



solutions techniques et R&D pour le collectif et l'industriel

8 octobre

Toulouse

COLLOQUE INNOVATION
CIBE
BOIS-ÉNERGIE
16ème édition

En partenariat avec :



Téledétection satellitaire : précision et potentiel pour l'évaluation de la ressource

Colloque CIBE : Innovations bois-énergie

Yusra HAMROUNI

(avec la contribution de D. Sheeren)

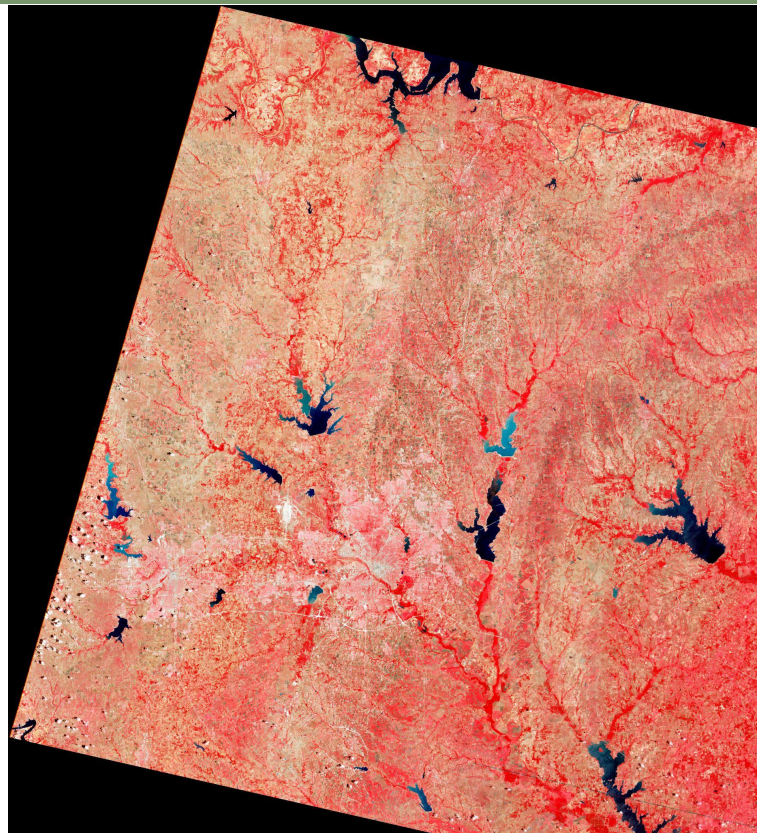
Le 08 octobre 2024



Prof. Gerd Hildebrandt

Téledétection depuis l'espace : jeu ou outil pour la sylviculture ? (Hildebrandt, 1987)

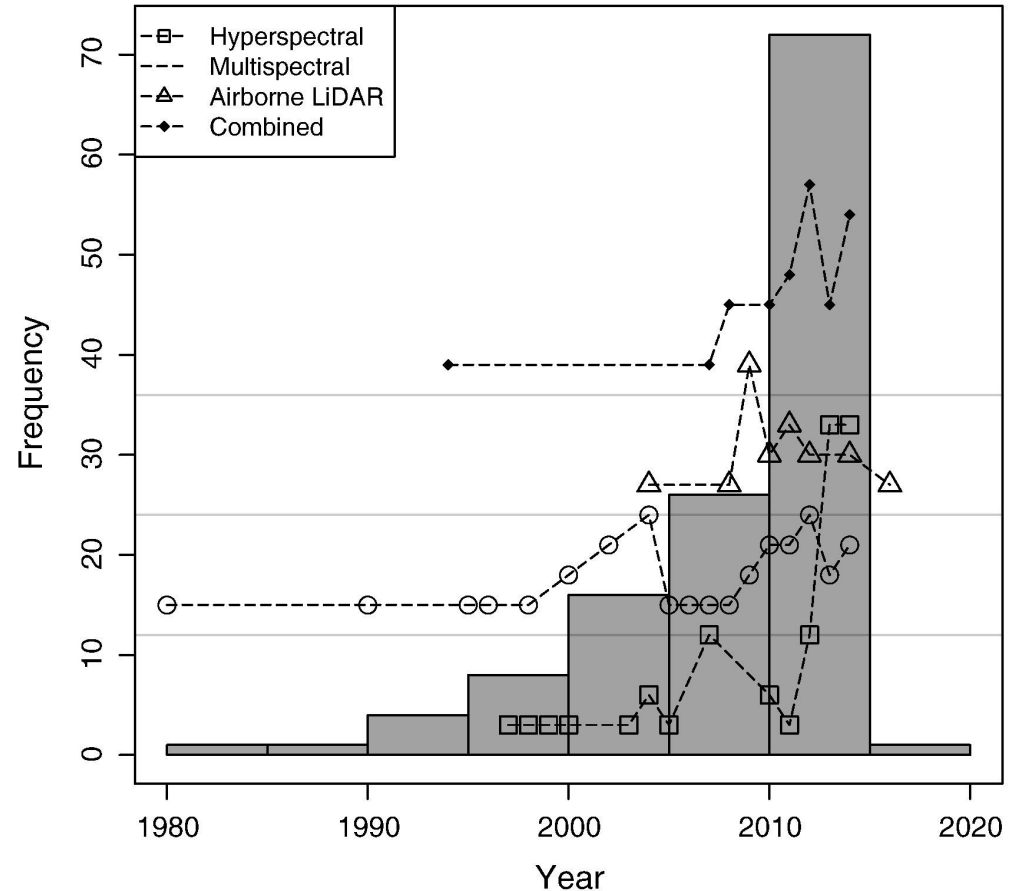
Télédétection : outil incontournable pour le suivi des forêts



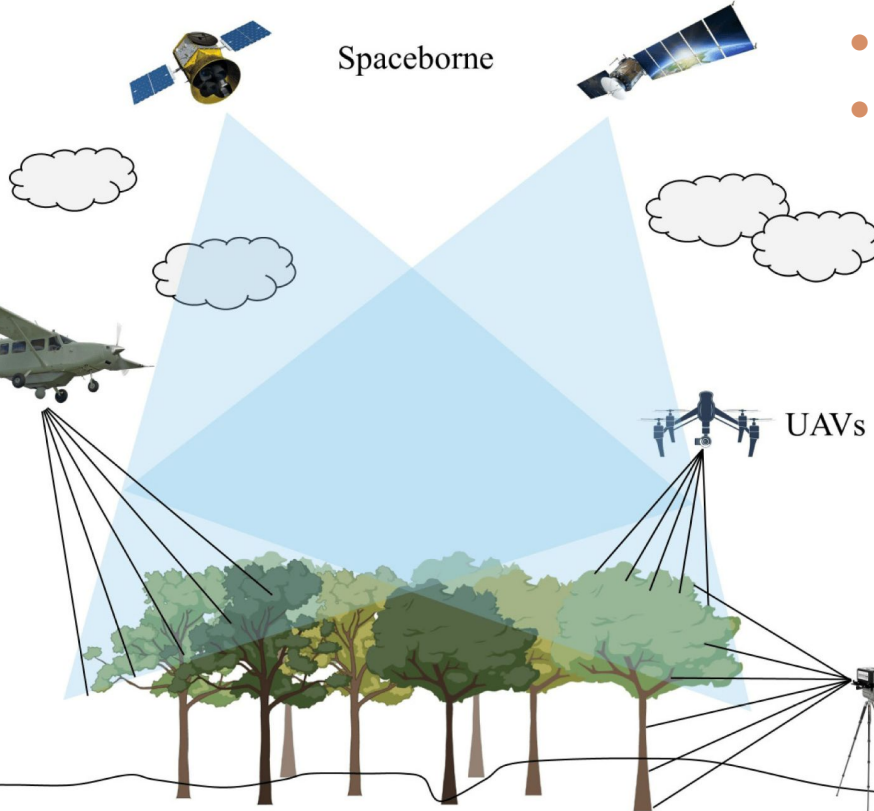
Première image Landsat (Landsat 1) du 25 juillet 1972, Dallas, Texas (source : USGS)

Télédétection : outil incontournable pour le suivi des forêts

Tendance quasi exponentielle
des travaux en télédétection
forestière depuis 2010
(Fassnacht et al., 2016)



Téledétection : concepts de base



Spaceborne

Airborne

UAVs

- Large couverture
- Répétitivité temporelle

- Couverture moyenne
- Haute/Très haute résolution spatiale

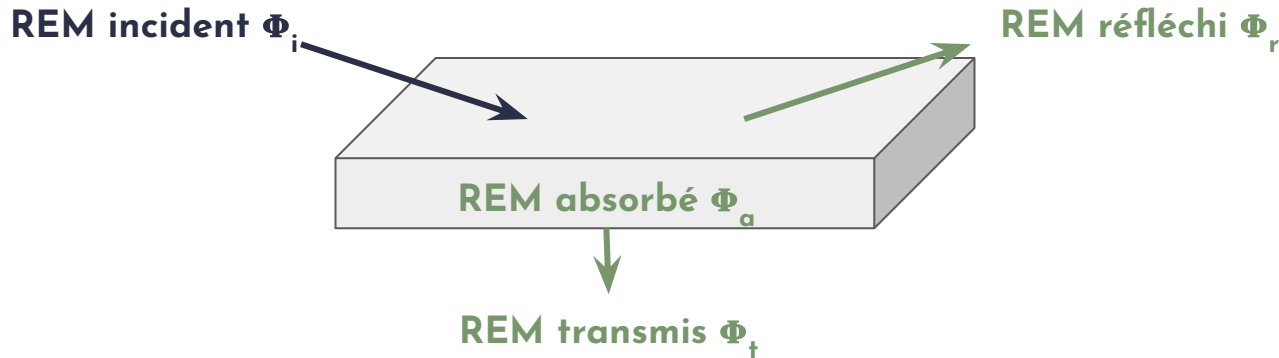
- Très haute résolution spatiale
- Flexibilité

