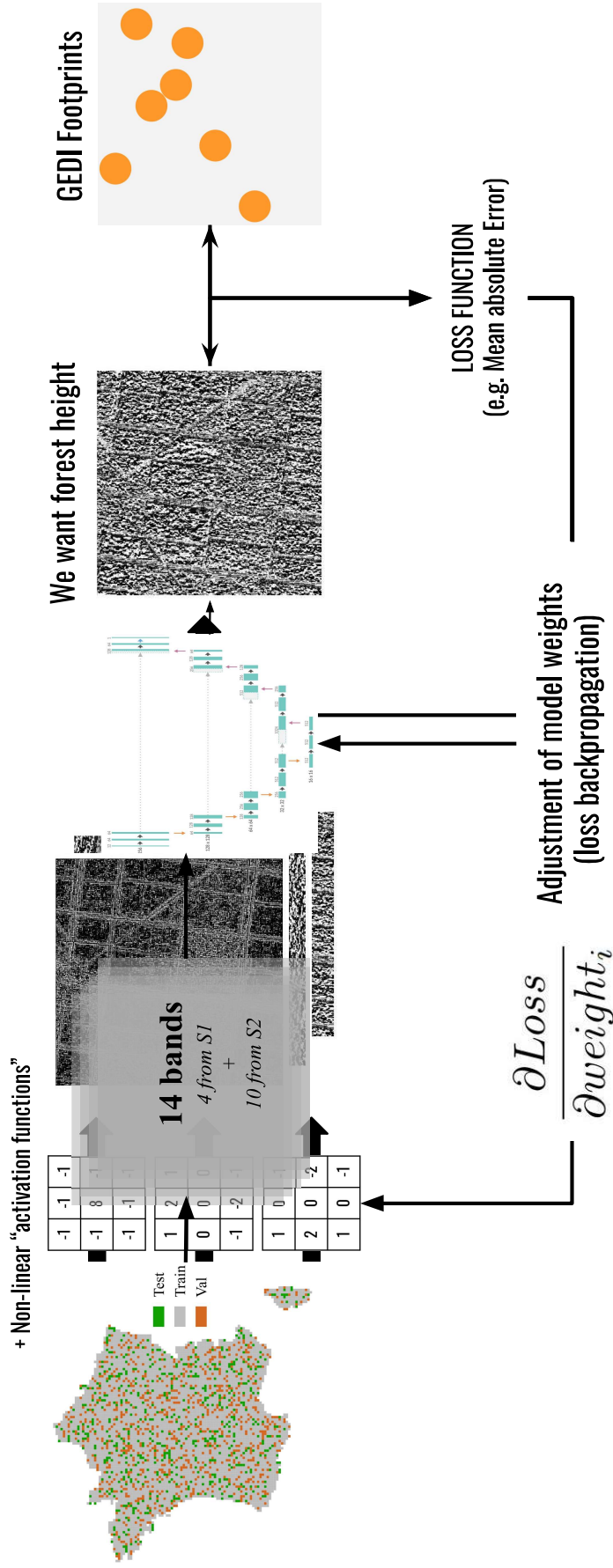
Methods: How to create our high resolution height-map ?



Preprocessing:
Median composite cloud-free
image for the leaf-on season

Methods: Training process

Repeat ~ 10⁵ times to minimize the loss



Méthode pour passer à la biomasse

