

Utilisation de la télédétection pour suivi de la santé des forêts (Deux) exemples

Thierry Bélouard
Département santé des forêts
Inra Bordeaux
Thierry.Belouard@inra.fr

Journée santé des forêts
Cestas, 13 décembre 2019

Plan

- Cartographie des arbres morts et dépérissants dans le cadre du risque d’introduction du nématode du pin

- Cartographie des foyers de scolytes dans les pessières des régions Grand Est et Bourgogne-Franche-Comté

Cartographie des arbres morts et dépérissants dans le cadre du risque d'introduction du nématode du pin



Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE ET DE L'ALIMENTATION

correspondant observateur
département de la santé des forêts

IGN
INSTITUT NATIONAL DE L'INFORMATION GÉOGRAPHIQUE ET FORESTIÈRE

Introduction : contexte et objectifs

- Contexte
  - Risque d'introduction du nématode du pin (*Bursaphelenchus xylophilus*) en France
  - Plan de surveillance et plan d'urgence en cas d'introduction (DGAL)
  - Nécessité d'un suivi des arbres infestés

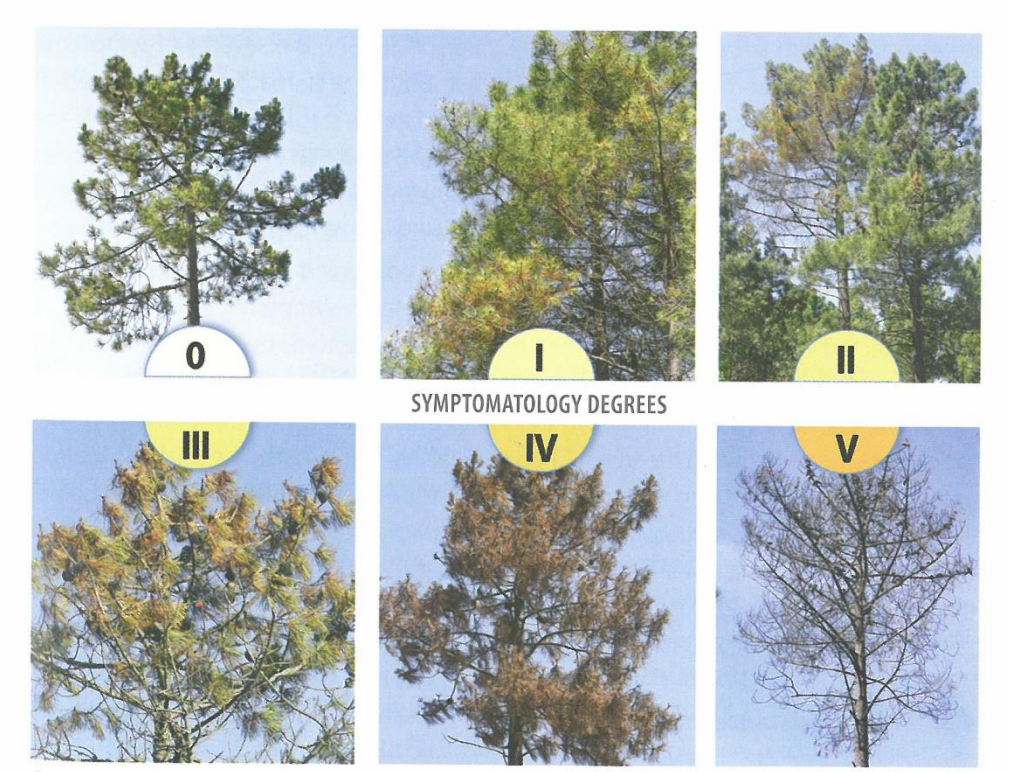


FIGURE II.3. Degrees of symptomatology that can be associated with the pine wilt disease, according to Proença *et al.*, 2010.

- Cahier des charges pour un cartographie des arbres morts et dépérissants à l'aide de la télédétection
  - Echelle de l'arbre → images THR (submétrique)
  - Photo-interprétation (≠ méthode automatique)
- Prestataire : IGN
- Zones test
  - Massif des Landes de Gascogne : forêt domaniale de Campet avec mortalités due au fomes
  - Situation sylvicole plus complexe (mélange d'essences, relief) : massif du Mont Ventoux (*Diplodia sapinea*)



Cahier des charges

Types d'arbre recherchés

Code	Libellé	Définition et remarques
M	Mort et défolié	Arbre sans feuilles (aiguilles), debout ou au sol.
D	Arbre mort et feuillé ou arbre dépérissant	Coloration anormale (feuillage rouge, jaune, brun ou gris normalement), massive (au moins 75%) et homogène du feuillage. Ce dépérissement peut avoir de multiples causes (biotique, abiotique, chablis).
C	Chablis	Arbre renversé (par le vent par exemple) et à terre (le houppier est en contact avec le sol). Les arbres penchés ne seront pas cartographiés sauf s'ils sont morts (code M ou D) ou dépérissants (code D).
V	Volis	Arbre cassé au niveau de la tige et dont la tige et le houppier sont donc désolidarisés. Sont exclus les arbres dont certaines branches sont cassées mêmes s'il s'agit de grosses branches à condition que l'arbre possède toujours des branches vivantes.
I	Arbre incendié	Arbres au sein des zones parcourues par un incendie de petite surface c'est-à-dire d'un incendie d'une surface inférieure à 500 m².

Arbres morts et défoliés (M)



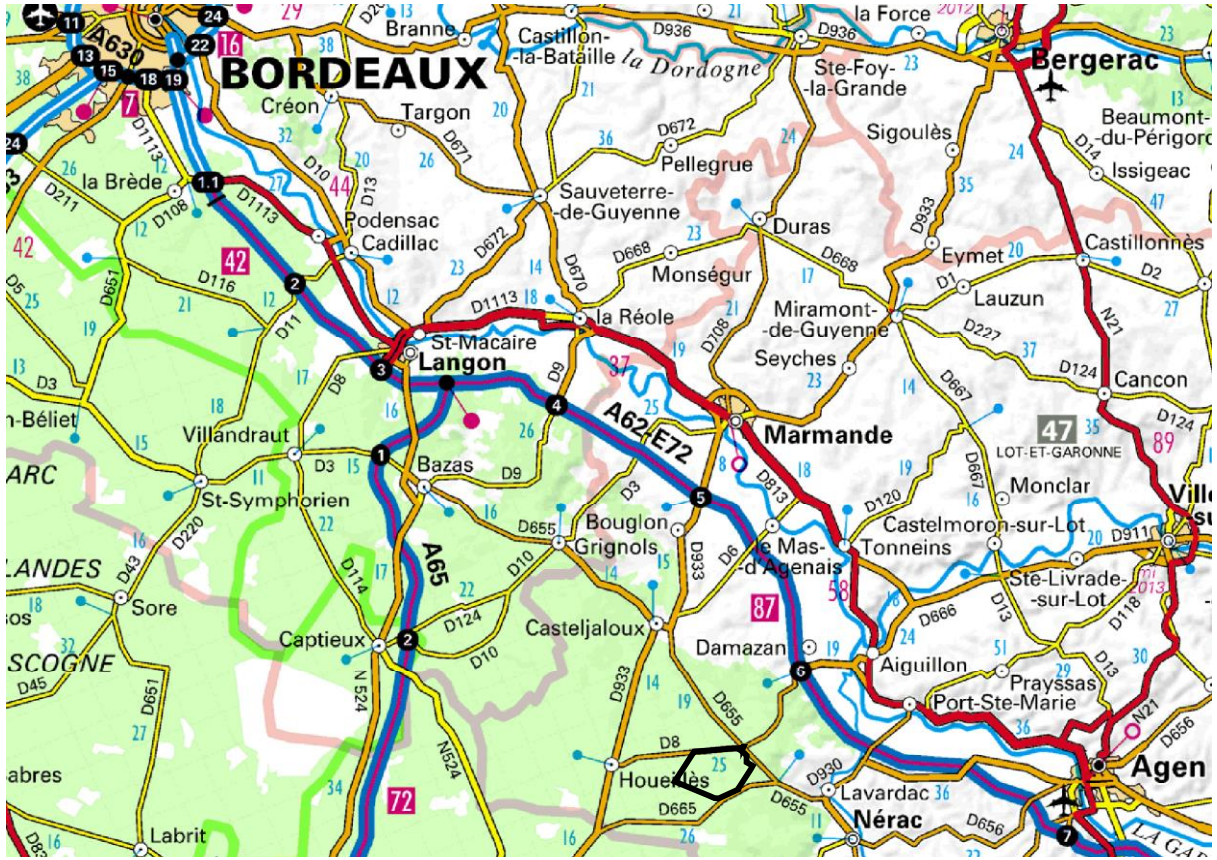


Arbres dépérissants (D)





