

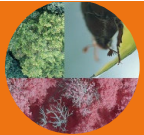
Télédétection des problèmes sylvo-sanitaires - Un exemple feuillu Les dépérissements du châtaignier

Thierry Bélouard, DSF

Véronique Chéret, EI Purpan-UMR DYNAFOR

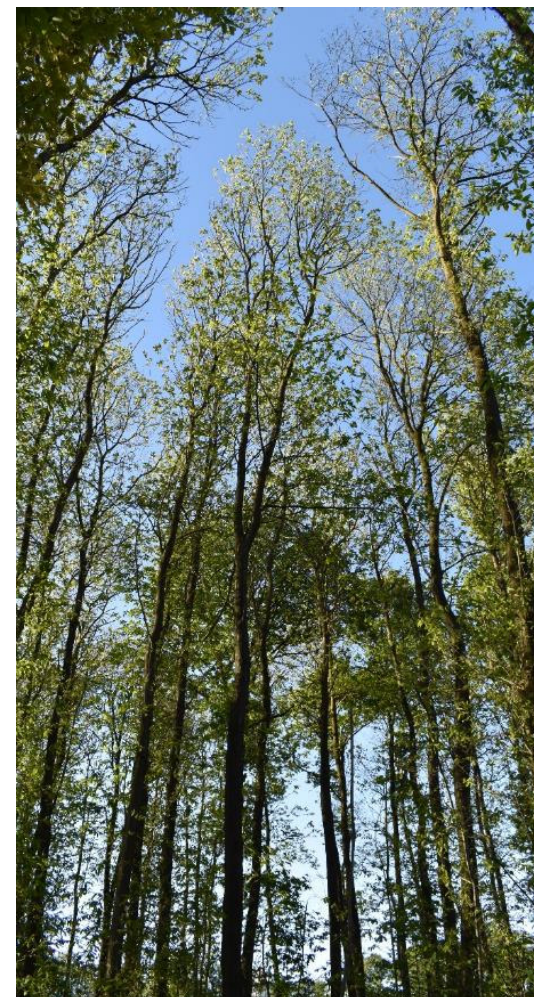
Michel Chartier, CNPF

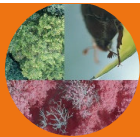




Plan

- Contexte
- Cadre
- Sites et données de référence
- Impact des dépérissements sur le signal
- Méthodologies
- Résultats
- Conclusion





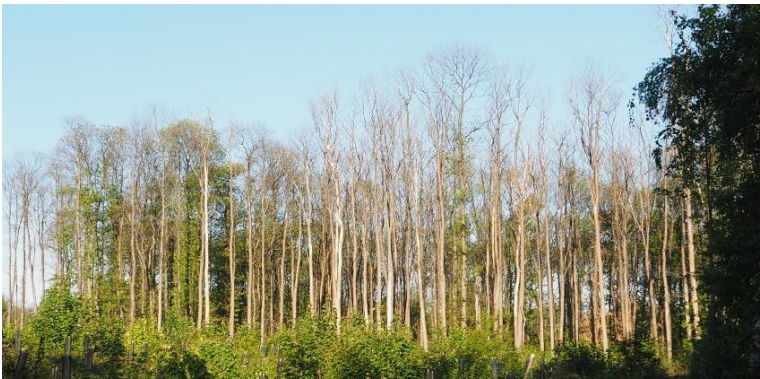
Contexte : une essence avec d'importants problèmes sanitaires

Un cortège de bioagresseurs ravageur

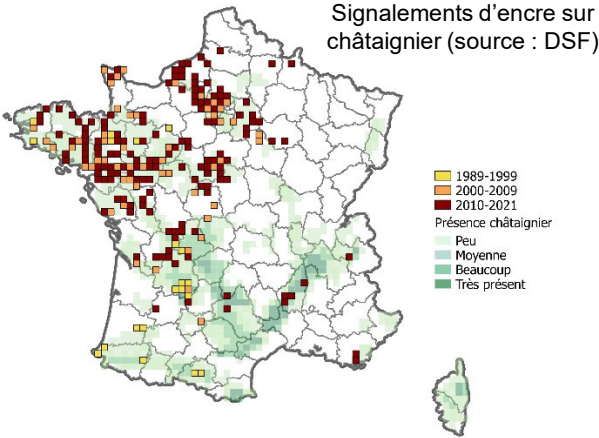
- Chancre du châtaignier (*Cryphonectria parasitica*)
- Encre du châtaignier (*Phytophthora cinnamomi* et *P. cambivora*)
- Cynips (*Dryocosmus kuriphilus*)

