RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
Liberté Égalité Fraternité

INRAE

anr

FRANCE 2030

PROGRAMME DE RECHERCHE

RÉSILIENCE DES FORÊTS

Suivi des forêts

Projet ciblé MONITOR, « Système agile de monitoring écologique des forêts »

Responsables : Jerome Chave (CNRS)
Camille Piponiot (CIRAD)

Intervenants: Martin Schwartz (LSCE)
Kevin Darras (INRAE)
Caroline Bedeau (ONF Guyane)

Bordeaux, 18 septembre 2024

IGN INSTITUT NATIONAL DE L'INFORMATION GÉOGRAPHIQUE ET FORESTIÈRE
IRD Institut de Recherche pour le Développement FRANCE
Réserves Naturelles DE FRANCE
cnes
Office National des Forêts
cirad
INRAE
cnrs
Aix*Marseille université Socialement engagée
UR UNIVERSITÉ DE LA RÉUNION
UNIVERSITÉ de Picardie Jules Verne
UVSQ université PARIS-SACLAY

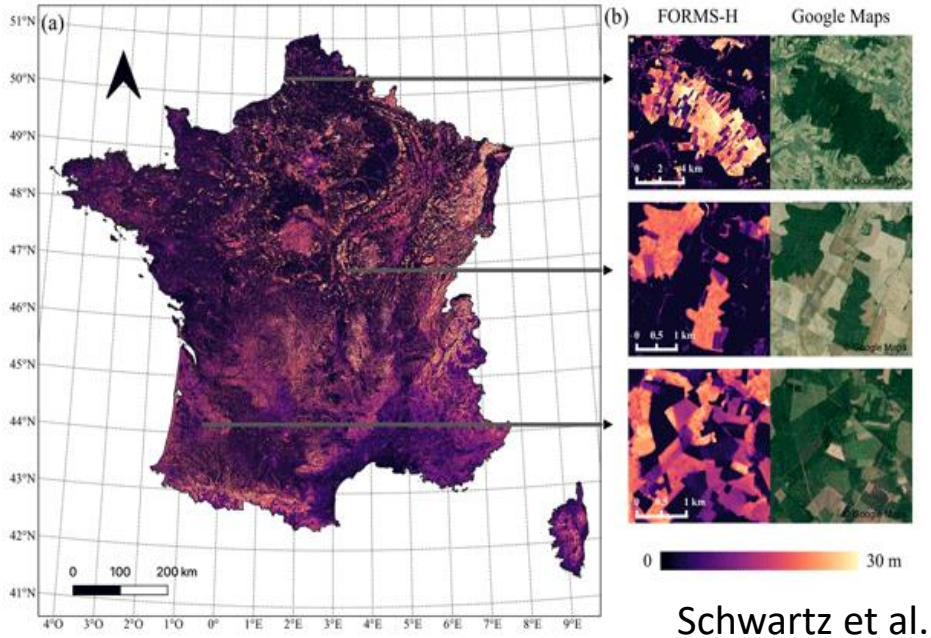
Monitoring des forêts et télédétection

Objectif: tester des méthodes innovantes pour cartographier l'état et le changement des forêts françaises.

Cartographie des forêts à l'aide de l'apprentissage profond.

Attribution des causes de la disparition des forêts

Suivi des forêts dans les territoires français d'outre-mer.



Schwartz et al., 2023

Suivi de la diversité forestière

Objectif: suivi et modélisation de nouvelles métriques de la diversité des forêts.

Biodiversité des oiseaux et des chauves-souris dans les forêts.

Biodiversité du sous-étage et microclimat.

Amélioration du suivi de la biodiversité dans les forêts protégées.

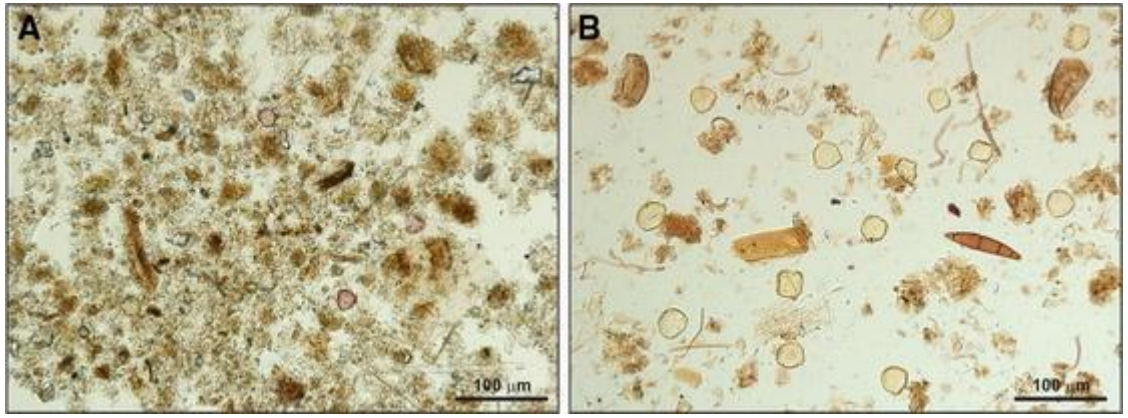
Modélisation de la dynamique de la biodiversité forestière.

Dynamique passée des forêts françaises

Objectif: intégrer des analyses des changements de couvert forestier et de leurs causes sur le temps long.

Changements à long terme dans la distribution, la composition et la dynamique des forêts.

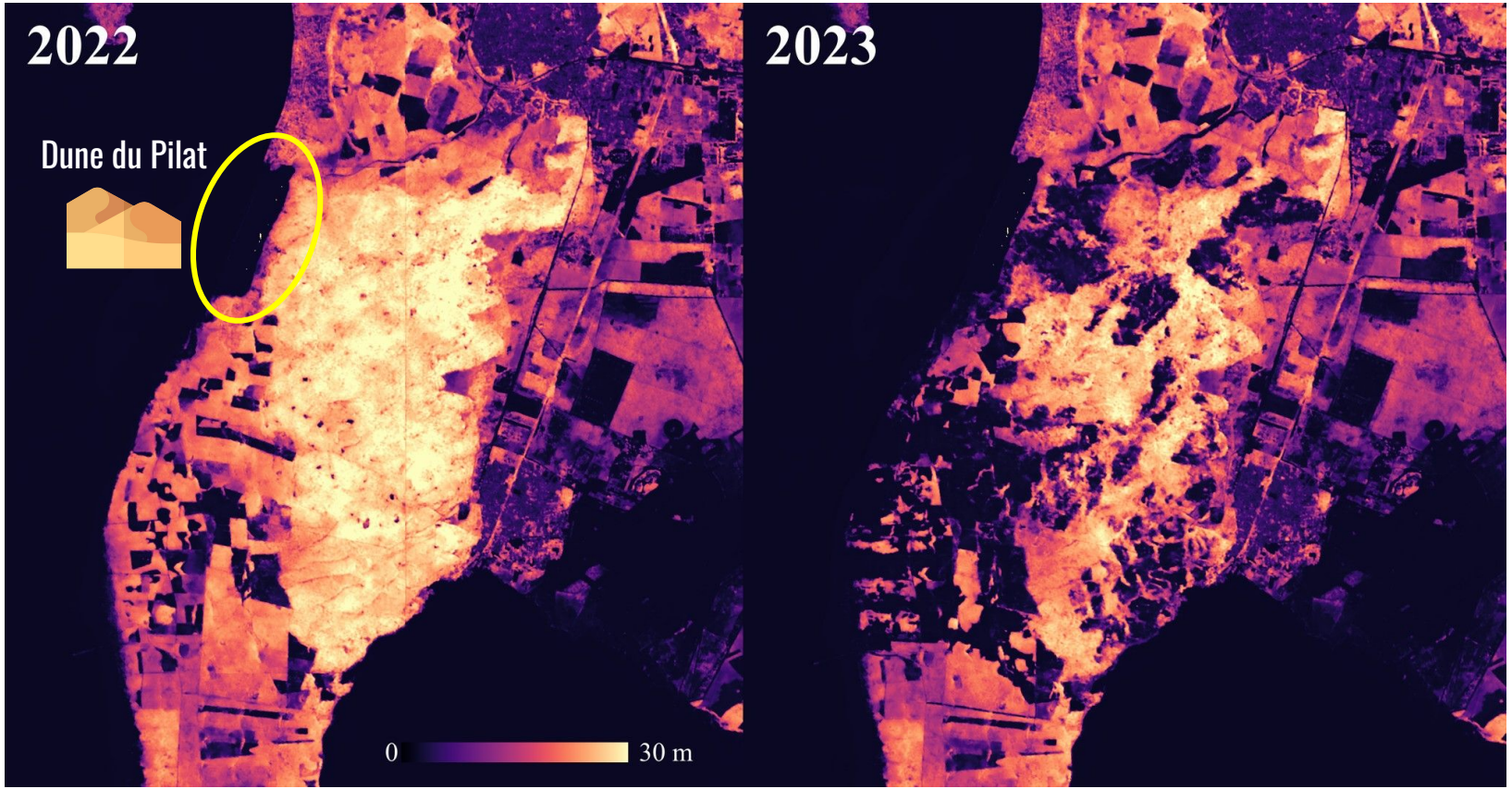
Enquêtes paléo-environnementales intégratives dans les forêts.



