GEOSEMINAIRE 2024

“Les usages de l’intelligence artificielle en géomatique”

Utilisation de l’intelligence artificielle appliquée à la télédétection pour améliorer les modèles de microclimat sous couvert forestier

Nathan Corroyez
Doctorant en 1ère année - UMR TETIS

Encadrement: Sylvie Durrieu (UMR TETIS), Jean-Baptiste Féret (UMR TETIS), Jérôme Ogée (UMR ISPA)

Contexte

-> ANR MaCCMic (impact of forest **Ma**nagement and **C**limate **C**hange on understory **Mic**roclimate) https://anr.fr/Projet-ANR-21-CE32-0012

-> Macroclimat vs Microclimat:

- Evolution du macroclimat qui fragilise les écosystèmes

- Rôle isolant de la canopée -> Effet tampon atténue le changement climatique

- Microclimat + important à l'échelle du sous-bois et de la biodiversité

-> Pratiques de gestion forestière

Variables d'intérêt à la modélisation du microclimat

-> Modèles microclimatiques (e.g. Ogée et al., 2003)

-> Distribution verticale et quantité des feuilles

-> Evapotranspiration

-> Ombre/Lumière

} Impact sur le microclimat

-> Indice de surface foliaire (Leaf Area Index, LAI)

-> **Paramètre biophysique déterminant pour le bon fonctionnement et la production d'un écosystème forestier**

-> Traits foliaires (e.g. teneur en eau)

-> **Variabilité spatiale et temporelle du microclimat**

https://appgeodb.nancy.inra.fr/biljou/en/fiche/indice-foliaire-et-phenologie

https://www.futura-sciences.com/planete/definitions/botanique-foret-decidue-7247/

https://metergroup.com/education-guides/the-researchers-complete-guide-to-leaf-area-index-lai/

Définition du LAI

-> Indice de surface foliaire

$LAI = s/G\ (m^2/m^2)$ (Chen and Black, 1992)

s: moitié de surface de feuilles de la canopée

G: unité de surface au sol

-> Mesures terrain

-> Méthodes directes

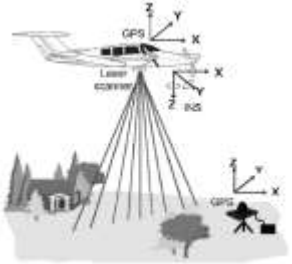
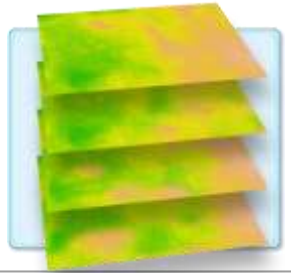
-> Méthodes indirectes