Mortalité et dégâts à travers tout le pays

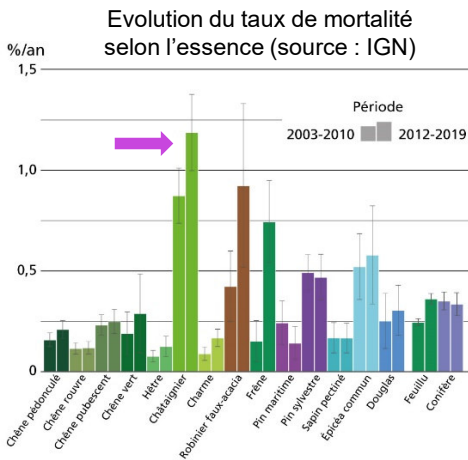
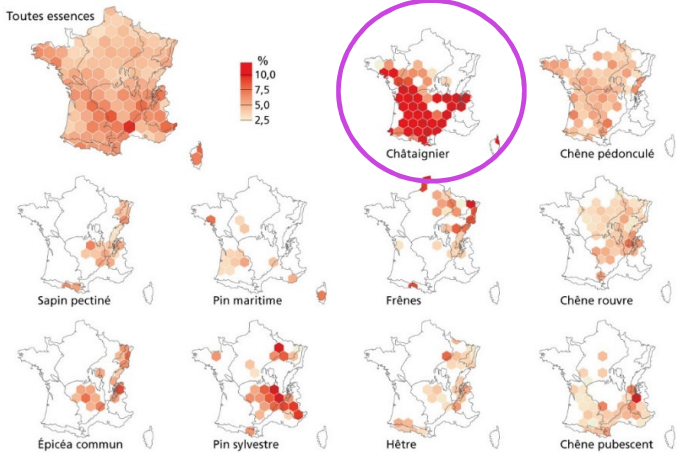
- Particulièrement et historiquement dans le Sud-Ouest : Périgord, Limousin, Charente
- Aujourd'hui dans la quasi-totalité de l'aire de distribution du châtaignier : Sud-Est, Nord-Ouest, région parisienne

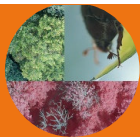


Mortalité due à la maladie de l'encre, forêt de Montmorency (95)



Taux d'arbres morts sur pied par essence pour la période 2015-2019 (source : IGN)





Cadre : 3 récents projets de recherche

Nouvelle-Aquitaine : projets CastelDiag et SPNA

Projet CastelDiag

- Partenaires : CNPF, DSF, El Purpan-UMR Dynafor, IGN
- Période : 2016-2018
- Financement : RMT Aforce

SPNA – Sylviculture de précision en Nouvelle-Aquitaine

- 2 essences : pin maritime et châtaignier
- Action télédétection pour le châtaignier
- Partenaires : CNPF, DSF, El Purpan-UMR Dynafor, IGN
- Période : 2019-2022
- Financement : PEI-AGRI

Région parisienne : projet TEMPOSS

Modélisation de la trajectoire TEMPOrelle d'observations Sentinel 1 & 2 pour le suivi de la Santé des forêts

- Partenaires : INRAE BIOGECO, DSF, IMS Bordeaux
- Période : 2018-2022
- Financement : Cnes (TOSCA)

Objectifs en partie communs

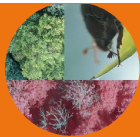
Evaluer et suivre l'état sanitaire des châtaigneraies à l'aide de la télédétection

Méthode cartographique valorisant les images Sentinel-2



Dépérissements importants dans la forêt de La Grange (94).
BD Ortho IRC® (IGN)





Données de référence : similitudes des protocoles

Observations sur le terrain

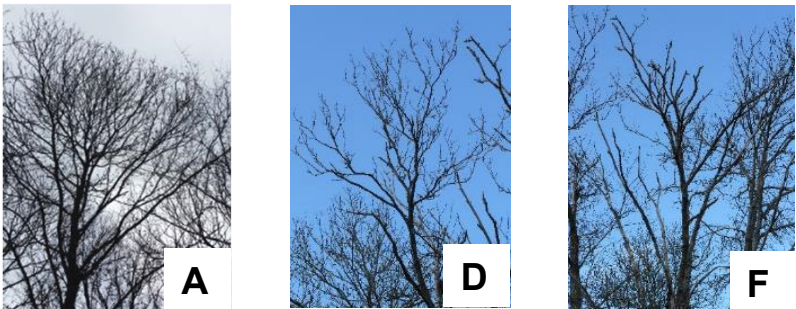
Installation de placettes avec observation des arbres
Etat sanitaire : mortalité de branches et manque de ramification fine (protocole DEPERIS)

Homogénéité des placettes

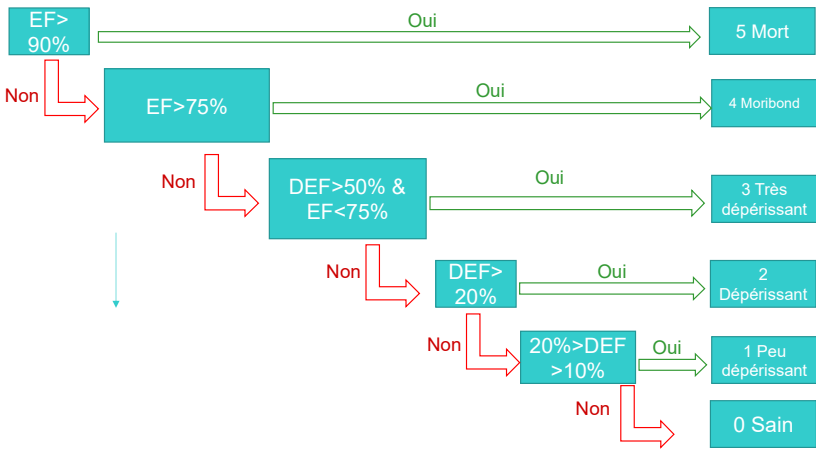
Etats sanitaire, composition, développement
Nécessaire : une placette recouvre plusieurs pixels

