

Vulnérabilité des forêts face au changement climatique

- Les arbres contrairement aux plantes annuelles disposent de mécanismes pour « individuellement » supporter le choc d'un évènement extrême:
 - ➔ Réservoir important de carbohydrates qui permettent par exemple une refoliation en cours d'année
 - ➔ Mécanismes de protection contre les parasites et ravageurs.

- Ils sont capable de résister à des conditions défavorables
- Par contre ces évènements doivent rester en dessous d'un seuil.

→ Une difficulté: l'état réel de la forêt n'est pas toujours visible:

- Affaiblissement progressif des reserves → moins bonne productivité et donc mauvaise reconstitution des réserves → affaiblissement par rapport aux ravageurs. (la surmortalité visible des années après un évènement extrême)
- Une forêt peut subsister mais ne plus être en capacité de se régénérer



Les risques auquel est soumis la forêt

❖ Risques abiotiques

- Tempêtes
- Incendies
- Sécheresse
- Autres aléas climatiques (gel, canicule)

❖ Risques biotiques

- Insectes ravageurs, dont scolytes, invasifs
- Pathogènes, dont invasifs
- Grands ongulés

Nature et évolution des principaux risques

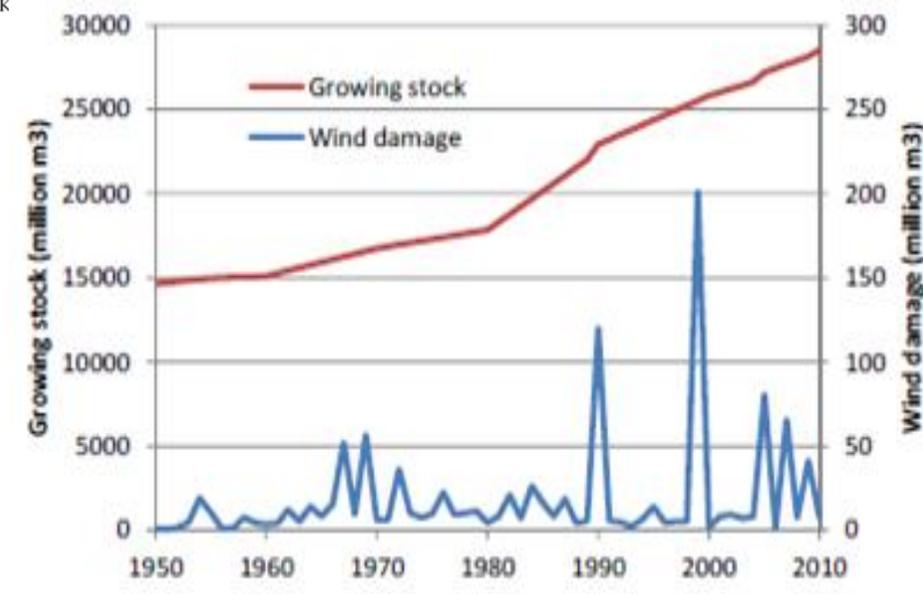
Aléa abiotique : **Tempêtes** : rôle du volume sur pied – dégâts de scolytes (selon conditions hydriques) >> Effets en cascade



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



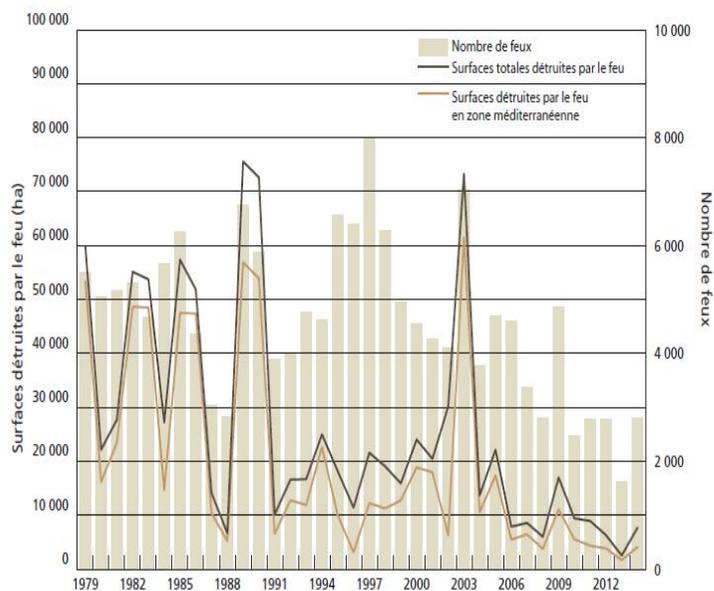
Lien incertain avec le changement climatique



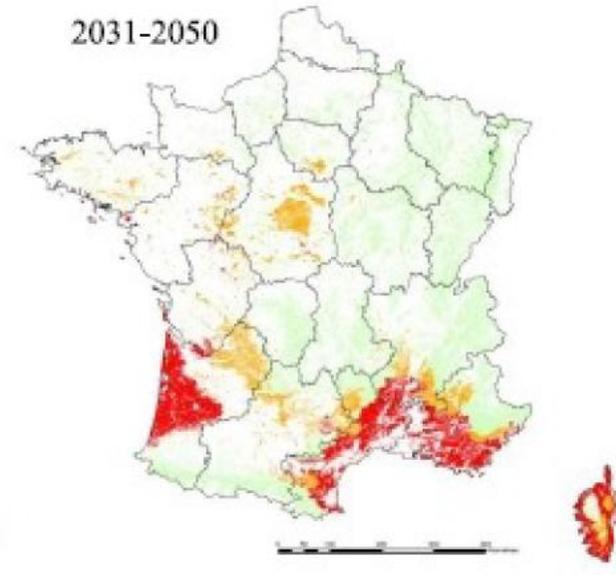
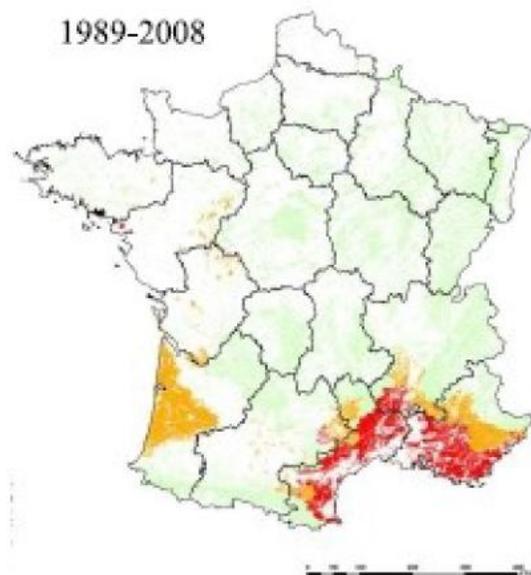
Aléa abiotique : Incendies

Une lutte efficace en France depuis 20 ans (à g.) , un risque croissant avec le réchauffement (à d.)

2.4.e. Incendies dans les forêts et les autres terres boisées (surfaces et nombres de feux annuels)



Source : Base de données sur les incendies de forêts en France (BDIFF), pilotée par le ministère de l'Agriculture, de l'Agroalimentaire et de la Forêt et du ministère de l'Intérieur et hébergée par l'IGN



Les deux cartes ci-dessus pour les massifs de plus de 100 ha indiquent le degré de sensibilité actuel (à gauche) et pour l'horizon 2040 (à droite). Le degré de sensibilité le plus élevé est en rouge, le niveau moyen en orange et

Aléa abiotique : Sécheresse

Quelques années très sèches au cours des 20 dernières années

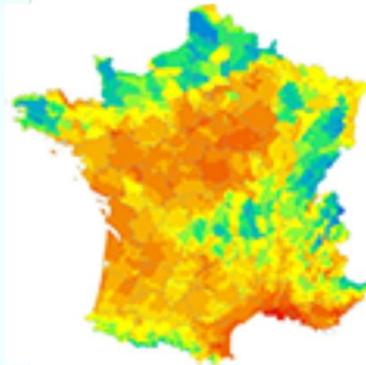
- Un risque croissant avec le réchauffement

Classement des années les plus sèches sous résineux au cours de la période 1994-2014 (trait rouge vertical : valeur moyenne. Année 2015 en 4^{ème} position (fin août).

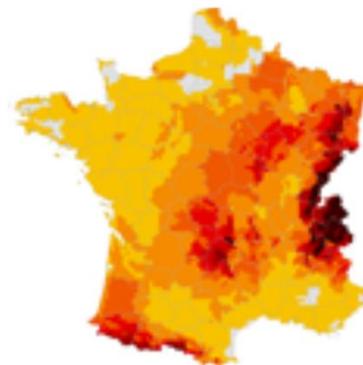


Exemple de cartographie de sécheresse en France à la maille 8x8 en forêt sempervirente

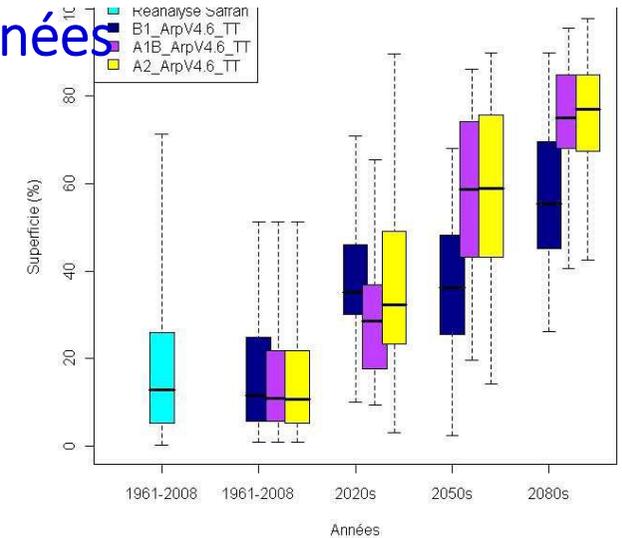
Déficit hydrique annuel (moyenne 1959-2011)



Anomalie de déficit hydrique : 1962



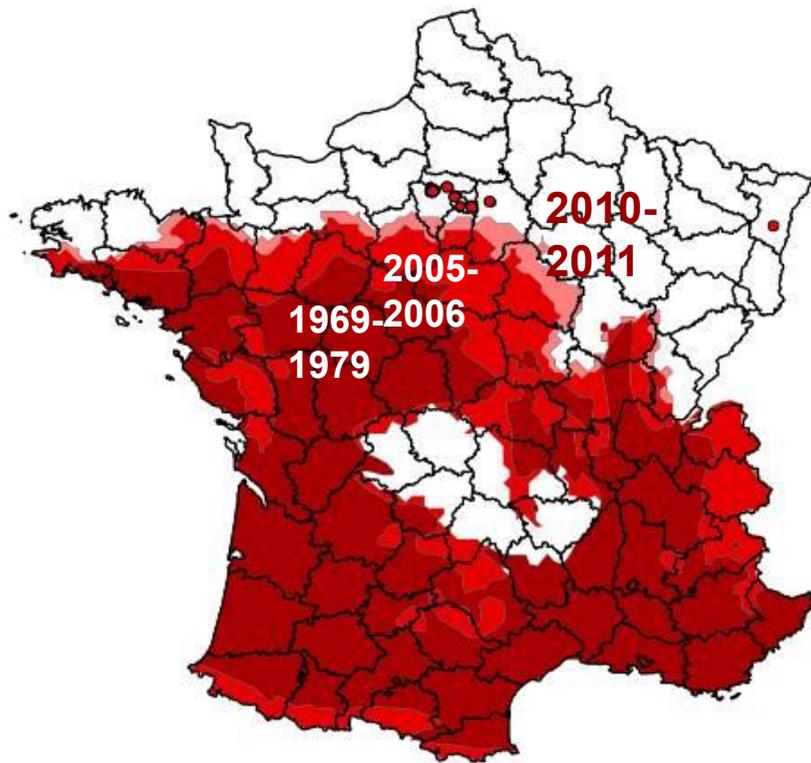
Copyright INRA 2015



Sol à réserve utile : 160 mm ; indice foliaire de 6 ; données climatiques : station Inra Champenoux ; calcul réalisé par Biljou©

Aléas biotiques : Insectes ravageurs

Evolution sous l'effet du réchauffement : cas de la **processionnaire du pin**, :
expansion de l'aire de distribution avec la hausse **hausse des températures hivernales**



Dispersion

De meilleures conditions climatiques combinées au transport accidentel d'individus par l'homme augmente la rapidité de son expansion

Source: INRA Orléans, cartographie sur une grille de 8 km et foyers isolés détectés entre 2003 et 2011