-> Utilisation de la télédétection

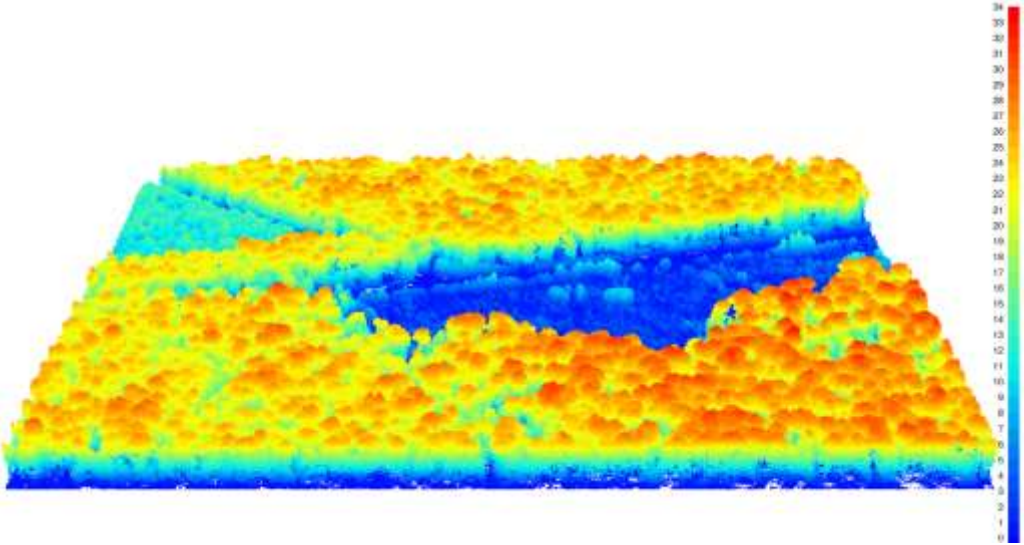
-> **LiDAR, Sentinel-2 ...**

LAI 2200

Photographie

	LiDAR (aéroporté) Torre-Tojal et al., 2022 	Sentinel-2 (satellite multispectral) https://www.earthdatascience.org/courses/earth-analytics/multispectral-remote-sensing-data/naip-imagery-raster-stacks-in-r/ 
Principe	Technologie active à impulsion laser	Technologie passive à capteurs optiques
Avantages	Informations détaillées de la structure forestière en 3D à très haute densité de points (~ 50 pts/m²)	Informations sur la végétation, information spectrale, haute fréquence temporelle et résolution spatiale (taille de pixels variant de 10 à 60 m)
Inconvénients	Acquisitions très coûteuses limitant la couverture spatiale et leur fréquence	Saturation du signal pour des LAI élevés limitant l'estimation en forêt dense
Données	Nuages de points	Images multispectrales → réflectance de surface

Données LiDAR et Sentinel-2



Nuage de points obtenu par LiDAR aéroporté

Image multispectrale (RGB) Sentinel-2

Estimation du LAI - Données LiDAR

Adapté de Wang et al., 2020

	Principe / Avantages	Inconvénients
Fraction de trouées	Mesure de la transmittance de la lumière, méthode non destructive	Méthode indirecte, précision variable selon le paramétrage
Fréquence de contact	Calcul du LAI en comptant la fréquence de contact entre chaque couche, donnant la fréquence de contact pour toute la canopée	Longue acquisition et alignement des données, précision variable selon le paramétrage
Modèles de transfert radiatif (RTM)	Inversion du modèle pour estimer le LAI à partir des données LiDAR, matching avec les données réelles par optimisation itérative	Nécessite beaucoup de données d'entrée, compromis complexité-temps d'exécution
Régressions biophysiques	Estimation du LAI par métriques LiDAR (hauteur, densité de feuillage), facile à appliquer	Non applicable de façon universelle, besoin de données LiDAR terrain