Source : Tian et al., 2023

Téledétection : concepts de base

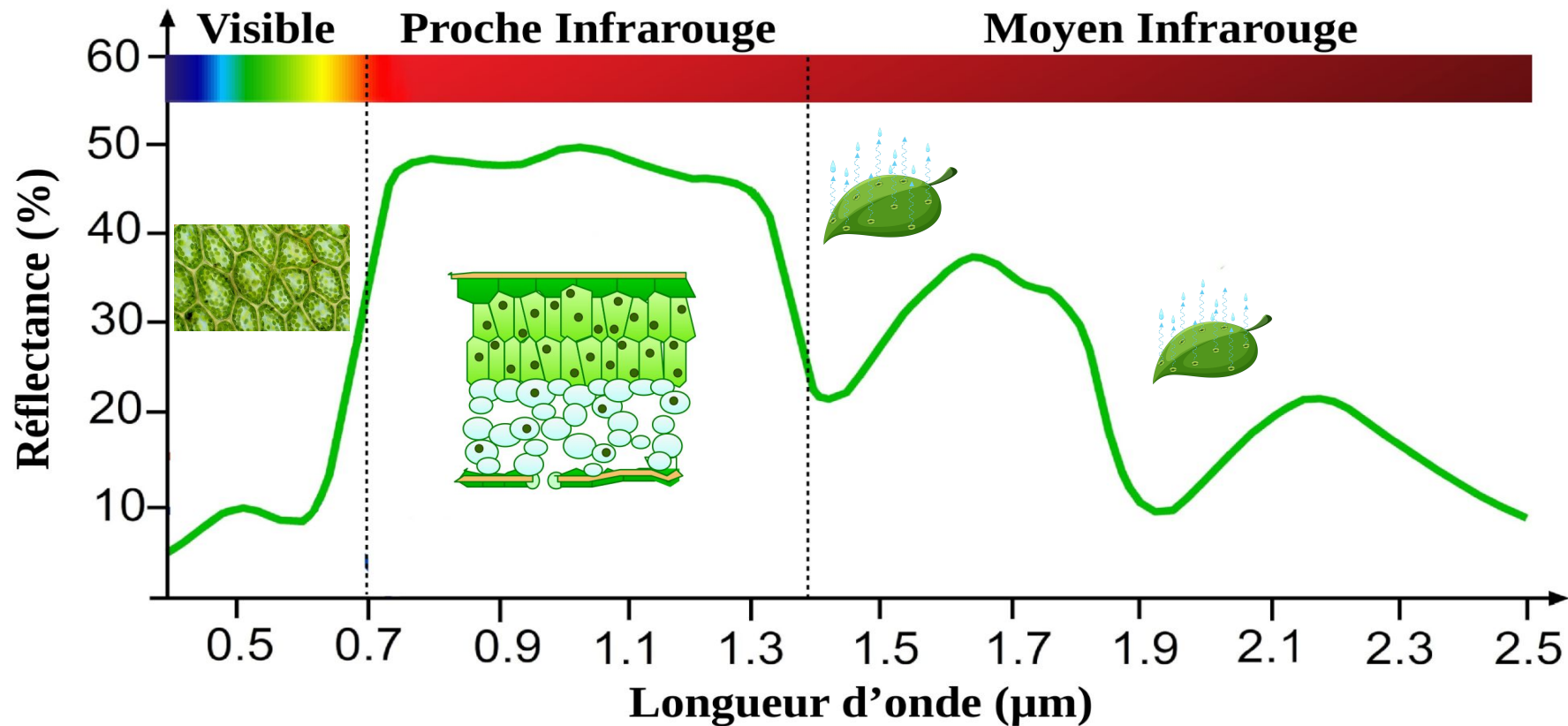
Les propriétés optiques d'un objet caractérisent sa capacité à absorber, transmettre ou réfléchir le rayonnement électromagnétique incident

Interaction rayonnement-objet



$$\Phi_i = \Phi_a + \Phi_r + \Phi_t$$

Téledétection : concepts de base



(D'après Girard et Girard, 1999)

Télé-détection : concepts de base

Le comportement spectral est influencé par de nombreux facteurs :

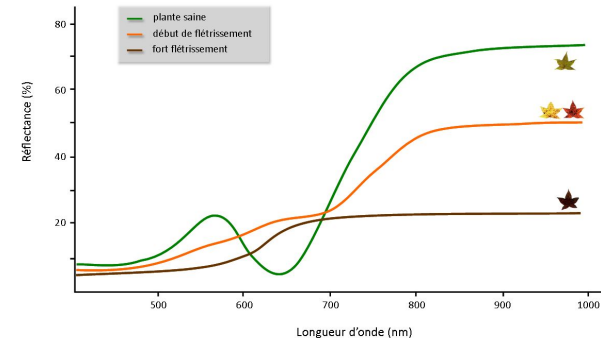
- **À l'échelle de la feuille et de l'arbre (pour une espèce) :**

- Anatomie de la feuille (structure, épaisseur, surface foliaire/LAI)
- Teneur en pigments, en eau
- Age, phénologie
- Stress (hydrique, nutritif), pathologies
- Orientation du feuillage

- **À l'échelle du peuplement :**

- Composition, densité, structure verticale, recouvrement
- Maturité, stade de développement
- Conditions stationnelles, topographie, sous-étage

+ date d'acquisition + conditions d'éclairage



Données de télédétection : contexte favorable et pertinent

1. Arrivée des nouveaux capteurs d'Observation de la Terre

- Missions Sentinel-1& 2 (10/20m, 5/6 jours, 10 bandes spectrales)
- Mission Lidar GEDI : hauteur de la canopée et structure verticale
- Mission hyperspectrale EnMap : > 240 bandes, 30m, 4 jours



2. Amélioration des caractéristiques des capteurs

- Couverture globale
- Résolutions spatiale, spectrale et temporelle fines

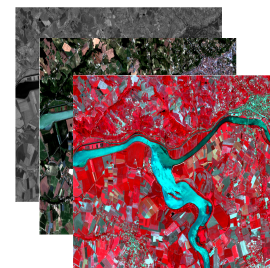
3. Mise à disposition des données

- Données gratuites
- Plateformes de diffusion et de pré-traitement



4. Développement d'outils libres et gratuits

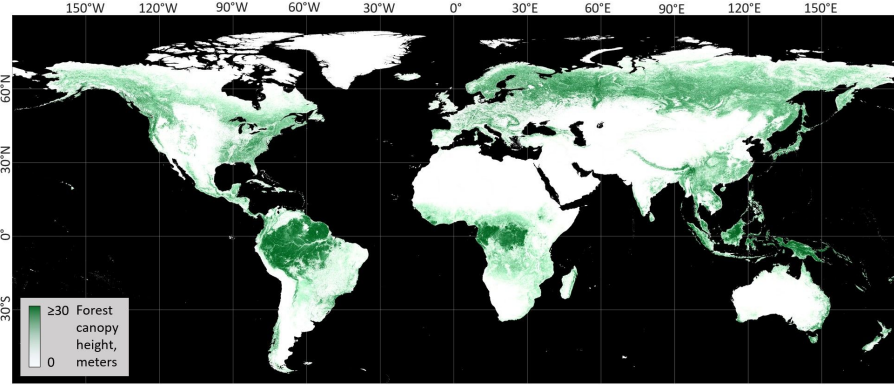
- Démocratisation de l'utilisation des algorithmes d'apprentissage automatique
- Mise à disposition d'outils libres et gratuits



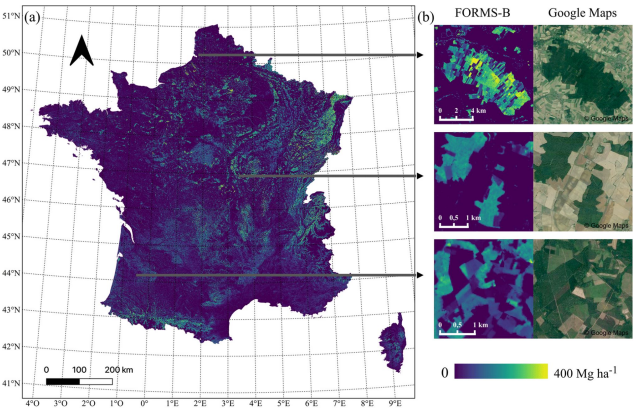
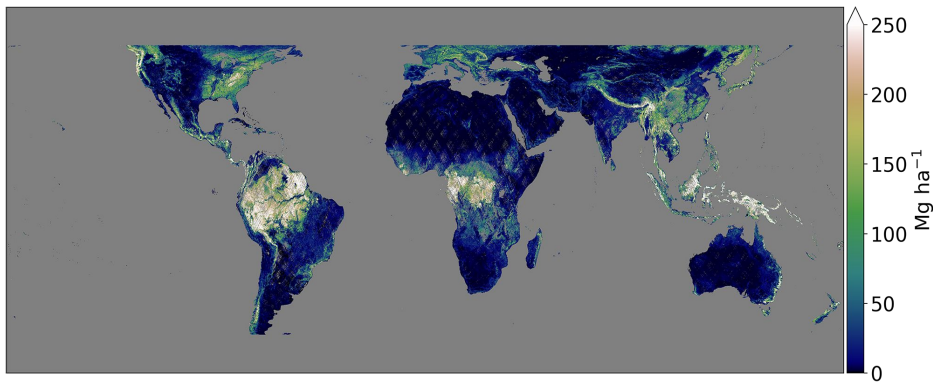
Images Sentinel-2

Données de télédétection : contexte favorable et pertinent

Global Forest Canopy Height, 2019, 30m
(Potapov et al., 2020)



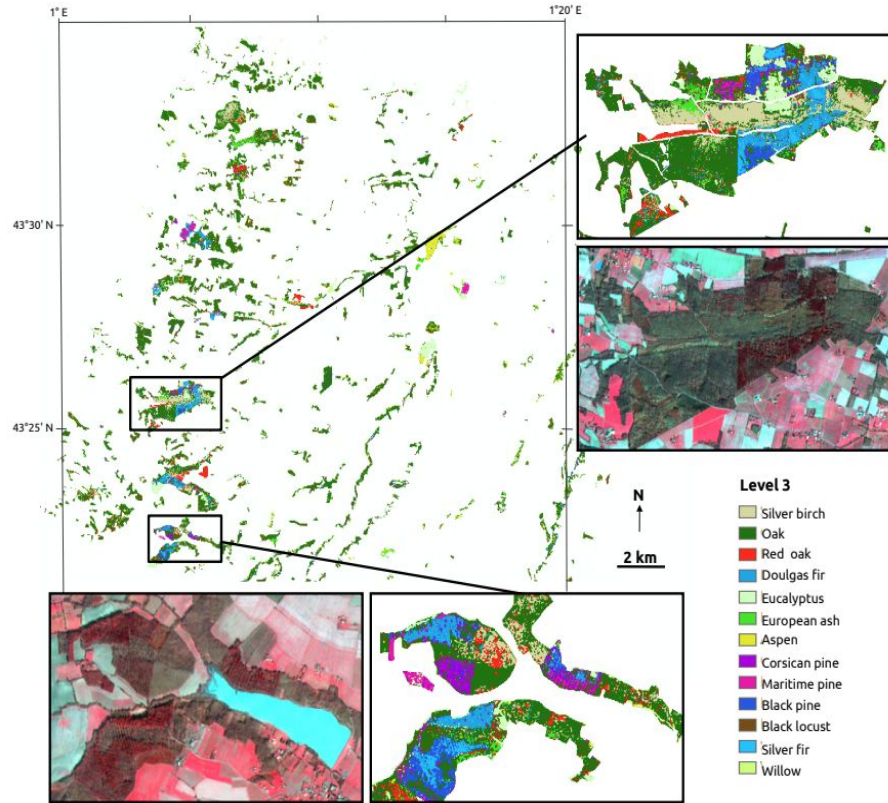
GEDI L4B Gridded Aboveground Biomass Density v2, 1km
(Dubayah et al., 2023)



Forest height, volume and Biomass, 2020, 30m
(Schwartz et al., 2020)

Télédétection forestière : quelles applications ?

