



BIOCLIMSOL



SANTECOFOR – 22 mars 2023

Le risque de dépérissement forestier
Comment mieux le prendre en compte et le gérer?
Exemple de l'outil Bioclimsol

Benjamin CANO – CNPF-IDF



à vos côtés, agir pour les forêts privées de demain



www.cnpf.fr



Contexte

Déstockage
de de CO₂



Pertes de la
biodiversité



Pertes
économiques



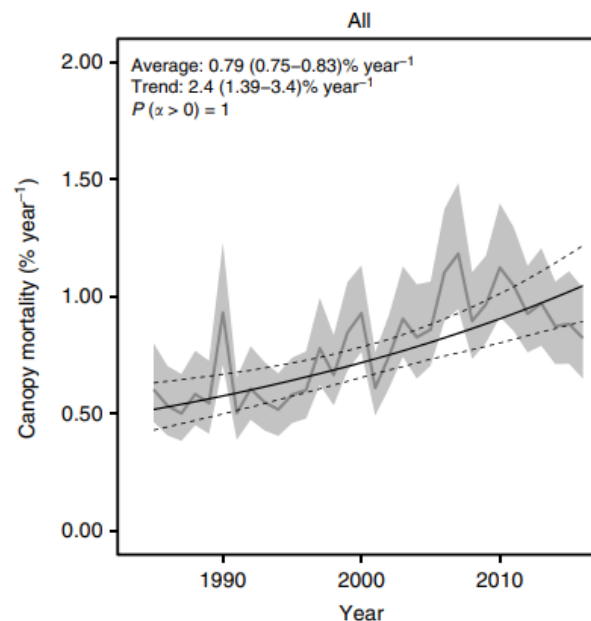
Risque accru de
feu/gel/érosion,
maladies ...



Changement climatique = augmentation des dépérissements

Le dépérissement des forêts a nettement progressé durant les dernières décennies, en conséquence du changement climatique, et tous les écosystèmes forestiers sont concernés! (Allen 2010, 2015, Carnicer et al. 2011; Michel et Seidling 2018, McDowell et al. 2016, Senf et al. 2018, Taccoen et al 2019 ...)

En Europe, la mortalité a doublé dans les forêts tempérées durant les 30 dernières années (Senf et al 2018)



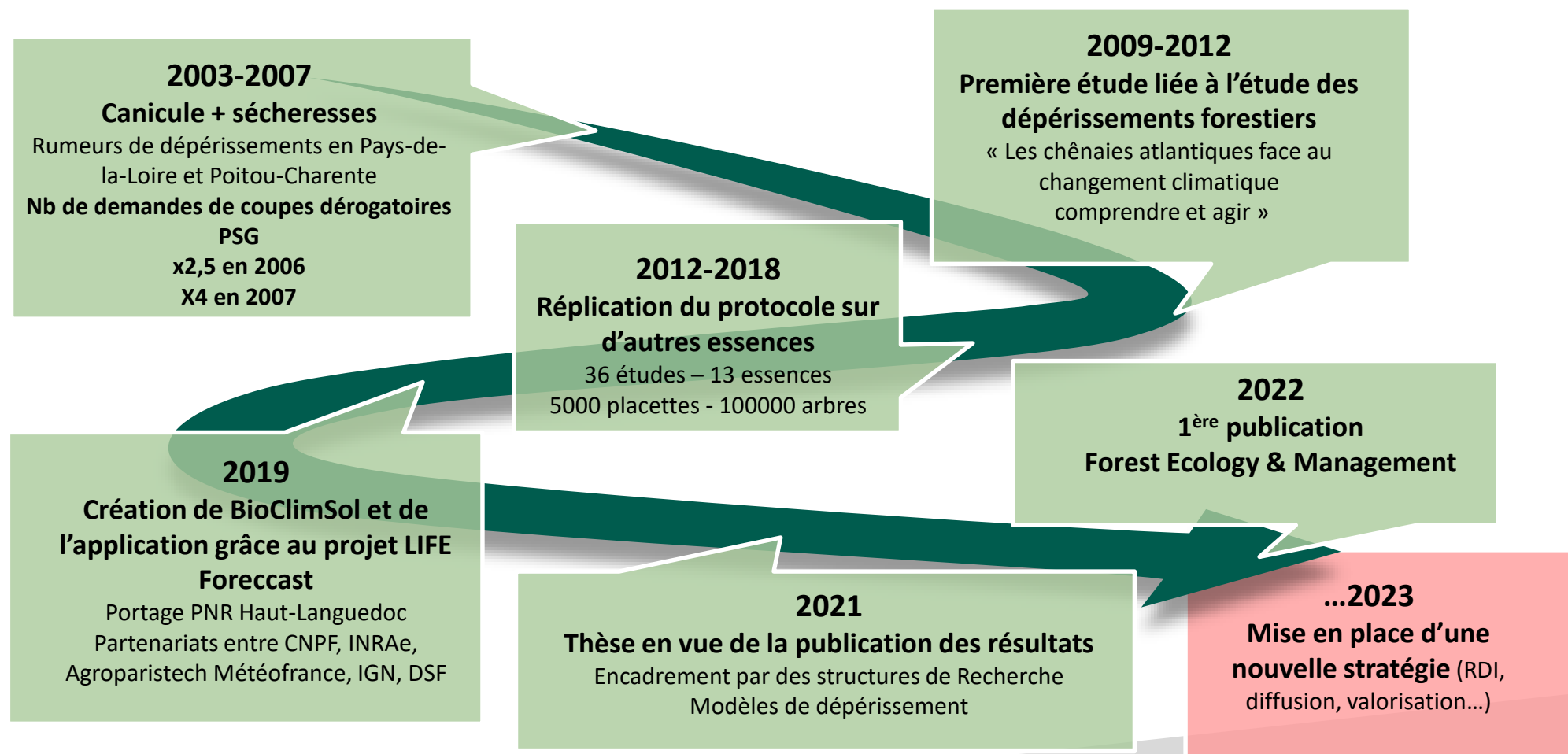
La tendance est la même en France (DSF 2021)

Durant les 30 dernières années, les travaux de modélisation se sont focalisés sur les cas extrêmes de dépérissement = mortalités