Zone d’étude 1 : Forêt de Campet (47), Massif Landais

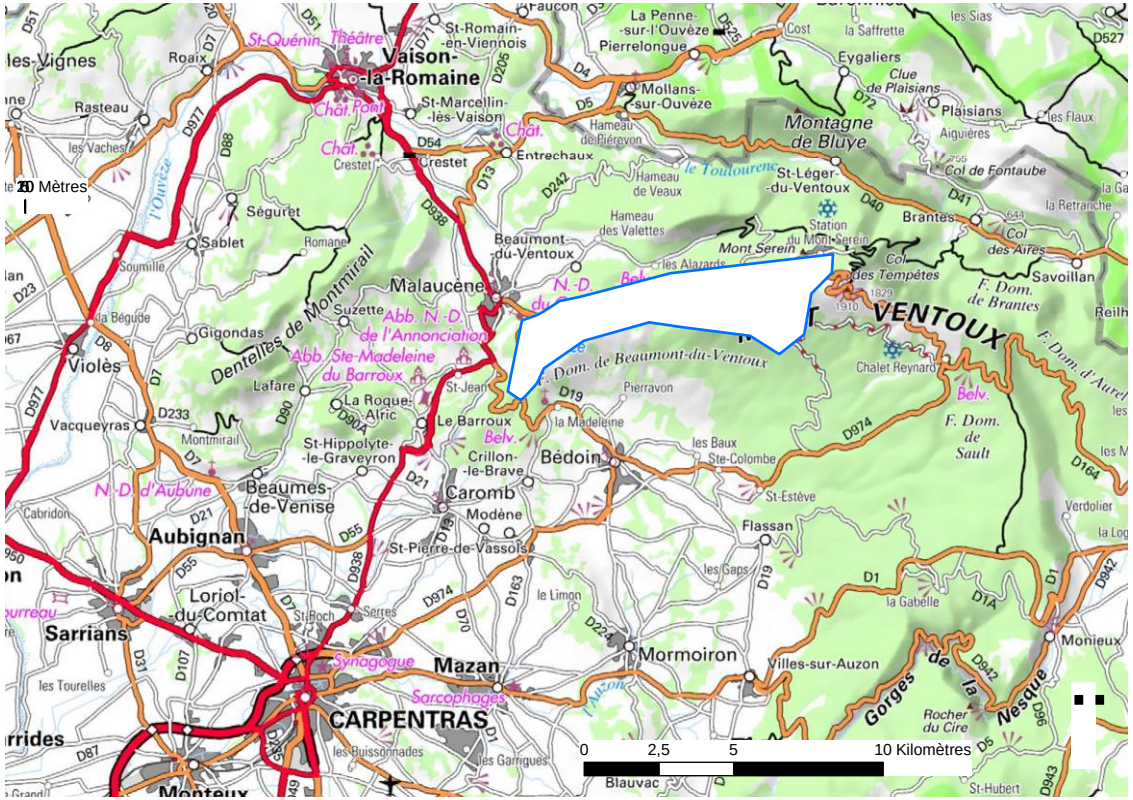


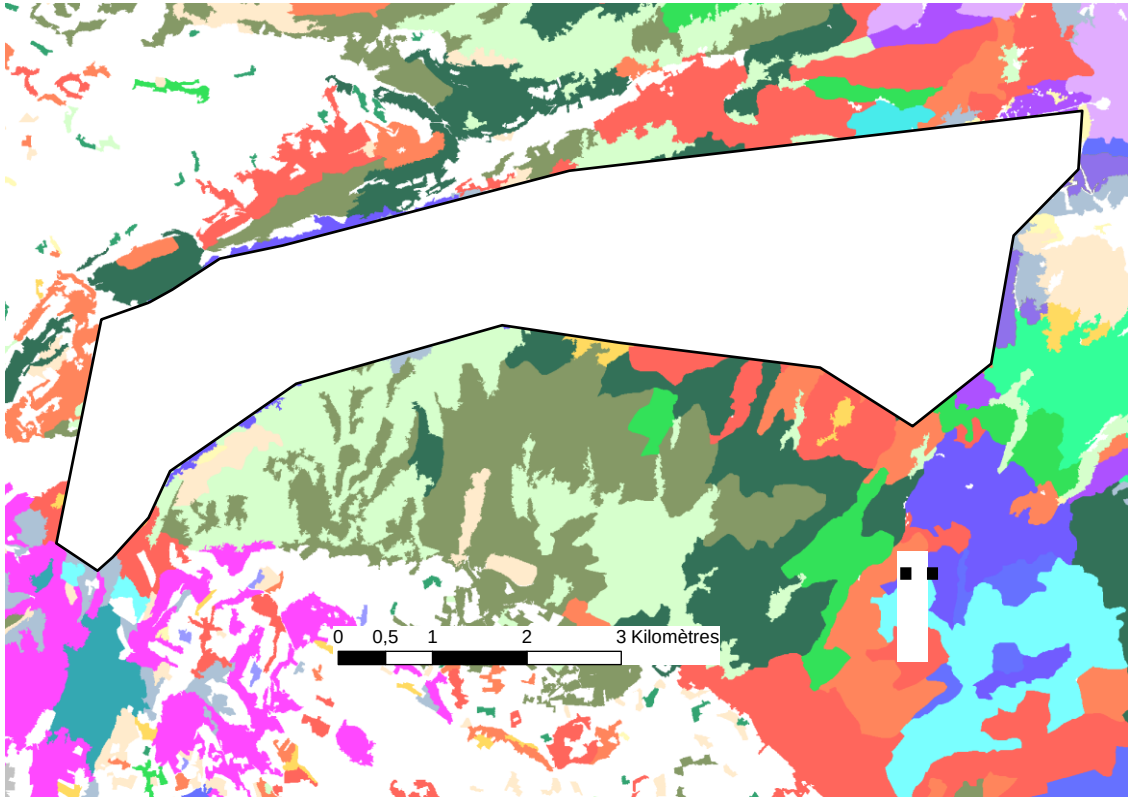


BD Forêt 2 IGN

- Forêt fermée sans couvert arboré
- Forêt fermée de feuillus purs en îlots
- Forêt fermée à mélange de feuillus
- Forêt fermée de robinier pur
- Forêt fermée d’un autre feuillu pur
- Forêt fermée de chênes décidus purs
- Forêt fermée à mélange de conifères
- Forêt fermée de pin maritime pur
- Forêt fermée d’un autre pin pur
- Forêt fermée de pin laricio ou pin noir pur
- Forêt fermée à mélange de feuillus prépondérants et conifères
- Forêt fermée à mélange de conifères prépondérants et feuillus
- Forêt ouverte de feuillus purs
- Forêt ouverte de conifères purs
- Forêt ouverte à mélange de feuillus et conifères
- Peupleraie
- Lande

Zone d’étude 2 : Forêt du Mont Ventoux (84), Sud-Est





Légende

- Zone test du Mont Ventoux

Formation végétale

BD Forêt IGN

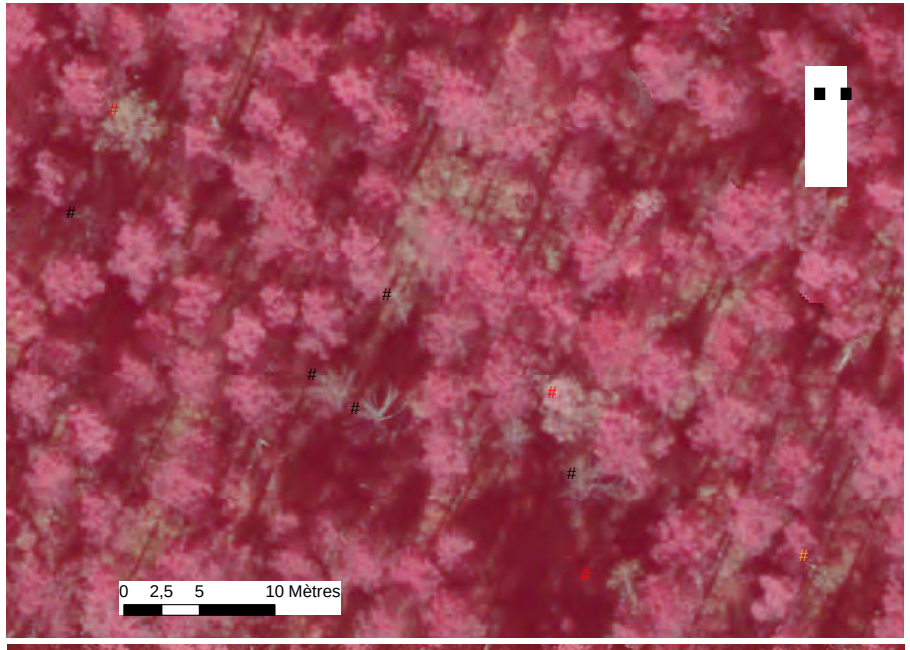
- Forêt fermée de feuillus purs en îlots
- Forêt fermée à mélange de feuillus
- Forêt fermée de hêtre pur
- Forêt fermée de chênes décidus purs
- Forêt fermée de chênes sempervirents purs
- Forêt fermée de conifères purs en îlots
- Forêt fermée à mélange de conifères
- Forêt fermée de pin sylvestre pur
- Forêt fermée de pin d’Alep pur
- Forêt fermée à mélange de pins purs
- Forêt fermée à mélange d’autres conifères
- Forêt fermée d’un autre conifère pur autre que pin
- Forêt fermée de pin laricio ou pin noir pur
- Forêt fermée de pin à crochets ou pin cembro pur
- Forêt fermée de sapin ou épicéa
- Forêt fermée à mélange de feuillus prépondérants et conifères
- Forêt fermée à mélange de conifères prépondérants et feuillus
- Forêt ouverte sans couvert arboré
- Forêt ouverte de feuillus purs
- Forêt ouverte de conifères purs
- Forêt ouverte à mélange de feuillus et conifères
- Lande
- Formation herbacée