Géolocalisation

Faire le lien entre les observations de terrain et les images
Précision variable du fait de matériels divers

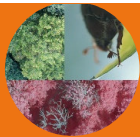


De l'état de l'arbre à celui de la placette :
règle de décision (finale)



		Manque de Ramification (feuillus)					
		Manque d'Aiguilles (résineux sauf mélèze)					
Mortalités de Branches	0	A	B	C	D	E	F
	1	B	B	C	D	E	F
	2	C	C	D	D	E	F
	3	D	D	D	E	F	F
	4	E	E	E	F	F	F
	5	F	F	F	F	F	F

- Un arbre (très) dépérissant = D, E, F
- Un peuplement (très) dépérissant = plus de 20% (50%) d'arbres dépérissants



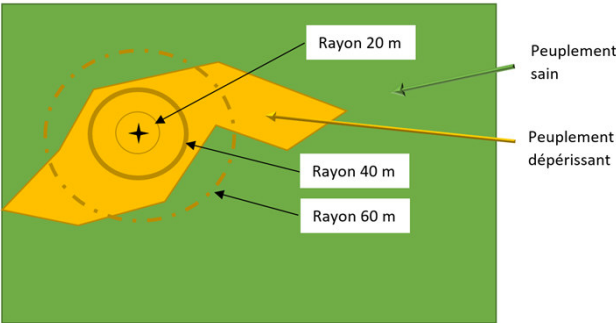
Données de référence : un effort substantiel des gestionnaires forestiers en région parisienne

Opération ONF, CNPF et DSF
Région Île-de-France et
département de l'Oise
Éléments spécifiques du protocole

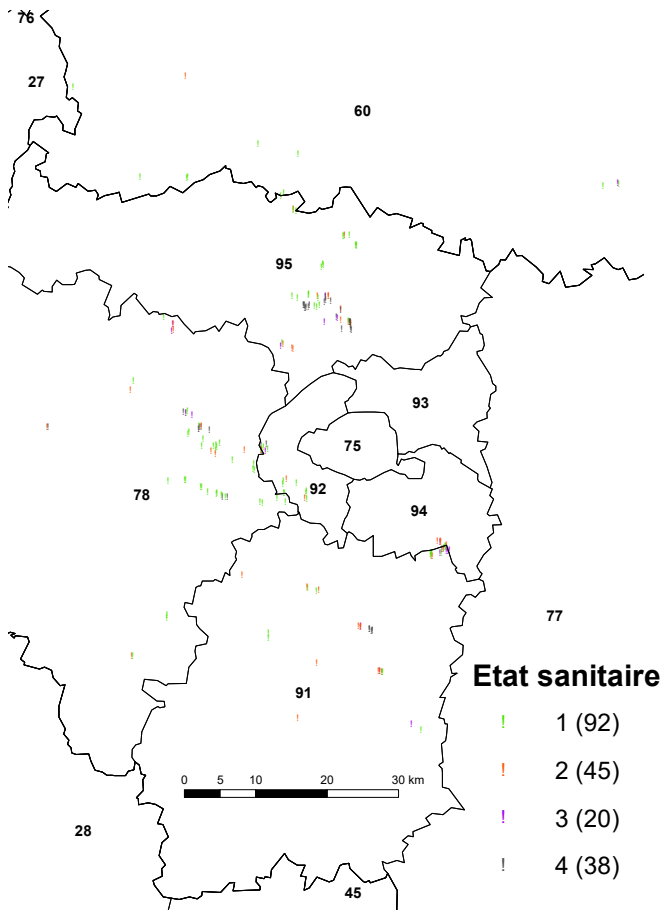
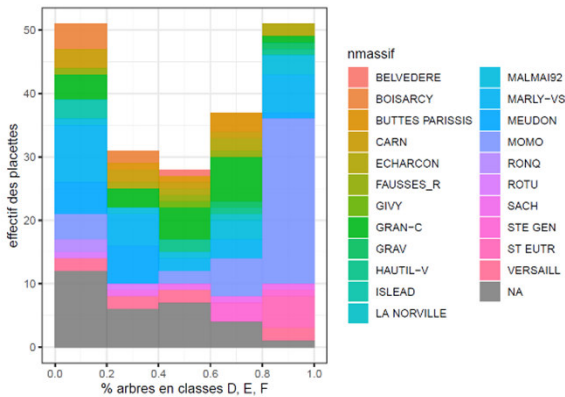
Placette de 20 arbres dominants
Rayon de représentativité au-delà de la
placette des 20 arbres
Quelques données complémentaires
(exemple : recouvrement de la végétation)