Origine, contexte

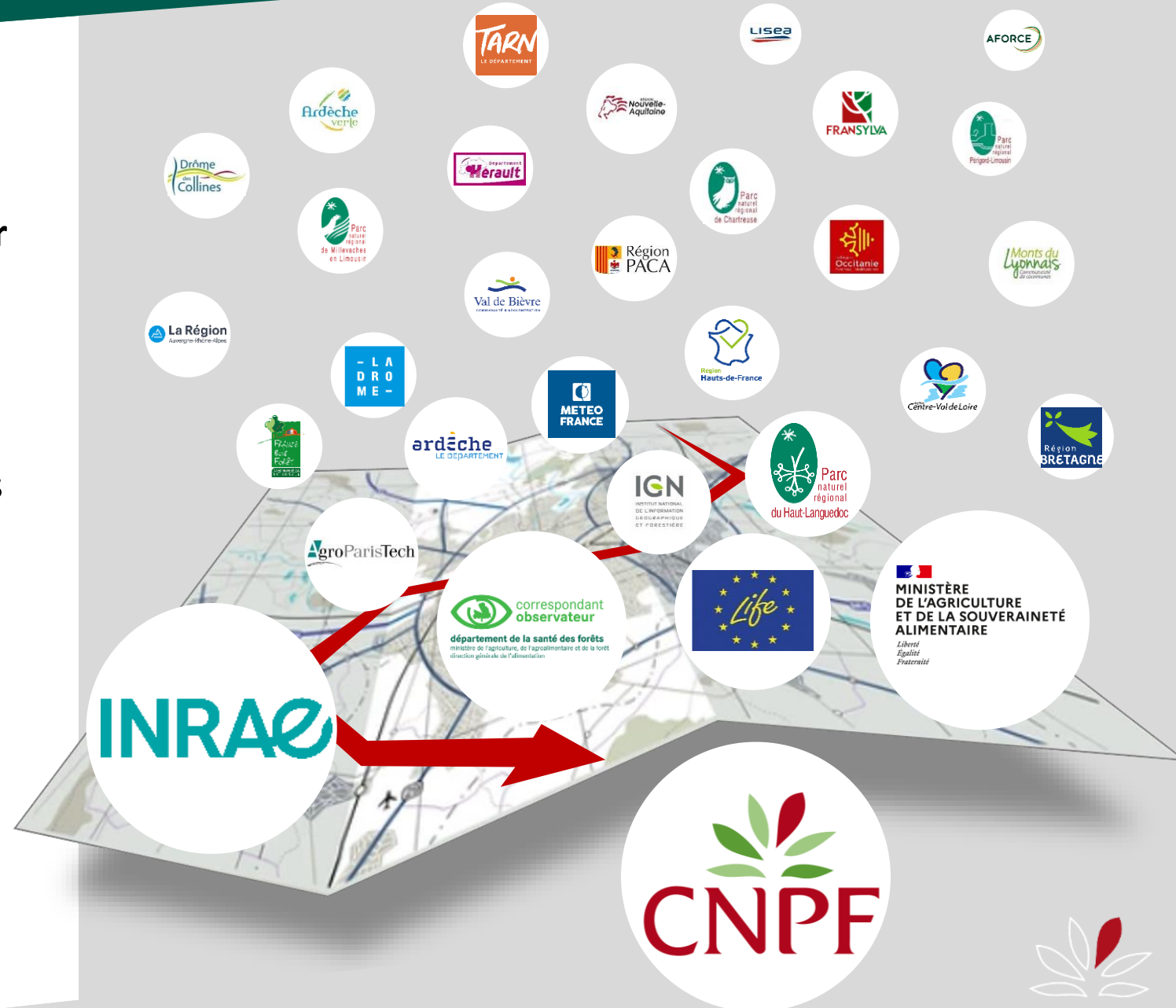
Genèse de la démarche



100%

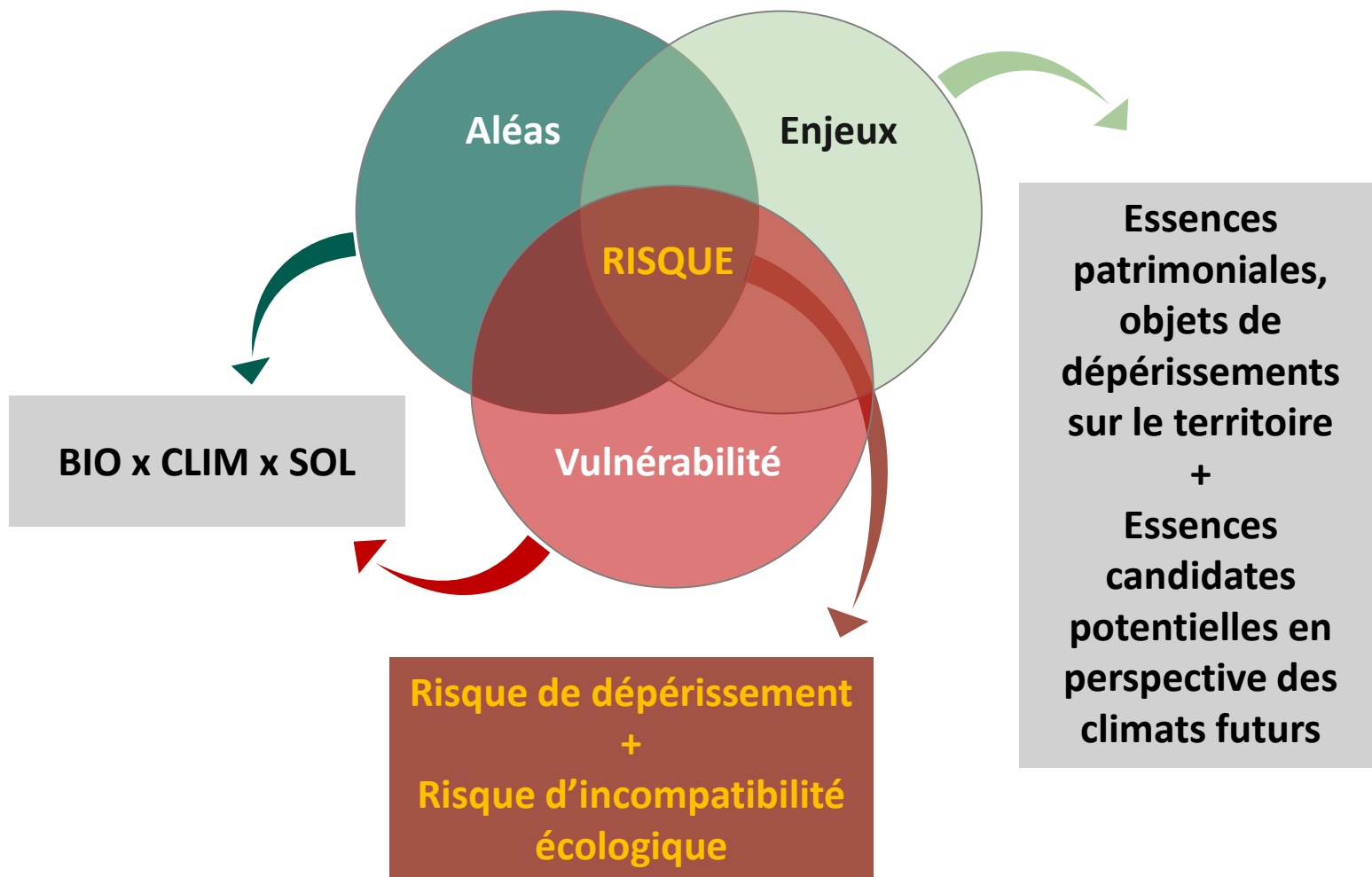
Depuis 2010, BIOCLIMSOL = 36 études sur le territoire (4 par an en moyenne)

- **Nombreux partenaires financiers**, en particulier l'État et la Communauté européenne mais aussi de nombreuses collectivités locales
- **Partenaires institutionnels (R&D)** et prestataires pour le développement de l'outil
- Outil encadré par un **comité scientifique** (partenaires institutionnels de la Recherche notamment...)

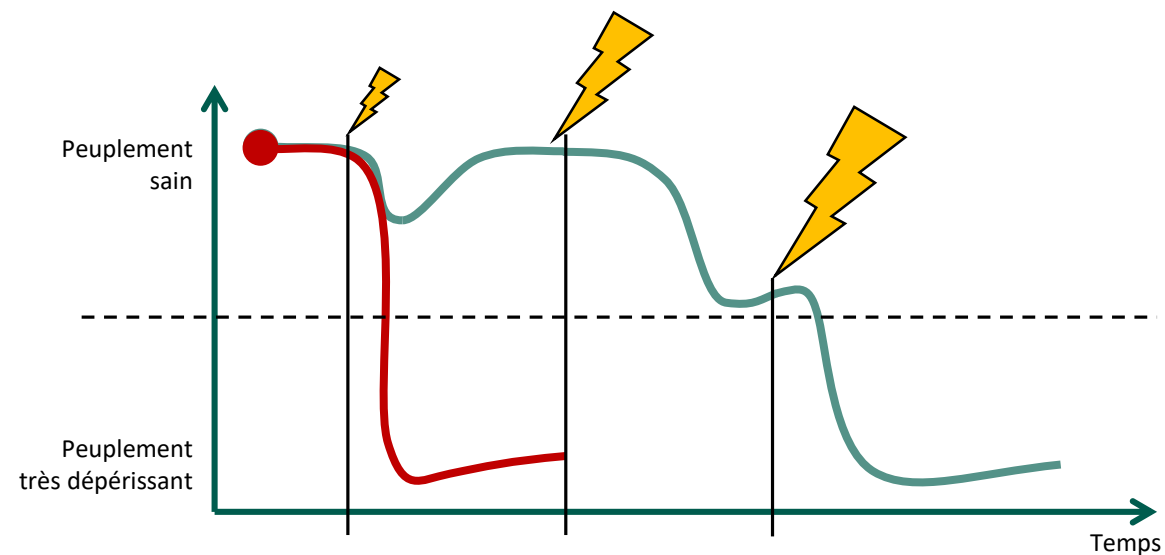
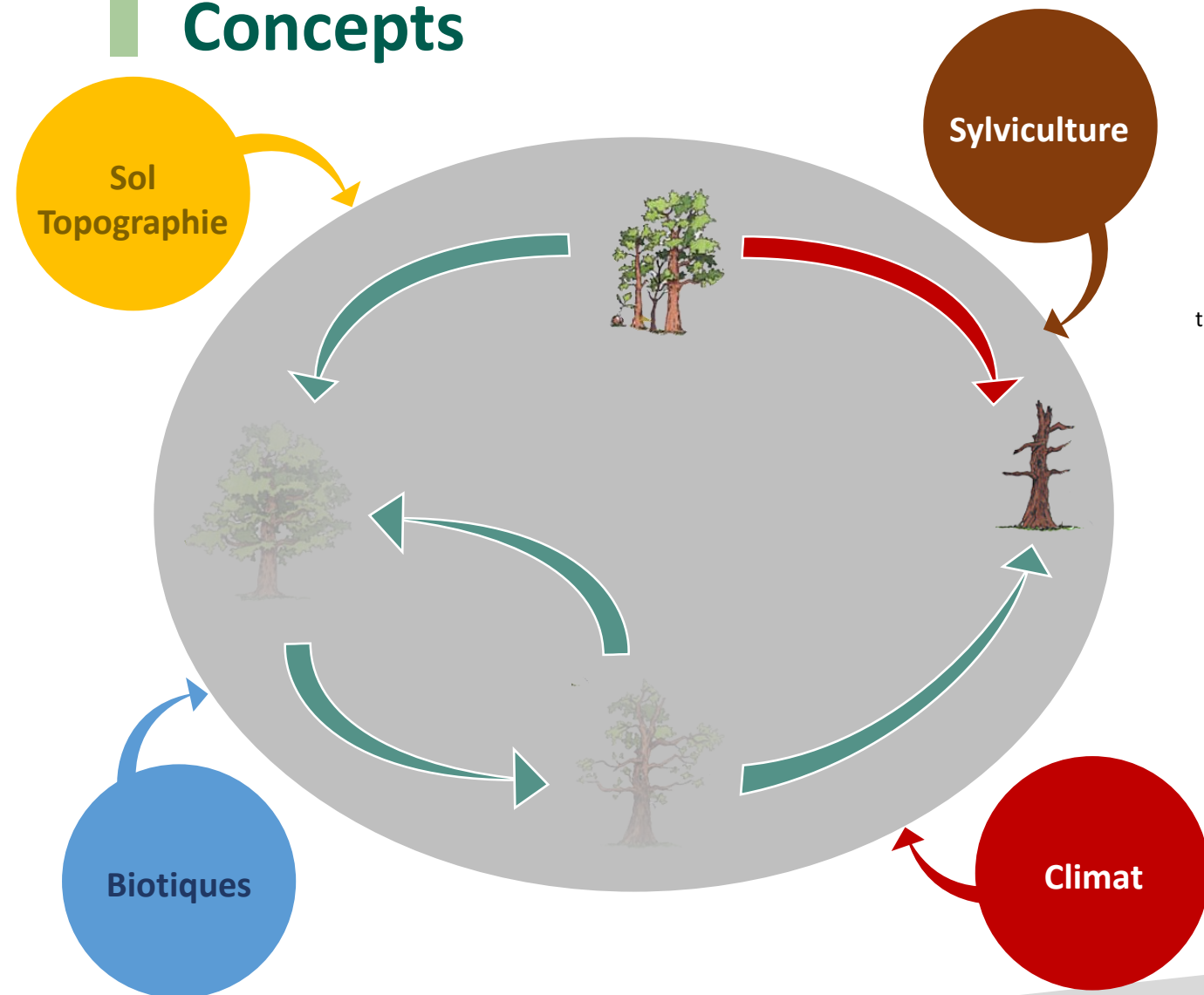