Images aériennes très haute résolution

Couleurs naturelles 10 cm



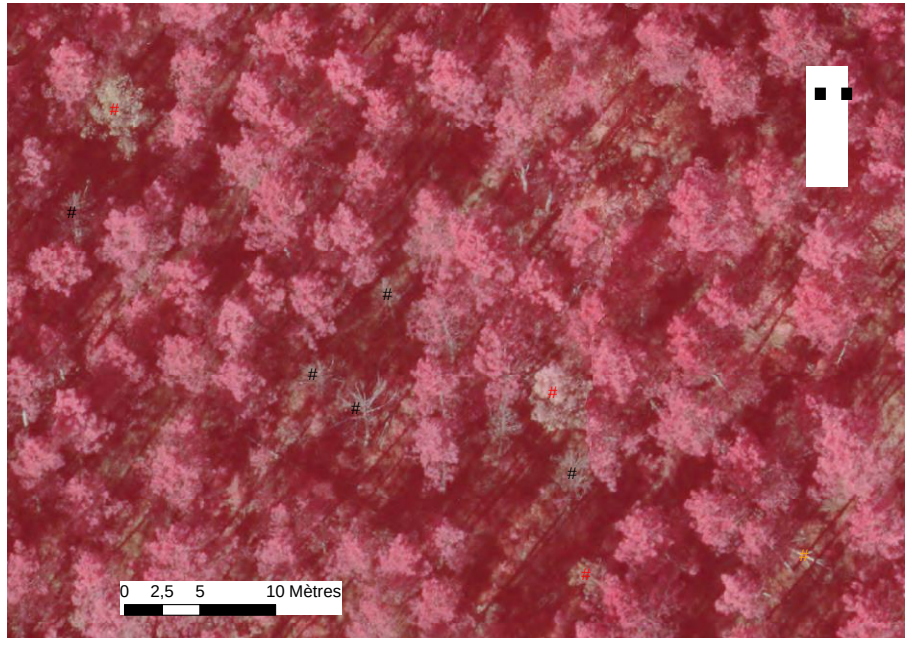
IRC 10 cm



Couleurs naturelles 5 cm



IRC 5 cm

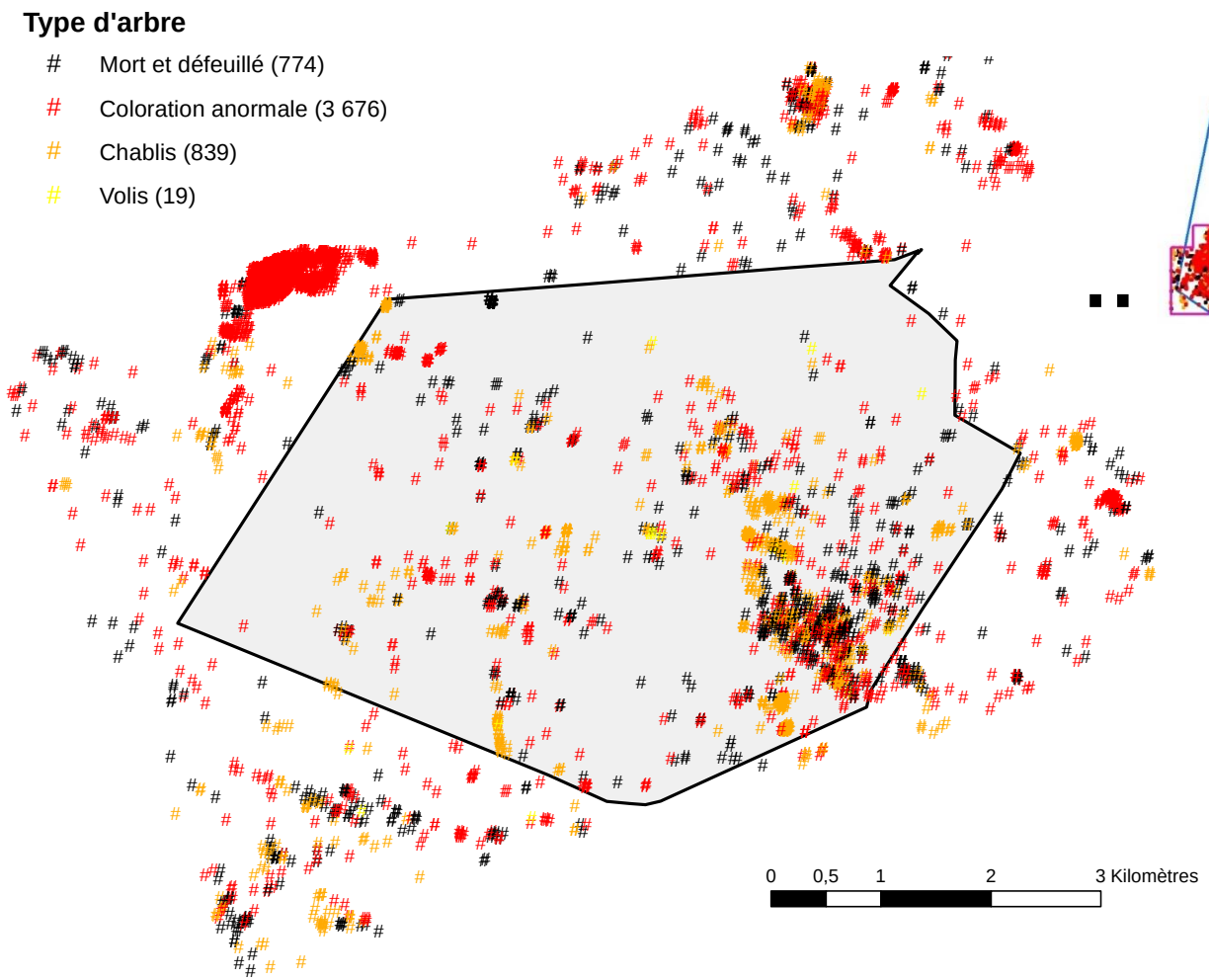


Type d'arbre

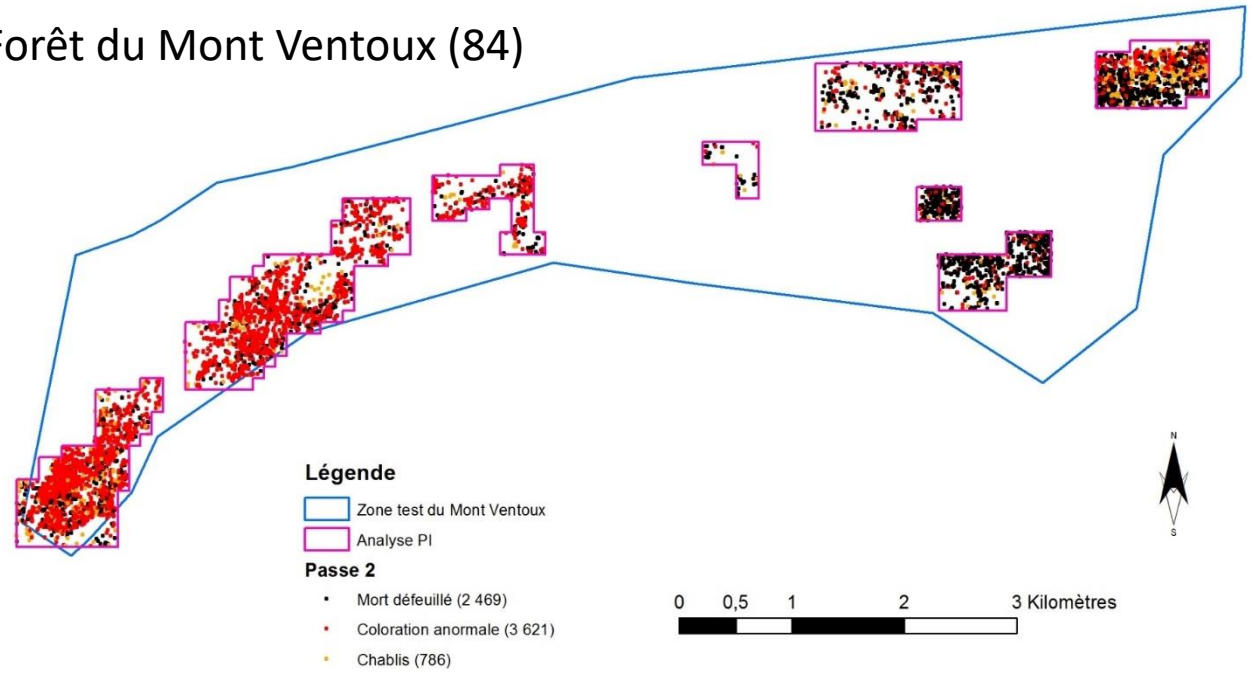
- # Mort et défeuillé (5)
- # Coloration anormale (3)
- # Chablis (1)

Résultats

Forêt de Campet (47)



Forêt du Mont Ventoux (84)

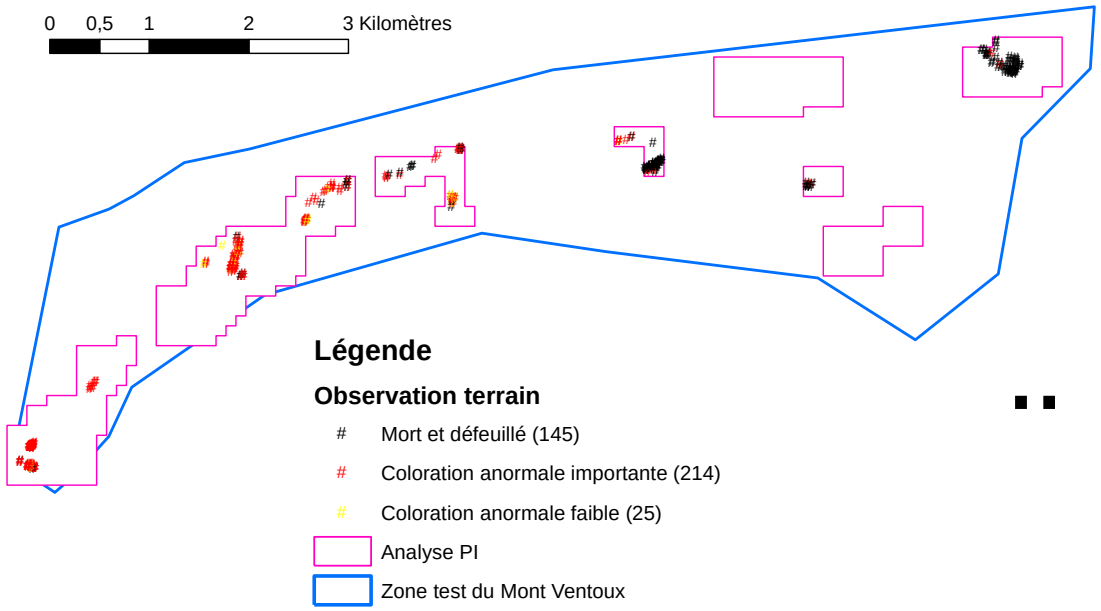


Niveau d'analyse	Coloration anormale	Arbre mort	Chablis	Volis	Arbre Incendié	Total
Analyse simple	2 319	1 653	585	11	7	4 575
Double analyse	3 621	2 469	786			6 876
Ecart	+56%	+49%	+34%	-100%	-100%	+50%

La double analyse des images augmente fortement le niveau d'exhaustivité mais diminue le rendement (4 min/ha)

Précision : exhaustivité et surdétection

La précision a été estimée à partir d'observations prises sur le terrain (référence)



Niveau d'exhaustivité des détections selon l'essence et le type d'arbre, forêt du Mont Ventoux

Type d'arbre et essence	Arbres cartographiés	Total	Exhaustivité
Coloration anormale	178	213	84%
Pin noir d'Autriche	167	191	87%
Pin sylvestre	7	18	39%
Pin à crochets	4	4	100%
Arbre mort	52	146	36%
Pin sylvestre	3	62	5%
Pin à crochets	32	61	52%
Pin noir d'Autriche	12	17	71%
Mélèze	3	4	75%
Cèdre	1	1	100%
Feuillus	1	1	100%
Total général	230	359	64%

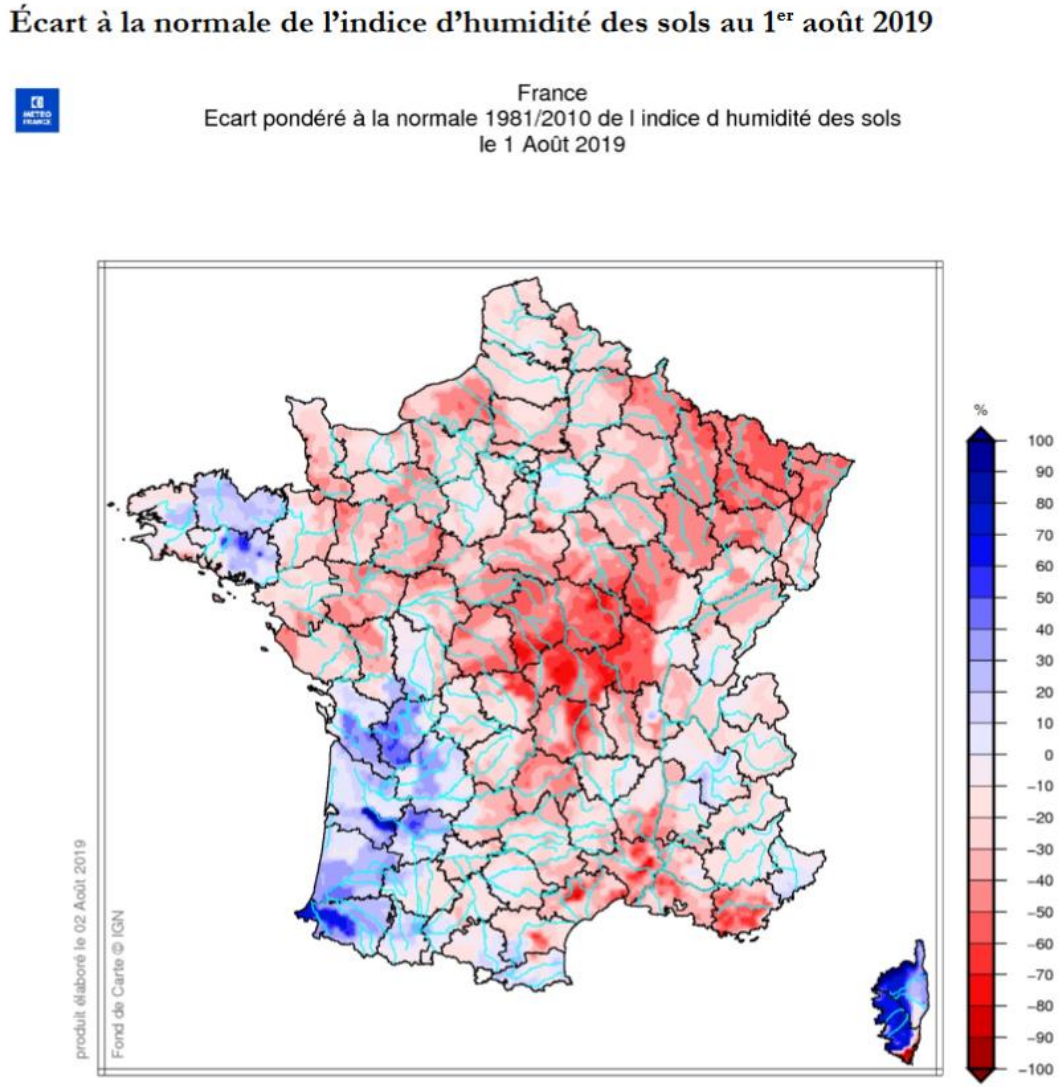
- Les arbres dépérissants (coloration anormale) sont mieux détectés que les arbres morts
- Les omissions ont des causes multiples : qualité des images (ombre), topographie (ubac), origine sylvicole (arbre dominé, jumelles, vieil arbre mort…), quelques oublis
- Les surdétections sont rares et ne constituent pas un problème

Cartographie des foyers de scolytes dans les pessières des régions Grand Est et Bourgogne-Franche-Comté



Certains facteurs ont été favorables à l'épidémie

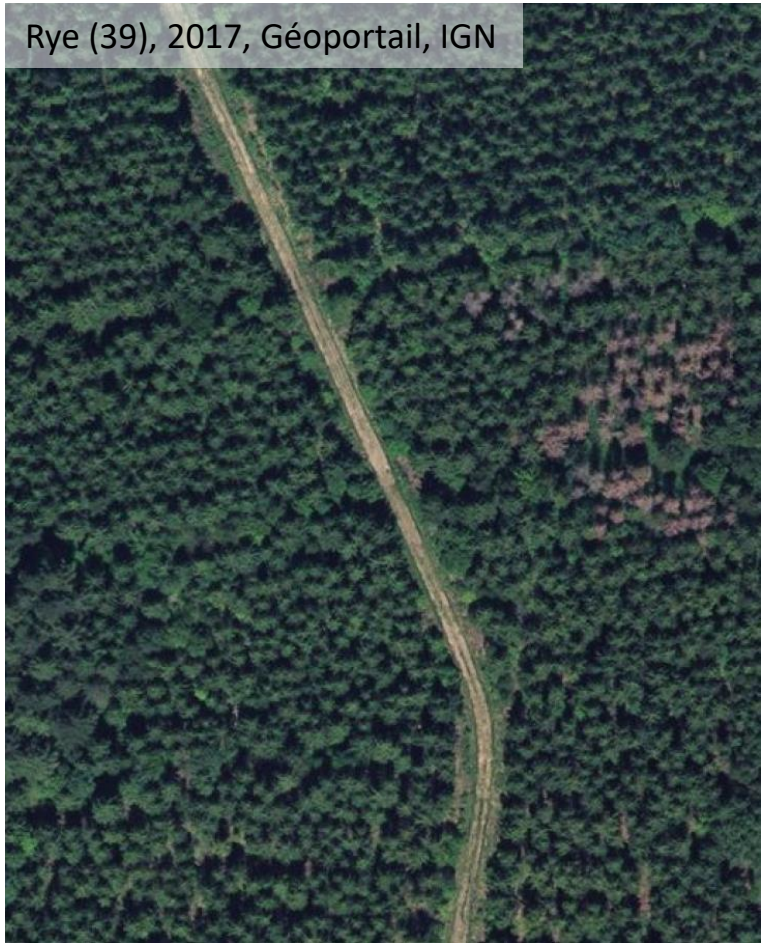
- Sécheresse, fortes chaleurs et même canicules depuis 2015, et tout particulièrement en 2018 et 2019
- Fort stress hydrique, affaiblissement des pessières devenues plus vulnérables aux attaques de scolytes
- Accélération du cycle de développement des scolytes, engendrant 3 générations sur une majeure partie du Nord-Est, augmentation forte des populations
- Chablis : tempête Eleanor du 3 janvier 2018 notamment
- Augmentation des populations de typographe depuis plusieurs années
- Pessières en dehors de leur optimum écologique : plaines (Lorraine, Vosges), premier plateau jurassien
- Peuplements mono-spécifiques sur de grandes surfaces