- Cartographie de la couverture forestière et des essences
- Surveillance de la santé des forêts et détection des maladies
- Détection de changement : coupes, plantations, reforestation
- Détection et suivi de la déforestation et de la dégradation des forêts
- Estimation du stock de carbone et de la biomasse



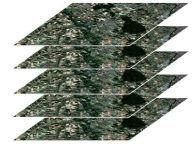
Carte des principales essences forestières issue des séries temporelles Formosat-2 (Sheeren et al., 2016)

Application 1 : cartographie nationale des peupleraies

Thèse CIFRE : Y. Hamrouni. Développement d'une approche opérationnelle pour l'identification automatique des peupleraies à large échelle par télédétection hypertemporelle. Institut National Polytechnique de Toulouse - INPT, 2021.

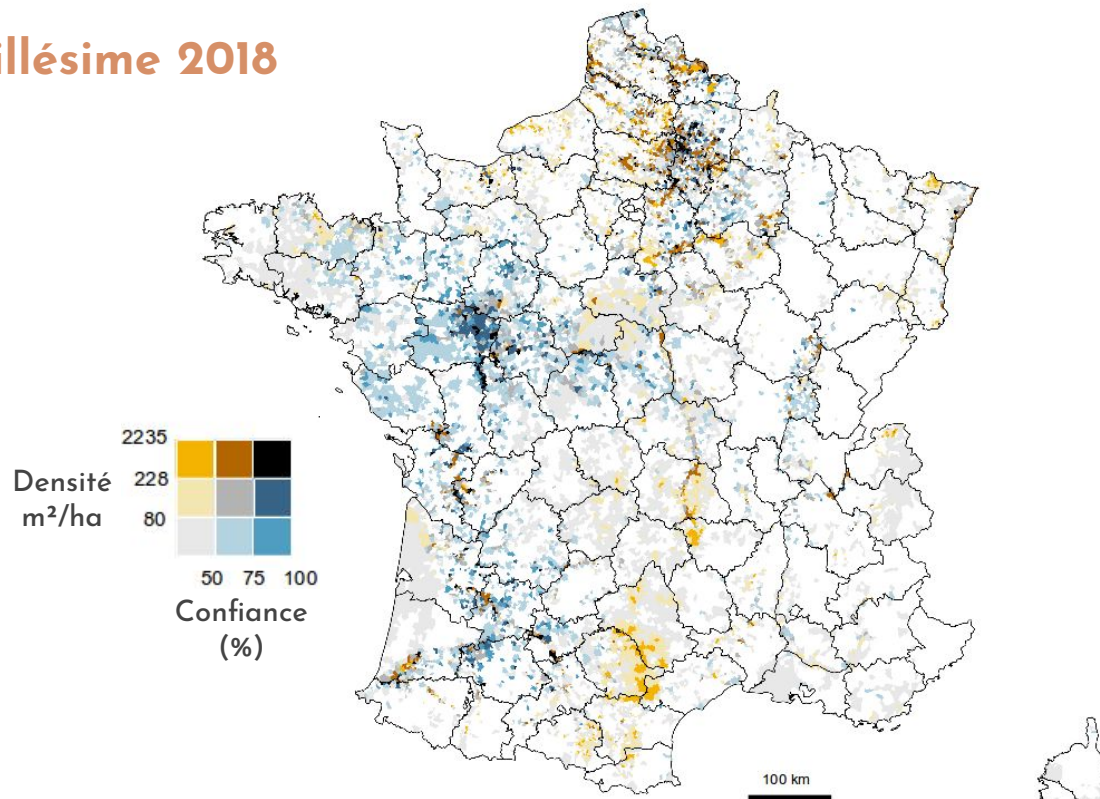
Objectifs de recherche :

1. Évaluer la capacité des séries temporelles d'images satellites (SITS S2) à distinguer les peupleraies des autres essences
2. Proposer une démarche cartographique opérationnelle applicable à l'échelle nationale



Application 1 : cartographie nationale des peupleraies

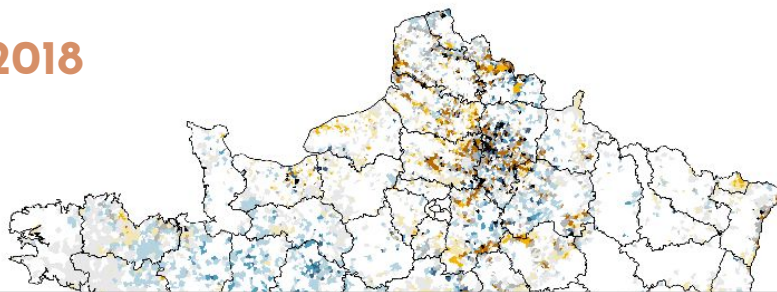
Carte nationale : millésime 2018



Carte choroplèthe bivariée montrant la densité des plantations de peupliers par commune avec les valeurs médianes de la confiance de prédiction pour l'année 2018

Application 1 : cartographie nationale des peupleraies

Carte nationale : millésime 2018



remote sensing

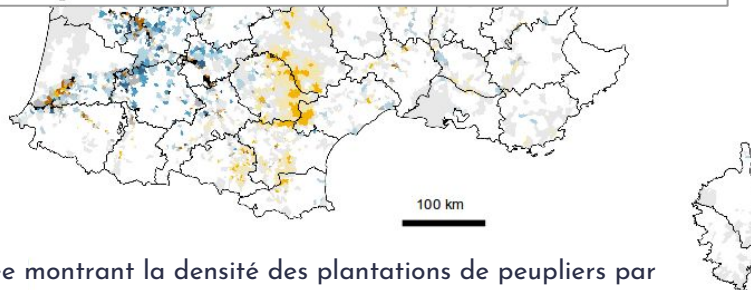


Article

Sentinel-2 Poplar Index for Operational Mapping of Poplar Plantations over Large Areas

Yousra Hamrouni ^{1,2,*}, Eric Paillassa ³, Véronique Chéret ¹, Claude Monteil ¹ and David Sheeren ¹

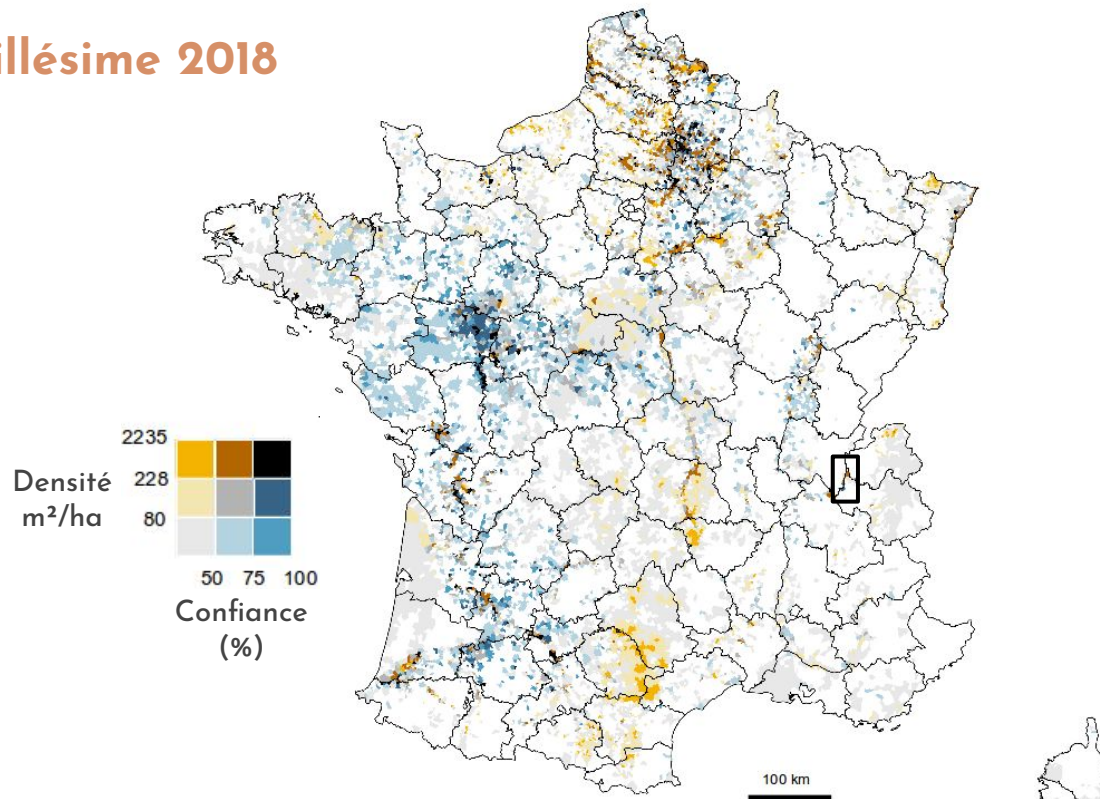
Confiance
(%)



Carte choroplèthe bivariable montrant la densité des plantations de peupliers par commune avec les valeurs médianes de la confiance de prédiction pour l'année 2018

