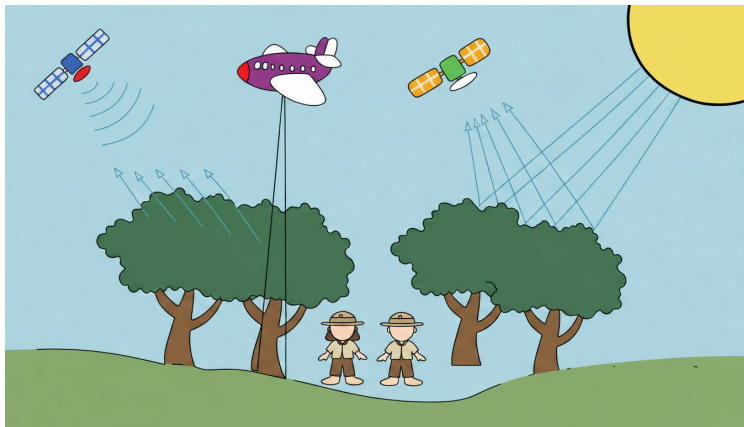


# Télédétection et IFN : vers un meilleur suivi de la biomasse aérienne forestière

**Nikola Besic** (LIF - IGN, ✉ [nikola.besic@ign.fr](mailto:nikola.besic@ign.fr) 🌐 [nbesic.github.io](https://nbesic.github.io) 🐦 [@nikobesic.bsky.social](https://twitter.com/nikobesic.bsky.social)),  
Martin Schwartz, Selim Behloul, Yang Su, Cédric Vega, Henri Cuny, Amaël Le Squin, et Philippe Ciais

Journées annuelles  
du PEPR FairCarbon,  
Le Croisic, le 5 Novembre 2025

"POUR UNE SCIENCE BELLE,  
UTILE ET PARTAGÉE."

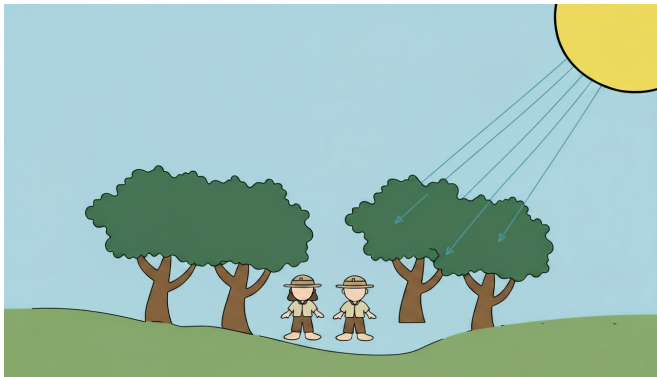


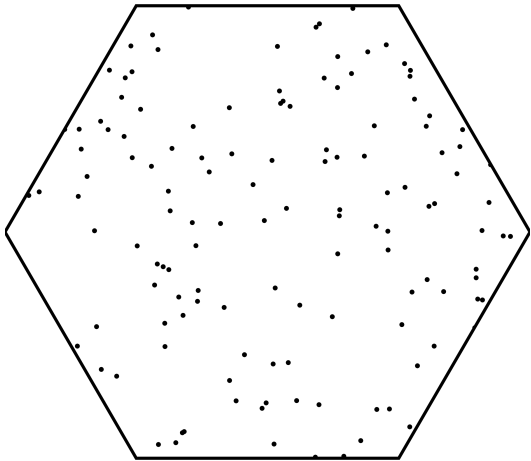
IFN

Télédétection

Télédétection + IFN

...





## Estimations de l'Inventaire Forestier National (IFN) :

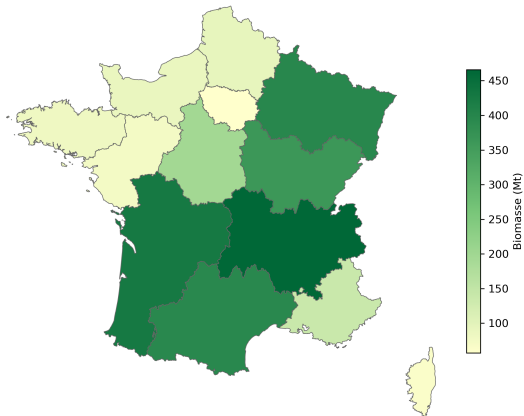
- Échantillon spatial aléatoire, conditionné par la photo-interprétation
- Mesures locales des hauteurs, diamètres, etc., permettant d'estimer localement le stock de volume de bois, de biomasse aérienne, etc.

Projet financé par Alamod (voir le poster d'Amaël Le Squin : "J'aime les arbres, du tronc à l'équation")

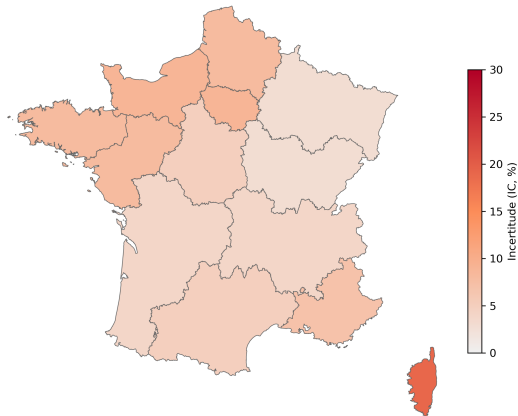
- Inférence de ces variables pour des territoires allant de **l'échelle nationale aux régions administratives, départements, etc.**
- Pas de biais, mais **une variance de l'échantillonnage (incertitude) potentiellement importante**

## Inférence des stocks par région (2020 - 2024) :

Biomasse (aérienne + racinaire)