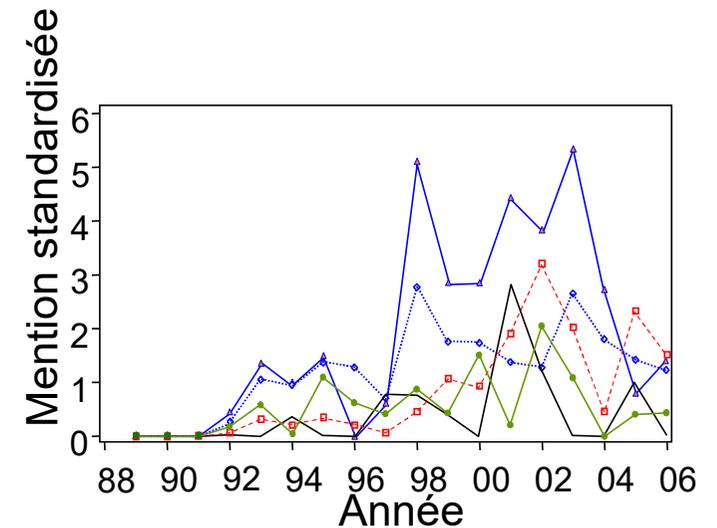
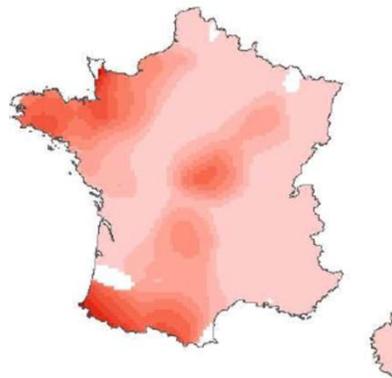
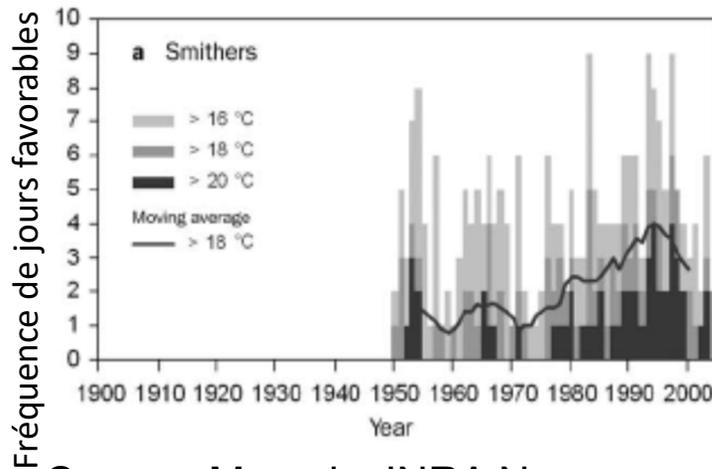
Aléas biotiques : Champignons pathogènes

Exemple de l'émergence de la **maladie des bandes rouges** (*Dothistroma sp.*), évolution sous l'effet du changement climatique

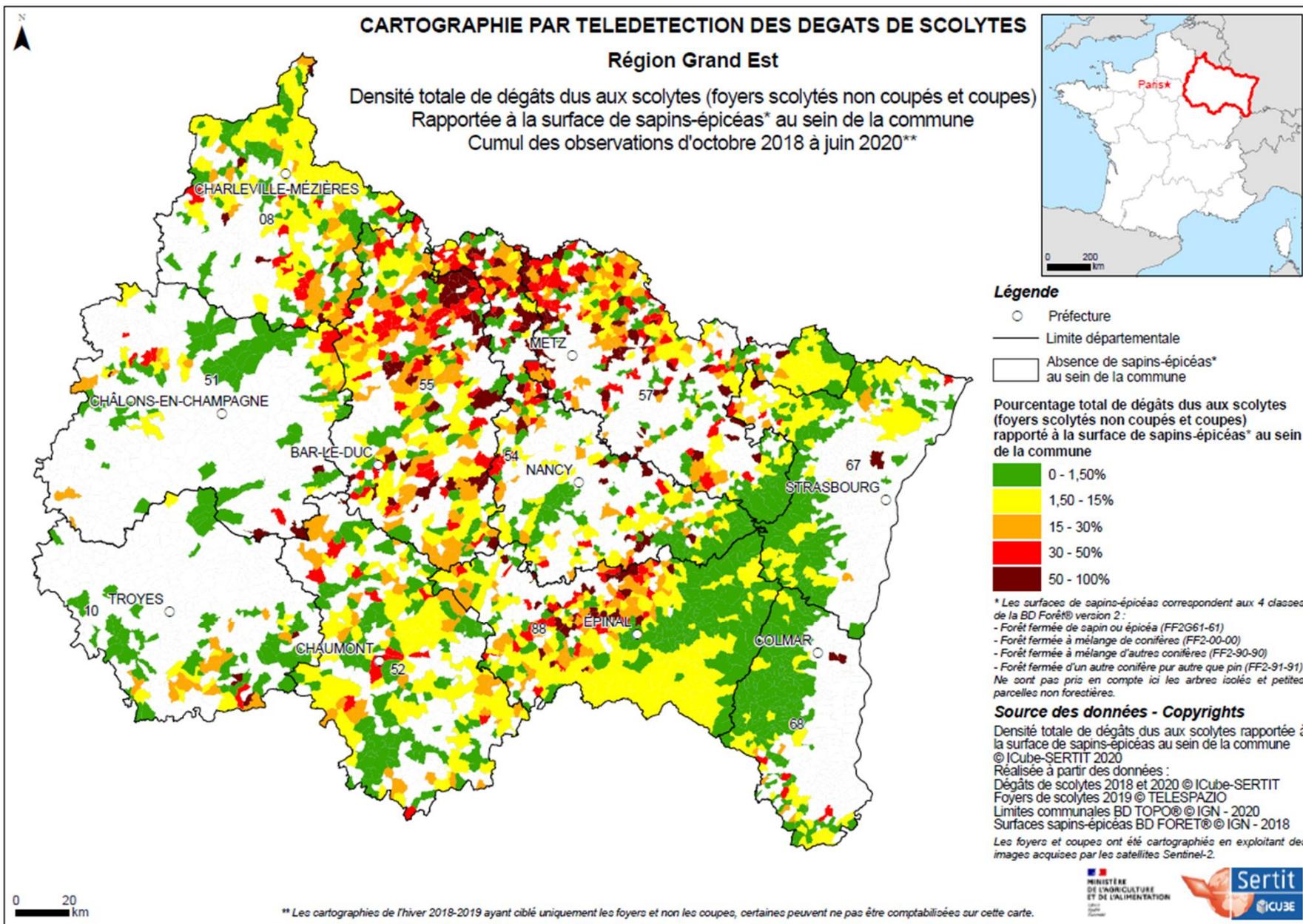
- sur *Pinus nigra* subsp *laricio*
- sans importance épidémiologique dans les années 70-80
- maintenant limitante pour Pin laricio
- favorisée par les conditions chaudes et humides



Fréquence de jours avec pluie et T > seuil

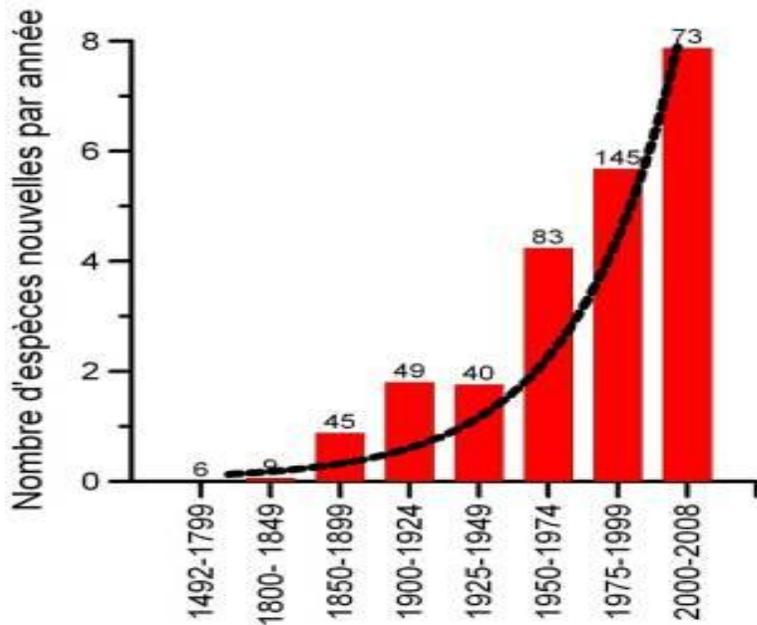


Source: Marçais, INRA Nancy



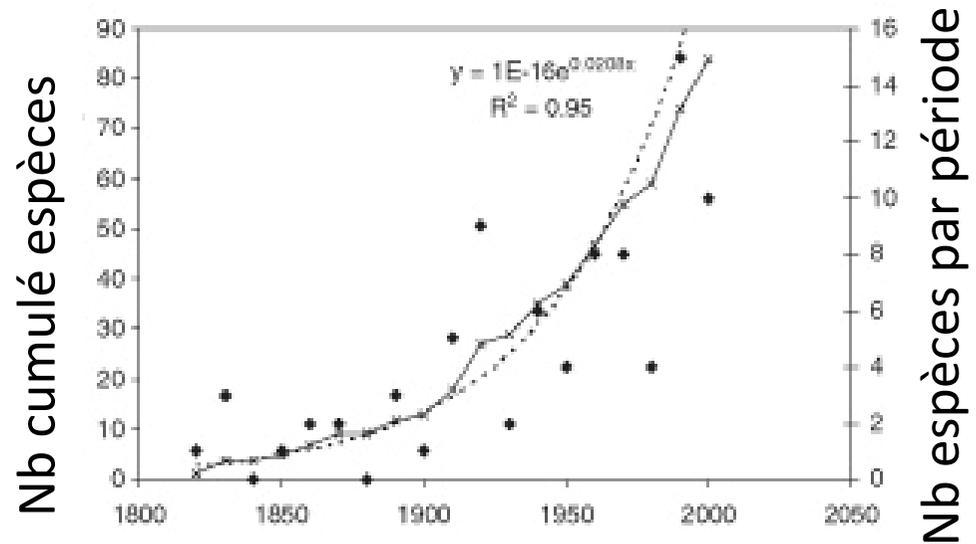
Aléas biotiques : Introductions d'espèces

Croissance exponentielle de l'arrivée des espèces exotiques en Europe avec l'augmentation des échanges commerciaux



Invertébrés

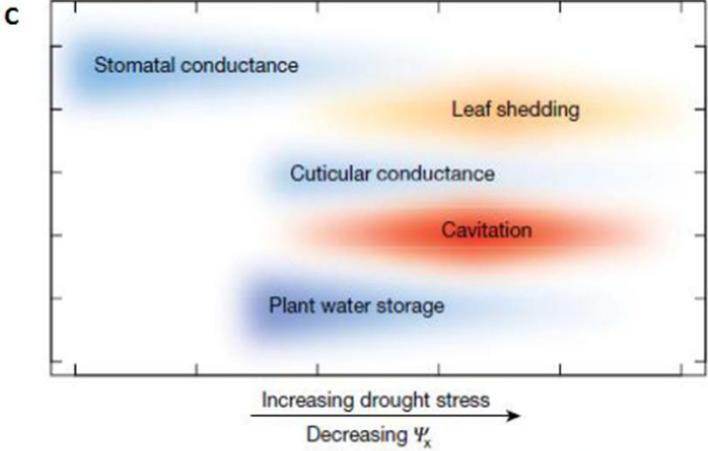
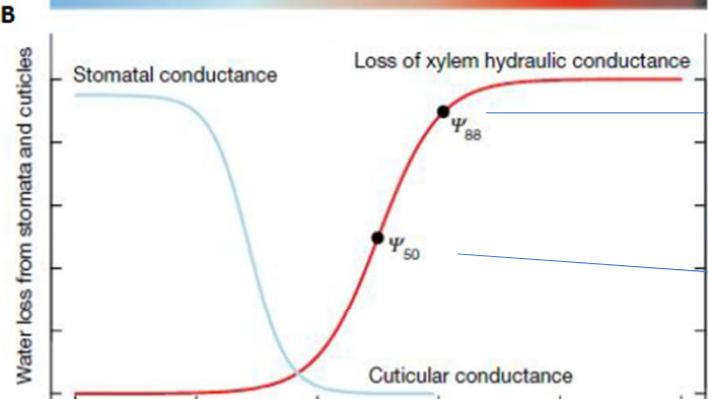
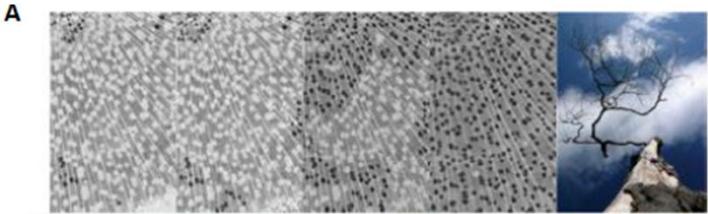
Roques et al., 2010