Estimation du LAI - Données Sentinel-2

Adapté de Verrelst et al., 2019

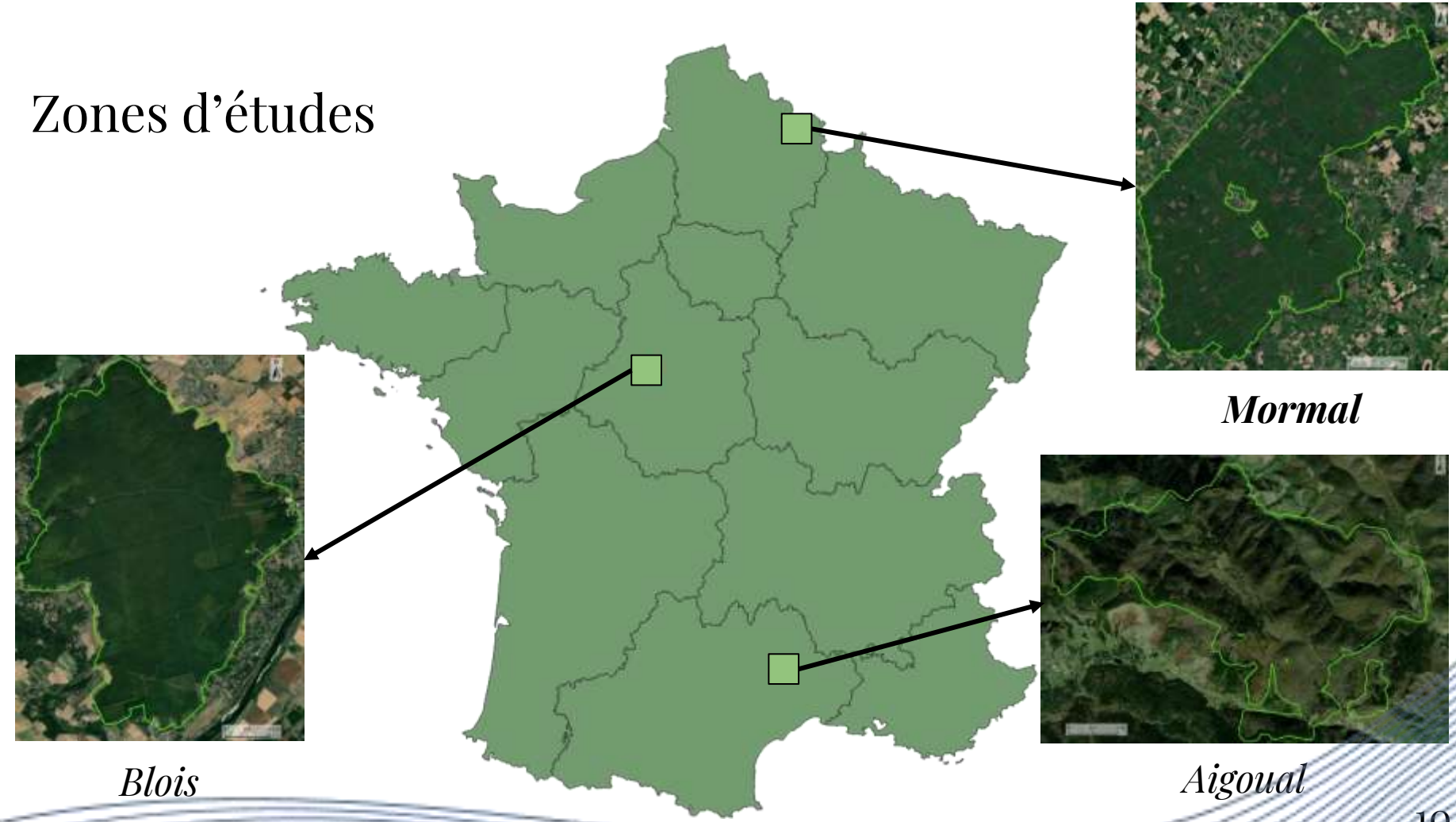
	Principe / Avantages	Inconvénients
Modèles de transfert radiatif (RTM)	Inversion du modèle pour estimer le LAI à partir des données LiDAR, matching avec les données réelles par optimisation itérative	Nécessite beaucoup de données d'entrée, compromis complexité-temps d'exécution
Méthodes paramétriques	Régressions sur des indices ou des transformations spectrales des bandes S-2, facile à mettre en place, exécution rapide	Résultats non optimaux et difficilement généralisables à d'autres observations, absence d'indicateur de qualité
Méthodes non paramétriques	Régression des données d'entraînements pour optimiser une fonction de coût, pas de paramétrage direct, utilisation de tout le spectre	Risque de surentraînement et modèles complexes à paramétrer
Méthodes hybrides (RTM + IA)	Combinaison de la généralisation des RTM et de la flexibilité des	Compromis complexité-temps d'exécution

Objectifs

-> Suivre la dynamique de l'indice de surface foliaire (LAI) et voir s'il peut être amélioré par la fusion de données acquises par systèmes LiDAR aéroportés ou spatiaux et de séries temporelles Sentinel-2, et selon quelle modalité de fusion

-> Focalisation sur les différences d'estimations du LAI par ces différents capteurs