Une situation épidémique dans les pessières du Nord-Est – Foyers de scolyte

- Typographe et Chalcographe

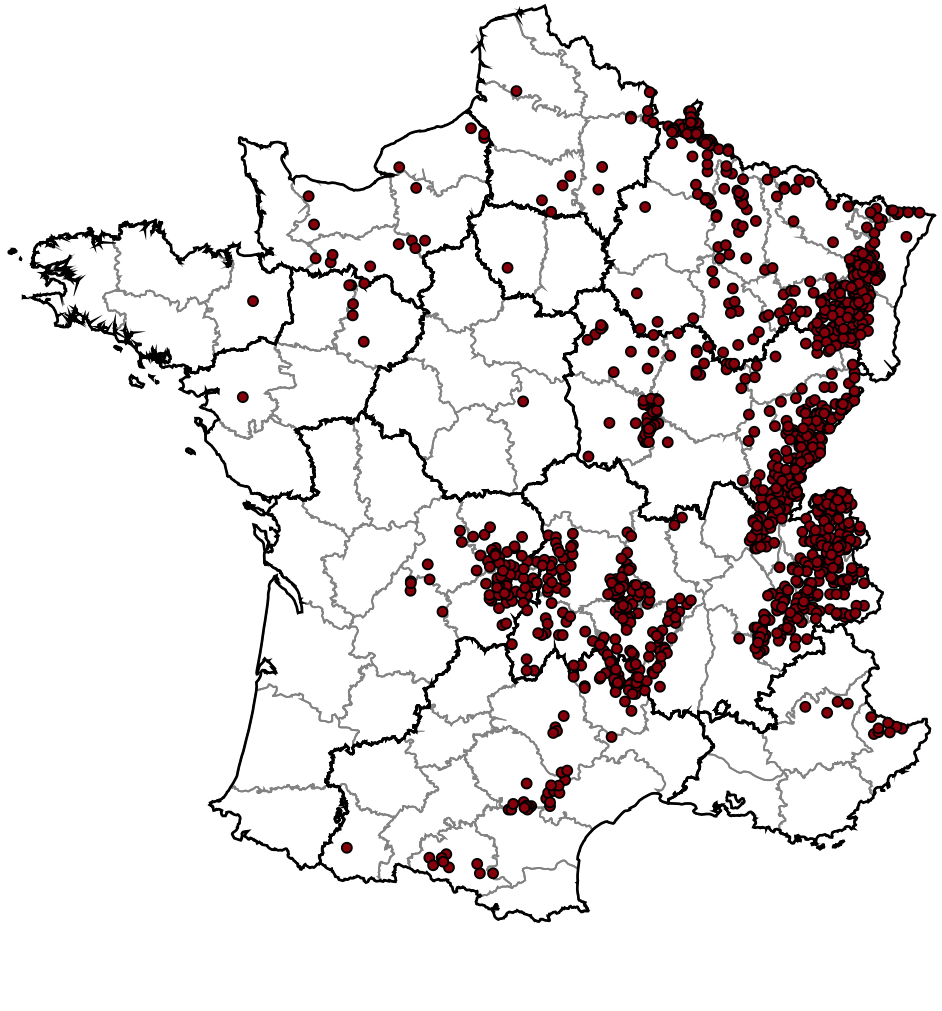

Rye (39), 09/2018, J. da Rocha


Rye (39), 2017, Géoportail, IGN


Serrouville (54), 11/18, T. Larousse

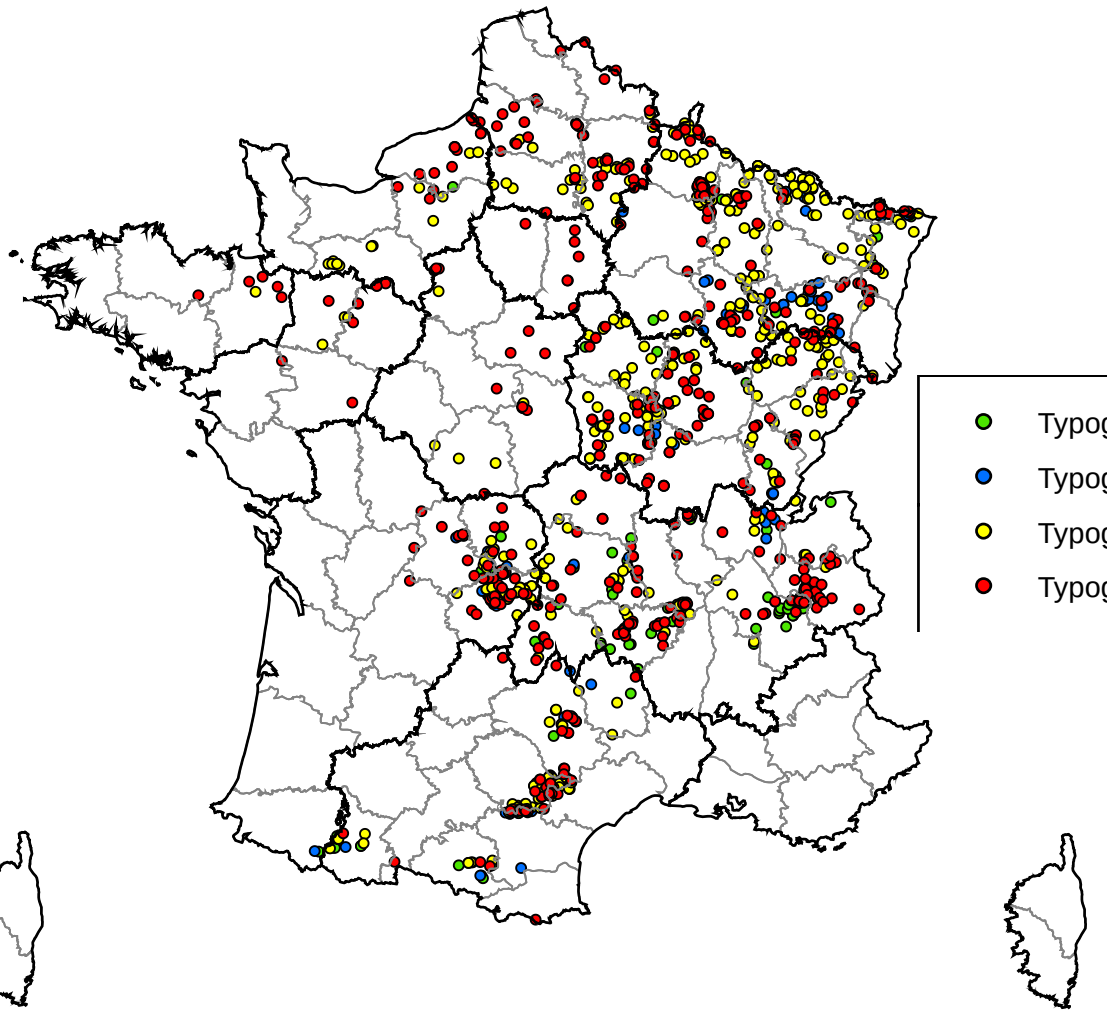

Serrouville (54), 11/18, T. Larousse

Répartition de l'épicéa



Source : IGN

Signalement du typographe

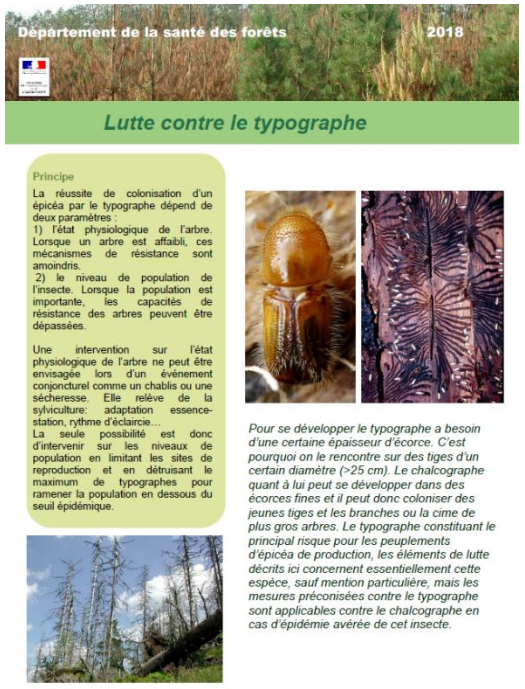


Source : DSF

Actions et communication du ministère de l'agriculture et du DSF

- Juillet 2018 : actualisation et diffusion des fiches DSF de recommandations de gestion quant à la lutte contre les scolytes
- Septembre 2018 : note DSF sur l'entrée en phase épidémique des populations de scolytes dans les pessières du Nord-Est de la France
- Novembre 2018 : la DGPE confie au Sertit la réalisation d'une cartographie des surfaces scolytées par télédétection (urgence sanitaire)
- Janvier 2019 : appel d'offres pour la mise à jour de la cartographie remporté par Telespazio
- 2019 : partenariat de mise au point d'un suivi par télédétection (DSF, ONF, CNPF, IGN, IRSTEA)
- Diffusion des cartographies du Sertit et de Telespazio

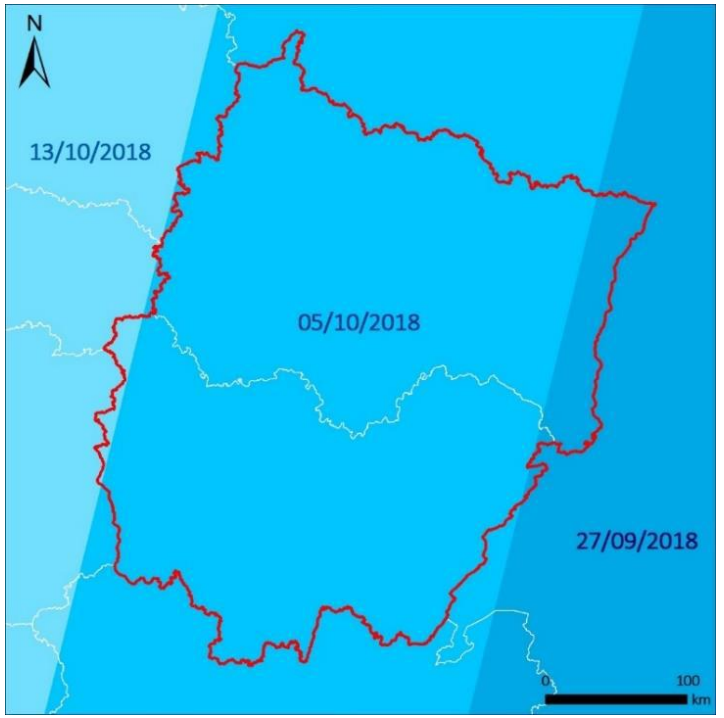




Cartographie SERTIT

Données utilisées :