Pathogènes

Desprez- Loustau, 2009

Un effet important lié à la sécheresse: Embolie du Xylème

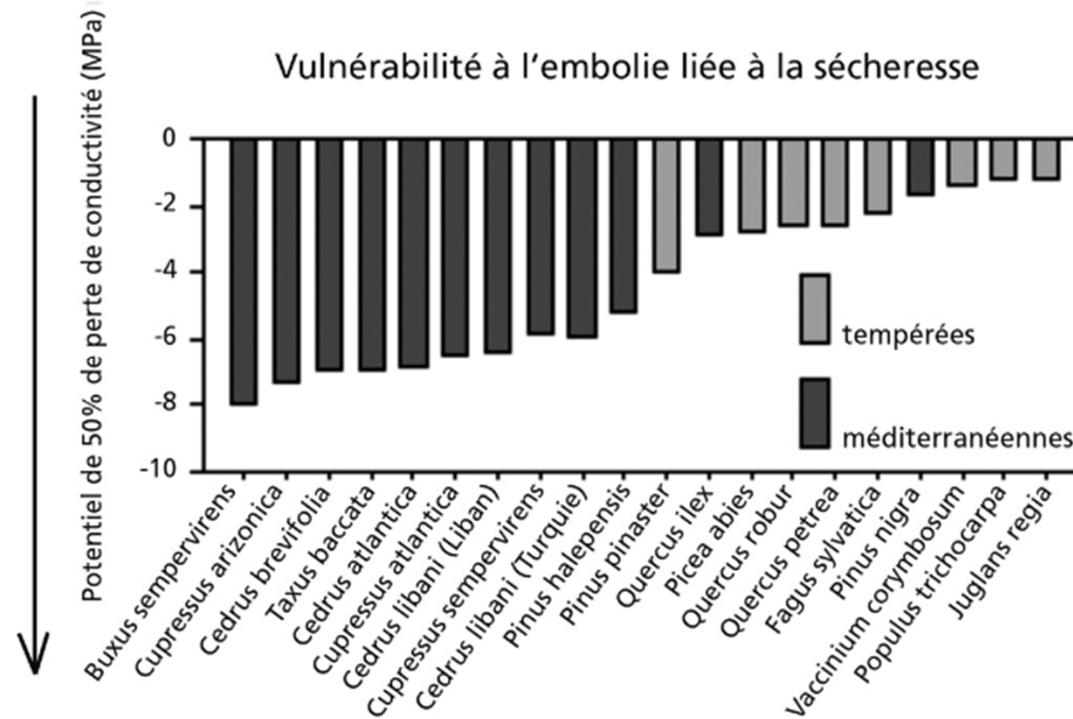


Loss of hydraulic conductance due to cavitation

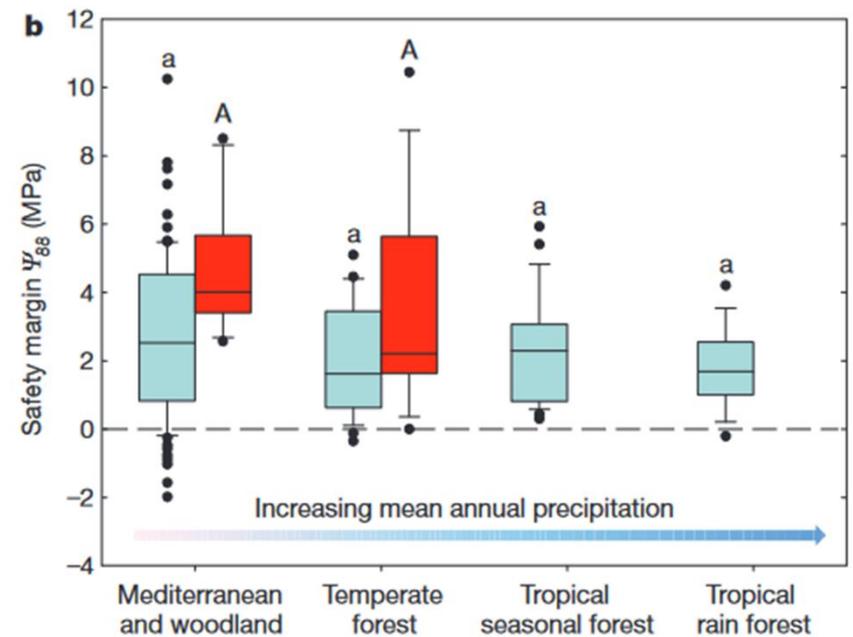
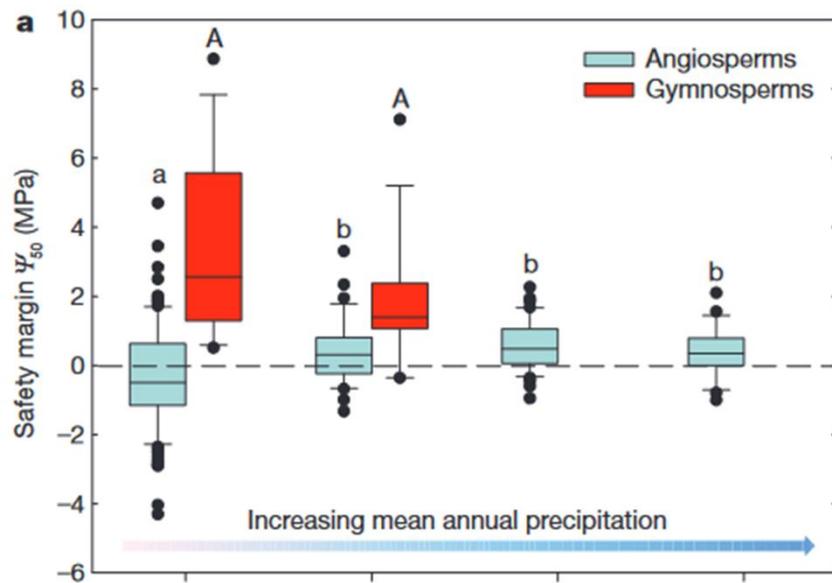
Risque de mortalité important

Début du risque de mortalité

Psi 50 pour différentes espèces

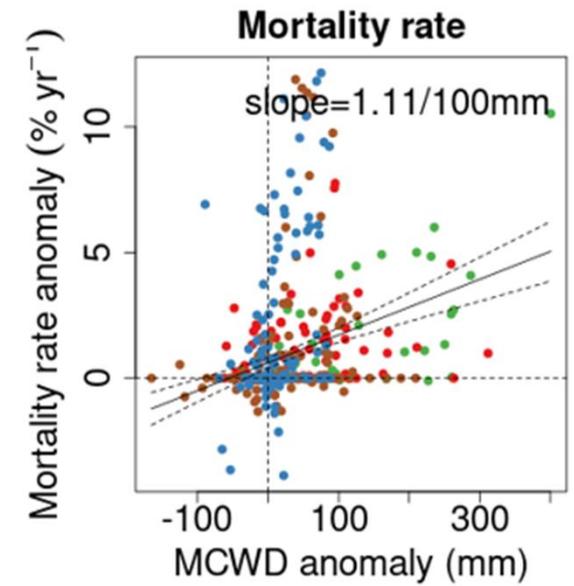
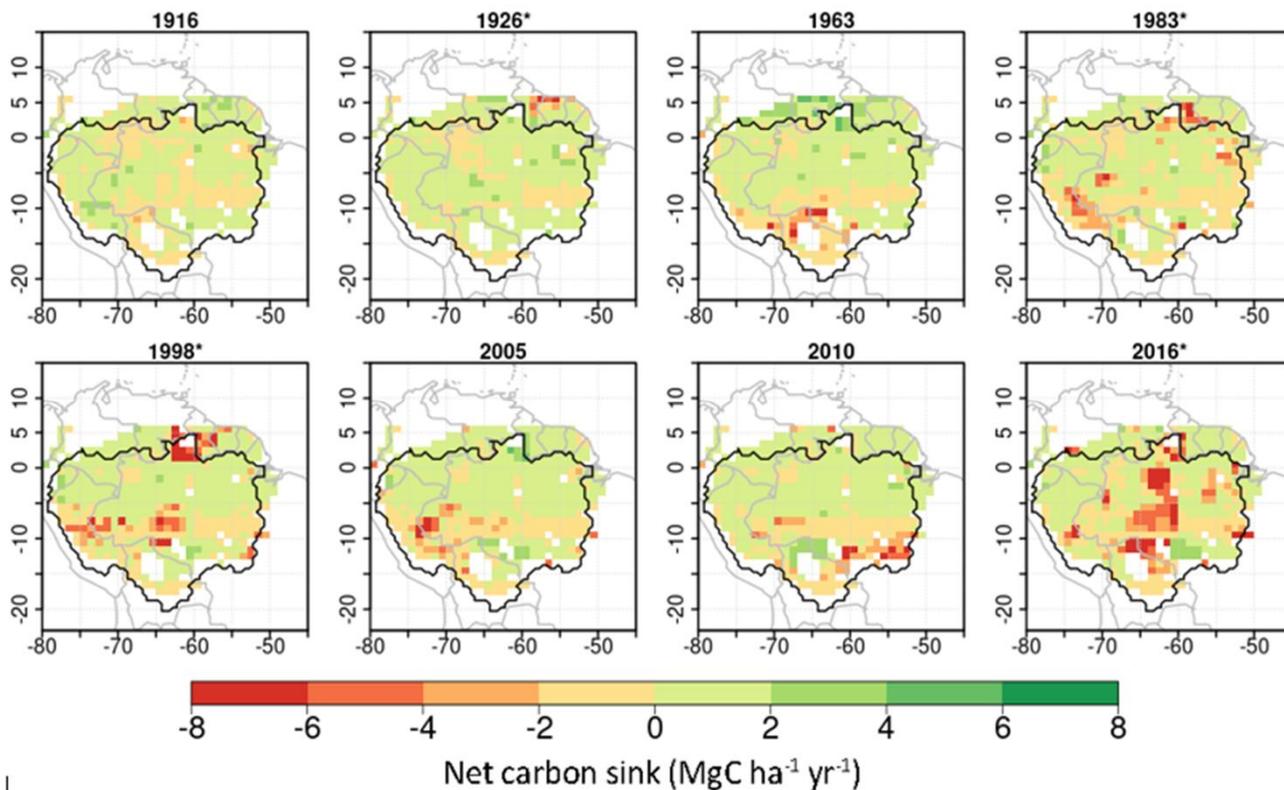


Marge de sécurité (=psi minimum moyen – psi 50)