Application 1 : cartographie nationale des peupleraies

Carte nationale : millésime 2018



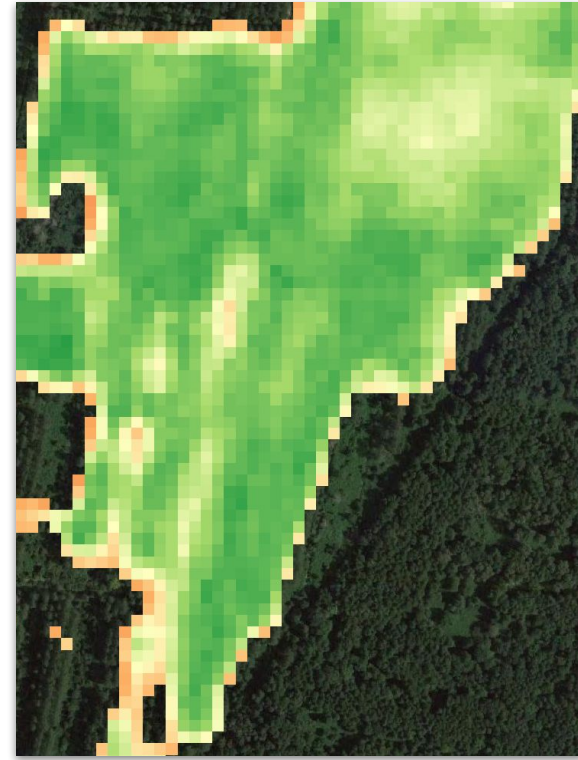
Carte choroplèthe bivariable montrant la densité des plantations de peupliers par commune avec les valeurs médianes de la confiance de prédiction pour l'année 2018

Application 1 : cartographie nationale des peupleraies

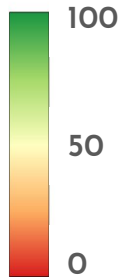
Détection des plantations matures



Vue Google Earth 2017



Confiance de classification 2018

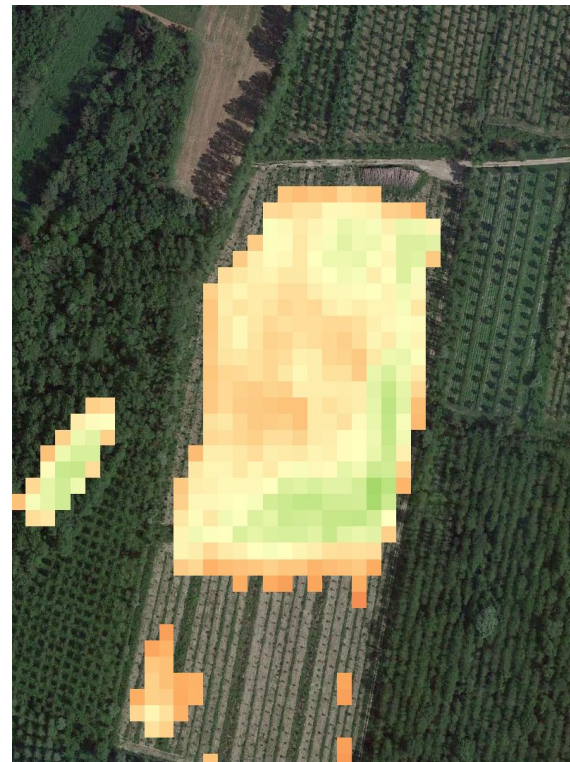


Application 1 : cartographie nationale des peupleraies

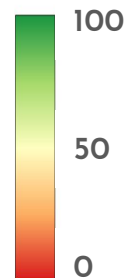
Jeunes plantations détectées mais avec une faible confiance



Vue Google Earth 2017

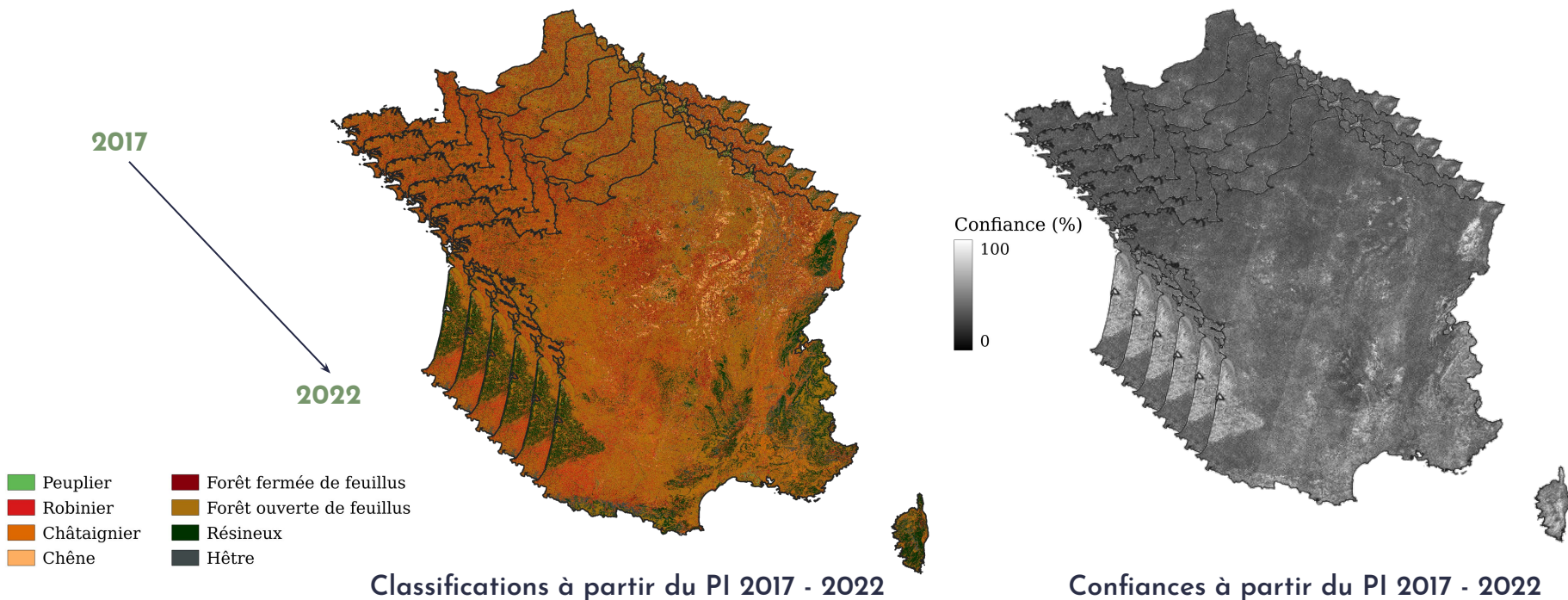


Confiance de classification 2018



Application 1 : cartographie nationale des peupleraies

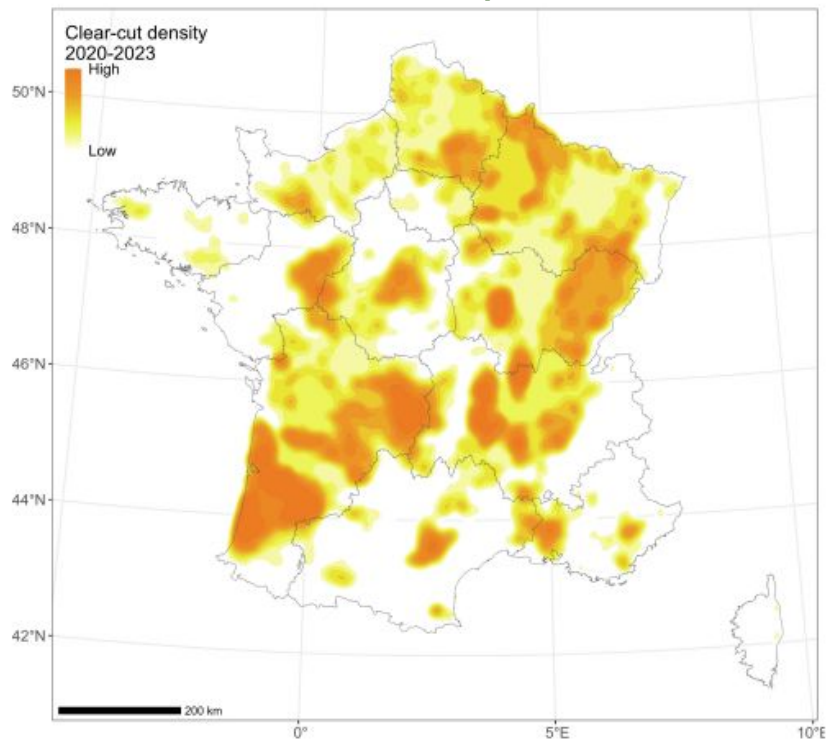
Production nationale : 2017 à 2022 (en cours de diffusion)



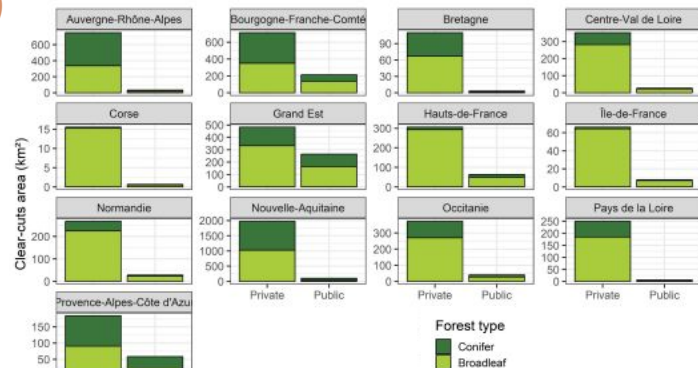
Application 2 : détection des coupes avec les SITS Sentinel-1

Projet SUFOSAT (ADEME, Dynafor, Globeo, Cesbio)

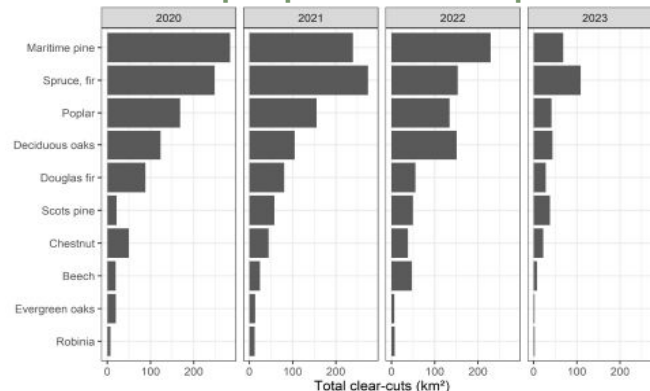
Carte de la densité des coupes de 2020 à 2023