Zones d'études



Approche multi-capteurs

-> Réduire les incertitudes

-> + avantages, - inconvénients de chaque type de données

LiDAR

Sentinel-2

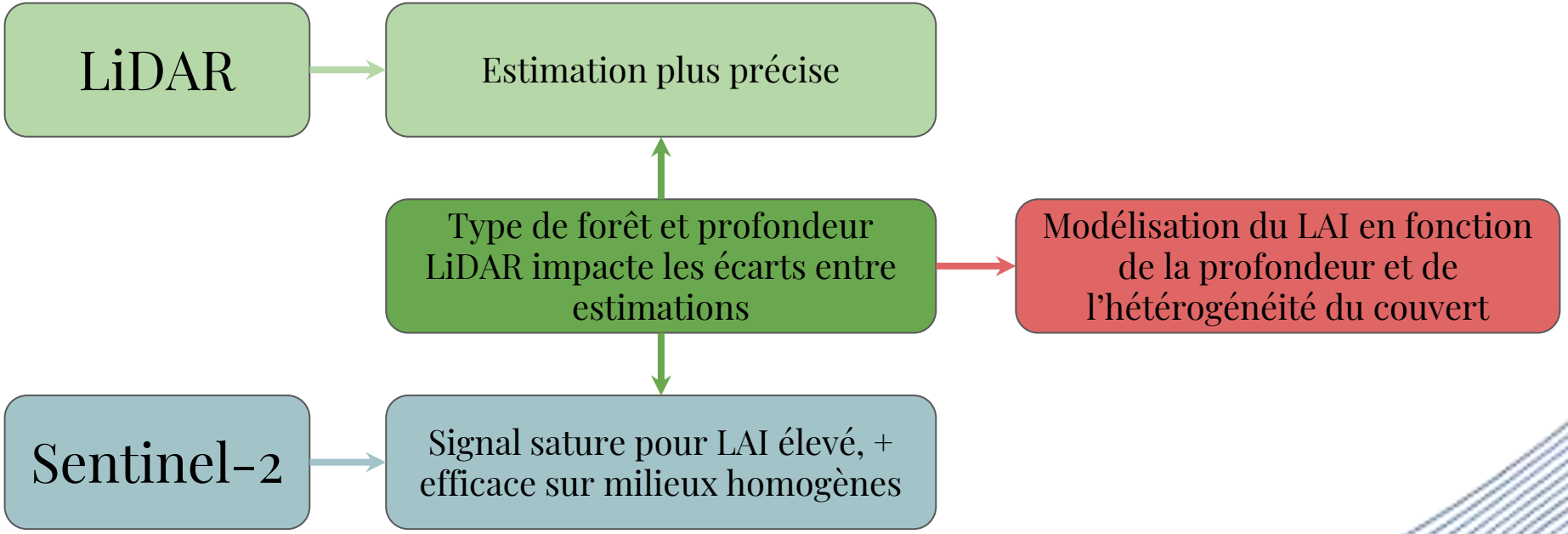
Fraction de trouées

(e.g. Richardson et al., 2009)

Méthode hybride (RTM + IA)

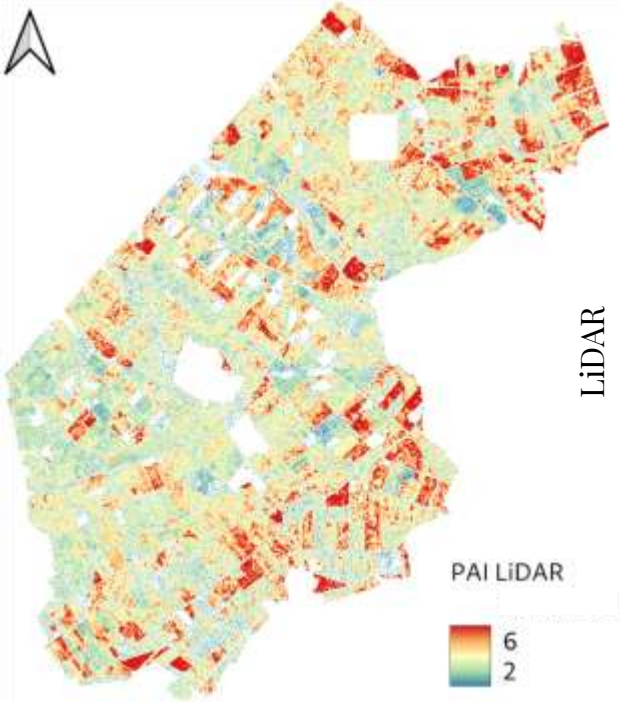
(e.g. Jacquemoud et al., 2009)