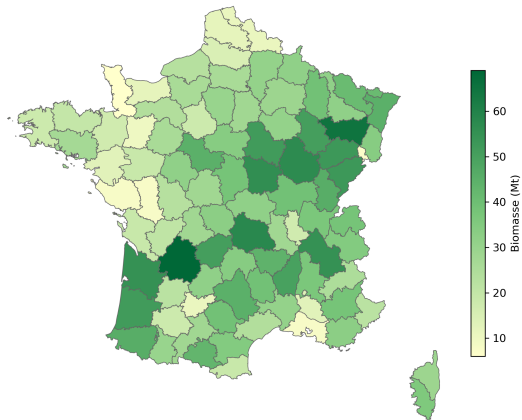
Incertitude



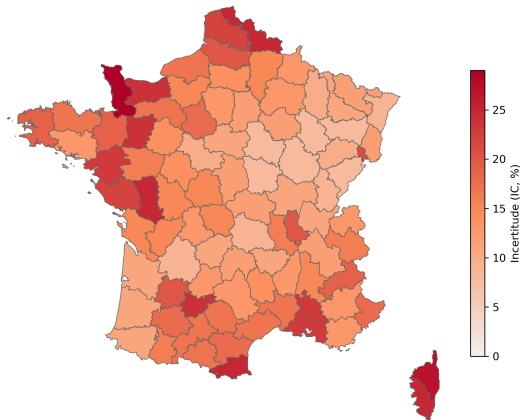


## Inférence des stocks par département (2020 - 2024) :

Biomasse (aérienne + racinaire)

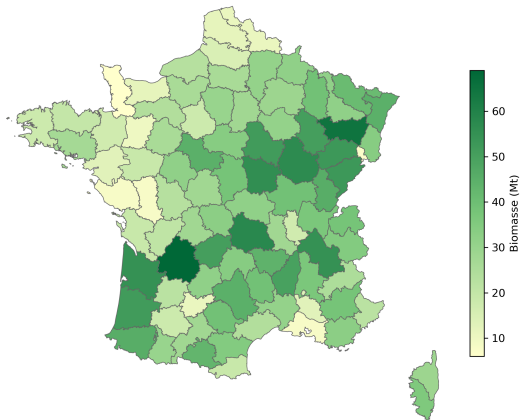


Incertitude

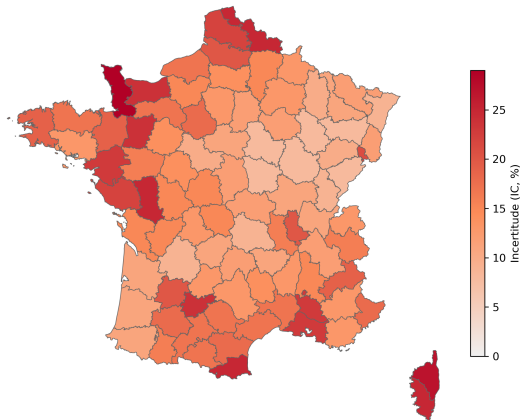


## Inférence des stocks par département (2020 - 2024) :

Biomasse (aérienne + racinaire)



Incertitude



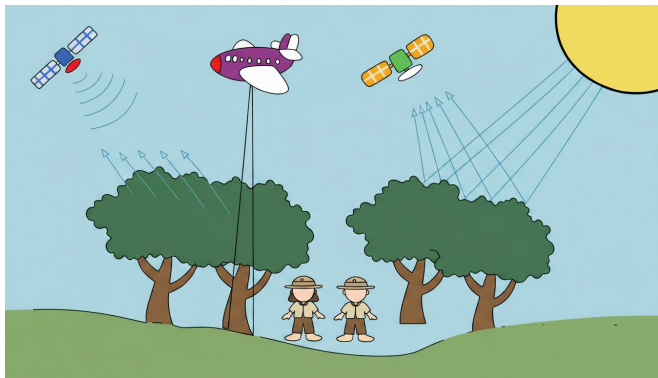
Et si on veut un rapportage annuel - à cause des perturbations etc. - ET voir ce qui se passe à l'échelle des massifs forestiers, des communautés de communes, etc. ?

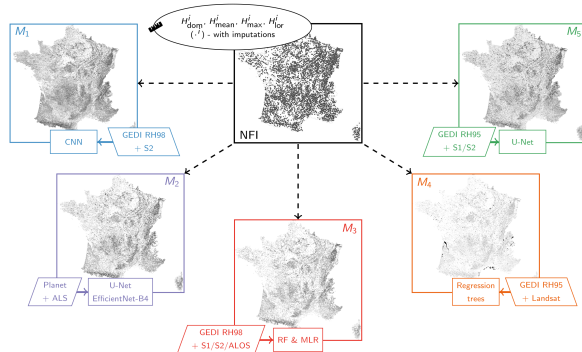
IFN

Télédétection

Télédétection + IFN

...





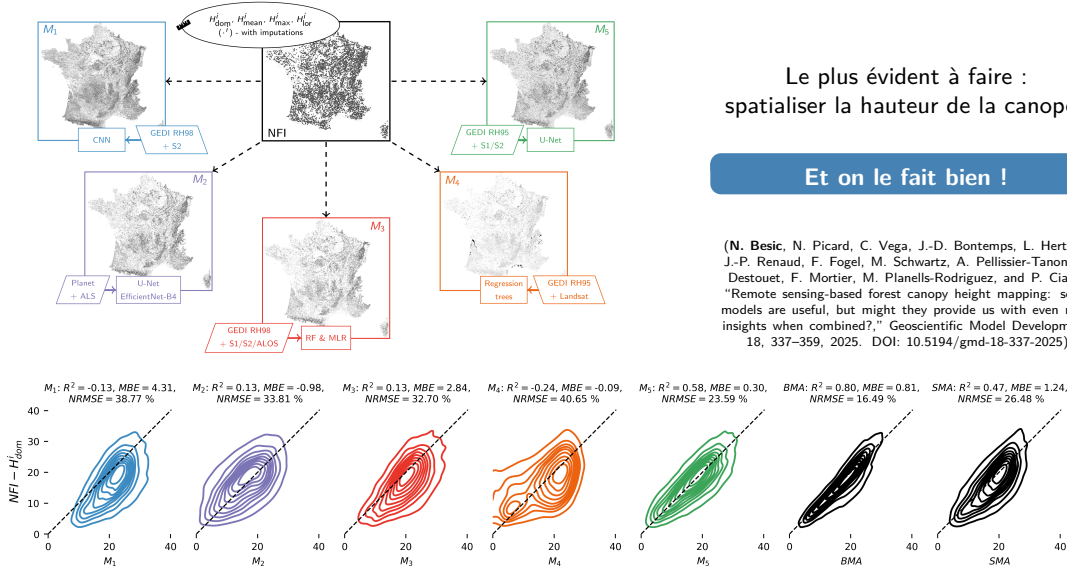
Le plus évident à faire :  
spatialiser la hauteur de la canopée