Stolze et al., 2015

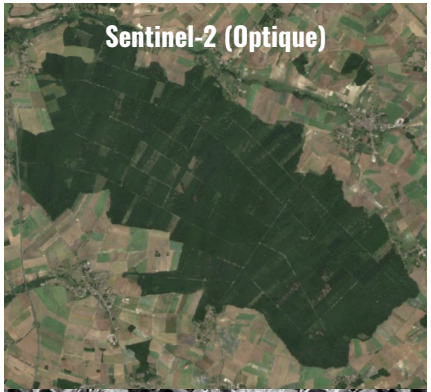
Télédétection et surveillance des forêts

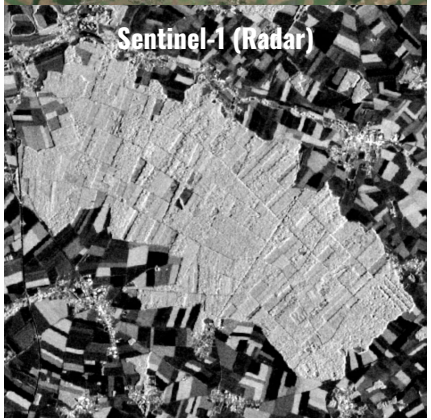
Martin Schwartz, Post-Doc au Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement (LSCE)



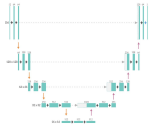
Thèse : Cartographie à haute résolution de la hauteur et de la biomasse des forêts françaises à l'aide de télédétection spatiale et d'apprentissage profond

Information spatiale à haute résolution





Modèle de Deep Learning

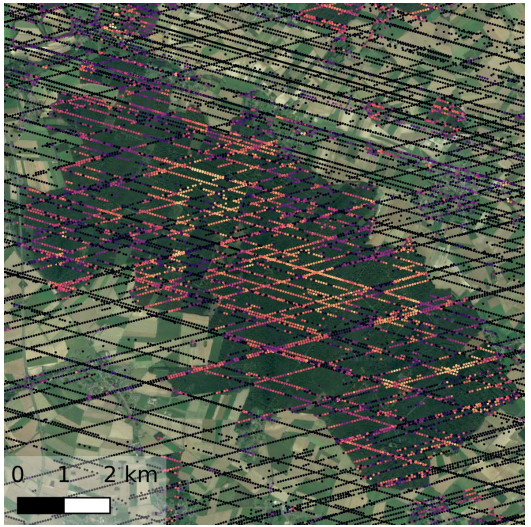


U-Net

Carte de hauteur à haute résolution

Données d'entraînement

Hauteur GEDI



Forêt domaniale de Crécy, Hauts-de-France

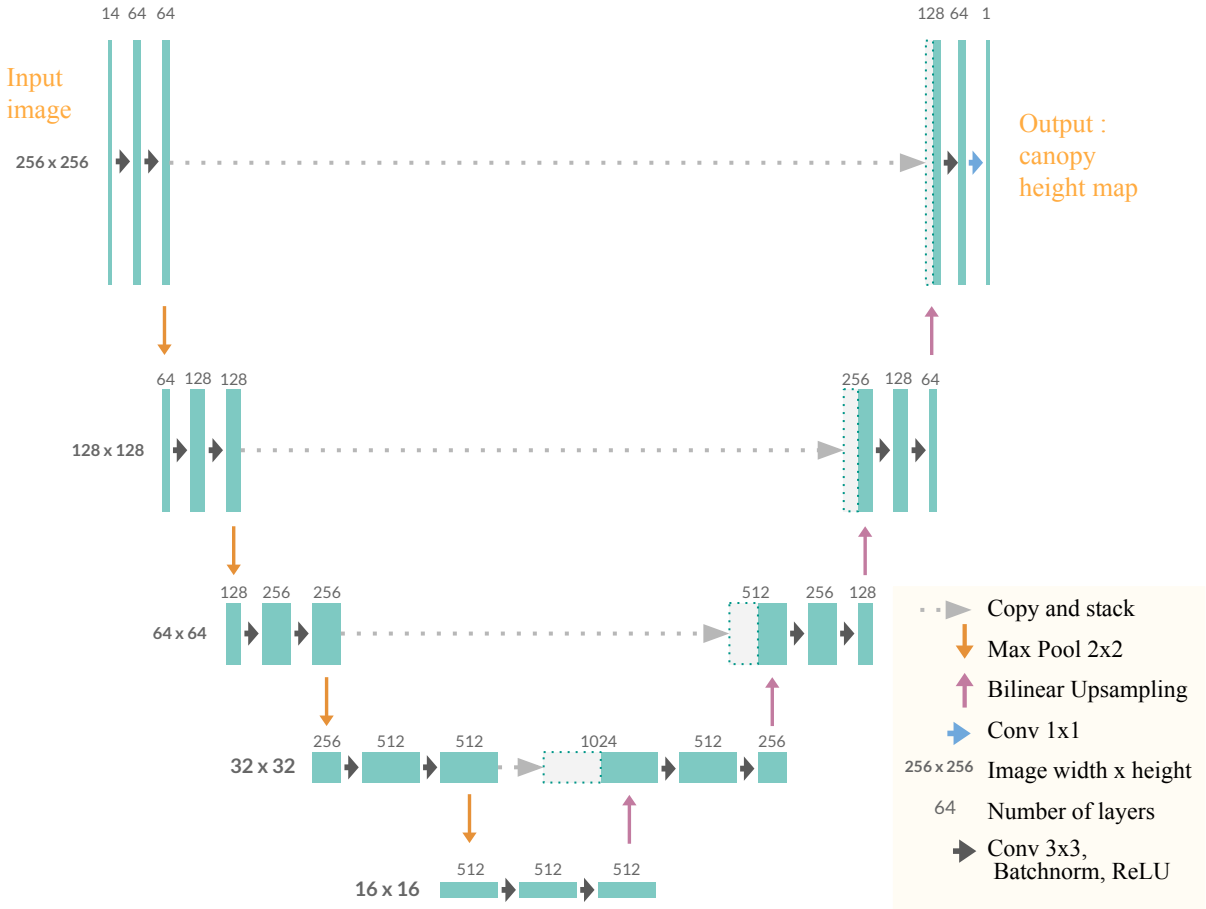
L'apport du Deep Learning

- Permet d'extraire la **texture** et le **contexte** de l'image à **plusieurs échelles**

- **~ 17 Millions** de paramètres à ajuster

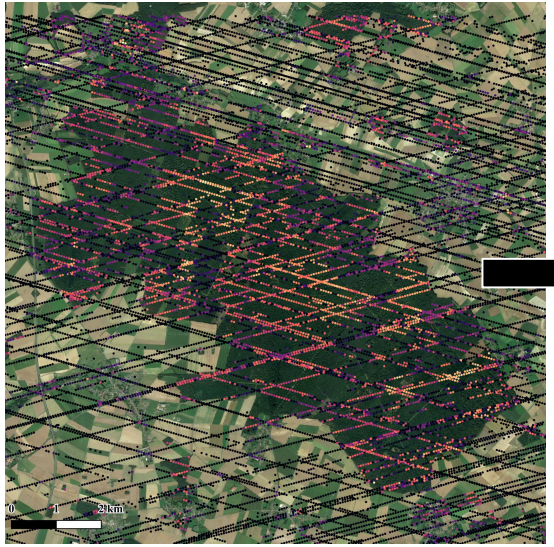
- Particulièrement adapté aux **gros jeux de données** (GEDI)