Objectifs

- 1- Conceptualiser et valider une **méthode de modélisation des risques de dépérissement** pour toutes essences forestières
- 2- Rendre accessible aux gestionnaires l'expertise de ces modèles via **une application** pour un diagnostic **sur le terrain**
- 3- Traduire cette expertise en **prescriptions de gestion** pour le **choix des essences** et la sylviculture



Concepts



À-coups climatiques, attaques biotiques, événements, stress =
Facteurs déclenchants



Peuplement A = dépérissement progressif avec phases de résilience

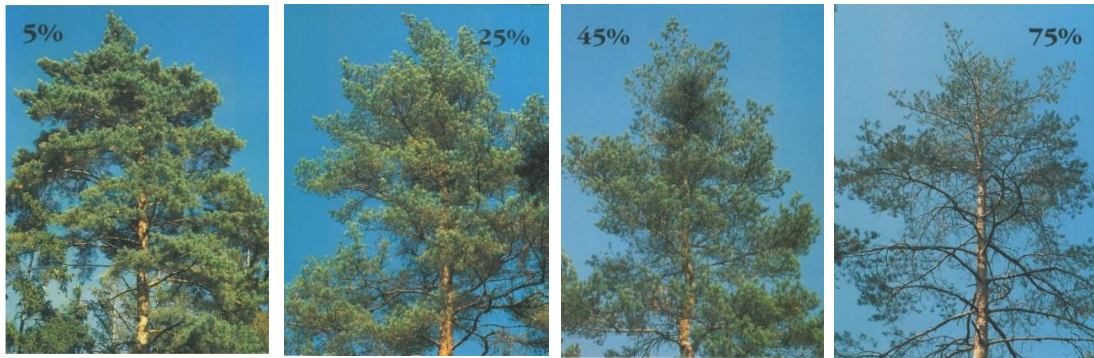


Peuplement B = facteurs prédisposants plus limitants = mortalités brutales



Concepts

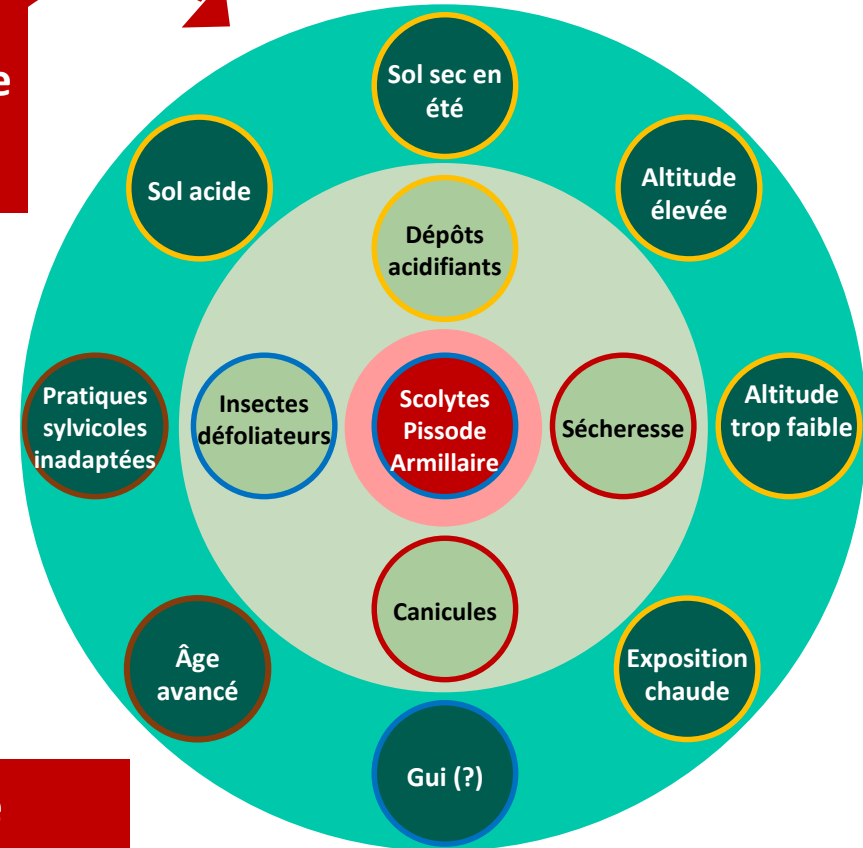
Dépérissement = phénomène évolutif et complexe de paramètres qui interagissent et s'enchainent



© Müller et Stierlin (1990)

**Approche analytique
(facteurs)**

**Approche descriptive
(symptômes)**



**Facteurs
prédisposants**

**Facteurs
déclenchants**

**Facteurs
aggravants**

Paramètres :

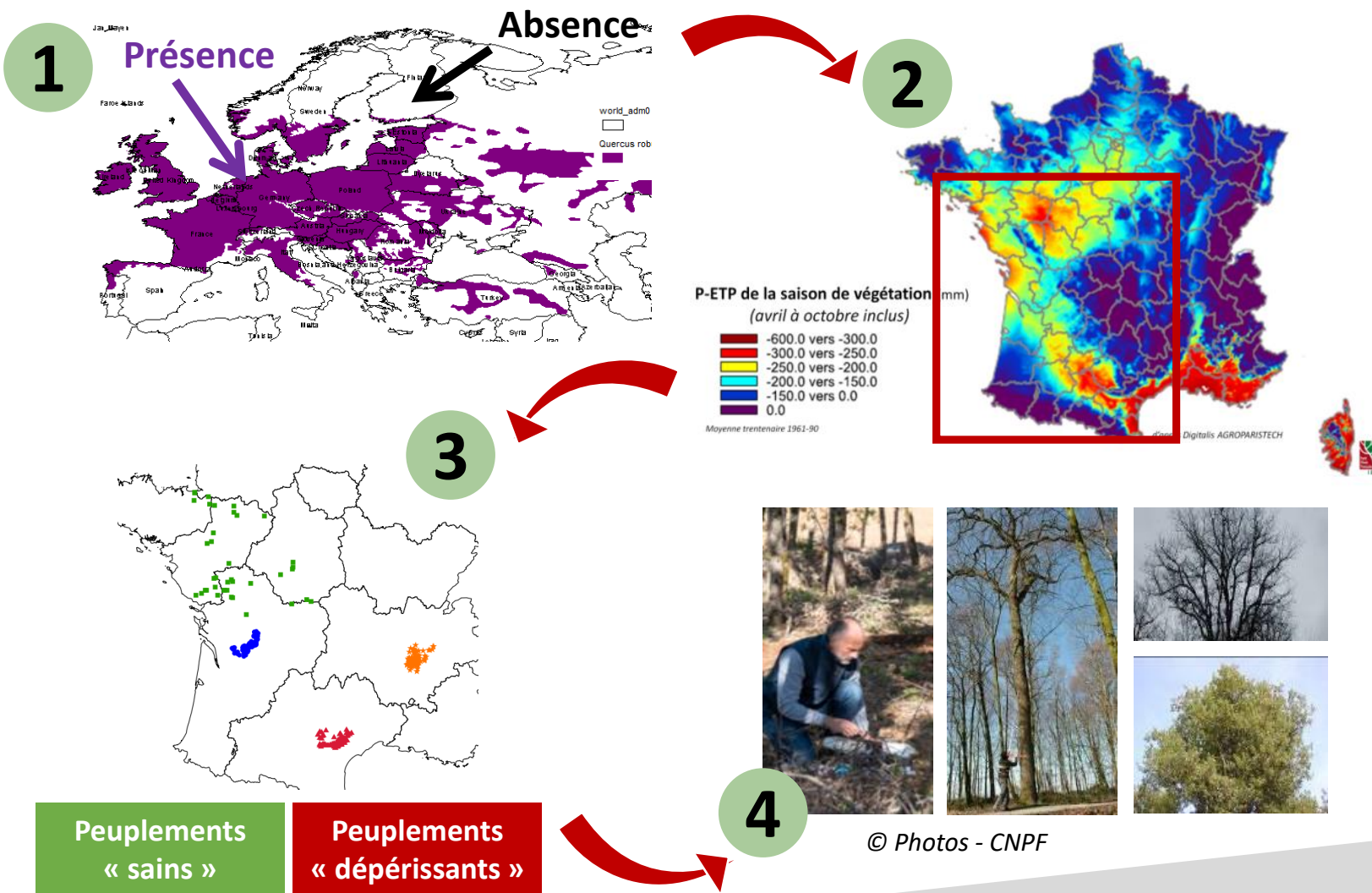
- climatiques
- stationnels
- biotiques
- Anthropiques, sylvicoles

Genèse des dépérissements de sapin pectiné
Schéma simplifié extrait de la Santé des Forêts (DSF, 2010)

- Le dépérissement se traduit par une **diminution de vitalité** de l'arbre par rapport à un **état de santé de référence** (Nageleisen 2005).
- Ce phénomène se manifeste par des symptômes comme la réduction de croissance, le déficit foliaire, la mortalité et pertes de ramifications
- Il peut aboutir à la mortalité de l'arbre (Bréda *et al.* 2006).



Matériel, méthode



Modèles de dépérissement

1

Définition de la niche climatique
(au seuil de 90%)
de l'essence étudiée à l'aide son aire de
répartition + Bibliographie

2

Stratification d'échantillonnage
Définition d'un transect climatique
(seuils P-ETP ou autres variables selon signal
renvoyé par niche climatique + zone d'étude)

3

Installation de références de terrain
= diagnostic des peuplements selon
gradient de niveau de dépérissement

4

Analyses de données de terrain collectées
(sol, dendro, sanitaire)

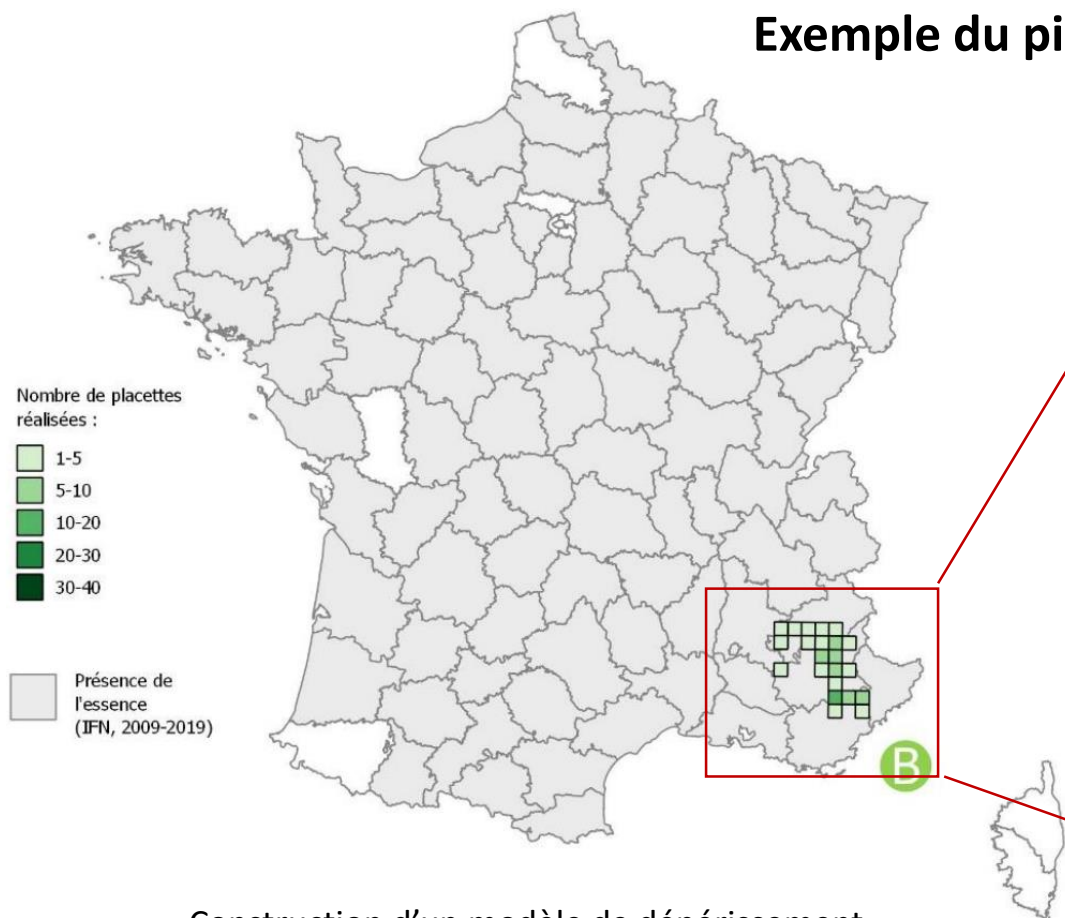
5

Construction du modèle de dépérissement
(«expliquant» le dépérissement observé)



Matériel, méthode

Exemple du pin sylvestre

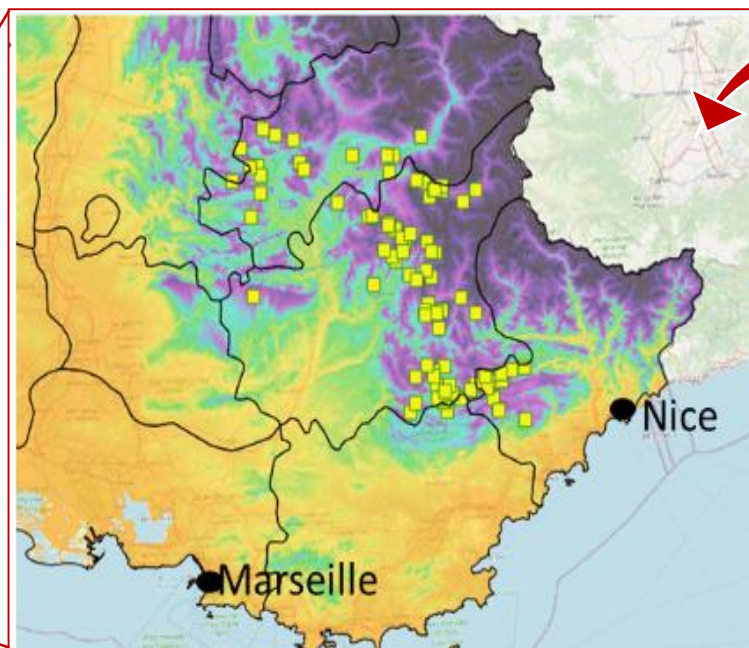


Plan d'échantillonnage

Échantillonnage stratifié selon gradients altitudinaux, topographiques et climatique (87 parcelles x 20 arbres = 1740 arbres observés)

Mesures de terrain

Relevés systématiques (description pédologique, topographique, sylvicole et sanitaire) selon protocoles standardisés



Altitude (m)

- 0
- 400
- 700
- 900
- 1 200
- 1 600
- 2 000
- 2 500
- 3 500

Construction d'un modèle de dépérissement

Echantillonnage de l'étude du dépérissement du Pin sylvestre en PACA

(BioClimSol © CNPF)



Matériel, méthode

Facteurs Biotiques

Gui
Processionnaire



© Müller et Stierlin (1990)

Facteurs Topo-édaphiques

Indices du MNT de l'IGN (TPI, TWI, ...)
Variables pédologiques

Facteurs climatiques

Données sources :
MétéoFrance,
AgroParisTech
= P, T, PET, ...