- Images de satellites Sentinel-2 résolution 10-20m
- Une seule date traitée
- 3 images pour couvrir l'ensemble des 2 régions :
  5/10/18, 27/9/18, 13/10/18
- Masque de traitement : zones « épicéas » déduites de la BDForêt® IGN V2
  - Forêt fermée de sapin ou épicéa
  - Forêt fermée à mélange de conifères
  - Forêt fermée à mélange d'autres conifères
  - Forêt fermée d'un autre conifère pur autre que pin



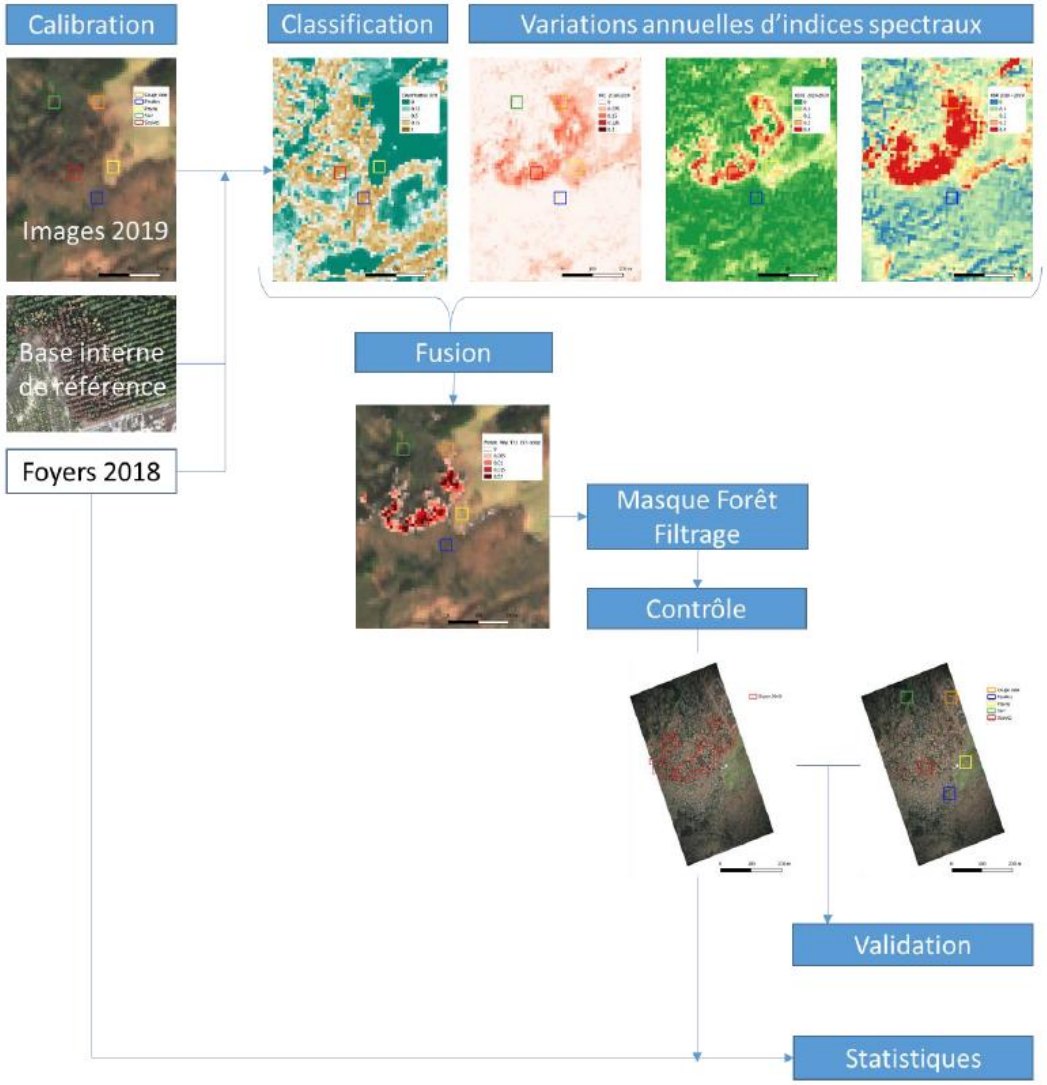
Couverture des 2 grandes régions
par les 3 images Sentinel-2 (Sertit, 2019)

Méthodologie :

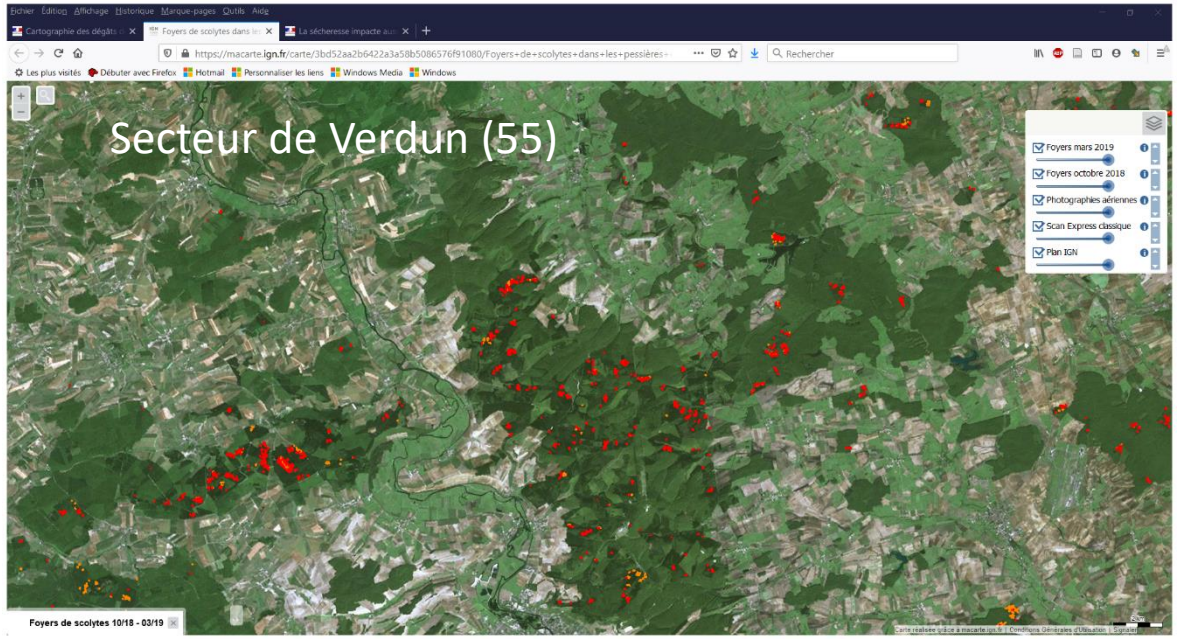
- Analyse mono-date par classification supervisée « pixels »
- Zones d'apprentissage : 1er relevés CNPF, signalements DSF, photo-interprétation (exemple : sols nus)
- Carte finale en 2 classes : « dépérissants » (= principalement scolytées « rouges ») et « sains »
- Conservation uniquement des zones ≥ 10 ares pour limiter les sur-détections
- Vérification visuelle

Cartographie Telespazio

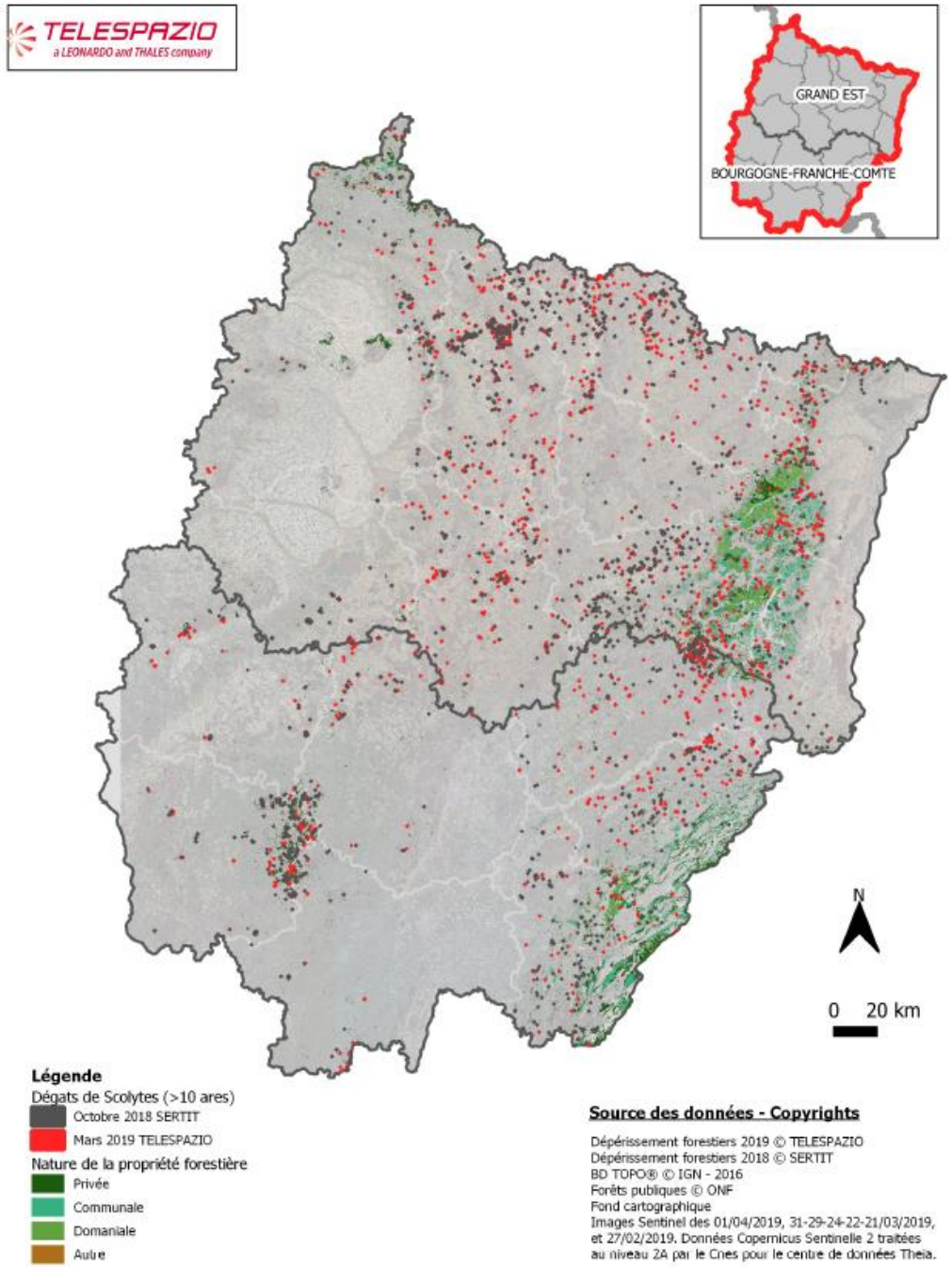
- Sources de données
  - Images Sentinel de février, mars et avril 2019
  - Observations terrain DSF et CRPF Grand Est
  - Carte forestière IGN (BD Forêt, version 2)
  - Vol ULM spécifique sur quelques secteurs les 14 et 15/04/19
- Méthode de classification pixel dirigée
  - Données d'apprentissage : terrain, PI
  - Classification supervisée (algorithme SVM)
  - Différence d'indices entre hiver 2018 et hiver 2019 (NRI, NDVI, NBR)
  - Contrôle visuel, validation
- Post-traitements
  - Dynamique des foyers après comparaison avec la carte du Sertit : coupe sanitaire, ancien foyer, extension, nouveau foyer
  - Croisement avec la catégorie de propriété : forêt publique vs forêt privée
  - Statistiques de surface



Résultats



- Intérêts :
  - Répartition spatiale et altitudinale
  - Evolution temporelle
- Mais importantes sous-détections :
  - Peuplements scolytés verts difficilement détectables
  - Petits foyers (< 10 ares)
  - Petits peuplements d'épicéas (la cartographie de l'IGN ne distingue pas les peuplements de moins de 2 ha d'un seul tenant)
  - Coupes sanitaires avant fin septembre 2018