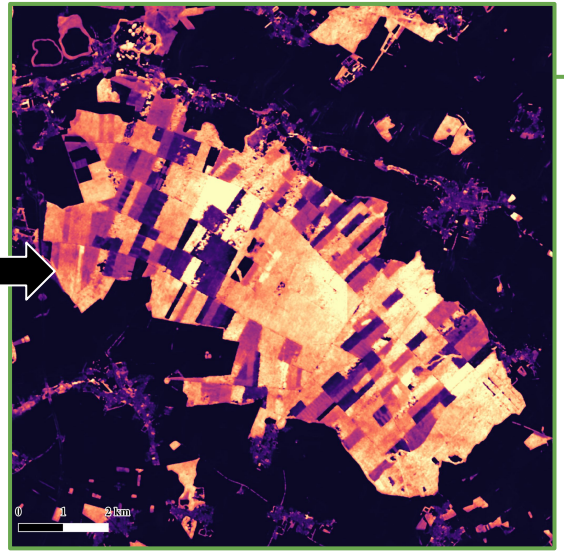
Adapted from Ronneberger et al. (2015)

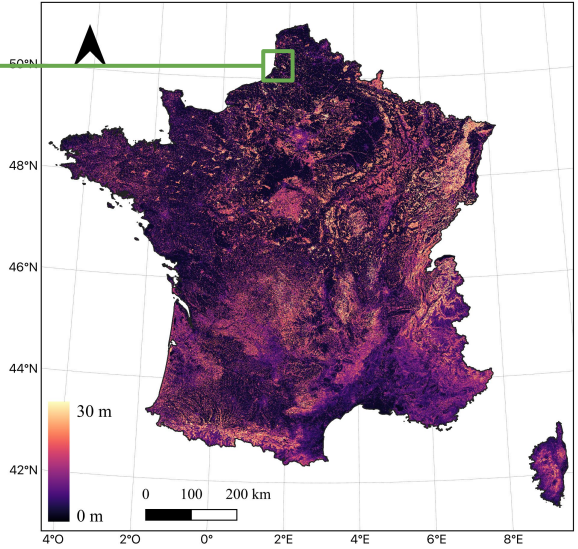


Résultats : Carte de France des hauteurs à 10 m de résolution

(Schwartz et al., 2023)





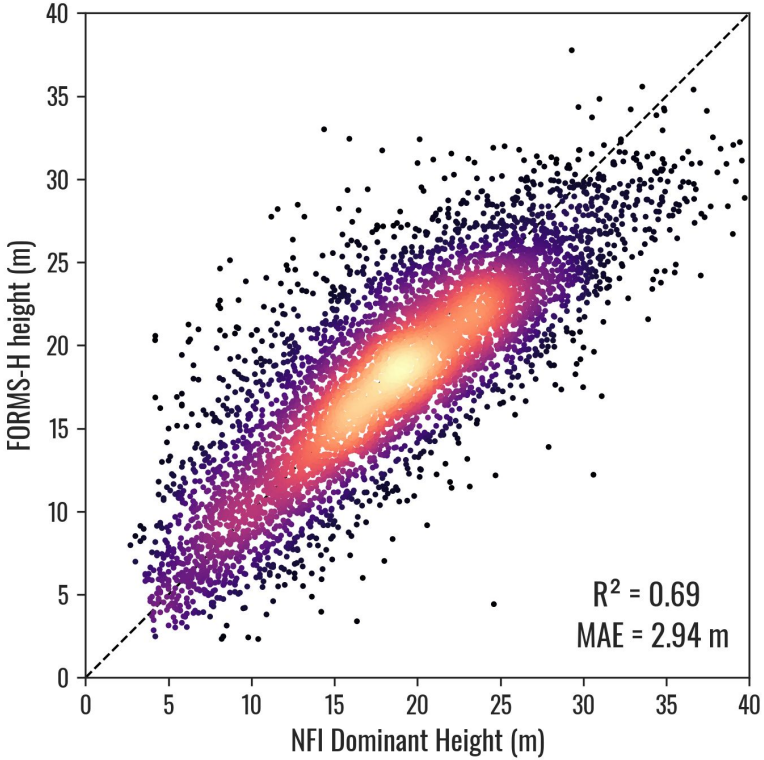


\+ Passage au volume et à la biomasse avec des équations allométriques

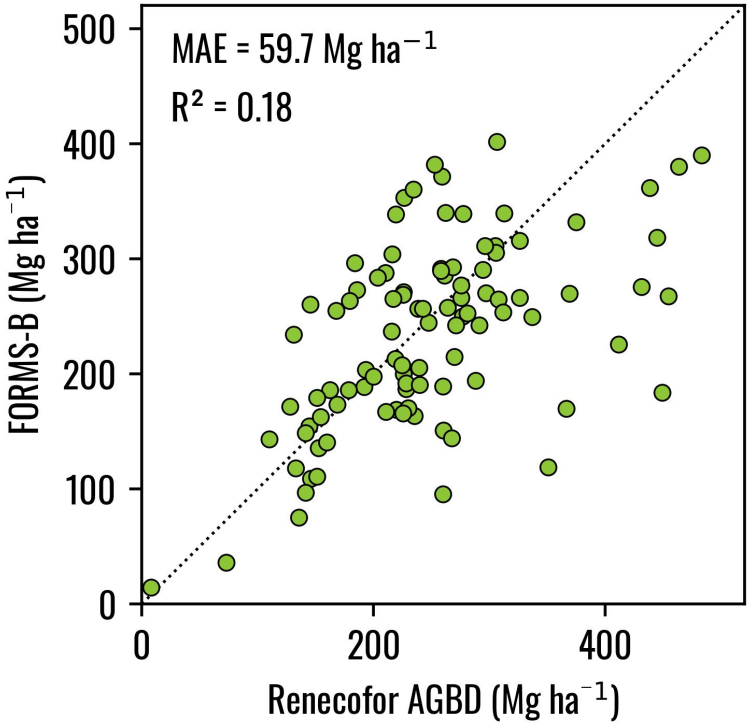
Résultats : Comparaison aux données terrain

(Schwartz et al., 2023)

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



Réseau RENECOFOR, ONF

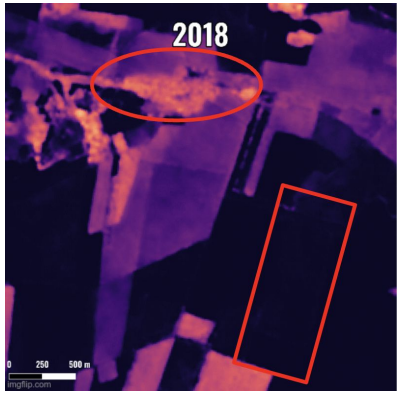


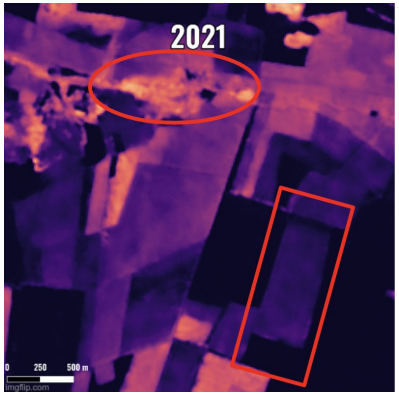
Limites et enjeux

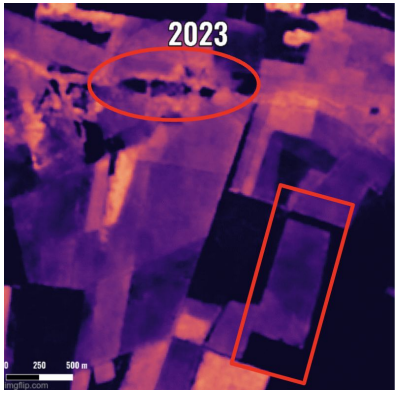
- De grands écarts de biomasse et volume avec certaines données terrain
- Des prédictions plus difficiles à expliquer avec le deep learning
- Complémentarité de l'utilisation de la télédétection et des données de terrain