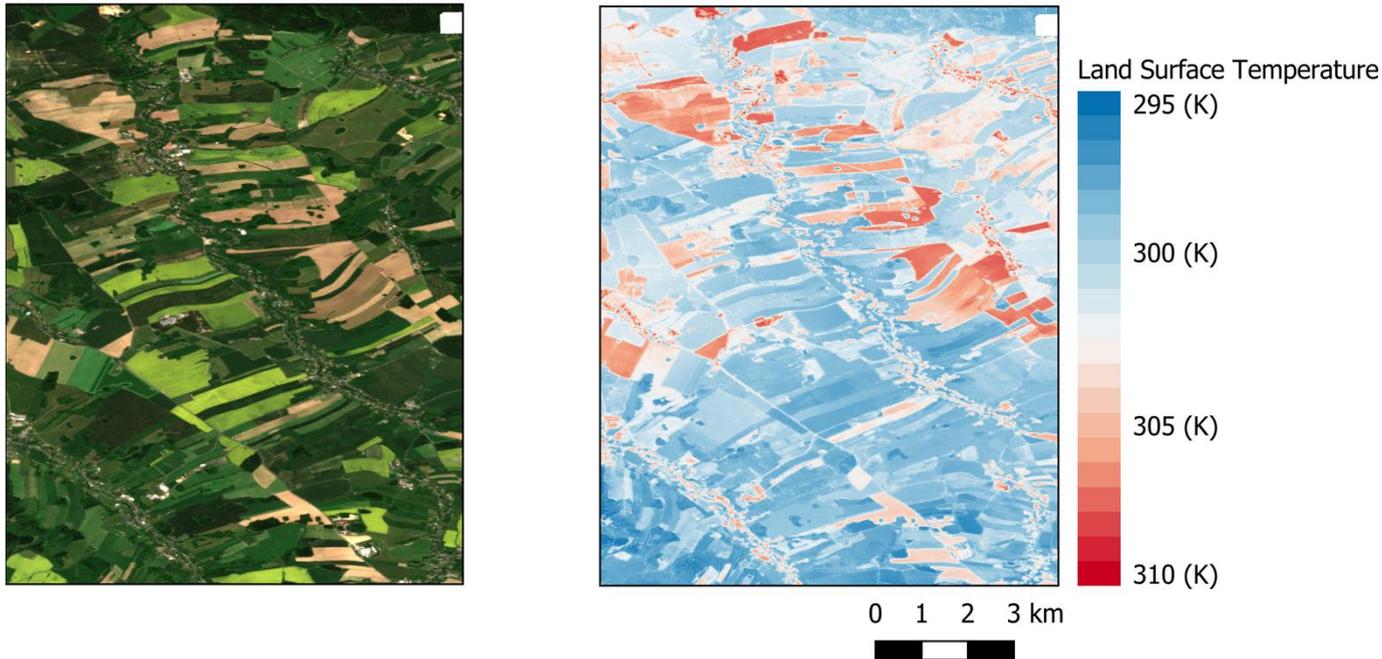


- Choat et al 2012

Simulation de l'impact de l'embolie sur le puit de carbone Amazonien



Un risque nouveau pour les forêts: Le stress thermique



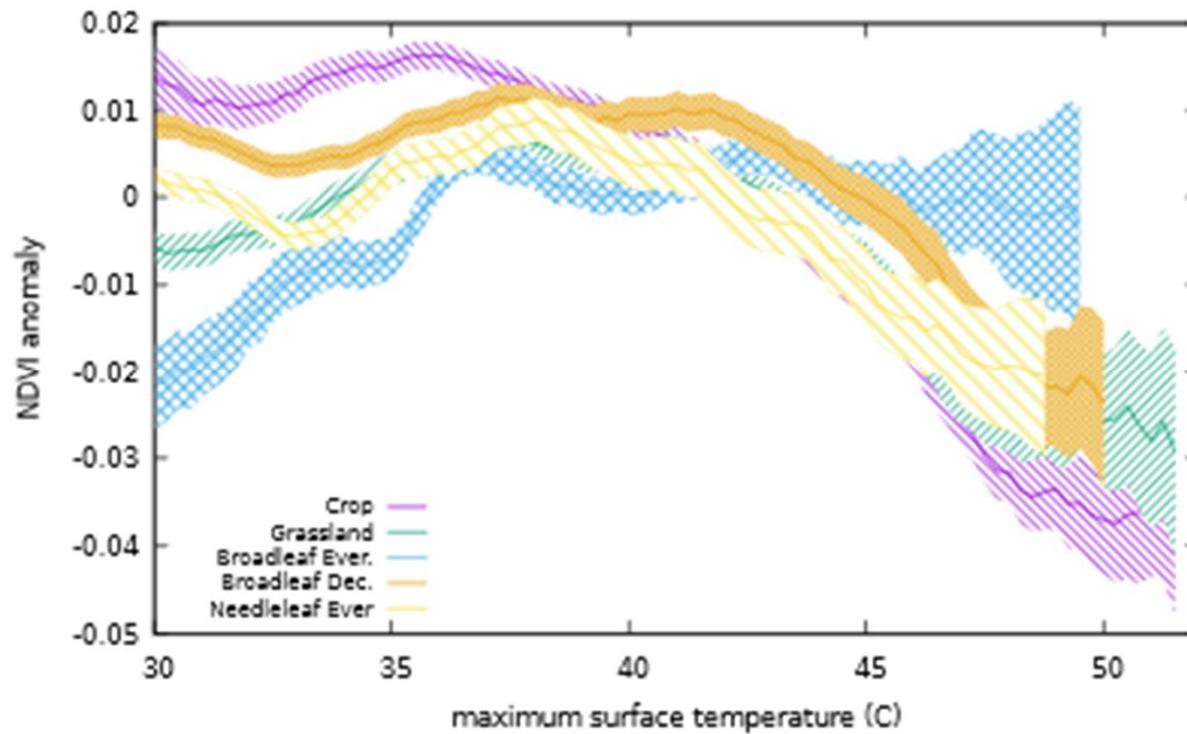
- Grâce à la transpiration les couverts dense parviennent à maintenir une température de surface proche de celle de l'air
- Cependant en cas de stress hydrique la température de surface peut devenir très supérieure à la température de l'air

Un exemple visible sur le site de Puechabon

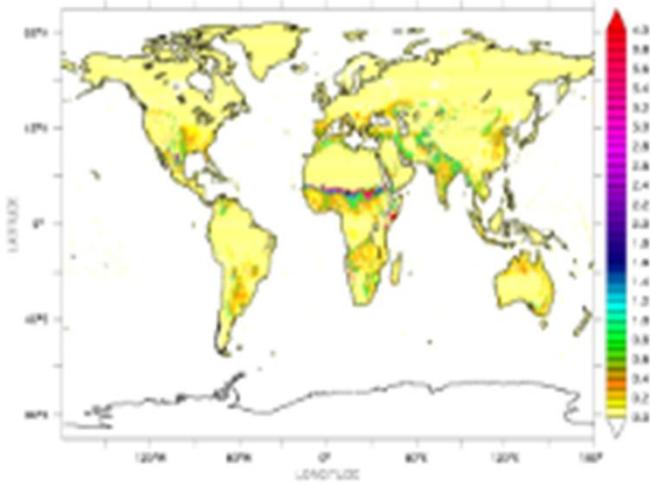


Feuilles brulées après le record de température du 28 Juin 2019

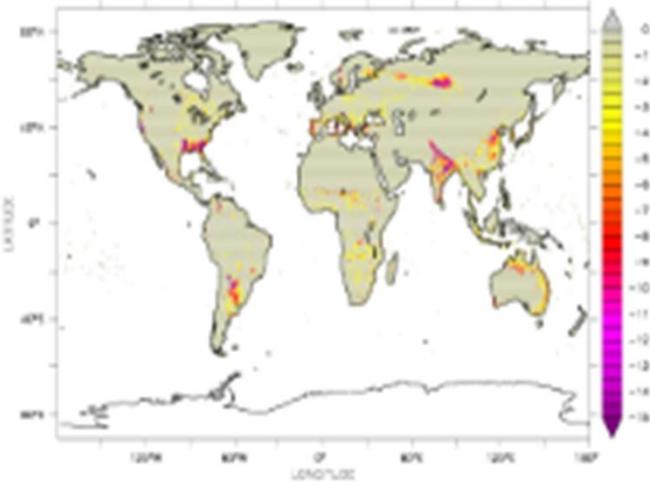
Chute de l'indice foliaire en fonction de la température de surface maximum annuelle



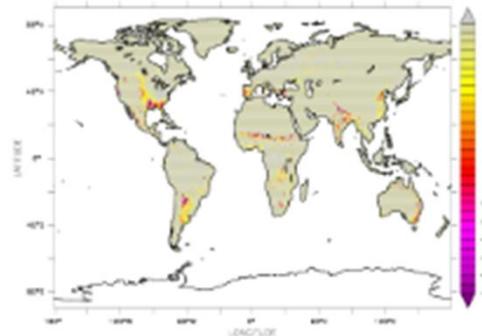
Impact global du stress thermique



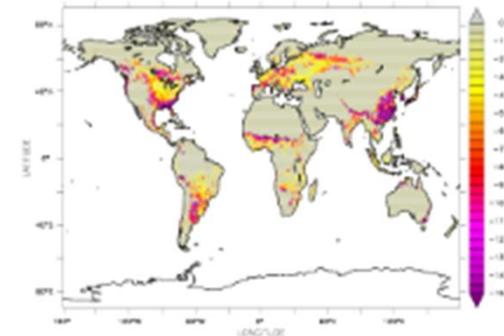
Impact foliaire période historique



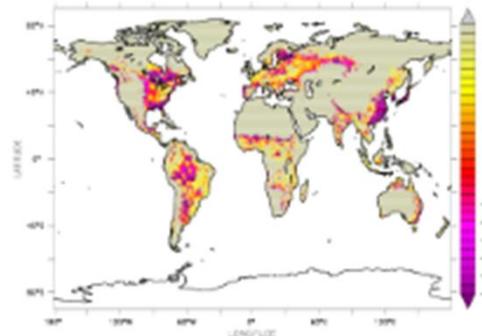
Impact NPP période historique



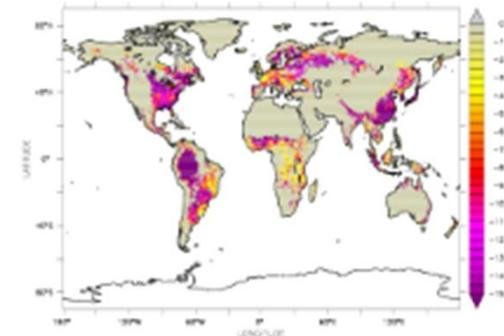
IPSL



MIROC



GFDL

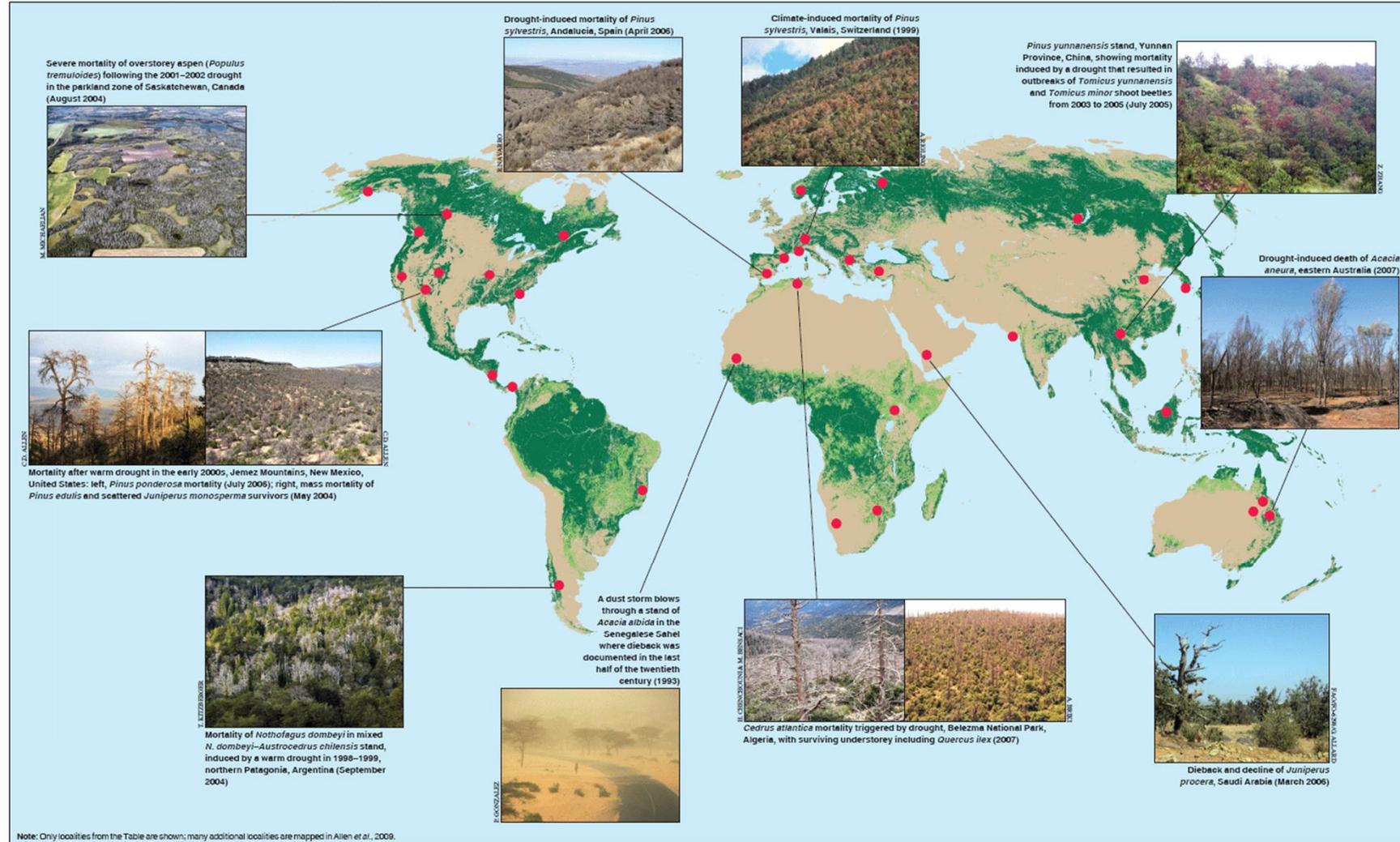


HDGEM

Impact sur la NPP du stress thermique sur 2080-2100, Scénario RCP8.5 pour 4 modèles