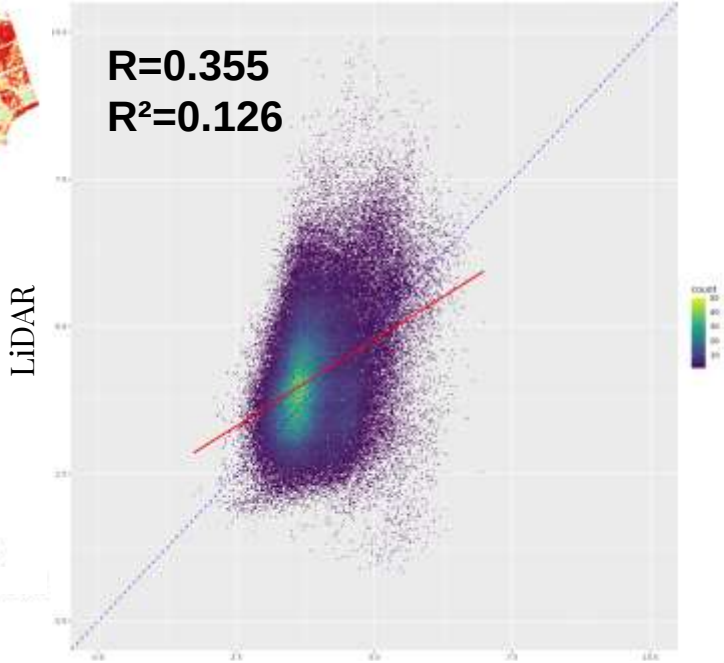
Système d'inter-comparaisons
Hypothèses formulées

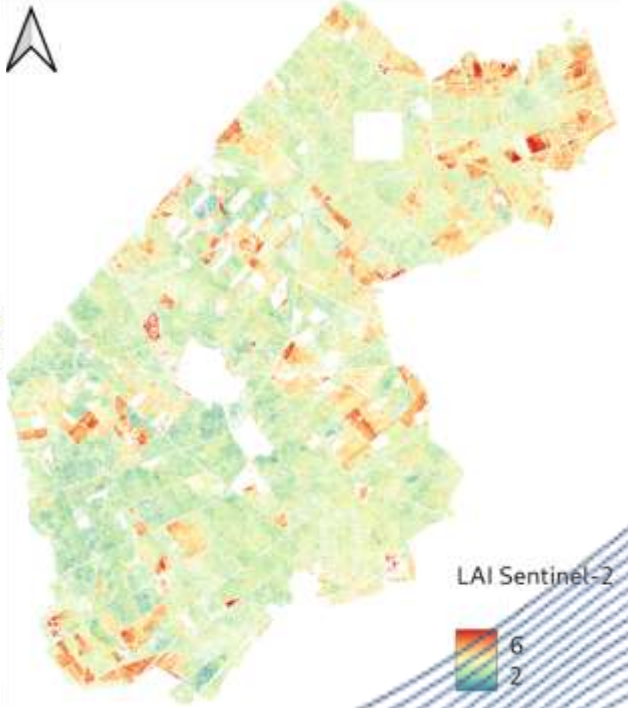


Système d'inter-comparaisons
Résultats

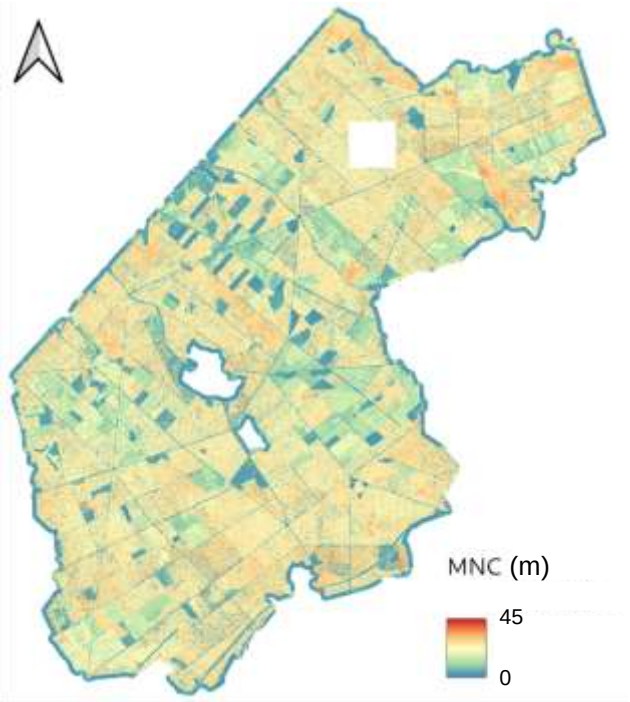
Nuage de points des LAI Sentinel-2 en fonction des LAI LiDAR







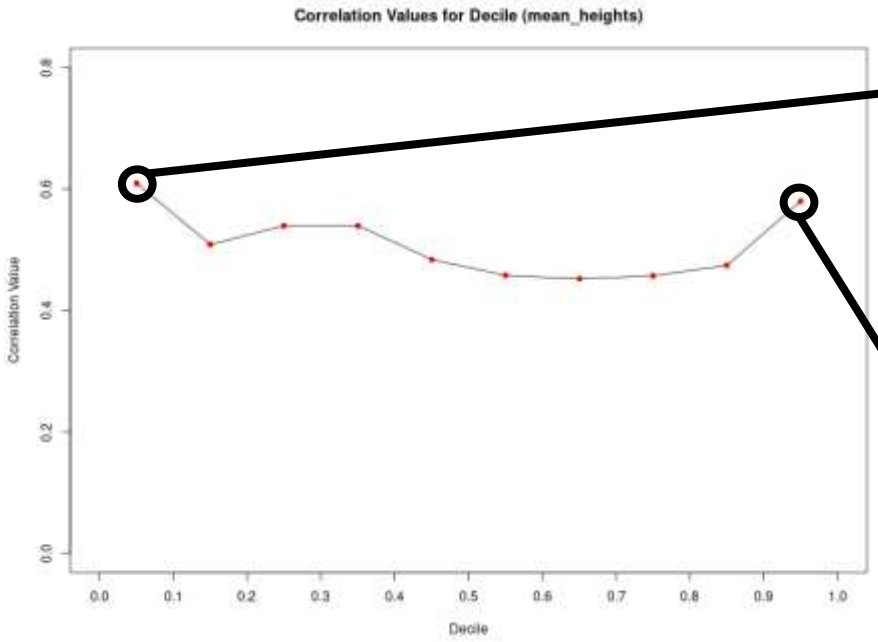
Système d'inter-comparaisons
Résultats



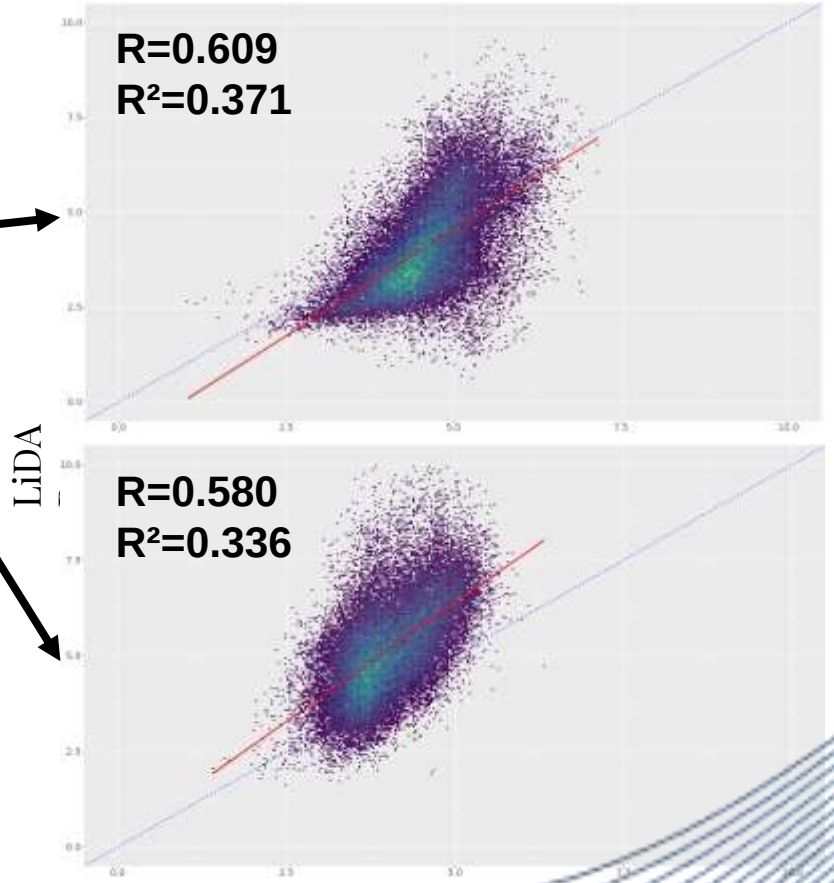
Moyenne des hauteurs découpée en 10 déciles

Ecart-type des hauteurs découpé en 3 déciles

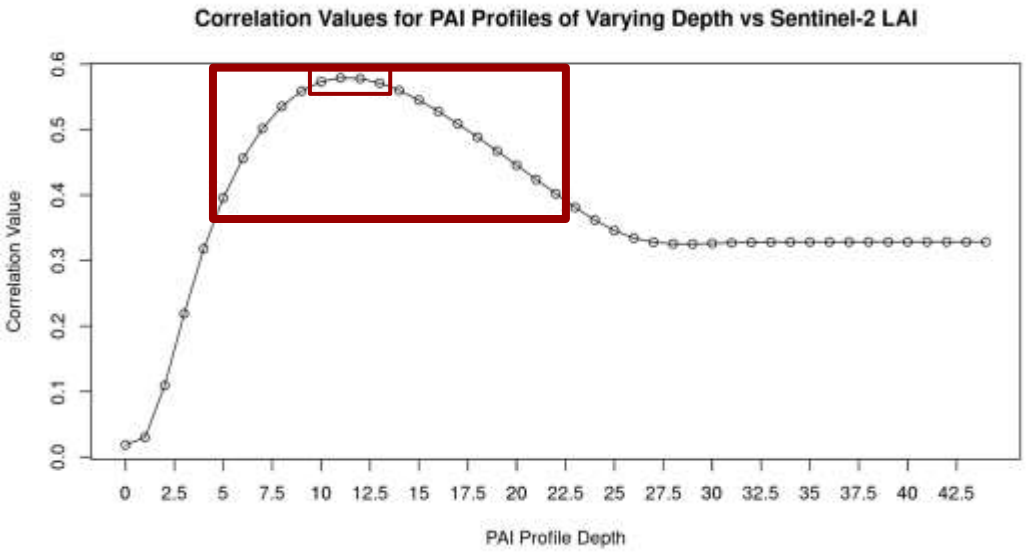
Système d'inter-comparaisons
Résultats

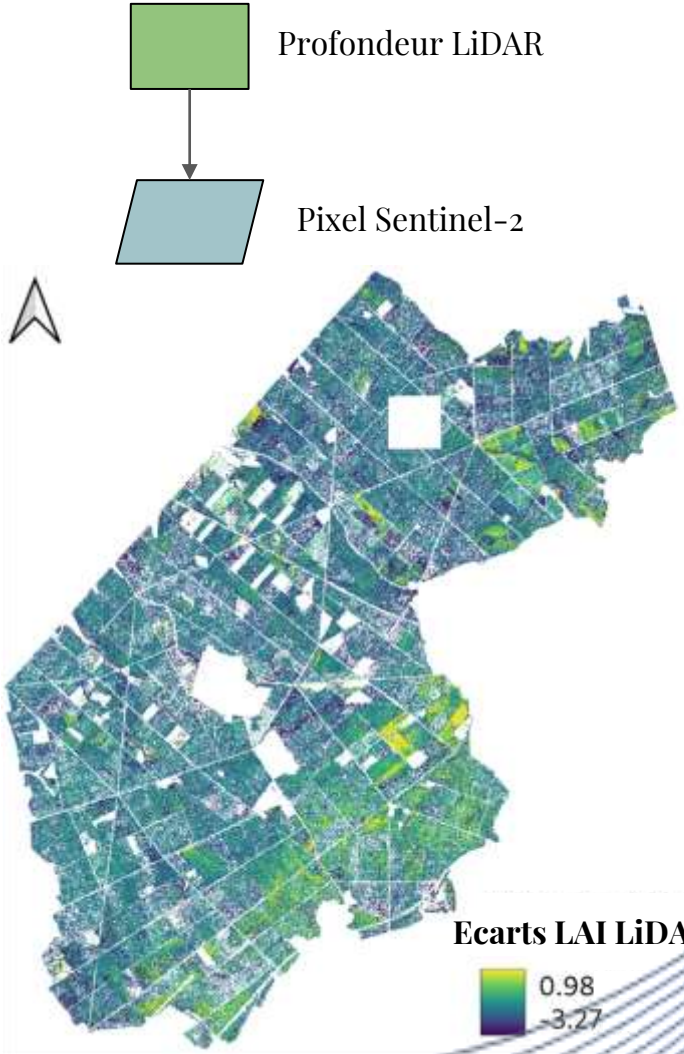


Nuage de points des LAI Sentinel-2 en fonction des LAI LiDAR (haut: décile 0-0.1 de la moyenne des hauteurs, bas: décile 0.9-1 de la moyenne des hauteurs)

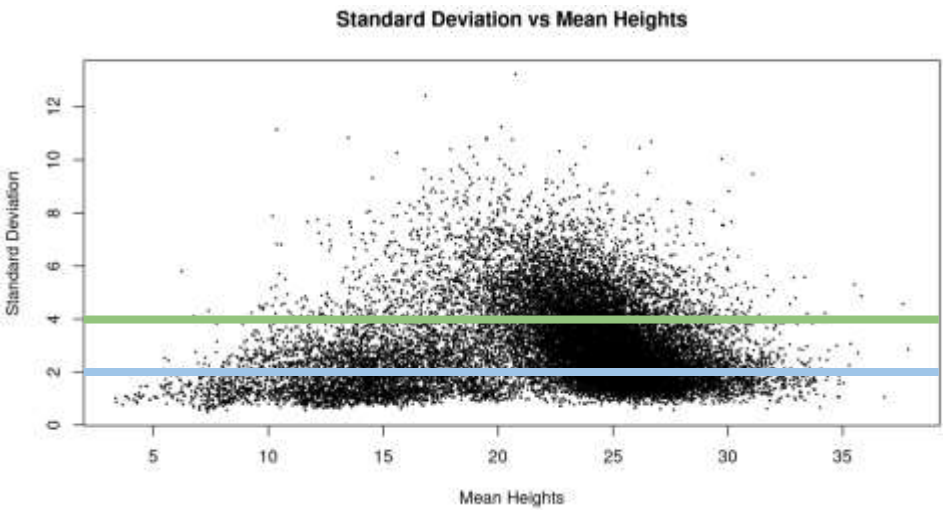


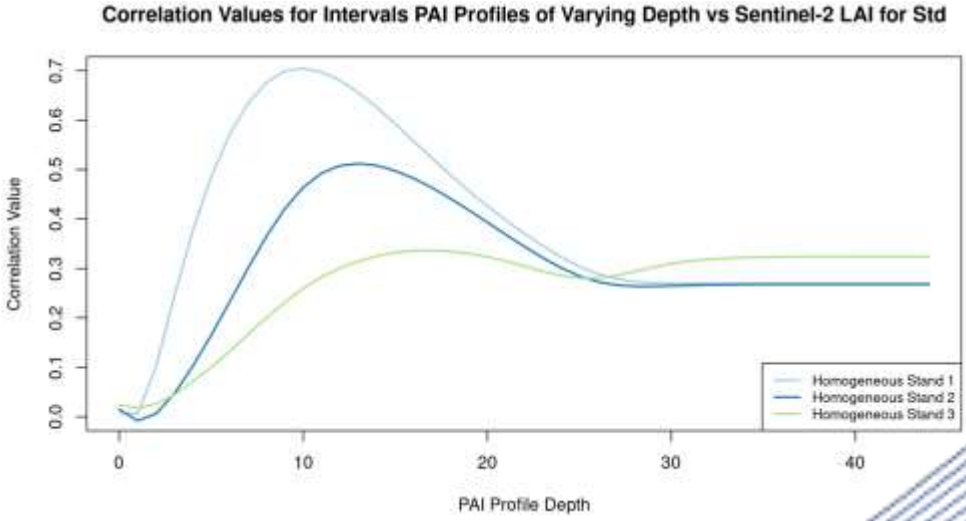
Système d'inter-comparaisons
Résultats





Système d'inter-comparaisons
Résultats





Suites envisagées

- Hétérogénéité / hauteurs -> Variables explicatives par Machine Learning (e.g. Torre-Tojal et al., 2022, Torresani et al., 2023)

- Fusion des données par Deep Learning (e.g. Castro-Valdecantos et al., 2022, Zhou et al., 2023)

- Étudier l'intérêt des produits LAI estimés par d'autres types de données (e.g. GEDI -> Brown et al., 2023, Wang et al., 2023)

- Validation du LAI avec jeux de données externes (e.g. Scurlock et al., 2001, Brown et al., 2021)

Merci de votre attention