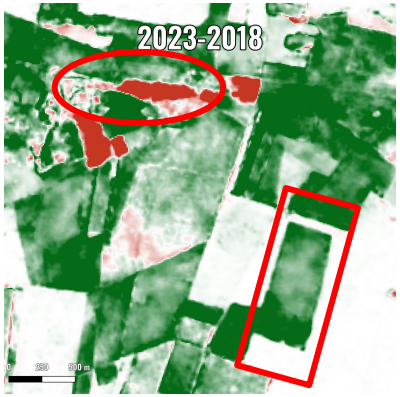
Perspectives pour le PC Monitor

- Cartes annuelles pour étudier les changements de hauteur/biomasse (depuis 2015)

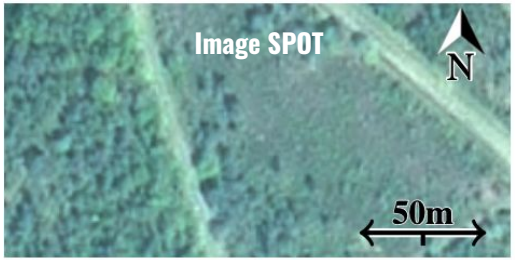








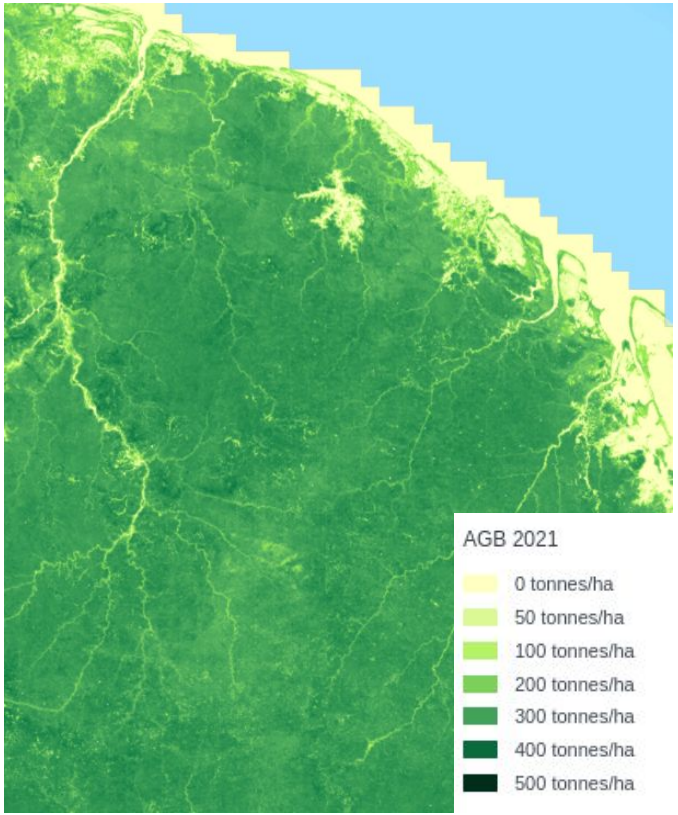
- Haute résolution avec données Planet / SPOT et LiDAR aéroporté



Perspectives pour le PC Monitor

- Cartes annuelles de hauteur et biomasse depuis 40 ans avec Landsat (30 m res.)
- Modèles de fondation : Nouveaux modèles de deep learning plus performant et multi-tâches (Fayad et al. *in prep*)
- Courbes de croissances post-perturbation selon les espèces (Pellissier-Tanon et al., 2024)
- Cartes d'espèce, Cartes de perturbation avec attribution
- Budget Carbone annuel de la France à l'aide des cartes et comparaison aux données terrain

- Application aux zones tropicales (Guyane)



Merci pour votre attention

martin.schwartz@lsce.ipsl.fr

Suivi acoustique passif des oiseaux et chauves-souris

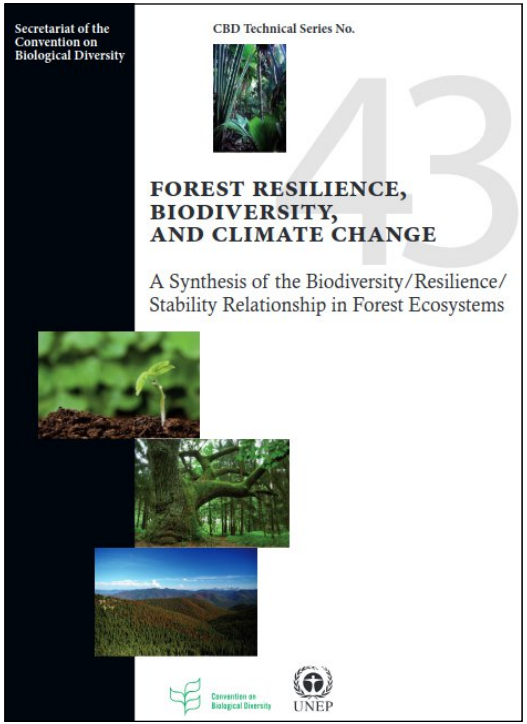
Sur dispositif RENECOFOR
Dans le cadre du PC2 MONITOR

Kevin FA Darras, EFNO
lancement PEPR FORESTT
Bordeaux, 18 septembre 2024

INRAE

La biodiversité forestière animale – négligée?

- **Écologique** : La faune dépend de la biodiversité florale mais agit aussi sur elle
- **Légal** : Obligation de faciliter son adaptation au changement climatique (Trouwborst, 2011)
- **Technologique** : Suivi standardisé des vertébrés volants à grande échelle et sur le temps long manquant



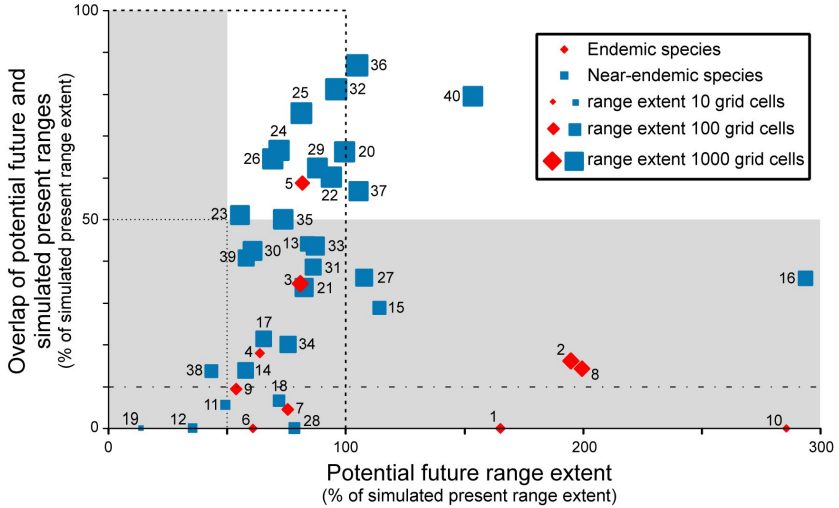
"we limit our discussion to botanical aspects of forests"

Questions scientifiques

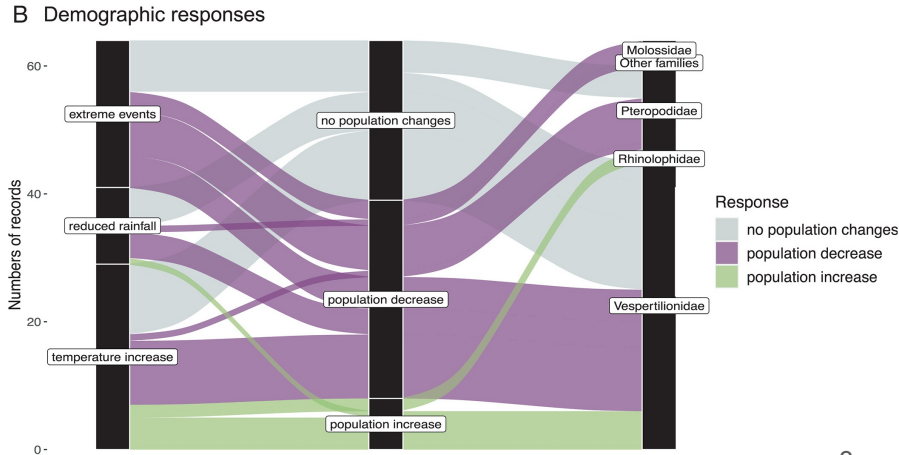
- Les répartitions et la démographie des oiseaux et chauves-souris subiront d'importants changements

- Avenues de recherche:
  - Résilience aux événements extrêmes
  - Réponse comportementale au microclimat
  - Couplage phénologique à la végétation
  - ...