Surface des coupes par région



Surface des coupes par essence et par année



Application 2 : détection des coupes avec les SITS Sentinel-1

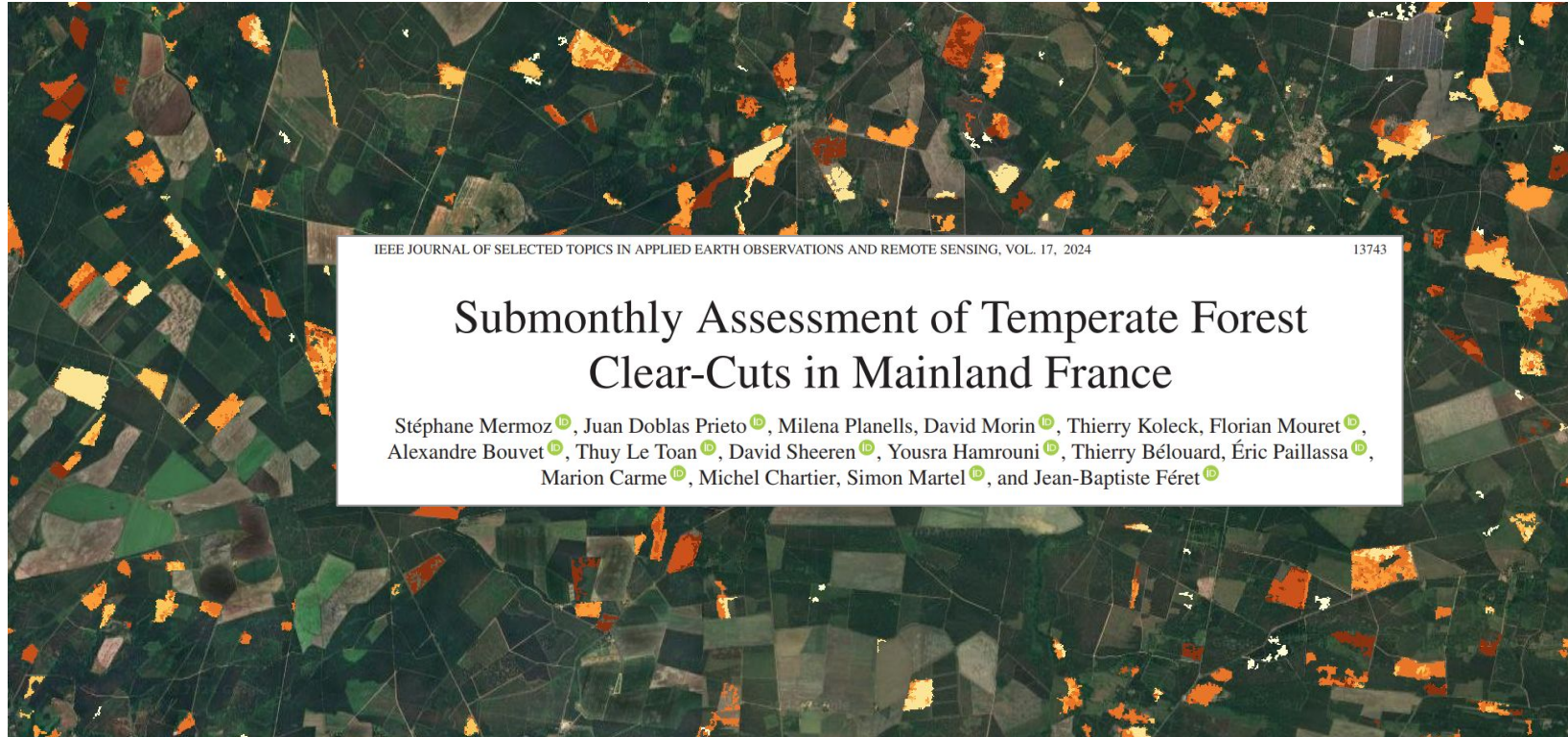
Projet SUFOSAT : données Sentinel-1 avec une résolution de 10m



<https://ee-sufosatclearcuts.projects.earthengine.app/view/sufosat-clearcuts-fr>

Application 2 : détection des coupes avec les SITS Sentinel-1

Projet SUFOSAT : données Sentinel-1 avec une résolution de 10m



<https://ee-sufosatclearcuts.projects.earthengine.app/view/sufosat-clearcuts-fr>

Application 3 : estimation de la hauteur et de la biomasse

Fusion multimodale de données satellitaires : optique, radar et Lidar

arXiv > stat > arXiv:2310.14662

Statistics > Machine Learning

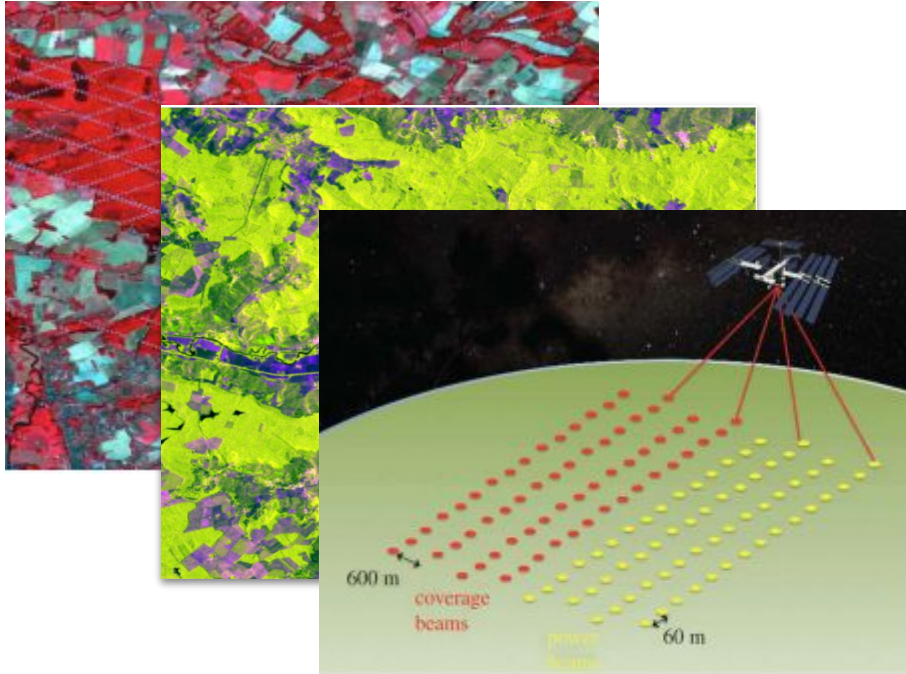
[Submitted on 23 Oct 2023 (v1), last revised 9 Nov 2023 (this version, v2)]

Estimation of forest height and biomass from open-access multi-sensor satellite imagery and GEDI Lidar data: high-resolution maps of metropolitan France

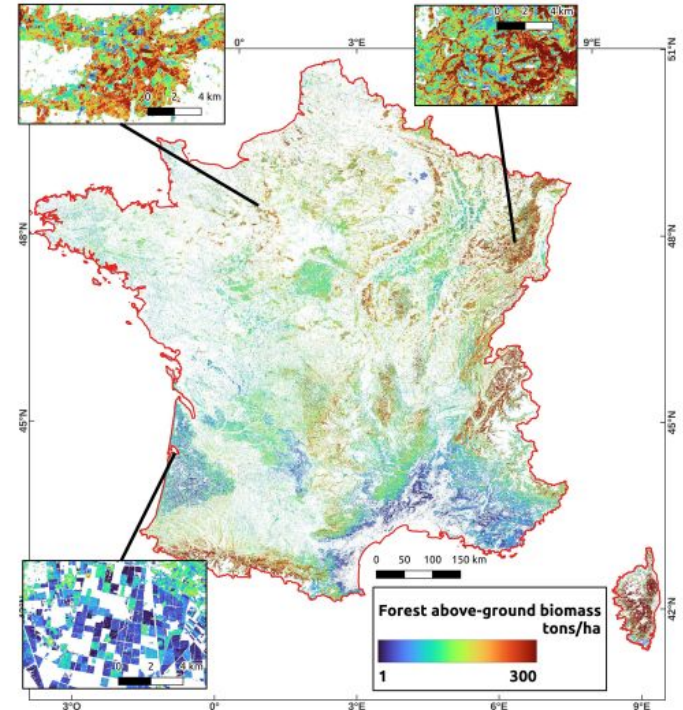
David Morin (CESBIO), Milena Planells (CESBIO), Stéphane Mermoz (globeo), Florian Mouret (UO, CESBIO)

Application 3 : estimation de la hauteur et de la biomasse

Fusion multimodale de données satellitaires : optique, radar et Lidar



Carte de la hauteur de canopée à 10m



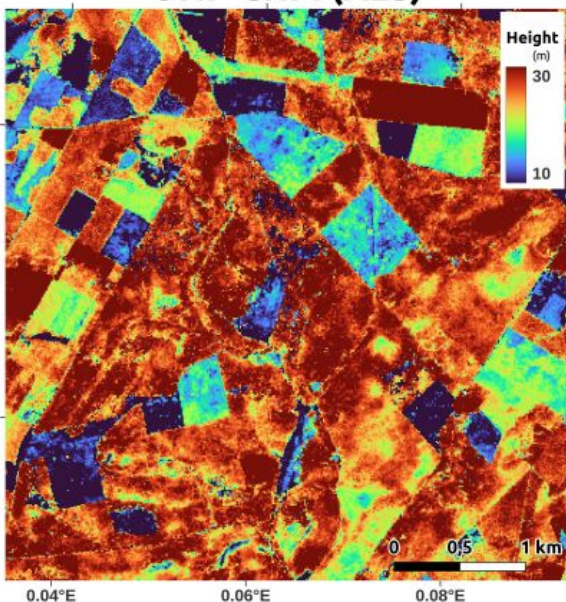
Application 3 : estimation de la hauteur et de la biomasse