Collecte d’observations de référence sur le terrain – Protocole DSF

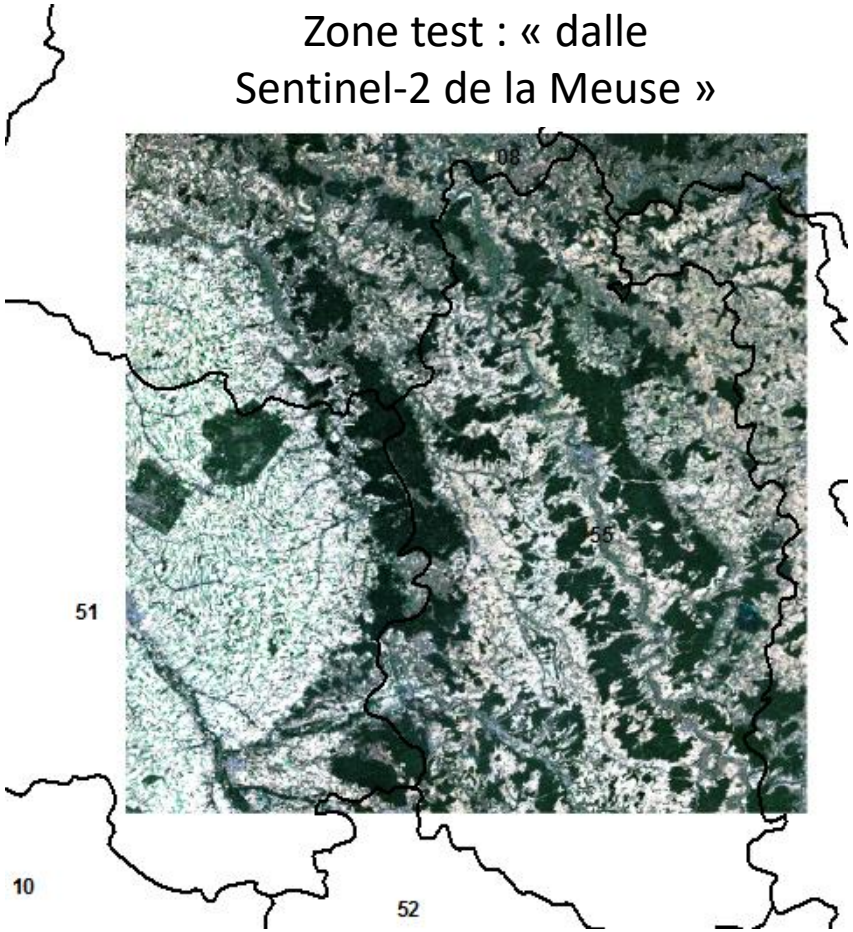
- Objectif
  - Phase d’apprentissage des méthodes de classification
  - Qualification des résultats (cartographie)
  - NB : les fiches veille sanitaire DSF ne sont pas utilisables directement
- Stade de développement des scolytes
  - Peuplement sain
  - Peuplement scolyté verts
  - Peuplement scolyté rouges
  - Peuplement scolyté gris
  - Coupe rase d’un peuplement scolyté
- Homogénéité des observations
- Type de peuplement : peuplement purement résineux vs mélange feuillus-résineux
- Essence principale et secondaire

- Géolocalisation précise :
  - Polygones ou points
  - Forme quelconque
  - Eviter routes, pistes, clairières, zones non forestières
  - Surface minimale : 5 ares
  - Utilisation de GPS
- Répartition spatiale équilibrée

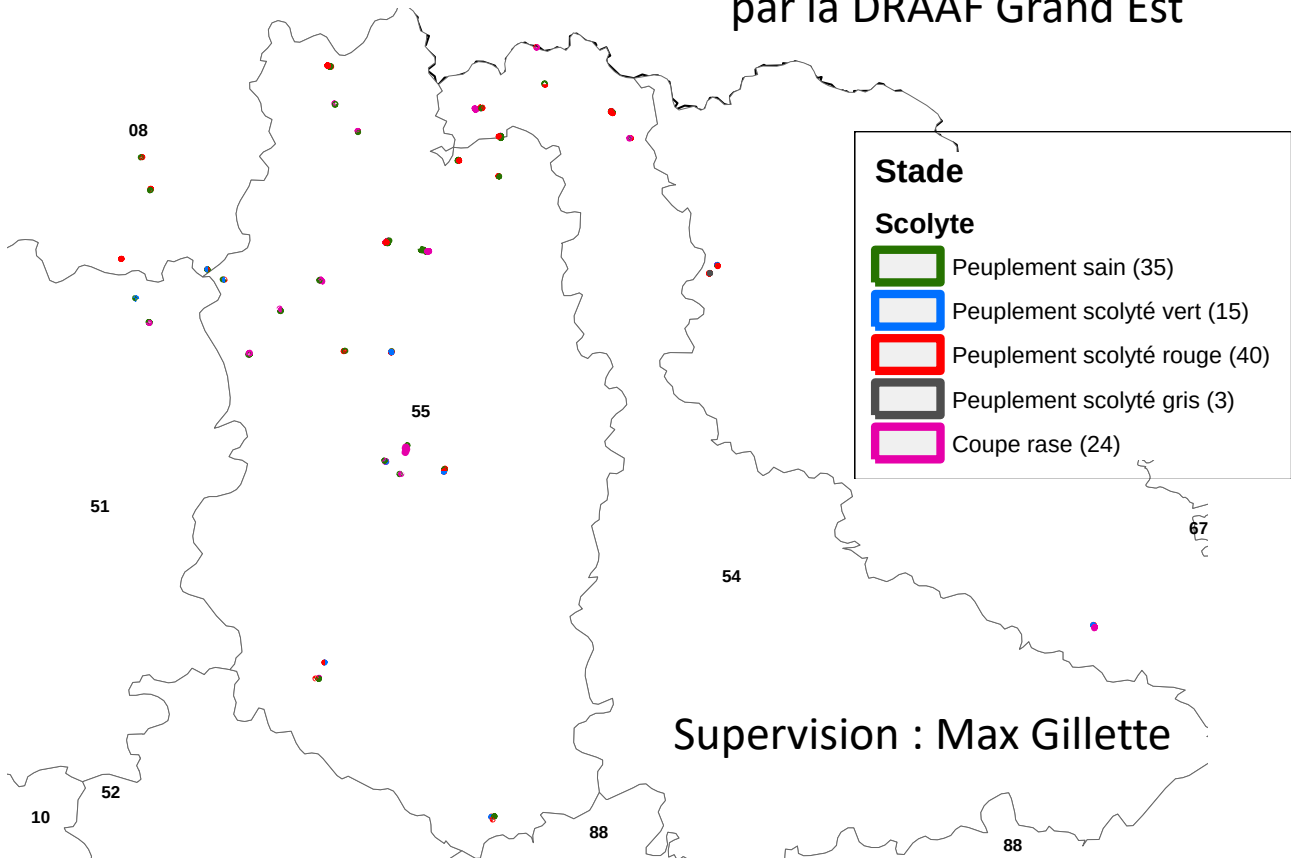


Collecte d'observations de référence sur le terrain – Données DSF

Zone test : « dalle Sentinel-2 de la Meuse »

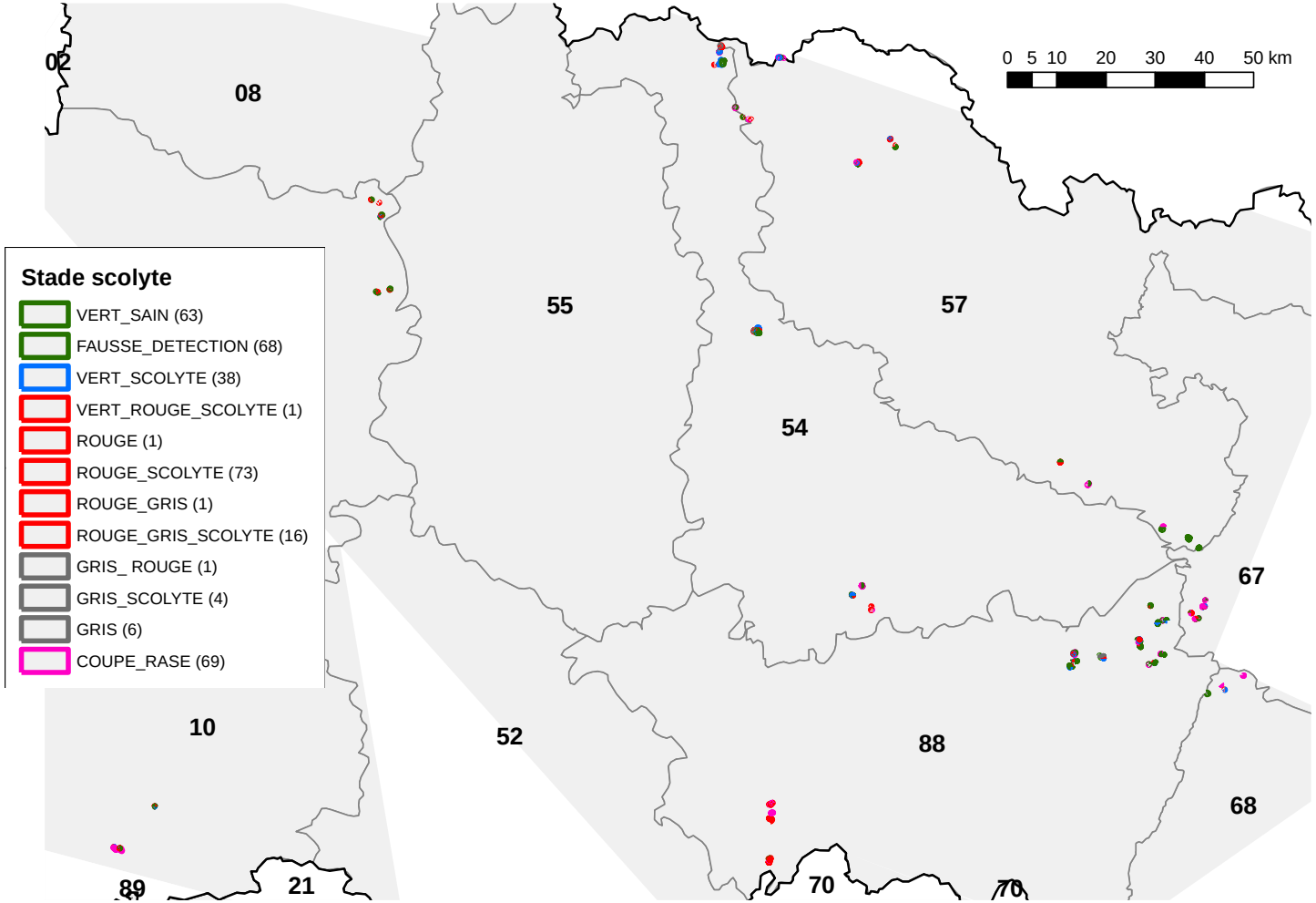


Observations réalisées par la DRAAF Grand Est



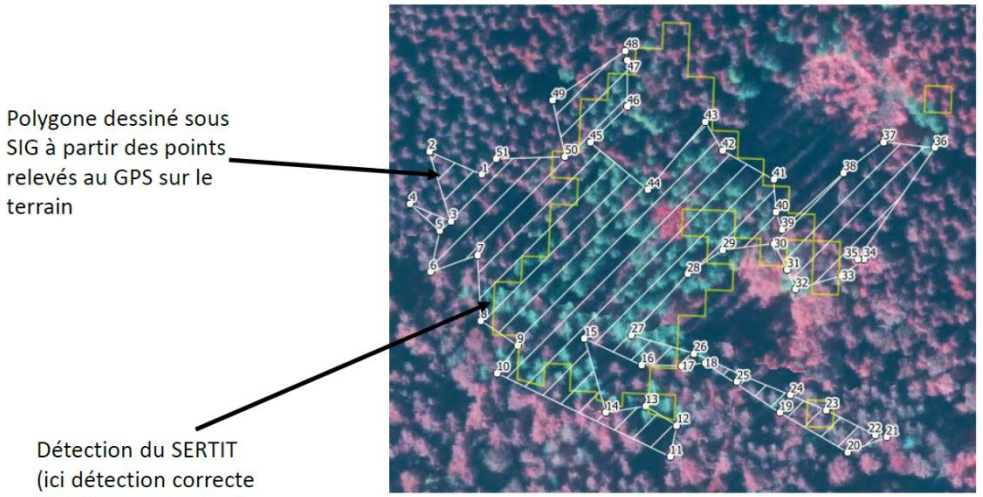
Supervision : Max Gillette

Collecte d'observations de référence sur le terrain – Données CNPF



- Méthode proche de celle du DSF
- Quelques adaptations : échantillonnage, nomenclature, géoréférencement
- Supervision : Juliette Boiffin