  (en fonction de l'essence dominante)



Enveloppes climatiques prédites oiseaux (Huntley et al. 2008)



Réponses démographiques chauves-souris (Festa et al. 2022)

Suivi acoustique passif

- S'inscrit dans l'écoacoustique, qui étudie l'écologie par les sons environnementaux

- Taxons forestiers dans l'audible et ultrasonore, actifs de nuit et de jour:

Fringilla coelebs, By Kamran Safi, CC BY-SA 4.0, https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=71143379

Nyctalus noctula, By Andreas Trepte - Own work, CC BY-SA 2.5, https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=15264293

Cyrtaspis scutata female, By Gilles San Martin from Namur, Belgium, CC BY-SA 2.0, https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=54627381

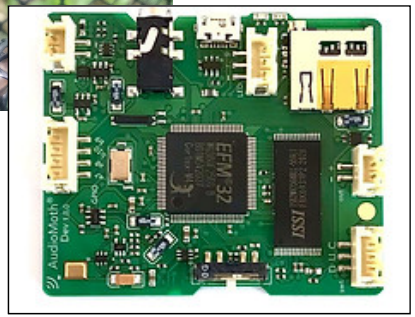
Hyla arborea By Stijn99 - Own work, CC BY-SA 4.0, https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=75232676

Matériel et déploiement

- Contraintes techniques: alimentation électrique, intempéries, stockage et analyse de données...

- Solutions:
  - Audiomoth-dev + Li-ion 10 Ah
  - Échantillonnage @ 250 kHz, 1/15 min
  - Identification IA (BirdNET, batdetect2)

Audiomoth 1.2 dans boîtier sur placette CHS

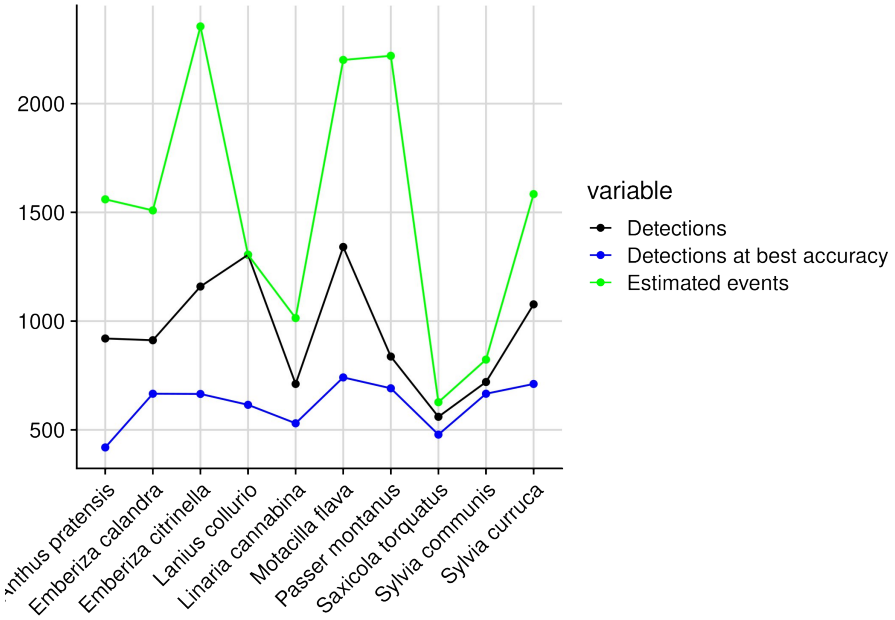


Audiomoth-dev

Calibration spatiale et standardisation données IA

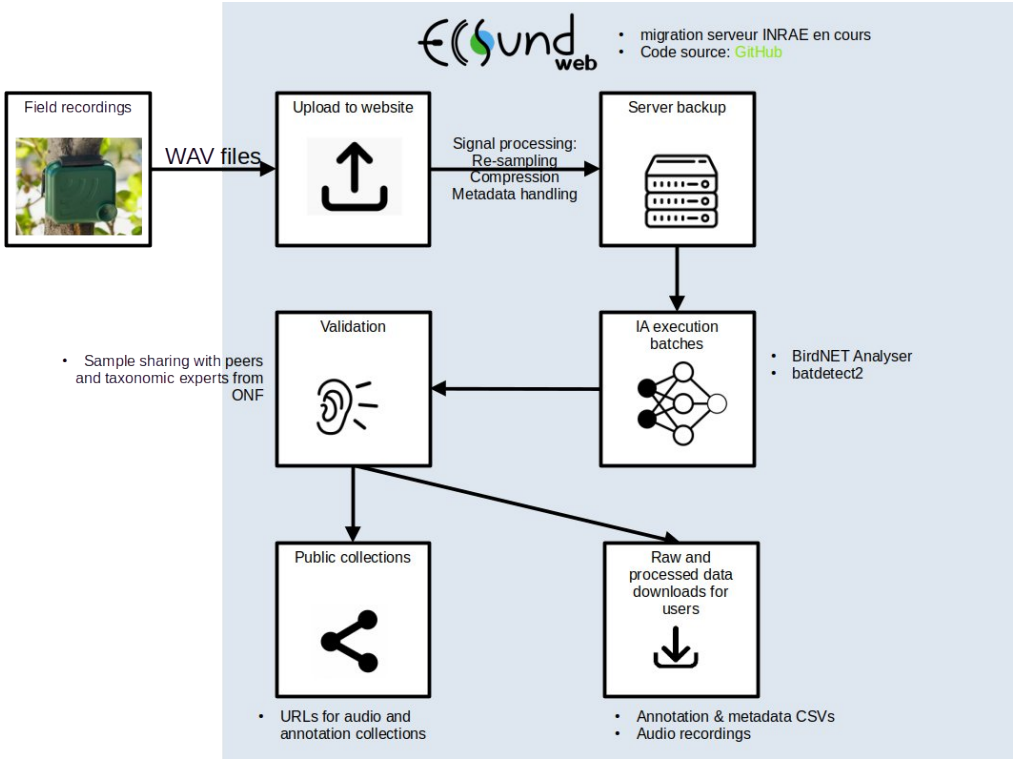
Les portées acoustiques sont variables (Darras et al. 2016, Haupert et al. 2022)

Source de bruit omnidirectionnelle (Somervuo et al. 2023)



Sans correction, les résultats de l'IA sont biaisés (Wood & Kahl, 2024)

Flux des données



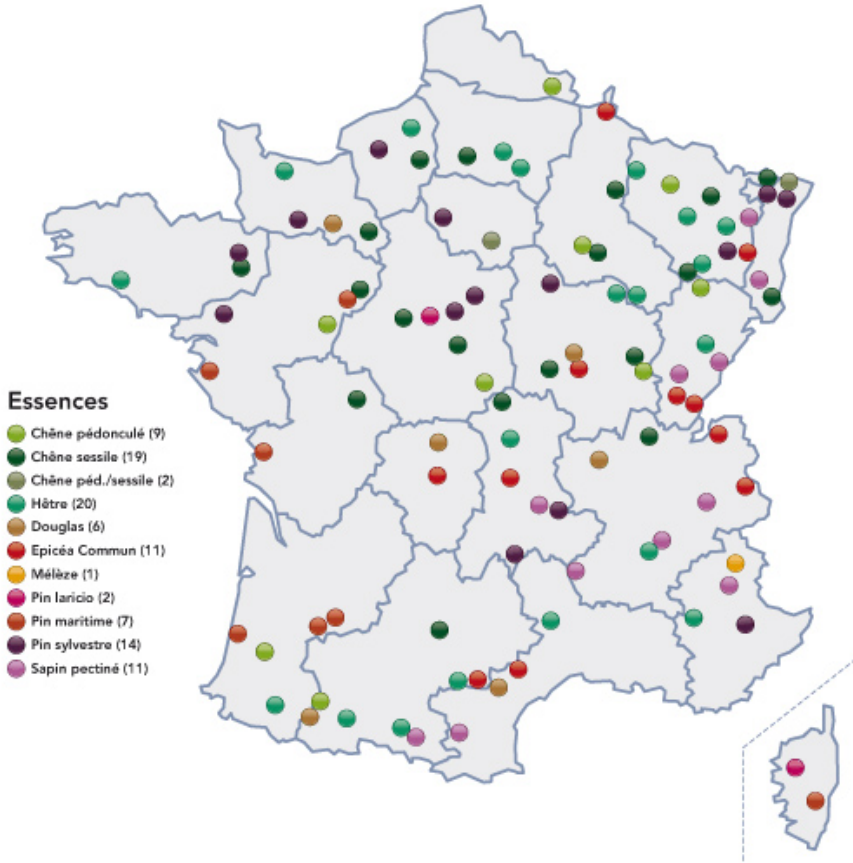
Expérimental:

- Pré-filtrage voix humaines
- Calcul des portées
- Standardisation données IA

Résultats de l'étude pilote

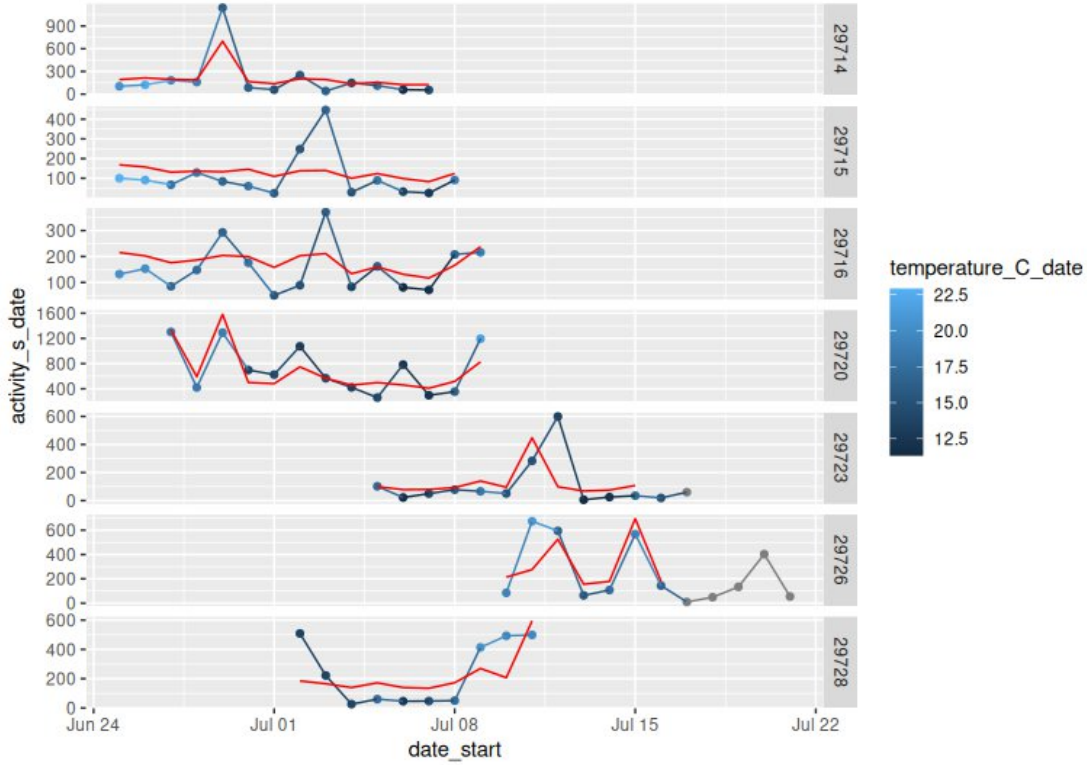
- juillet-août 2024
- >1 semaine d'enregistrement
- Placettes Chênes sessiles RENECOFOR

https://ecosound-web.de/



Exemple d'analyse (bioacoustique)

- Prédiction de l'activité acoustique de l'oreillard gris avec:
  - température
  - précipitation
  - placette



Remerciements et références

Frédéric Archaux, Marion Gosselin, Sarah Berthomieu, Manuel Nicolas, Yves Bas, Luc Barbaro

- Trouwborst, A., 2011. Conserving European Biodiversity in a Changing Climate: The Bern Convention, the European Union Birds and Habitats Directives and the Adaptation of Nature to Climate Change. Review of European Community & International Environmental Law 20, 62–77. https://doi.org/10.1111/j.1467-9388.2011.00700.x
- Huntley, B., Collingham, Y.C., Willis, S.G., Green, R.E., 2008. Potential Impacts of Climatic Change on European Breeding Birds. PLOS ONE 3, e1439. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0001439
- Somervuo, P., Lauha, P., Lokki, T., 2023. Effects of landscape and distance in automatic audio based bird species identification. The Journal of the Acoustical Society of America 154, 245–254. https://doi.org/10.1121/10.0020153
- Wood, C.M., Kahl, S., 2024. Guidelines for appropriate use of BirdNET scores and other detector outputs. J Ornithol. https://doi.org/10.1007/s10336-024-02144-5

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
Liberté
Égalité
Fraternité

Office National des Forêts

Importance des suivis forestiers pour la forêt guyanaise

ONF – Pôle RDI Cayenne – Caroline Bedeau

18/09/2024

Contexte de la forêt guyanaise

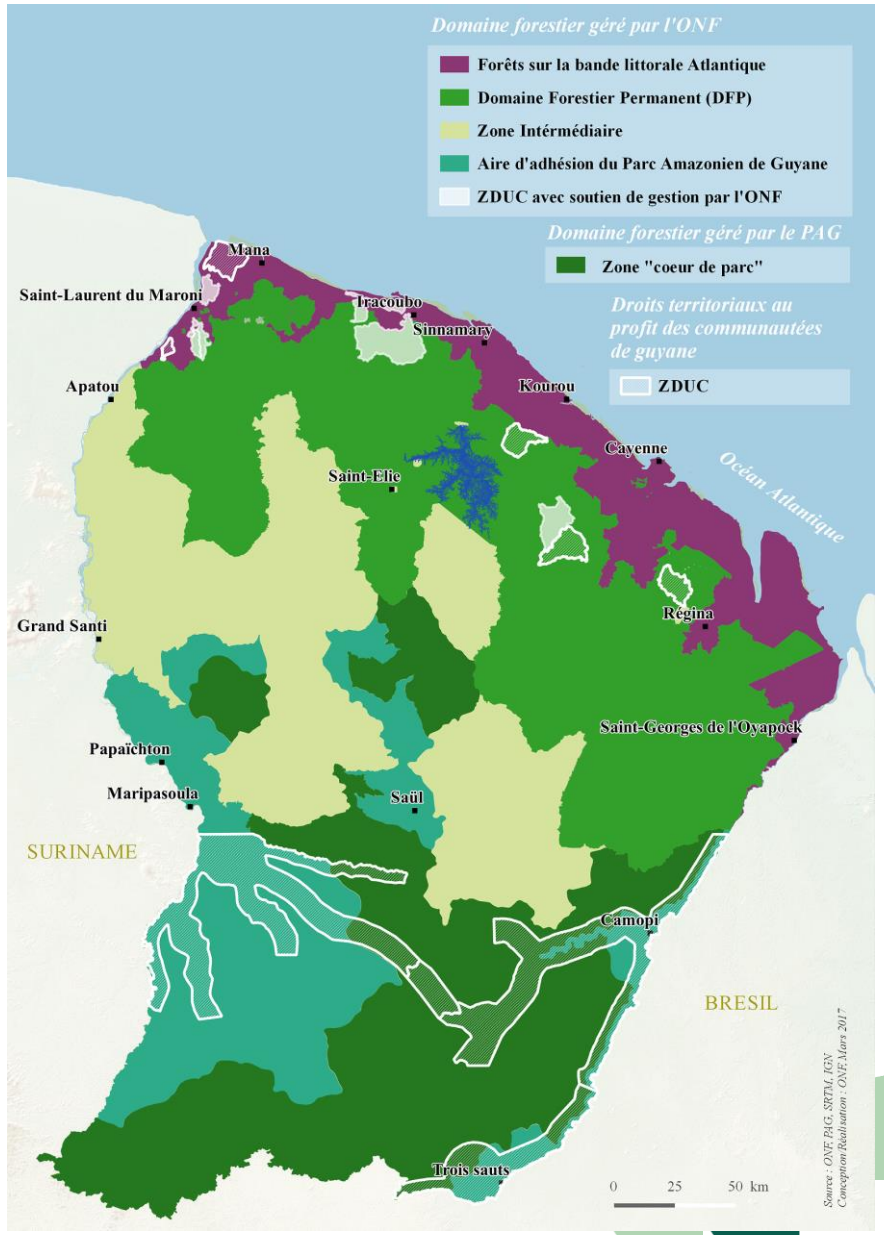
- Superficie Guyane : ~ 8.4 M ha
- Taux de boisement 96%
- Superficie gérée par l'ONF : ~ 6 M ha
- Contexte Amazonien – région Plateau des Guyanes