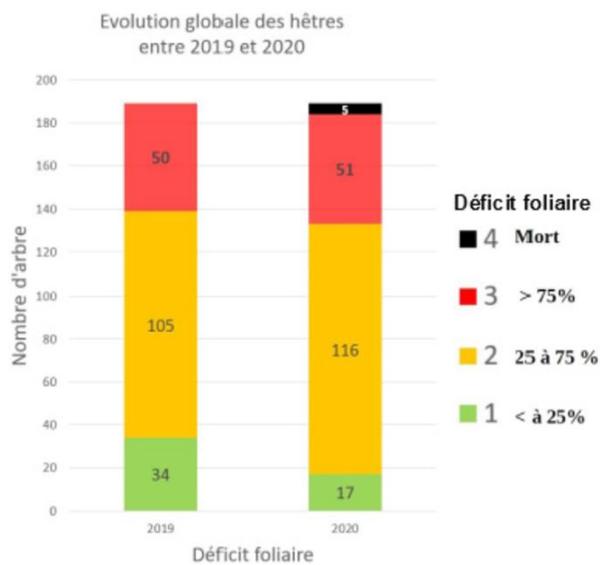
Un état des lieux des dépérissement forestiers

Localities with increased forest mortality related to climatic stress from drought and high temperatures

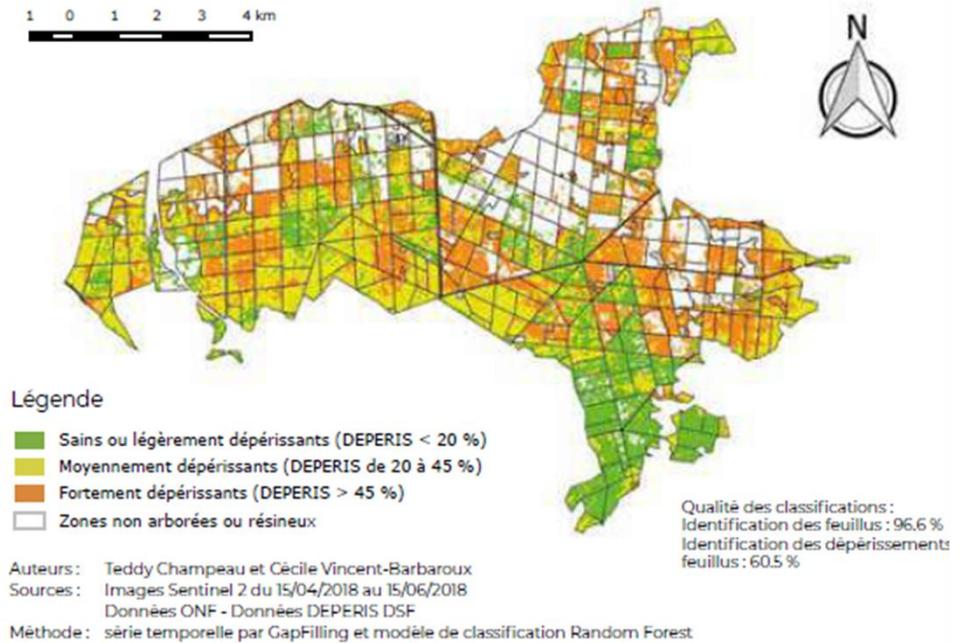


Source FAO

Quelques exemples de dépérissement en France



Un exemple: la forêt de Vierzon

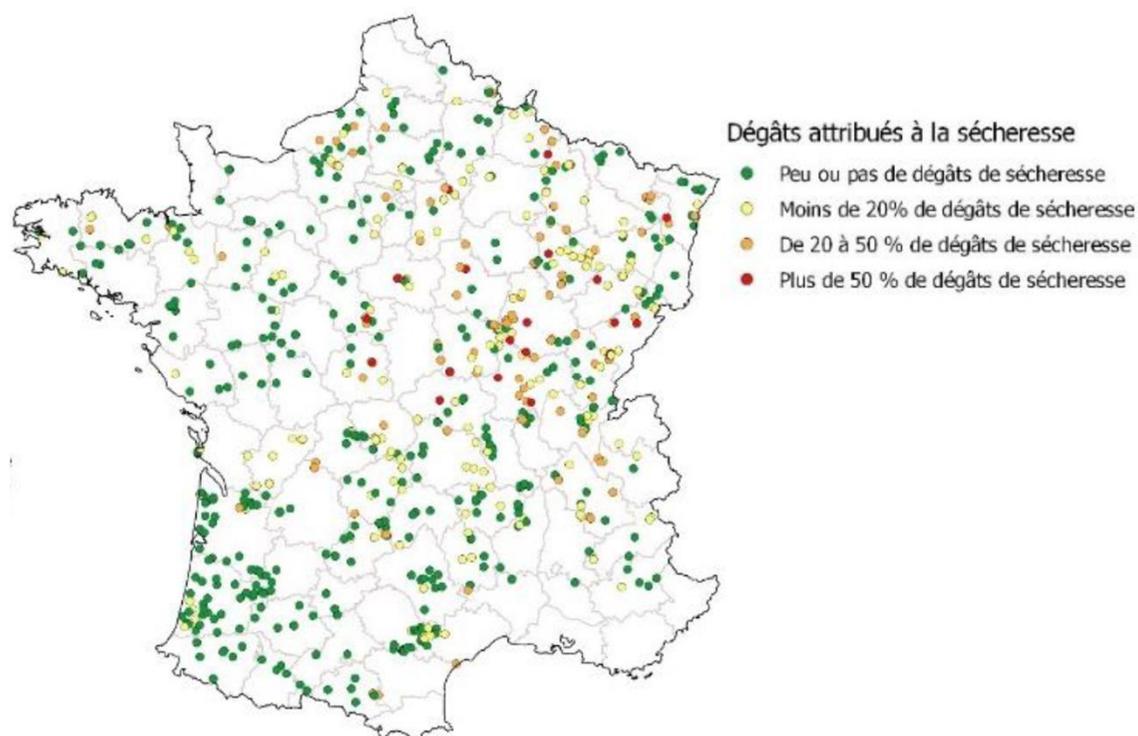
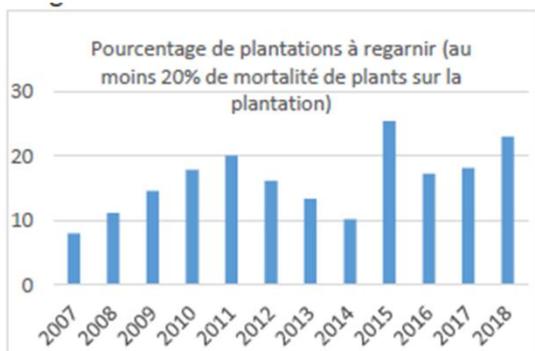


Dégâts liés aux sécheresses de 2018-2019

impact sur les jeunes plants



Régénération de douglas à Saint Bonnet de Joux (71), octobre 2018



Source: lettre du DSF du ministère de l'agriculture, n°54 Juillet 2019

Dégâts liés aux sécheresses de 2018-2019 impact sur les adultes



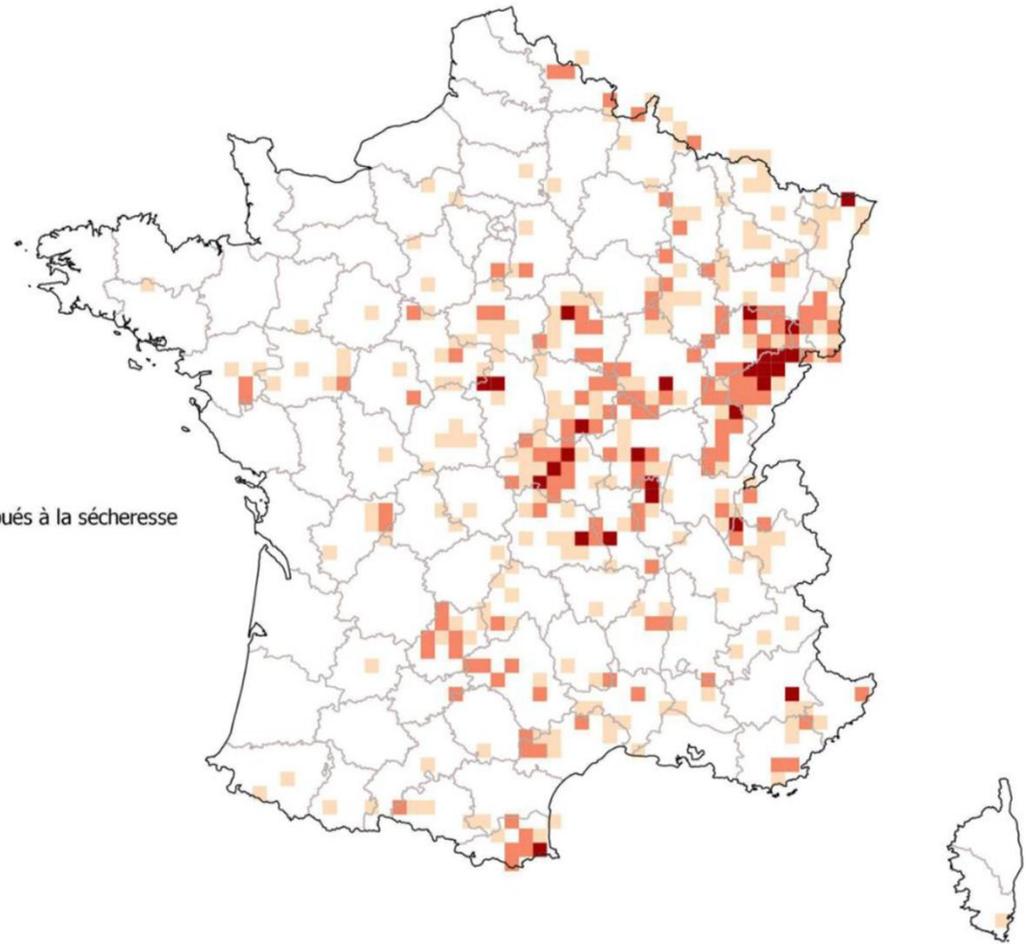
Charmes et chêne en forêt communale de Chailluz (25), septembre 2018