Facteurs sylvicoles

Diamètre
Hauteur
Densité
Surface terrière
...

**Y = Niveau de
dépérissement**

- XDEF : Déficit Foliaire (en %)
- XSTEM50 : proportion (en %) de tiges de plus de 50% de déficit foliaire
- $XSTEM50 \geq 20\%$: Probabilité d'observer plus de 20% de tiges dépérissantes (modèle binaire = risque)

**= fonction de plusieurs
facteurs**

**Biotiques x climatiques x
Topographiques x Édaphiques x
Sylvicoles**

**X = variables testées
(99)**



Matériel, méthode

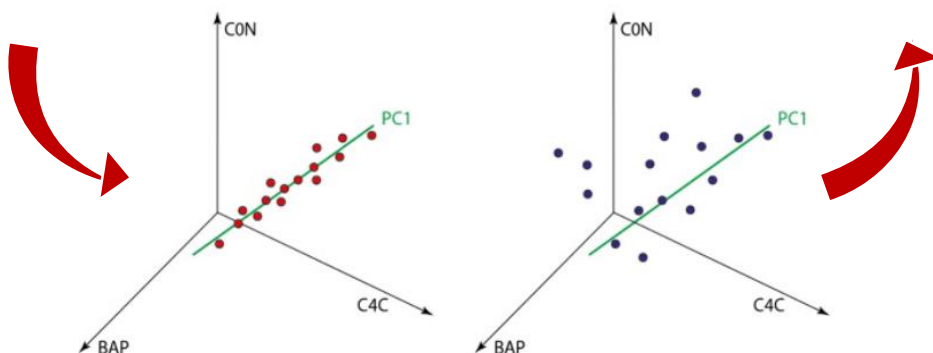
À partir des études de terrain = Régressions statistiques pour identifier et pondérer les variables explicatives des dépérissements observés

X

Variables biotiques
Climatique, sol,
topographie,
dendrométrie

Y

X_tiges_50%
Def fol %
Xtiges50%≥20% =1



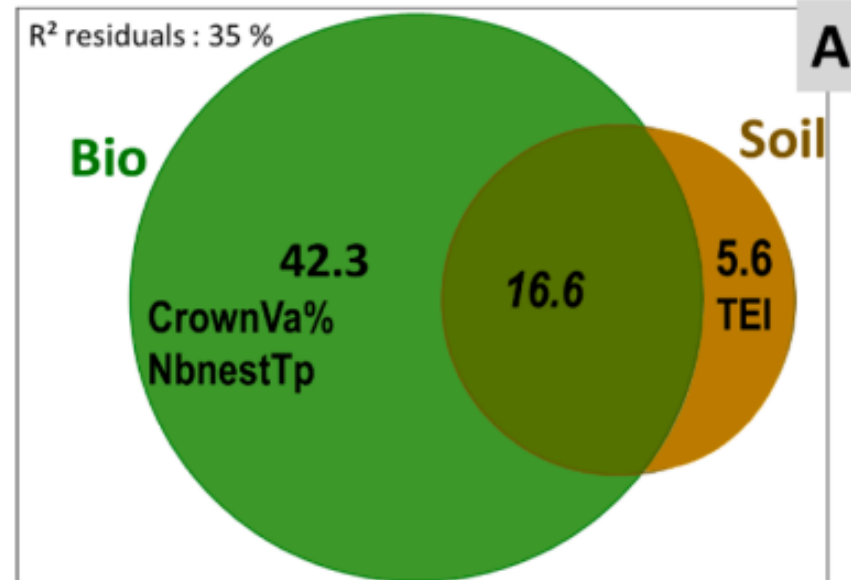
$$Y = \mu + \sum_{h=1}^n ch th + \epsilon$$

© Mudge 2015

Régression PAR PLS

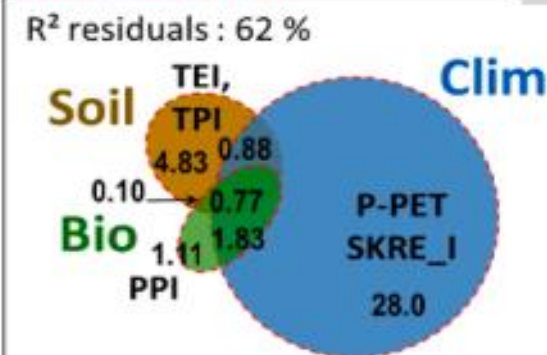
(PlsRGLM Bastien et al 2005)

La régression des moindres carrés partiels WOLD 1983 ;
régression PLS = « **Partial Least Squares regression** »
et/ou « **Projection to Latent Structure** ».



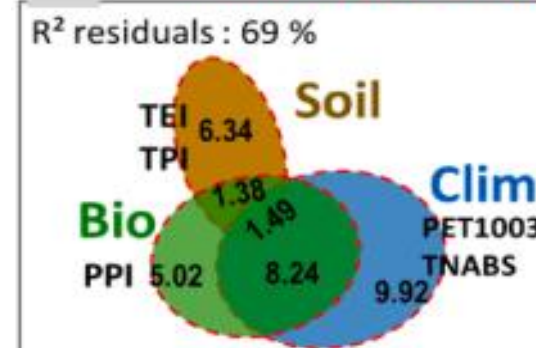
Biotic Index potential colonization index of *Valbum CIVA*

B



Biotic Index potential colonization index of *T.pityocampa*

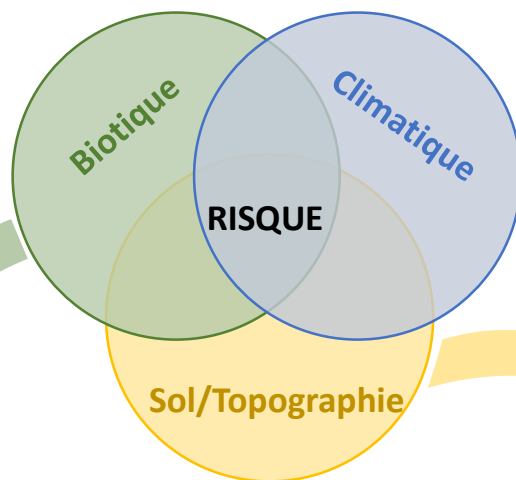
C



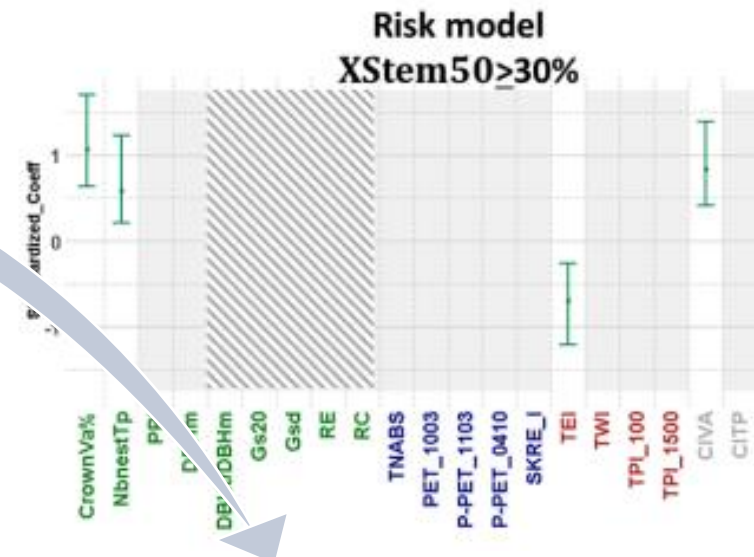
Fonctionnement



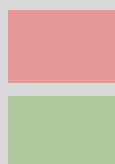
© Photos – CNPF



Exemple du Pin sylvestre



$$\text{Niveau de Risque} = a * \% \text{ gui sur le terrain} + b * \text{nid des chenilles processionnaires sur le terrain} - c * \text{ITE} + d * \text{TPI} + e * \text{PPI} - f * \text{P-ETP} + g * \text{TM07} + h * \text{TM01}$$



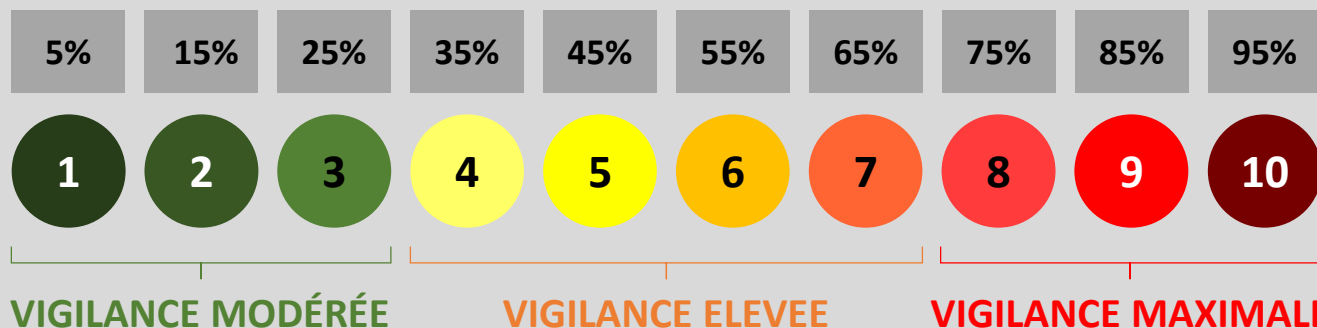
Facteurs d'intérêt négatif

Facteurs d'intérêt positif

= probabilités de rencontrer un dépérissement*

= Indice BCS ou « note de vigilance »

= classes de vigilance

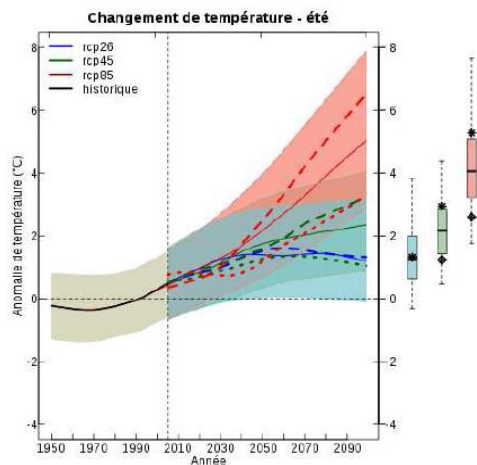


NB : la note de vigilance est harmonisée pour toutes les essences pour « détecter » un même niveau de dépérissement

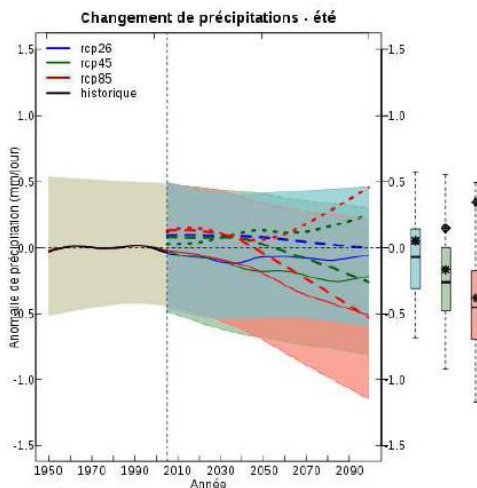
Probabilité d'observer au moins 20 % des tiges dominantes dépérissantes* au sein de la placette diagnostiquée en fonction des paramètres biotiques, climatiques, de sol et sylvicoles = **Niveau de risque** (Nageleisen, 2018)



Fonctionnement



Températures maximales
estivales (°C)



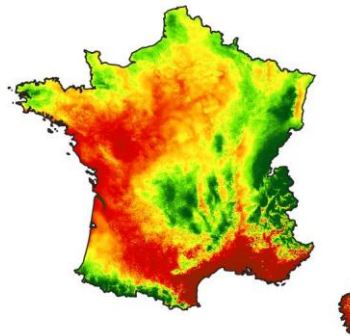
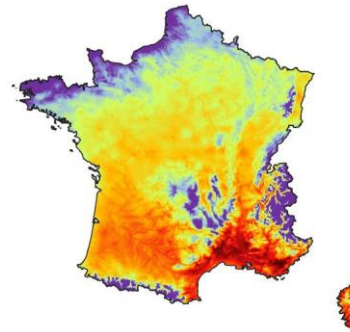
Réccurrence d'années sèches
pour le sapin pectiné (%)



Carte de vigilance climatique
BioClimSol

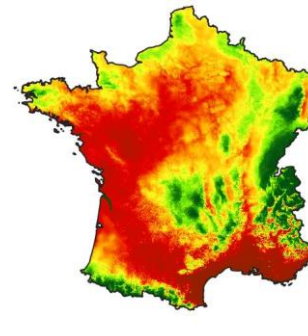
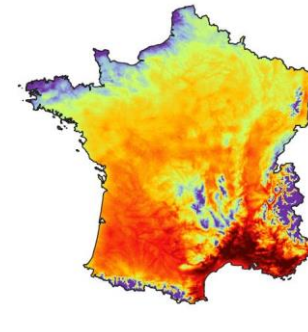
Climat moyen

modèles sur 30 années
(1991-2020)

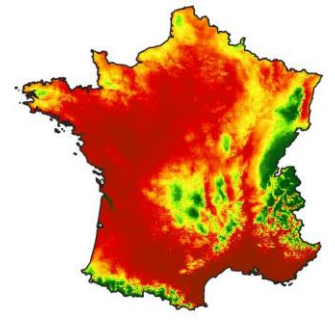
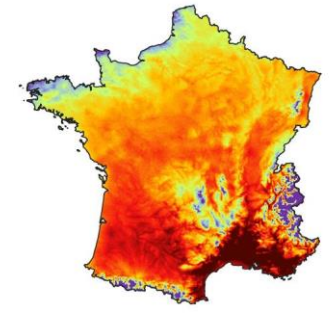


Climats futurs (projetés)

(+1°C en moyenne)



(+2°C en moyenne)



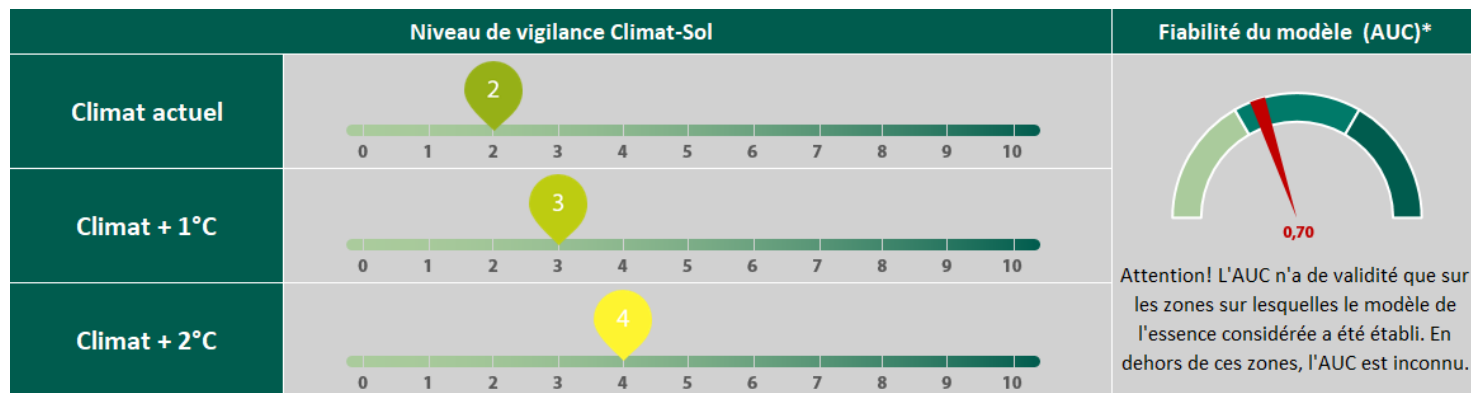
© Source : Météo France

© Source : GIEC (2014)

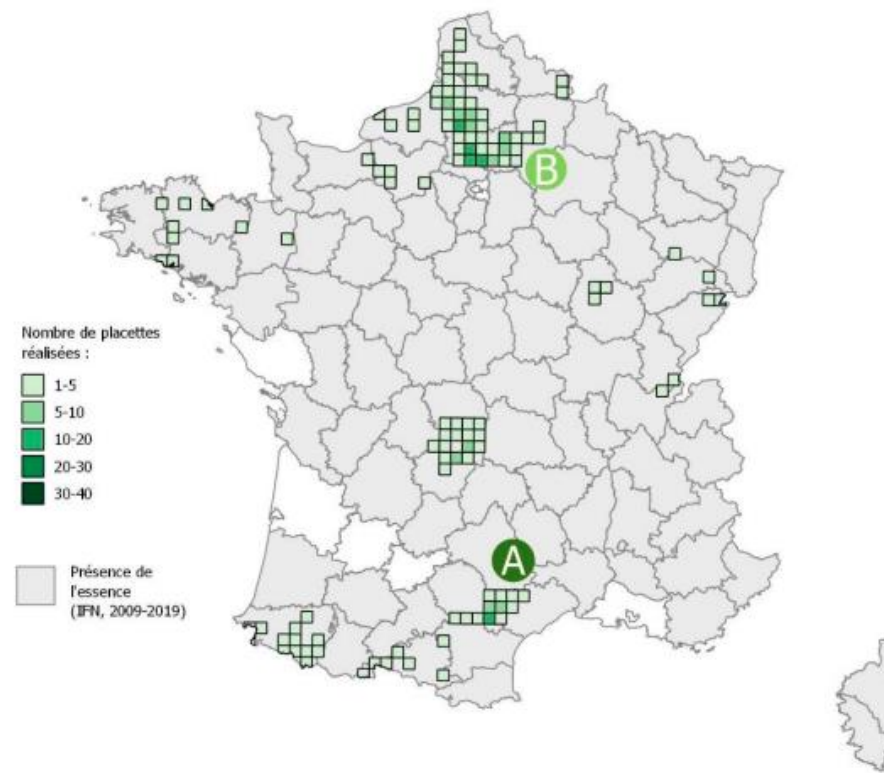


Conclusions sur la méthode

- La modélisation des dépérissements est possible avec un **bonne précision**, bien que cela nécessite la prise en compte d'un **nombre important de variables** et donc des **bases de données très consistantes**.
- Les **facteurs biotiques** et de **sols** ont une grande importance dans les mécanismes en jeu et le climat n'explique pas tout!
- Le **particularisme** des phénomènes de dépérissement ne permet bien souvent d'obtenir qu'une **validité régionale** des modèles et requiert une calibration sur plusieurs régions pour une même essence.



Hêtre



Application mobile Foreccast® by BioClimSol

AVANT L'UTILISATION DE L'OUTIL

ÉTAPE 0

Je m'inscris à une formation qualifiante proposée par le CNPF-IDF qui me permet de télécharger l'application et obtenir une licence nominative d'utilisation

BUREAU ÉTAPE 1

Je télécharge les données nécessaires au fonctionnement de l'application

TERRAIN ÉTAPE 2

Je me géolocalise avec une tablette ou un smartphone adapté à l'application.

TERRAIN ÉTAPE 3

Je saisis les données de terrain dans les formulaires de l'outil

TERRAIN ÉTAPE 4

Je consulte les données climatique et définis l'objectif de mon diagnostic

TERRAIN ÉTAPE 5

Je consulte les résultats par essences

BUREAU ÉTAPE 6

J'exporte (et je partage) les données enregistrées de mes projets Je génère le compte-rendu de mes diagnostics et édite les recommandations sylvicoles

BUREAU ÉTAPE 7

Je consulte les recommandations de gestion



SYNTHÈSE TECHNIQUE

Notice de fonctionnement et d'utilisation

Bien comprendre l'outil de vigilance BioClimSol pour réaliser un diagnostic de qualité en forêt.

Version 2 - 19 septembre 2022

REPUBLIQUE FRANÇAISE
CNPF
Centre National de la Propriété Forestière
à vos côtés, agir pour les forêts

PROFIL PÉDOLOGIQUE

Horizon	Epaisseur	Texture	%EG	Efferv	Hydro
1	35	LmS	5	non	0

AJOUTER UN HORIZON >

Essences avec IBS

	Actuel	+1°C	+2°C
Douglas vert	3	5	4
Hêtre commun	3	4	5
Sapin pectiné	4	5	5

Essences sans IBS

	Actuel	+1°C	+2°C
Sapin de Nordmann			

RECOMMANDATIONS de GESTION BioClimSol**
MODULE PEUPLEMENT sur PIED

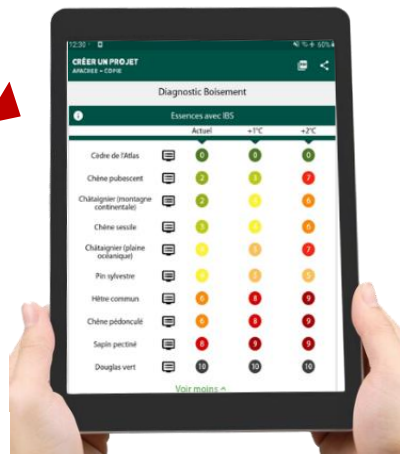
NIVEAU DE VIGILANCE Indice BioClimSol (BS) +1°C Horizon 2013-45	ETAT SANITAIRE du peuplement*	PEUPLEMENT proche du TERME D'EXPLOITABILITÉ (défini par les SRS)	
MAXIMALE ou ÉLEVÉE Vigilance 4 (sur 10)	TRES STRESSÉ ou DÉPÉRISSENT	OUI	Peuplement mature présentant des signes de dépérissement en zone de vigilance maximale ou élevée - Programmer dans un délai assez court la récolte du peuplement. - Ne pas renouveler en plein l'essence principale, favoriser les peuplements mélangés. - Reboiser et/ou favoriser la régénération naturelle avec une ou plusieurs essences adaptées proposées par BioClimSol.
		NON	Peuplement non mature ou irrégulier présentant des signes de dépérissement en zone de vigilance maximale ou élevée - Suivi de l'état sanitaire une fois par an maximum. - Évaluer niveau de résilience du peuplement (ARCHI) après un délai lui permettant de s'exprimer (en moyenne 2 à 5 ans). A) Si la résilience est suffisante (voir TYPOLOGIE) - Favoriser les tiges résilientes ou saines de qualité lors des éclaircies, ainsi que le mélange des essences (éclaircies, enrichissement). - Éclaircies douces et fréquentes pour raccourcir le terme d'exploitabilité et favoriser la résilience. B) Si la résilience est insuffisante (voir TYPOLOGIE) Selon le contexte local et l'essence principale, raccourcir le terme d'exploitabilité : - soit, en pratiquant des éclaircies pour abaisser la concurrence et tenter de favoriser la résilience ; - soit, ne pas éclaircir et récolter plus ou moins précocement selon la réaction du peuplement.
MAXIMALE ou ÉLEVÉE Vigilance 4 (sur 10)	PEU STRESSÉ ou SAIN	OUI	Peuplement mature présentant peu ou pas de signes de dépérissement en zone de vigilance maximale ou élevée - Suivi annuel de l'état sanitaire. - Favoriser le mélange et les tiges résilientes ou saines de qualité lors des derniers passages en éclaircie. - Ne pas renouveler uniquement l'essence principale, favoriser les peuplements mélangés. - Reboiser et/ou favoriser la régénération naturelle avec une ou plusieurs essences adaptées proposées par BioClimSol.
		NON	Peuplement non mature ou irrégulier présentant peu ou pas de signes de dépérissement en zone de vigilance maximale ou élevée - Suivi annuel de l'état sanitaire. - Éclaircies douces et fréquentes pour raccourcir le terme d'exploitabilité. - Favoriser le mélange et les tiges résilientes ou saines lors des éclaircies.



Valorisations

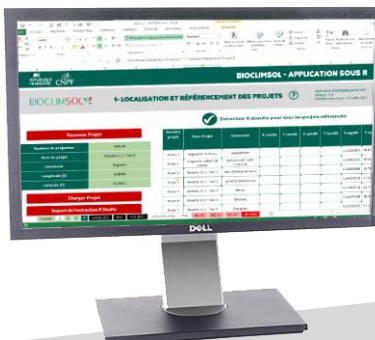
Gestionnaires forestiers

Application de terrain Foreccast®



Décideurs

BioClimSol sous SIG



Développeurs

BioClimSol sous R et Excel

Interfaces et produits d'expertise

- **Aide au diagnostic** sur le terrain au niveau de la parcelle, des potentialités, contraintes et effets compensateurs des stations, dans les contextes de climats présent et futurs.
- **Aide à la décision** pour le choix des essences proposant une lecture comparative du niveau de vigilance (selon risque de dépérissement et compatibilité écologique)
- **Outil de prescriptions** pour des itinéraires sylvicoles
- **Outil d'évaluation des risques** de dépérissement et d'incompatibilité des niches écologiques, selon les modèles climatiques les plus à jour.
- **Outil d'évaluation des risques** de dépérissement et d'incompatibilité des niches écologiques, selon les modèles climatiques les plus à jour.

Nombreuses possibilités de connexions et de valorisations de recherche!

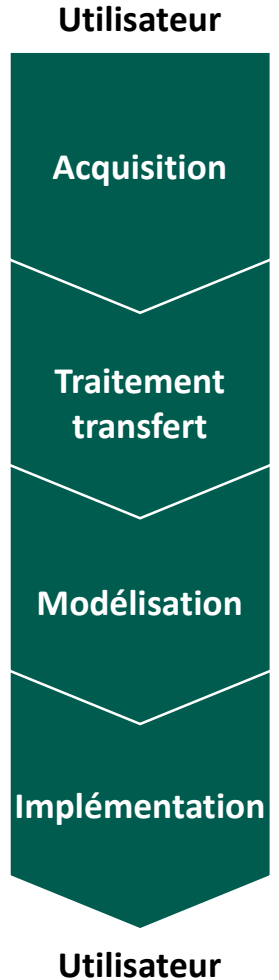
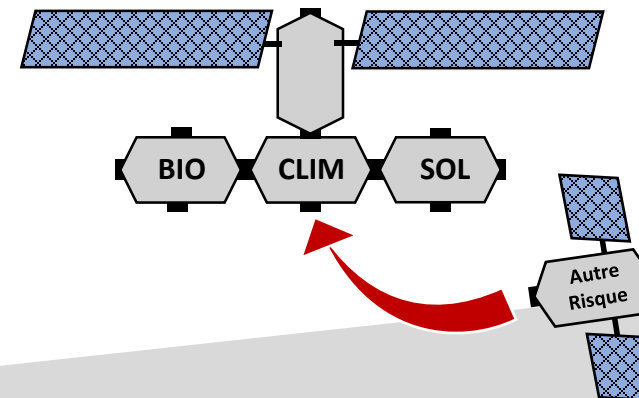
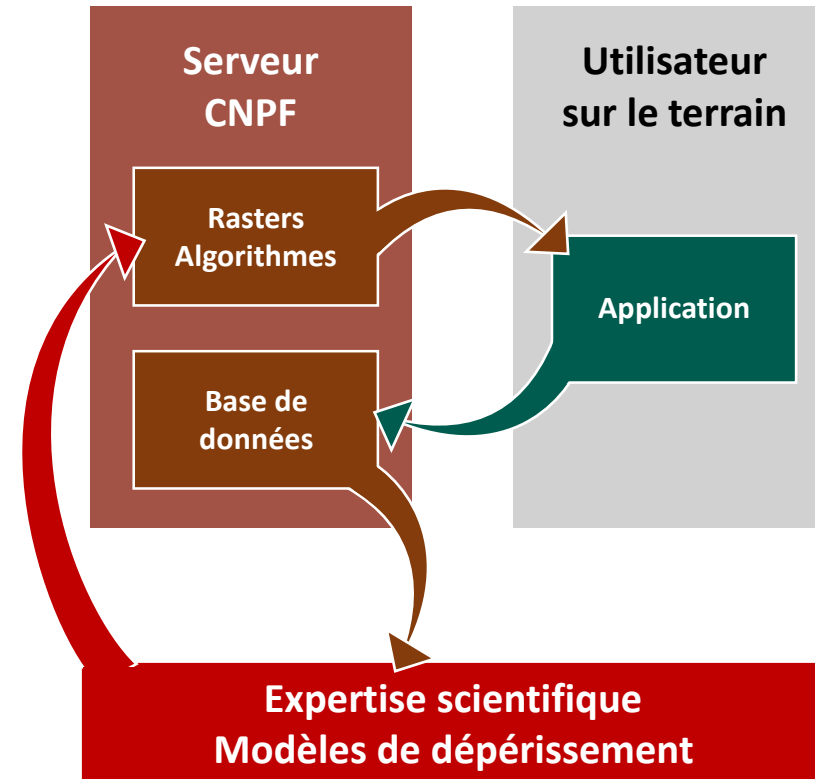


Perspectives, valorisations

Aujourd'hui:
500 utilisateurs
4700 diagnostics



- Interface de terrain pour une diagnostic à l'échelle de la parcelle
- Outil de recherche collaborative
- Modèles et algorithmes en amélioration constante (principe d'apprentissage des modèles par les données de terrain)
- Conception modulaire = très nombreuses possibilités d'évolutions de l'expertise scientifique (autres dimensions du risque...)



Contacts scientifiques



Thèse en cours – Jean Lemaire (IDF)
Encadrement INRAe UMR RECOVER Aix en Provence

Directeur : **Bernard Prévosto**

Co-directeurs : **Maxime Cailleret** et **Michel Vennetier**

Autres membres du **Comité de thèse**

Bernard Boutte Département de la Santé des Forêts

Frédéric Guibal Institut Méditerranéen de Biodiversité et d'Ecologie marine et continentale

Christian Piedallu AgroParisTech Nancy UMR Silva



INRAe

Aix-Marseille
université
Initiative d'excellence



Prix 2021 LIFE AWARDS



Prix du public 2022 ITA INNOV



ACTIA



Plus d'informations

Première publication scientifique – Forest Ecology & Management
(Lemaire *et al.* 2022)

<https://doi.org/10.1016/j.foreco.2022.120543>



Contents lists available at [ScienceDirect](#)

Forest Ecology and Management

journal homepage: www.elsevier.com/locate/foreco



Interactive effects of abiotic factors and biotic agents on Scots pine dieback:
A multivariate modeling approach in southeast France

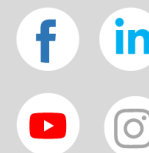
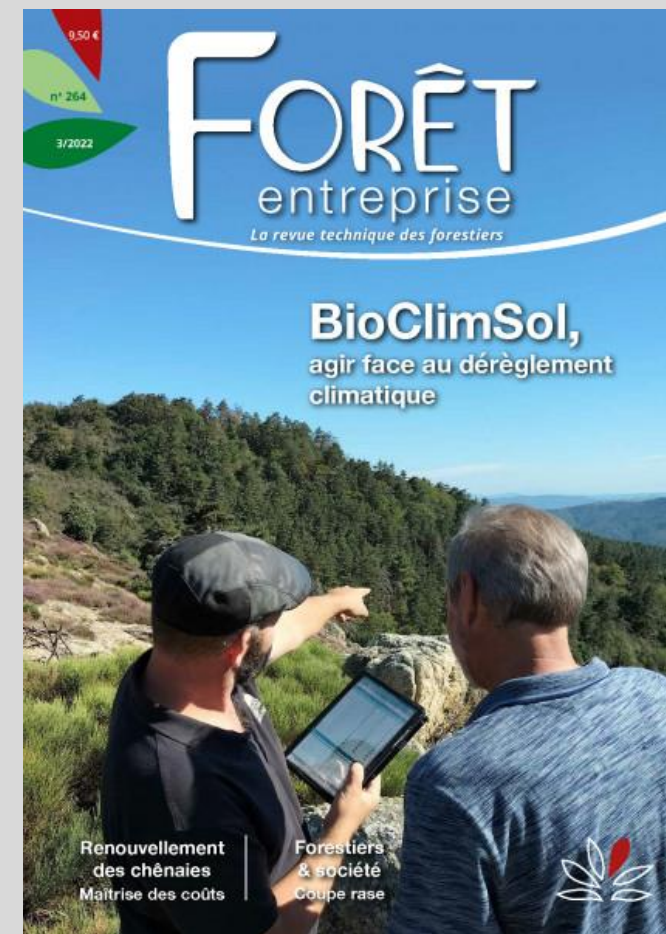
Jean Lemaire^{a,*}, Michel Venetier^b, Bernard Prévosto^b, Maxime Cailleret^b

^a Centre National de la Propriété Forestière, Institut pour le Développement Forestier, Aix-Marseille Université, 175 cours Lafayette, F-69006 Lyon, France

^b INRAE, Aix-Marseille University, UMR RECOVER, 3275 route de Cézanne, CS 40061, F- 13182 Aix-en-Provence Cedex 5, France

Retrouvez de nombreuses informations et offres d'accès à l'utilisation de l'outil sur
les sites internet, publications et réseaux sociaux du CNPF et de la forêt privée

www.cnpf.fr/bioclimsol



www.cnpf.fr



BIOCLIMSOL



*Agir, s'adapter et anticiper les effets du changement climatique...
...un enjeu, un défi, une nécessité !*

Merci de votre attention!