Une **méga-biodiversité** forestière
Reconnue mondialement comme un fort enjeu environnemental

Un **enjeu carbone fort**
Carbone aérien stocké dans les forêts de Guyane ≈ celui des forêts de métropole

Un **pilier du développement endogène**
Forte demande locale en bois de construction, contribution à la production d'électricité (connexes bois énergie), produits forestiers non ligneux, …
Fonctions traditionnelle et sociale importantes

- Un **territoire encore largement préservé**
- Une gestion **multifonctionnelle et durable**



L'ONF acteur de la gestion durable des forêts guyanaises

- Assurer la préservation des milieux et de la biodiversité :

  Zones de protection : Réserves naturelles et biologiques, …

- Organiser et contrôler les activités anthropiques légales :

  Suivi de l'activité minière : Observatoire des Activités Minières, …

  Production de bois : cadre PEFC et Exploitation à Faible Impact, règles sylvicoles …

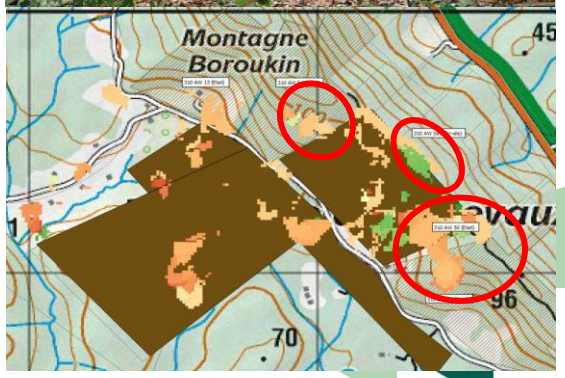
- Lutter contre les activités illégales :

  Orpaillage clandestin, Occupations et défriches illégales, …

➢ Amélioration continue des cadres et pratiques de gestion :
  - Connaître le fonctionnement écologique des forêts
  - Comprendre et anticiper les effets des changements climatiques et leurs effets combinés avec l'exploitation forestière

➢ Nécessité de disposer d'indicateurs sur les effets de la gestion et l'état des forêts, et les rapporter

  Actuellement pas d'Inventaire Forestier National en Guyane



Importance de la recherche pour la gestion forestière en Guyane

- Service dédié R&D au sein de l'ONF : département RDI / pôle Cayenne
- Partenariat fort et continu avec structures de recherche (CIRAD, CNRS, IRD, INRAE…)

➢ Contribue au développement des connaissances fondamentales à la gestion

➢ Forte part de recherche appliquée

Importance de la recherche pour la gestion forestière en Guyane

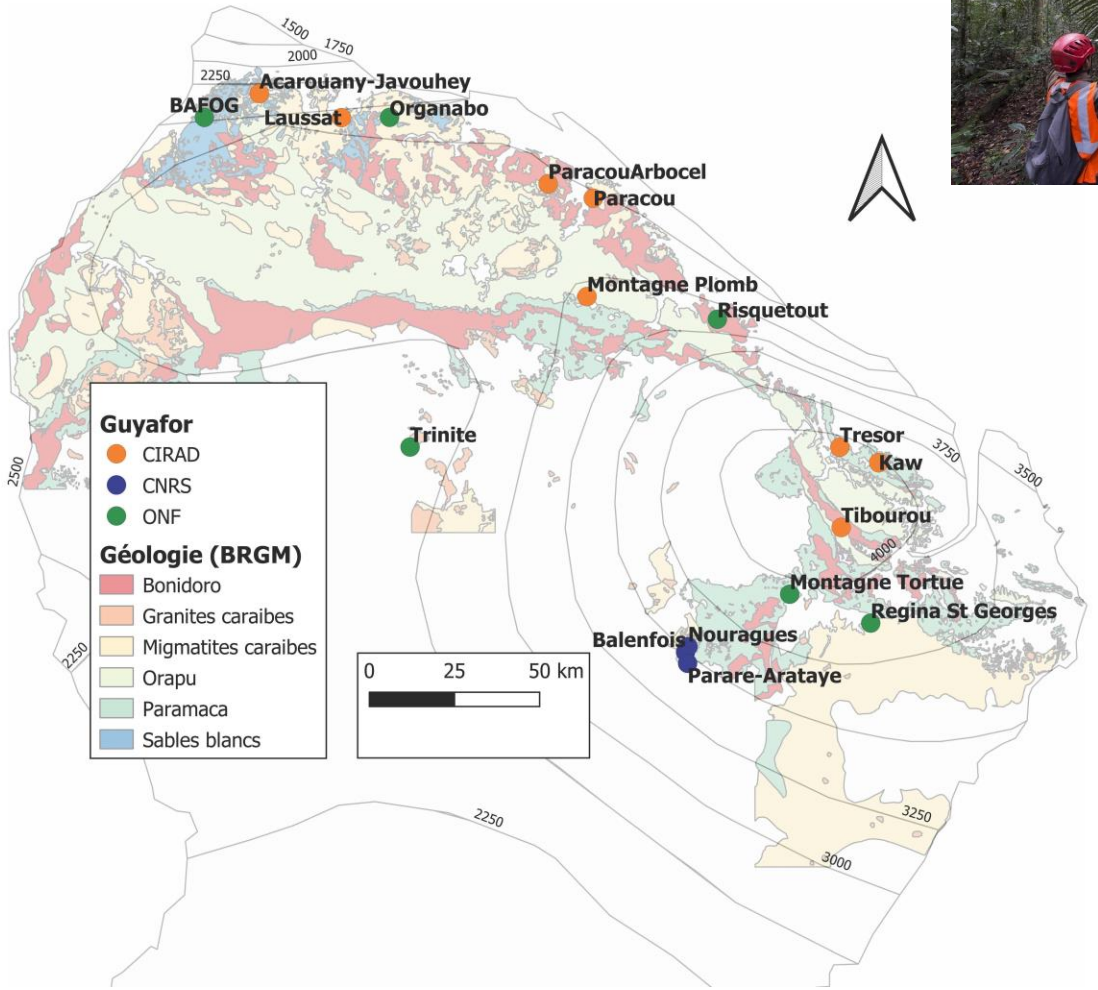
➢ Quelques exemples

Réseau GUYAFOR

Partenariat CIRAD-ONF-CNRS

- Inventaires réguliers
- Placettes Forêts non perturbée et exploitée

~ 300 ha
> 260 000 arbres (∅ >10 cm)
> 2,2 millions de mesures
+ stratégie données télédétection (lidar) en cours



➢ Dispositif indispensable pour les modèles de structure, dynamique, flux carbone, diversité, effets des CC …

➢ Applications directes dans la gestion : orientations & règles sylvicoles actuelles … et futures

Projets GFClim, ManagForRes ….