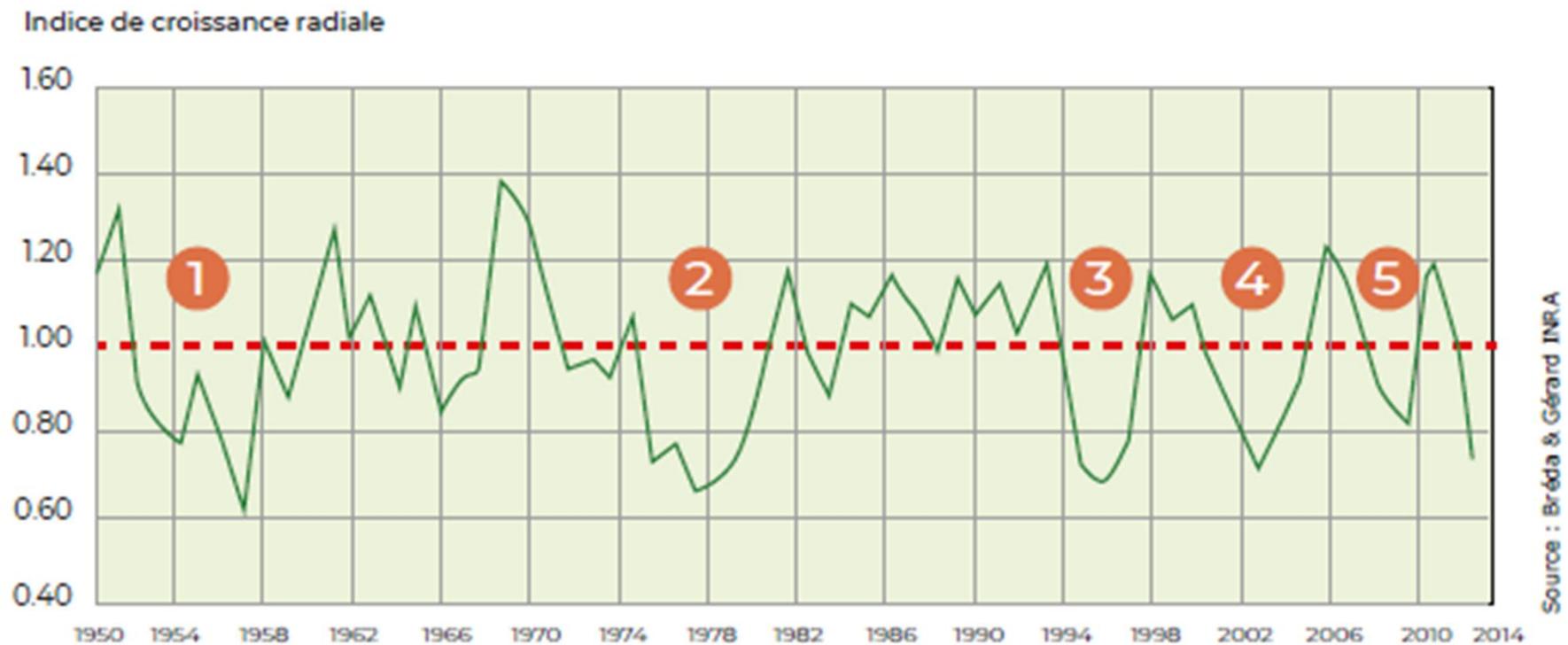
Naisy-les-Granges, fin juillet 2018 (Photo M. Mirabel)

Observations de dégâts attribués à la sécheresse

- Une fiche
- Entre deux et quatre fiches
- Cinq fiches et plus

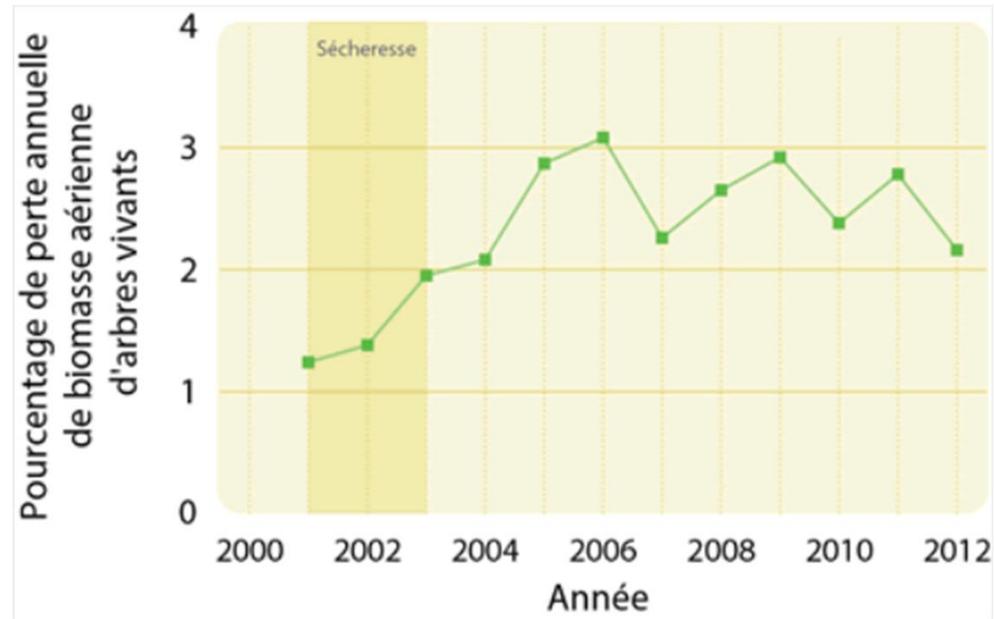


Dendochronologie sur le Chêne en Moselle

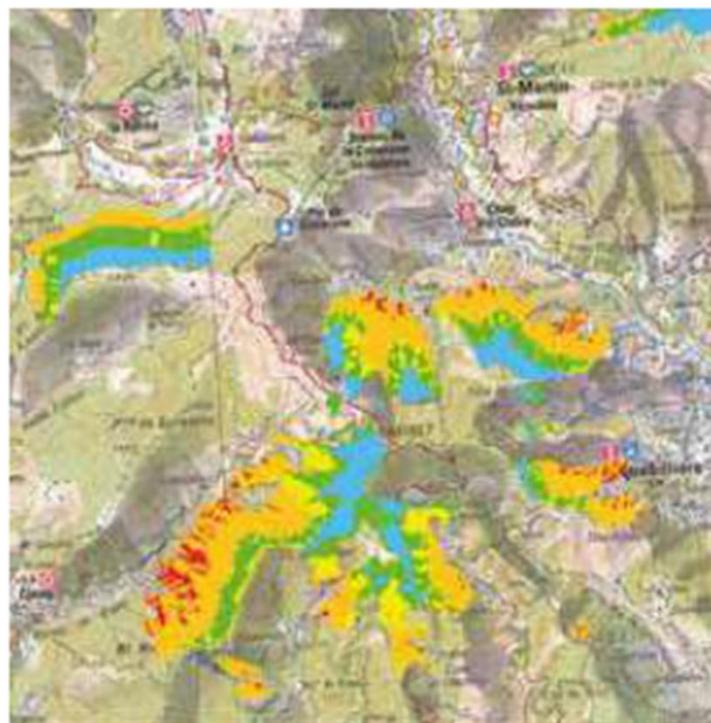


L'effet d'une canicule visible des années après l'événement

- Exemple canicule 2001-2002 sur les tembles canadiens

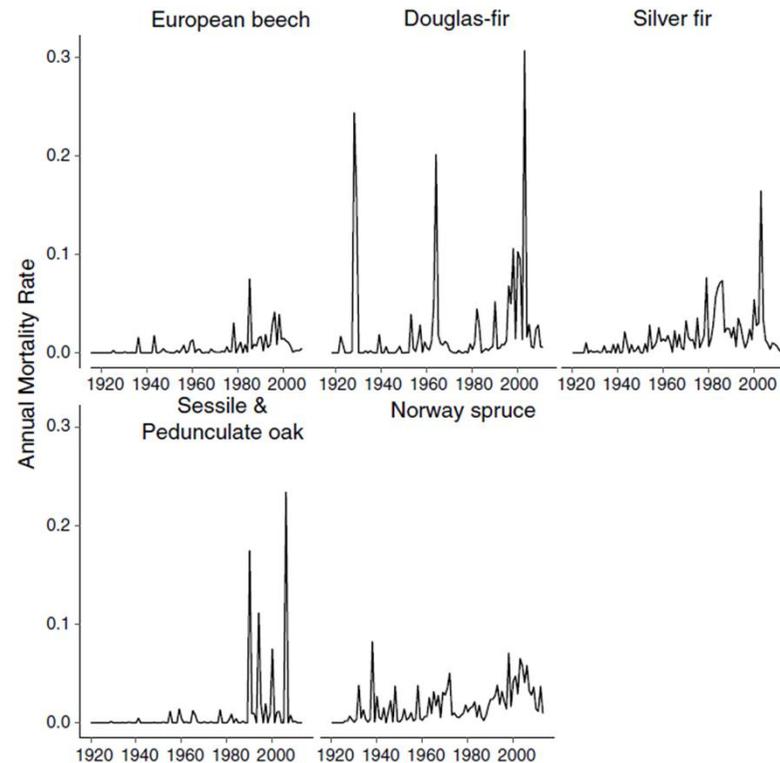
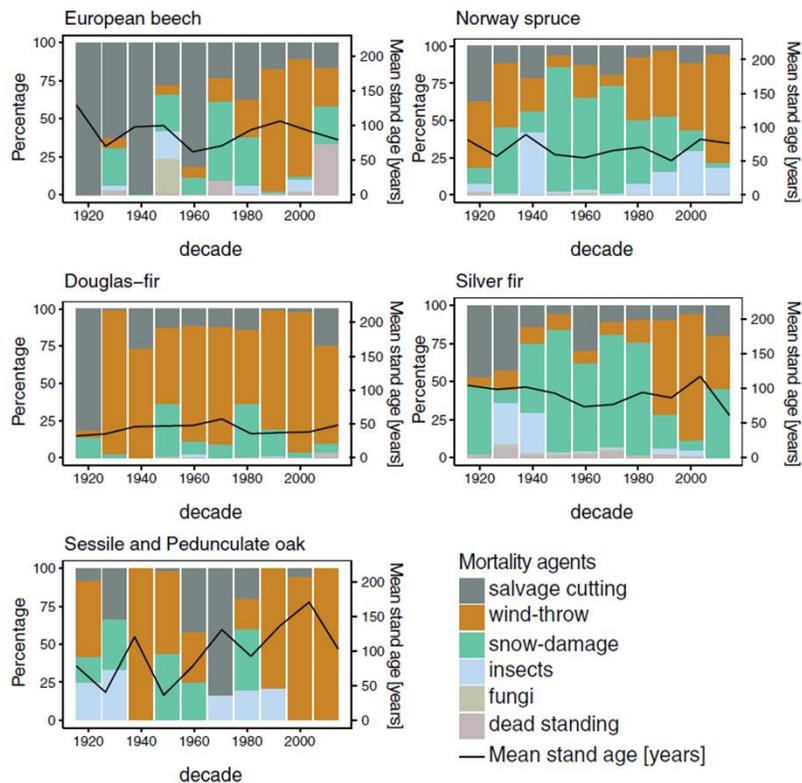


Carte de la vulnérabilité du Sapin pectiné dans les Alpes du sud



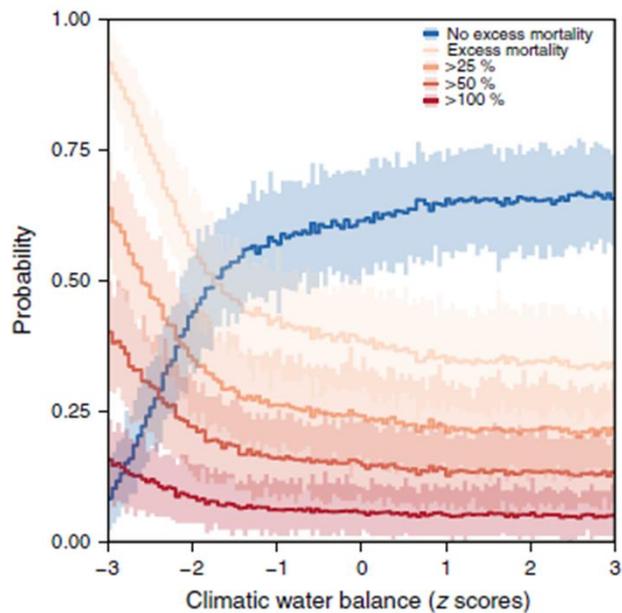
Source : ONF/Conseil départemental 06, fond - Source : IGN scan 100