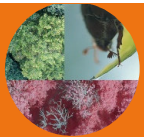
Echantillons

2020 : 198 placettes + coupes
2022 : 188 placettes + coupes



Echantillon 2020





Données de référence : un protocole (plus) rigoureux en Nouvelle-Aquitaine

Critères de localisation de peuplements de châtaigniers

Surface minimale de 0,5 ha permettant de contenir un carré de 1 600 m²

1^{ère} notation à dire d'expert

Délimitation et contrôle de la composition en essence et de l'homogénéité sur photos aériennes

Installation des placettes

Au sein des parcelles sélectionnées

Emprise de 4 pixels Sentinel-2 de 20 m soit 1600 m² (carrés de 40 m de côté)

Observations

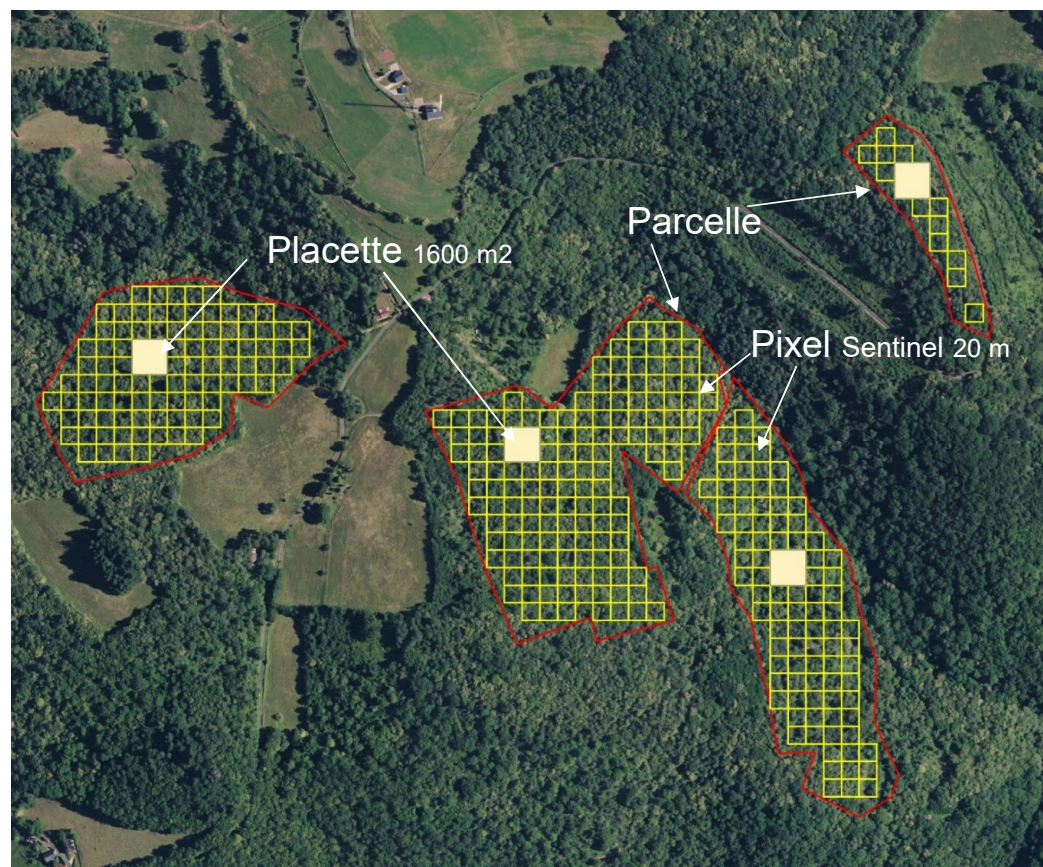
72 tiges réparties régulièrement sur la placette selon une grille carrée de 6 m de côté

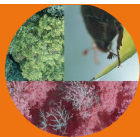
Protocole DEPERIS

Été 2020 : 89 placettes

Été 2021 : 150 placettes

Opération CNPF (appui DSF)





Impact des dépérissements sur le signal Sélection des variables (projet SPNA)

Variables candidates

10 bandes spectrales

30 indices de végétation par combinaison de bandes spectrales

5 variables biophysiques : LAI, FCover, FAPAR, CW, CAB

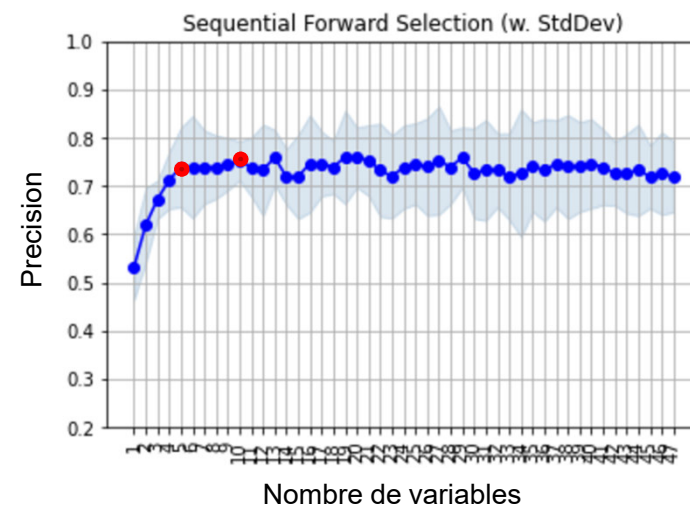
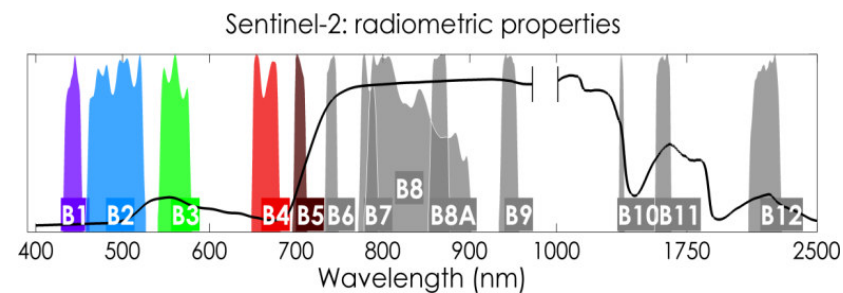
Approche statistique

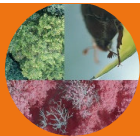
Sequential features selection

- Basé sur un classifieur 'random forest' avec 30 répétitions
- Critères : global accuracy et F-score

Résultats

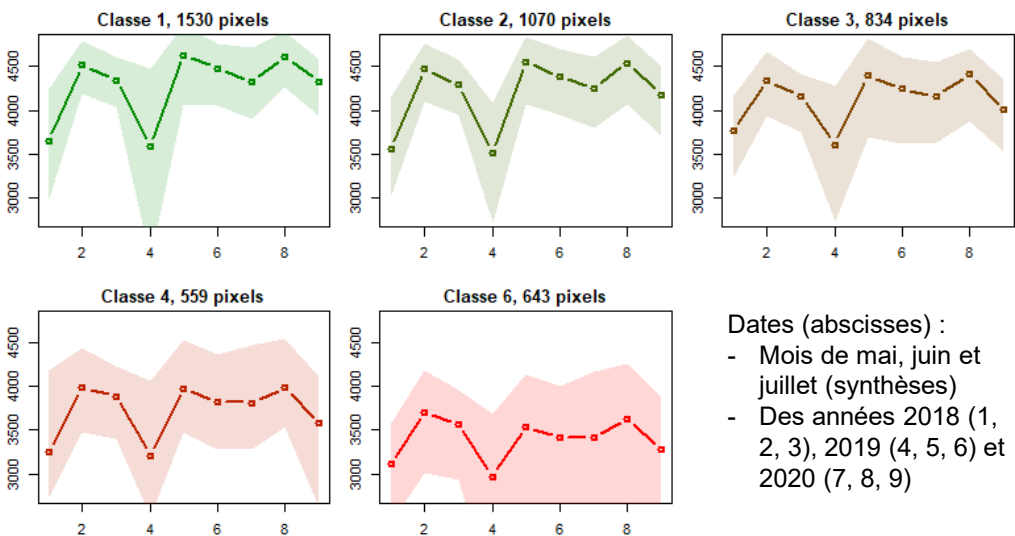
- Début du plateau avec 6 variables et maximum avec 10
- 10 variables retenues
 - Bandes spectrales 'red edge' (B5, B6, B7), proche (B8a) et moyen infrarouge B11, B12
 - Indices de végétation : PSRI, EVI, GRVI, NDWI2 (combinaisons des couleurs naturelles, red edge et PIR)
- NB : l'indice NDVI ne ressort jamais





Impact des dépérissements sur le signal Indices de végétation (résultat CastelDiag et TEMPOSS)

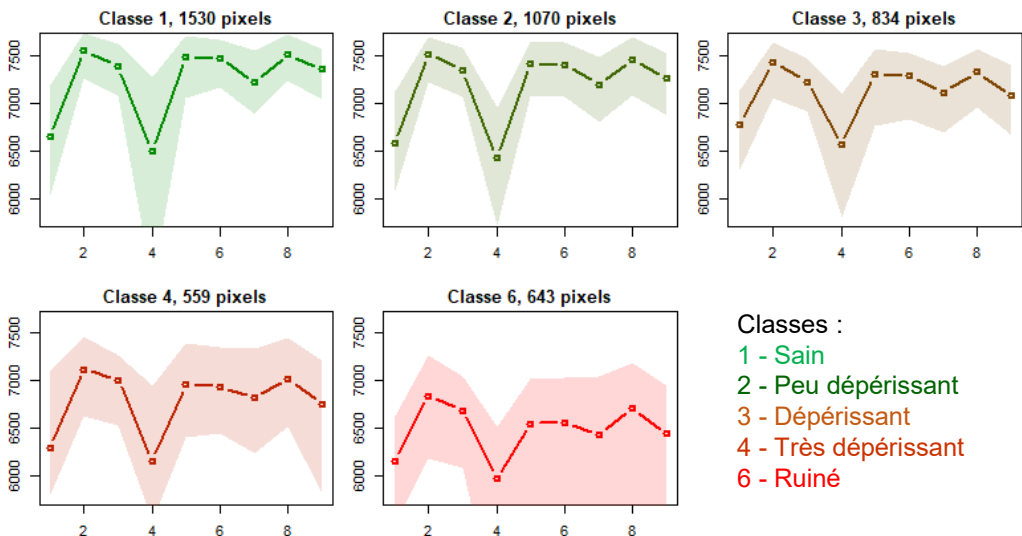
Dynamique temporelle de la donnée NDII selon la classe



Dates (abscisses) :
- Mois de mai, juin et juillet (synthèses)
- Des années 2018 (1, 2, 3), 2019 (4, 5, 6) et 2020 (7, 8, 9)

$$NDII = \frac{PIR - MIR1}{PIR + MIR1}$$

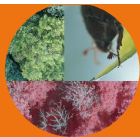
Dynamique temporelle de la donnée NBR selon la classe



Classes :
1 - Sain
2 - Peu dépérissant
3 - Dépérissant
4 - Très dépérissant
6 - Ruiné

$$NBR = \frac{PIR - MIR2}{PIR + MIR2}$$

Les indices NDII et NBR diminuent nettement dans les **peuplements très dépérissants et ruinés**
Leur diminution est beaucoup plus faible pour les **peuplements dépérissants**



Méthode de classification TEMPOSS

Classification supervisée d'images Sentinel-2

Apprentissage et validation

- Observations de terrain + photo-interprétation (coupes)
- Note SPNA après regroupement (confusion)

Prédicteurs

- Images de début de saison (mai, juin et juillet)
- Année des observations terrain + 2 années précédentes
- 10 bandes spectrales. NB : test avec indices de végétation pertinents selon CastelDiag

Classifieurs de type machine learning (IA)

- Comparaison Random Forest, SVM, KNN
- Choix Random Forest

Masque châtaignier

Sources disponibles non exhaustives : BD Forêt® (IGN), types de peuplement ONF

Absence d'information sur les mélanges, les petits peuplements en forêt privée

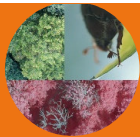
→ Classification supervisée

- Situation avant crise : année 2018
- Données de référence : BD Forêt®, cartes ONF, photo-interprétation
- Prédicteurs : images Sentinel-2 2018
- Résultat
 - bonne distinction résineux/feuillu
 - Le châtaignier est le feuillu qui se distingue le mieux mais confusion importante cependant

Outils (libres)

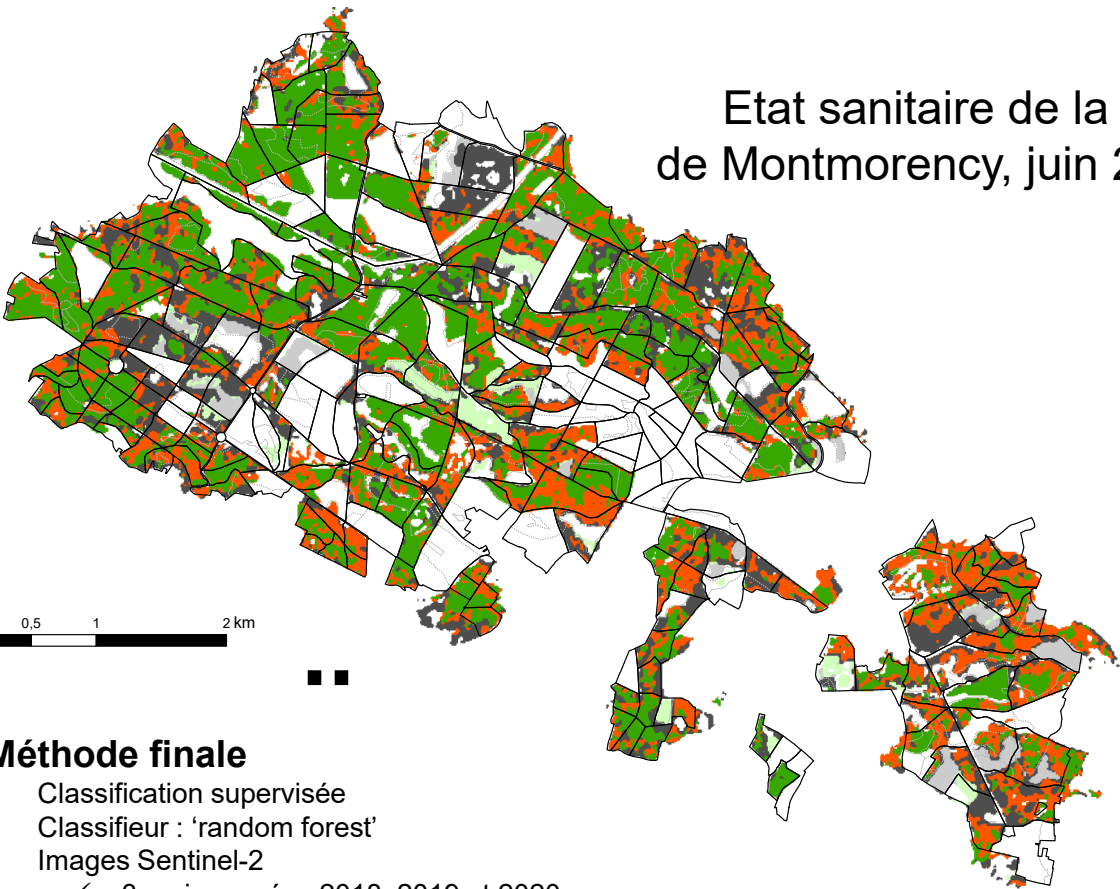
Orfeo ToolBox
Iota2





Résultats TEMPOSS

Etat sanitaire de la forêt
de Montmorency, juin 2020

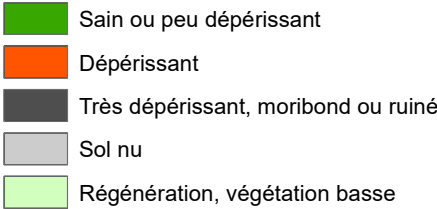
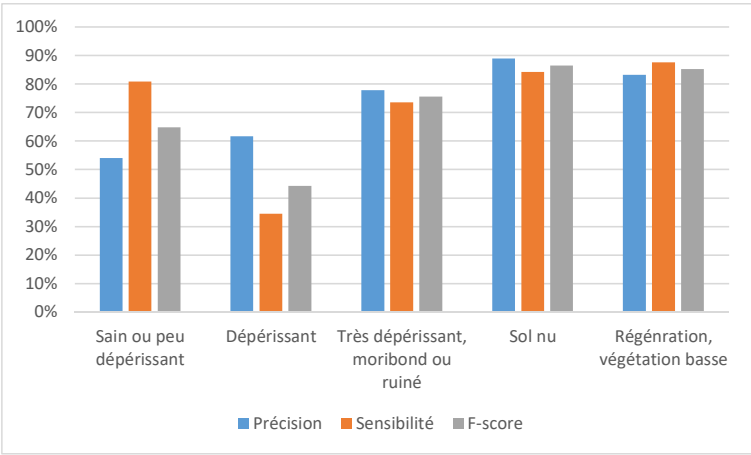


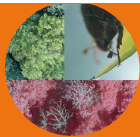
Méthode finale

- Classification supervisée
- Classifieur : 'random forest'
- Images Sentinel-2
 - ✓ 3 mois, années 2018, 2019 et 2020
 - ✓ 10 bandes spectrales
- Masque amélioré : ONF + cartographie des feuillus

Précision

- Précision globale : 72%
- Indice Kappa : 0,65





Méthodologie SPNA

1 - Modélisation



Sentinel-2 : 2020

- 6 dates
- 4 tuiles

Classification: carte châtaignier et feuillus

Variables (1 date : juillet 2020)

- 10 bandes spectrales: Vis, Red-Edge, NIR, SWIR
- 30 indices de végétation
- 5 paramètres biophysiques

Sélection des variables (nombre optimal et pertinence)

- SFS (**Sequential features selection** -modèle Random Forest)
- Critères de qualité

Modèles de régression polytomique

- Combinaisons multivariables
- Sélection des modèles



Analyse de qualité

- Analyse spatiale
- Critères de qualité

Cartes de classe et probabilité de dépérissement 2020

Validation

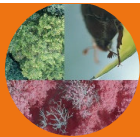


Sentinel-2 : 2021

- 2 dates
- 4 tuiles

Cartes de dépérissement 2021

2 - Validation



Méthodologie SPNA – Combinaison des meilleurs modèles

1

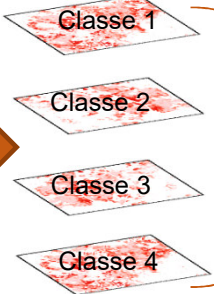
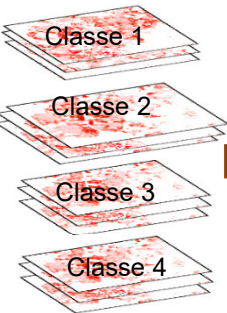
cartes de probabilité d'appartenance spécifique à chaque classe

Pour chaque classe, le plan de probabilité est la moyenne des 9 plans de probabilité. On affecte à chaque pixel la classe qui correspond à la probabilité maximale.

9 cartes de probabilités d'appartenance pour chaque classe

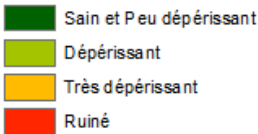
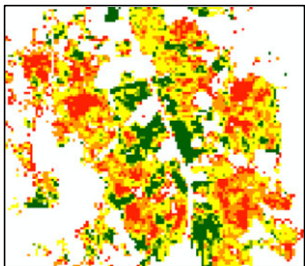
1 carte de probabilité moyenne pour chaque classe

1 carte issue du modèle de probabilité (valeur maximale)



Moy.

