

Cartographier la composition des peuplements forestiers par télédétection

D. Sheeren

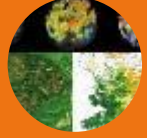
david.sheeren@ensat.fr

Avec la contribution de S. Fabre et Y. Hamrouni

Laboratoire DYNAFOR

UMR 1201 INRAE / Toulouse INP / El Purpan





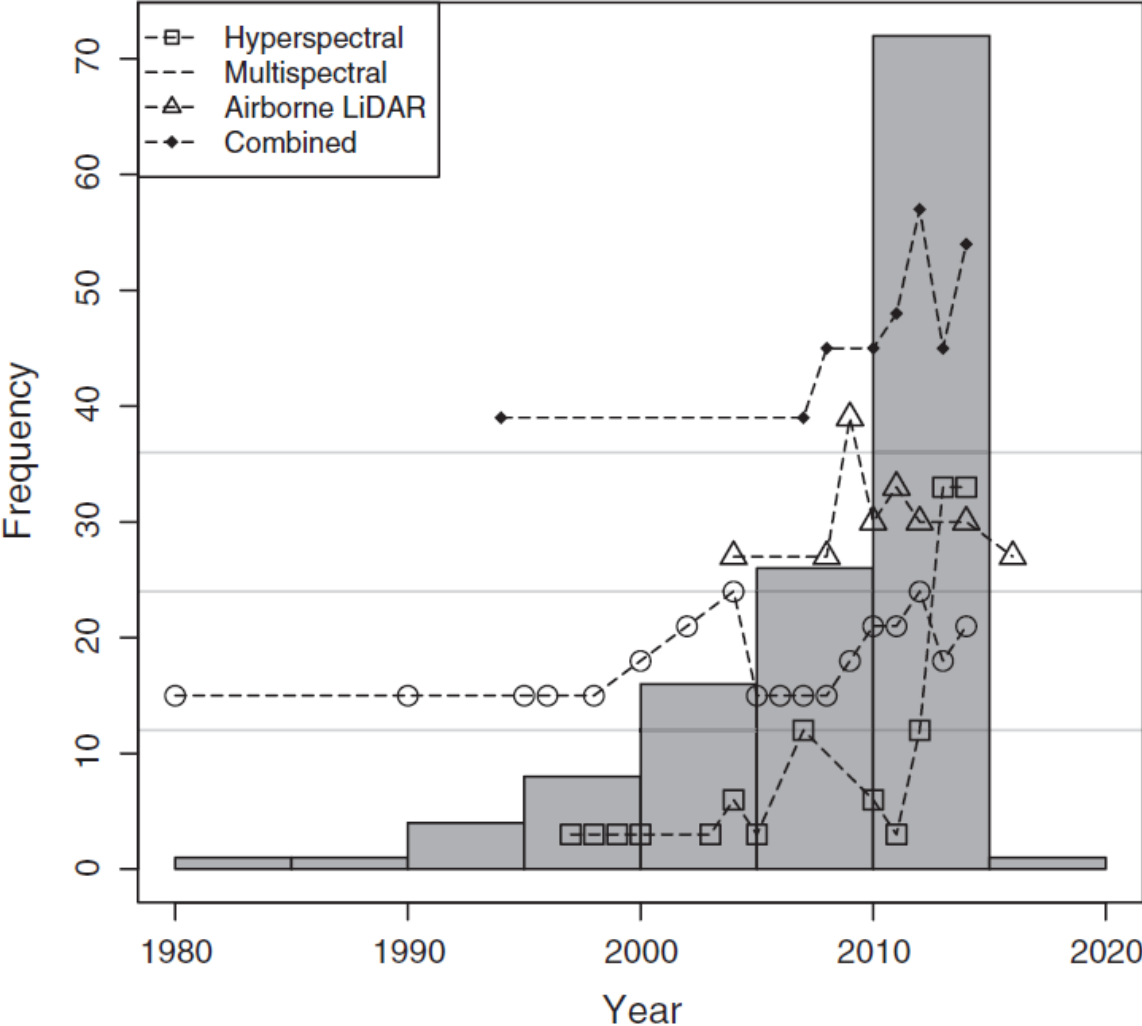
Cartographier la composition : pourquoi ?

- La gestion sylvicole (inventaire, suivi, planification)
- L'utilisation de modèles de croissance et de dynamique de peuplements
- L'estimation de la biomasse et des flux de carbone
- L'évaluation de la biodiversité forestière
- Le suivi d'espèces invasives et l'état sanitaire (maladie, dépérissement)
- ...

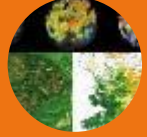


Un sujet déjà ancien mais toujours d'actualité en télédétection !

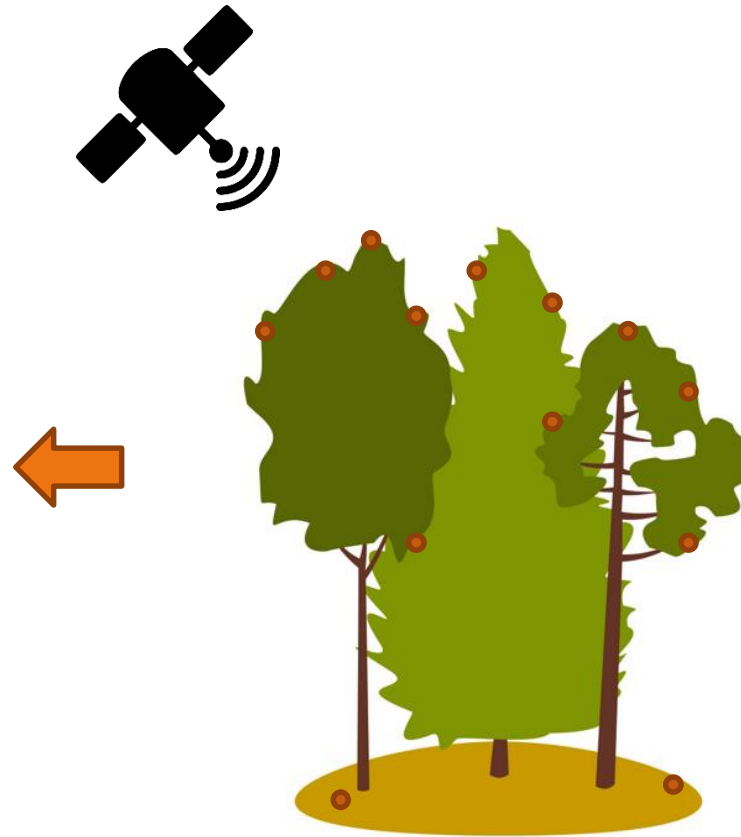
Sur la base de 101 études scientifiques analysées



67% en forêt tempérée (USA, Canada, Europe)



Une reconnaissance automatique basée sur différentes propriétés :



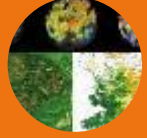
- Traits spectraux
- Traits spatiaux
- Traits texturaux
- Traits contextuels
- Traits structuraux (3D)
- Traits phénologiques

Et une diversité de capteurs
(drones, aéroportés, satellitaires) :

- Multispectral (HR, THR)
- Hyperspectral
- IR Thermique
- LiDAR (3D)
- RADAR

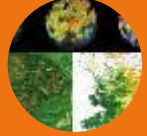
Mono / multi-dates
Mono / multi-capteurs

Échelles abordées : feuille, arbre, placette, peuplement



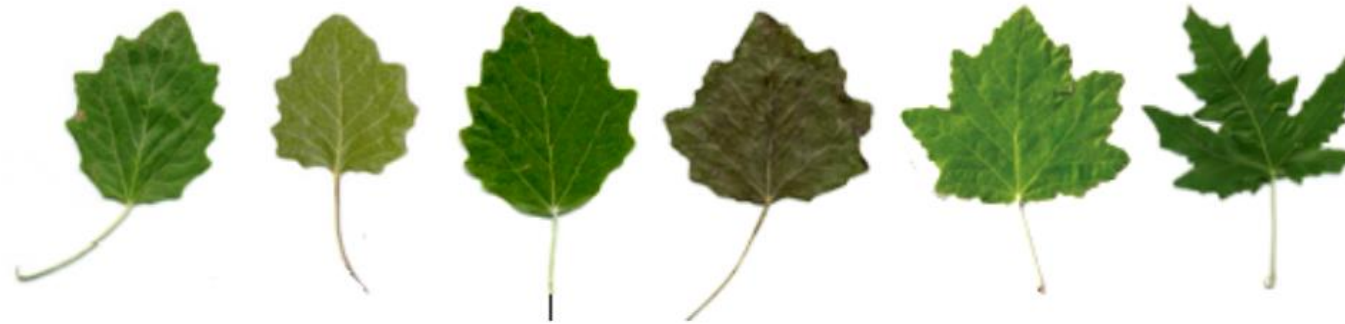
Un grand nombre de facteurs qui influencent le signal à différentes échelles :

- Les propriétés biophysiques et biochimiques des feuilles
- L'architecture de l'arbre, son âge, l'orientation du feuillage
- La structure du peuplement, sa densité, son ouverture, les ombres portées
- La présence et la composition du sous-étage
- Les conditions stationnelles
- L'état sanitaire (stress, maladie)
- Les conditions d'éclairement et les caractéristiques du capteur
- La date de prise de vue
- ...



Un grand nombre de facteurs qui influencent le signal à différentes échelles :

Variabilité
intra-espèce



Peuplier blanc (*Populus alba* L.)

Similitudes
inter-espèce



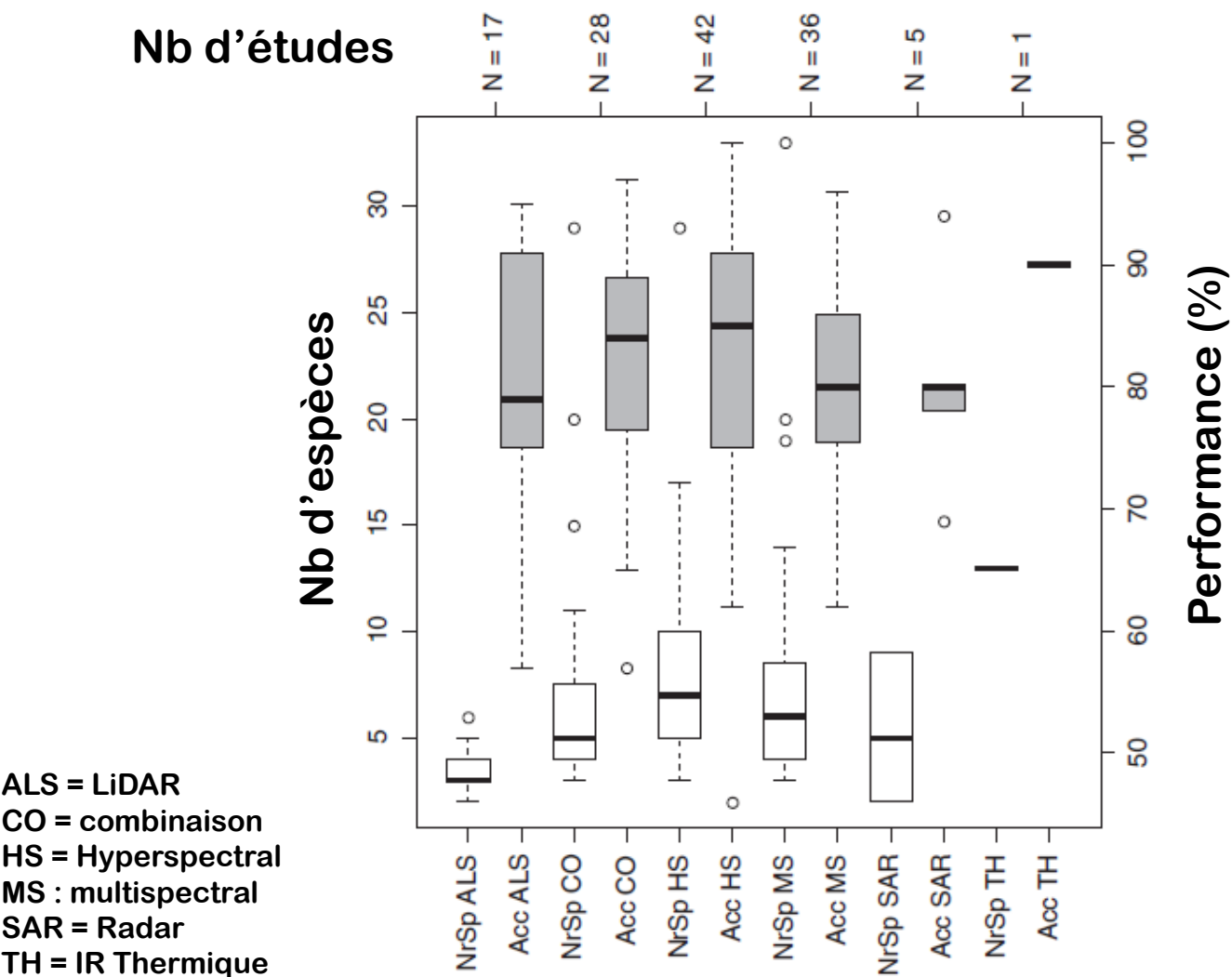
Houx
(*Ilex aquifolium* L.),

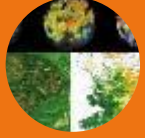
Cornouiller mâle
(*Cornus mas* L.),

Laurier-tin
(*Viburnum tinus* L.)

Paliure
(*Paliurus spina-christi*
Mill.)

Quelles performances de reconnaissance aujourd’hui ?