Evaluation de mortalité par type à l'échelle Européenne

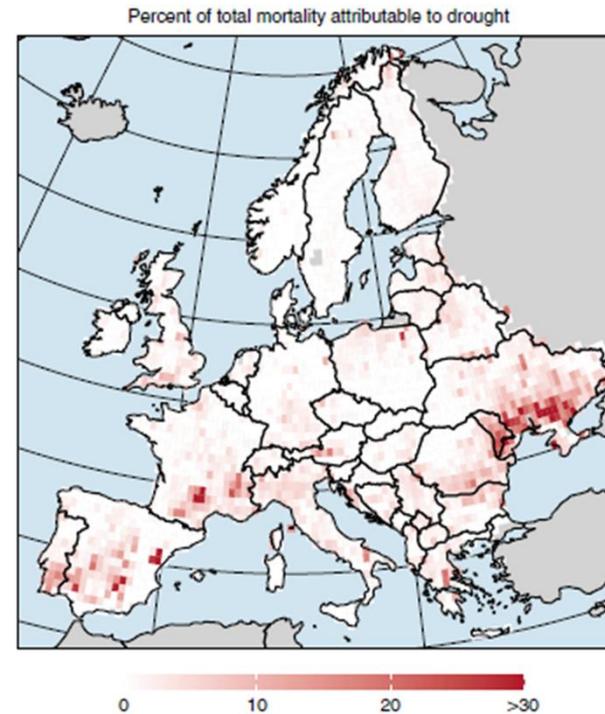


Maringer et al 2021

L'impact de la sécheresse sur la mortalité

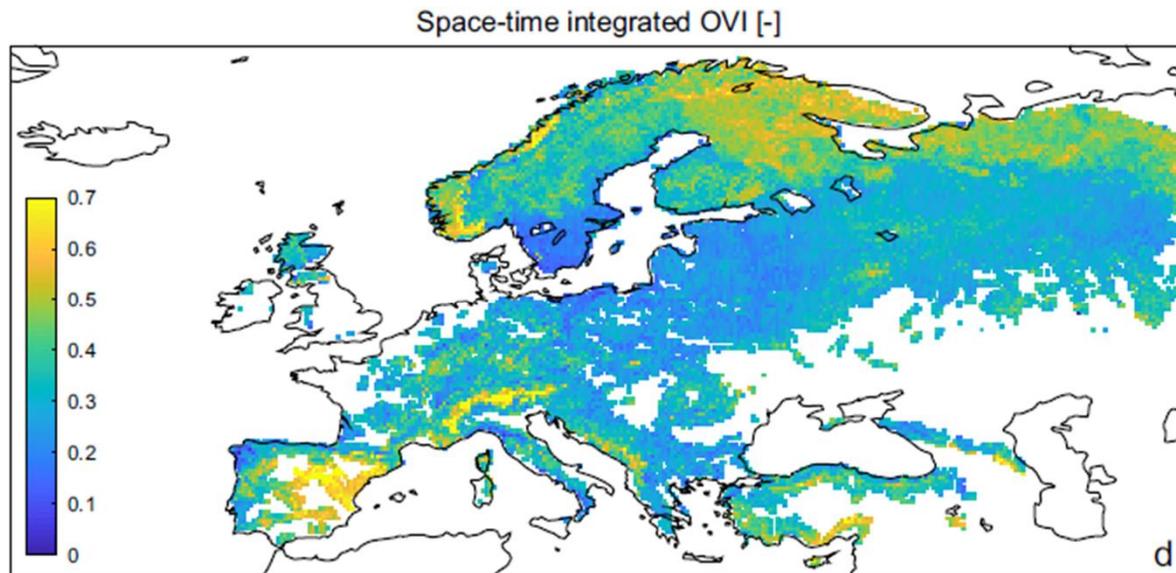


Accroissement du risque de mortalité avec
Le déficit hydrique

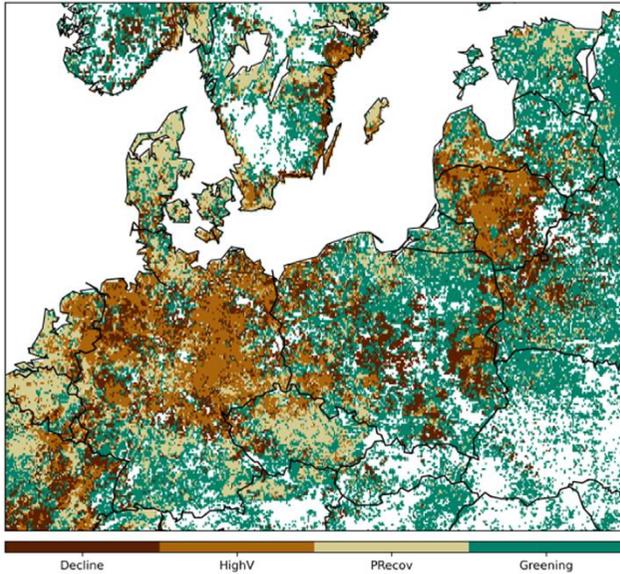


Pourcentage de mortalité attribuée à la sécheresse entre 1987
Et 2016

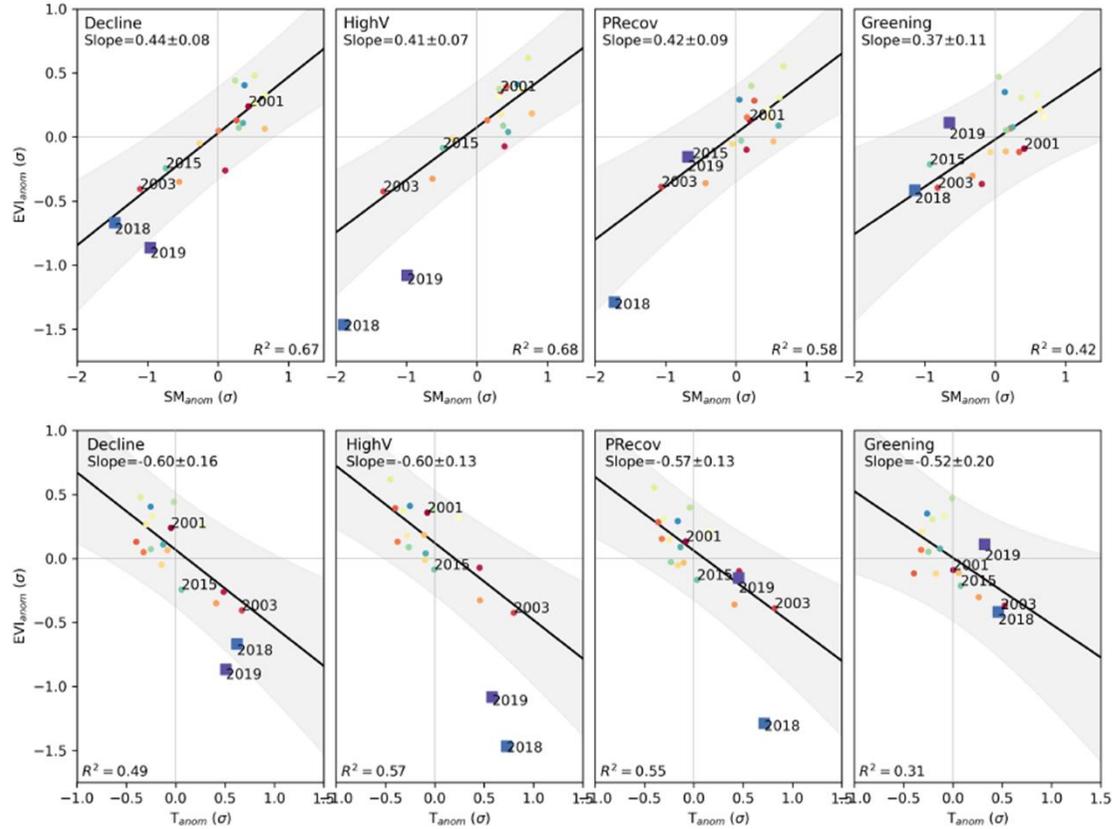
Vulnérabilité combinée



Accroissement de la vulnérabilité (i.e impact accru pour un même évènement)

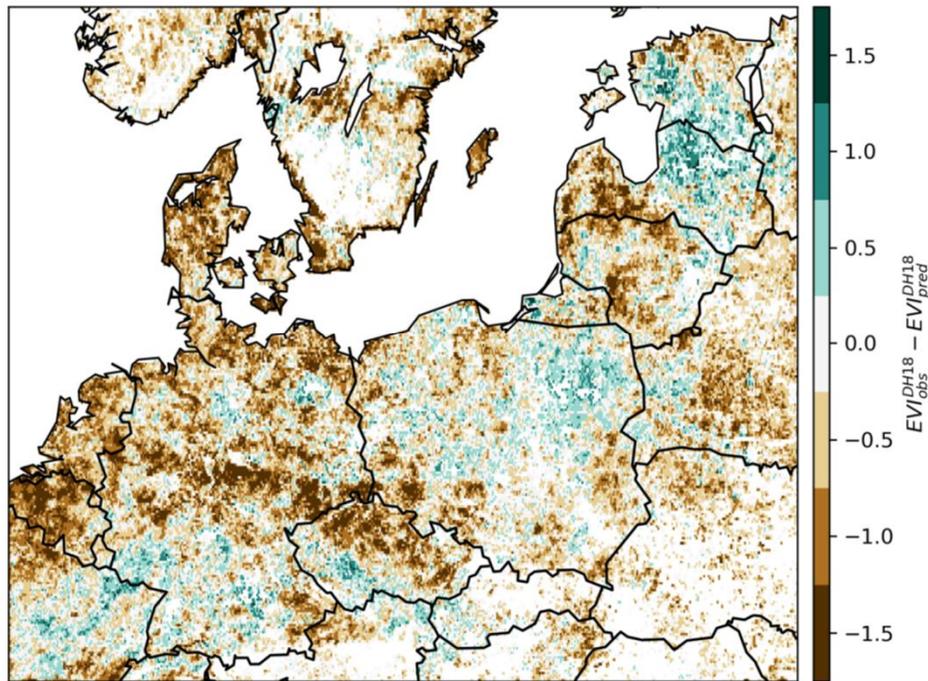


Type d'évolution 2018-2019

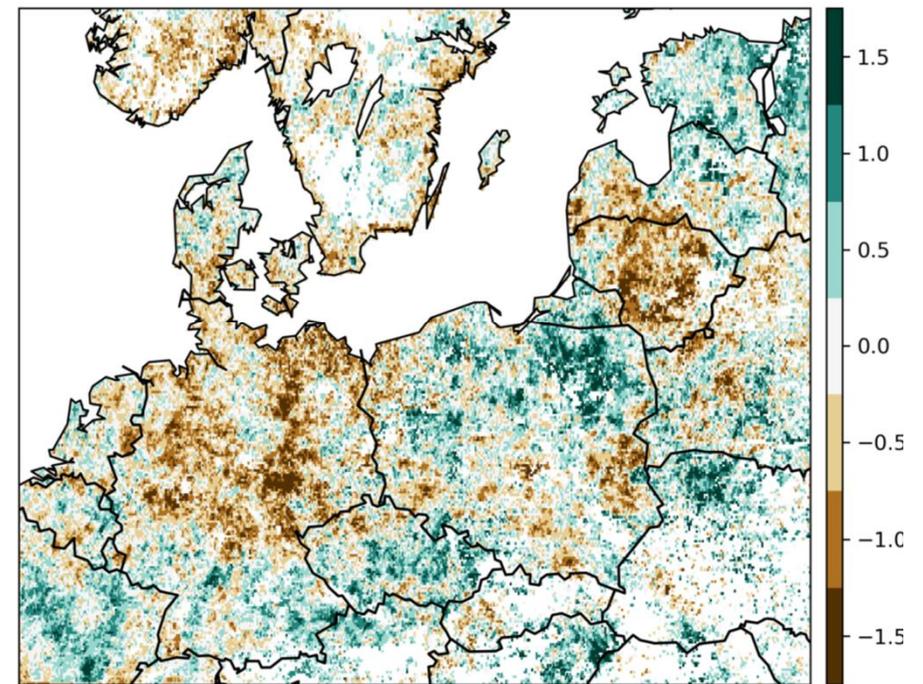


Écart au comportement « attendu »

Carte de l'accroissement de vulnérabilité



2018



2019

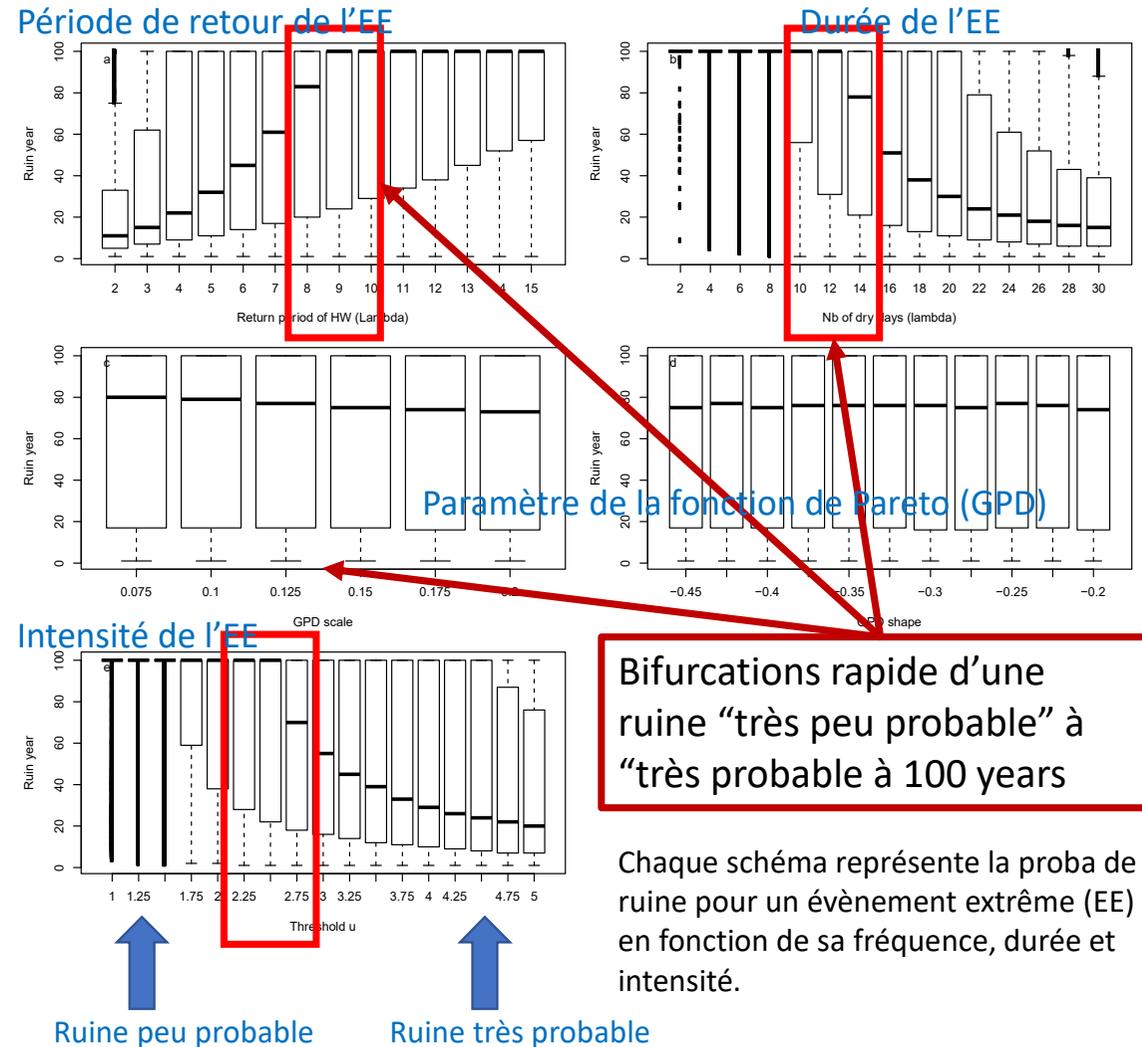
Una approche “théorique”: Modèle de Ruine

Parallèle entre risque de mortalité d’une forêt et système d’assurance:

- Réserve de la plante = capital
- NPP allouée aux réserves = prime
- Perte de réserve suite EE = perte de capital

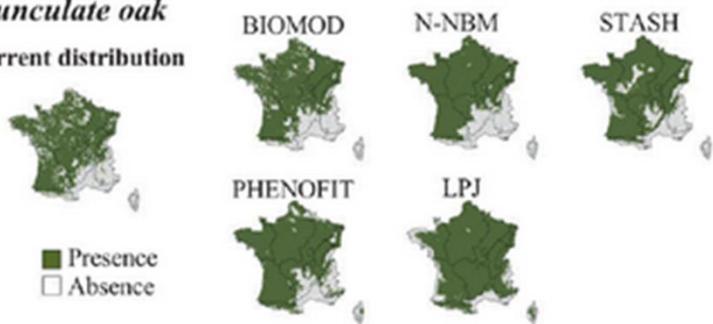
→ Adaptation du modèle de Cramer-Lundberg

Montre une bifurcation rapide d’un état de ruine Peu probable à très probable. En fonction de la fréquence, Durée et intensité des évènements.

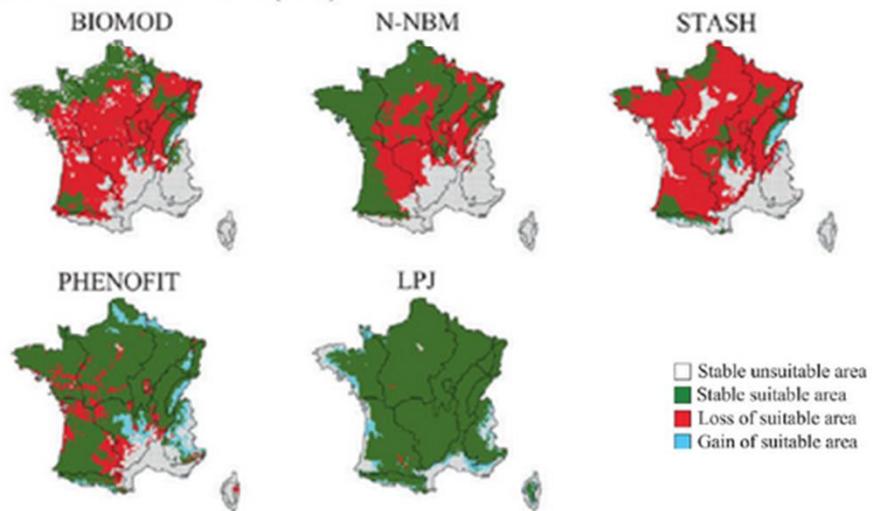


Projection pour le futur

(a) *Pedunculate oak*
Current distribution

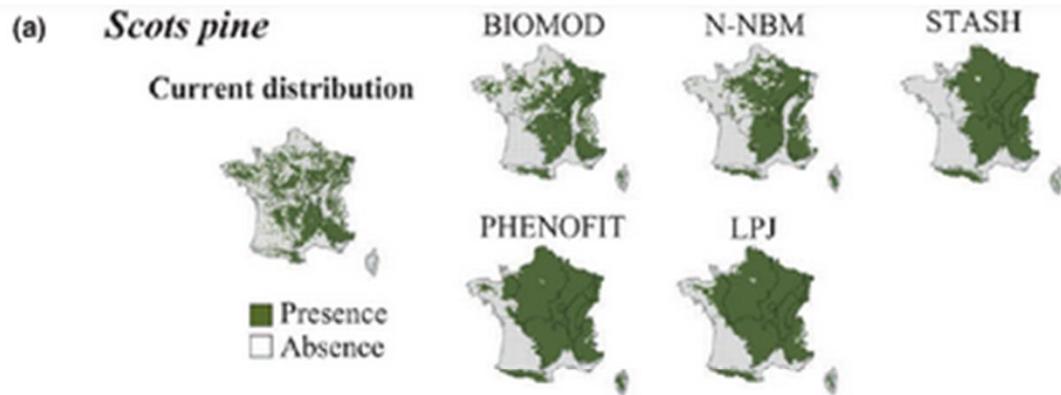


(b) Predicted future distribution (2055)



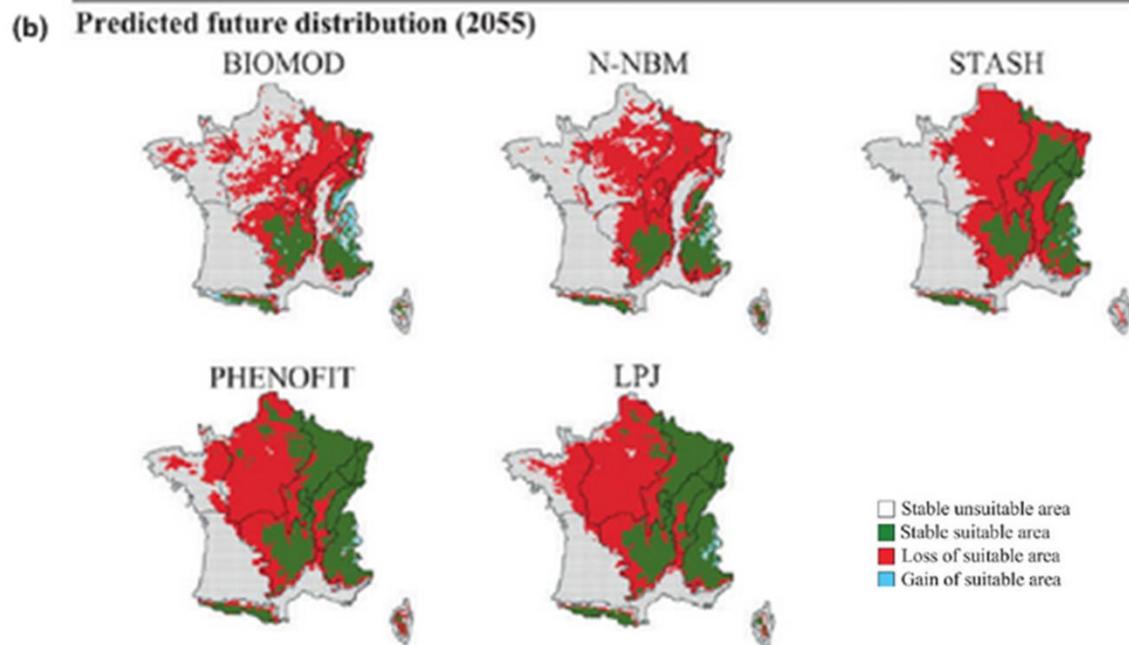
Evolution du couvert forestier
Pour différents modèles et
essence en France

Chêne



Evolution du couvert forestier
Pour différents modèles et
essence en France

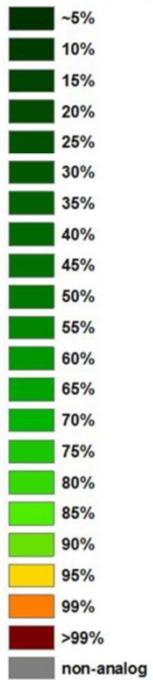
Pin



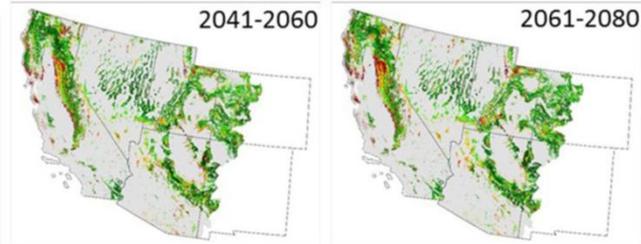
All forest types



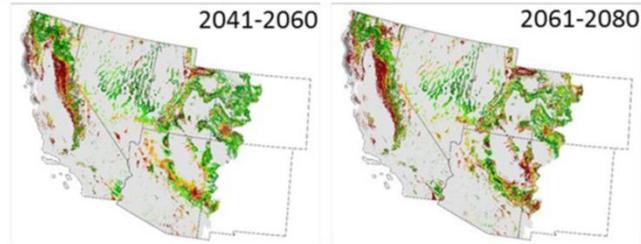
Exposure Category



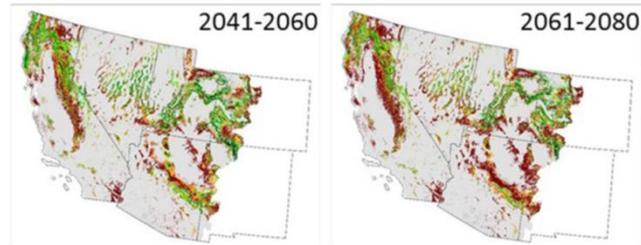
MRI-CGCM3; RCP4.5



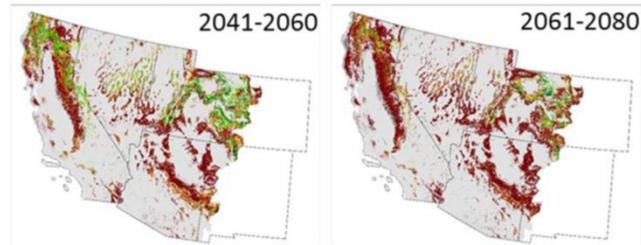
MRI-CGCM3; RCP8.5



MIROC-ESM-CHEM; RCP4.5



MIROC-ESM-CHEM; RCP8.5



Evolution de la vulnérabilité des forêts dans Le sud ouest de Etats Unis

Thorne et al. 2018

Conclusion

- La forêt vulnérable à différents facteurs biotiques et abiotiques qui peuvent s'additionner (e.g pathogènes après tempête ou sécheresse)
- Certains facteurs vont augmenter de façon certaine avec le CC climatique (sécheresse, stress thermique, feux). D'autres moins établis (tempêtes)
- L'arrivée de nouveaux pathogènes lié au changement climatique et aux échanges accrus
- Déjà des dépérissements importants observés, et qui devraient augmenter dans un proche avenir en Europe avec la séquence 2018-2020.
- Une vulnérabilité qui semble s'accroître (pour les mêmes conditions).
- Des projections futures pessimistes mais où il existe une très large incertitude.