Fusion multimodale de données satellitaires : optique, radar et Lidar

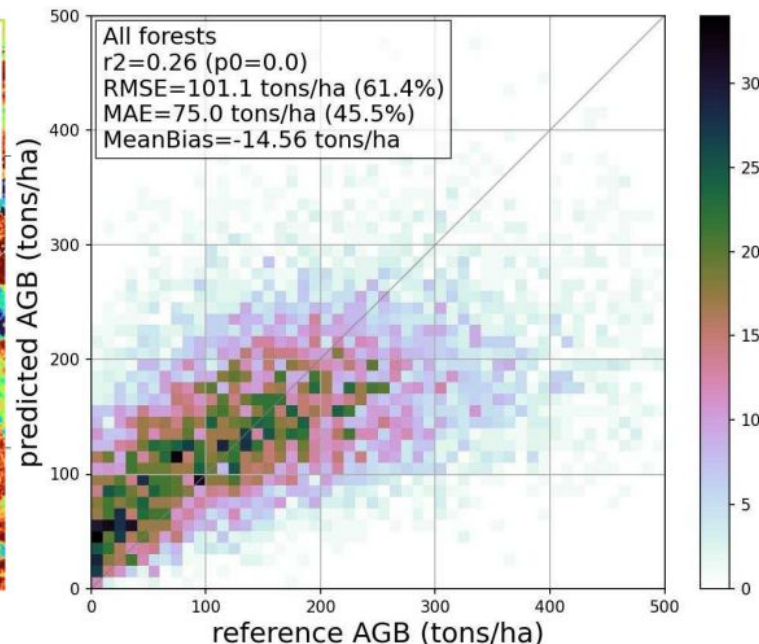
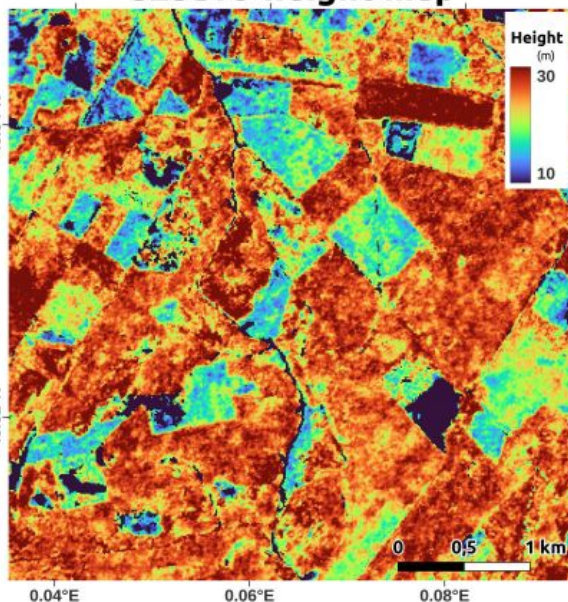
✓ Validation du produit Hauteur : MAE = 20%

✓ Validation du produit biomasse
MAE : 75 tonnes/ha

ONF-CHM (ALS)



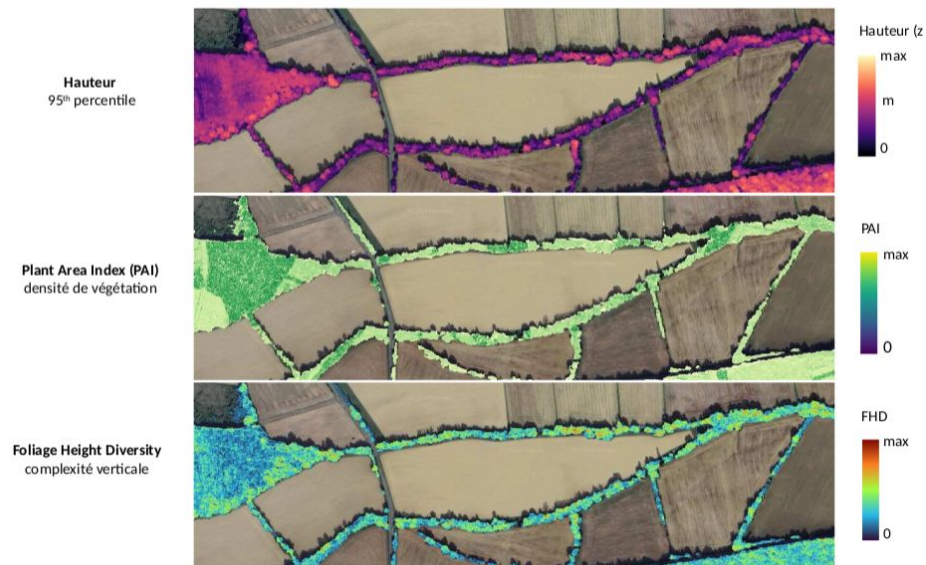
CESBIO height map



Produits de hauteur et biomasse disponibles pour téléchargement : <https://zenodo.org/doi/10.5281/zenodo.8071003>

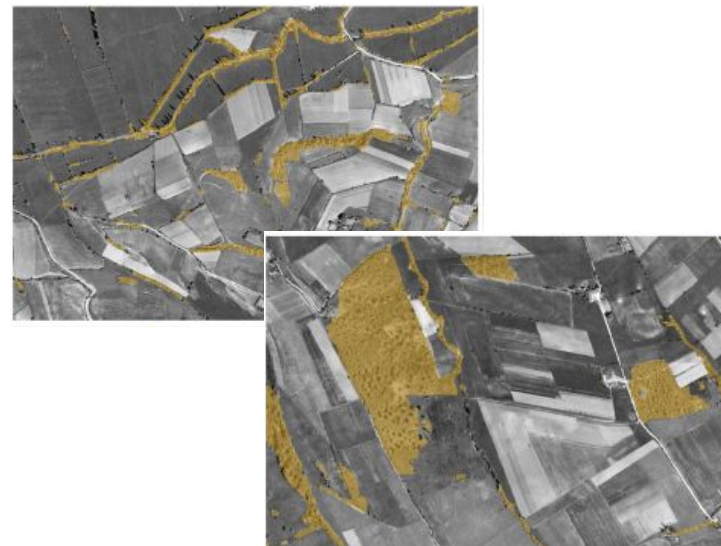
Autres applications : détection des arbres hors-forêt

> Caractérisation des traits structuraux des haies à partir de nuages de points 3D



David Sheeren, Gabriel Marquès, Lewis Villierme, Jean-Baptiste Boissonnat, Guillaume Guébin, et al. HedgeTools : une boîte à outils pour caractériser automatiquement les haies en milieu agricole. SAGEO 2023, Jun 2023, Québec, Canada. pp.9-22. <https://hal.inrae.fr/hal-04440841v1>

> Identification des éléments arborés dans des images historiques



V. B. Ferreira, D. Sheeren, S. Lefèvre and S. Lang, "More Labels or Better Labels?" IGARSS 2024 - 2024 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, Athens, Greece, 2024, pp. 9604-9608, [doi: 10.1109/IGARSS53475.2024.10642817](https://doi.org/10.1109/IGARSS53475.2024.10642817)

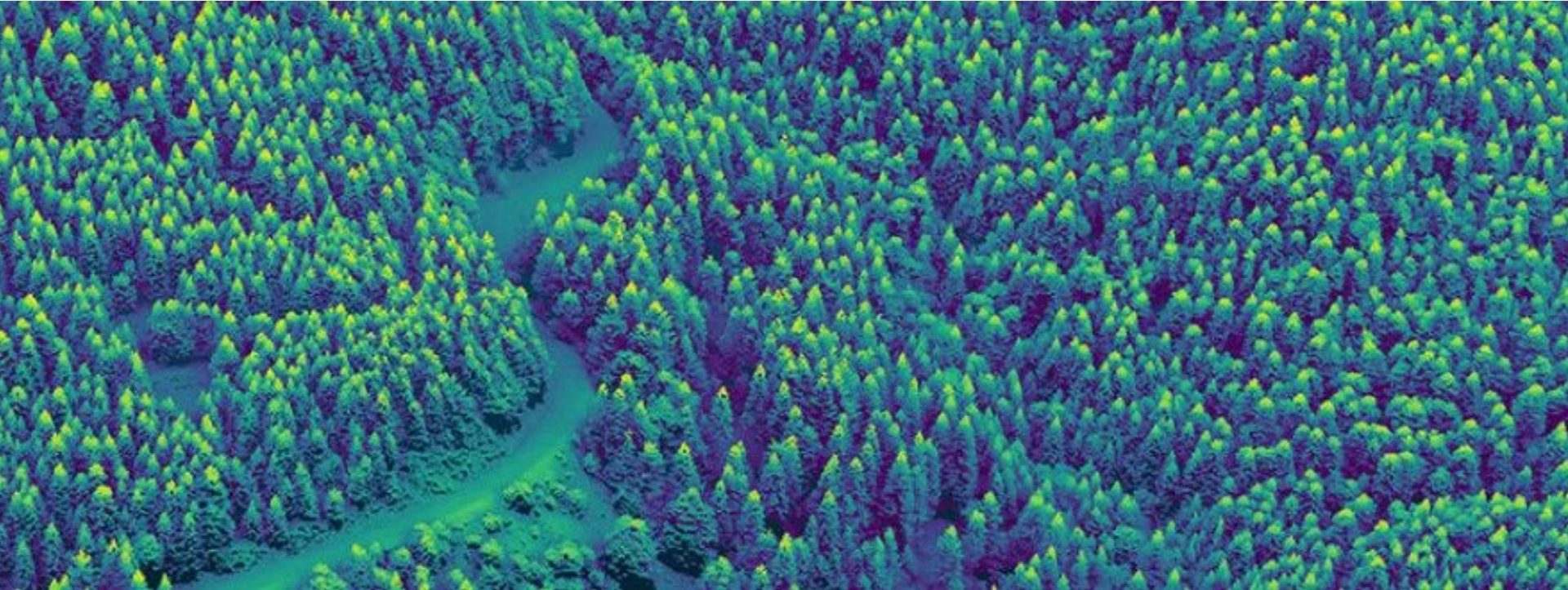
Caractérisation plus précise de la ressource

- **Données d'Observation de la Terre de plus en plus pertinentes :**
 - Données 2D et 3D gratuites
 - Résolutions spatiale, spectrale et temporelles améliorées
- **Approches multimodales**
 - Combinaison des technologies optique, SAR, et LiDAR
 - Synergie des données
- **Suivi en temps quasi réel :**
 - Suivi dynamique
 - Surveillance continue de la ressource

Défis méthodologiques et techniques

- Validation sur le terrain nécessaire
- Traitement de gros volumes de données
- Complexité des approches multimodales

Merci !

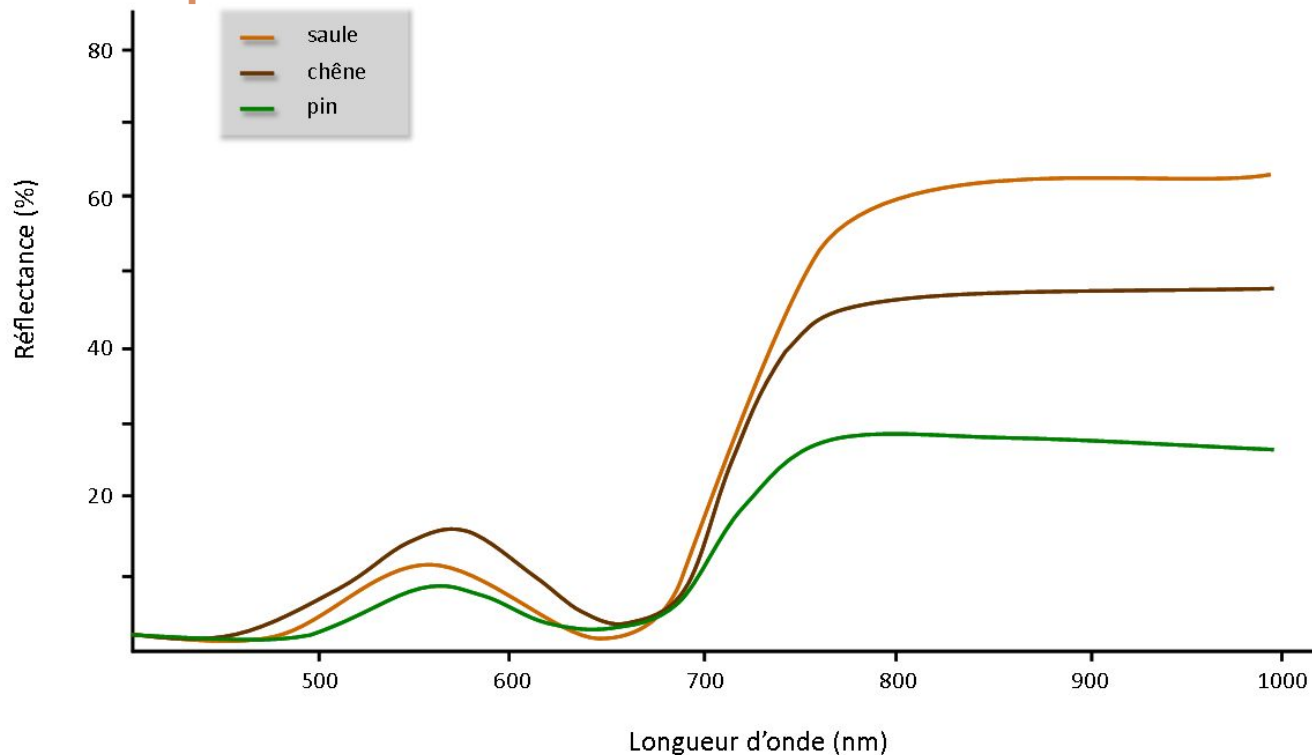


Nuage de points 3D issus des données Lidar HD [®]IGN

Références bibliographiques

- TianPotapov, Lei, Xiaocan Wu, Yu Tao, Mingyang Li, Chunhua Qian, Longtao Liao, and Wenxue Fu. 2023. "Review of Remote Sensing-Based Methods for Forest Aboveground Biomass Estimation: Progress, Challenges, and Prospects" *Forests* 14, no. 6: 1086. <https://doi.org/10.3390/f14061086>
- Hildebrandt, G. 1987 TOY or TOOL—Fernerkundung aus dem Weltraum: spiel- oder Werkzeug für die Forstwirtschaft? *Forstw. Centralblatt* 106, 141-168 (In German)
- Fassnacht, F.E., Latifi, H., Sterenczak, K., Modzelewska, A., Lefsky, M., Waser, L.T., et al. 2016 Review of studies on tree species classification from remotely sensed data. *Remote Sens. Environ.* 186, 64-87. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2016.08.013>
- Schwartz, M., Ciais, P., De Truchis, A., Chave, J., Ottlé, C., Vega, C., Wigneron, J.-P., Nicolas, M., Jouaber, S., Liu, S., Brandt, M., and Fayad, I.: 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, <https://doi.org/10.5194/essd-15-4927-2023>, 2023.
- P., X. Li, A. Hernandez-Serna, A. Tyukavina, M.C. Hansen, A. Kommareddy, A. Pickens, S. Turubanova, H. Tang, C.E. Silva, J. Armston, R. Dubayah, J. B. Blair, M. Hofton (2020) Mapping and monitoring global forest canopy height through integration of GEDI and Landsat data. *Remote Sensing of Environment*, 112165. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2020.112165>
- Dubayah, R.O., J. Armston, S.P. Healey, Z. Yang, P.L. Patterson, S. Saarela, G. Stahl, L. Duncanson, J.R. Kellner, J. Bruening, and A. Pascual. 2023. GEDI L4B Gridded Aboveground Biomass Density, Version 2.1. ORNL DAAC, Oak Ridge, Tennessee, USA. <https://doi.org/10.3334/ORNLDAAC/2299>
- Sheeren, David, Mathieu Fauvel, Veliborka Josipović, Mailys Lopes, Carole Planque, Jérôme Willm, and Jean-François Dejoux. 2016. "Tree Species Classification in Temperate Forests Using Formosat-2 Satellite Image Time Series" *Remote Sensing* 8, no. 9: 734. <https://doi.org/10.3390/rs8090734>
- Hamrouni, Y.; Paillassa, E.; Chéret, V.; Monteil, C.; Sheeren, D. Sentinel-2 Poplar Index for Operational Mapping of Poplar Plantations over Large Areas. *Remote Sens.* 2022, 14, 3975. <https://doi.org/10.3390/rs14163975>
- Mermoz, S., Prieto, J., Planells, M., Morin, D., Koleck, T., Mouret, F., Bouvet, A., Le Toan, T., Sheeren, D., Hamrouni, Y., Bélouard, T., Paillassa, É., Carme, M., Chartier, M., Martel, S., & Féret, J.B. (2024). Submonthly Assessment of Temperate Forest Clear-Cuts in Mainland France. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 17, 13743-13764.
- Morin, D., Planells, M., Mermoz, S., & Mouret, F. (2023). Estimation of forest height and biomass from open-access multi-sensor satellite imagery and GEDI Lidar data: High-resolution maps of metropolitan France. [ArXiv./abs/2310.14662](https://arxiv.org/abs/2310.14662)

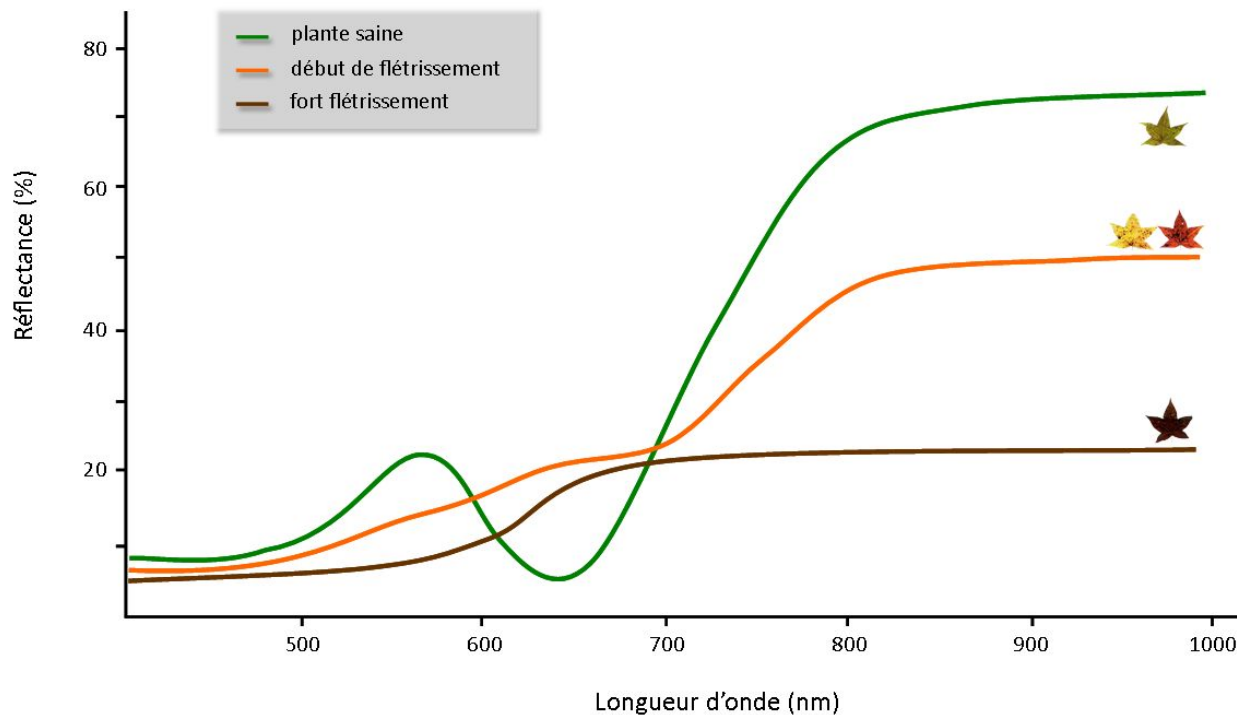
Variabilité inter-espèces



Source : UVED

<https://e-cours.univ-paris1.fr/modules/uvéd/envcal/html/vegetation/caracteristique-vegetation/proprietes.html>

Variabilité intra-espèce

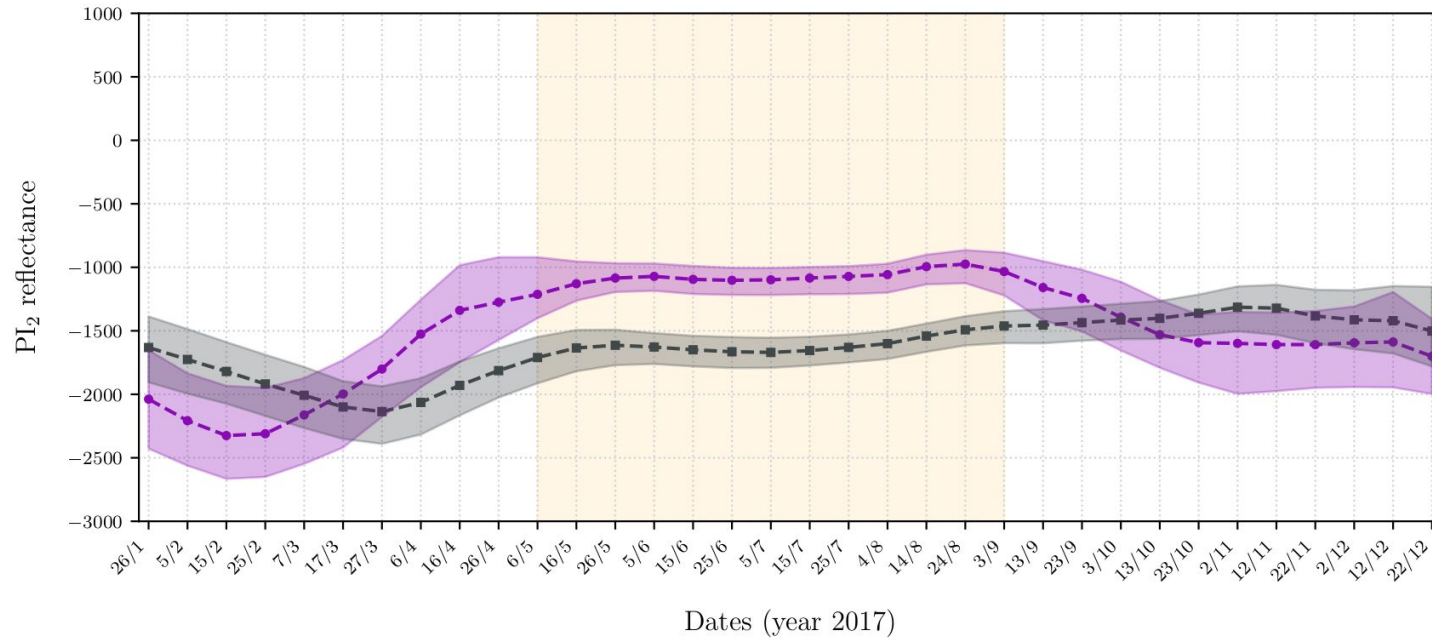


Source : UVED

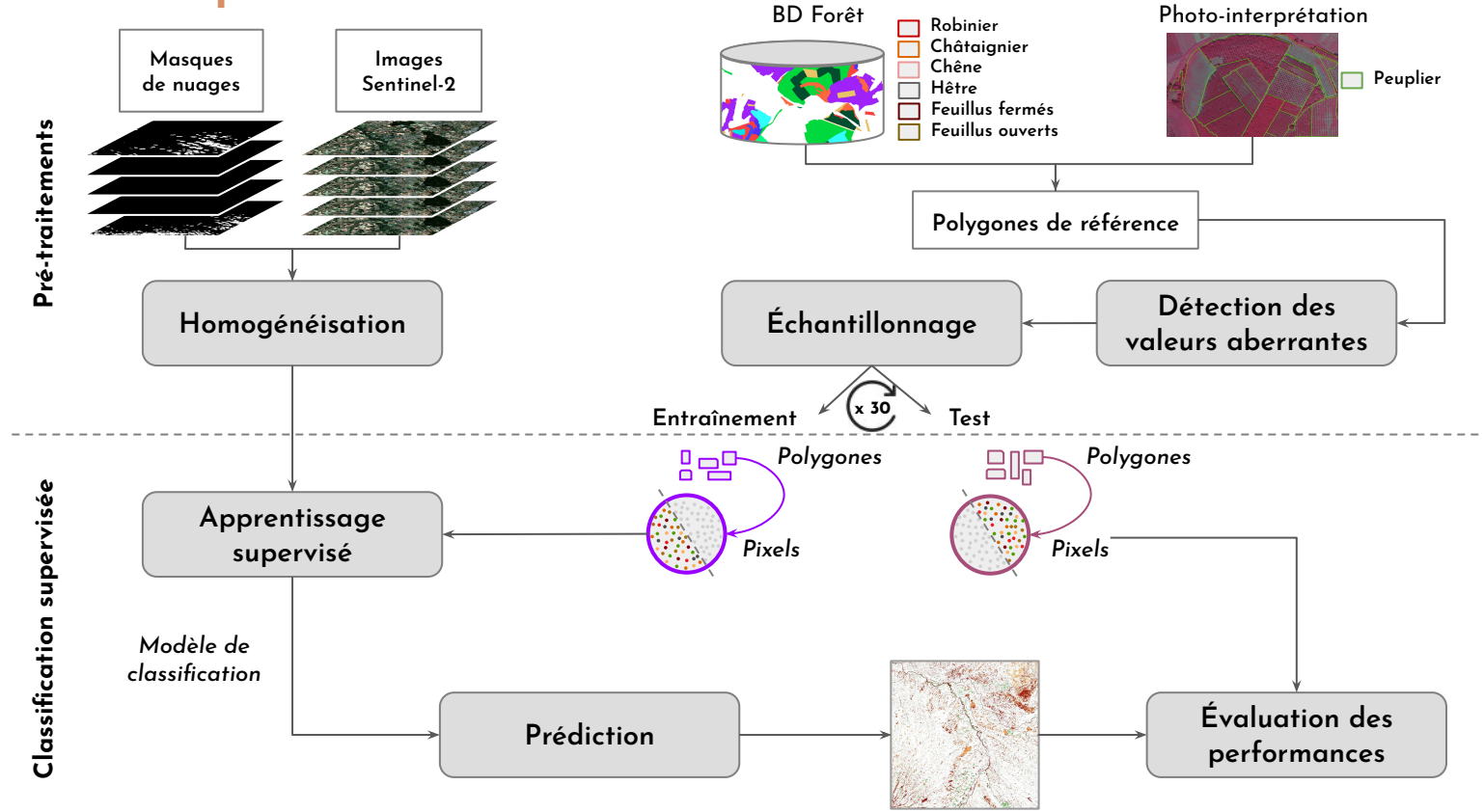
<https://e-cours.univ-paris1.fr/modules/uvéd/envcal/html/vegetation/caracteristique-vegetation/proprietes.html>

Le Poplar Index

$$PI = B5 - (B11 + B12)$$

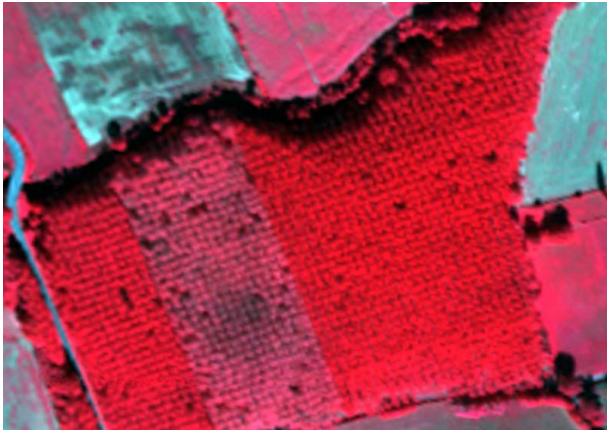


Classification supervisée



Résolution spatiale

> la taille du plus petit objet observable (exprimée en m*m)



WorldView-2: 1.8 m



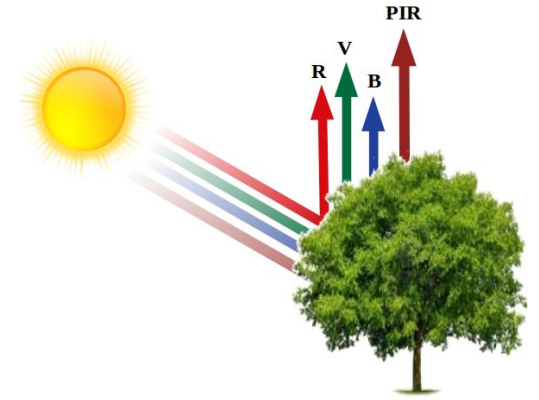
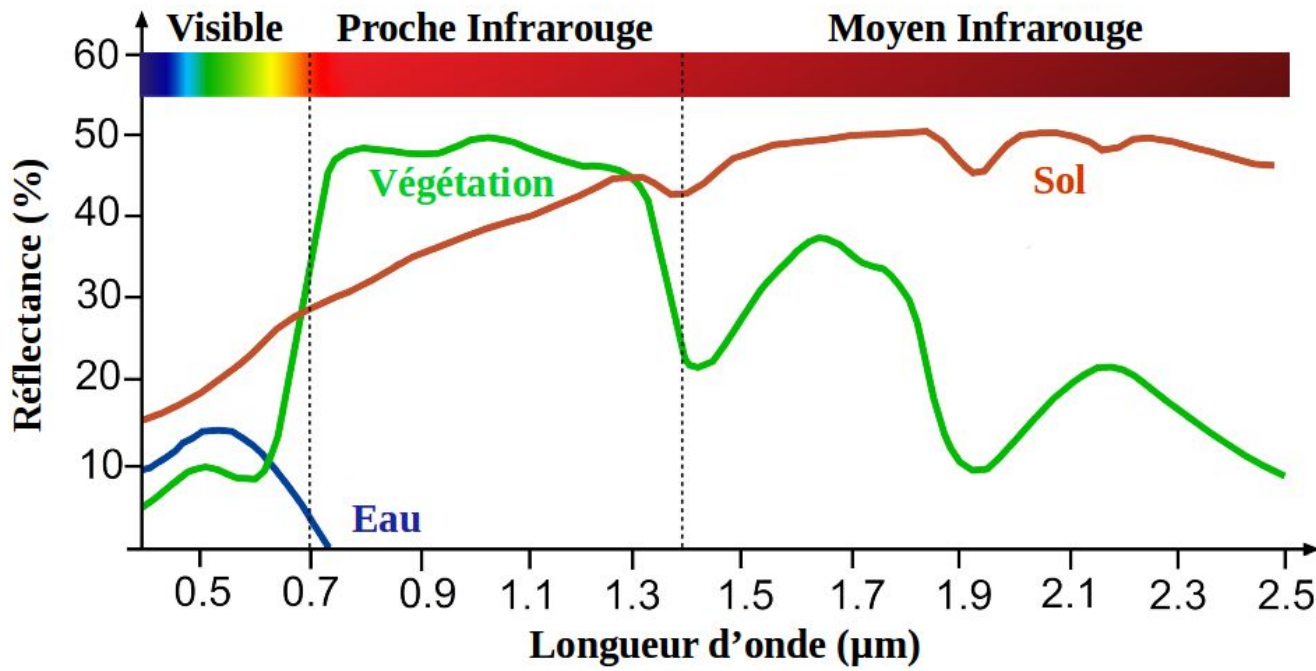
SPOT-5: 2.5 m



Spot-4: 20 m

Résolution spectrale

> la capacité du capteur à distinguer des rayonnements électromagnétiques de longueurs d'onde différentes



Résolution temporelle :

> intervalle de temps nécessaire au capteur pour passer au même endroit avec le même angle de vue