Exemple 2 à Godoncourt (polygone Godoncourt-R1)

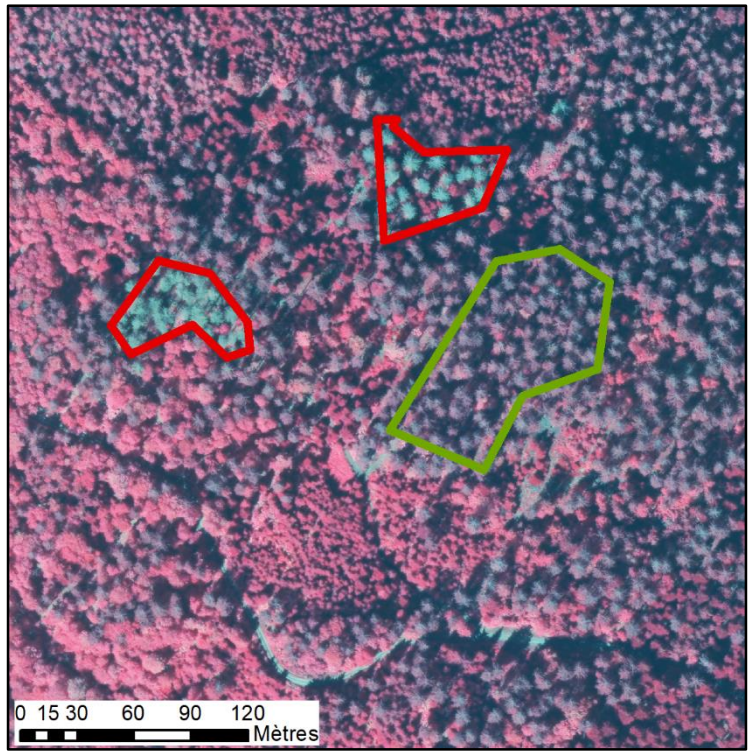


Collecte d'observations de référence sur le terrain – Données ONF

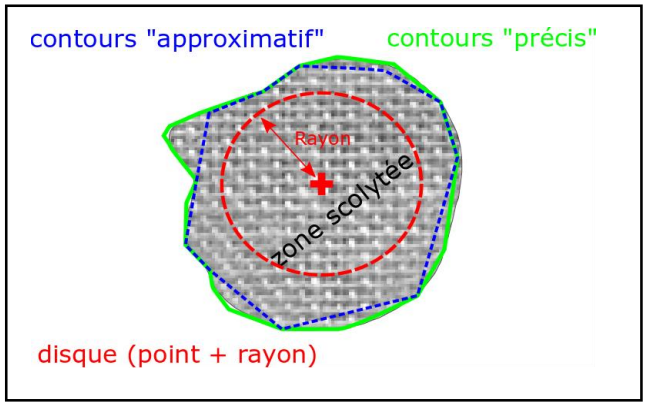
- 2 méthodes

  1) Saisie sur fond photos IRC IGN récent (Vosges, Meuse, Nord Meurthe et Moselle + Moselle)
  ➔ données de référence 2018, validation locale carte SERTIT (132 polygones au 11/02/19)





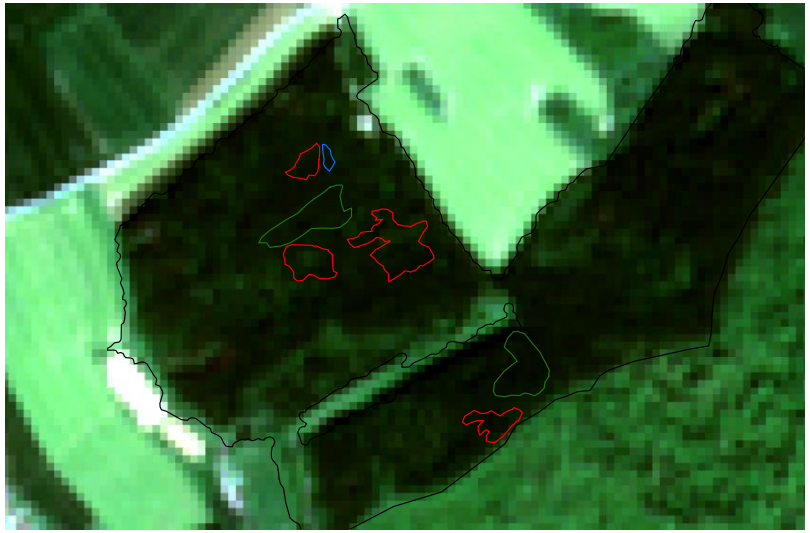
  2) Saisie terrain sur terminal de saisie mobile, en parallèle des actions de gestion ➔ données de référence 2018 et 2019
  Principalement saisie de zones circulaires à l'intérieur de zones homogènes
  Informations relevées =
  protocole commun DSF-CNPF-ONF-guichet IGN



- Villers-la-Montagne (54), 2018
- Synthèses mensuelles Sentinel-2
- Couleurs naturelles

Vert sain
Vert scolyté
Rouge scolyté
Gris scolyté
Coupe rase

Avril



Juin



Août



Septembre



Octobre



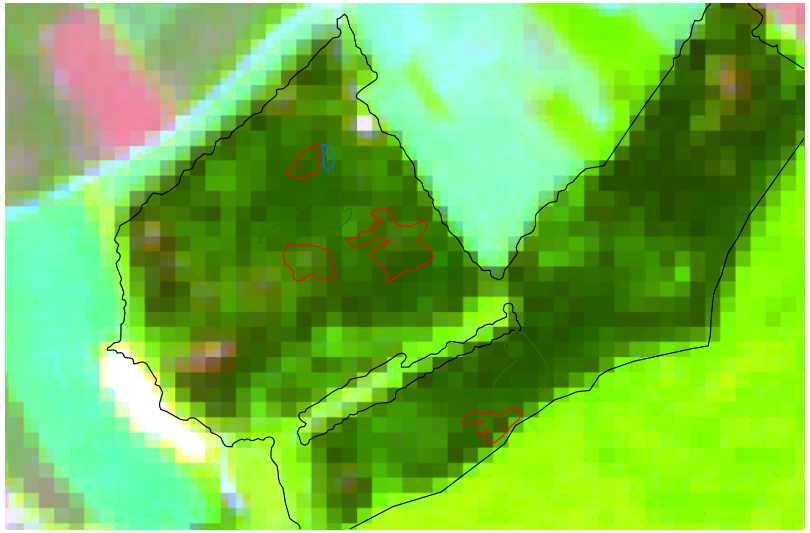
- Villers-la-Montagne (54), 2018
- Synthèses mensuelles Sentinel-2
- Composition MIR (rouge), red edge (vert), bleu (bleu)