Une méthode opérationnelle pour la cartographie des peupleraies cultivées à l'échelle nationale

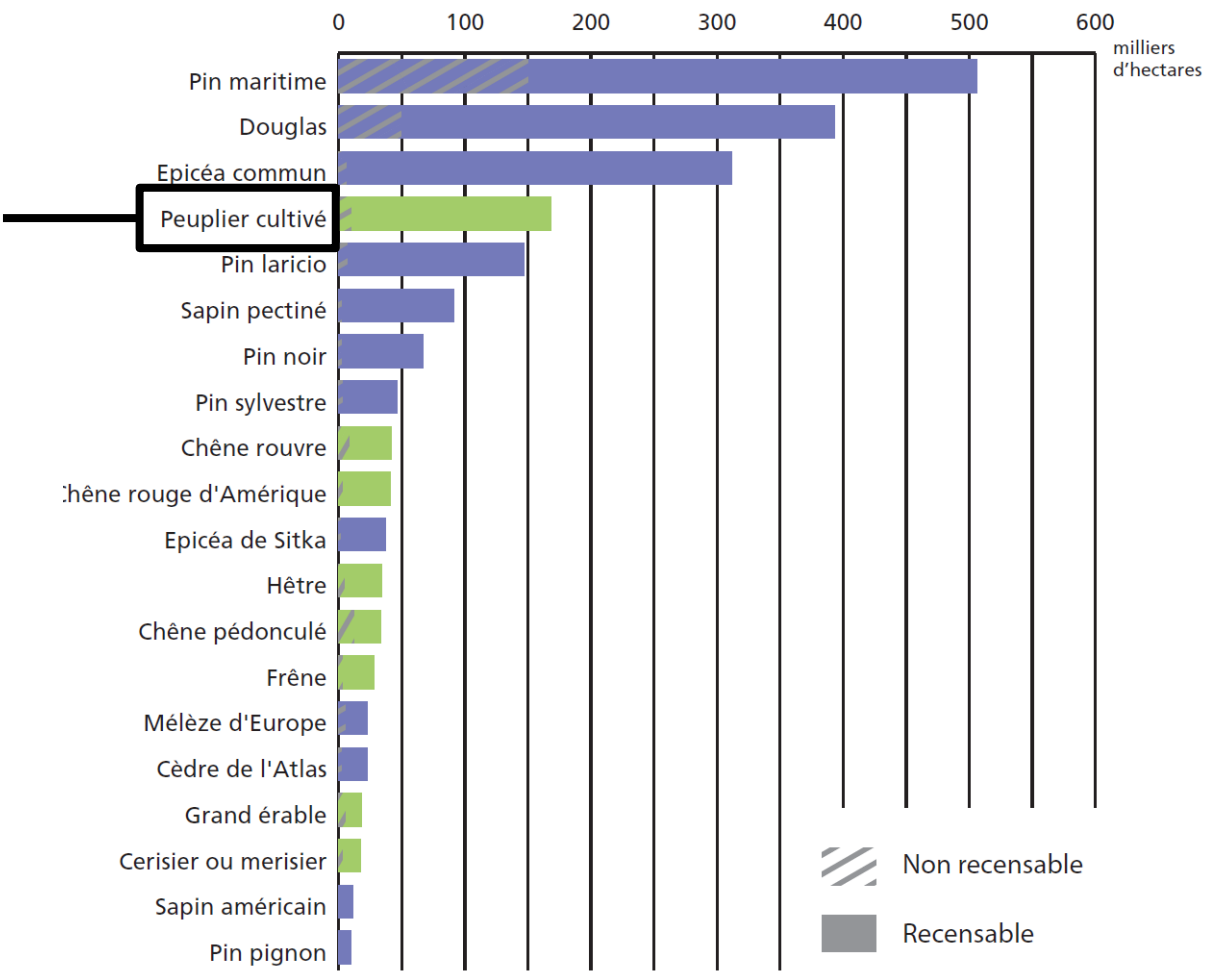
Résultats de la thèse CIFRE de Y. Hamrouni



**MINISTÈRE
DE L'AGRICULTURE
ET DE L'ALIMENTATION**
*Liberté
Égalité
Fraternité*

Importance du peuplier cultivé et besoins de la filière

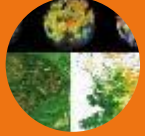
1^{ère} essence de feuillus plantée



Un suivi annuel de la ressource difficile

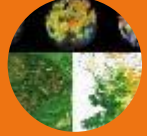


Quelle possibilité par télédétection ?



Objectifs de recherche

1. Evaluer les capacités des séries temporelles **Sentinel-2** à distinguer les peupleraies des autres essences
2. Proposer une démarche **opérationnelle** et applicable à l'**échelle nationale**

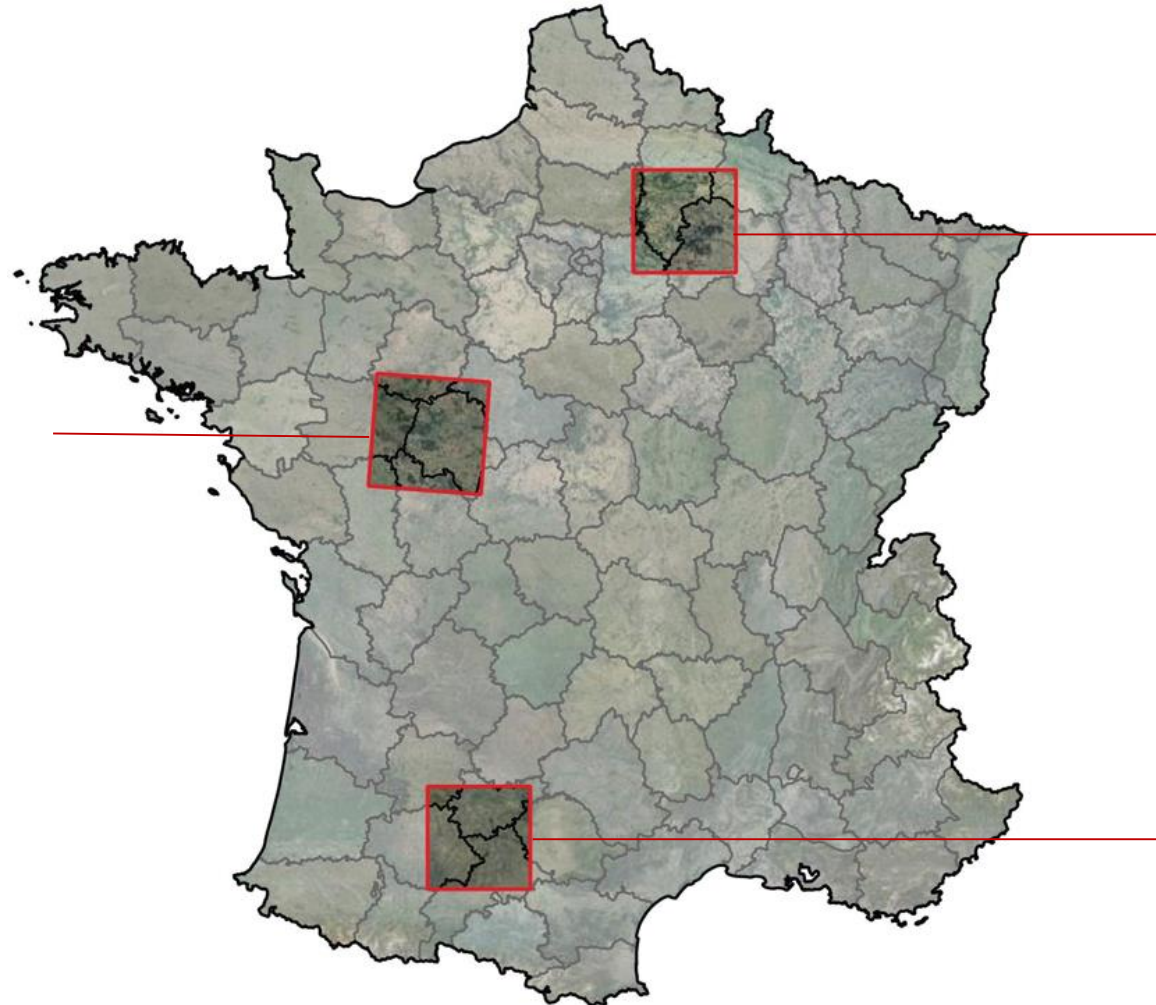


Sites populicoles de référence

Centre

- Climat intermédiaire
- Travail du sol les 1^{ères} années de croissance

Présence d'un sous-étage en fin de cycle



Grand-Est

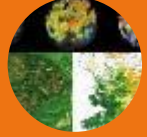
- Abondance d'eau
- Travail du sol réduit

Présence d'un sous-étage

Sud Ouest

- Sécheresse estivale
- Travail du sol fréquent

Absence d'un sous-étage

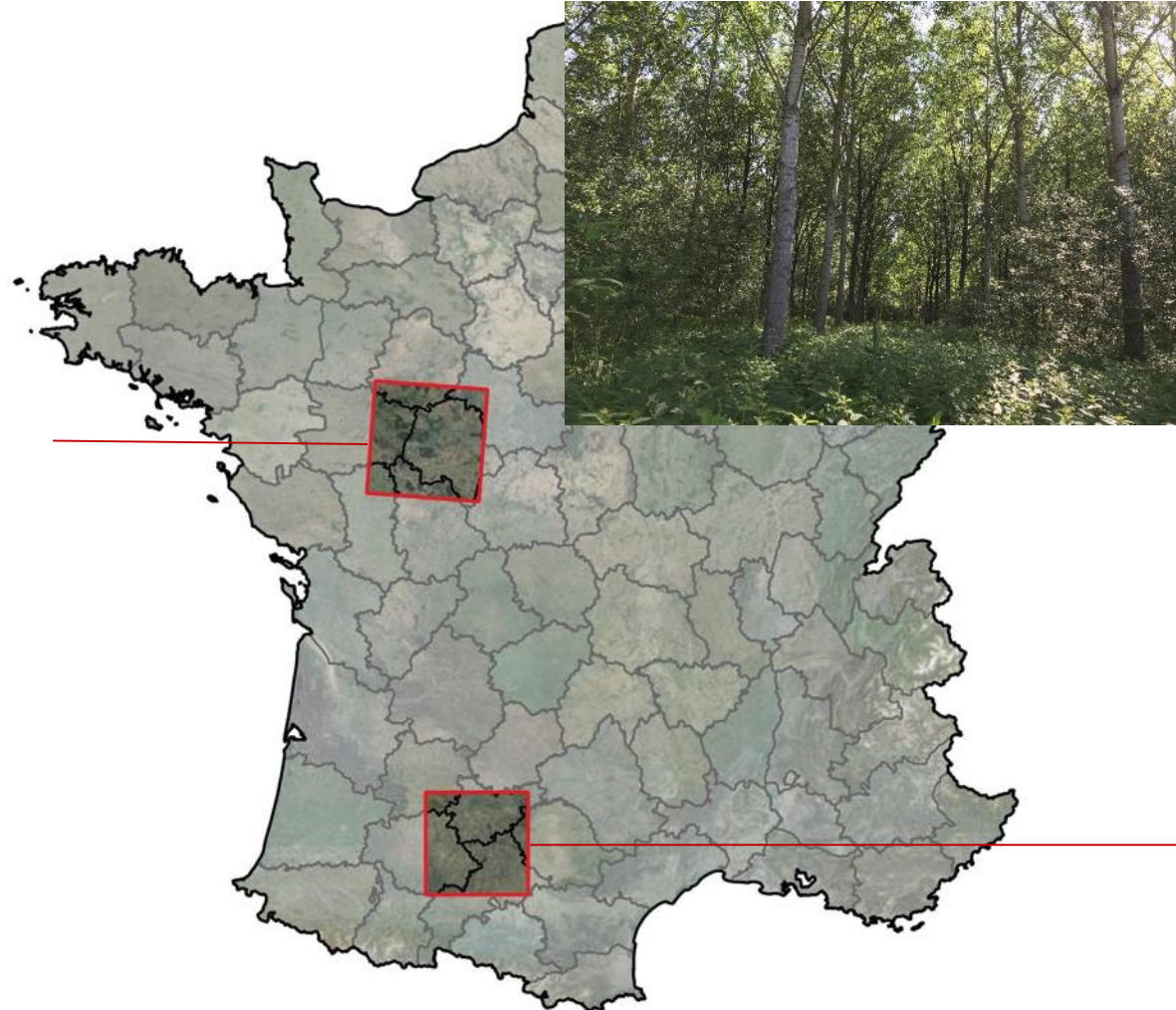


Sites populeux de référence

Centre

- Climat intermédiaire
- Travail du sol les 1^{ères} années de croissance

*Présence d'un sous-étage
en fin de cycle*



Grand-Est

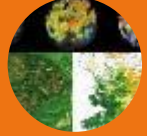
- Abondance d'eau
- Travail du sol réduit

Présence d'un sous-étage

Sud Ouest

- Sécheresse estivale
- Travail du sol fréquent

Absence d'un sous-étage

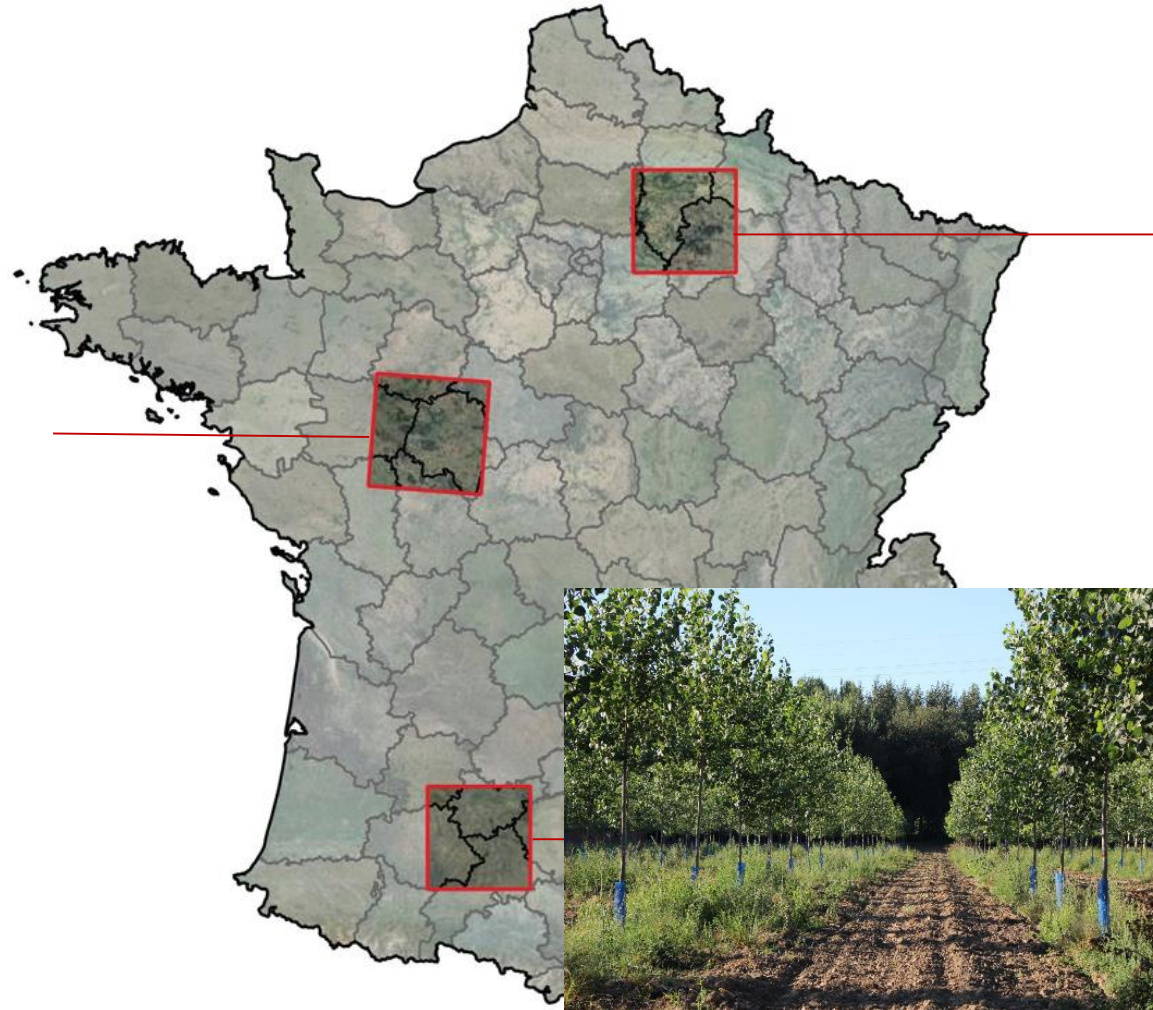


Sites populicoles de référence

Centre

- Climat intermédiaire
- Travail du sol les 1^{ères} années de croissance

Présence d'un sous-étage en fin de cycle



Grand-Est

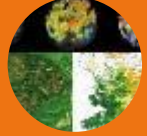
- Abondance d'eau
- Travail du sol réduit

Présence d'un sous-étage

Sud Ouest

- Sécheresse estivale
- Travail du sol fréquent

Absence d'un sous-étage

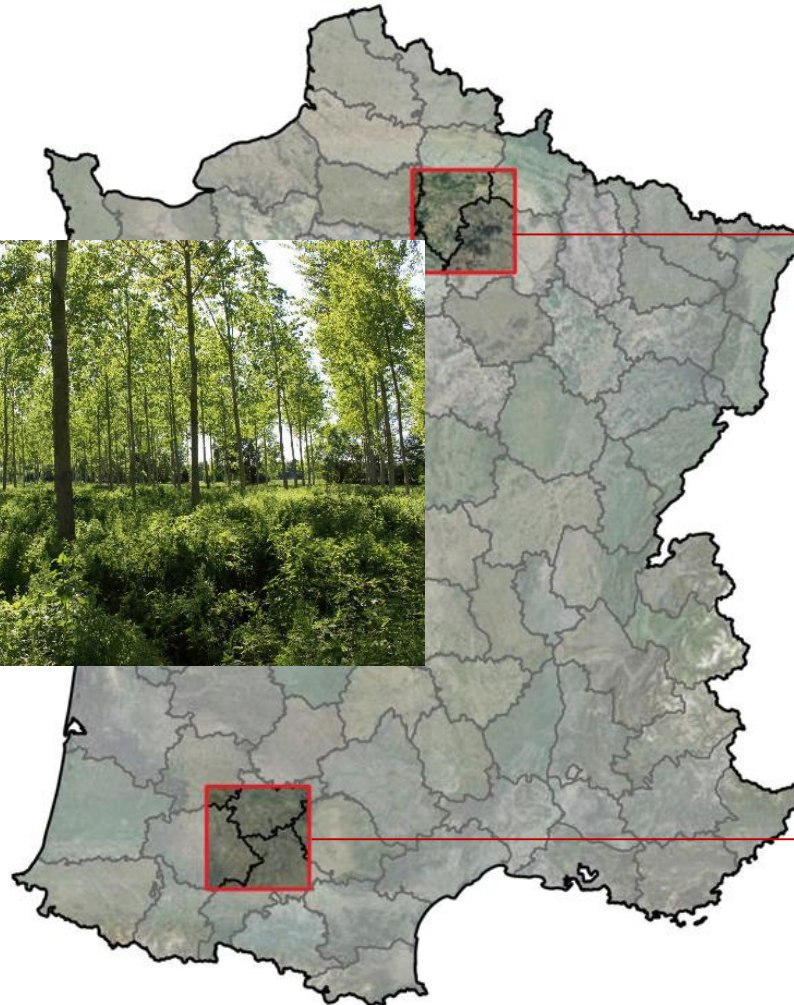


Sites populeux de référence

Centre

- Climat intermédiaire
- Travail du sol les 1^{ères} années de croissance

Présence d'un sous-étage en fin de cycle



Grand-Est

- Abondance d'eau
- Travail du sol réduit

Présence d'un sous-étage

Sud Ouest

- Sécheresse estivale
- Travail du sol fréquent

Absence d'un sous-étage

Sites populicoles de référence

Centre

- Climat intermédiaire
- Travail du sol les 1^{ères} années de croissance

Présence d'un sous-étage en fin de cycle

Grand-Est

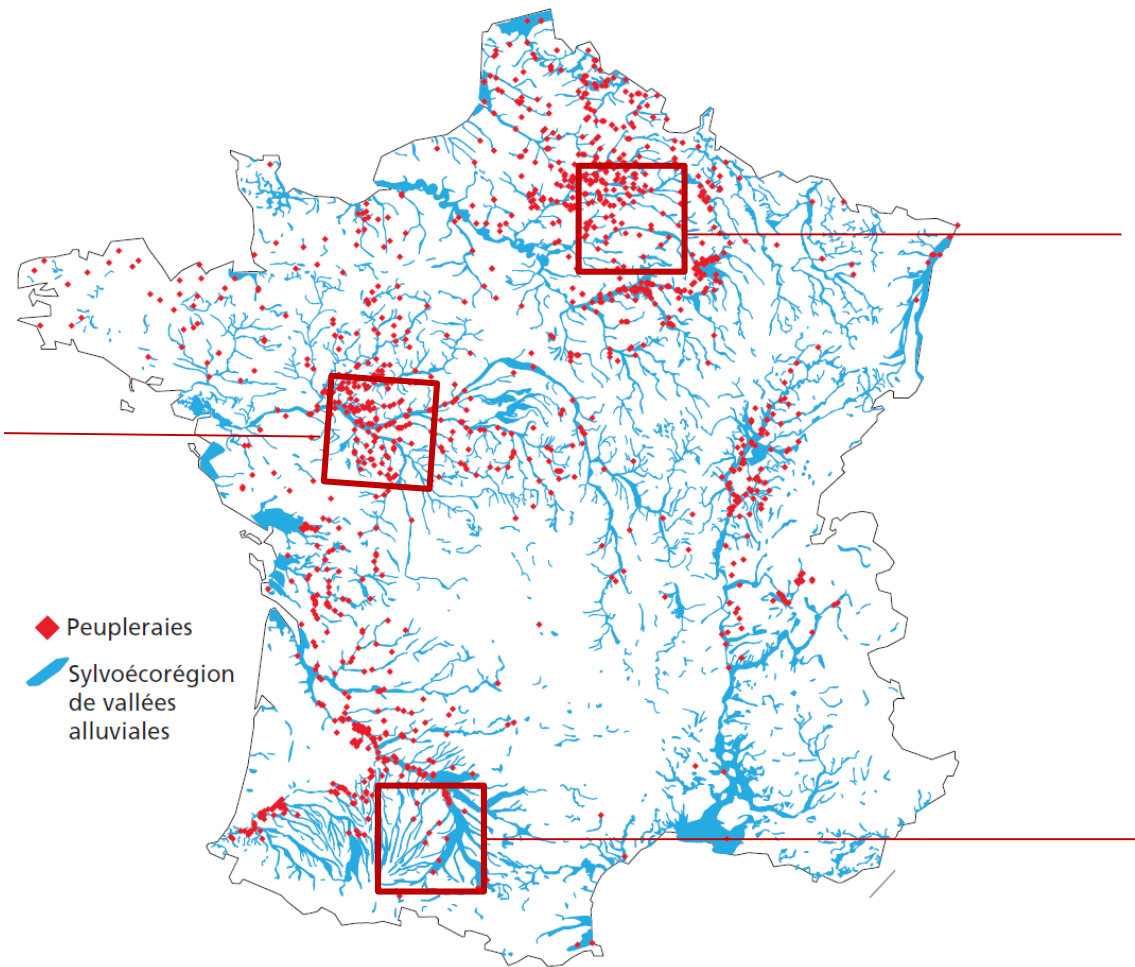
- Abondance d'eau
- Travail du sol réduit

Présence d'un sous-étage

Sud Ouest

- Sécheresse estivale
- Travail du sol fréquent

Absence d'un sous-étage

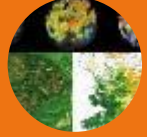


(Source : L'IF, Mai 2017, IGN)

Echantillons de référence

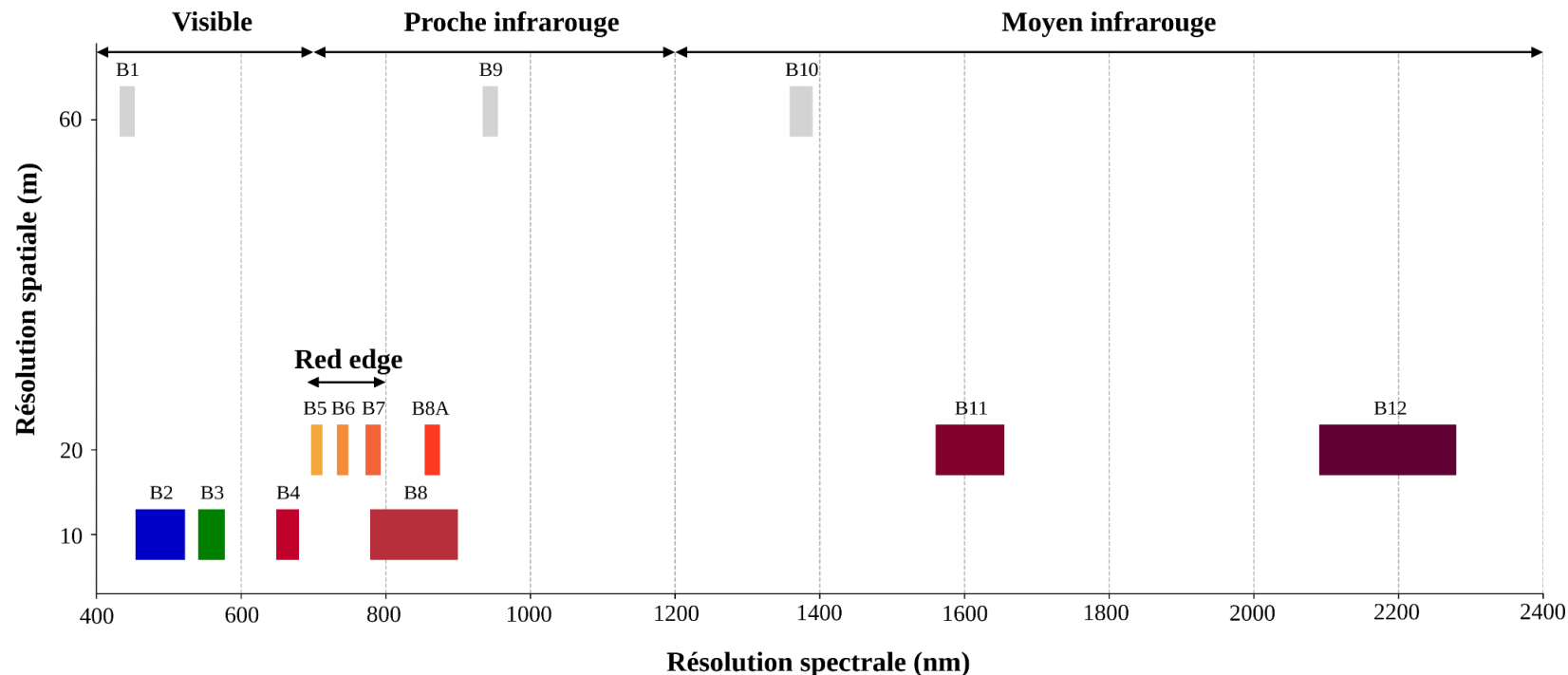
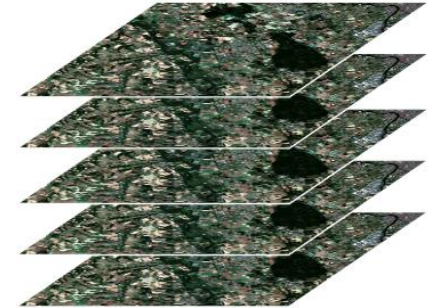
- Peupleraies : photo-interprétation (> 3 ans) + validation terrain (< 2% d’erreur)
- Autres essences : BDForêt IGN v.2

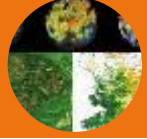
Nombre d'échantillons par classe (en pixels)								
	Tuile	Peuplier	Robinier	Châtaignier	Chêne	Hêtre	Forêt fermée de feuillus (mélange)	Forêt ouverte de feuillus (mélange)
2017	31UEQ	2500	2500	s/o ¹	2500	2500	2500	2500
	30TYT	4000	4000	4000	4000	s/o ¹	4000	4000
	31TCJ	7700	7700	7700	7700	NA ¹	7700	7700
2018	31UEQ	3700	s/o ¹	s/o ¹	3700	3700	3700	3700
	30TYT	3200	3200	3200	3200	s/o ¹	3200	3200
	31TCJ	5000	5000	5000	5000	s/o ¹	5000	5000



Séries temporelles d'images

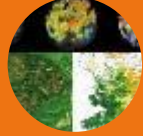
- Sentinel-2 (niveau 2A THEIA); bandes spectrales à 10m et 20m
- Deux années : 2017, 2018
- Séries rééchantillonnées avec une image tous les 10 jours





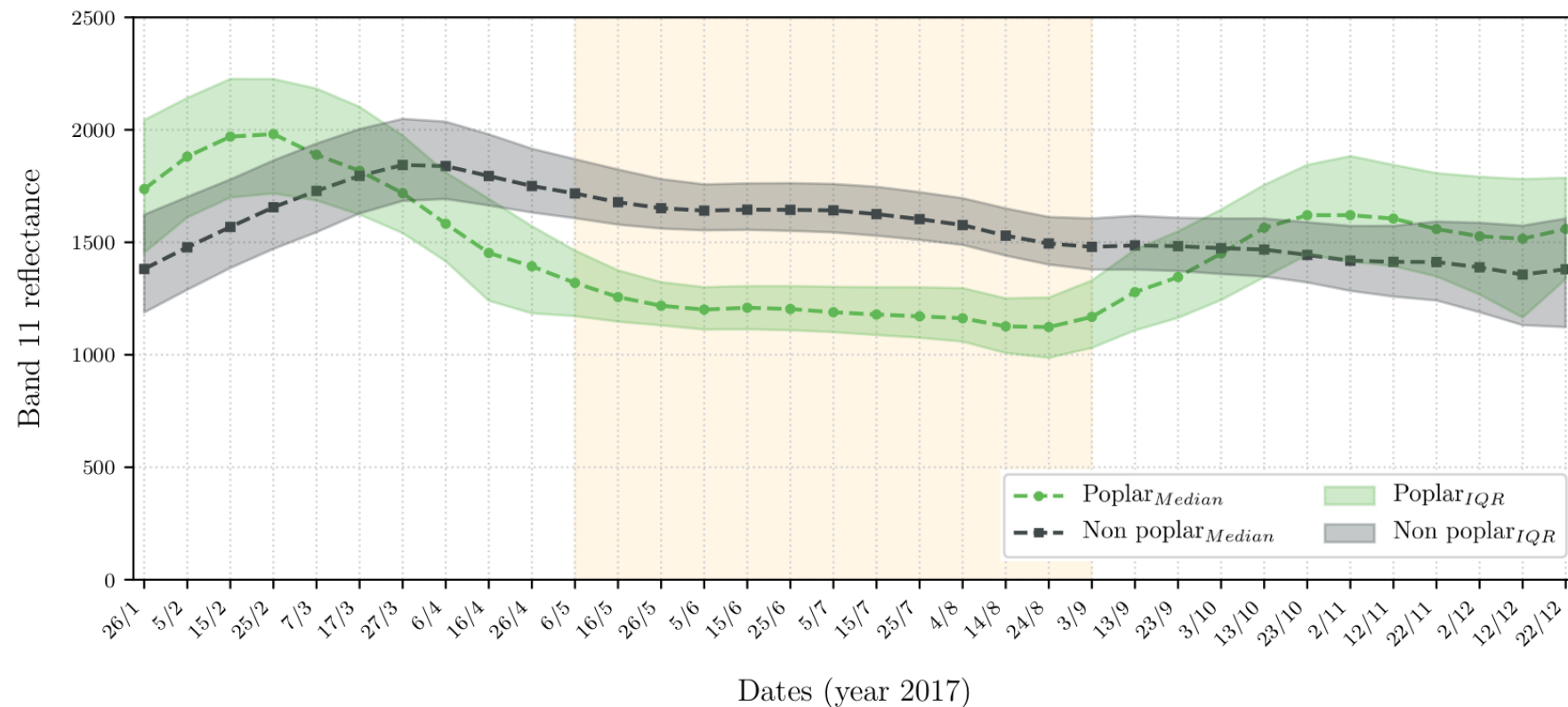
Méthode de production

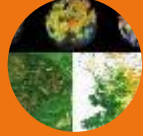
- Un **modèle global** fondé sur les 3 tuiles S2 de référence
 - Algorithme : Random Forest
- Un **nouvel indice spectral** (le Poplar Index - PI) comme variable d'entrée



Méthode de production

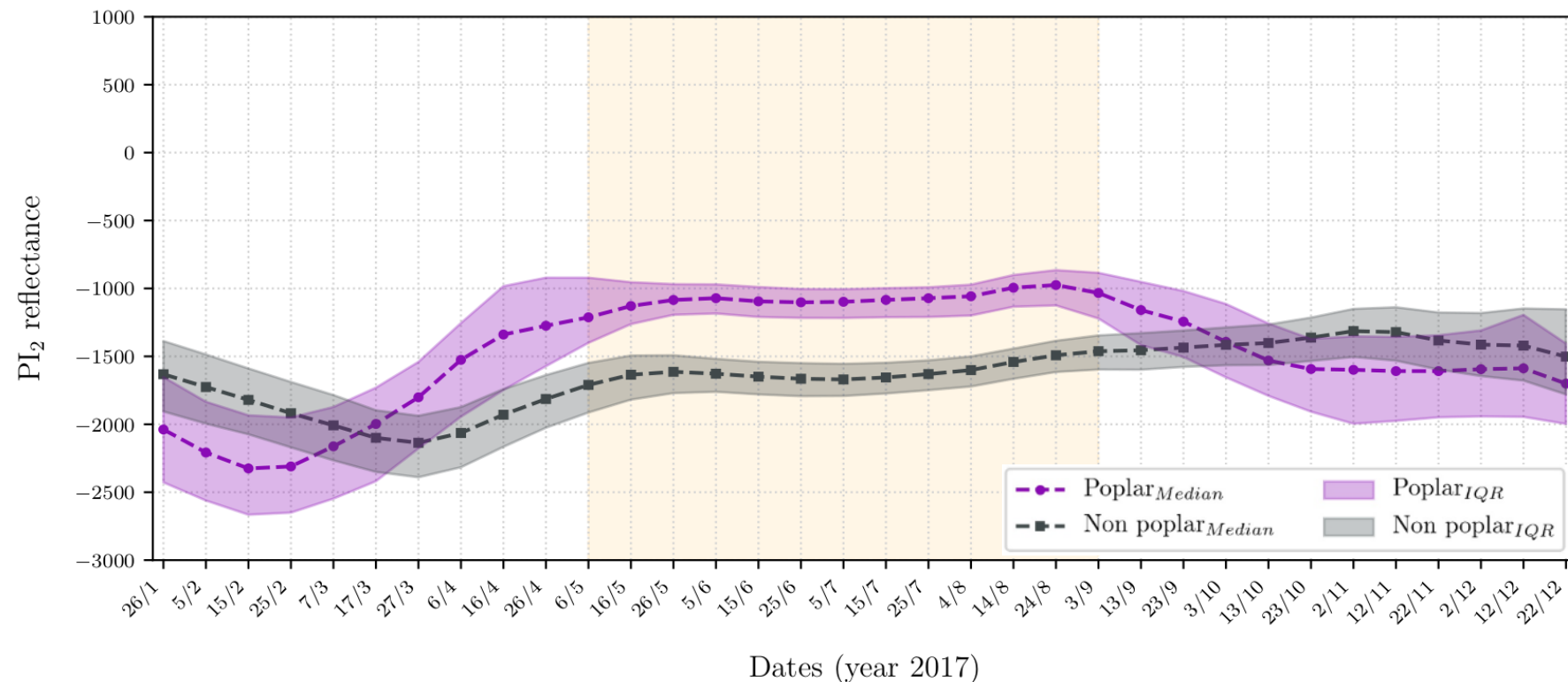
- Un **modèle global** fondé sur les 3 tuiles S2 de référence
 - Algorithme : Random Forest
- Un **nouvel indice spectral** (le Poplar Index - PI) comme variable d'entrée

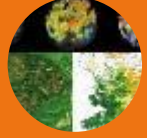




Méthode de production

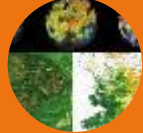
- Un **modèle global** fondé sur les 3 tuiles S2 de référence
 - Algorithme : Random Forest
- Un **nouvel indice spectral** (le Poplar Index - PI) comme variable d'entrée





Méthode de production

- Un **modèle global** fondé sur les 3 tuiles S2 de référence
 - Algorithme : Random Forest
- Un **nouvel indice spectral** (le Poplar Index - PI) comme variable d'entrée
 - Sélection visuelle puis automatique (SFFS) des bandes discriminantes
 - Comparaison des performances avec d'autres indices ; tests de combinaison



Méthode de production

- Un **modèle global** fondé sur les 3 tuiles S2 de référence
 - Algorithme : Random Forest
- Un **nouvel indice spectral** (le Poplar Index - PI) comme variable d'entrée
 - Sélection visuelle puis automatique (SFFS) des bandes discriminantes
 - Comparaison des performances avec d'autres indices ; tests de combinaison
- Une validation de l'indice PI **sur 2 années**
- Une chaîne de traitement sous **iota2** adaptée à une production nationale
 - Mise en œuvre sous l'infrastructure de calcul haute performance (HPC) du CNES

Performances de classification

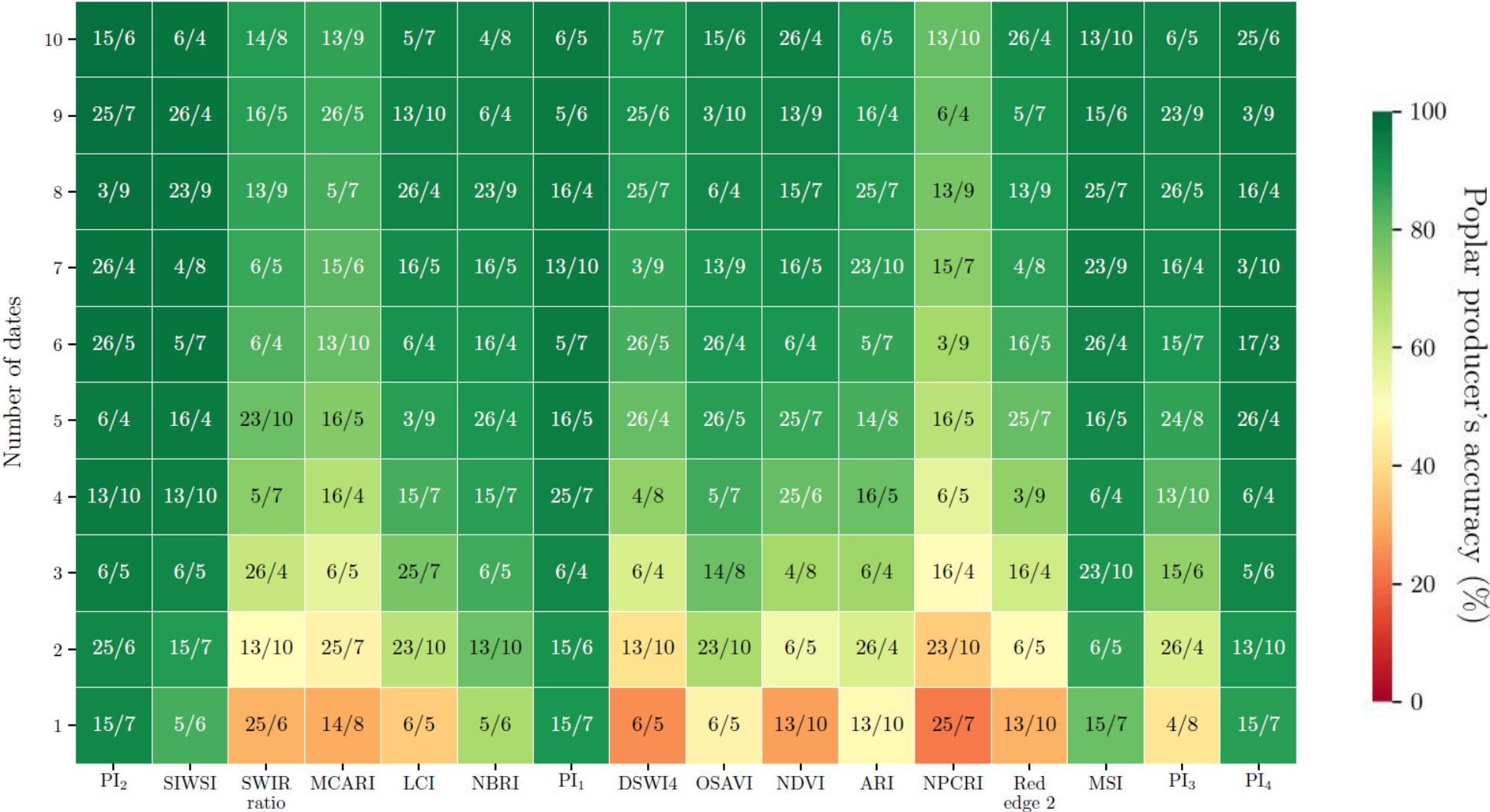
- Validation indépendante (50% des références)
- Jeux de variables initiales :
 - 10 bandes ou 23 indices pour chaque date (→ 360 à 828 variables)

Précision producteur tenant compte des
10 premières meilleures variables

	Variables spectrales combinées		Variables spectrales individuelles	
	Combinaison de bandes	Combinaison d'indices	B11	PI
2017	93%	94%	87%	92%
2018	95%	94%	93%	95%

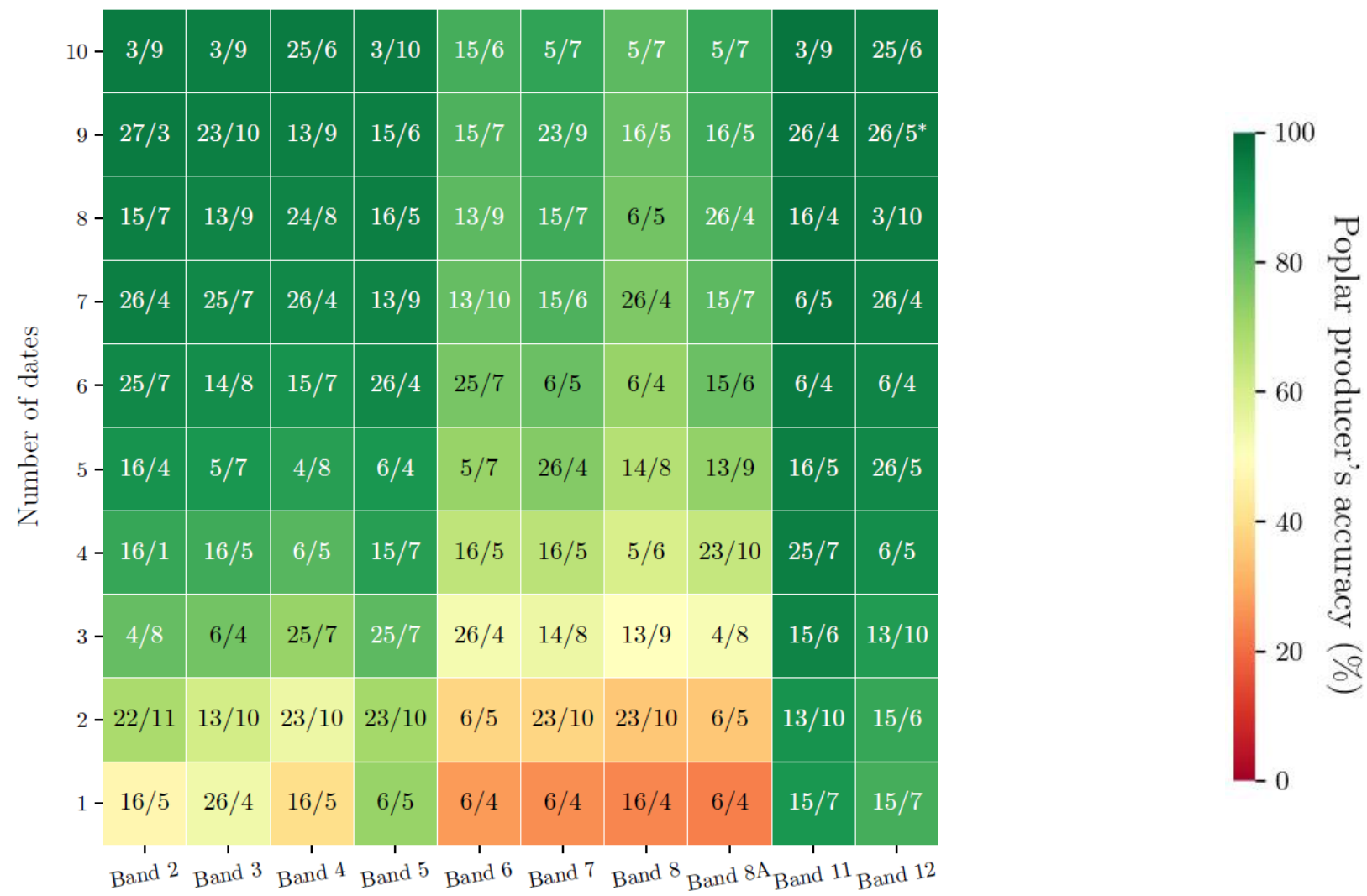
Performances de classification

2018



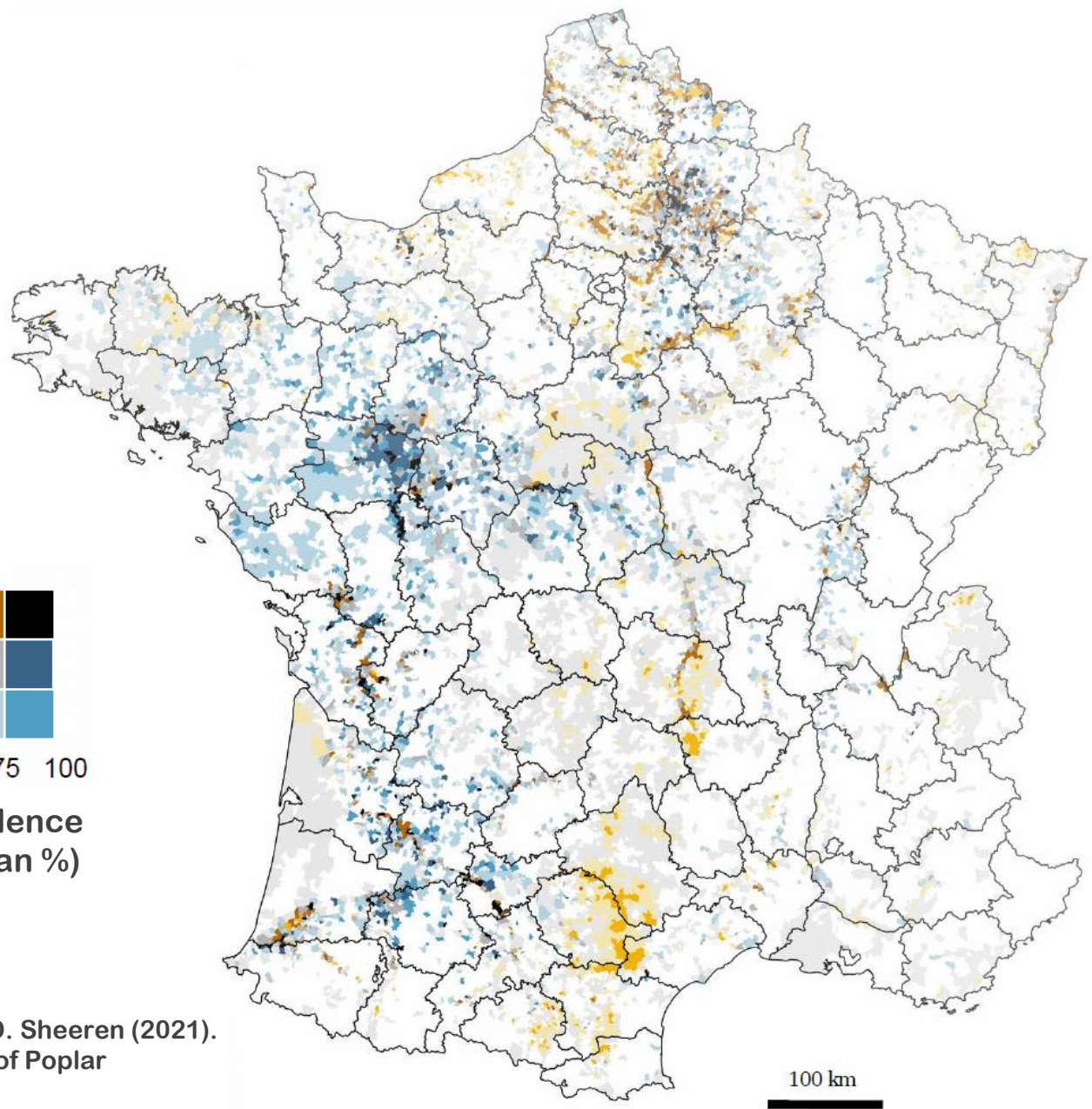
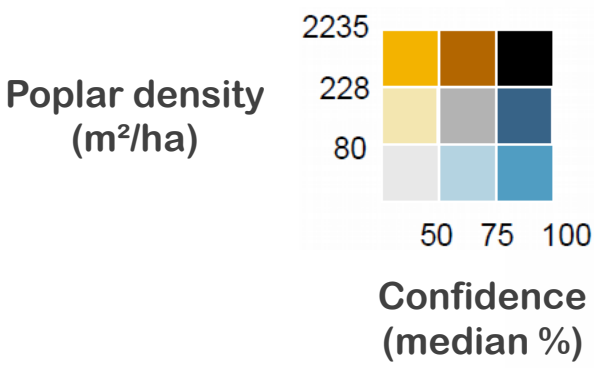
Performances de classification

2018



Carte nationale

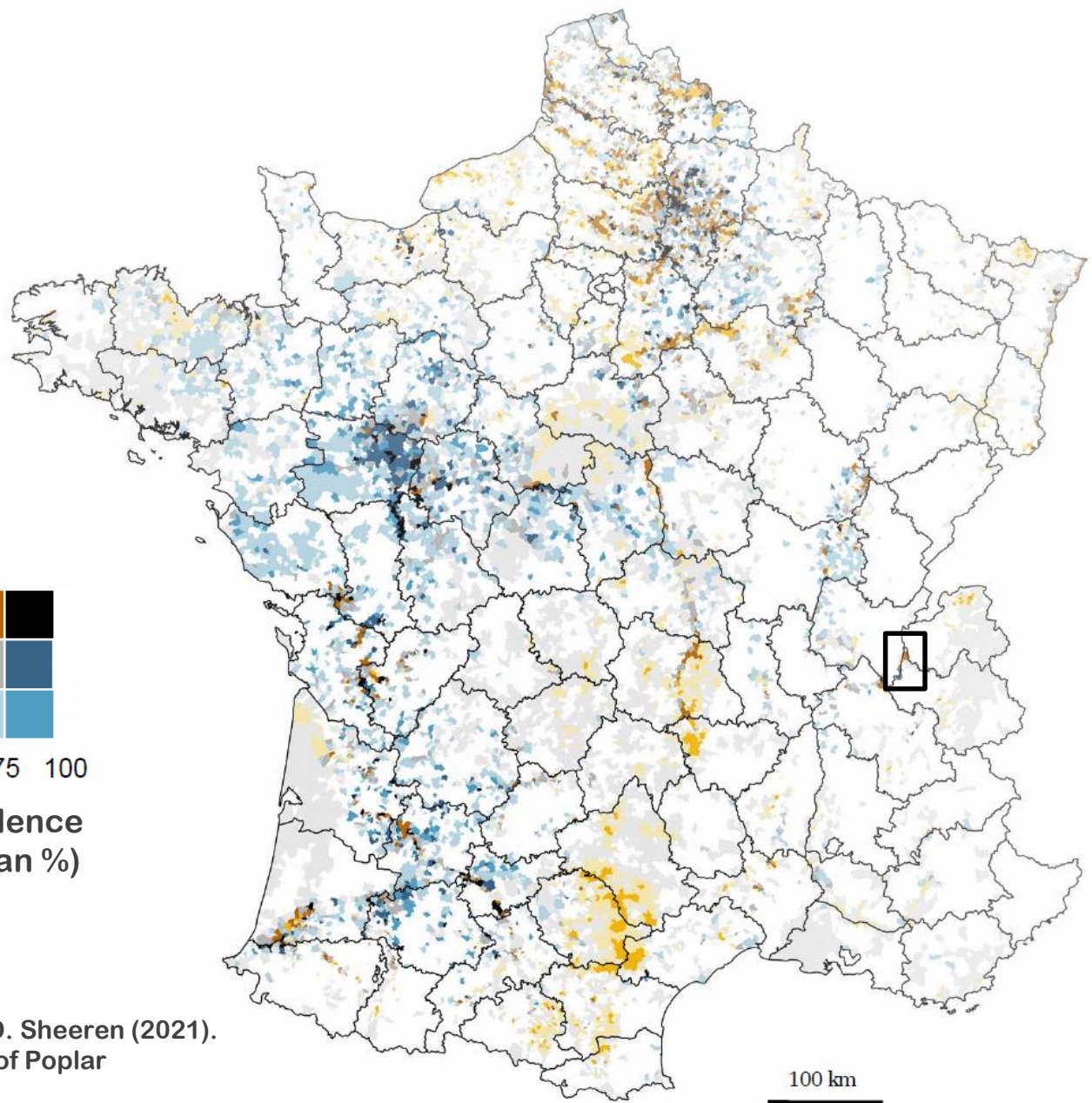
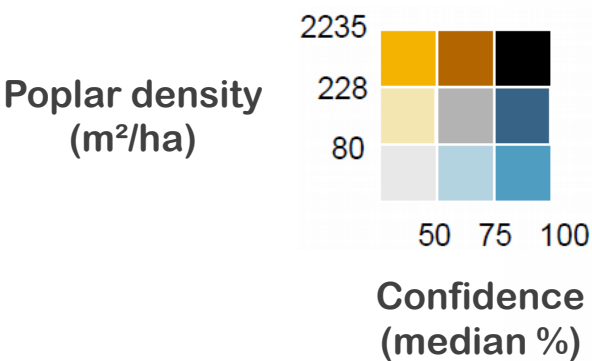
2018 (par commune)



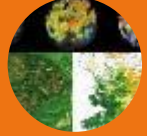
Y. Hamrouni, E. Paillassa, V. Chéret, C. Monteil, D. Sheeren (2021).
Sentinel-2 Poplar Index for Operational Mapping of Poplar
Plantations over Large Areas, *submitted*.

Carte nationale

2018 (par commune)



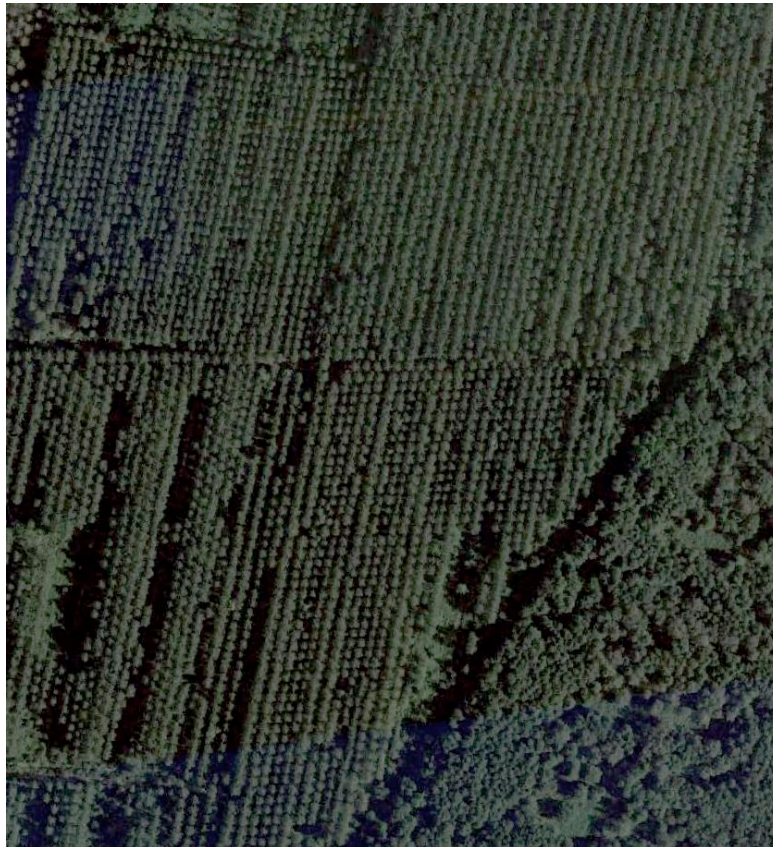
Y. Hamrouni, E. Paillassa, V. Chéret, C. Monteil, D. Sheeren (2021).
Sentinel-2 Poplar Index for Operational Mapping of Poplar
Plantations over Large Areas, *submitted*.



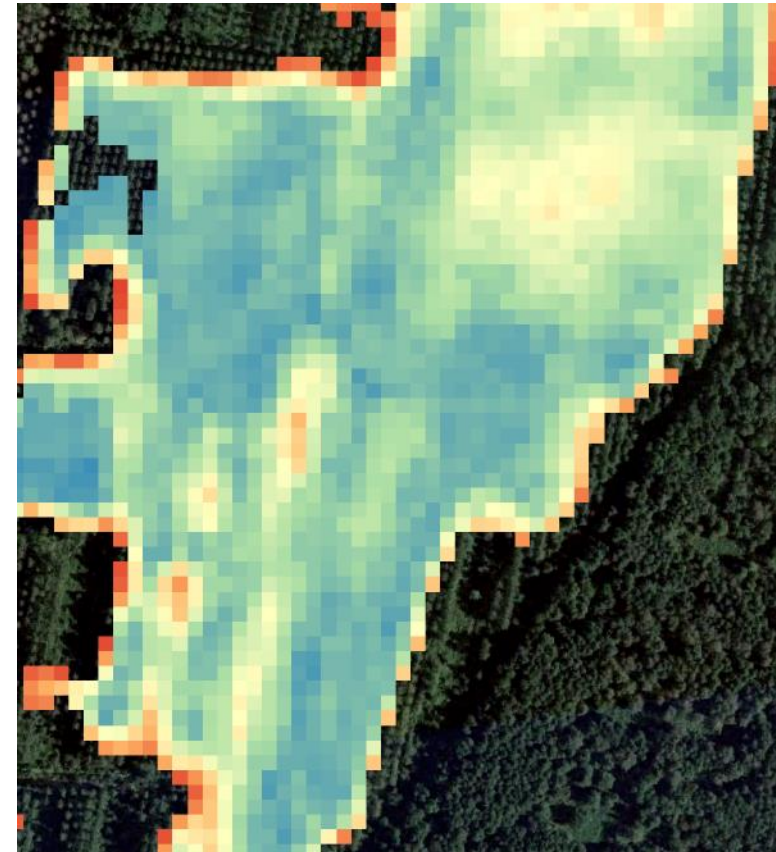
Ex : Forêt domaniale de Chautagne (ONF)

- La plus grande peupleraie publique de France (760 ha ; 74% de peuplier cultivé)

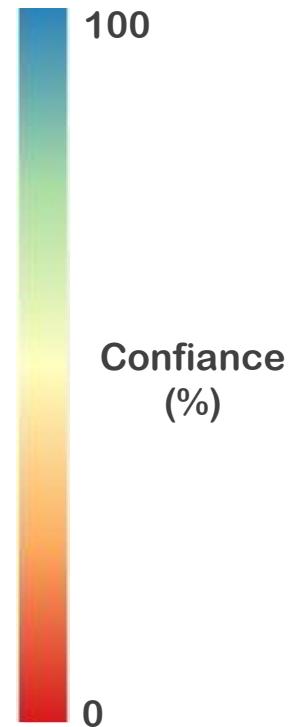
Plantations
mâtures bien
détectées

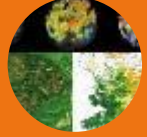


2017 (source : Google Earth)



Classif 2018 (source : Sentinel-2)

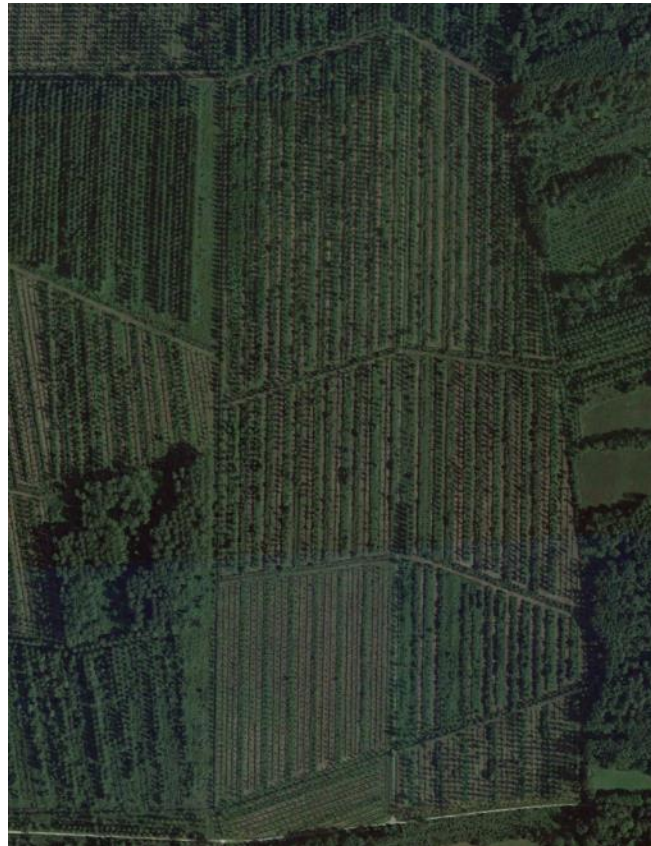




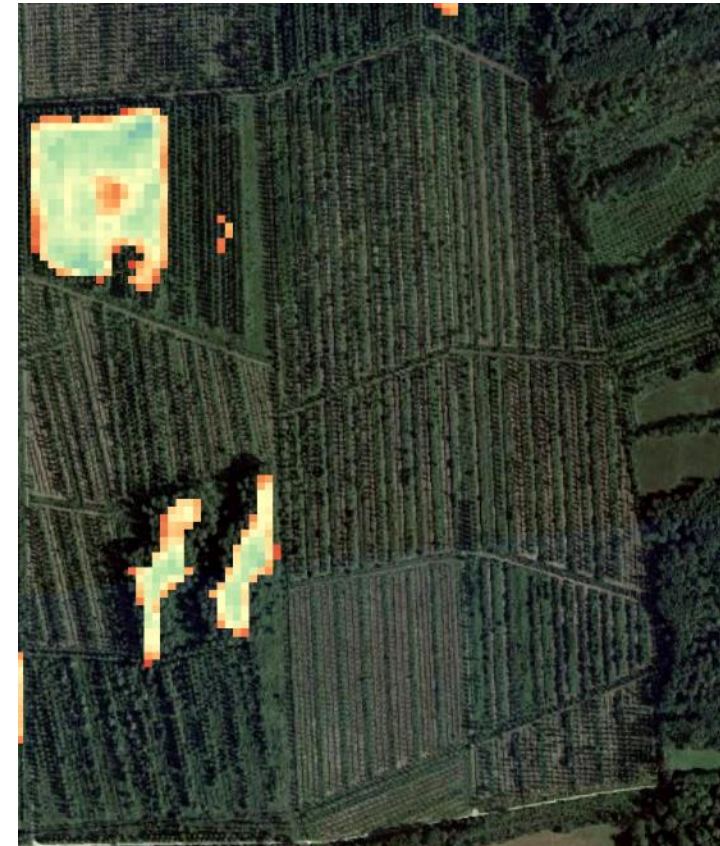
Ex : Forêt domaniale de Chautagne (ONF)

- La plus grande peupleraie publique de France (760 ha ; 74% de peuplier cultivé)

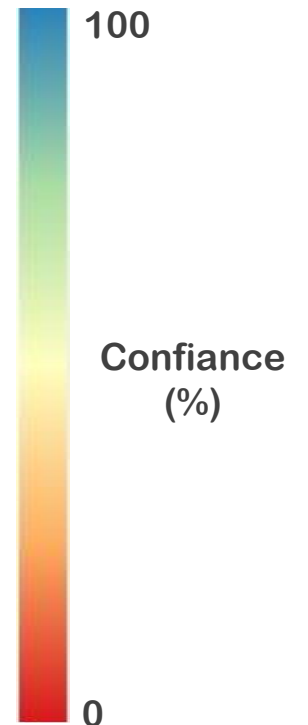
Jeunes
plantations non
détectées



2017 (source : Google Earth)



Classif 2018 (source : Sentinel-2)



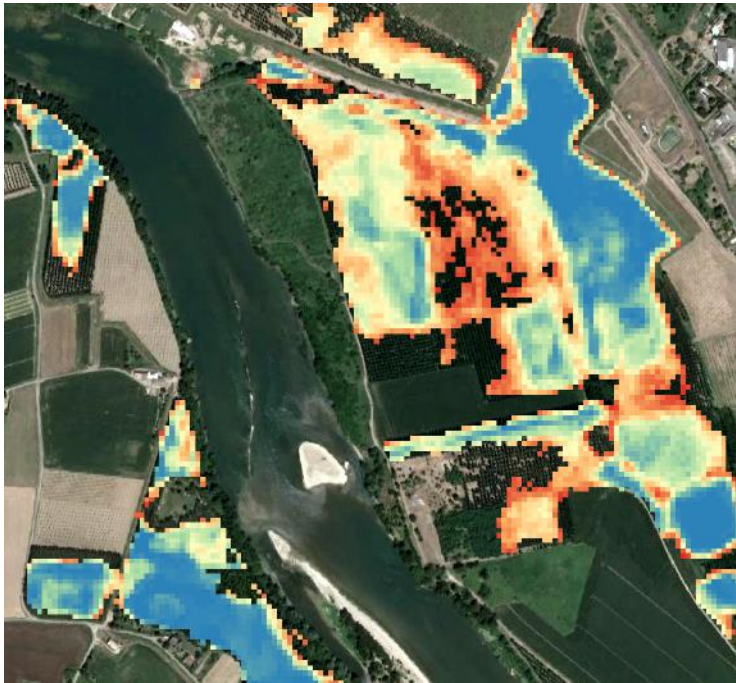
Ex : Plantations près de Marmande (47)



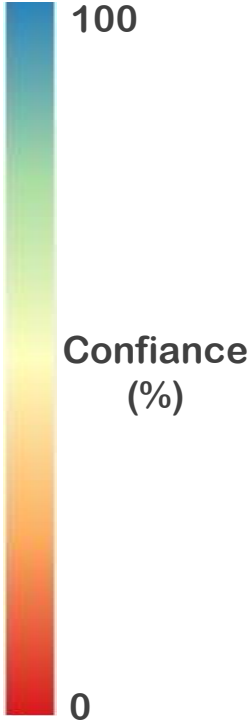
2014 (source : Google Earth)

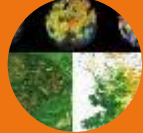


2017 (source : Google Earth)



Classif 2018 (source : Sentinel-2)



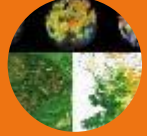


Conclusions

- Première carte nationale des peupleraies cultivées obtenue par télédétection
 - Apport de la dimension temporelle de Sentinel-2 (avril – septembre)
- Méthode opérationnelle pour détecter les peupleraies > 5 ans
 - Nouvel indice spectral spécifique (Poplar Index)
 - Apport du moyen infra-rouge et du Red-Edge
- Dépendance à un masque forêt / non forêt (HRL Copernicus ou OSO)

Perspectives

- Classifications 2019 et 2020 à venir (mise à jour annuelle) → amélioration du produit
- Détection des coupes, estimation des biomasses (→ classe d'âge)
- Mise à disposition sur le site THEIA (intégration dans produit OSO)



Pour en savoir plus :



Hamrouni Y., Paillassa E., Chéret V., Monteil C., Sheeren D. (2021). Sentinel-2 Poplar Index for operational mapping of Poplar plantations over large areas, *submitted*.



Hamrouni Y., Paillassa E., Chéret V., Monteil C., Sheeren D. (2021). From local to global : A transfer learning-based approach for mapping poplar plantations at national scale using Sentinel-2. *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, 171 :76–100, 2021.



Karasiak N., Dejoux J.-F., Fauvel M., Willm J., Monteil C., D. Sheeren (2019). Statistical stability and spatial instability in mapping forest tree species by comparing 9 years of satellite image time series. *Remote Sensing*, 11(21) :2512.



Sheeren D., Fauvel M., Josipovic V., Lopes M., Planque C., Willm J., Dejoux J.-F. (2016). Tree species classification in temperate forests using Formosat-2 satellite image time series. *Remote Sensing*, 8(9) :734.

Merci pour votre attention

Retrouvez toutes les présentations de l'atelier

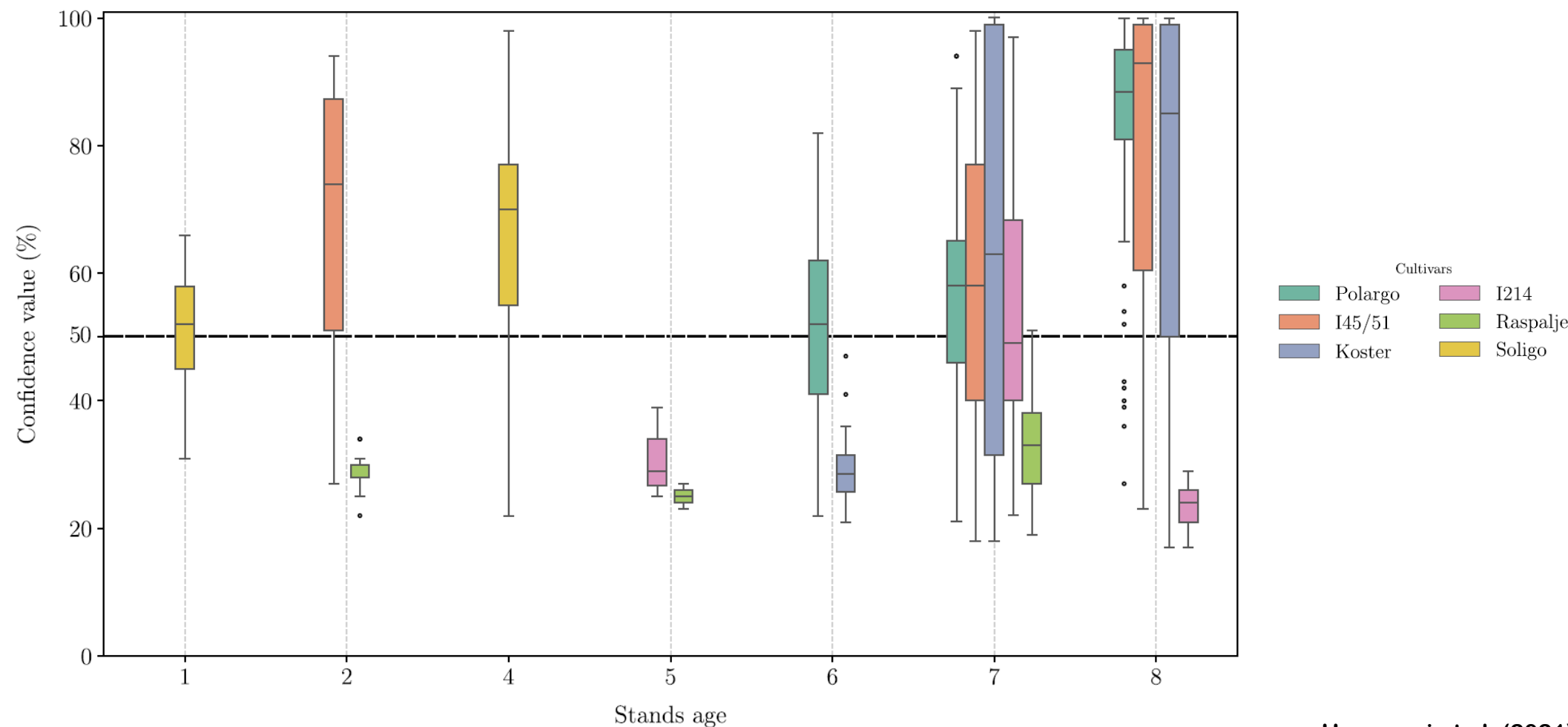


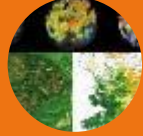
LES UTILISATIONS DE LA TÉLÉDÉTECTION POUR LA FORÊT

Sur : www.theia-land.fr/foret21



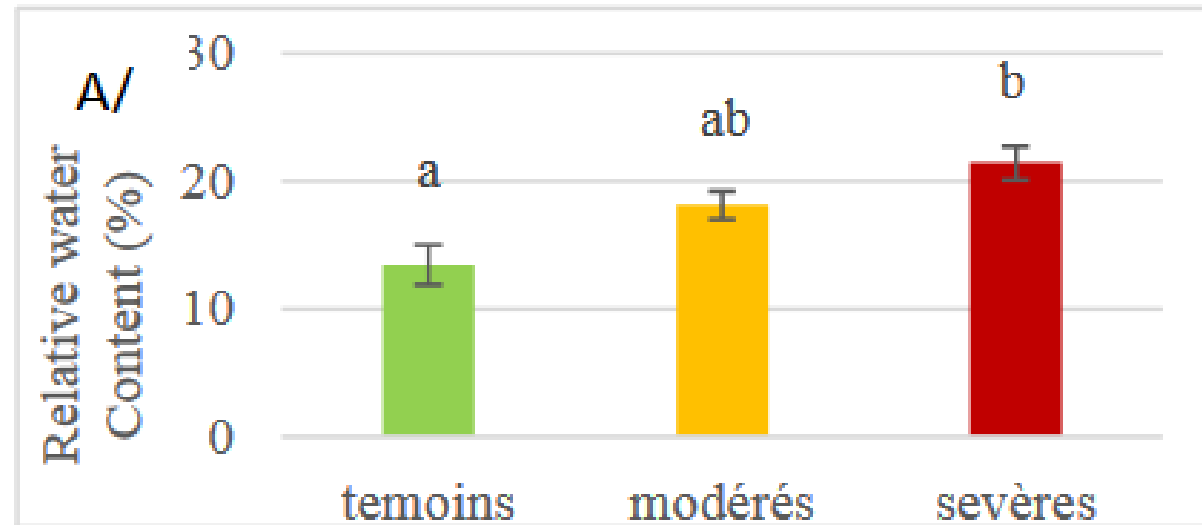
Incertitude de classification selon l'année de plantation des parcelles de peuplier



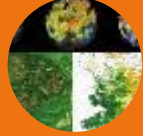


Teneur en eau des feuilles de peupliers soumis à un stress hydrique sévère

P. tremula x alba



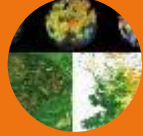
Sous-expression généralisée des protéines aquaporines (PIP et TIP) au sein du mésophylle et de certains isoformes (PIP 1.1 et 1.2) dans les nervures primaires et secondaires



Masque forêt / non forêt

- **Produit HRL - Dominant Leaf Type 2018**
 - 3 classes : feuillus, conifères, hors forêt
 - Résolution spatiale de 10 m
 - Sans élimination des parcelles agricoles (produit intermédiaire)
- **Données source : Sentinel-2 (niveau 2A)**
 - Images du 01/03/2018 au 31/10/2018
- **Production**
 - Classification hiérarchique (RF) basée sur 138 000 échantillons multi-source
 - 59 variables spectro-temporelles
 - Post-traitements

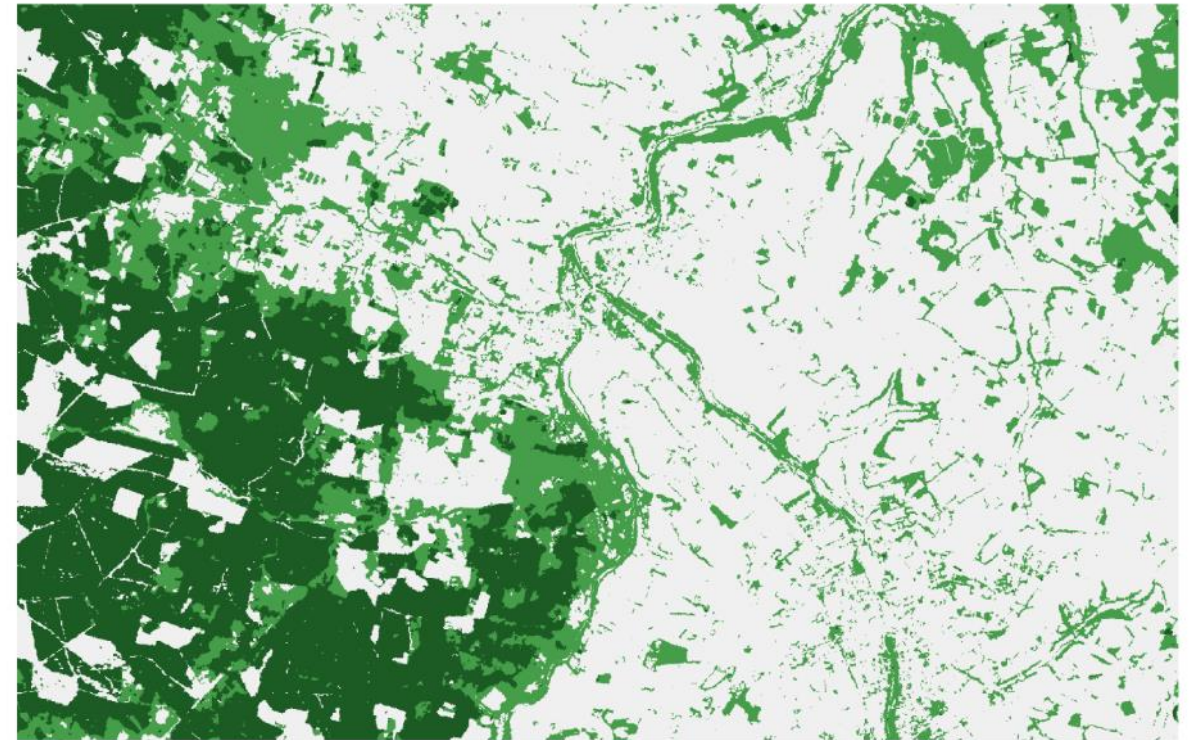
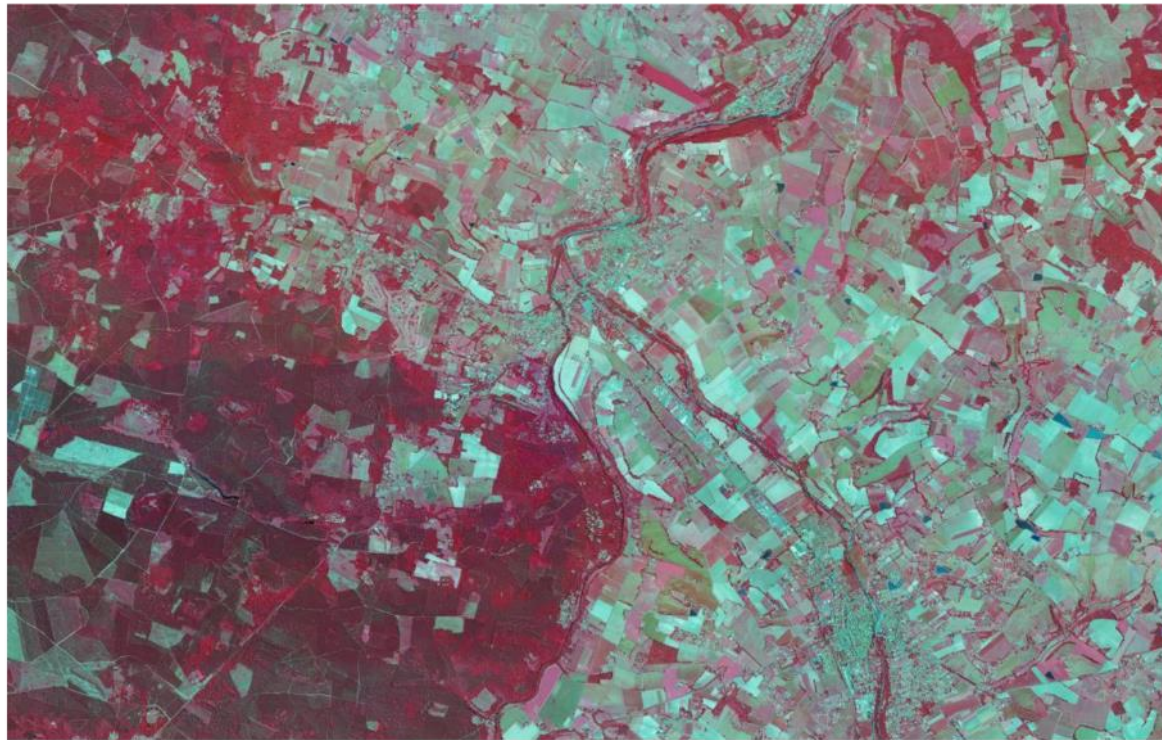


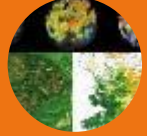


Masque forêt / non forêt



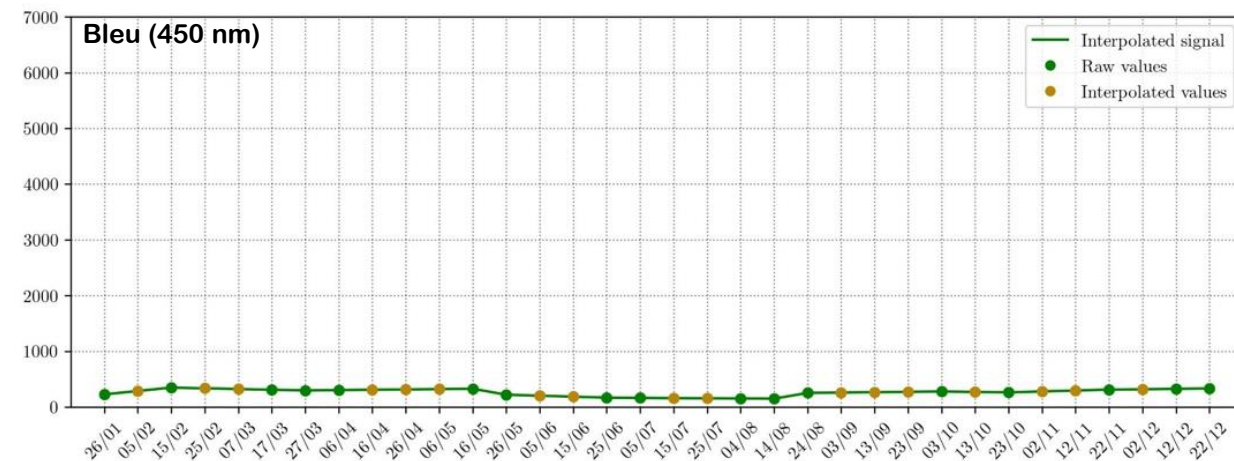
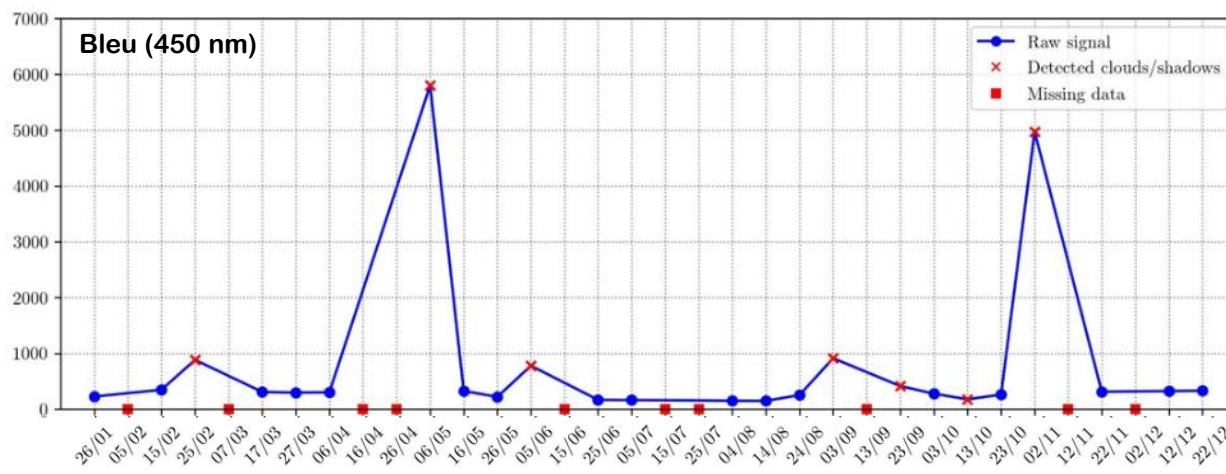
Exemple en Lot-et-Garonne



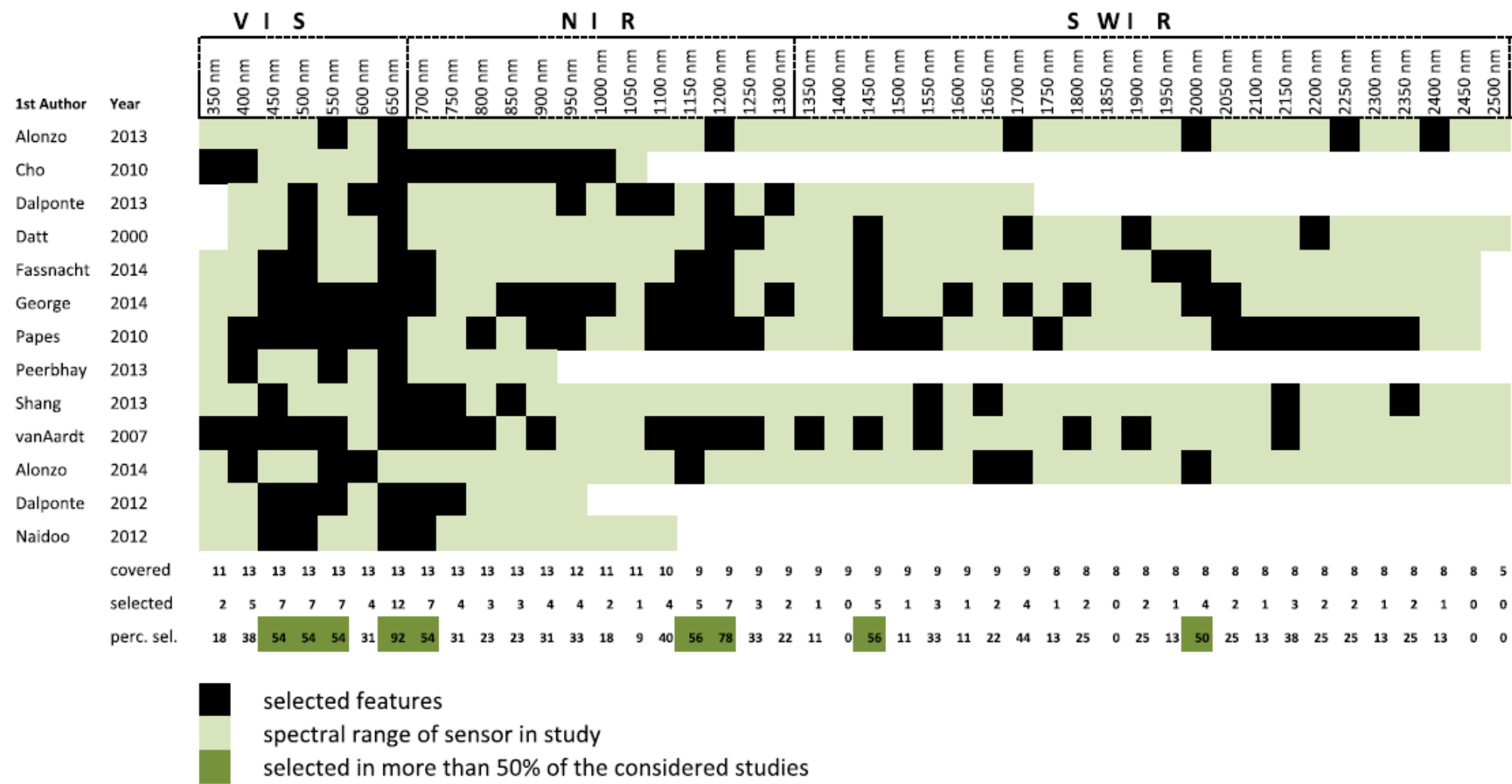


Pré-traitements des séries Sentinel-2

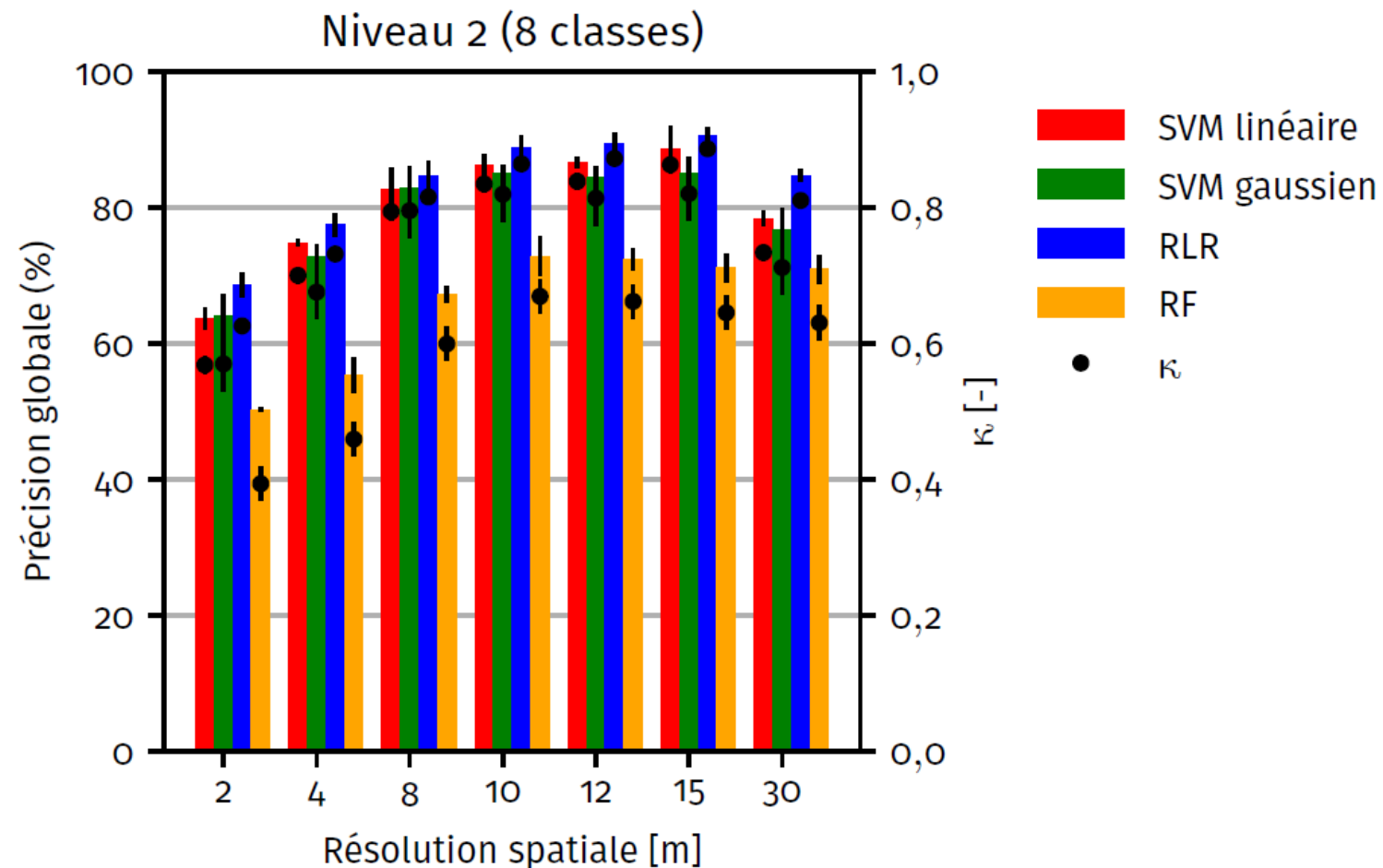
- Interpolation linéaire des nuages (*gap-filling*)
→ Comblement des données manquantes
- Ré-échantillonnage temporel à 10 jours
→ Fréquence d'images identique pour toutes les tuiles
- Ré-échantillonnage spatial : ramener toutes les bandes à la même résolution
→ Les 10 bandes spectrales à 10 m de résolution spatiale



Bandes spectrales pertinentes pour reconnaître les essences



Effet de la résolution spatiale



Autres résultats obtenus avec Sentinel-2

TABLEAU 4.6 – Score F1 maximum obtenu avec un modèle par essence en utilisant une validation croisée de type SLOO pour l’année 2017, 2018 et 2019 et à l’aide soit des 5 meilleures dates (via une sélection de caractéristiques) ou à l’aide de la série temporelle dans son ensemble. En gras sont spécifiés les meilleurs résultats par essence.

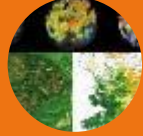
(a) Avec sélection de caractéristiques (5 meilleures dates)								
Espèce	Peuplier	Robinier	Frêne	Chêne	Chêne rouge	Bouleau	Saule	Moyenne
2017	0,86	0,63	0,79	0,86	0,97	0,8	0,99	0,84
2018	0,93	0,78	0,81	0,87	1	0,94	0,93	0,89
2019	0,83	0,67	0,78	0,8	1	0,88	0,95	0,84
Moyenne	0,87	0,69	0,79	0,85	0,99	0,87	0,96	

(b) Sans sélection de caractéristiques (SITS entière)								
Espèce	Peuplier	Robinier	Frêne	Chêne	Chêne rouge	Bouleau	Saule	Moyenne
2017	0,78	0,28	0,61	0,63	0,96	0,18	0,93	0,62
2018	0,73	0,32	0,62	0,55	0,9	0,46	0,75	0,61
2019	0,71	0,42	0,77	0,56	0,96	0,65	0,76	0,69
Moyenne	0,74	0,34	0,66	0,58	0,94	0,43	0,81	

Autres résultats obtenus avec Sentinel-2

TABLEAU 4.7 – F1-score obtenu par essence et par indice en utilisant les 5 meilleures dates. En gras est spécifié le meilleur indice par année et par essence.

	LAnthoC			LCaroC			LChloC			NDVI		
	2017	2018	2019	2017	2018	2019	2017	2018	2019	2017	2018	2019
Peuplier	0.7	0.57	0.54	0.63	0.58	0.54	0.69	0.44	0.63	0.69	0.58	0.67
Robinier	0.61	0.57	0.4	0.6	0.52	0.51	0.55	0.52	0.6	0.57	0.64	0.57
Frêne	0.82	0.59	0.55	0.73	0.48	0.53	0.66	0.66	0.43	0.65	0.63	0.5
Chêne	0.67	0.67	0.57	0.8	0.65	0.58	0.76	0.65	0.56	0.71	0.52	0.56
Chêne rouge	0.96	0.89	0.83	0.86	0.97	0.86	0.9	0.93	0.9	0.96	0.92	0.9
Bouleau	0.93	0.76	0.67	0.8	0.68	0.67	0.69	0.73	0.8	0.82	0.78	0.85
Saule	0.95	0.91	0.85	1	0.96	0.95	1	0.94	0.91	0.97	0.94	0.85
Moyenne	0.81	0.71	0.63	0.77	0.69	0.66	0.75	0.7	0.69	0.77	0.72	0.7



Autres résultats obtenus avec Sentinel-2

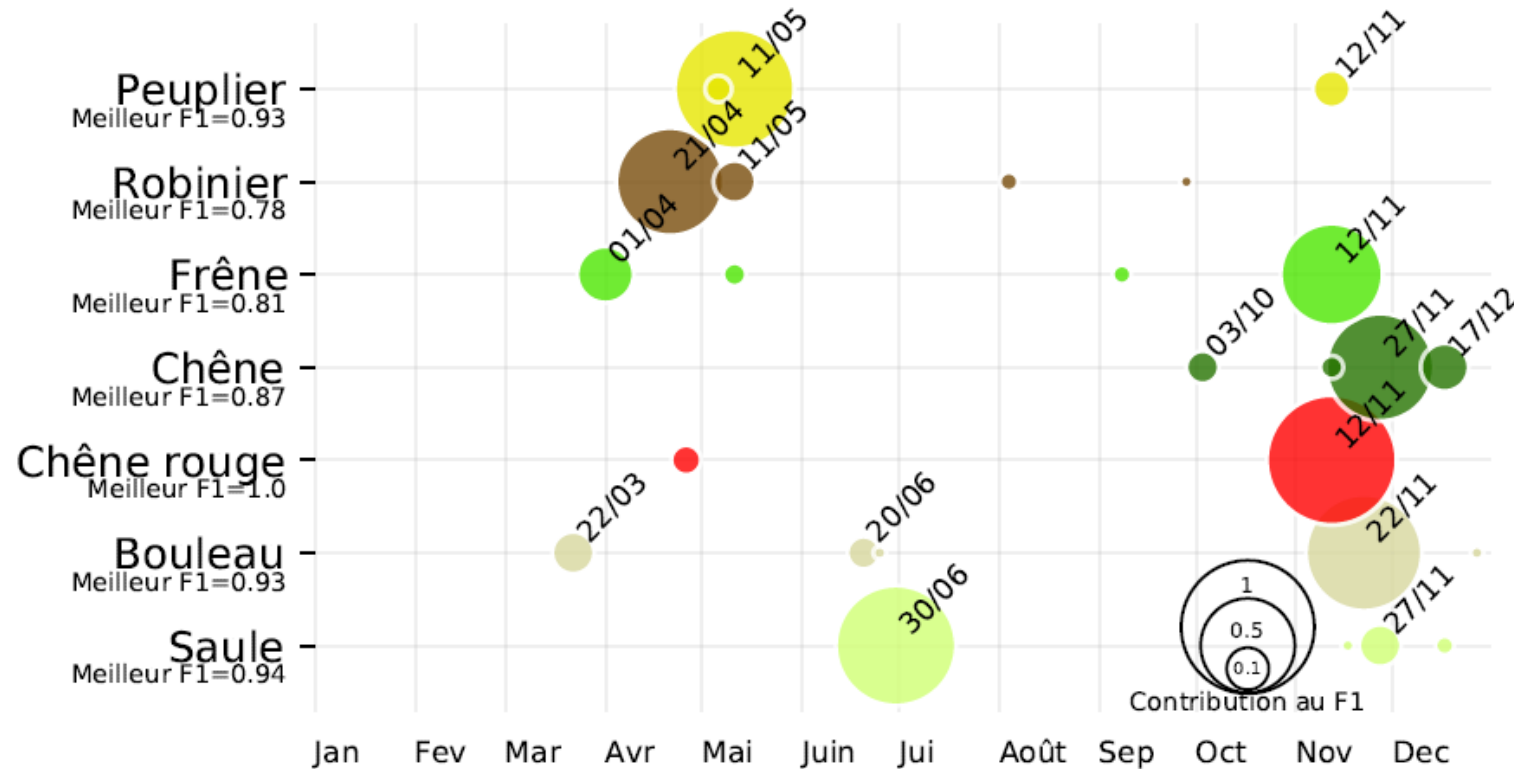
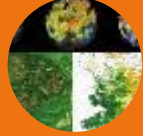


FIGURE 4.11 – Liste des 5 meilleures dates de la série temporelle Sentinel-2 de 2018 pour classer séparément chaque essence de feuillus.



Autres résultats obtenus avec Sentinel-2

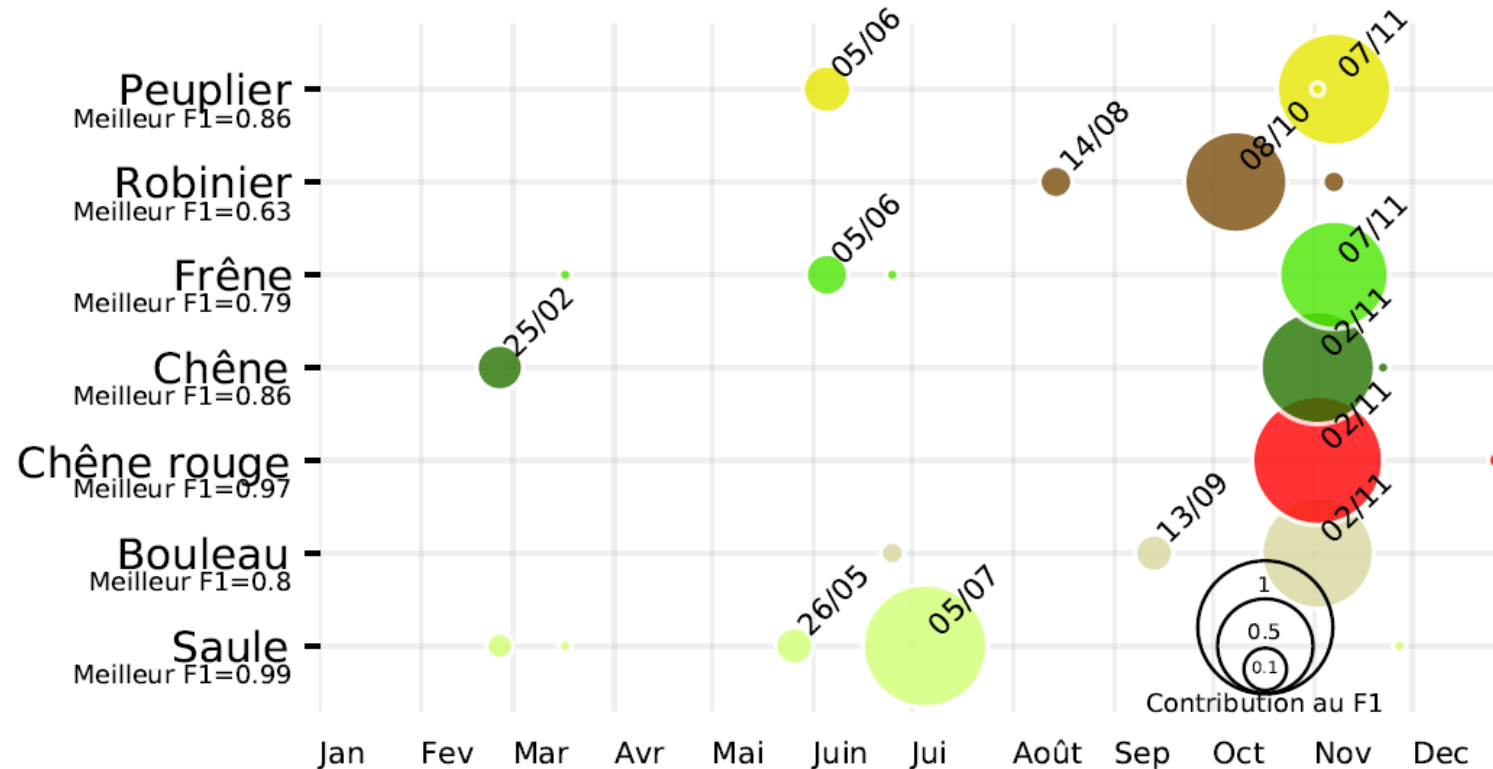
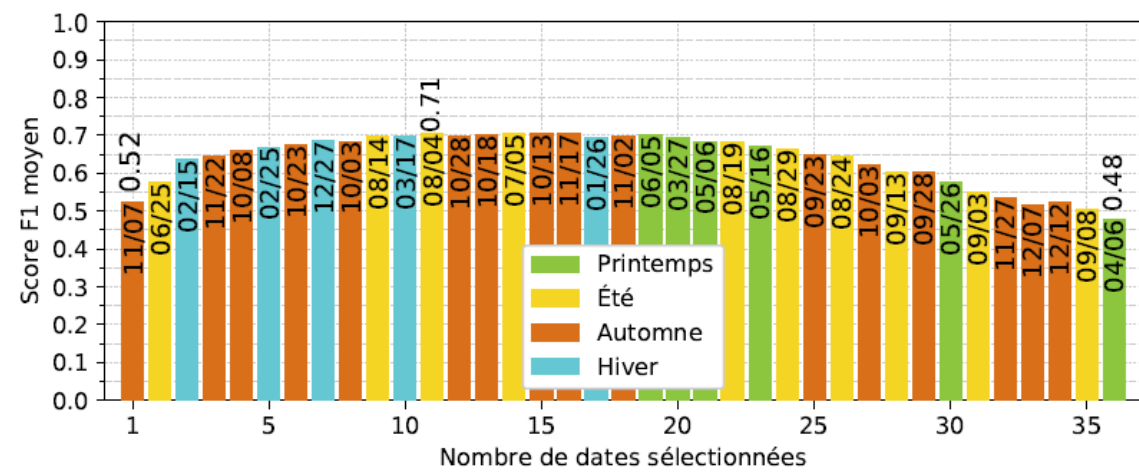
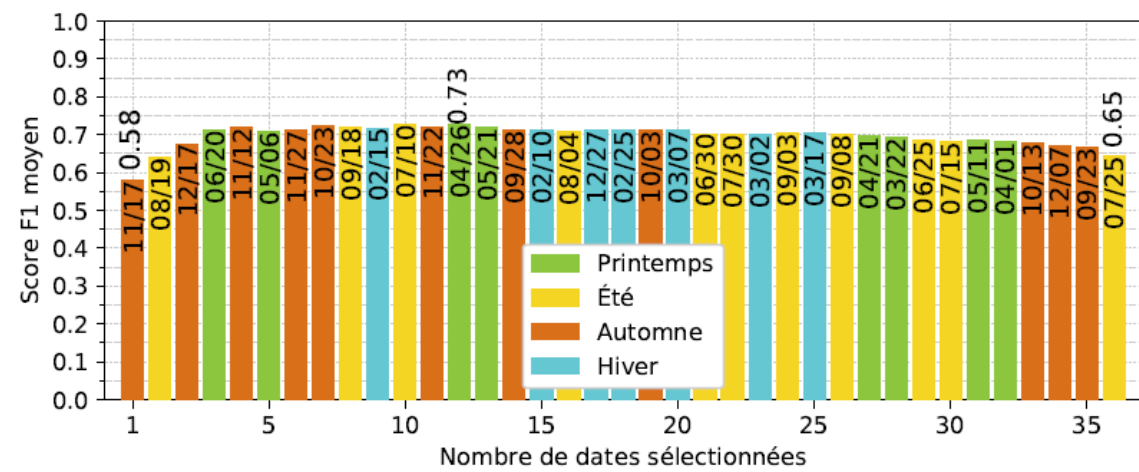


FIGURE 4.12 – Liste des cinq meilleures dates de la série temporelle Sentinel-2 de 2017 pour classer séparément chaque essence de feuillus.

Autres résultats obtenus avec Sentinel-2



(a) 2017



(b) 2018

Autres résultats obtenus avec Formosat-2

Effet autocorrélation spatiale entre jeux train/valid

	2006	2006bis	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Classification accuracy (average Overall Accuracy ± standard deviation)										
SLOO-CV	0.52 ±0.13	0.57 ±0.15	0.48 ±0.12	0.57 ±0.10	0.55 ±0.11	0.56 ±0.12	0.55 ±0.11	0.58 ±0.14	0.60 ±0.11	0.58 ±0.11
LOO-CV	1.00 ±0.02	0.99 ±0.03	0.99 ±0.02	0.98 ±0.04	0.99 ±0.03	0.98 ±0.03	0.97 ±0.04	0.98 ±0.04	0.99 ±0.02	1.00 ±0.02
Characteristics of each SITS										
Number of images	43	20	15	11	16	14	12	13	17	15
Images in spring	13	4	2	1	2	3	4	3	3	5
Images in autumn	10	6	4	4	3	4	4	2	4	4
Cloud coverage	25%	0%	12%	5%	4%	3%	2%	0%	1%	0%