Max.



9 modèles

Critères qualité	Combinaisons
AIC	B5 B6 B7 B12 EVI PSRI
	B6 B5 B12 EVI PSRI
	B5 B6 B7 B11 B12 NDWI2 PSRI
MC	B5 B6 B8a B12 EVI NDWI2
	B5 B6 B8a B11 B12 EVI NDWI2
MCCv	B5 B6 B8a B12 PSRI
	B5 B6 B8a B11 B12 PSRI
Chi2	B6 B12 NDWI2
	B6 B11 NDWI2

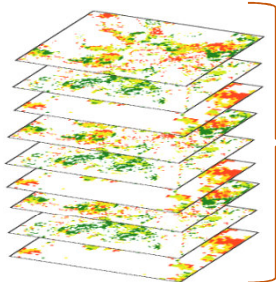
2

cartes de prédiction des classes

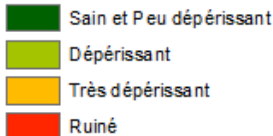
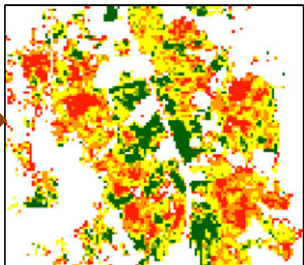
On affecte à chaque pixel la classe la plus fréquente des 9 modèles proposés

9 cartes de prédiction

1 carte issue du modèle de prédiction (valeur majoritaire)

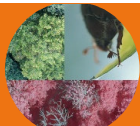


Majorit.



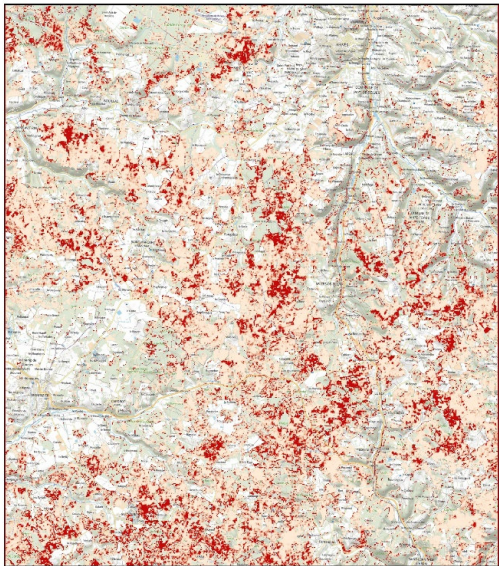
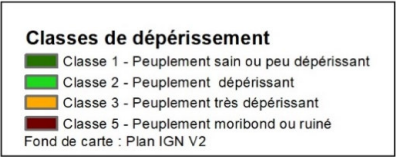
2 résultats cartographiques : valeurs de classes

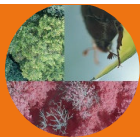
4 résultats cartographiques : valeurs de probabilité par classe



Résultats SPNA

	4 classes de dépérissement	
	Kappa index	Overall acc
Modèle Probabilité	0,61	0,73
Modèle Prédiction	0,62	0,74





Conclusion

Intérêts

Etat des lieux des dépérissements à une échelle spatiale relativement fine

Bonne détection des peuplements sains et ruinés

Spatialisation et donc valorisation des observations de terrain

Convergence des approches : la méthode SPNA a été testé de façon satisfaisante en région parisienne

Limites

Précision des résultats : difficulté de détecter les dépérissements précocement, imprécision de la détection des peuplements dépérissants

Difficulté de suivre les évolutions à partir de plusieurs cartographies successives (les erreurs se cumulent)

Classification supervisée : coût important des campagnes de terrain

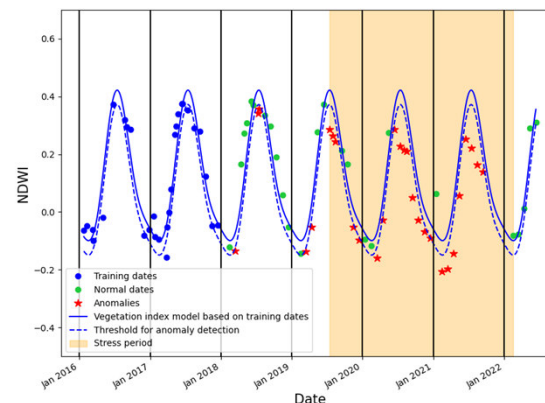
Perspectives

Méthode SPNA :

- Poursuite des tests sur d'autres régions
- Projet de développement d'une chaîne de traitement

Suivi dans le temps des évolutions : tester des approches basées sur des séries d'images type ForDead

Evolution de l'indice NDWI sur une placette moribonde en été 2022



Point de vue du gestionnaire : cf. présentation Claire Nowak et Virginie Le Mesle



Retrouvez toutes les présentations de l'atelier



TÉLÉDÉTECTION & SANTÉ DES FORÊTS

sur www.theia-land.fr/2022-sante-foret/

