



INRAE

Contributions INRAE au projet ALÉOFEU

- François Pimont (INRAE), Raquel Rodríguez-Suquet (CNES), Jorge Castel-Clavera (INRAE), Xiangzhao Liu (INRAE)





INRAE
au sia
les rencontres



INRAE X SIA2025

Projet ALÉOFEU

Les acteurs

DDTM11 —————> Responsable du projet

CNES —————> Financement, moyens de calcul et savoir-faire le traitement des données.

SDIS(11) —————> Utilisateur opérationnel. Validation de terrain

ONF —————> Réseau hydrique. Carte de sensibilité de la végétation.

MétéoFrance —————> Apporte de données météorologiques

INRAE URFM PEF —————> Constructions des indicateurs de l'activité des feux
(nombre et taille) et la teneur en eau de la végétation.



INRAE
au sia
les rencontres



INRAE x SIA2025

Projet ALÉOFEU

Taches d'INRAE



Valorisation des
données
télédétection
optique
INRAE

1. Prédiction des feux de forêt



Chapitre 5 de la thèse de Jorge Castel-Clavera (financement INRAE, région PACA, soutenance le 8/04/2025)
3^{ème} article en préparation

2. Teneur en eau du combustible arbustif



Projet USDA Forest-Service (SERDP)
Article en préparation



Données de télédétection optique fournies par le CNES

MODIS

Composites de 16 jours 2004 – 2021

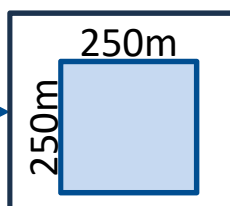
- NDVI
- Fpar
- MIR
- LAI
- NIR
- Rouge
- EVI
- Bleu

Sentinel-2

Images en intervalles irréguliers : 2-3 jours
ou intervalles réguliers : 5 jours

Bandes disposées en tuiles 2016-2021 :

B1 B2 B3 B4 B5 B6 B7 B8 B8A B9 B10 B11 B12
NIR Proche infrarouge SWIR infrarouge « court »

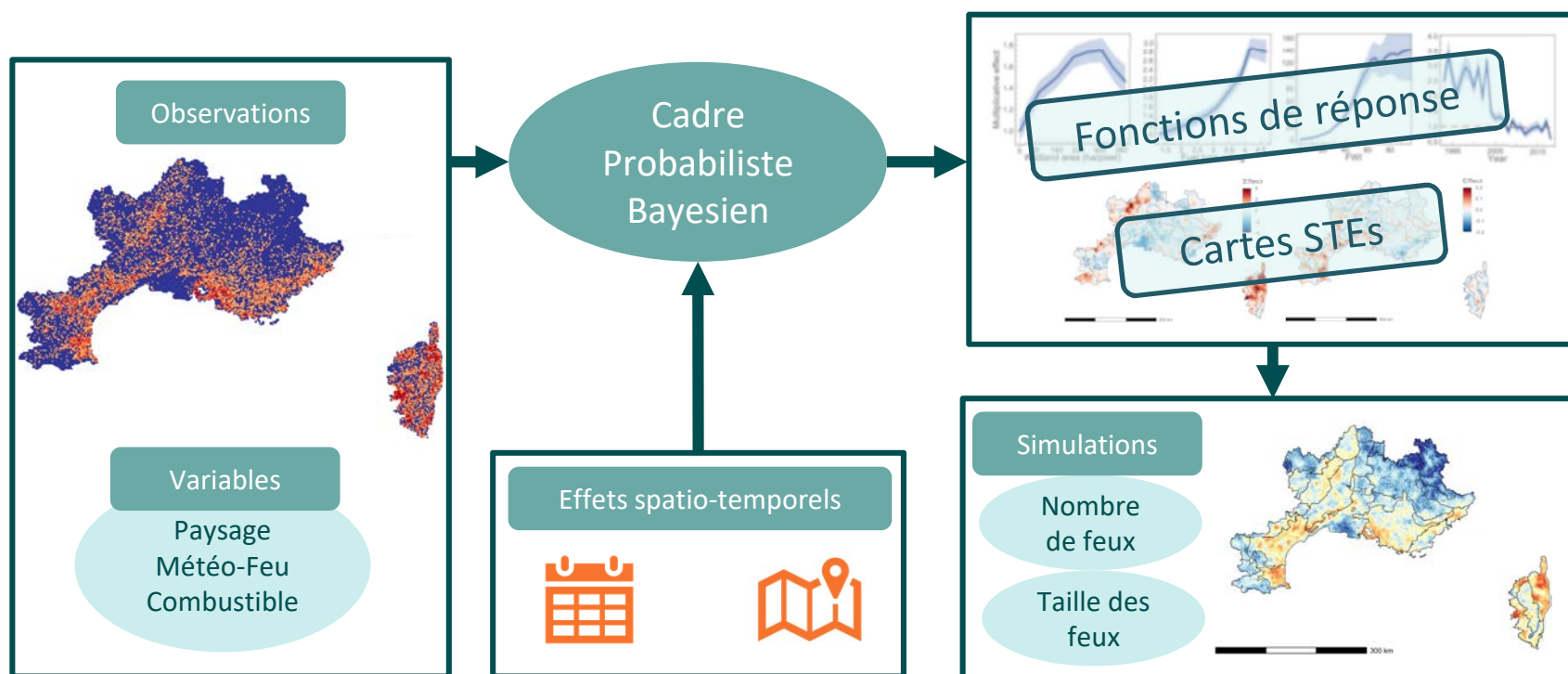


Photosynthèse,
vitalité

Quantité d'eau



1. Modèle Firelihood



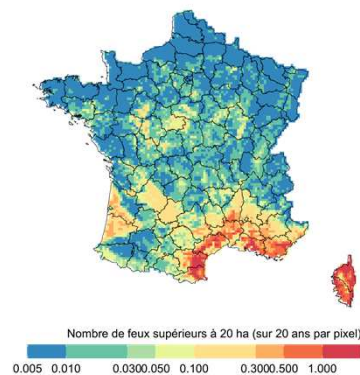


1. Modèle Firelihood

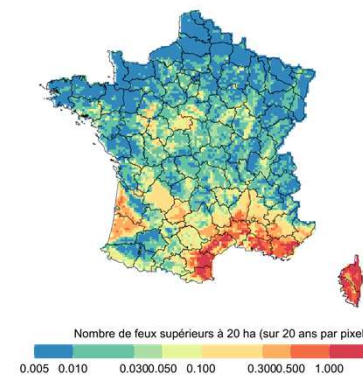
De nombreuses applications scientifiques et appui aux politiques publiques :

- Etude des régimes de feux (Castel-Clavera et al. 2022, IJWF)
- Estimation des effets du changement climatique (Pimont et al. 2022 AFM, Pimont 2023 => rapport pour le MASA dans le cadre de la mission Mortier)
- Modèle de feux extrêmes au niveau européen
- Projets nationaux pour le compte des trois ministères concernés (MASA, MTE, MI) => carte nationale d'aléa + outils de prévision opérationnel avec quatre opérateurs (INRAE, ONF, Météo-France et IGN)

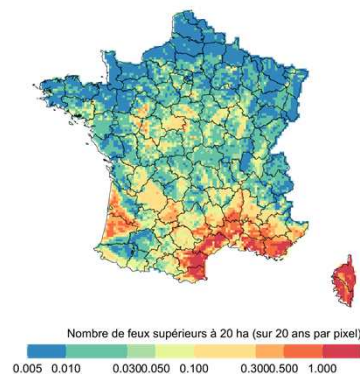
a) 2001-2020



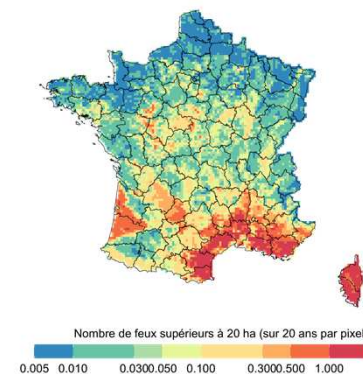
b) TRACC 2030 (+1.5°C)