Vert sain
Vert scolyté
Rouge scolyté
Gris scolyté
Coupe rase

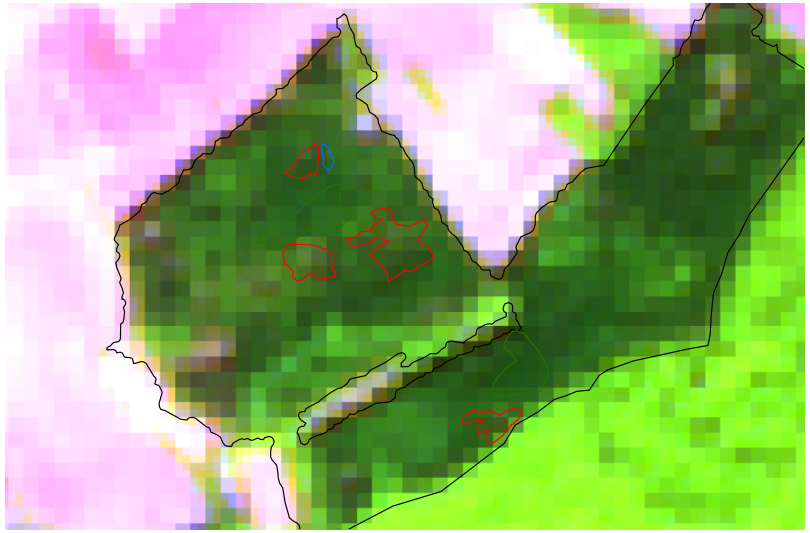
Avril



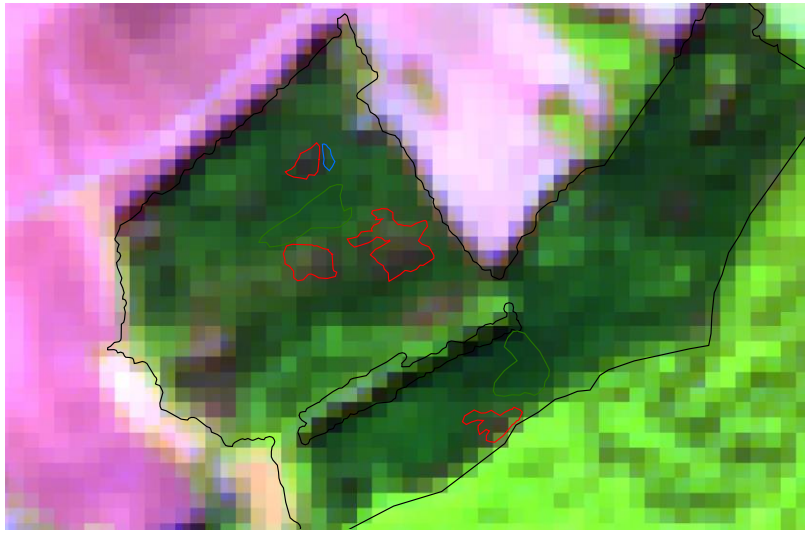
Juin



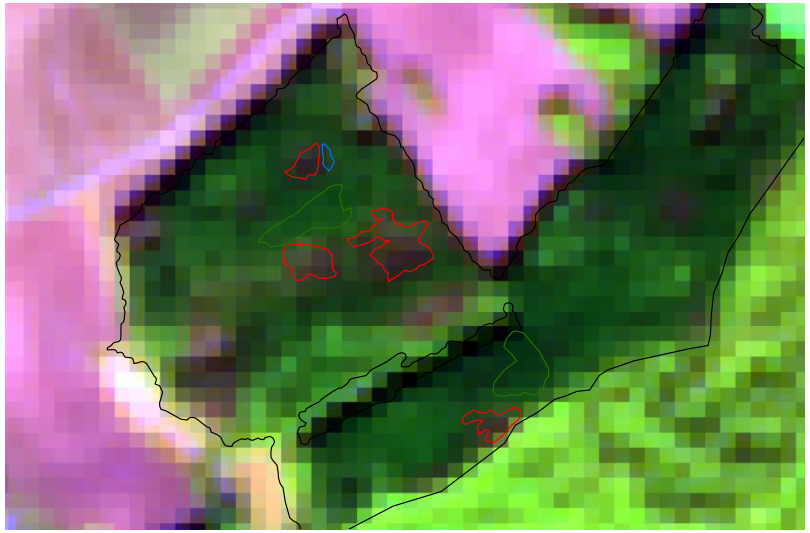
Août



Septembre



Octobre

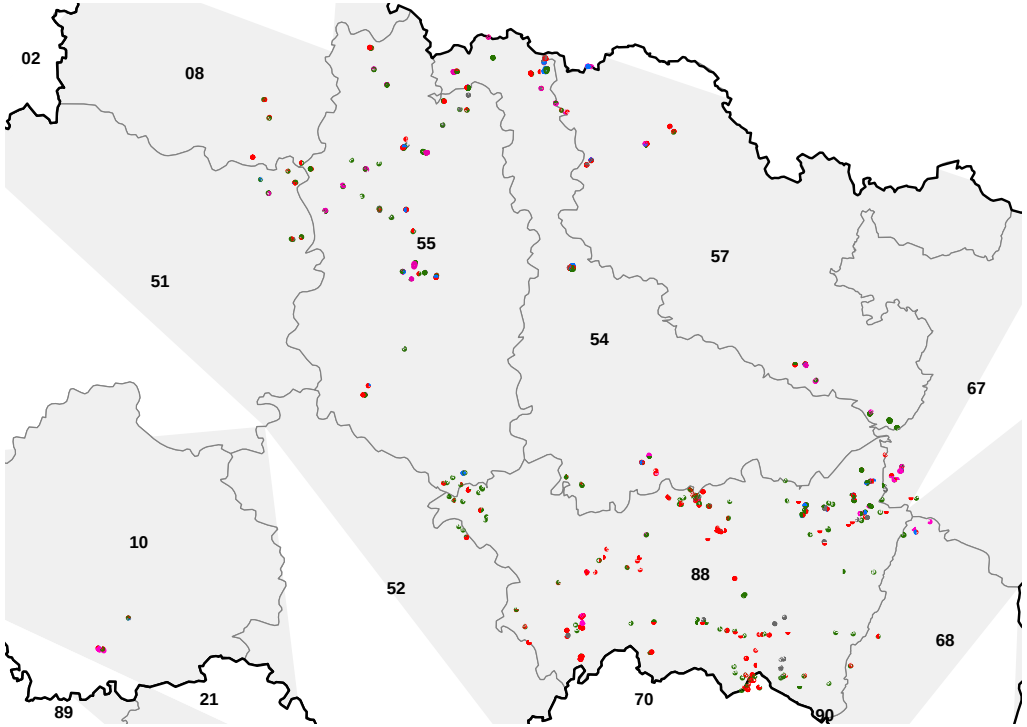


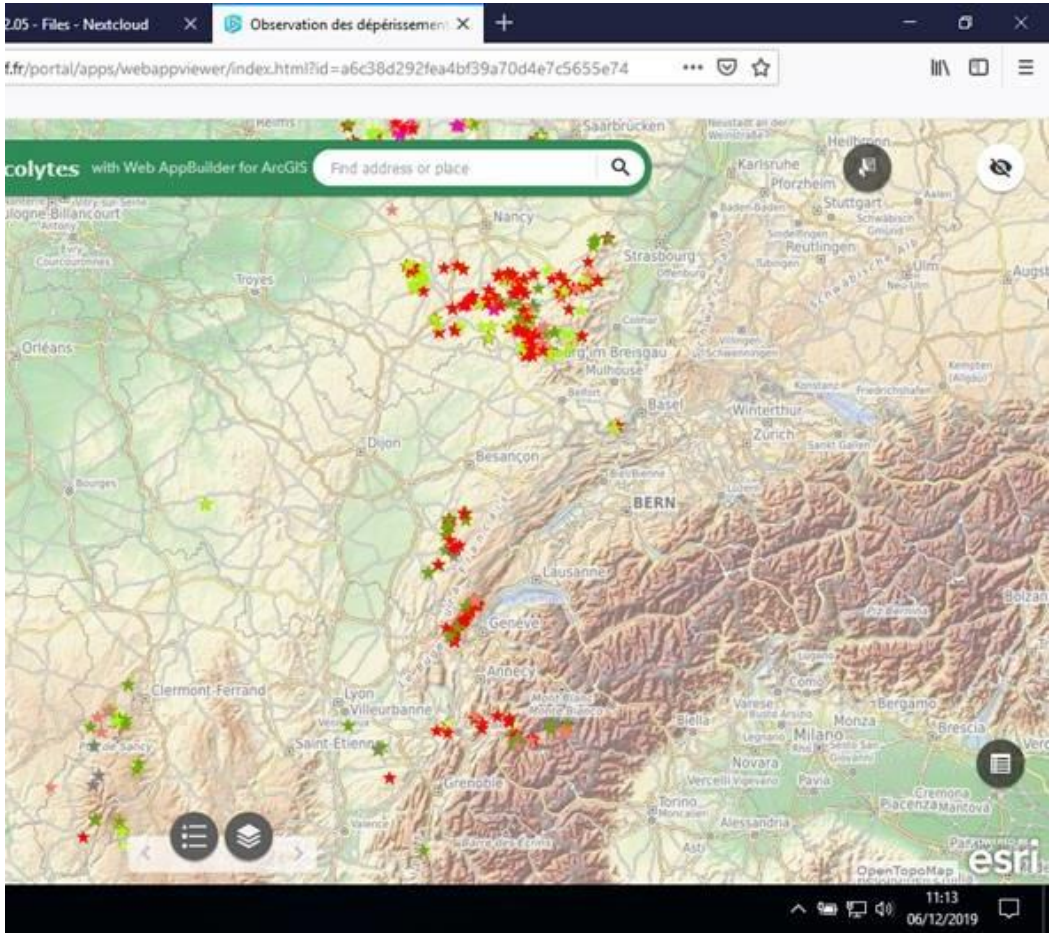
Collecte d’observations de références
Etat des lieux

Scolyte DSF
- Vert sain (35)
- Vert scolyté (15)
- Rouge scolyté (40)
- Gris scolyté (3)
- Coupe rase (24)

Scolyte ONF RDI (PI)
- Vert sain ou vert scolyté (118)
- Rouge scolyté (208)
- Rouge ou gris scolyté (40)
- Coupe rase (7)

Scolyte CRPF Grand Est
- Vert sain (63)
- Vert sain (fausse détection) (68)
- Vert scolyté (38)
- Vert ou rouge scolyté (1)
- Rouge scolyté (1)
- Rouge scolyté (73)
- Rouge ou gris scolyté (1)
- Rouge ou gris scolyté (16)
- Rouge ou gris scolyté (1)
- Gris scolyté (4)
- Gris scolyté (6)
- Coupe rase (69)

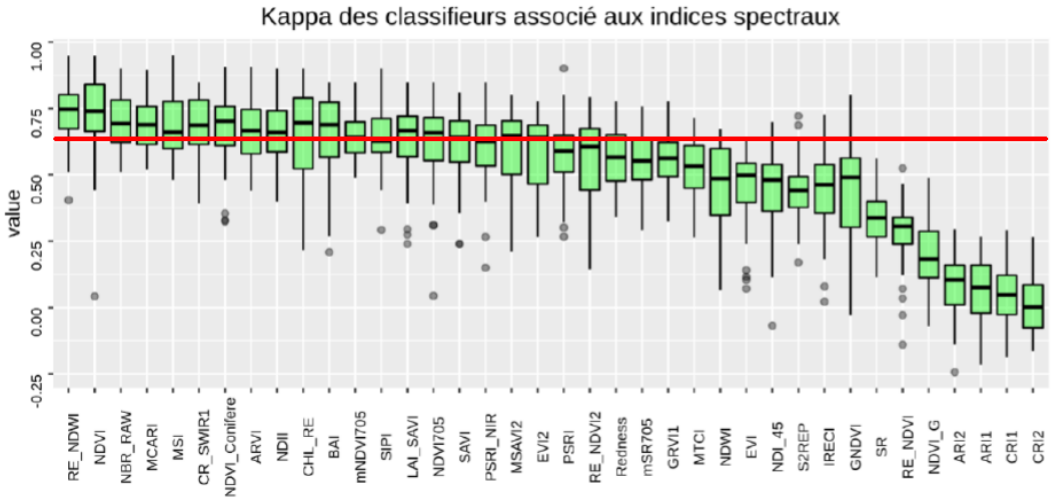


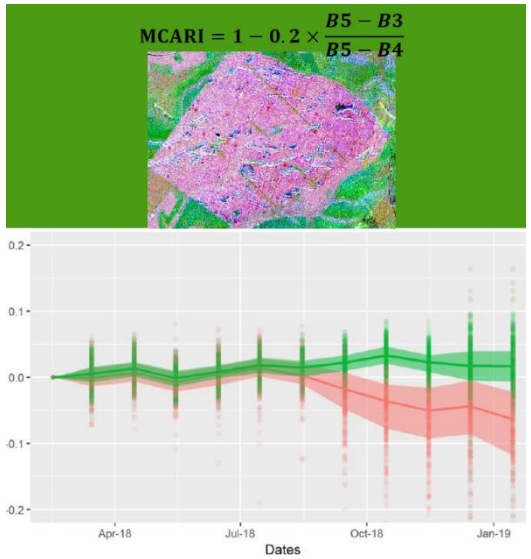


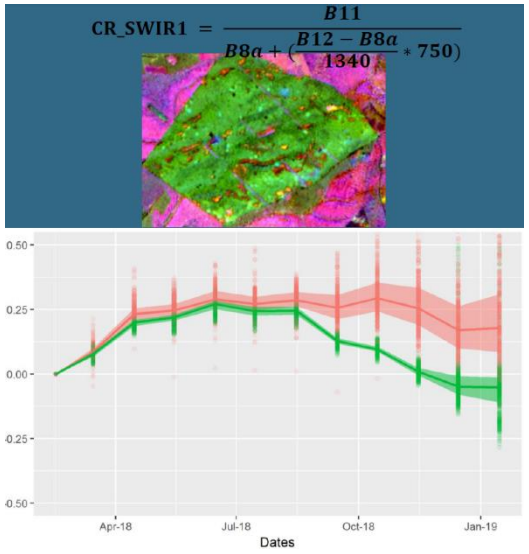
Plus de 600 polygones, régions Grand Est, Bourgogne-Franche-Comté et Auvergne-Rhône-Alpes, années 2018 et 2019

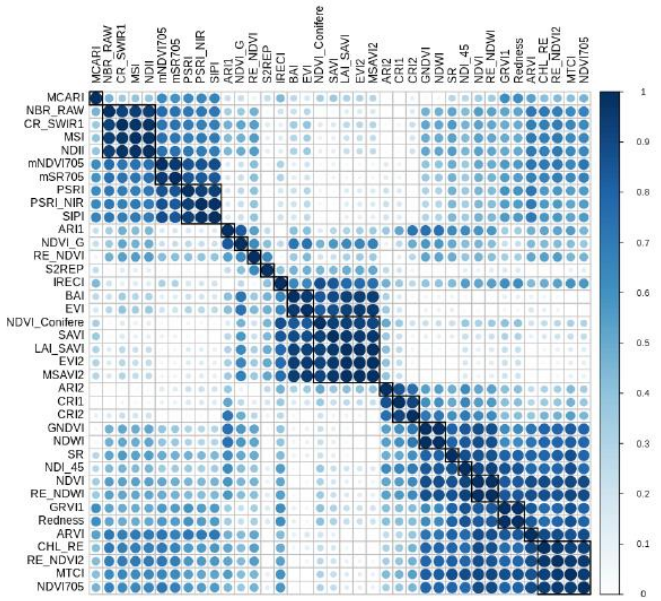
Développements méthodologiques par l'Irtsea de Montpellier – En cours

- Tests des indices via un classifieur supervisé peuplement sain vs peuplement scolyté
- Tests de corrélation + regroupement hiérarchique
- Sélection des indices les plus pertinents
- Comparaisons interannuelles des indices retenus









Conclusions

Forces

- Traitement de grandes surfaces
- Rapidité
- Facilité d'accès aux images : gratuité (Copernicus, GEOSUD, Theia, etc.) ou coût réduit (programme Isis du Cnes)
- Coût raisonnable

Faiblesses

- Observations des symptômes uniquement, pas de diagnostic
- Observations des houppiers seuls
- Qualité des masques
- Compétences

Verrous

- Volume des données ('big data')
- Capacité de traitement

Opportunités

- Résultats des autres travaux scientifiques : cartographie des essences, de la biomasse
- Intérêt des scientifiques, des gestionnaires, de la société
- Fédération des acteurs de la télédétection
- Couplage observation terrain - télédétection