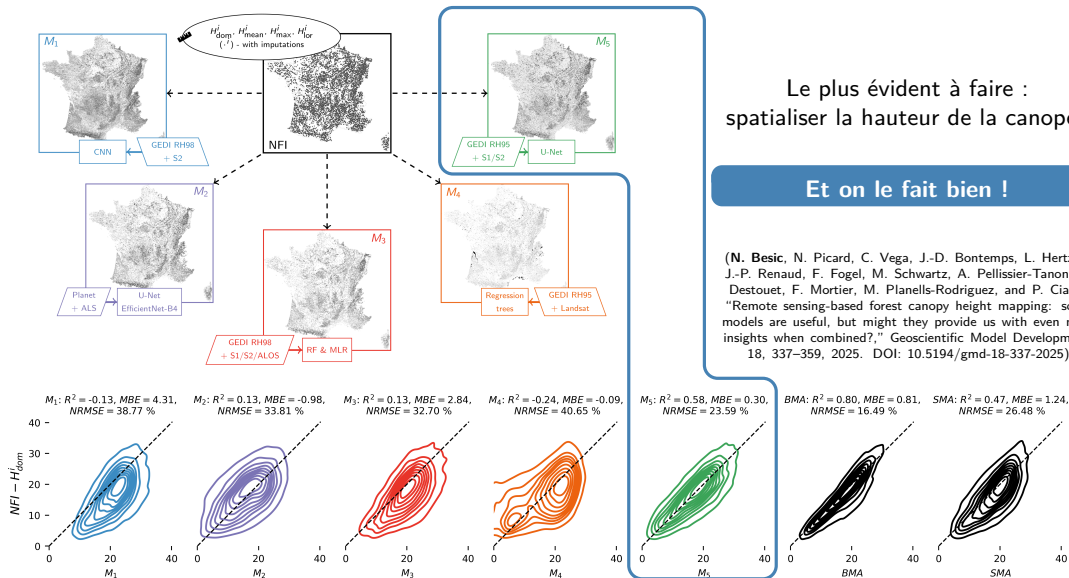
(N. Besic, N. Picard, C. Vega, J.-D. Bontemps, L. Hertzog, J.-P. Renaud, F. Fogel, M. Schwartz, A. Pellissier-Tanon, G. Destouet, F. Mortier, M. Planells-Rodriguez, and P. Ciais, "Remote sensing-based forest canopy height mapping: some models are useful, but might they provide us with even more insights when combined?," Geoscientific Model Development, 18, 337–359, 2025. DOI: 10.5194/gmd-18-337-2025)

Le plus évident à faire :  
spatialiser la hauteur de la canopée

Et on le fait bien !

(N. Besic, N. Picard, C. Vega, J.-D. Bontemps, L. Hertzog, J.-P. Renaud, F. Fogel, M. Schwartz, A. Pellissier-Tanon, G. Destouet, F. Mortier, M. Planells-Rodriguez, and P. Ciais, "Remote sensing-based forest canopy height mapping: some models are useful, but might they provide us with even more insights when combined?," *Geoscientific Model Development*, 18, 337–359, 2025. DOI: 10.5194/gmd-18-337-2025)

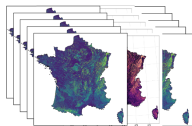




Le plus évident à faire :  
spatialiser la hauteur de la canopée

Et on le fait bien !

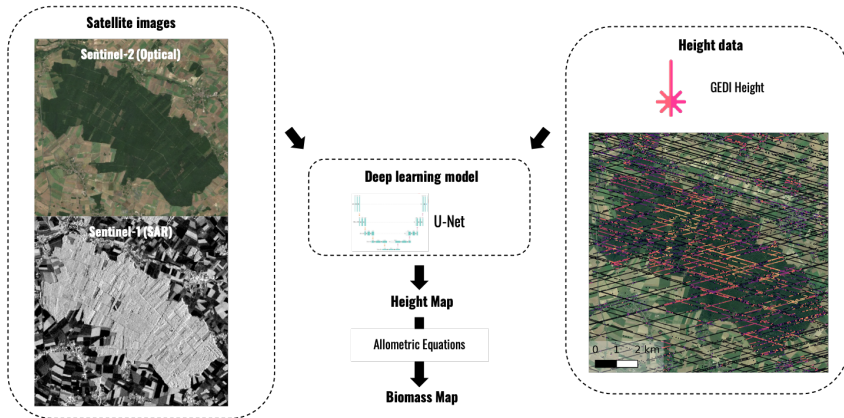
(N. Besic, N. Picard, C. Vega, J.-D. Bontemps, L. Hertzog, J.-P. Renaud, F. Fogel, M. Schwartz, A. Pellissier-Tanon, G. Destouet, F. Mortier, M. Planells-Rodriguez, and P. Ciais, "Remote sensing-based forest canopy height mapping: some models are useful, but might they provide us with even more insights when combined?," Geoscientific Model Development, 18, 337–359, 2025. DOI: 10.5194/gmd-18-337-2025)

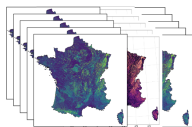


### FORMS-T

Height, Biomass, Wood Volume for  
2018-2024

(M. Schwartz, P. Ciais, E. Sean, A. de Truchis, C. Vega, N. Besic, I. Fayad, J.-P. Wigneron, S. Brood, A. Pelissier-Tanon, J. Pauls, G. Belouze, and Y. Xu, "Retrieving yearly forest growth from satellite data: A deep learning based approach," Remote Sensing of Environment, Volume 330, 2025. DOI: 10.1016/j.rse.2025.114959)