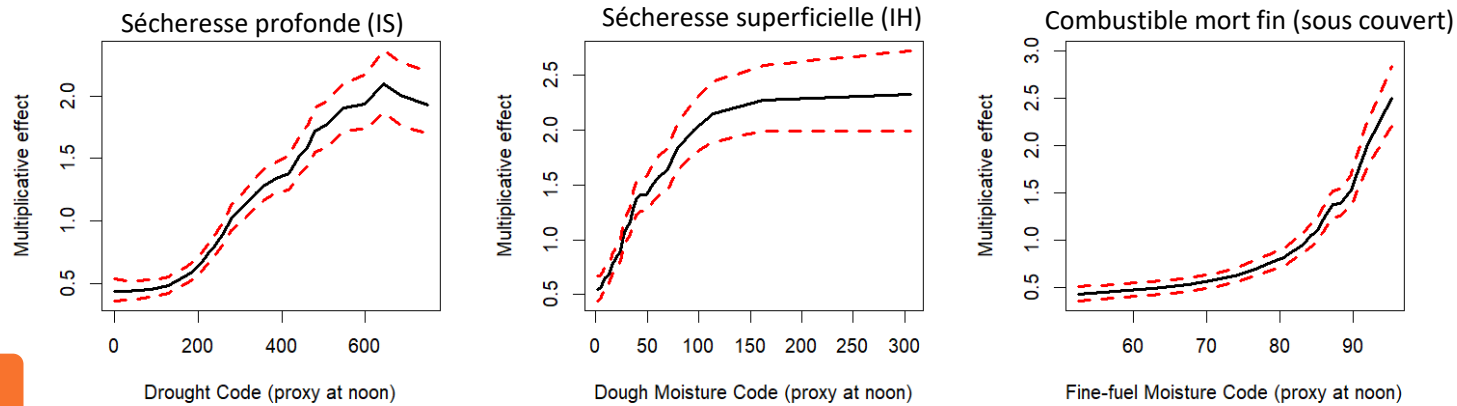
c) TRACC 2050 (+2.0°C)



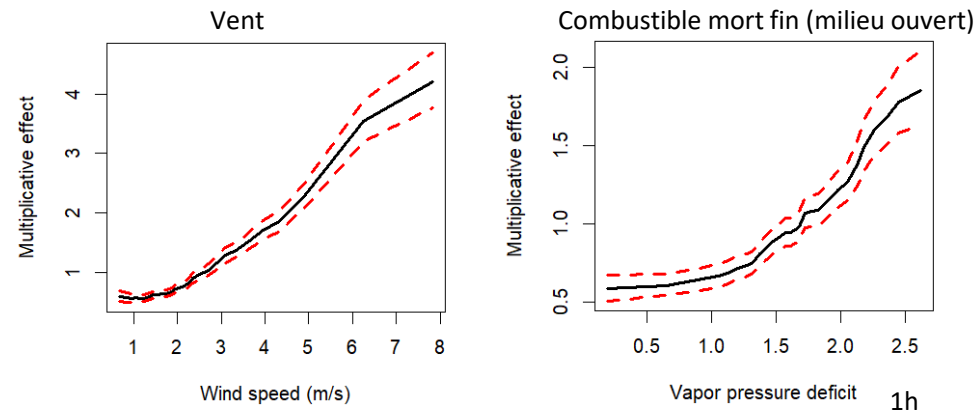
d) TRACC 2090 (+3.0°C)



Exemple de fonctions de réponses des variables météo

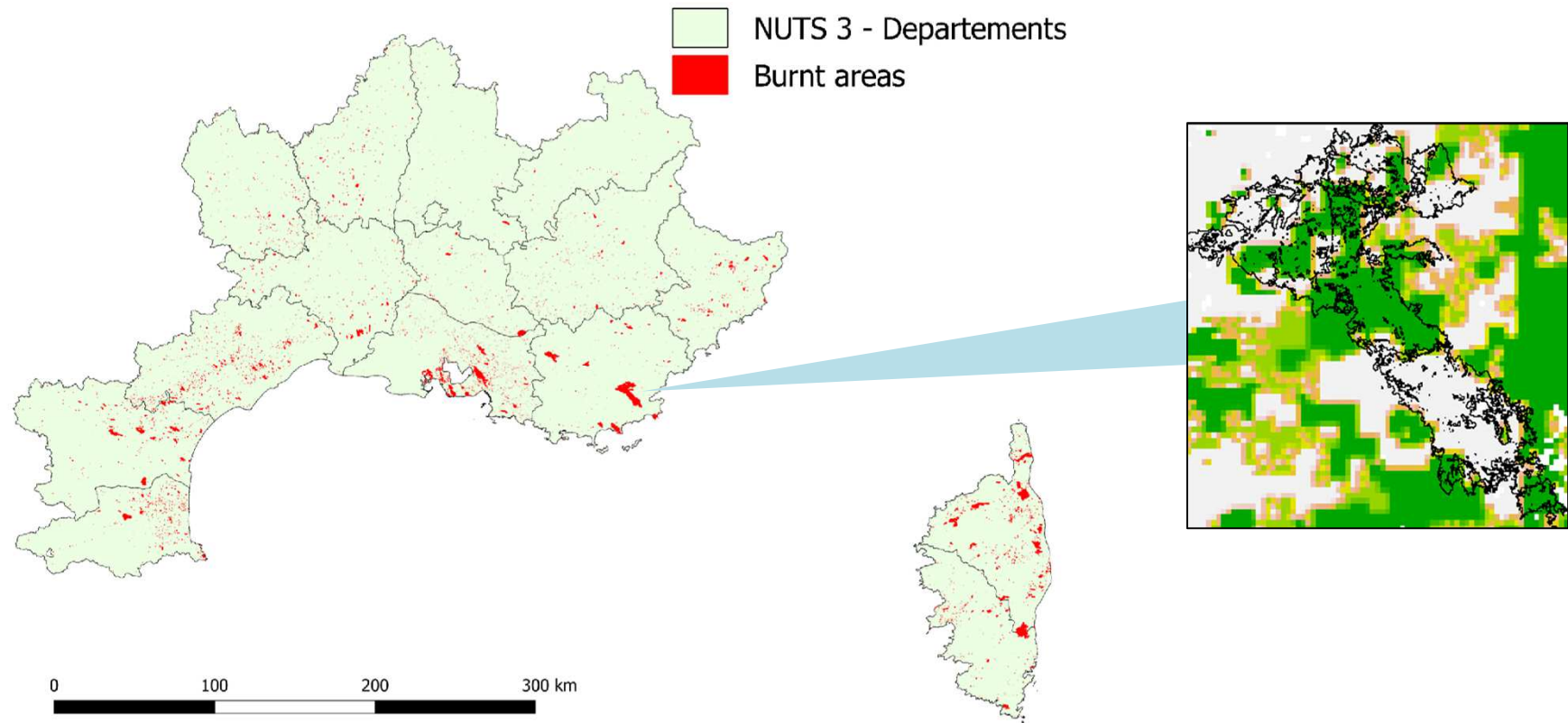


>1ha fires



Publié dans
Castel-Clavera et
al. 2025 AFM

Croisement contours de feu/ données Sentinel-2

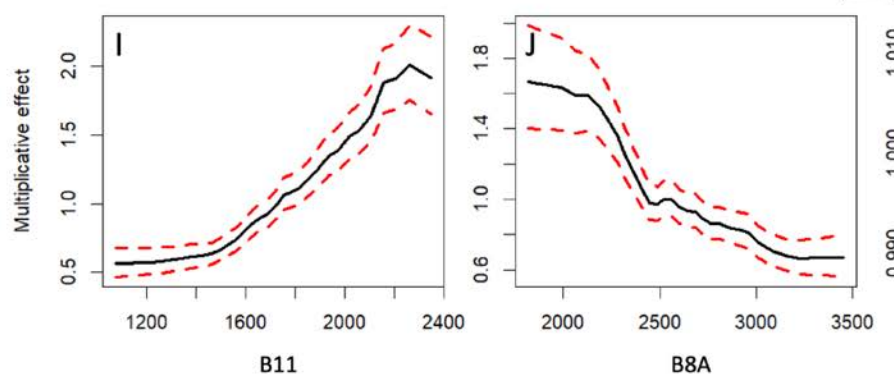




Résultats

Variables explicatives de l'activité des feux dans l'approche firelihood : une réponse au SWIR et au NIR

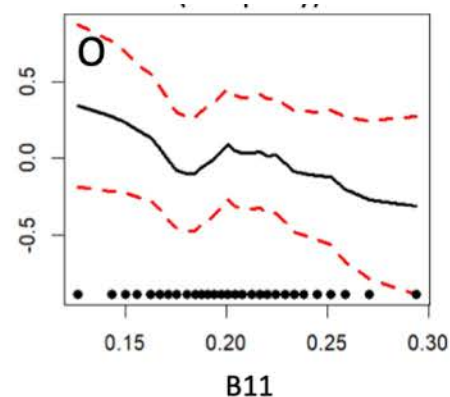
Feu > 1ha



Augmente
avec SWIR

Diminue
avec NIR

P80



Faible diminution
avec SWIR

Diminue
avec NIR



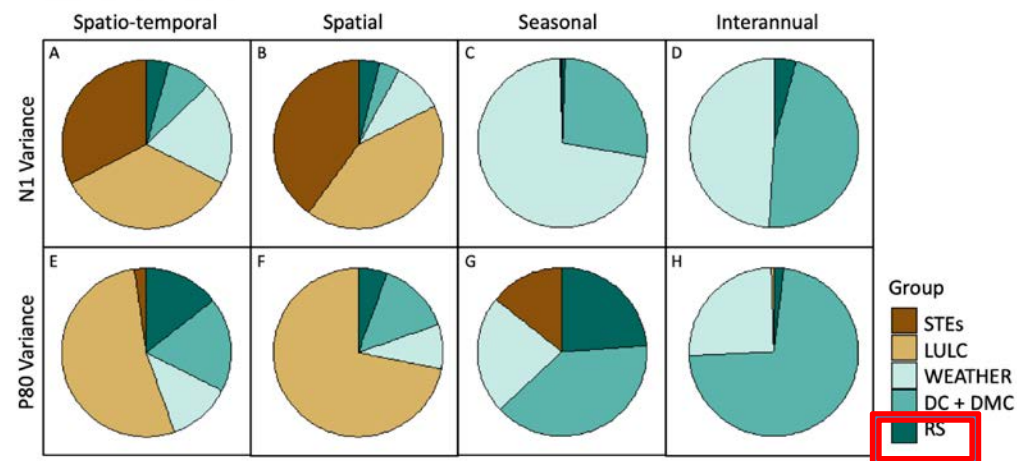
Contribution des variables a la variance totale



INRAE
au sia
les rencontres

cnes

INRAE x SIA2025



Contribution de la télédétection plus importante sur la P(>80ha)

Effet surtout saisonnier pour P(>80ha)

25% variance

+ 15% perf

Petit effet spatial pour N(>1ha)

5% variance

+ 2% perf



Proposition d'application du modèle opérationnel

Récalibration d'un indice opérationnel (NSV2) avec la météo



N(>1 ha)

NSV2	DC	0-300	300-350	350-400	400-450	450-500	500-600	600-650	650-700	700-750	750-1000	>1000
DMC	Mult eff	0,4221	0,6255	0,7769	0,8869	0,984	1,2244	1,401	1,5323	1,3852	1,1901	1,2929
0-20	0,4799											
20-50	0,6481											
50-70	0,8816											
70-110	1,2075											
110-170	1,3503											
170-200	1,3843											
200-250	1,3011											
>250	1,2443											

P(>80 ha)

NSV2	DC	0-300	300-350	350-400	400-450	450-500	500-600	600-650	650-700	700-750	750-1000	>1000
DMC	Mult eff	0,876953	0,898305	0,895794	0,915326	0,922	0,953459	1,027405	1,088656	1,129524	1,189707	1,174308
0-20	0,842142											
20-50	0,862229											
50-70	0,911036											
70-110	0,931761											
110-170	1,039741											
170-200	1,078563											
200-250	1,171384											
>250	1,23774											

- ⇒ Ajout d'une troisième variable liée aux bandes B8a et B11, mais cette approche n'intègre pas les autres facteurs spatiaux
- ⇒ Idéalement il faudrait implémenter le modèle complet en prévision (travaux nationaux...)



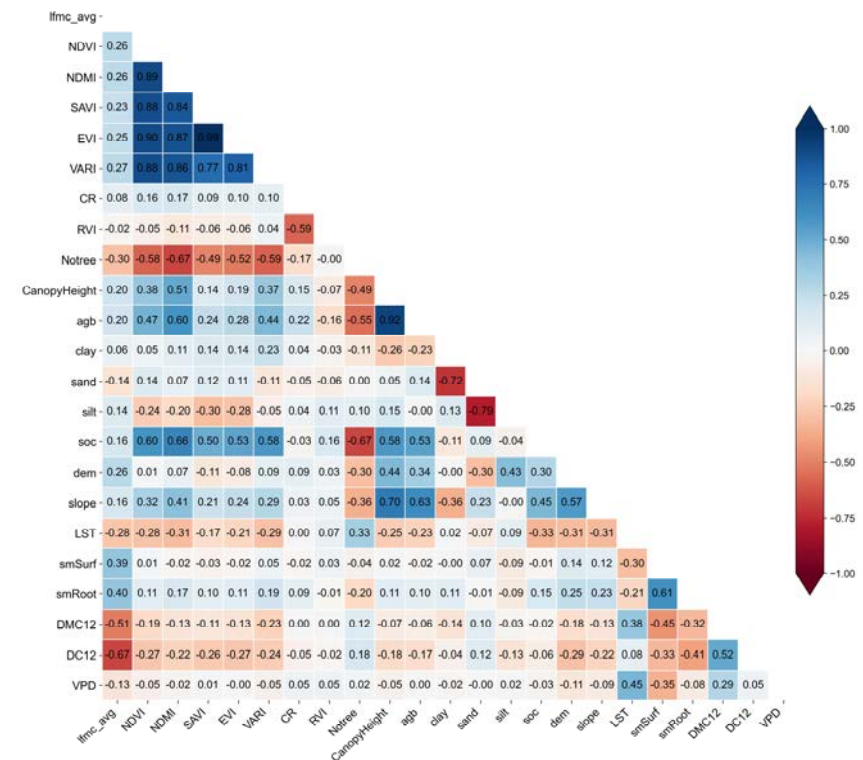
2. Modélisation de la teneur en eau de la végétation vivante (LFMC) dans les parties arbustives (Post-Doc de Xiangzhuo Liu, projet SERDP)

- ❑ Vegetation indices (**Sentinel-1**) : cross ratio (CR), radar vegetation index (RVI)
- ❑ Vegetation indices (**Sentinel-2**): (NDVI, NDMI, SAVI, EVI, VARI) **Aleofeu**
- ❑ canopy height and above ground biomass (**FORMS**)
- ❑ Ntree cover percentage (**MODIS VCF**)
- ❑ Soil moisture (**SMAPL4**): surfSM (0 - 5 cm) , SM4 (0-100 cm)
- ❑ Soil properties (**Soilgrid250m**): clay, sand, silt, soc
- ❑ Terrain parameters (**GMTED2010**) dem, slope
- ❑ Land surface temperature (**MODIS**)
- ❑ Duff Moisture Code (DMC12), Drought Code (DC12), Vapor Pressure Deficit (VPD) (**Safran Sim 8km**)

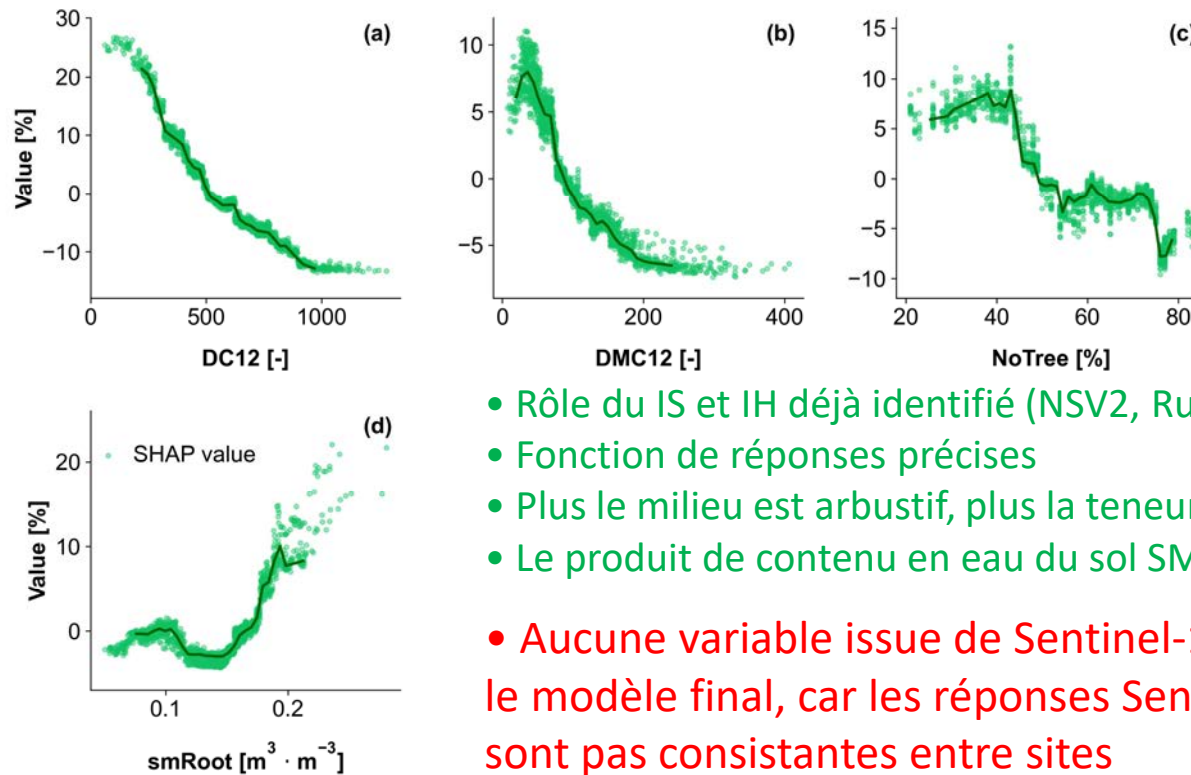
Approche Machine-learning Random forest, XGBOOST

Leave One Location Out approach :

- Ajustement du modèle sur tous les sites sauf 1 et évaluation sur le dernier
- Répétition de l'approche sur tous les sites
- Modèle final = moyenne



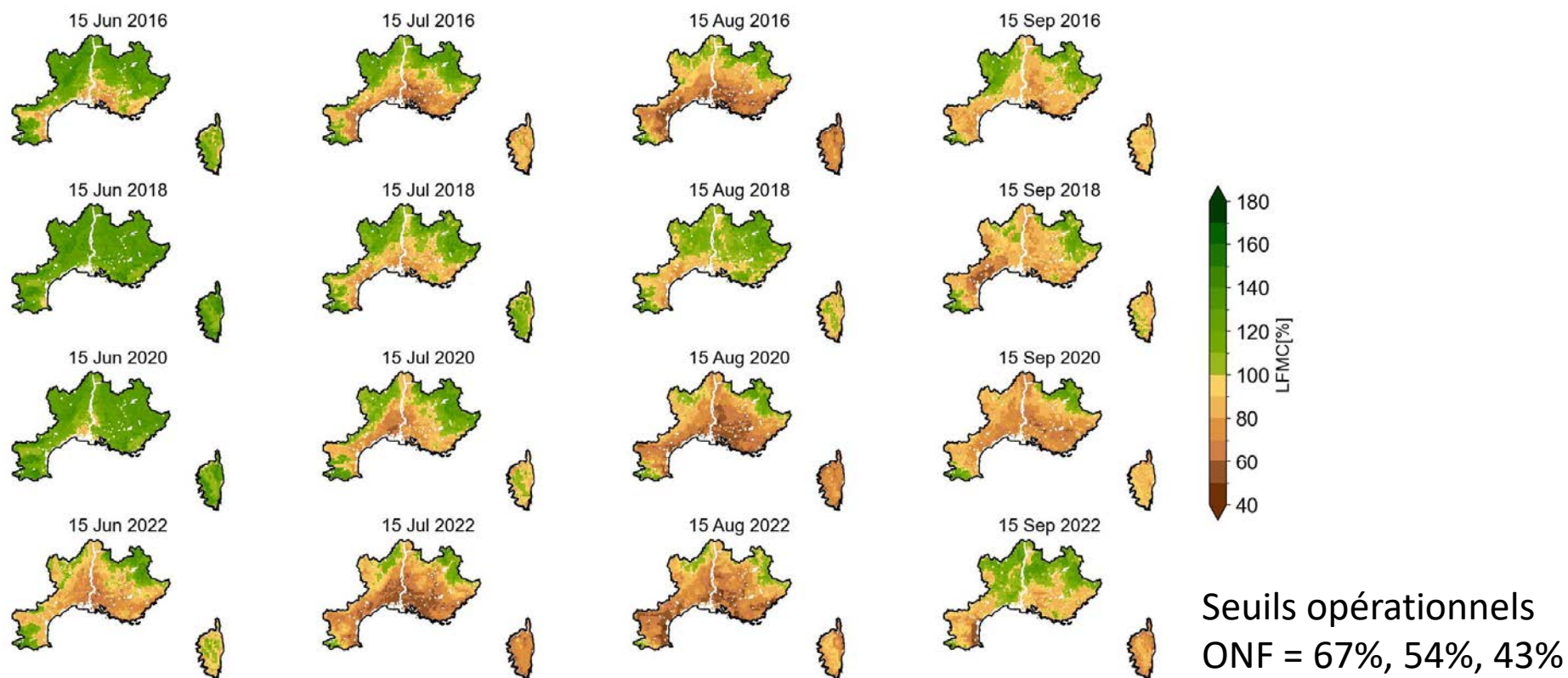
Sélection de variables du meilleur modèle



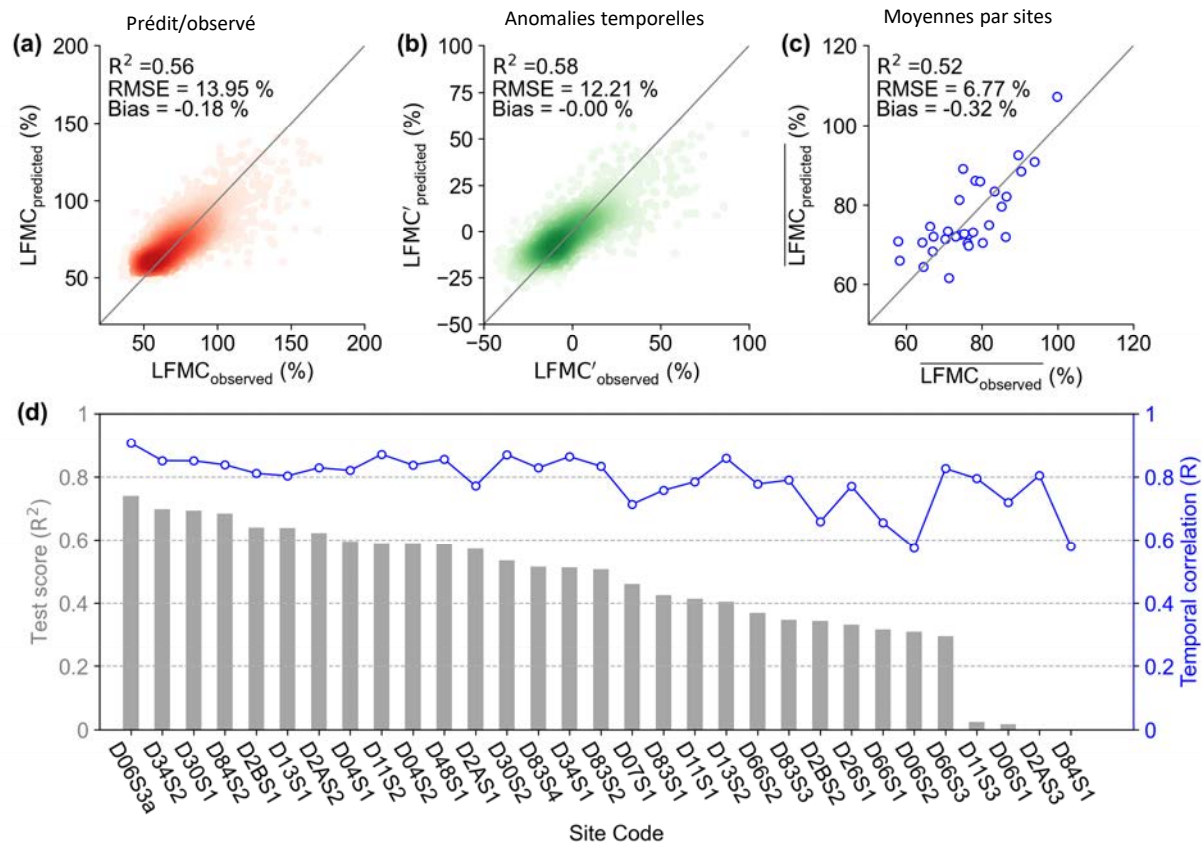
- Rôle du IS et IH déjà identifié (NSV2, Ruffault et al. 2018)
 - Fonction de réponses précises
 - Plus le milieu est arbustif, plus la teneur en eau est faible
 - Le produit de contenu en eau du sol SMAP apporte une info supplémentaire
-
- Aucune variable issue de Sentinel-1 ou 2 n'est retenu dans le modèle final, car les réponses Sentinel-2 en particulier ne sont pas consistantes entre sites
 - La variable LST est la meilleure des variables télédécat (mais non retenu au final) => semble prometteuse

Exemple d'application du modèle

Produit teneur en eau à 250 m de résolution

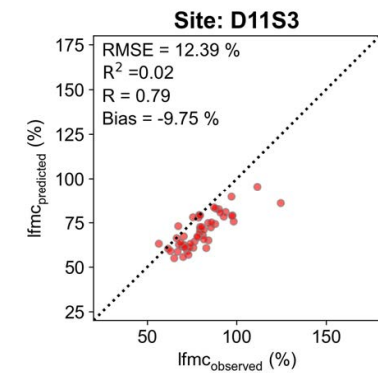
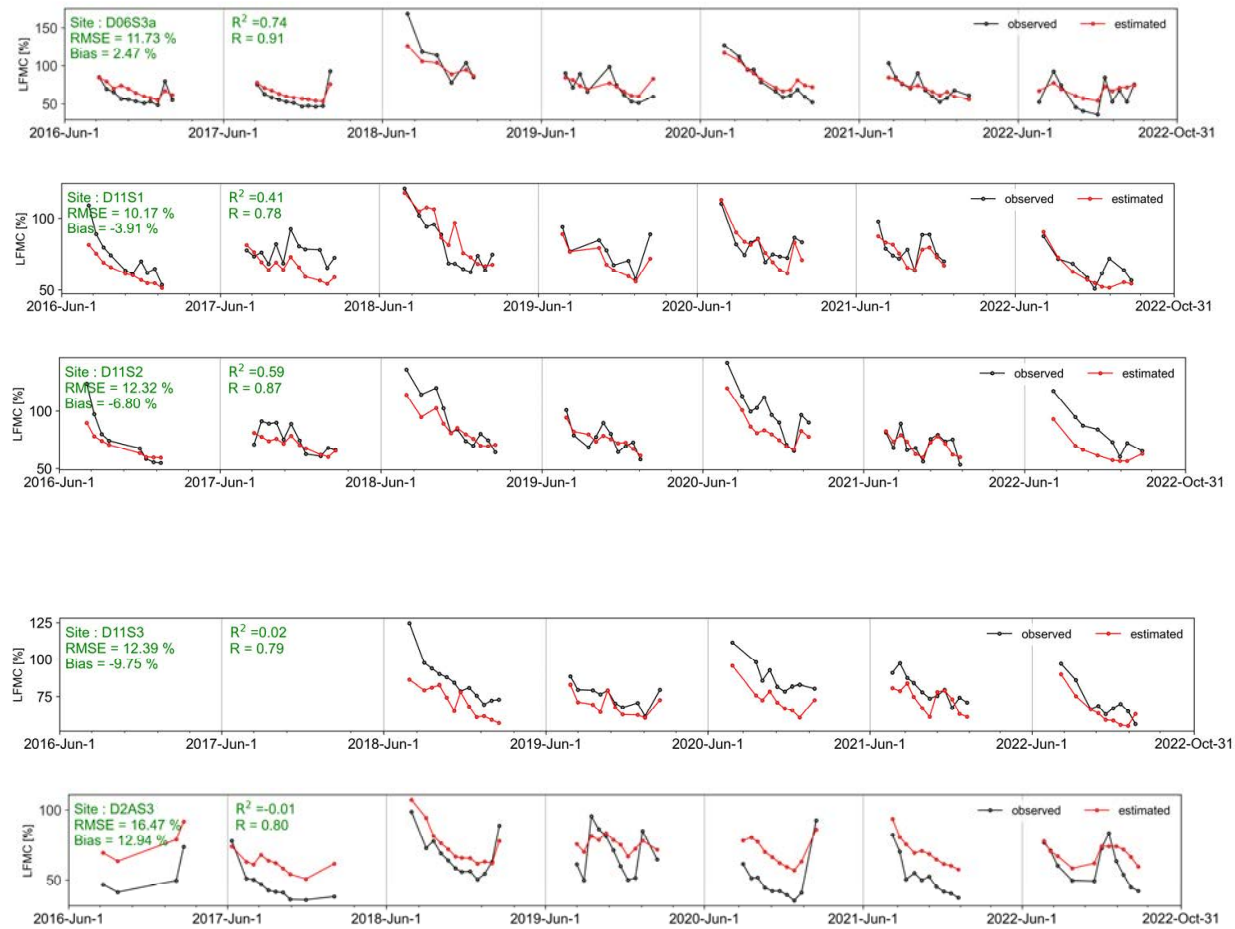


Evaluations globales

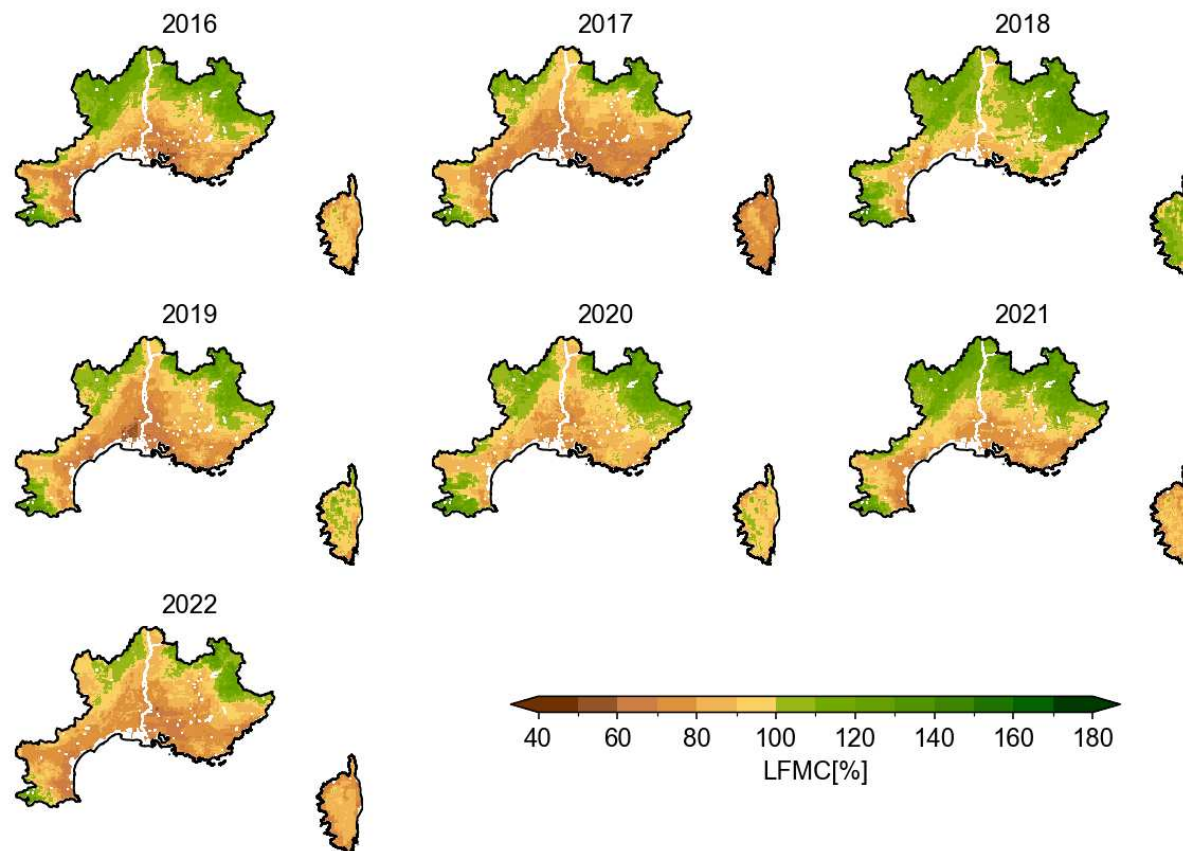


Amélioration significative
 par rapport aux indices
 opérationnels existants

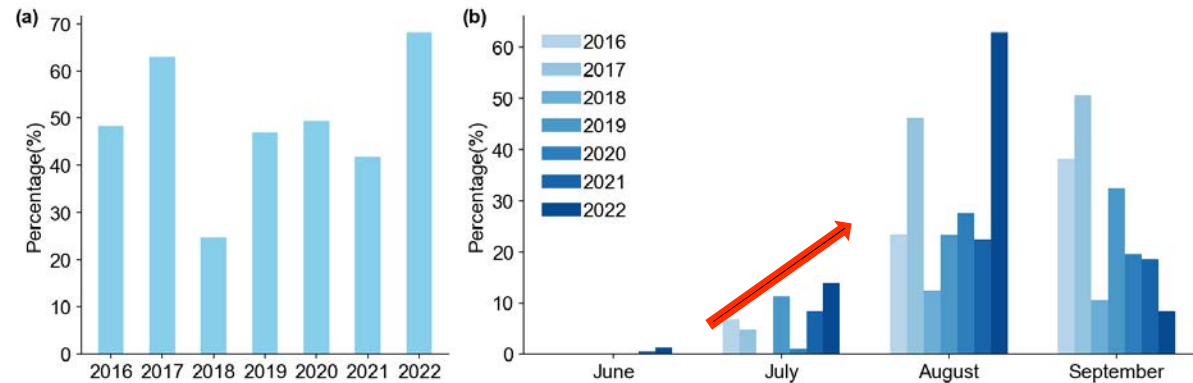
Evaluation sur les sites



Analyse des patrons spatiaux et tendances du modèle



LFMC<70%



The percentage of the area with LFMC lower than 70 % for more than one week (a) and the area experienced LFMC below 70 % for each month (b).



Conclusion et perspectives

Le partenariat partenariat INRAE-CNES a donné des résultats novateurs sur la région.

Apport de la télédétection optique : significatif, mais d'importance moindre que la météo

Autres applications possibles dans le domaine des feux :

- Infrarouge thermique et évapotranspiration
- Sévérité mesurée par satellite (dNBR)
- Puissance rayonnée par le feu (FRP)

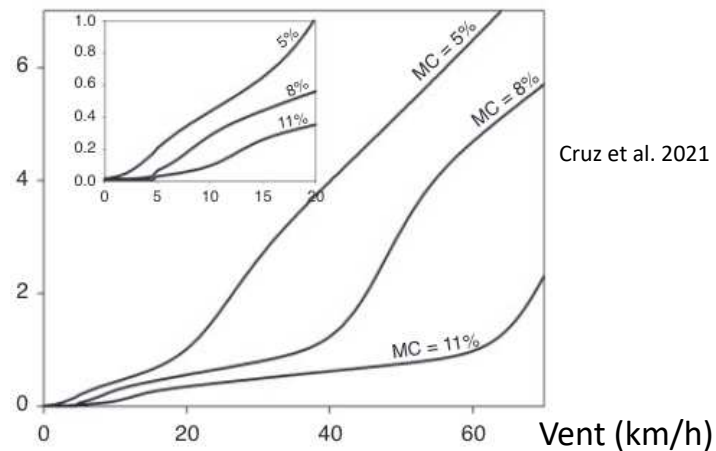
=> Projet de post-doc CNES de Victor Penot (qui soutient une thèse sur l'IR thermique et la sévérité des feux en juin 2025)

Matériel supplémentaire

1. Comportement du feu

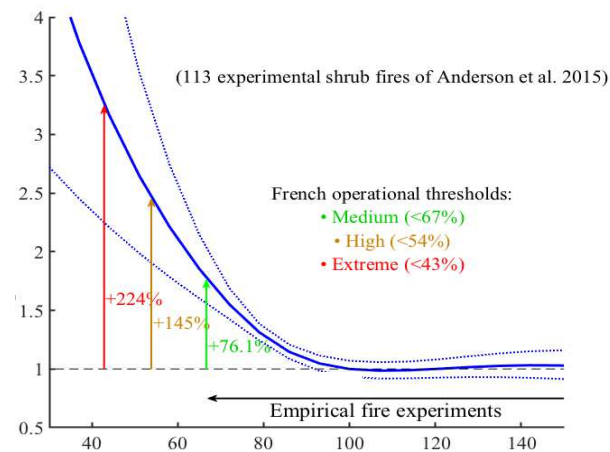
Les réponses (au vent) dépendent de l'état hydrique du combustible

**Vitesse de propagation (km/h)
pour 3 teneurs en eau des parties mortes**



Propagation initiale, vitesse et passage en cime dépendent fortement de l'état hydrique du combustible mort

Effet multiplicatif sur la vitesse de propagation dans les garrigues en fonction de la teneur en eau des parties vivantes

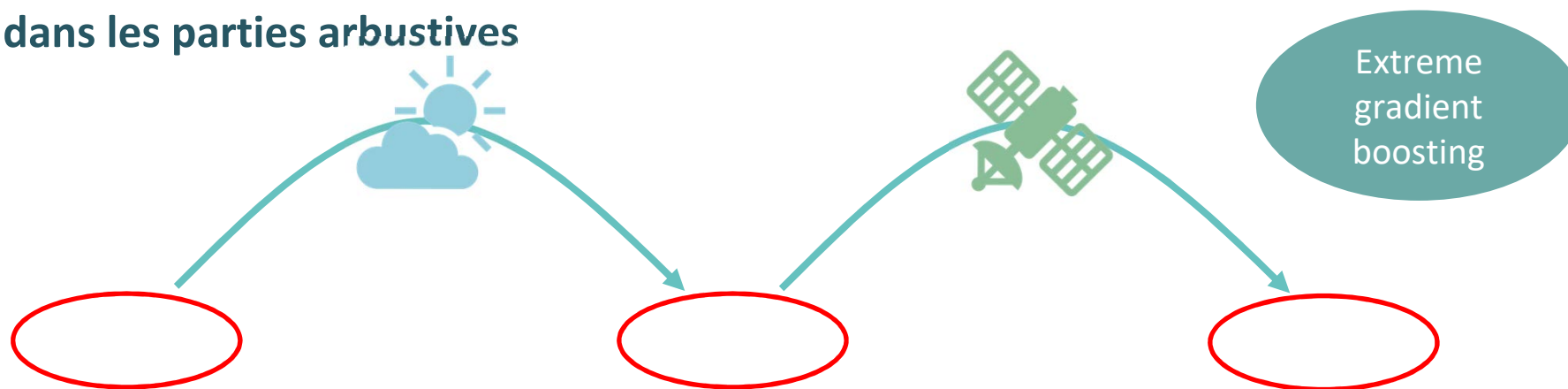


Teneur en eau des parties vivantes (en % du poids sec)

La vitesse de propagation des feux dans les maquis et garrigues augmentent en dessous de 100% de teneur en eau des parties vivantes

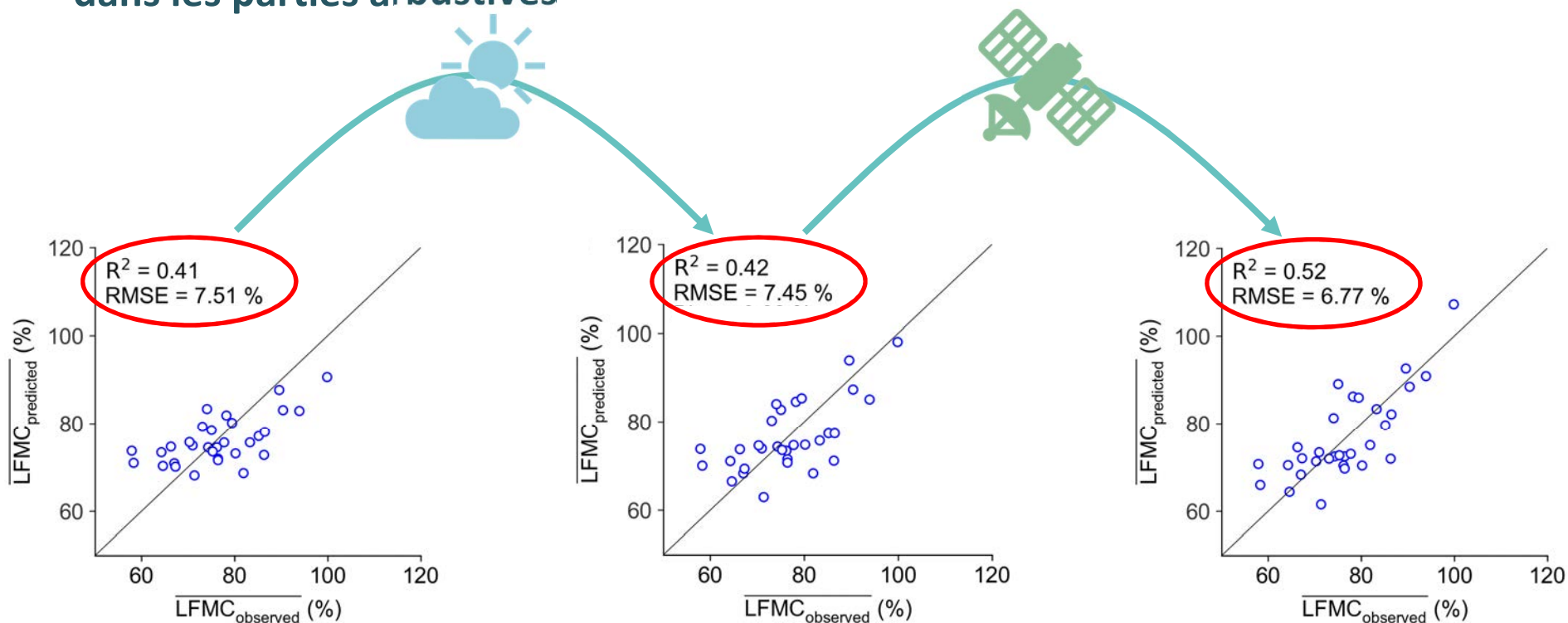


2. Modélisation de la teneur en eau de la végétation vivante (LFMC) dans les parties arbustives



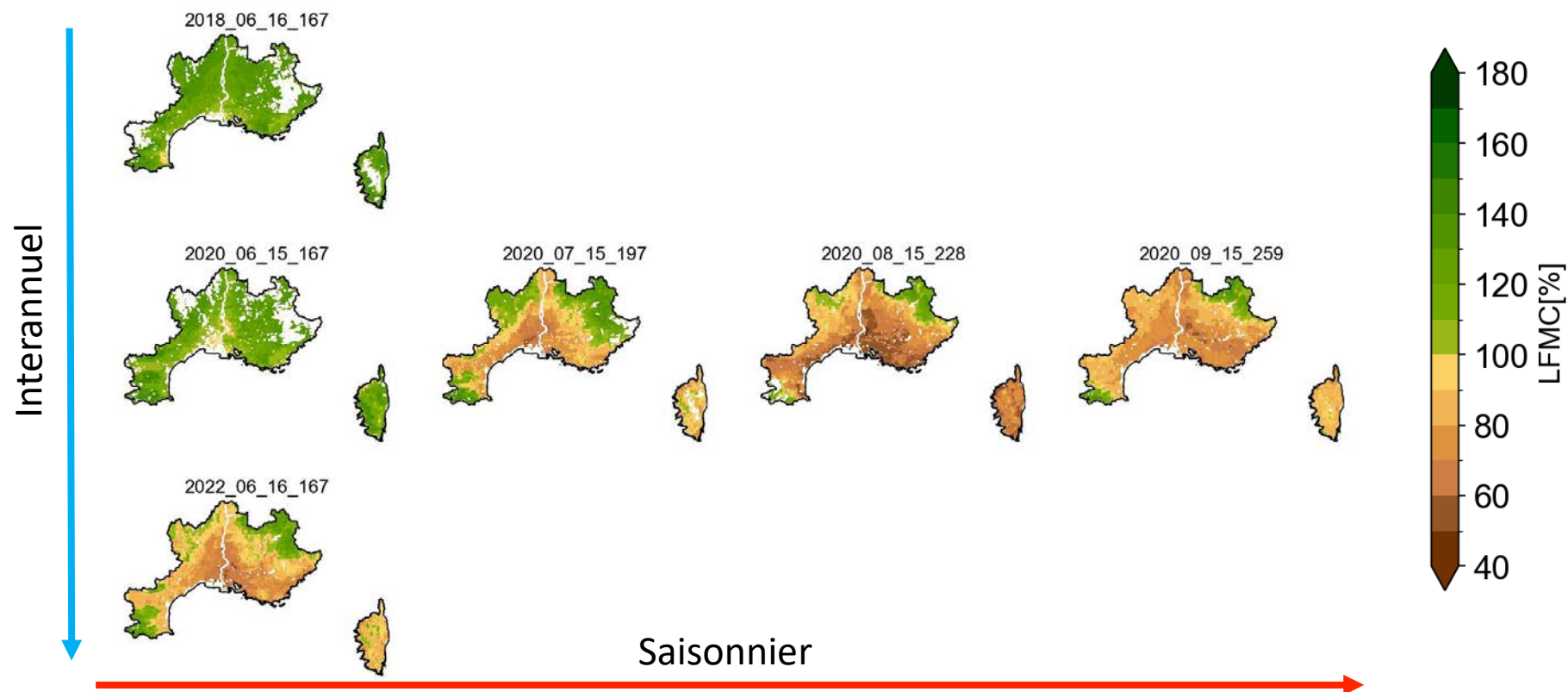


Modélisation de la teneur en eau de la végétation vivante dans les parties arbustives





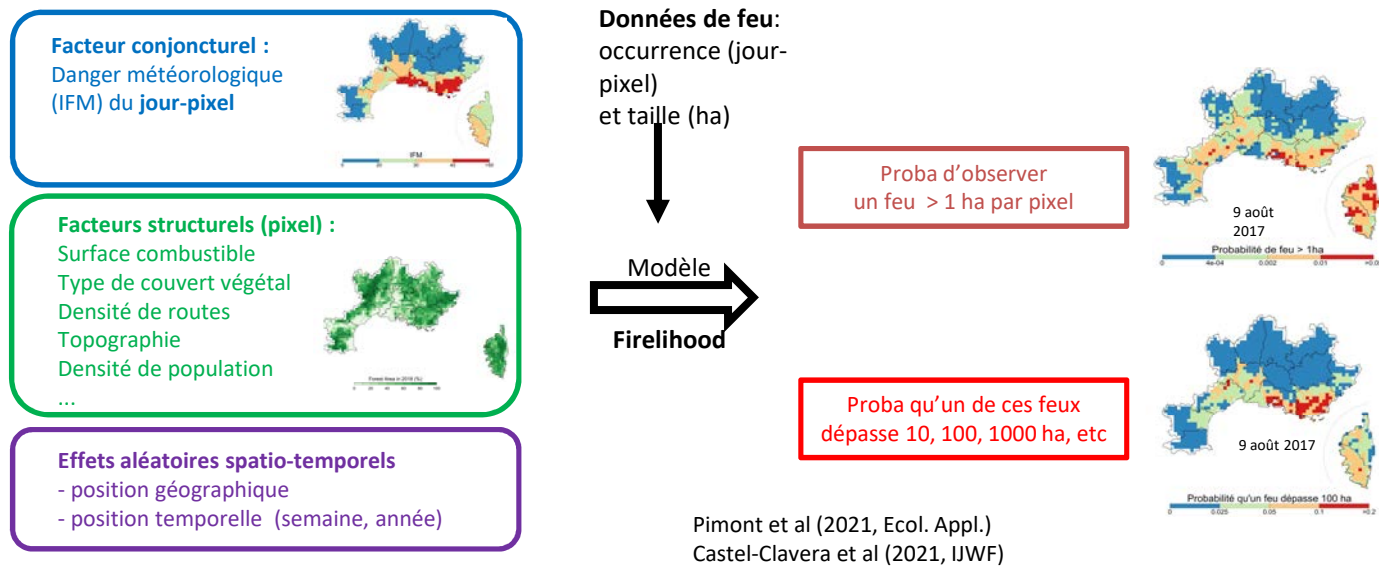
Application du modèle – teneur en eau de la végétation vivante



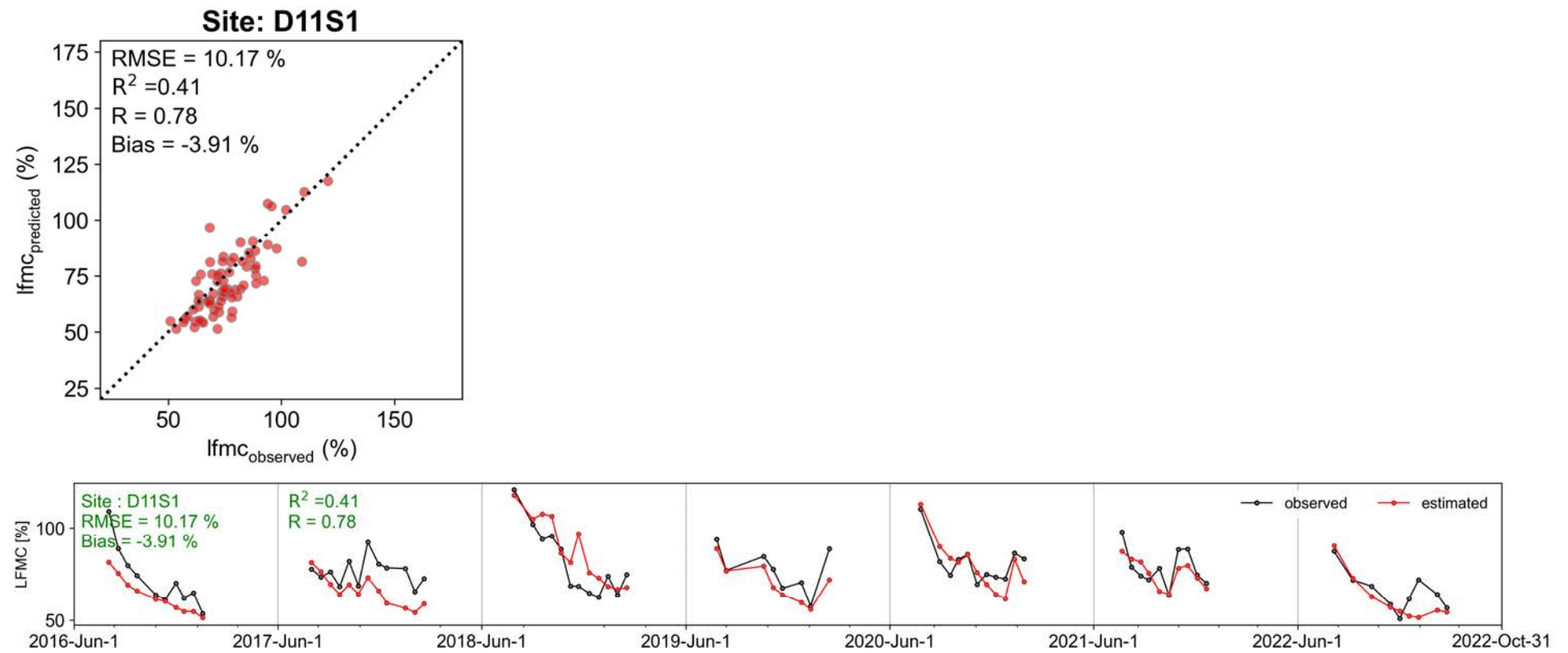
4. Activité des feux : modélisation probabiliste

Les feux sont des événements rares et aléatoires, dépendant de facteurs connus et inconnus

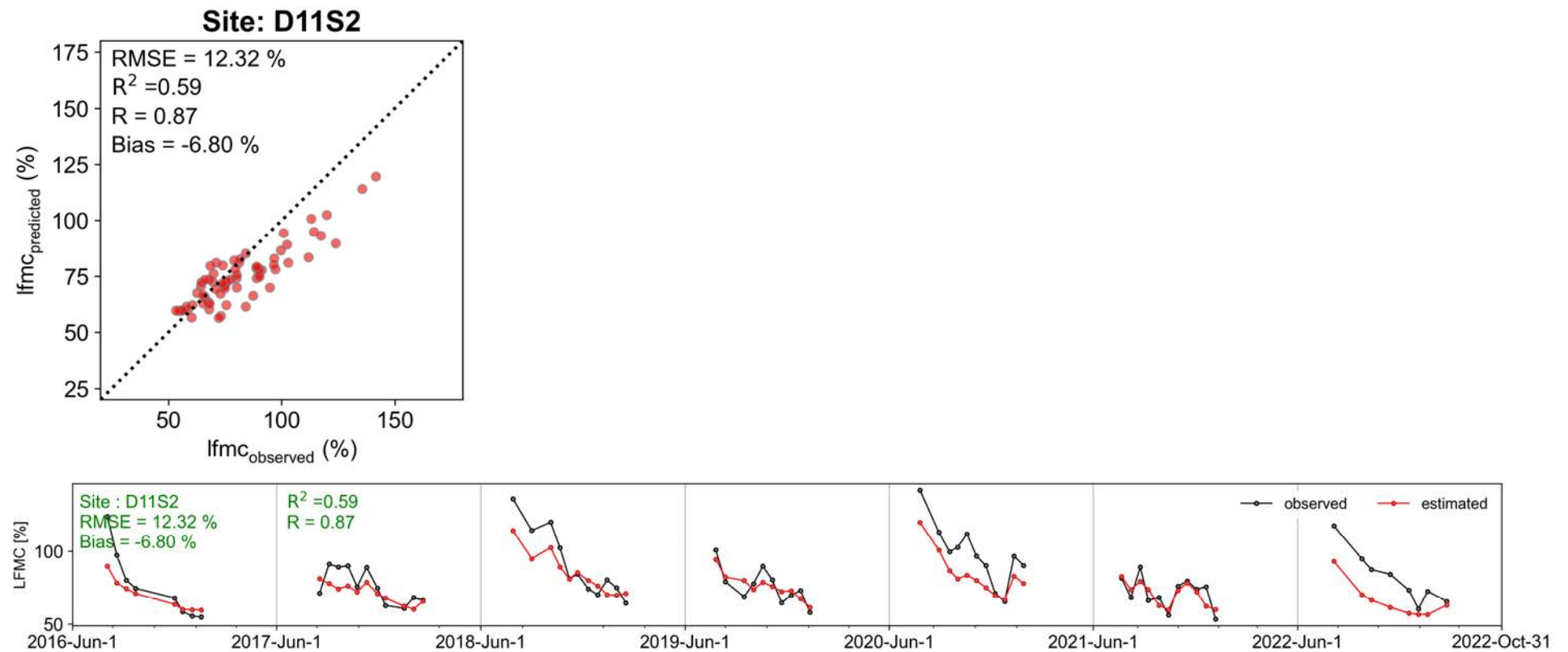
Approche probabiliste pour estimer à partir des observations de feux (bases de données Promethee, GIP ATGeRi, BDIFP) et des différents facteurs les probabilités d'occurrence de feu et les probas que les feux deviennent grands



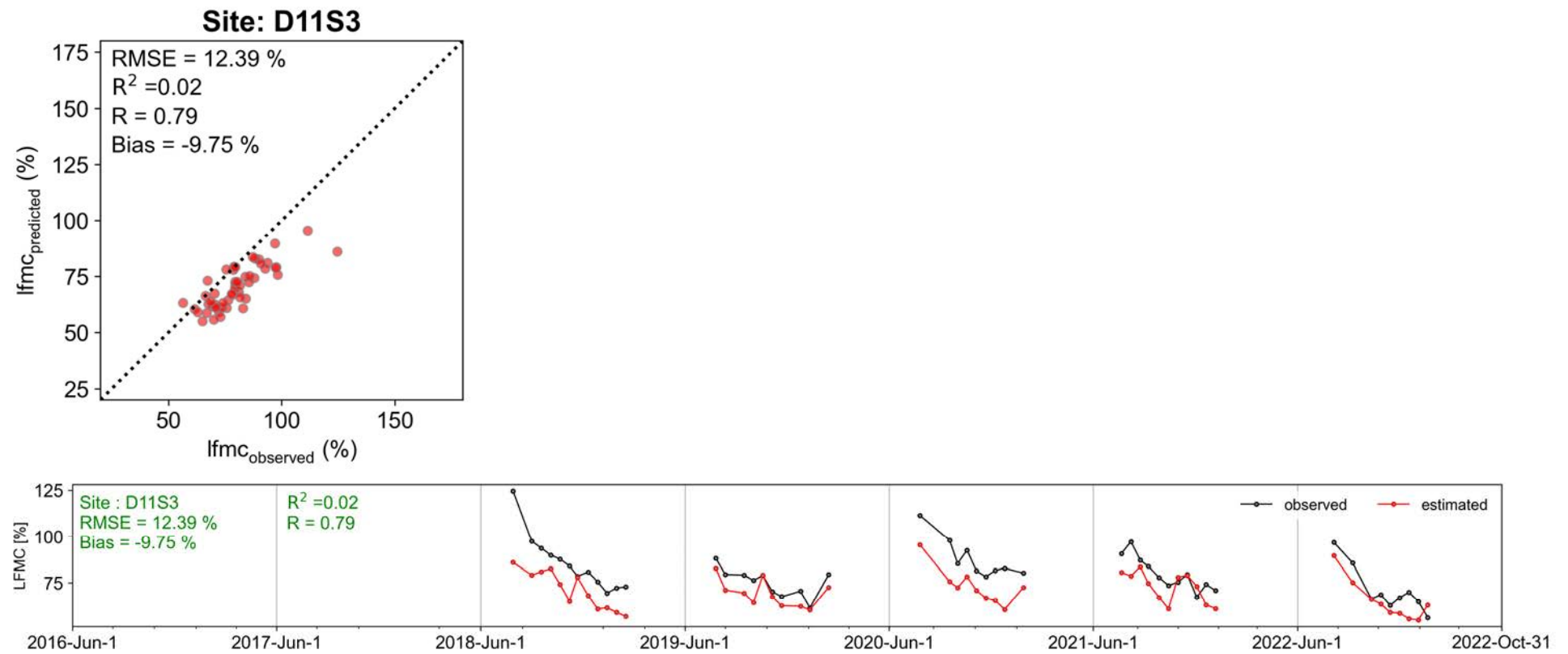
D11S1



D11S2



D11S3





Application du modèle – Cadre opérationnel

- Prédiction court terme du danger de feu
 - SDIS13 modèle sur leur zone et massifs adjacentes

