

Suivi des prairies par télédétection satellitaire et apprentissage hybride

Mathieu Fauvel^{*} et Julien Pottier^{**}

^{*}UMR CESBIO, INRAe, Toulouse

^{**}UMR UREP, INRAe, Clermont-Ferrand

1 Contexte

Les prairies couvrent environ 40 % des surfaces continentales et environ 70 % des surfaces agricoles (Suttie et al. Grassland of the World, 2005). Ces milieux fournissent divers services écosystémiques (fournitures de nourritures, filtration de l'eau, séquestration de CO₂ ...) dont les niveaux sont directement impactés par les changements globaux. La réponse de ces écosystèmes aux changements environnementaux n'est pas linéaire et dépend de leur contexte biogéographique ainsi que de leur histoire. Afin de comprendre les mécanismes d'évolution de ces milieux il est nécessaire de disposer de mesures régulières sur des longues périodes temporelles. Si les dispositifs de monitoring à long-terme (e.g. LTER-Long Term Ecological Network, SOERE,...) permettent de rendre compte de dynamiques complexes, ils ne sont pas spatialement exhaustifs. Il est ainsi nécessaire de compléter ces dispositifs par d'autres systèmes de mesures.

Les séries temporelles d'images Sentinel-1&2 du programme Copernicus fournissent des acquisitions sur l'ensemble des surfaces émergées à des résolutions spatiale, temporelle et spectrale adaptées pour suivre la phénologie et les cycles biogéochimiques de ces écosystèmes prairiaux. Ces données permettent déjà de cartographier annuellement l'occupation des sols à l'échelle nationale de manière automatique par des méthodes d'intelligence artificielle (IA). Elles ont aussi été utilisées pour l'estimation des dates de fauches dans un précédent projet comme illustré à la figure 1.

Cependant l'analyse des effets des changements globaux à partir de séries temporelles par des méthodes d'intelligence artificielle (IA) seule présente un certain nombre de limites. Premièrement, pour ces systèmes soumis à diverses sources de perturbation, les causes possibles de modification de la réflectance observée sont difficiles à discriminer. Par exemple, la baisse des indices de végétation observée en période estivale dans les prairies des zones tempérées peut être associée à la phénologie intrinsèque des plantes, un stress hydrique et/ou des événements de gestion (fauche ou pâturage). Deuxièmement, les approches purement "data-driven" nécessitent des volumes importants de données d'apprentissage pour apprendre les modèles. En pratique, ces volumes sont difficilement atteignables.

Un axe de recherche actuellement poursuivi par la communauté est le conditionnement de méthodes d'IA à l'aide de modèle physique/agronomique et de données d'observation de la terre. Par exemple, dans les

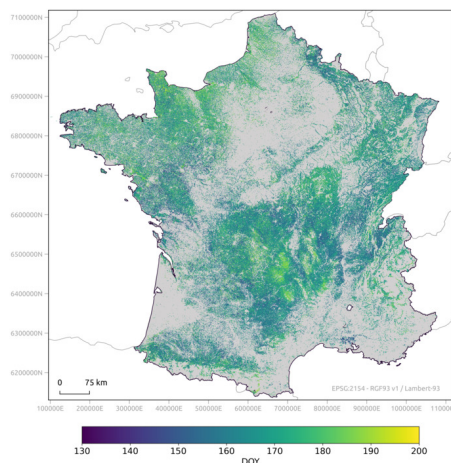


Figure 1: Date de première fauche (en jour de l'année).

travaux de Y. Zerah ([thèse CNES-ANITI 2024](#)), un réseau de neurones profond a été entraîné pour inverser un modèle physique permettant l'estimation de variables biophysiques de manière automatique (LAI, Cab ...). Cette approche permet à la fois de bénéficier d'une modélisation théorique du processus et des capacités d'apprentissage des méthodes d'apprentissage profond. Dans le cas des prairies, des modèles agronomiques utilisant la télédétection existent mais nécessitent l'estimation/inversion d'un certains nombres de paramètres (dont le LAI, les dates de fauches ...) requérant des données terrain ([D. A. Luna](#)).

2 Objectifs

Dans ce stage, nous souhaitons poursuivre le couplage modèle de croissance et modèles IA pour les prairies en nous appuyant sur les travaux entrepris depuis plusieurs années au CESBIO et à l'UREP. L'objectif est de développer un modèle hybride, combinant la modélisation agronomique issue des travaux de l'UREP et les modèles d'apprentissage par les données développés au CESBIO, pour étudier la réponse de pâtures et de prairies de fauches aux changements climatiques sur une ferme expérimentale de l'UREP.

Le stage comprendra trois parties:

1. Portage du modèle de croissance des prairies en Python, avec une ré-écriture des algorithmes pour les rendre différentiable de bout en bout.
2. Amélioration du module de modélisation de la sénescence.
3. Intégration du modèle PROSAIL-VAE dans le modèle de croissance.
4. Apprentissage et validation du modèle sur des séries temporelles Sentinel-2 entre 2016 et 2024.

3 Profil recherché

Le candidat doit avoir une solide formation dans au moins une des matières suivantes :

- Traitement statistique du signal et de l'image,
- Apprentissage statistique / machine,
- Traitement des données de télédétection.

Une bonne connaissance de l'anglais et de la programmation scientifique (Python, C/C++) est requise.

4 Information complémentaires

- L'indemnité de stage est d'environ 680 euros par mois.
- Début du stage: Première trimestre 2025, pour 6 mois.
- Pour candidater, envoyer un CV, lettre de motivation et notes de M1 & 2 à Mathieu Fauvel, mathieu.fauvel@inrae.fr et Julien Pottier, julien.pottier@inrae.fr.