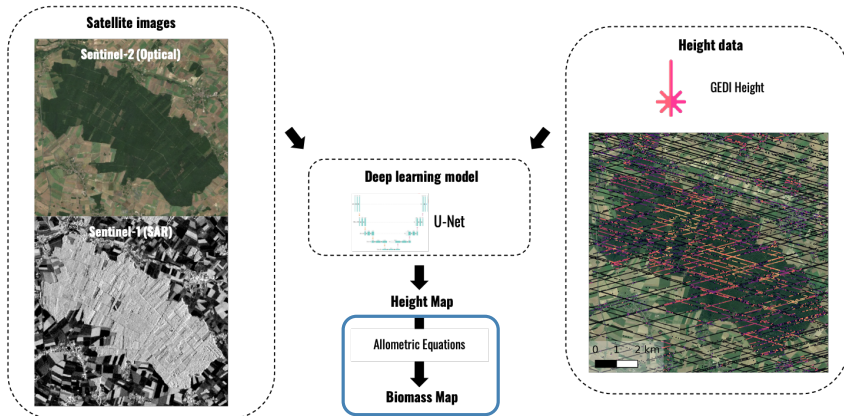




### FORMS-T

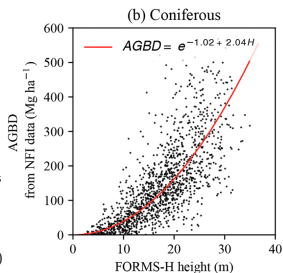
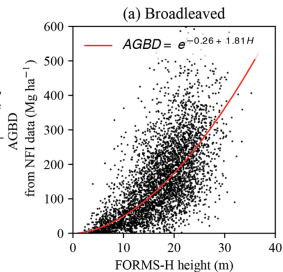
Height, Biomass, Wood Volume for  
2018-2024

(M. Schwartz, P. Ciais, E. Sean, A. de Truchis, C. Vega, N. Besic, I. Fayad, J.-P. Wigneron, S. Brood, A. Pelissier-Tanon, J. Pauls, G. Belouze, and Y. Xu, "Retrieving yearly forest growth from satellite data: A deep learning based approach," Remote Sensing of Environment, Volume 330, 2025. DOI: 10.1016/j.rse.2025.114959)

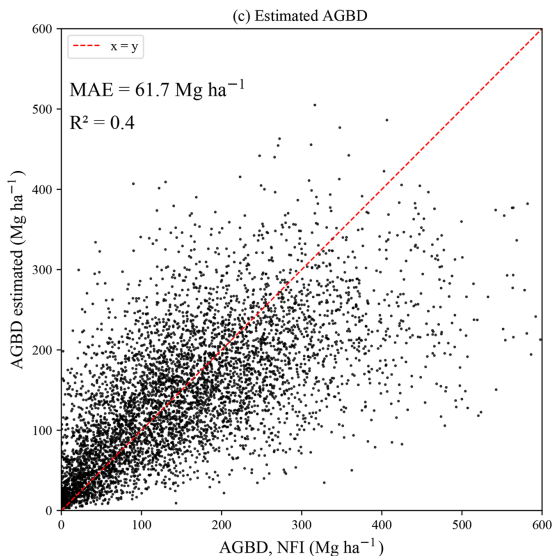




(M. Schwartz, et al.: FORMS: Forest Multiple Source height, wood volume, and biomass maps in France at 10 to 30 m resolution based on Sentinel-1, Sentinel-2, and Global Ecosystem Dynamics Investigation (GEDI) data with a deep learning approach, Earth Syst. Sci. Data, 15, 4927–4945, 2023, DOI: 10.5194/essd-15-4927-2023)

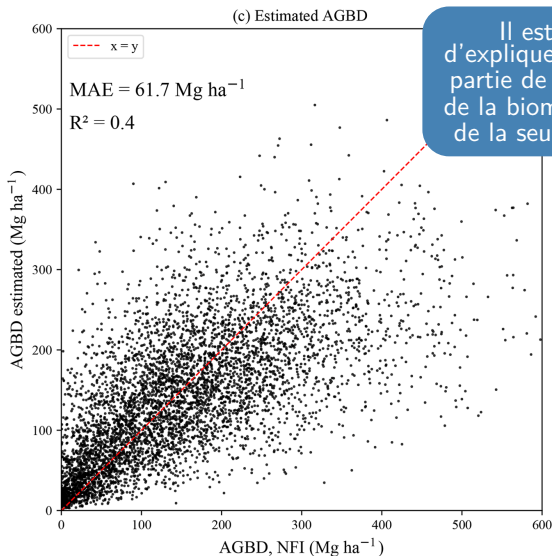
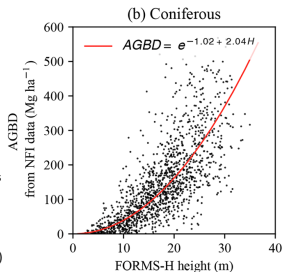
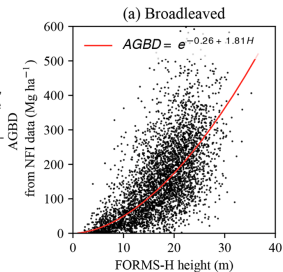


(Y. Su, M. Schwartz, I. Fayad, M. Garcia, M. Zavala, J. Tijerin-Trivino, J. Astigarraga, V. Cruz-Alonso, S. Liu, X. Zhang, S. Chen, F. Ritter, N. Besic, A. d'Aspremont, and P. Ciais, "Canopy height and biomass distribution across the forests of Iberian peninsula," Nature Research - Scientific Data, 12, 678, 2025. DOI: 10.1038/s41597-025-05021-9)



(M. Schwartz, et al.: FORMS: Forest Multiple Source height, wood volume, and biomass maps in France at 10 to 30 m resolution based on Sentinel-1, Sentinel-2, and Global Ecosystem Dynamics Investigation (GEDI) data with a deep learning approach, Earth Syst. Sci. Data, 15, 4927–4945, 2023, DOI: 10.5194/essd-15-4927-2023)

(Y. Su, M. Schwartz, I. Fayad, M. Garcia, M. Zavala, J. Tijerin-Trivino, J. Astigarraga, V. Cruz-Alonso, S. Liu, X. Zhang, S. Chen, F. Ritter, N. Besic, A. d'Aspremont, and P. Ciais, "Canopy height and biomass distribution across the forests of Iberian peninsula," Nature Research - Scientific Data, 12, 678, 2025. DOI: 10.1038/s41597-025-05021-9)



Il est difficile d'expliquer une grande partie de la variabilité de la biomasse à partir de la seule hauteur...

## Open-Canopy project



**Lidar HD**



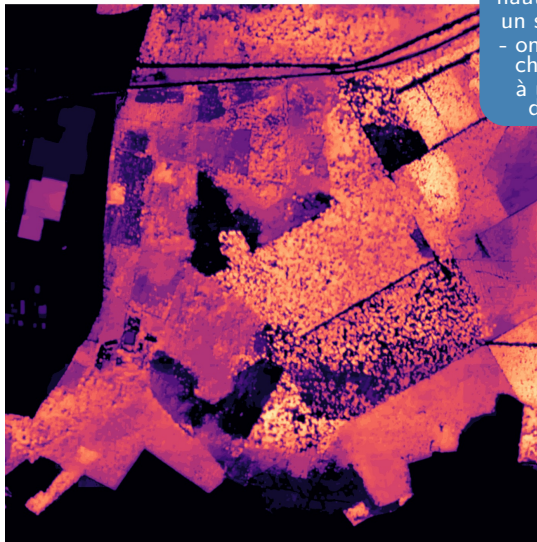
**Vision transformer model**



**SPOT**

(F. Fogel, Y. Perron, **N. Besic**, L. Saint-André, A. Pellissier-Tanon, M. Schwartz, T. Boudras, I. Fayad, A. d'Aspremont, L. Landrieu, and P. Ciais, "Open-Canopy: Towards Very High Resolution Forest Monitoring," Proceedings of the Computer Vision and Pattern Recognition Conference (CVPR), pp. 1395-1406, 2025.)

2014



En attendant, la hauteur fait déjà un super boulot - on détecte des changements à une échelle de 1,5 m !

## Open-Canopy project



**Lidar HD**



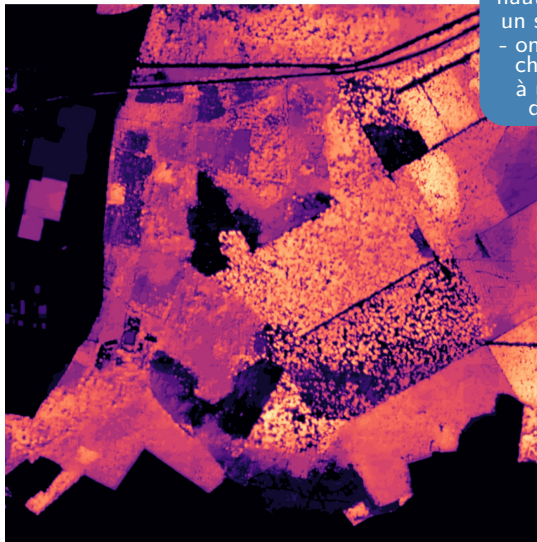
**Vision transformer model**



**SPOT**

(F. Fogel, Y. Perron, **N. Besic**, L. Saint-André, A. Pellissier-Tanon, M. Schwartz, T. Boudras, I. Fayad, A. d'Aspremont, L. Landrieu, and P. Ciais, "Open-Canopy: Towards Very High Resolution Forest Monitoring," Proceedings of the Computer Vision and Pattern Recognition Conference (CVPR), pp. 1395-1406, 2025.)

2015



En attendant, la hauteur fait déjà un super boulot - on détecte des changements à une échelle de 1,5 m !

## Open-Canopy project



**Lidar HD**



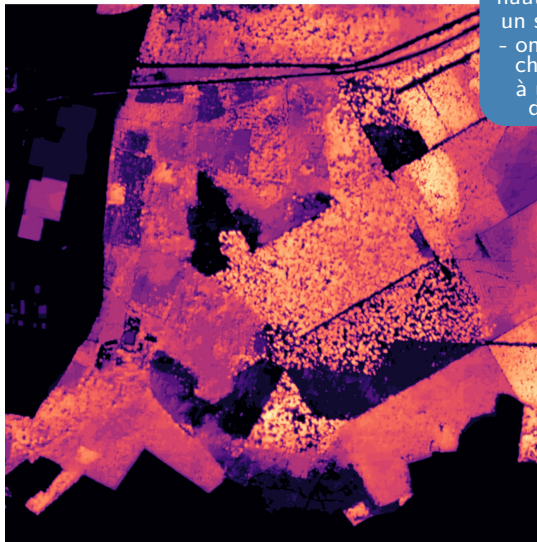
**Vision transformer model**



**SPOT**

(F. Fogel, Y. Perron, **N. Besic**, L. Saint-André, A. Pellissier-Tanon, M. Schwartz, T. Boudras, I. Fayad, A. d'Aspremont, L. Landrieu, and P. Ciais, "Open-Canopy: Towards Very High Resolution Forest Monitoring," Proceedings of the Computer Vision and Pattern Recognition Conference (CVPR), pp. 1395-1406, 2025.)

2016



En attendant, la hauteur fait déjà un super boulot - on détecte des changements à une échelle de 1,5 m !

## Open-Canopy project



**Lidar HD**



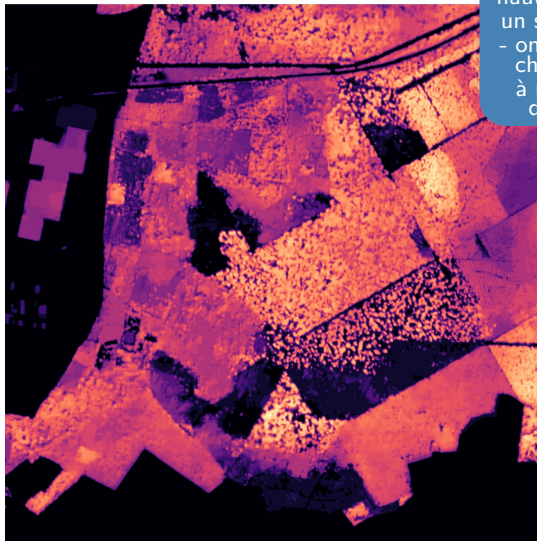
**Vision transformer model**



**SPOT**

(F. Fogel, Y. Perron, **N. Besic**, L. Saint-André, A. Pellissier-Tanon, M. Schwartz, T. Boudras, I. Fayad, A. d'Aspremont, L. Landrieu, and P. Ciais, "Open-Canopy: Towards Very High Resolution Forest Monitoring," Proceedings of the Computer Vision and Pattern Recognition Conference (CVPR), pp. 1395-1406, 2025.)

2017



En attendant, la hauteur fait déjà un super boulot - on détecte des changements à une échelle de 1,5 m !

## Open-Canopy project



**Lidar HD**



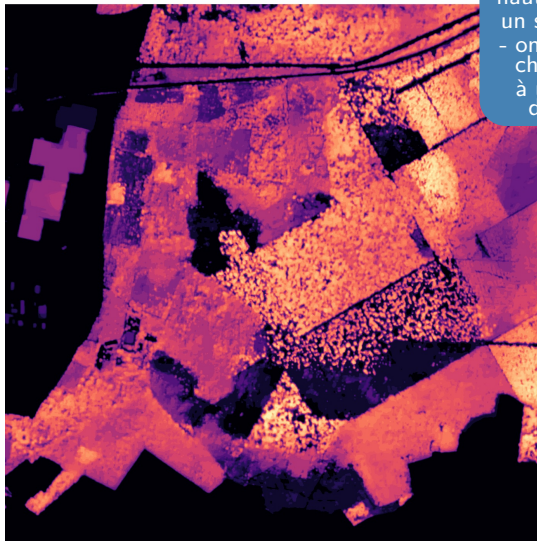
**Vision transformer model**



**SPOT**

(F. Fogel, Y. Perron, **N. Besic**, L. Saint-André, A. Pellissier-Tanon, M. Schwartz, T. Boudras, I. Fayad, A. d'Aspremont, L. Landrieu, and P. Ciais, "Open-Canopy: Towards Very High Resolution Forest Monitoring," Proceedings of the Computer Vision and Pattern Recognition Conference (CVPR), pp. 1395-1406, 2025.)

2018



En attendant, la hauteur fait déjà un super boulot - on détecte des changements à une échelle de 1,5 m !



## Open-Canopy project



**Lidar HD**



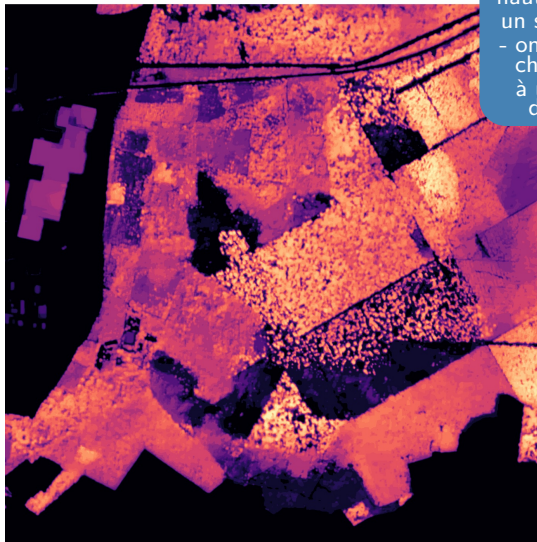
**Vision transformer model**



**SPOT**

(F. Fogel, Y. Perron, **N. Besic**, L. Saint-André, A. Pellissier-Tanon, M. Schwartz, T. Boudras, I. Fayad, A. d'Aspremont, L. Landrieu, and P. Ciais, "Open-Canopy: Towards Very High Resolution Forest Monitoring," Proceedings of the Computer Vision and Pattern Recognition Conference (CVPR), pp. 1395-1406, 2025.)

2019



En attendant, la hauteur fait déjà un super boulot - on détecte des changements à une échelle de 1,5 m !



## Open-Canopy project



**Lidar HD**



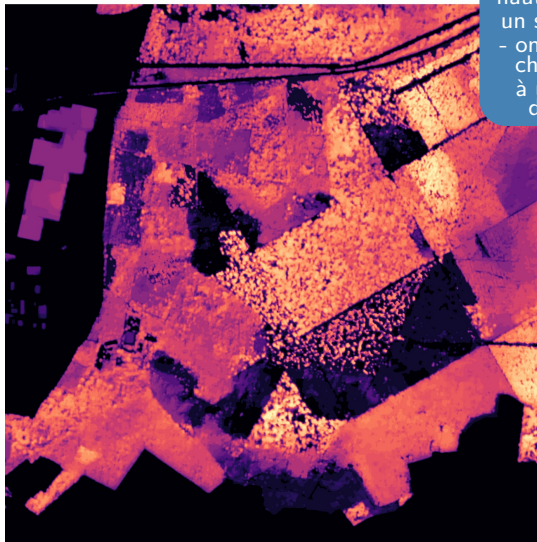
**Vision transformer model**



**SPOT**

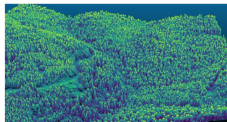
(F. Fogel, Y. Perron, **N. Besic**, L. Saint-André, A. Pellissier-Tanon, M. Schwartz, T. Boudras, I. Fayad, A. d'Aspremont, L. Landrieu, and P. Ciais, "Open-Canopy: Towards Very High Resolution Forest Monitoring," Proceedings of the Computer Vision and Pattern Recognition Conference (CVPR), pp. 1395-1406, 2025.)

2020



En attendant, la hauteur fait déjà un super boulot - on détecte des changements à une échelle de 1,5 m !

## Open-Canopy project



**Lidar HD**



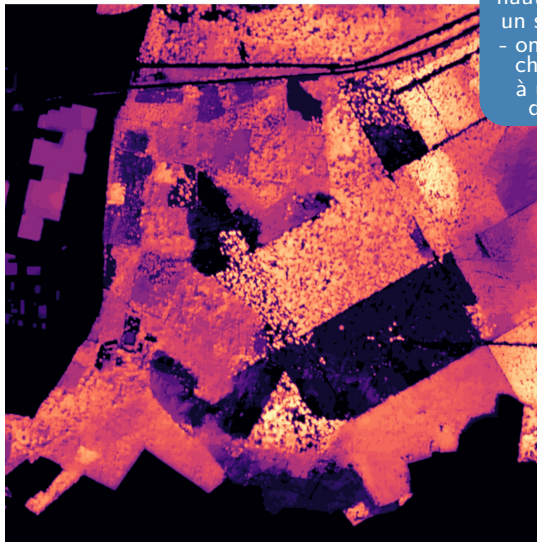
**Vision transformer model**



**SPOT**

(F. Fogel, Y. Perron, **N. Besic**, L. Saint-André, A. Pellissier-Tanon, M. Schwartz, T. Boudras, I. Fayad, A. d'Aspremont, L. Landrieu, and P. Ciais, "Open-Canopy: Towards Very High Resolution Forest Monitoring," Proceedings of the Computer Vision and Pattern Recognition Conference (CVPR), pp. 1395-1406, 2025.)

2021



En attendant, la hauteur fait déjà un super boulot - on détecte des changements à une échelle de 1,5 m !

## Open-Canopy project



**Lidar HD**



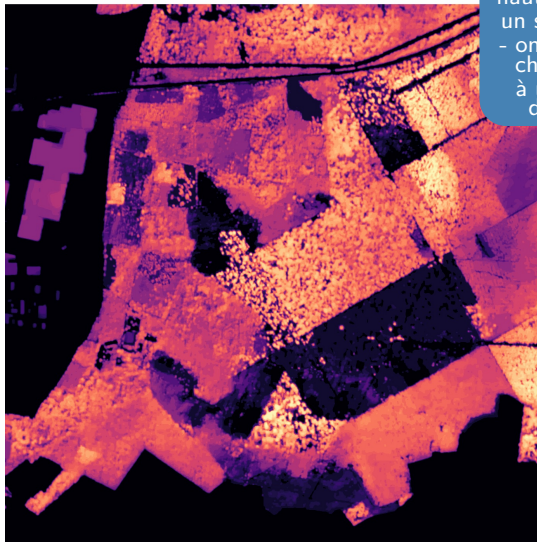
**Vision transformer model**



**SPOT**

(F. Fogel, Y. Perron, **N. Besic**, L. Saint-André, A. Pellissier-Tanon, M. Schwartz, T. Boudras, I. Fayad, A. d'Aspremont, L. Landrieu, and P. Ciais, "Open-Canopy: Towards Very High Resolution Forest Monitoring," Proceedings of the Computer Vision and Pattern Recognition Conference (CVPR), pp. 1395-1406, 2025.)

2022



En attendant, la hauteur fait déjà un super boulot - on détecte des changements à une échelle de 1,5 m !

## Open-Canopy project



**Lidar HD**



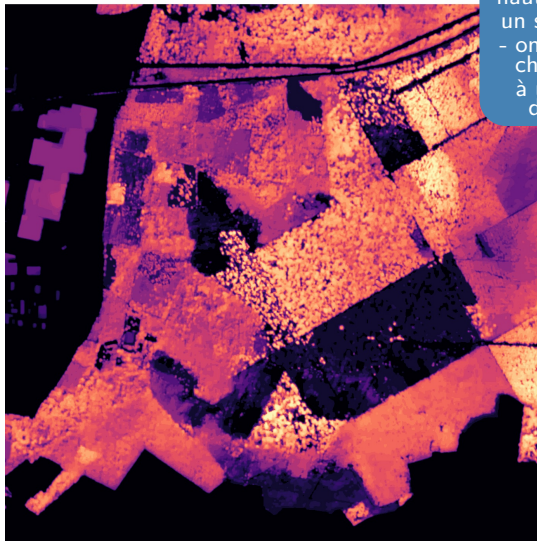
**Vision transformer model**



**SPOT**

(F. Fogel, Y. Perron, **N. Besic**, L. Saint-André, A. Pellissier-Tanon, M. Schwartz, T. Boudras, I. Fayad, A. d'Aspremont, L. Landrieu, and P. Ciais, "Open-Canopy: Towards Very High Resolution Forest Monitoring," Proceedings of the Computer Vision and Pattern Recognition Conference (CVPR), pp. 1395-1406, 2025.)

2023



En attendant, la hauteur fait déjà un super boulot - on détecte des changements à une échelle de 1,5 m !

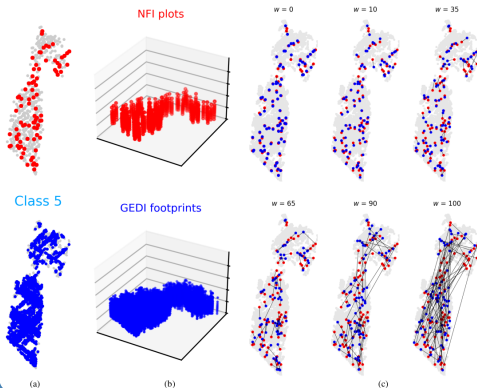
Comment améliorer la spatialisation de la biomasse en France métropolitaine ?

# Comment améliorer la spatialisation de la biomasse en France métropolitaine ?

IEEE JOURNAL OF SELECTED TOPICS IN APPLIED EARTH OBSERVATIONS AND REMOTE SENSING

## A pairing by structural class as a way to handle the spatial mismatch between GEDI lidar measurements and the National Forest Inventory plots?

Nikola Besic, Sylvie Durrieu, Anouk Schleich, and Cédric Vega

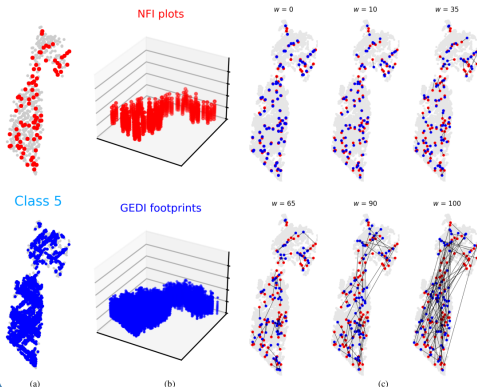


# Comment améliorer la spatialisation de la biomasse en France métropolitaine ?

IEEE JOURNAL OF SELECTED TOPICS IN APPLIED EARTH OBSERVATIONS AND REMOTE SENSING

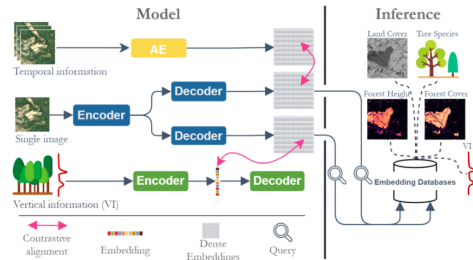
## A pairing by structural class as a way to handle the spatial mismatch between GEDI lidar measurements and the National Forest Inventory plots?

Nikola Besic , Sylvie Durrieu , Anouk Schleich , and Cédric Vega 



## DUNIA: Pixel-Sized Embeddings via Cross-Modal Alignment for Earth Observation Applications

Ibrahim Fayad<sup>1,2</sup>, Max Zimmer<sup>3</sup>, Martin Schwartz<sup>1</sup>, Fabian Gieseke<sup>4</sup>, Philippe Clais<sup>1</sup>, Gabriel Belouze<sup>1</sup>, Sarah Brood<sup>5</sup>, Aurelien De Truchis<sup>2</sup>, Alexandre d'Aspremont<sup>5,2</sup>



# Comment améliorer la spatialisation de la biomasse en France métropolitaine ?

Les meilleurs  
estimations sur  
les placettes IFN

-  
Alamod

+

+  
XyloDenseMap  
(le poster  
d'Amaël)



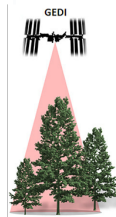
Lidar HD



Simulateur GEDI



IFN



équations  
« françaises »  
GEDI RH - AGB



GED I L4 AGB  
(inférence sur 1  
km<sup>2</sup>)

U-Net  
(Sentinel 1 et 2  
+ ALOS pour  
propager AGB)

DUNIA  
(embeddings du  
modèle pour  
propager AGB)

Voir le poster de Selim Behloul (LIF & LSCE) :

"Accurate LiDAR-based simulations of French forest vertical structure for improved biomass estimates"

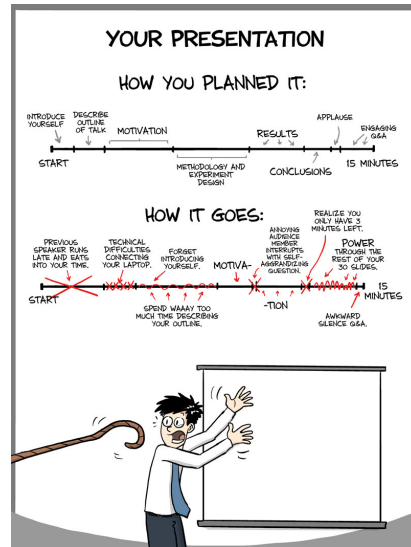


IFN

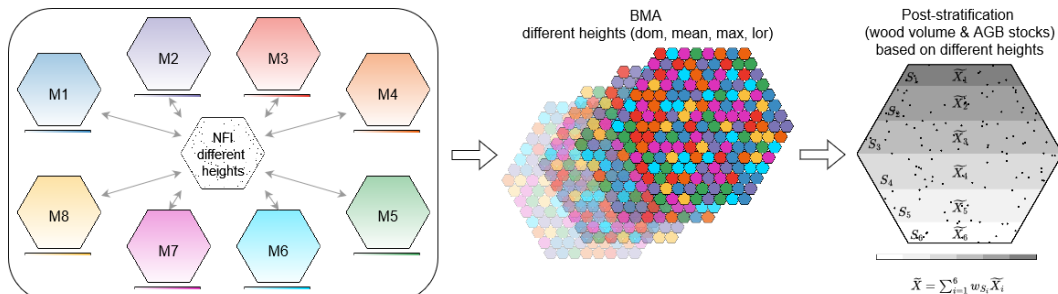
Télédetection

Télédetection + IFN

...

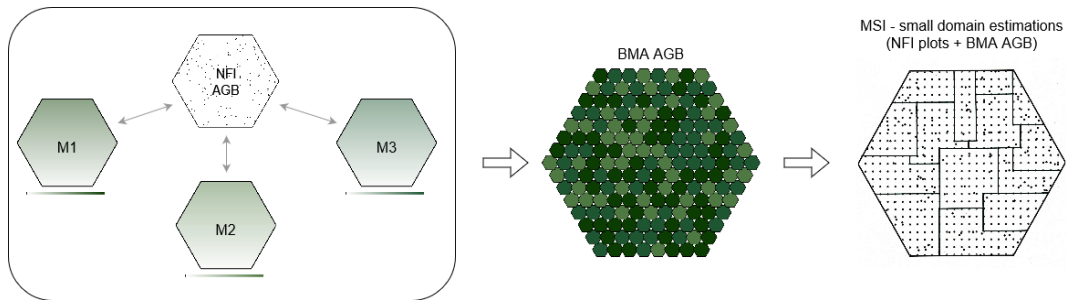


## Moyenne bayésienne de modèles IA pour la cartographie haute résolution de la hauteur de la canopée – Application à la post-stratification d'un inventaire forestier à grande échelle



Exploiter la complémentarité des modèles d'IA pour affiner les inventaires forestiers à grande échelle via une nouvelle post-stratification, réduisant la variance et améliorant la précision des estimations de volume et de biomasse.

Moyenne bayésienne de modèles IA pour la cartographie haute résolution de la biomasse aérienne –  
Vers un inventaire forestier à grande échelle assisté par modèle



Améliorer la précision spatiale tout en préservant l'absence de biais grâce aux Inventaires Multi-Sources et à la fusion Bayésienne (BMA) de modèles d'IA appliquée aux placettes IFN.

A wide-angle photograph of a calm sea under a clear blue sky. The sun is low on the horizon to the left, casting a warm glow. The water is a deep blue with gentle ripples. In the foreground, dark, jagged rocks are visible. A small, dark boat is on the water in the distance.

Merci beaucoup ! :)

📷 Sète, 2024