➢ Mutualisation pantropicale TmFO + Geo-Trees

Importance de la recherche pour la gestion forestière en Guyane

➢ Quelques exemples

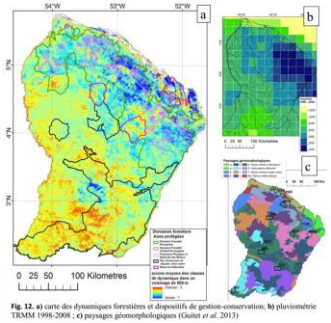
Modèles et Cartographies « wall-to-wall »

Habitats forestiers (Guitet *et al.* 2015)
Sols (non publié)
Biomasse (Fayad *et al.* 2015)
Dynamiques forestières (Sabatier et al. 2017)
…

- Moyenne / basse résolution
- Incertitudes relativement fortes
- Temporalité : « one-shot »

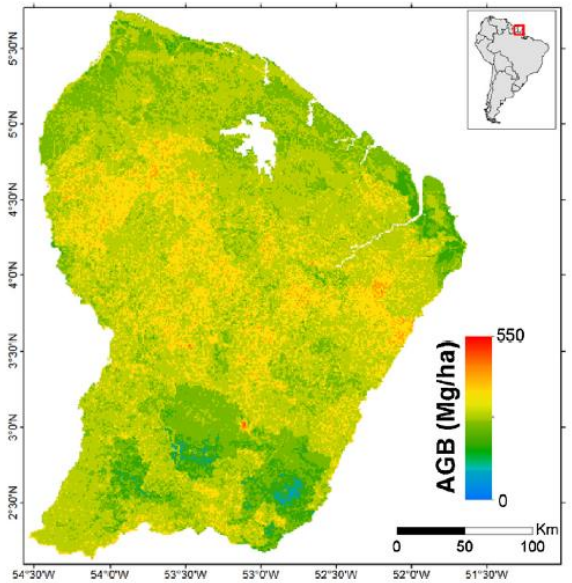
➢ Données de référence uniques et largement réutilisées

mais pas/peu de perspective temporelle

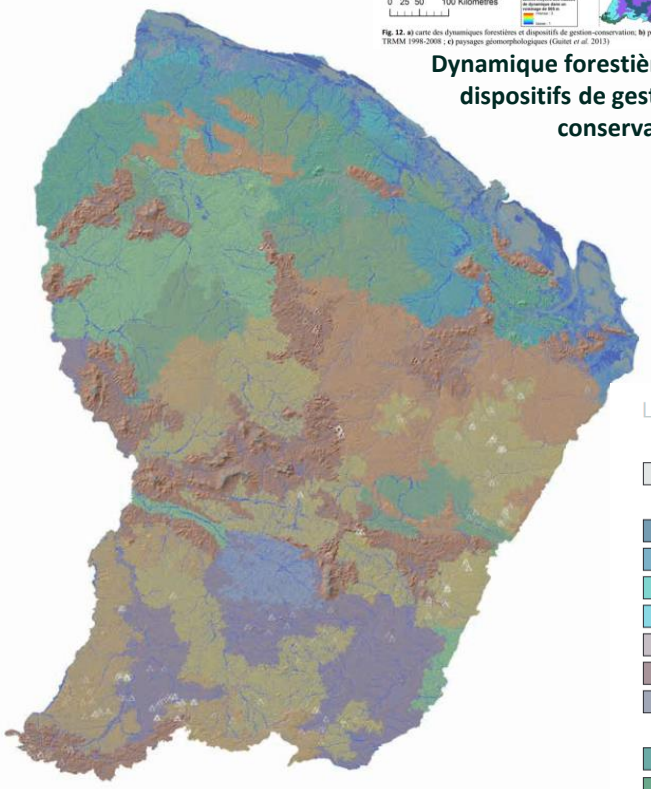


Dynamique forestière et dispositifs de gestion-conservation

Biomasse aérienne



Fayad *et al.* 2015



Catalogue et cartographie des habitats forestiers guyanais (Guitet *et al.* 2015)

Légende

Hors forêt
Forêt des plaines et dépressions
Forêts côtières des terres basses
Forêts sur cordons sableux
Forêts côtières des terres hautes
Forêts littorales sur rochers
Forêts sur sables blancs
Forêts de la pénéplaine intérieure
Forêts sur djougoung-pété
Forêts des collines
Forêts des basses vallées
Forêts des collines irrégulières
Forêts des collines régulières
Forêts des collines peu élevées
Forêts des plateaux et haut-reliefs
Forêt des plateaux réguliers
Forêts sur inselberg (Inventaire 2001)
Forêts des plateaux irréguliers
Forêts des plateaux élevés
Forêts des moyennes montagnes
Forêts sub-montagnardes
Forêts marécageuses
Forêts ripicoles, de bas-fonds, de talwegs humides
Forêt de transition (écotones - faciès humide)
Mangroves

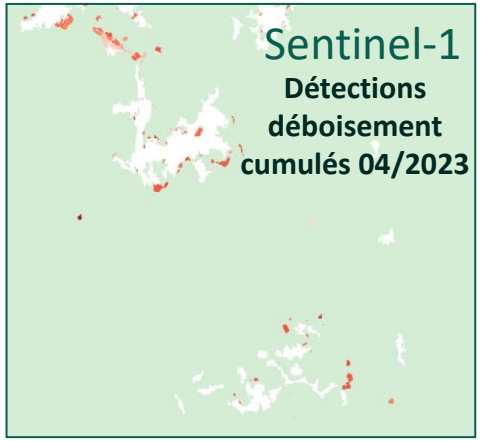
MONITOR : Attentes & Perspectives

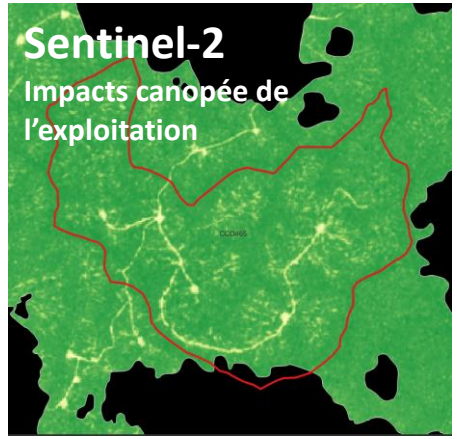
- Télédétection déjà largement utilisée à l'ONF et en Guyane pour l'aménagement, le suivi des couverts forestiers, la préparation des coupes…
  … mais pas de compilation des différents initiatives / suivis

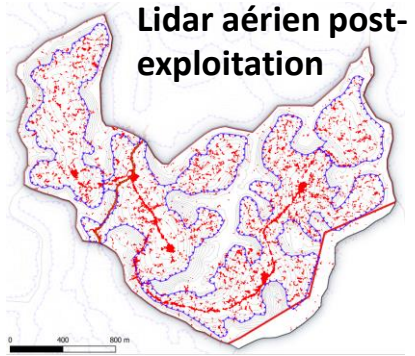
- Quantité et diversité de données disponibles en Guyane +++
  - Guyafor
  - Données d'exploitation (inventaires avant exploitation, suivi des prélèvements …)
  - Télédétection : Lidar, satellitaire (station SEAS Guyane) ….
  - Et produits issus de leurs traitements : Suivi des surfaces impactées par les activités minières et forestières, détection des déboisements Sentinel-1 …

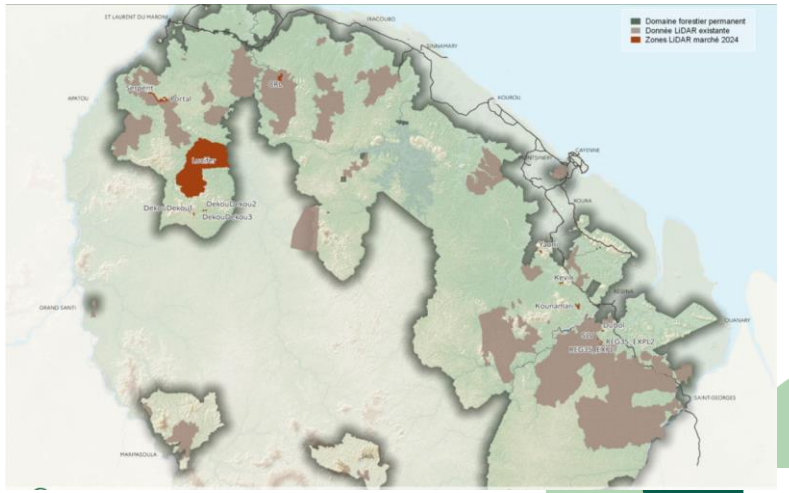
➢ Apports du PC MONITOR :
  - ➢ Appuyer les efforts déjà existants sur GUYAFOR
  - ➢ Développer un system de suivi forestier robuste, à haute résolution spatiale et temporelle, couvrant tout le territoire
    - ➢ Consolider des indicateurs existants et en déployer de nouveaux
    - ➢ Intégrer la dimension temporelle et le long-terme
    - ➢ Intégrer la dimension sanitaire et la notion de dégradation forestière

= Renforcer les indicateurs de base nécessaires à la gestion forestière









Lidar aérien ONF depuis 2012

Office National des Forêts

Merci pour votre attention.

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE