

Evaluation et atténuation des risques multiples en forêts de plantation (MULTIRISKS)

Céline MEREDIEU¹ (INRA) en collaboration avec Thierry LABBE¹, Marielle BRUNETTE², Sylvain CAURLA², Hervé JACTEL³

La question des interactions entre aléas forestiers modifiés par les changements climatiques est l'objet d'une inquiétude croissante de la part des propriétaires forestiers. En effet, il est attendu que les impacts de ces aléas soient supérieurs à leur simple addition en raison d'effets de synergie. Ainsi, les chablis causés par les tempêtes peuvent être plus abondants dans les peuplements fragilisés par des pourridiés racinaires, entraînant à leur tour des pullulations d'insectes.

L'objectif du projet MULTIRISKS est d'analyser les impacts bioéconomiques des interactions entre aléas sur la ressource forestière et d'identifier des itinéraires sylvicoles permettant de les atténuer simultanément. Pour cela, le projet s'est focalisé sur la filière pin maritime en Aquitaine. Des simulations seront réalisées à l'aide du modèle *Pinuspinaster* développé sur la plateforme Capsis pour évaluer les impacts de deux aléas en interaction : les attaques de fomes (*Heterobasidion annosum s.s.*), et les infestations de processionnaire du pin. Le résultat des simulations avec un calcul de l'impact des infestations de processionnaires indiquent que les pertes de production relatives (comparativement au même peuplement indemne d'attaques de processionnaire du pin) en surface terrière varient de 0.2% (défoliations médianes de 9%) à 11% (pour les 5% de peuplements les plus défoliés, à 52% de défoliations). Une variable clé d'ajustement des simulations est la gestion de la densité via les éclaircies. En effet, des simulations intégrant des niveaux de fertilité et des régimes d'éclaircie variables montrent des interactions particulières entre option de gestion et niveau d'impact de l'aléa.

Les pertes de production consécutives à la réalisation de l'aléa affectent le volume sur pied qui constitue la variable d'entrée du modèle de filière forêt-bois développé au BETA (FFSM, French Forest Sector Model). Il est ainsi possible d'analyser l'impact de ces aléas sur la filière pin maritime en Aquitaine

via différentes variables telles que l'évolution des volumes, des prix, des surplus et du bilan carbone. L'impact sur d'autres régions peut également être étudié.

Détail auteurs :

¹ INRA, UE UEFP, 33612 CESTAS cedex

² INRA, UMR BETA, 54042 NANCY Cedex

³ INRA, UMR BIOGECO, 33612 CESTAS cedex

Évaluation et atténuation des risques multiples en forêts de plantation Projet MULTIRISKS

C. Meredieu ¹, T. Labbé ¹, M. Brunette ², S. Caurla ², H. Jactel ³

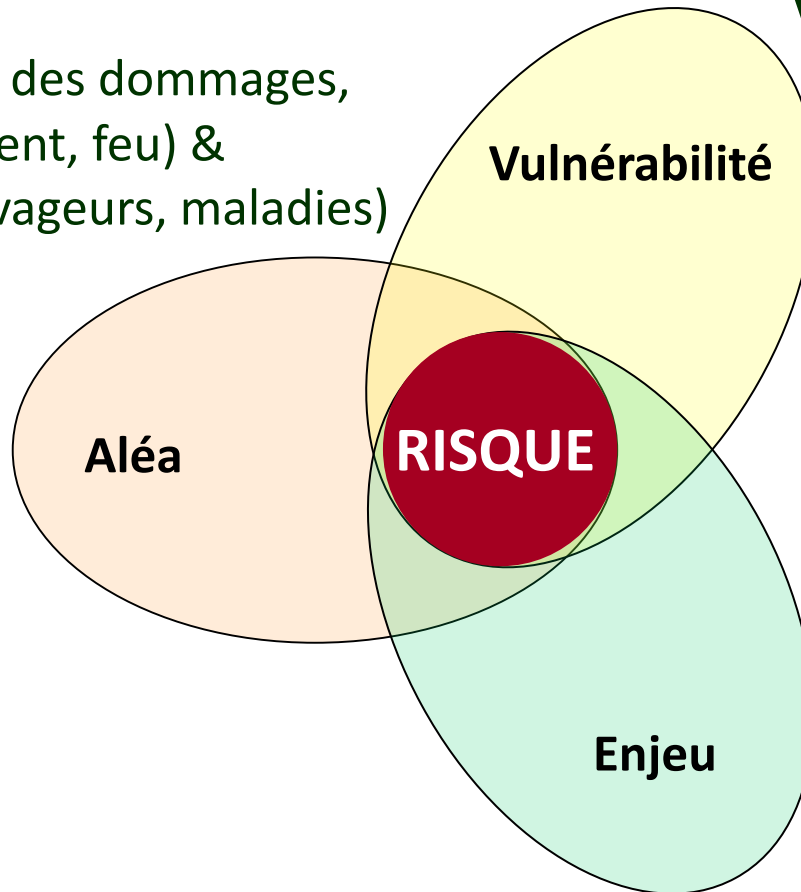


Coordination : Hervé Jactel, INRA



Définition du risque

Aléa = cause des dommages,
abiotiques (vent, feu) &
biotiques (ravageurs, maladies)



Vulnérabilité = sensibilité des
arbres ou du peuplement
aux aléas, se traduisant par
des dommages

Enjeu
= conséquences socio-
économique des dommages,
fonction de la valeur sur pied
/ usages

Risque = Aléa (probabilité, sévérité) x Vulnérabilité (niveau) x Enjeu (valeur)

Quels aléas ?



ICP Forest réseau 16 x 16

Les fortes tempêtes provoquent de graves perturbations et des impacts sur les forêts européennes. Depuis 1950, plus de 130 tempêtes ont été identifiées (Gardiner et al., 2010), entraînant une perte de 35 millions de m³ (Schelhaas et al., 2003).

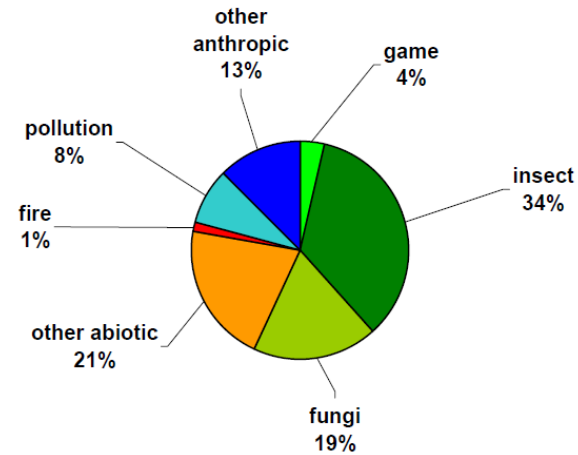


Figure 5 Proportion of damage causes ($\Sigma \% = 100$) in the 26 tree species, in European forests during the 1994-2005 period of time. (In green the biotic causes, in orange the abiotic causes, in blue the anthropic causes of damage)

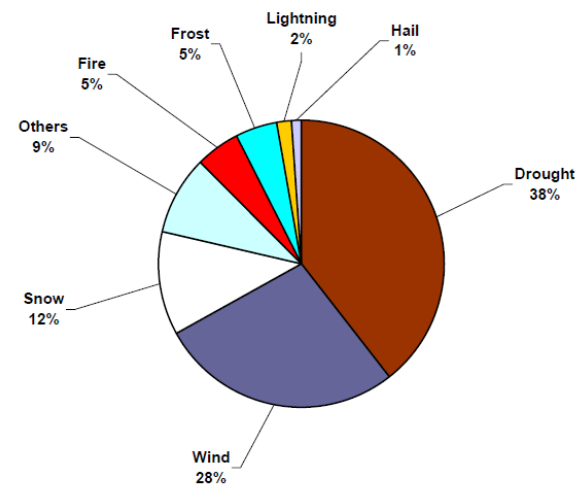
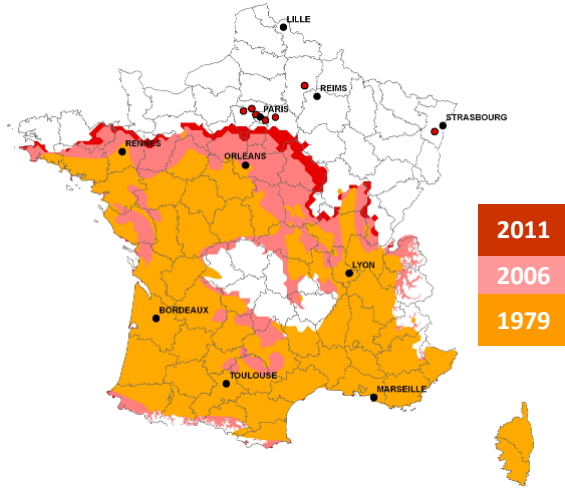


Figure 11 Proportion of damaged trees by different types of abiotic causes in 2005

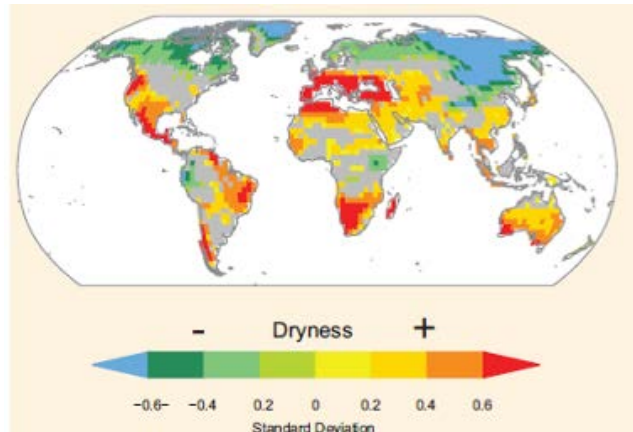
Augmentation des risques sanitaires en forêt avec le changement climatique

↗ températures : pullulations, expansions des populations



Processionnaire du pin

↗ sécheresses: aggravation des dommages



Global Change Biology

Global Change Biology (2012) 18, 267–276, doi: 10.1111/j.1365-2486.2011.02512.x

Drought effects on damage by forest insects and pathogens: a meta-analysis

HERVÉ JACTEL*, JÉRÔME PETIT†, MARIE-LAURE DESPREZ-LOUSTAU*, SYLVAIN DELZON*, DOMINIQUE PIOU‡, ANDREA BATTISTI§ and JULIA KORICHEVA¶

Interactions entre risques biotiques et abiotiques

- Pullulations de scolytes post-tempêtes

Global Change Biology (2003) 9, 1620–1633, doi: 10.1046/j.1529-8817.2003.00684.x

Natural disturbances in the European forests in the 19th and 20th centuries

MART-JAN SCHELHAAS*†, GERT-JAN NABUURS*† and ANDREAS SCHUCK†

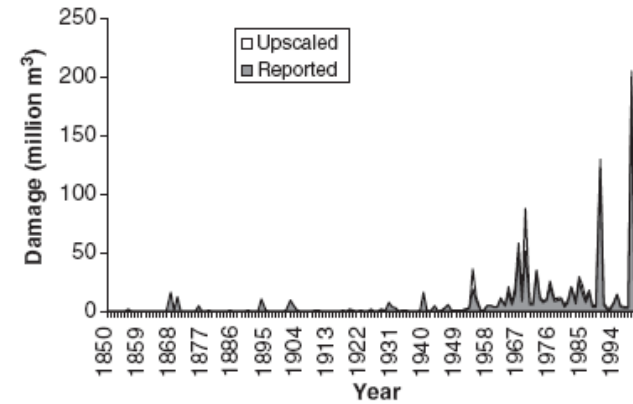


Fig. 5 Volumes of wood damaged by storms as reported in European countries for 1850–2000 and as scaled up for total Europe for 1950–2000.

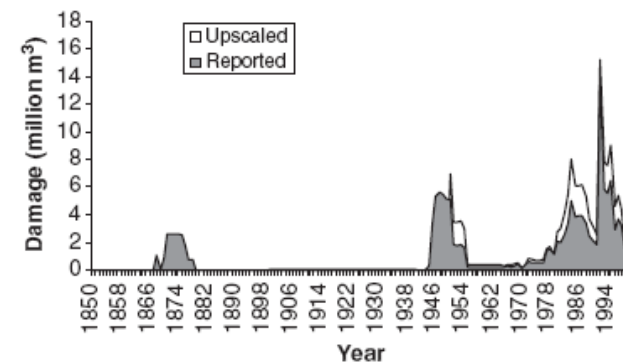


Fig. 8 Volumes of wood damaged by bark beetles, as reported in European countries for 1850–2000 and as scaled up for total Europe for 1950–2000.

La vulnérabilité des forêts peut être atténuée par la sylviculture

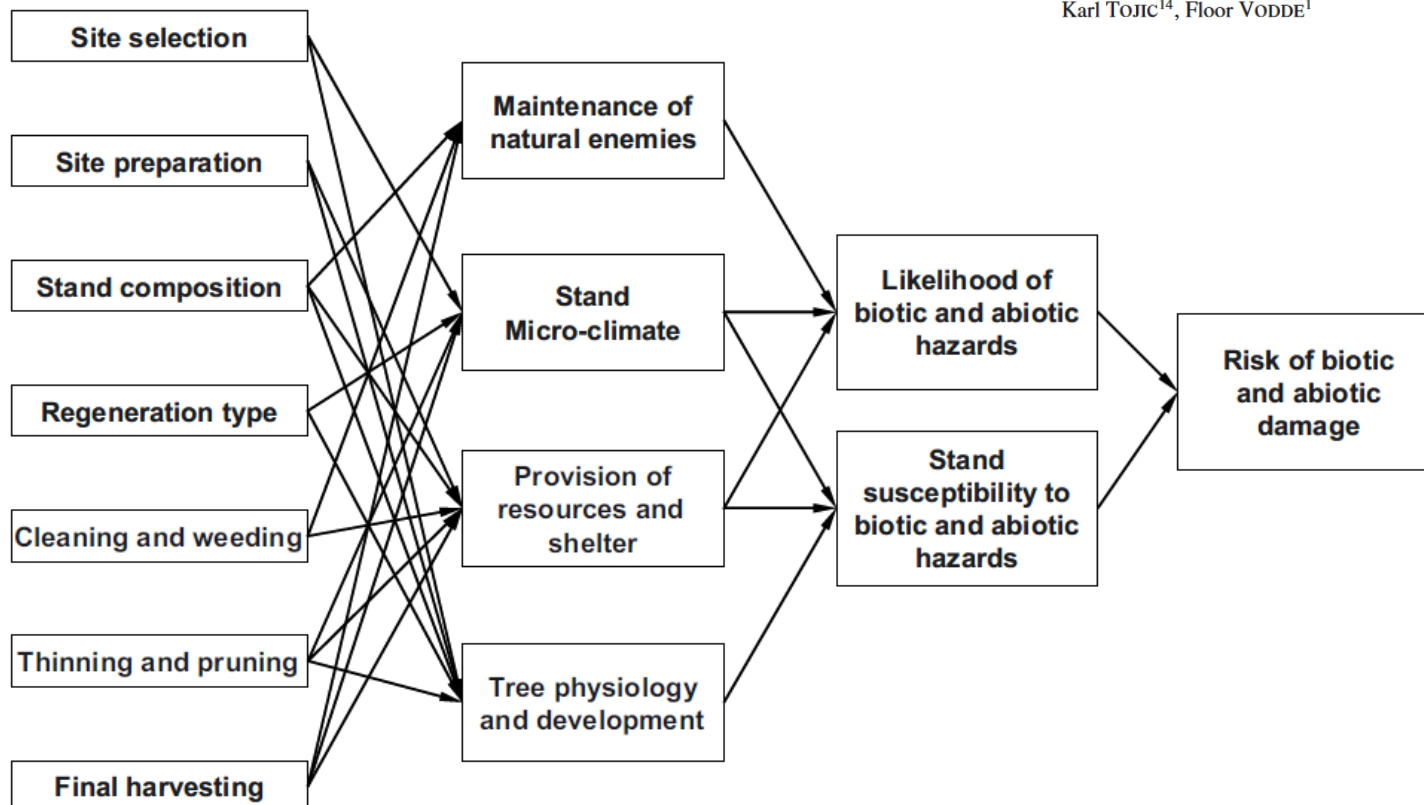
Ann. For. Sci. 66 (2009) 701
 © INRA, EDP Sciences, 2009
 DOI: 10.1051/forest/2009054

Available online at:
www.afs-journal.org

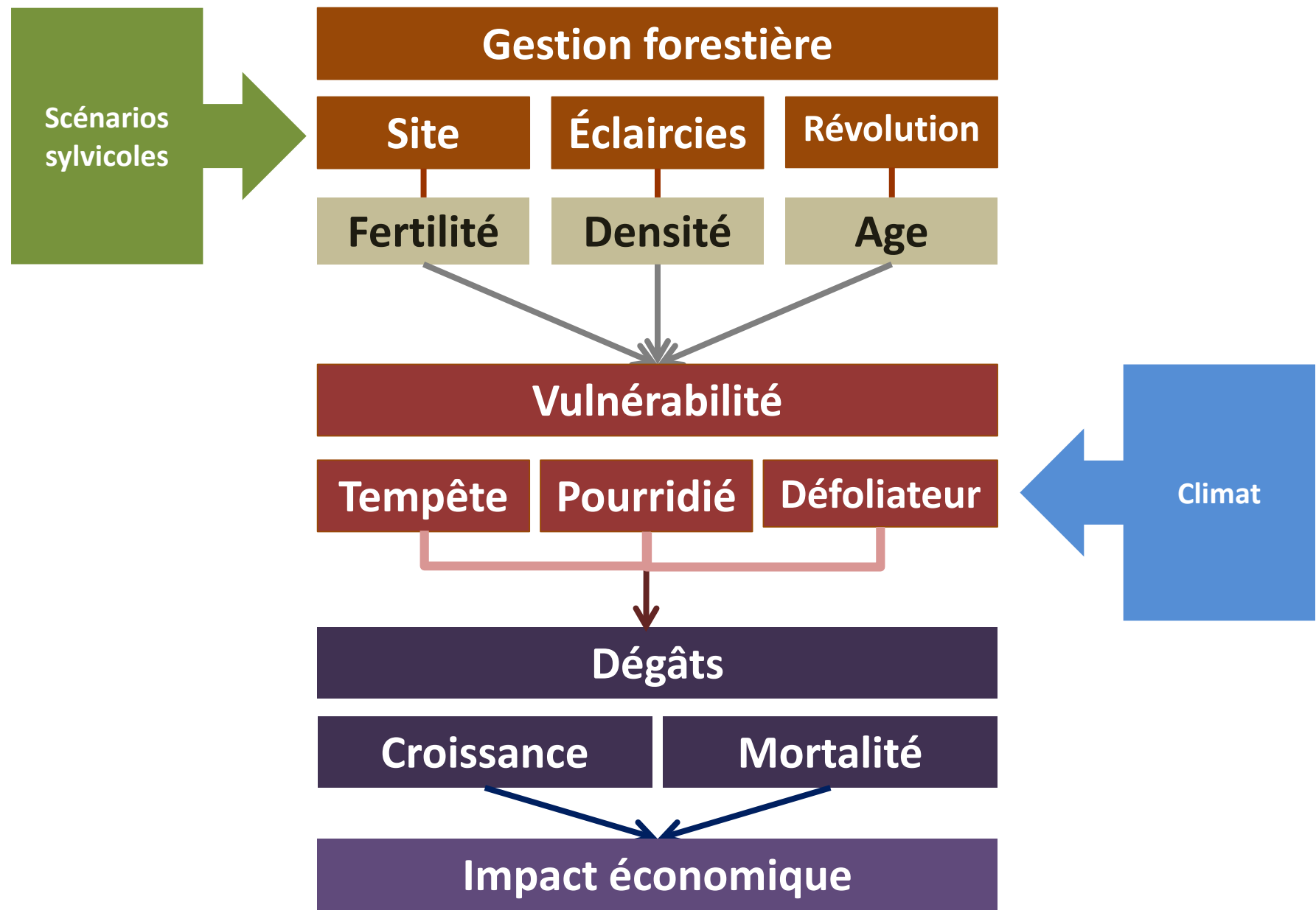
Review article

The influences of forest stand management on biotic and abiotic risks of damage

Hervé JACTEL^{1*}, Bruce C. NICOLL², Manuela BRANCO³, José Ramon GONZALEZ-OLABARRIA^{4,5},
 Wojciech GRODZKI⁶, Bo LÄNGSTRÖM⁷, Francisco MOREIRA⁸, Sigrid NETHERER⁹,
 Christophe ORAZIO^{1,10,11}, Dominique PIOU¹², Helena SANTOS³, Mart Jan SCHELHAAS¹³,
 Karl TOJIC¹⁴, Floor VODDE¹



Concept du projet MULTIRISKS



Modèle de croissance *pinuspinaster*, implémenté sous CAPSIS



Capsis 4 1.5 - [untitled]

File Edit View Project Tools Window Help

Name: pp3 - Model: PP3 - 5 ha - All in memory - Virtual stand

12a — 20a — 30a — 40a — 50a — 60a

*20b — 30b — 40b — 50b — 60b

Name: laricio - Model: Pin laricio - 5 ha - All in memory - virtual stand

15a — 20a — 30a — 40a — 50a — 60a — 70a — 80a

*15b — 20b — 30b — 40b — 50b — 60b — 70b — 80b

Girth / Time

pp3.60a - Tree 78
pp3.60b - Tree 78
laricio.80a - Tree 79

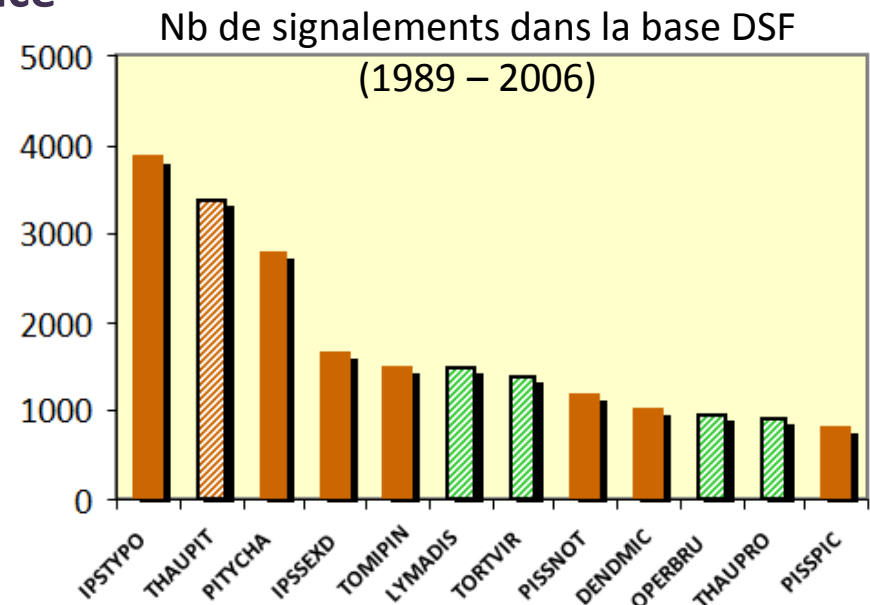
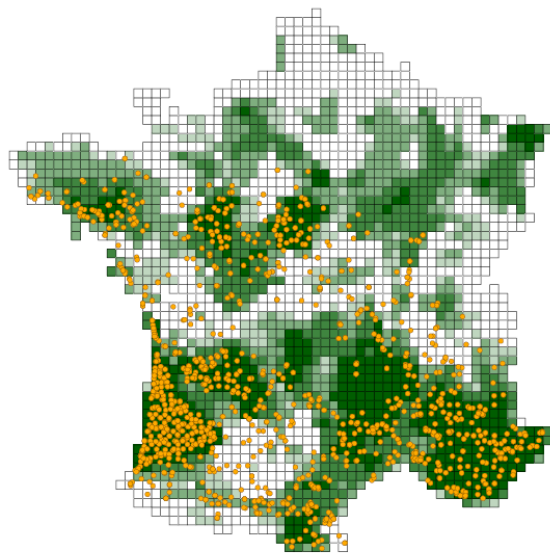
Height (m)

Variable	Value
N	3709
G (m2)	271.52
V (m3)	3447.28
Dg (cm)	30.53
Ddom (cm)	35.78
Hg (m)	26.94
Hdom (m)	27.83
SHB (%)	14.18

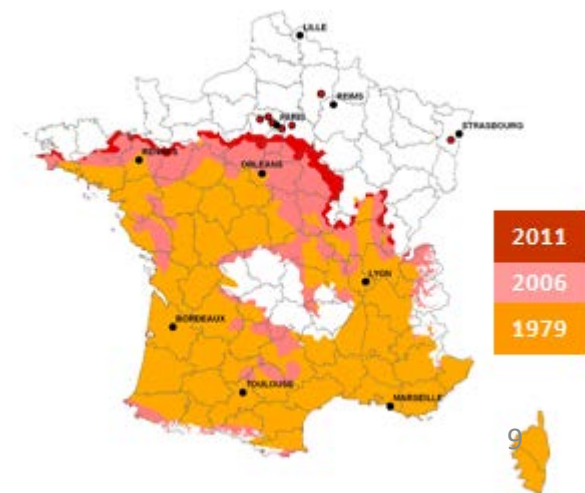
Updating selector for model pp3...

Processionnaire du pin = *Thaumetopoea pityocampa*

- l'insecte forestier le plus étudié en France

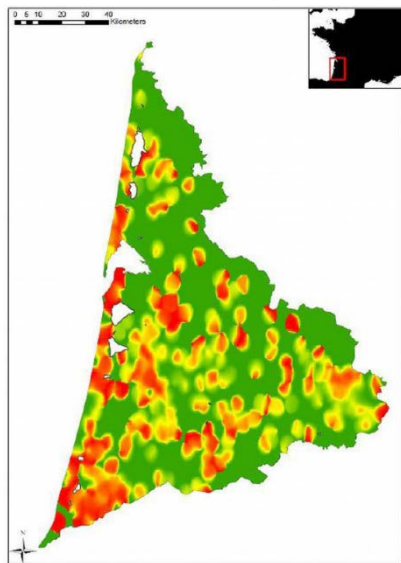


- pour au moins 3 (bonnes) raisons:
 - réponse au changement climatique
 - santé humaine / urtications
 - impact sur la santé / productivité des forêts



Fomes = *Heterobasidion annosum*

- Champignon racinaire pathogène des résineux



- Importance économique forte dans les forêts tempérées de l'hémisphère nord :
 - Pourrissement au coeur
 - Réduction de la croissance
 - Mortalité.
- Risque accru de mortalité pour les révolutions suivantes car maintien dans les souches
- Vulnérabilité accrue si vent fort car pourrissement des racines

Interactions

→ Entre insectes ravageurs et maladies

- Une infestation peut entraîner des **pertes de croissance** qui peuvent **accélérer la mortalité** par la maladie
- De façon réciproque la mortalité des arbres par le champignon peut modifier **la vulnérabilité des peuplements** à une infestation

Difficulté pour **prédire l'impact sur la ressource forestière** avec des données empiriques



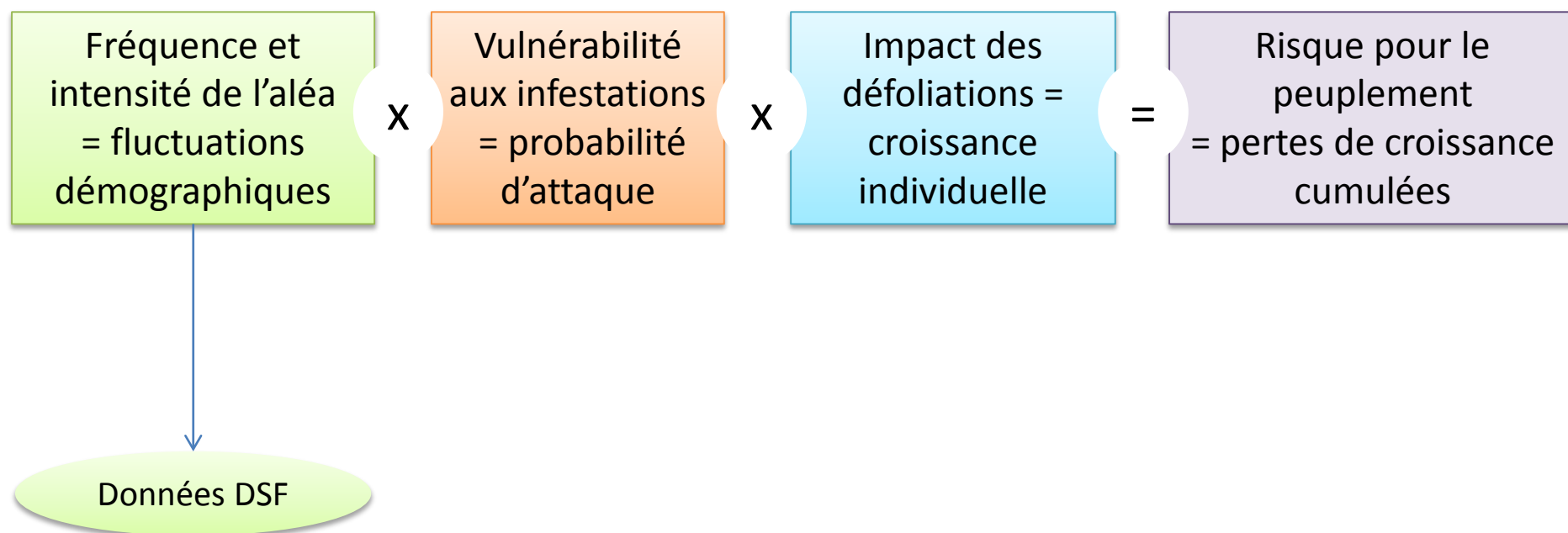
Intérêt accru de la **modélisation** pour l'évaluation de risques multiples



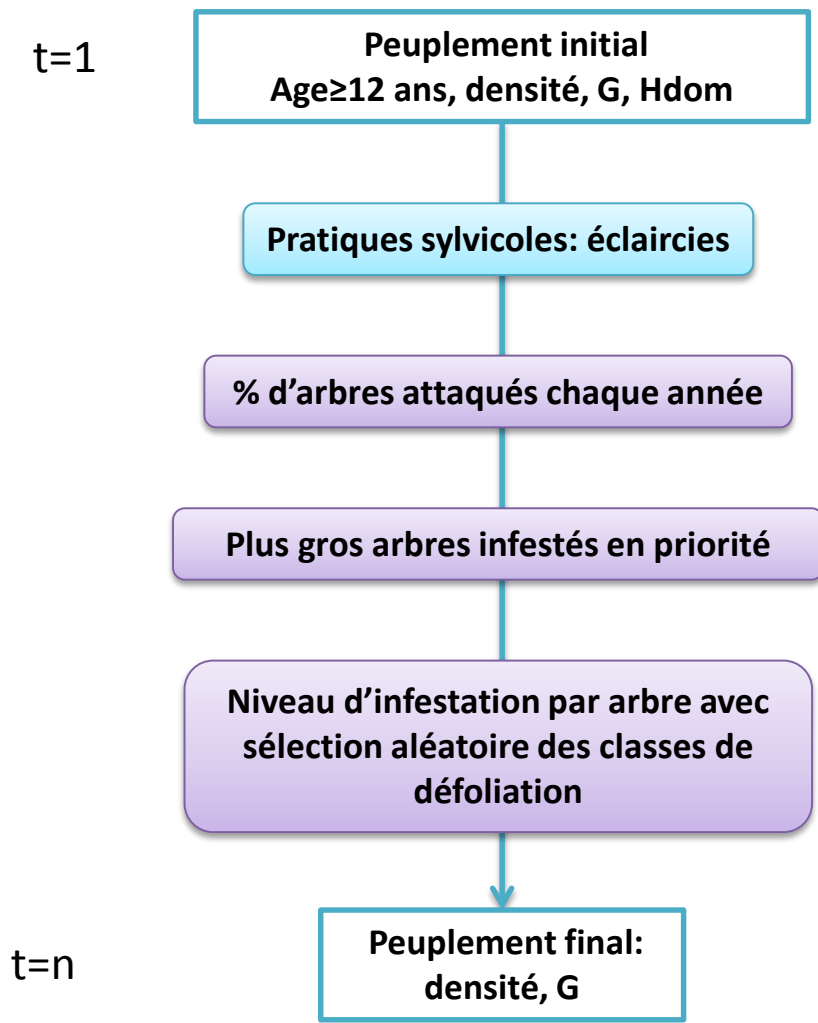
Defoliation par la processionnaire en hiver
(Photo: INRA, I. van Halder)

Modélisation des effets de la défoliation sur la croissance individuelle

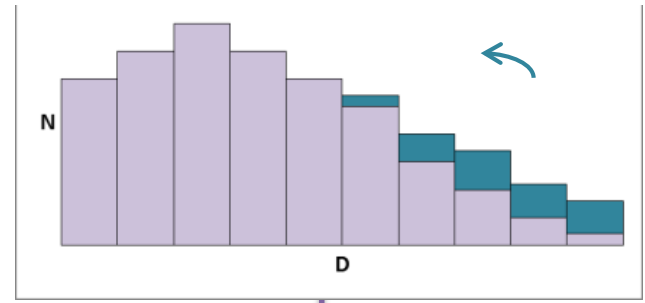
- pour simuler l'impact des défoliations chroniques
- sur la durée d'une révolution
- à l'échelle du peuplement



Intégration échelle
peuplement
= pertes de croissance
cumulées

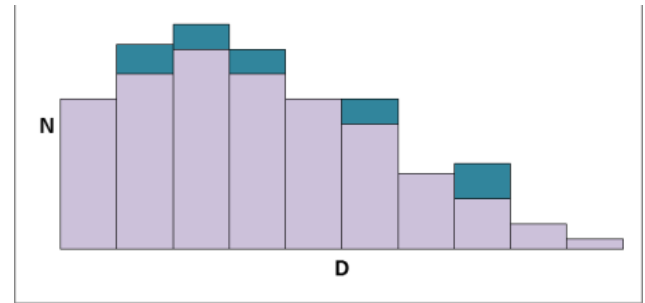


Distribution effectifs classes de D (t=1)

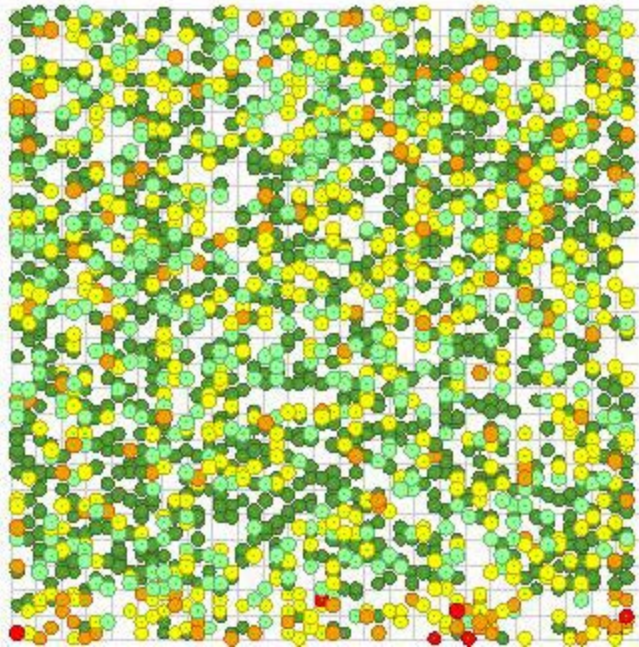


$$D_2 = D_1 + \text{gain âge} - \text{perte défoliation}$$

Distribution effectifs classe de D (t=2)

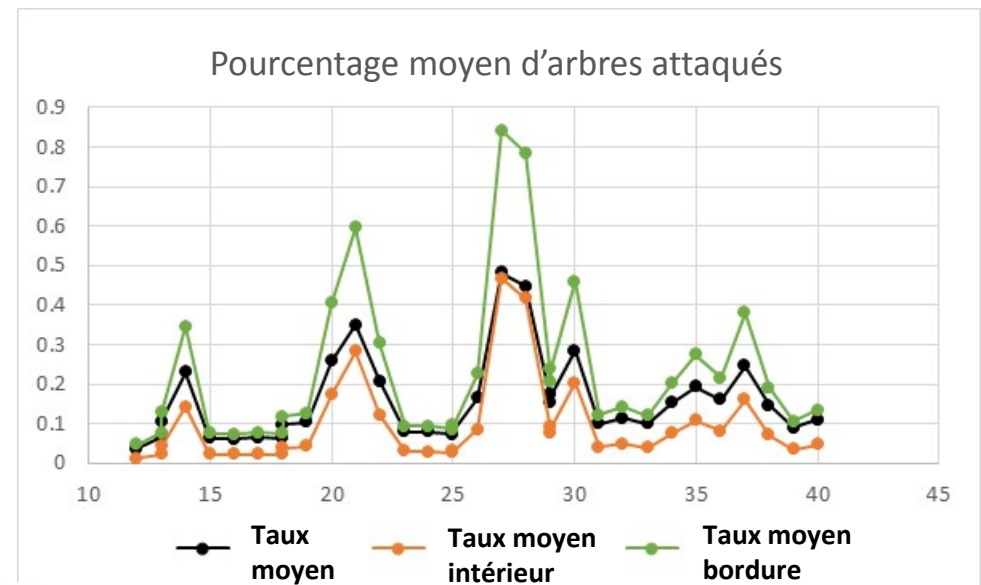
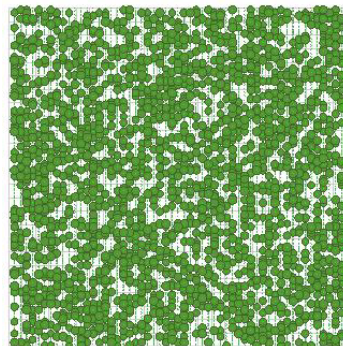


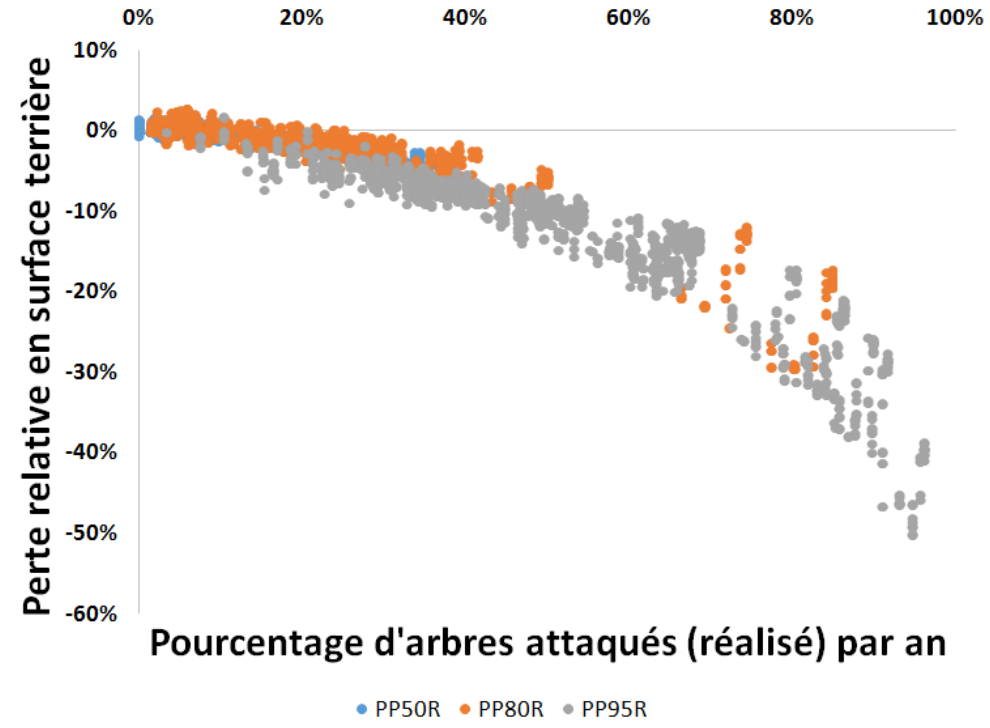
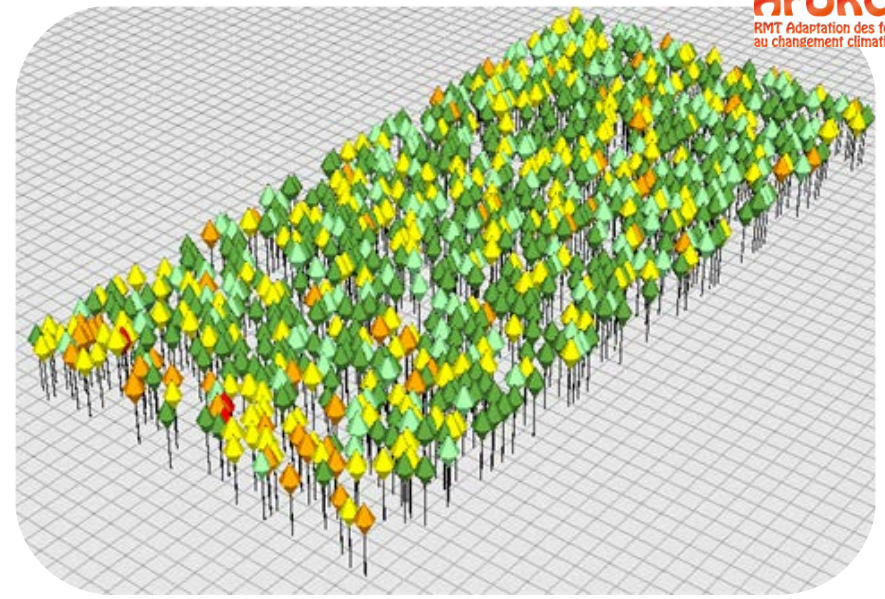
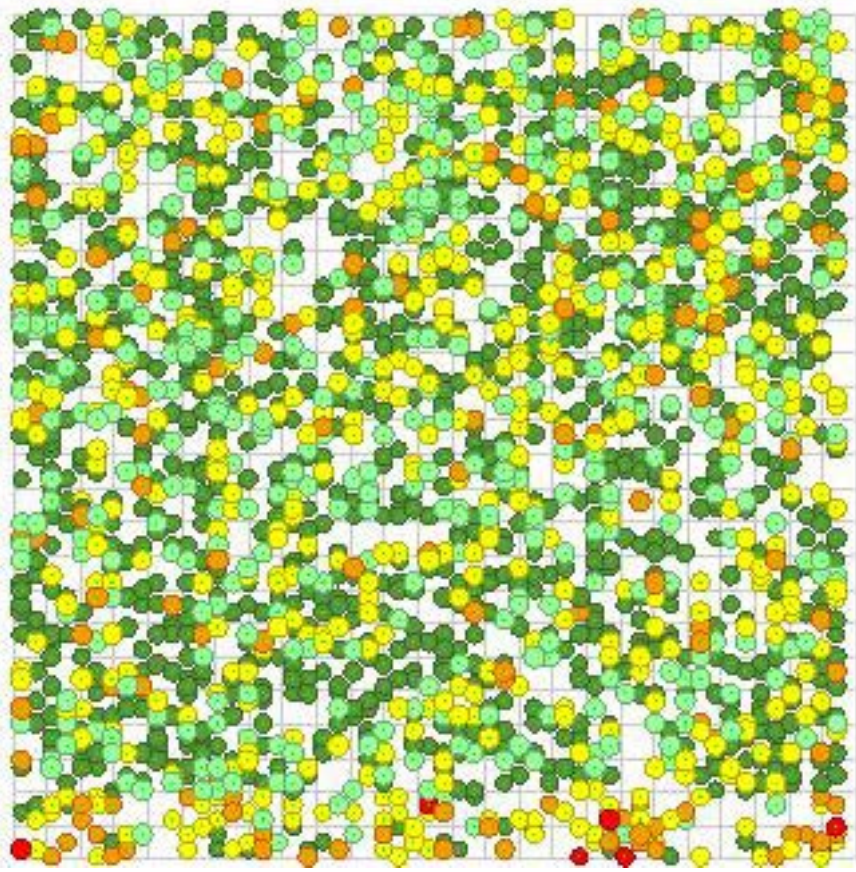
Comparaison de deux peuplements simulés avec et sans processionnaire



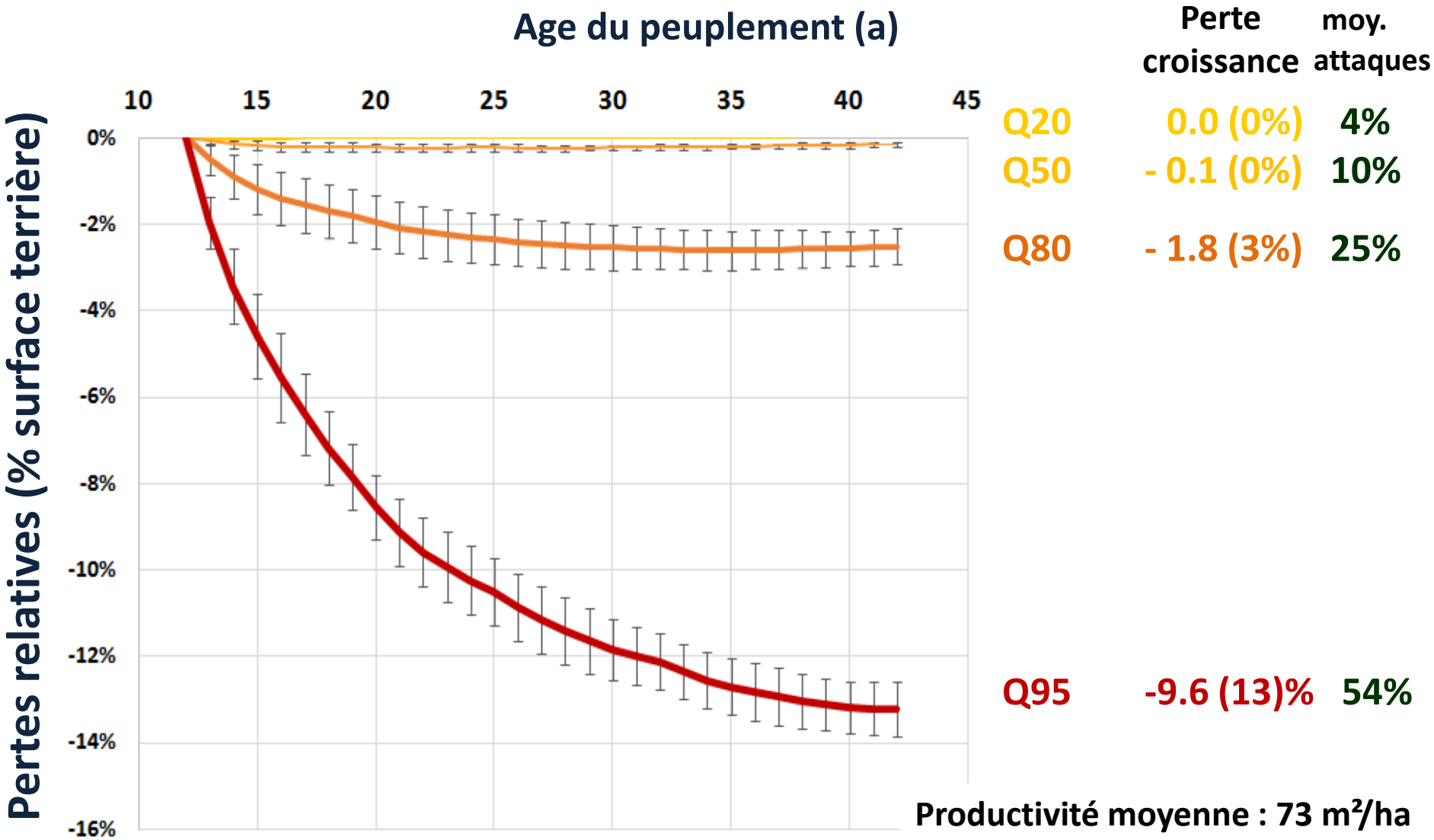
Visualisation du peuplement à 28 ans

Visualisation du peuplement à 28 ans

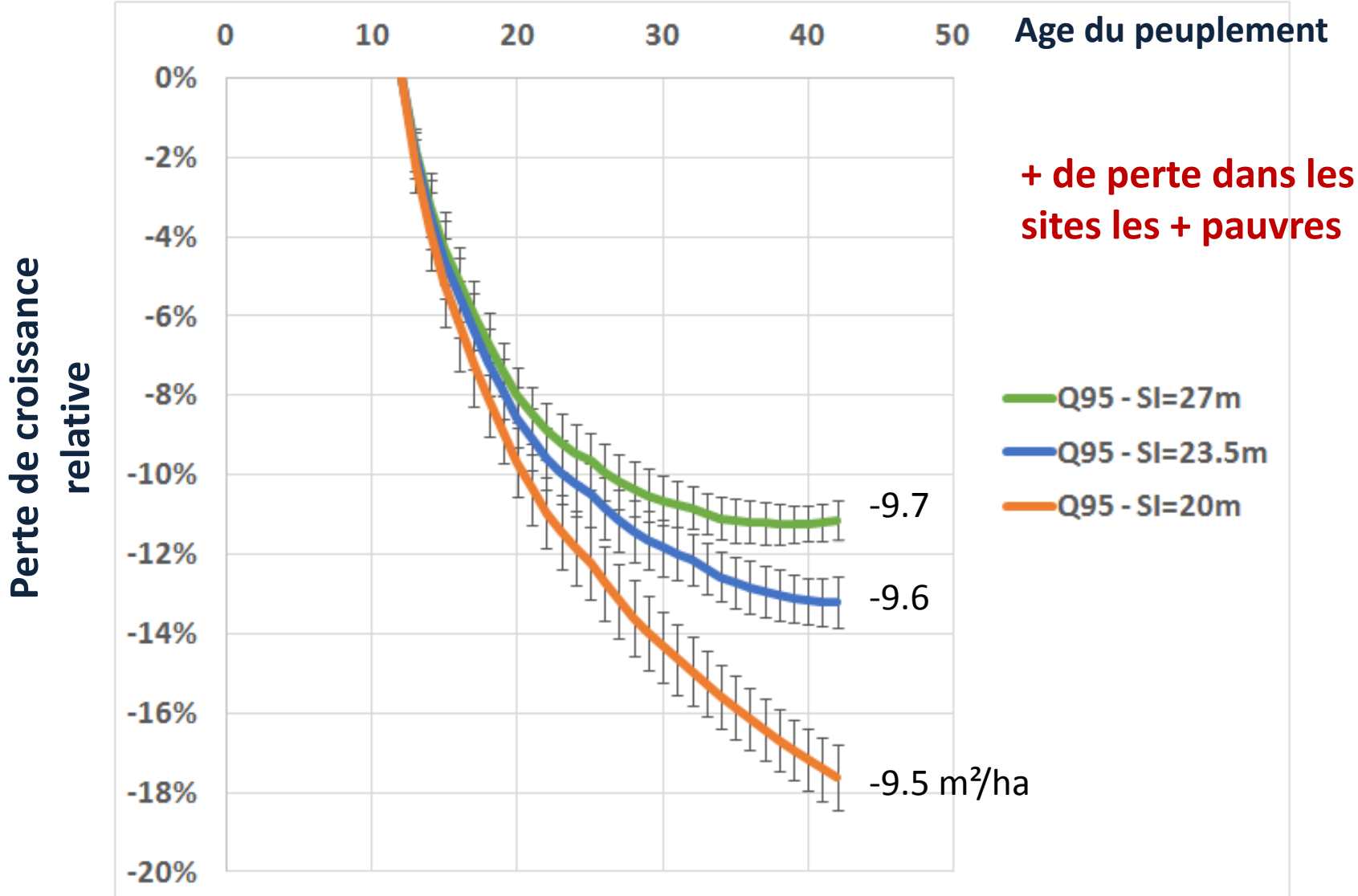




Pertes de croissance cumulées à la fin de la rotation

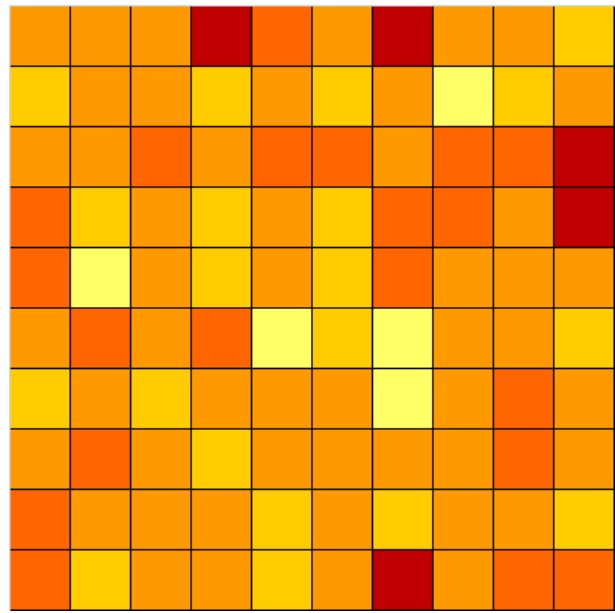


Effet de la classe de fertilité

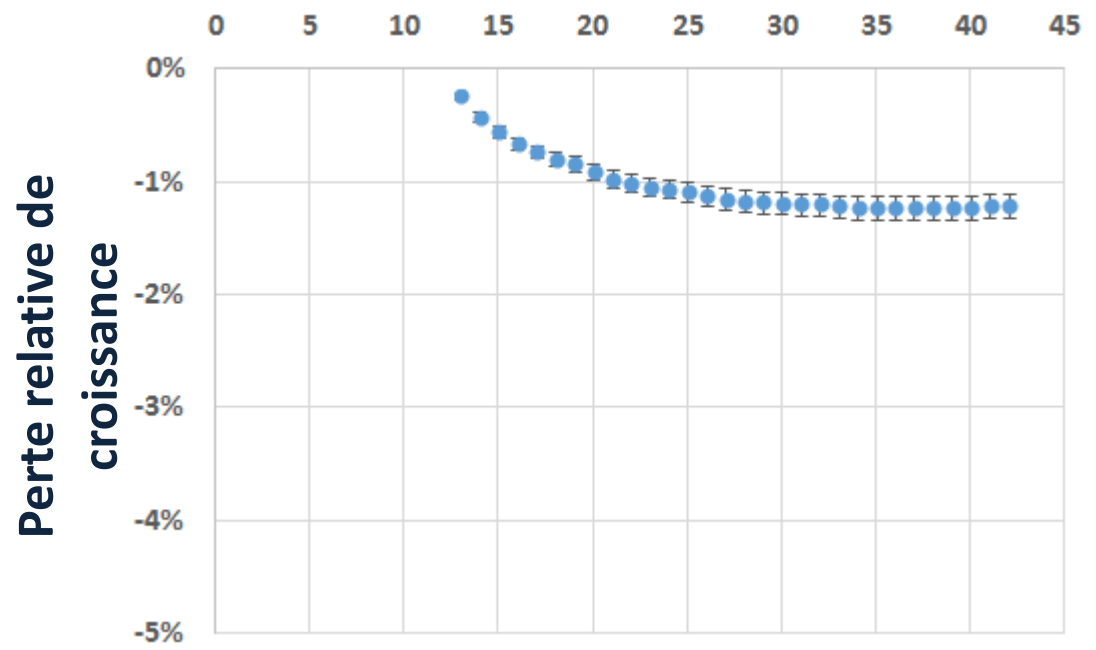


Pertes de croissance cumulées à la fin de la rotation dans un paysage virtuel de 100 peuplements

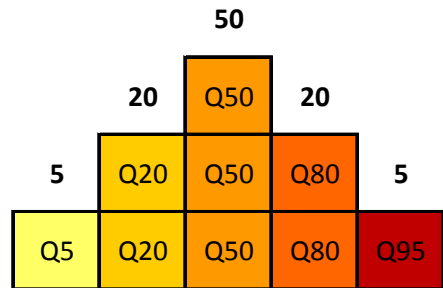
100 cases = peuplements



Age des peuplements



- 1.25 %

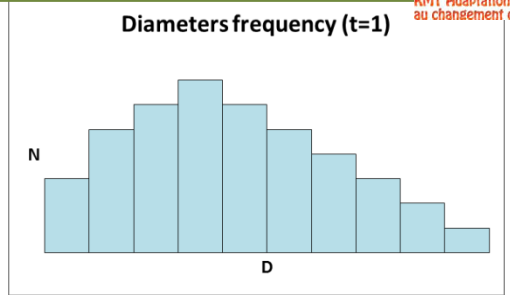


Peuplement précédent infecté ou non ; avec ou sans traitement des rémanents

Peuplement initial:
Age ≥ 7 ans, Densité, G, Hdom

Scénario sylvicole : éclaircies avec ou sans traitement des souches

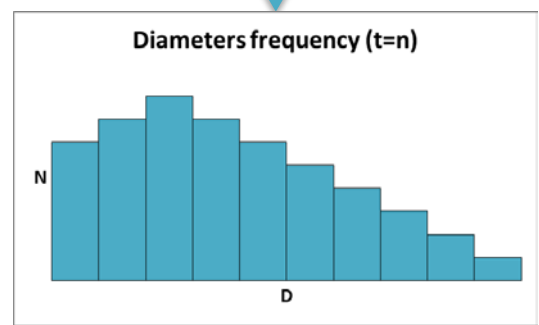
Peuplement final :
Densité, G, Hdom



Impacts sur les arbres:
croissance et survie

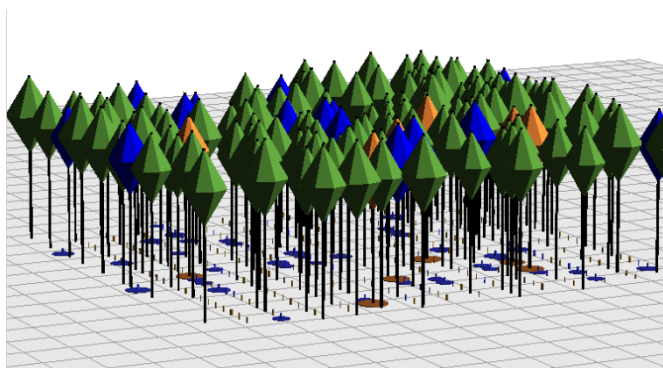
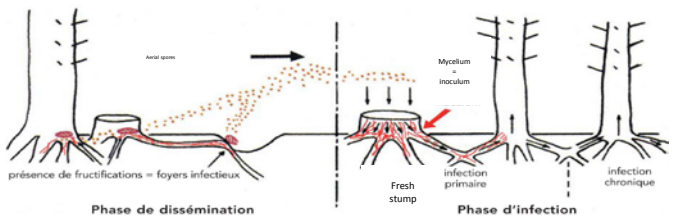
Pour un arbre infecté:
 $D_{an2} = (D_{an1} + \Delta Dt - \text{Perte de croissance})$

Si un arbre perd de la croissance 2 ans, il meurt.



t=1
• Position des plants de Pin maritime au temps t=1

Dynamique du pathogène

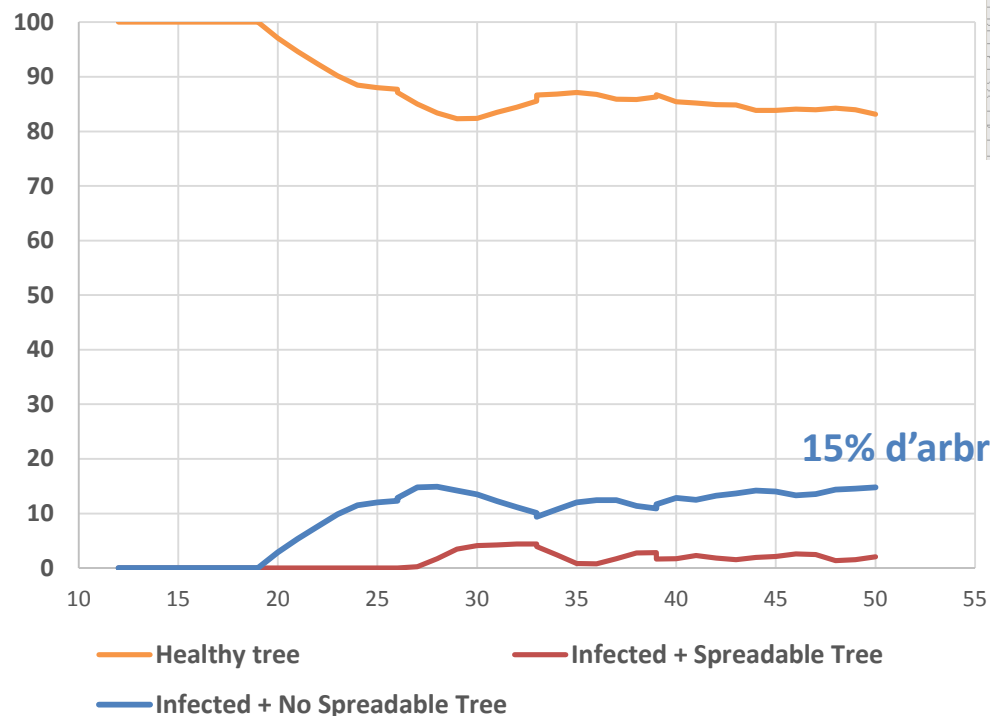


t=n

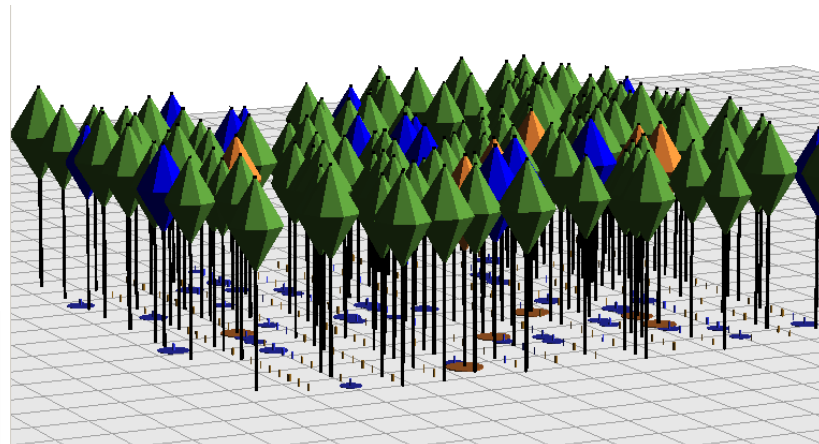
Capsis-pinuspinaster : Fompine

Résultats

Taux d'infection moyen



15% d'arbres infectés à la fin de la révolution

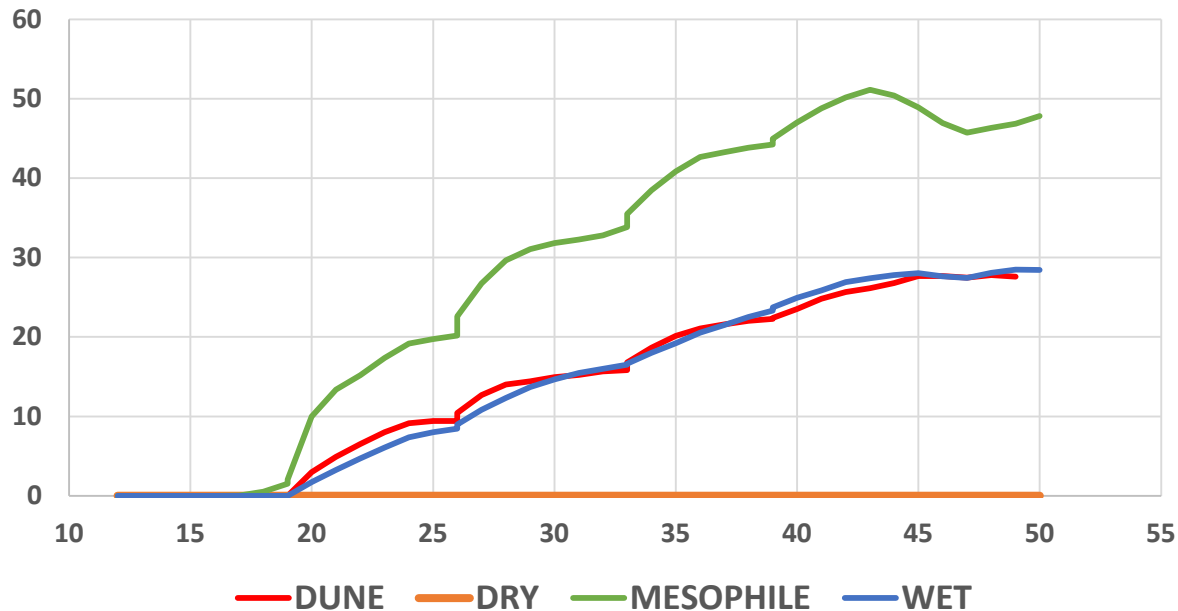


7% d'arbres morts dû au fomes
=> 9 m² de G/ha

Résultats

Pour différent types de landes

Pourcentage d'arbres infectés

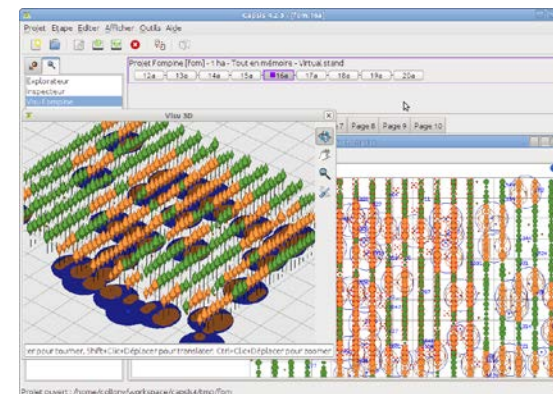


	P colonisation	Prob de souche à arbre sain
Mesophylous	0.88	0.49
Dune	0.40	0.47
Wet	0.69	0.22
Dry	0.57	0.0

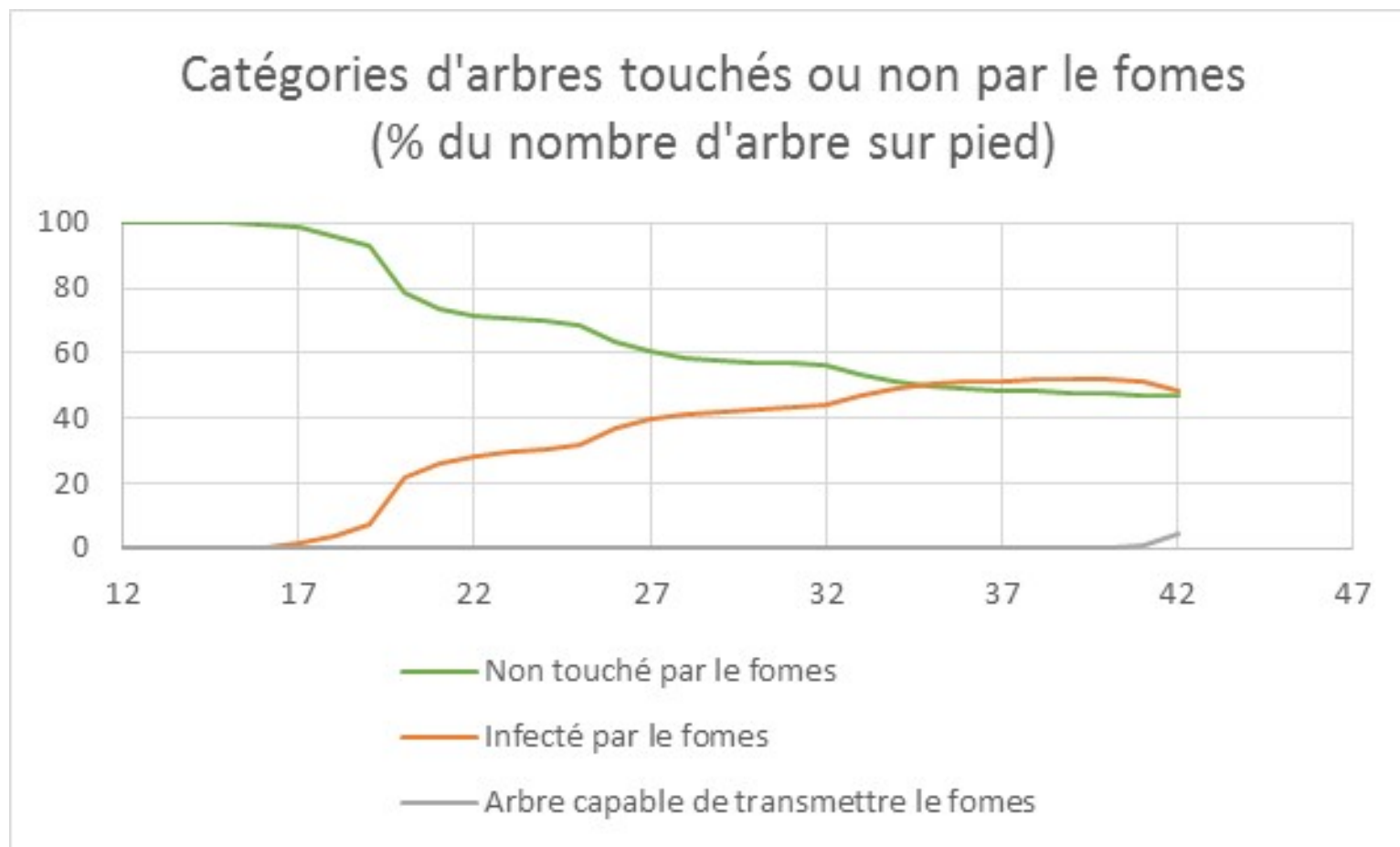
Simulations avec le module FomPine[®] de Pinuspinner sous CAPSIS



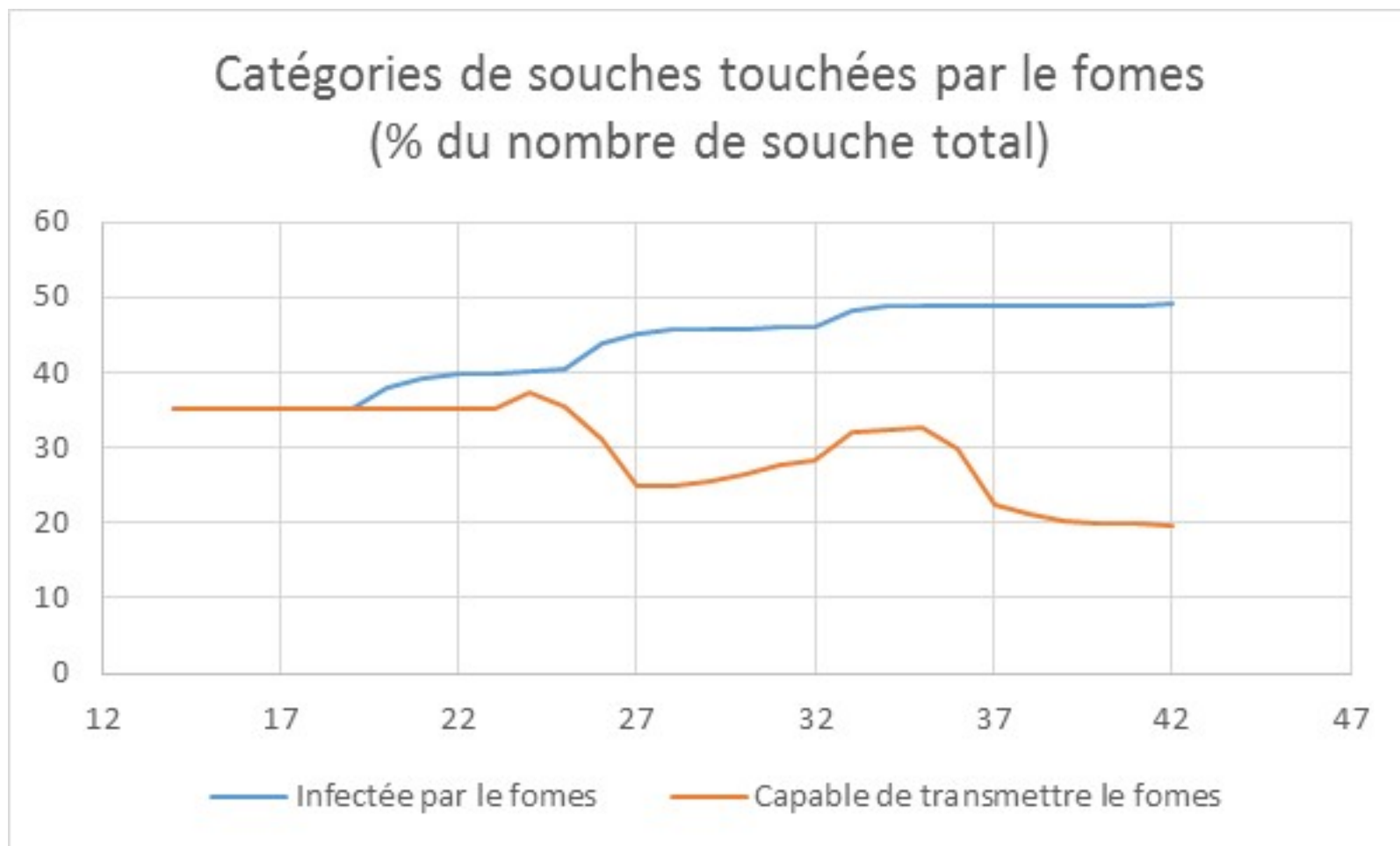
- Simulation de 100 placettes avec les paramètres de développement du fomes spécifique à la lande mésophile
- En l'absence d'information plus précise, un seul taux d'infection (fort) est appliqué à toutes les placettes : 0.4
- Utilisation de la variabilité des processus implémentés pour simuler 100 placettes



Résultats de l'impact du fomes sur 100 placettes : diffusion de l'infection



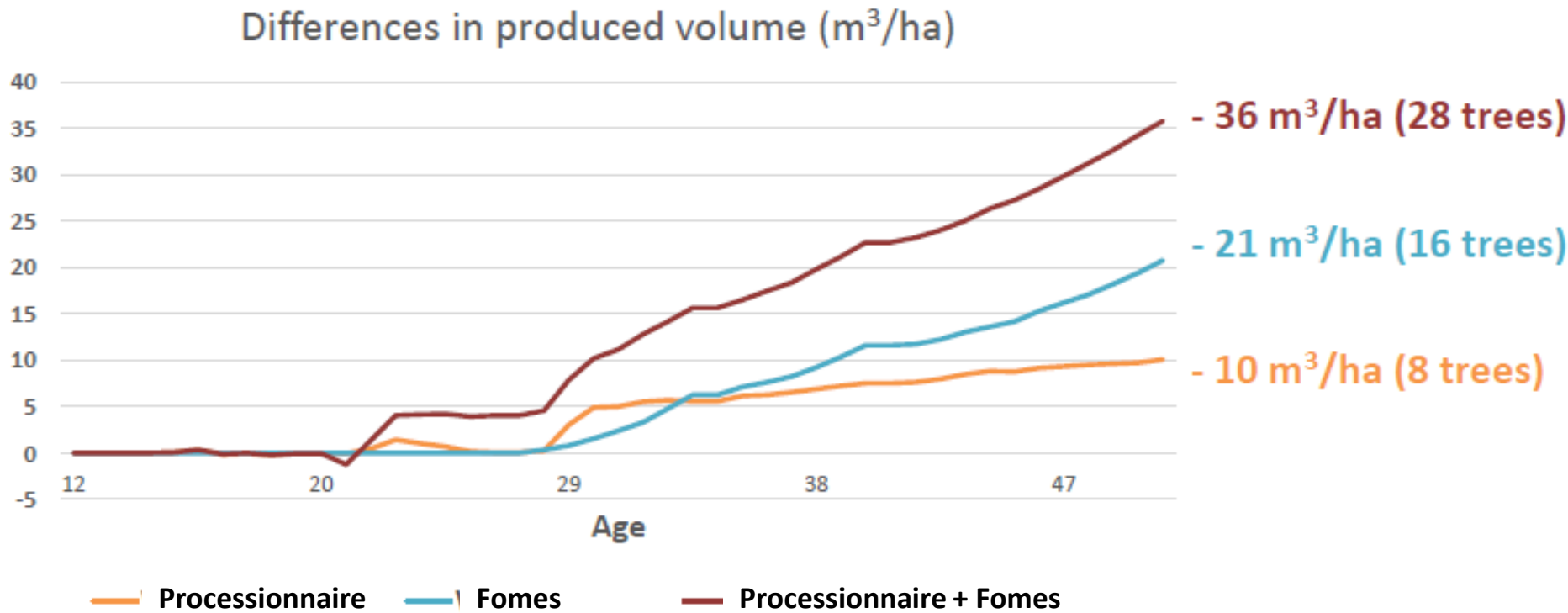
Résultats de l'impact du fomes sur 100 placettes : diffusion de l'infection



Conclusions de l'impact du fomes sur 100 placettes

- L'impact du fomes est faible sur la production totale en fin de révolution
- On ne constate pas de mortalité d'arbres en raison des éclaircies rapprochées
- En revanche, la dynamique de la contamination des souches et des arbres est extrêmement forte sous les conditions choisies et malgré une absence de contamination initiale des parcelles.

Effets cumulés processionnaire + fomes, échelle parcelle



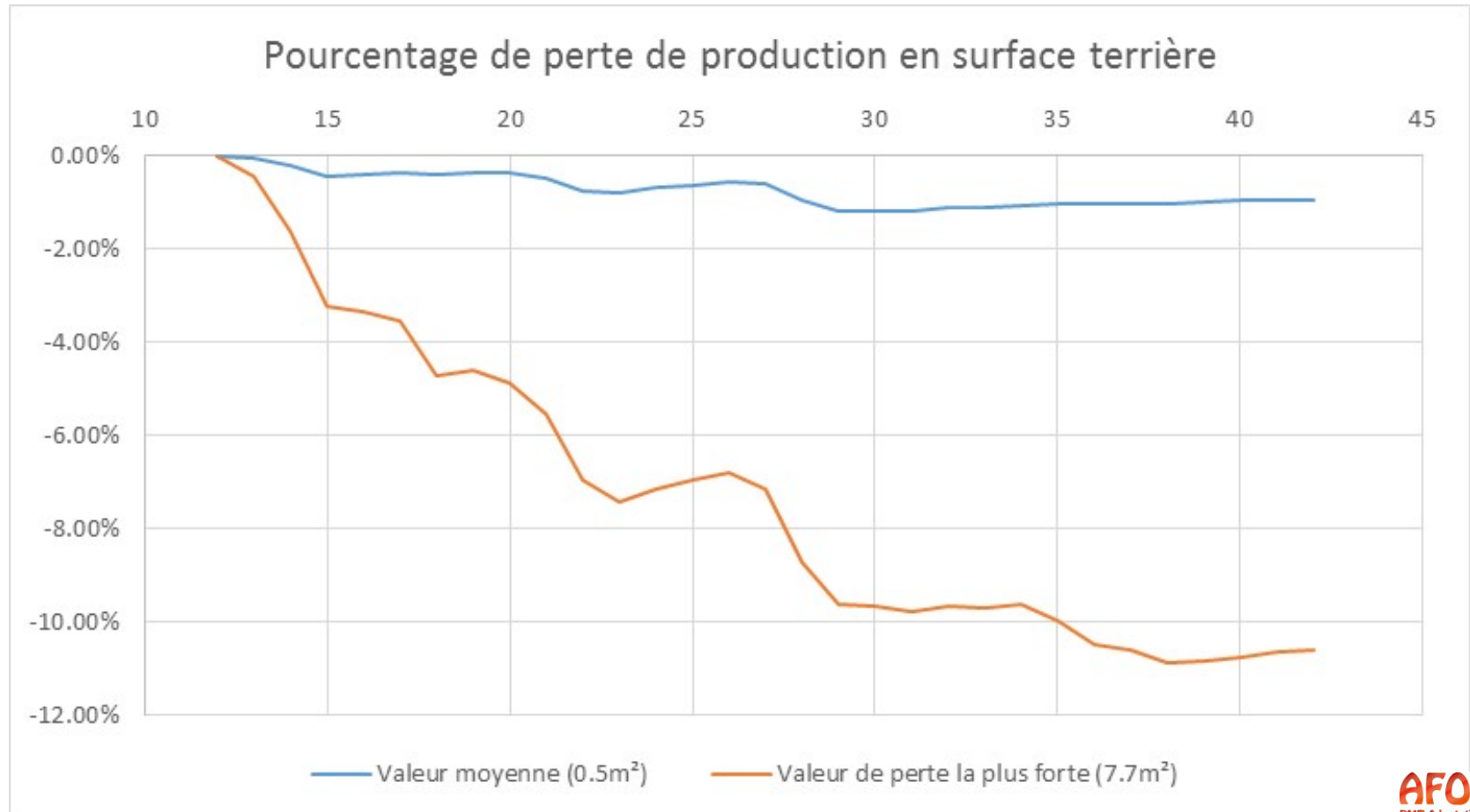
Simulations avec les deux risques appliqués



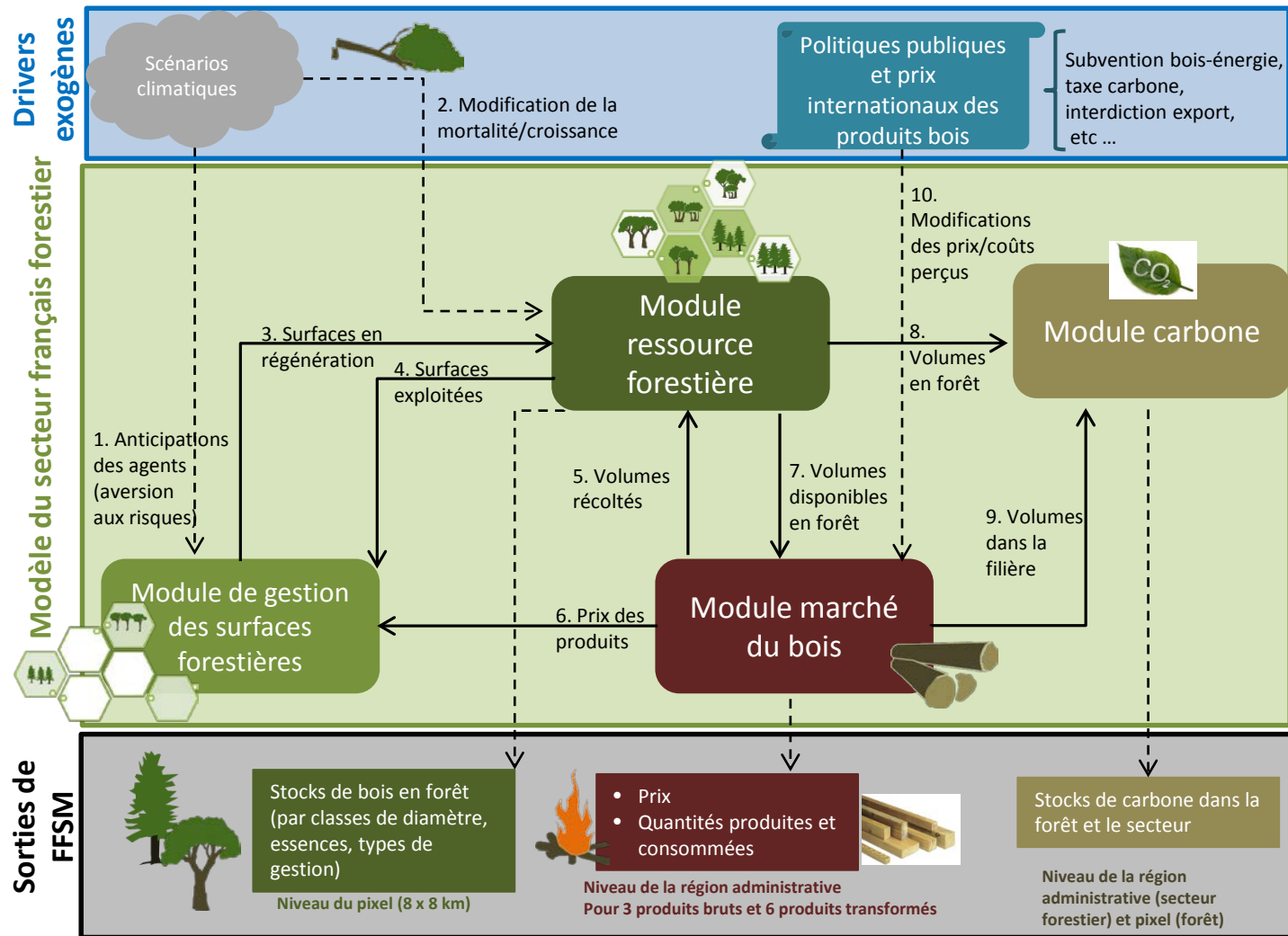
- Simulation de 100 parcelles avec les paramètres de développement du fomes spécifique à la lande mésophile et un taux d'infection de 0.4 et ceux de la processionnaire en respectant les quantiles d'observations des taux d'attaque à partir de 1985.

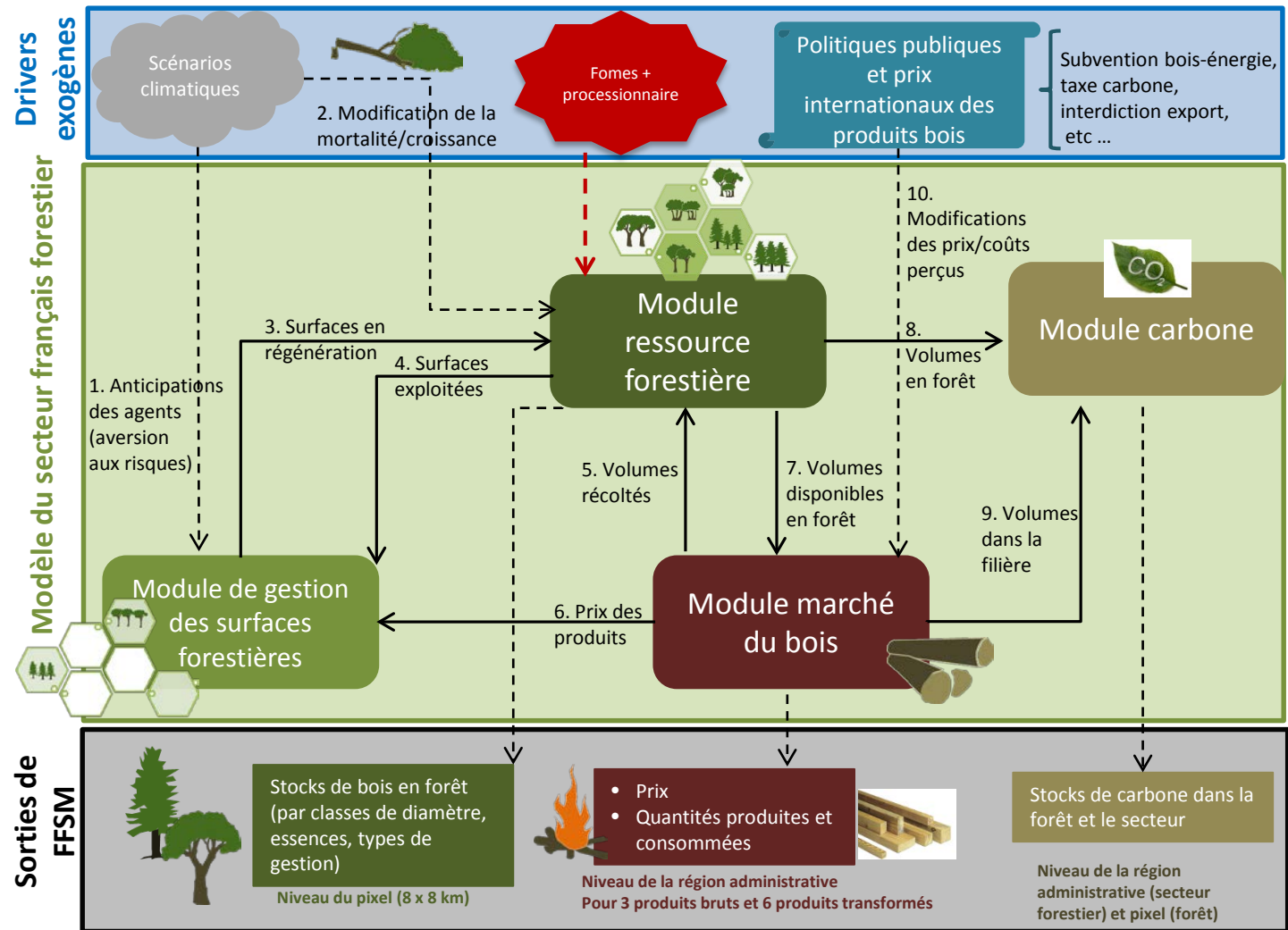
```
Commande prompt
probEffectiveInfection = 0.35200000000000004
probEffectiveInfection = 0.35200000000000004
probEffectiveInfection = 0.35200000000000004
probEffectiveInfection = 0.35200000000000004
probEffectiveInfection = 0.35200000000000004
probEffectiveInfection = 0.35200000000000004
probEffectiveInfection = 0.35200000000000004
probEffectiveInfection = 0.35200000000000004
probEffectiveInfection = 0.35200000000000004
probEffectiveInfection = 0.35200000000000004
probEffectiveInfection = 0.35200000000000004
probEffectiveInfection = 0.35200000000000004
probEffectiveInfection = 0.35200000000000004
probEffectiveInfection = 0.35200000000000004
probEffectiveInfection = 0.35200000000000004
probEffectiveInfection = 0.35200000000000004
probEffectiveInfection = 0.35200000000000004
probEffectiveInfection = 0.35200000000000004
probEffectiveInfection = 0.35200000000000004
probEffectiveInfection = 0.35200000000000004
probEffectiveInfection = 0.35200000000000004
probEffectiveInfection = 0.35200000000000004
probEffectiveInfection = 0.35200000000000004
probEffectiveInfection = 0.35200000000000004
probEffectiveInfection = 0.35200000000000004
probEffectiveInfection = 0.35200000000000004
probEffectiveInfection = 0.35200000000000004
probEffectiveInfection = 0.35200000000000004
probEffectiveInfection = 0.35200000000000004
Saving project a...
PPFScript - done
End of script pinuspinaster.pgms.PPFScript
c:\capsis4>PPF_100stands.bat
```

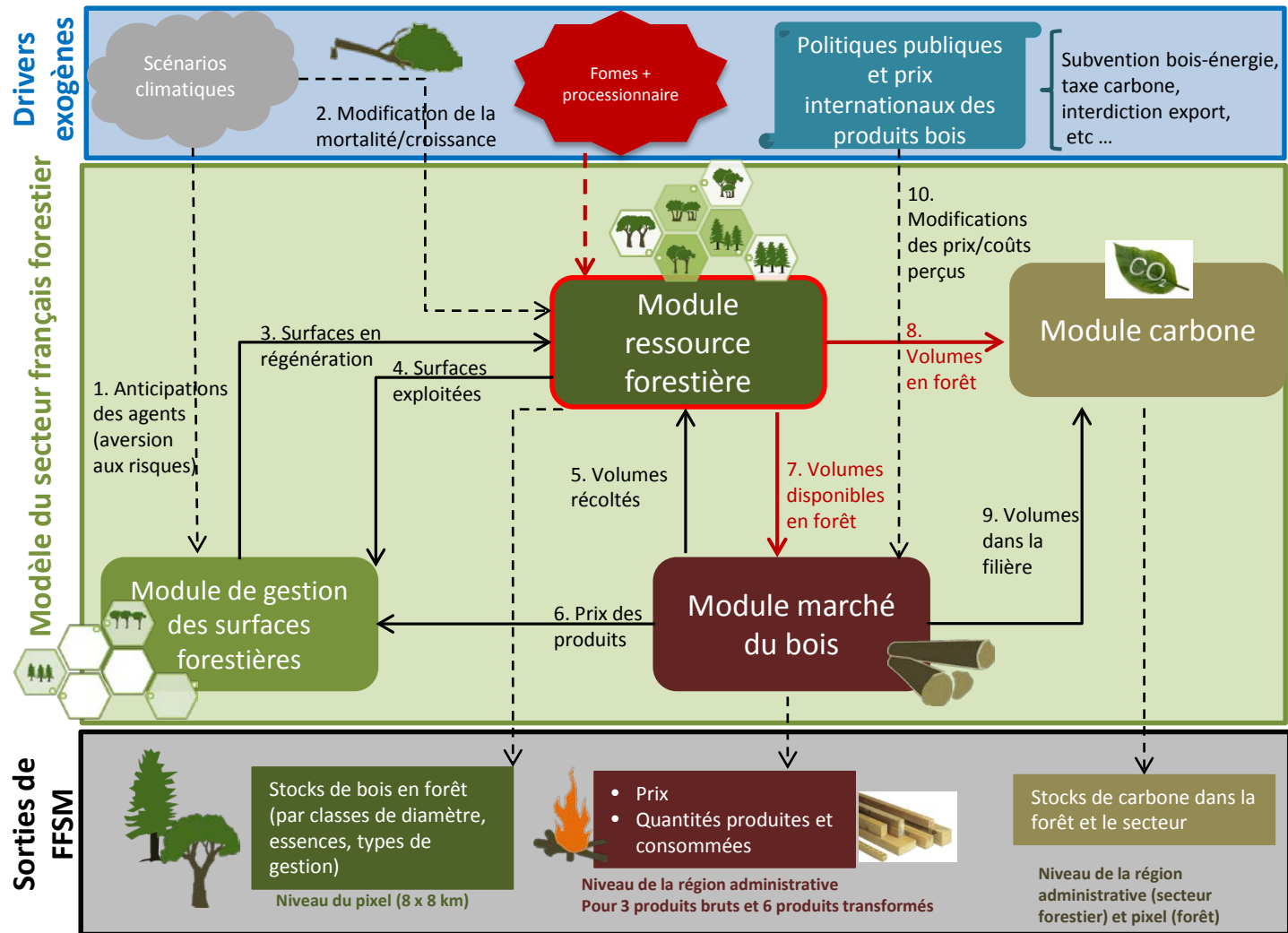
Résultats de l'impact du fomes et de la processionnaire sur 100 placettes

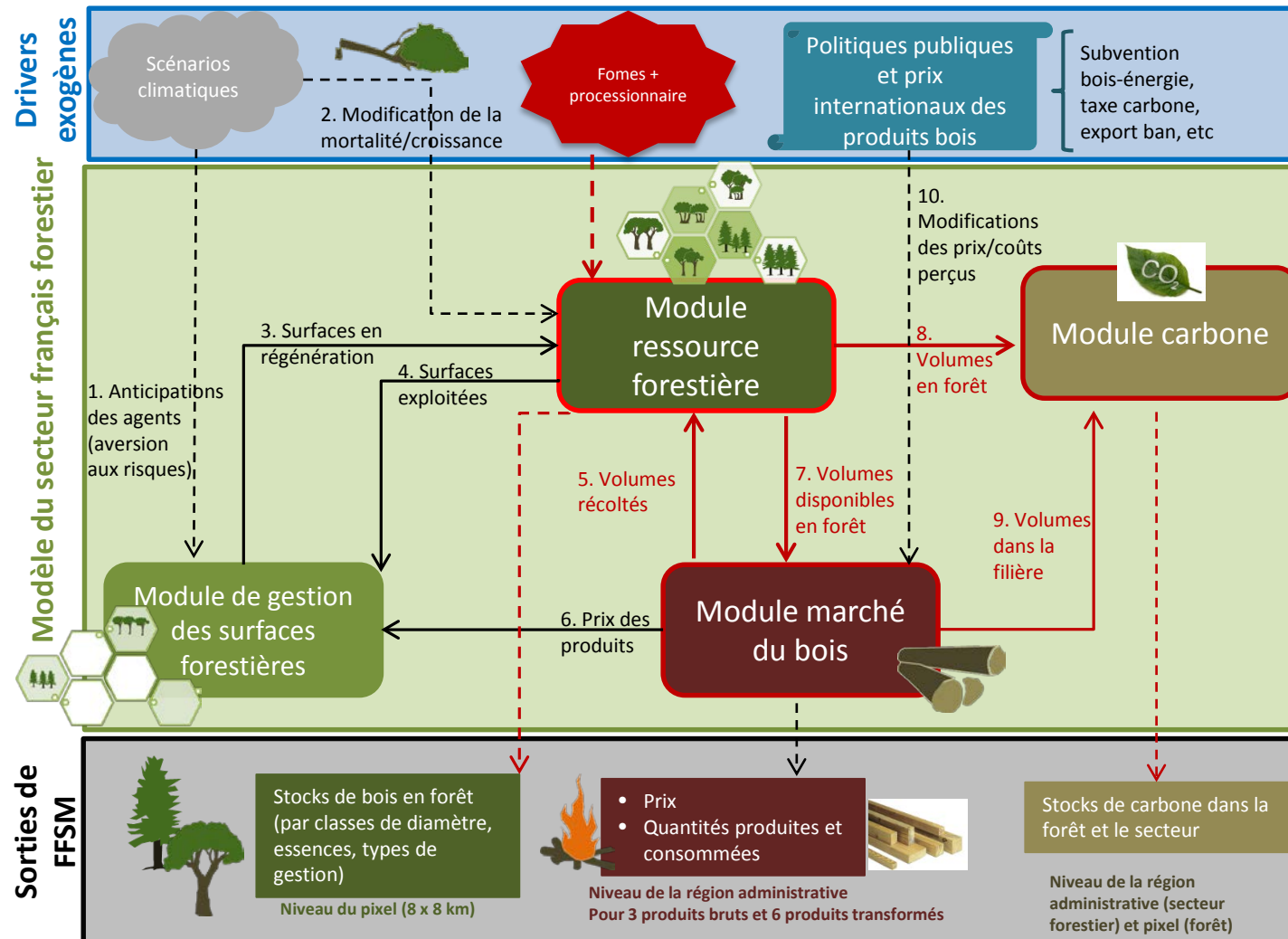


Modèle FFSM <http://www.ffsm-project.org/>









Conclusions



Travail en cours

- Scénarios sylvicoles à tester en mono parcelle avec les deux risques combinés
- Définition du massif à tester en répartition de scénarios et de niveau des aléas pour test du niveau régional avec FFSM

Limites

- Validation avec des données empiriques autres que celles utilisées pour la calibration
- Le climat n'est pas pris en compte dans le modèle parcelle
- Le modèle n'est pas spatialement explicite (effets de voisinage)

Conclusions

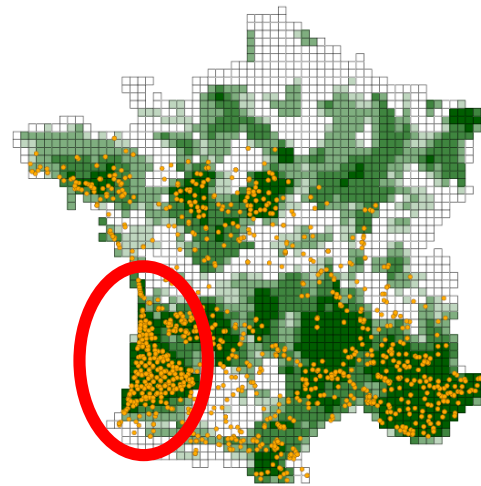


Perspectives

- Approche transférable aux modèles à base de processus (ForCEEPs)
- Intégration d'autres options sylvicoles :
 - haies de feuillus,
 - traitement de souches...
- Autres sorties du modèle à explorer :
 - €, carbone, biodiversité (bois mort)

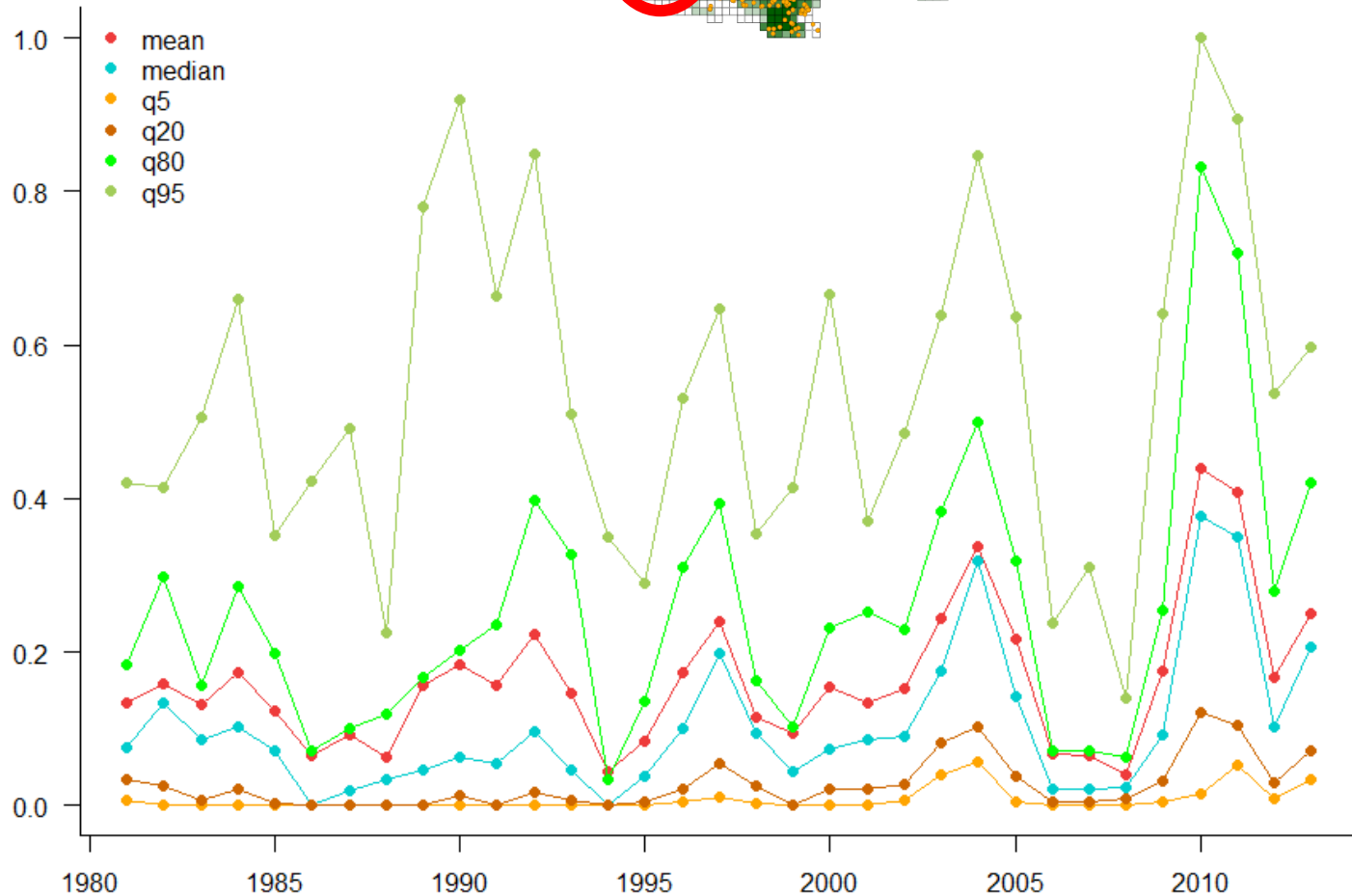


Aléa
= fluctuations
démographiques

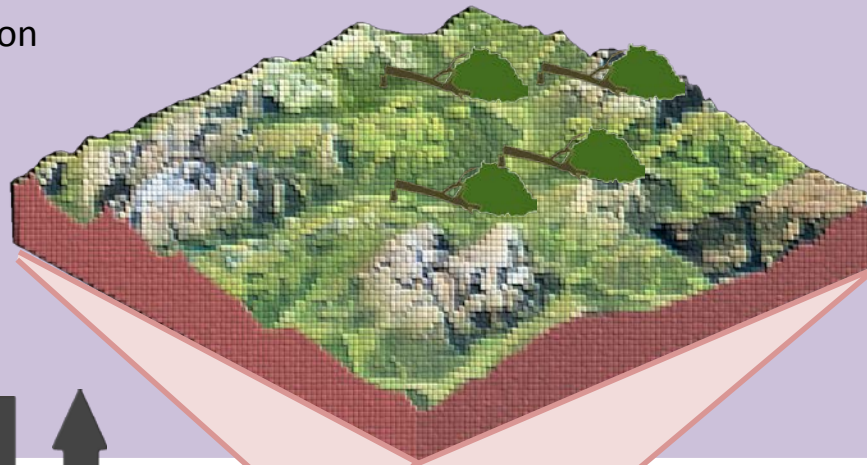


Aquitaine

Pourcentage d'arbres attequés



Impacts dans la région
Aquitaine

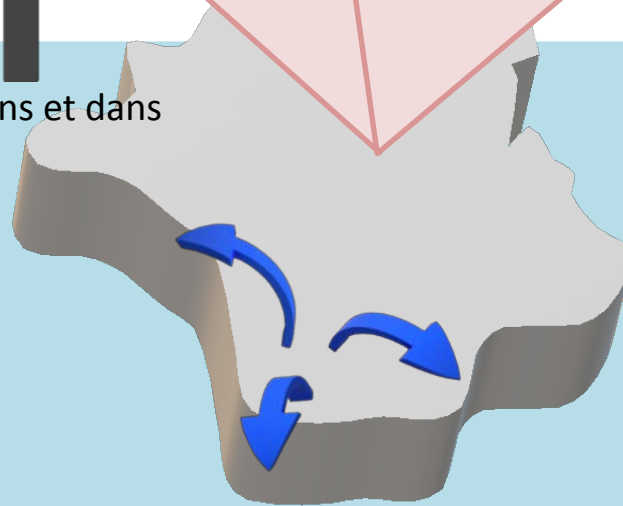


Surmortalité: baisse
des récoltes →
impacts sur la
disponibilité en forêt
→ impacts directs sur
variables
économiques locales
(prix, surplus)

Commerce entre régions

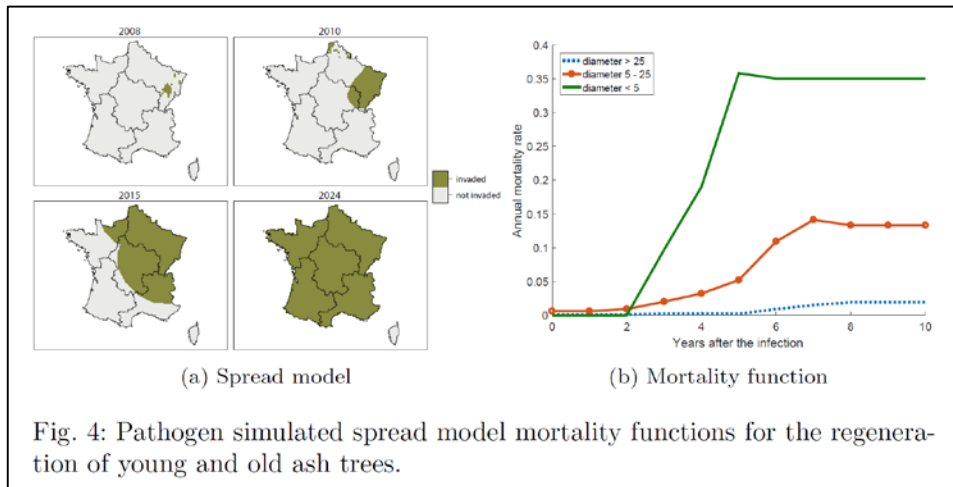


Impacts dans autres régions et dans
reste du monde



Diffusion des impacts
économiques: effets de
substitution (→ moins
de bois en Aquitaine,
on va le chercher
ailleurs) → surcoûts
transport, pertes de
surplus global, etc

Exemple: couplage d'un modèle de diffusion de la chalarose du frêne avec FFISM



Petucco, C., Lobianco, A., Cauria, S. (2019) Economic evaluation of an invasive forest pathogen at a large scale: the case of ash dieback in France, *Environmental Modeling and Assessment*, *Forthcoming*

