



Des solutions naturelles pour faire face aux crises du climat et de la biodiversité dans nos forêts



Prof. Christian Messier, ing. f., *Université du Québec à Montréal (UQAM) et (UQO), Chaire du Canada sur la résilience des forêts face aux changements globaux et Chaire HQ sur le contrôle de la croissance des arbres*



Institut des Sciences
de la Forêt tempérée

UQÀM
Université du Québec à Montréal

UQO

cēf
Centre d'étude de la forêt

Plan de la présentation

- **La foresterie et ses fantômes**
- La forêt menacée
- Quelques nouveaux concepts intéressants
- Pour une foresterie de résilience



Coupe avec protection de
la régénération



Aménagement forestier au Québec aujourd'hui



Coupe avec rétention



Coupe partielle



Coupe de jardinage



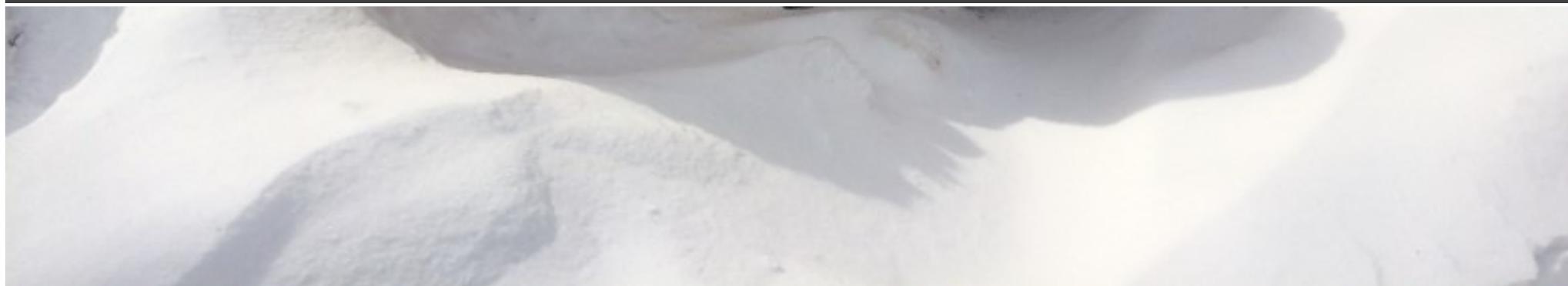


Plantations mono-
spécifiques





La foresterie a toujours visé à simplifier la forêt pour maximiser certains services. **Est-ce toujours la bonne approche?**

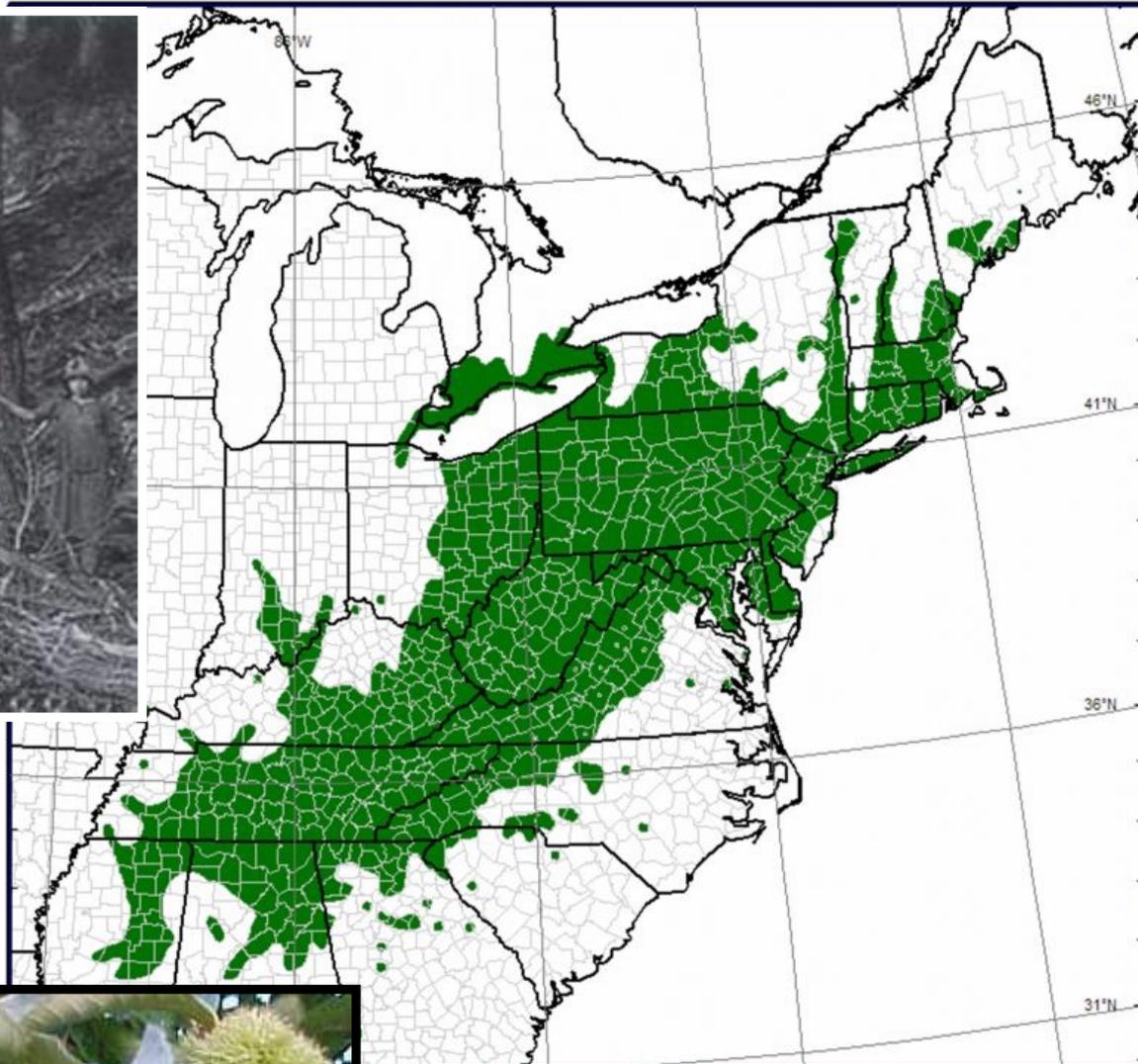


Plan de la présentation

- La foresterie et ses fantômes
- **La forêt menacée**
- Quelques nouveaux concepts intéressants
- Pour une foresterie de Résilience

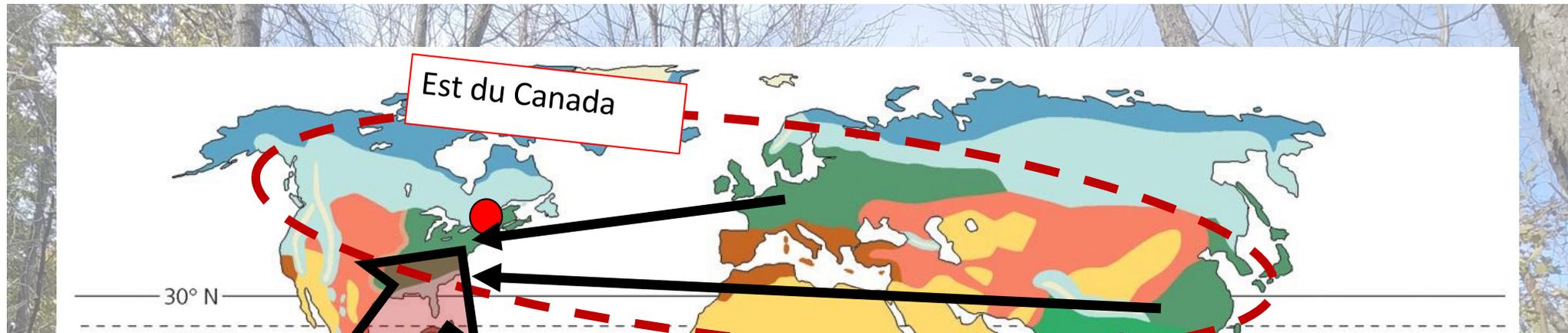
La forêt menacée





La disparition du chataîgnier (*Castanea dentata*) par un champignon venant d'Asie apparu en 1904

La menace des insectes et maladies exotiques



Ecological Applications, 26(5), 2016, pp. 1437–1455

© 2016 The Authors *Ecological Applications* published by Wiley Periodicals, Inc. on behalf of Ecological Society of America

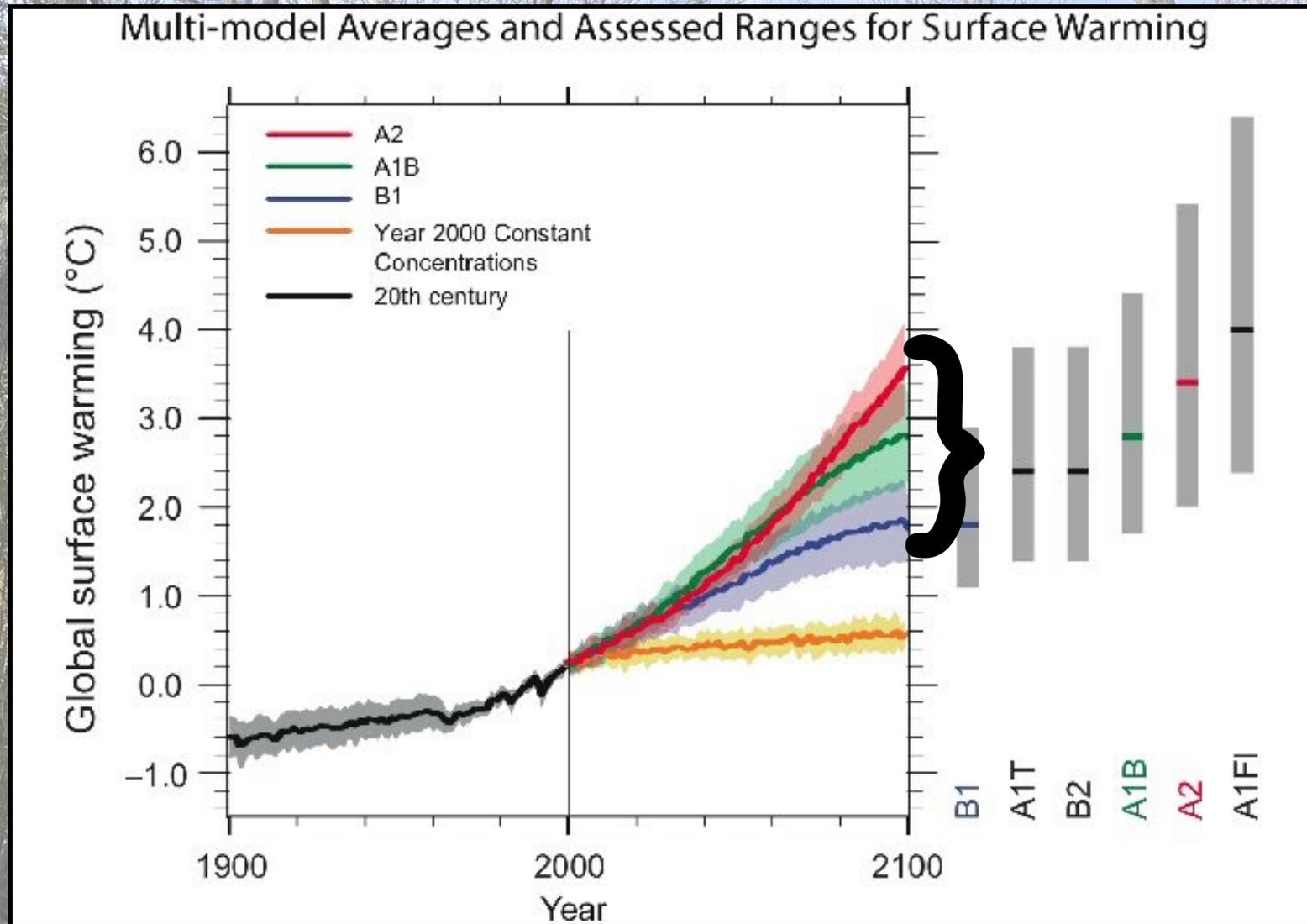
This is an open access article under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivs License, which permits use and distribution in any medium, provided the original work is properly cited, the use is non-commercial and no modifications or adaptations are made.

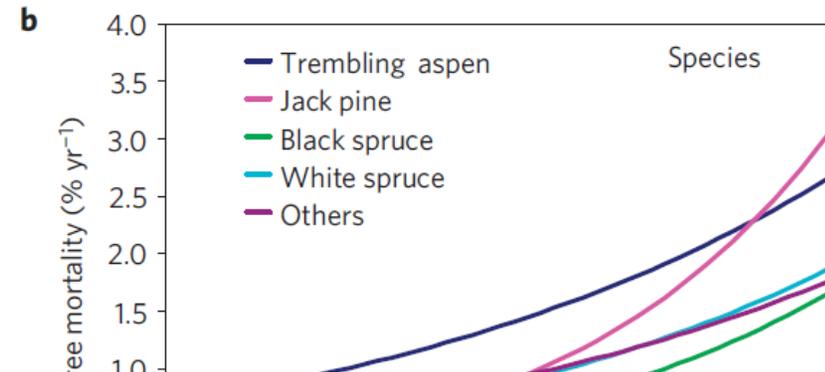
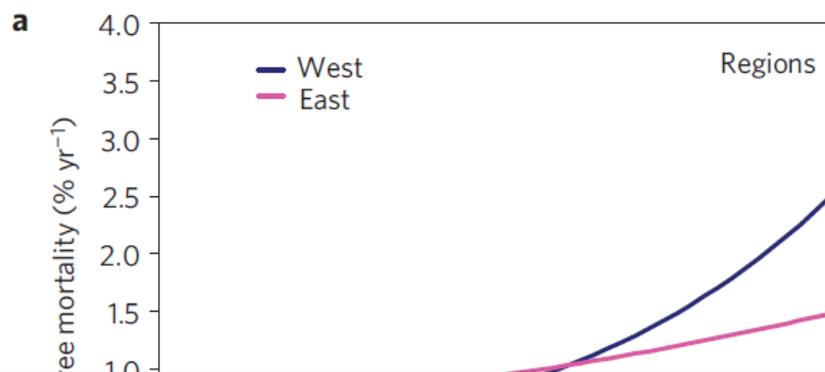
Nonnative forest insects and pathogens in the United States: Impacts and policy options

GARY M. LOVETT,^{1,12} MARISSA WEISS,^{2,3} ANDREW M. LIEBHOLD,⁴ THOMAS P. HOLMES,⁵ BRIAN LEUNG,⁶
KATHY FALLON LAMBERT,^{2,3} DAVID A. ORWIG,³ FAITH T. CAMPBELL,⁷ JONATHAN ROSENTHAL,⁸ DEBORAH G. MCCULLOUGH,⁹
RADKA WILDOVA,⁸ MATTHEW P. AYRES,¹⁰ CHARLES D. CANHAM,¹ DAVID R. FOSTER,³ SHANNON L. LADEAU,¹ AND
TROY WELDY¹¹

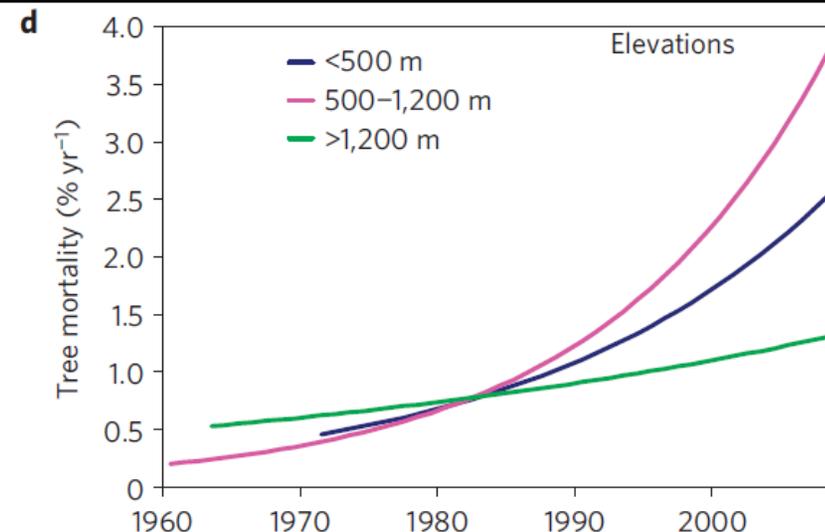
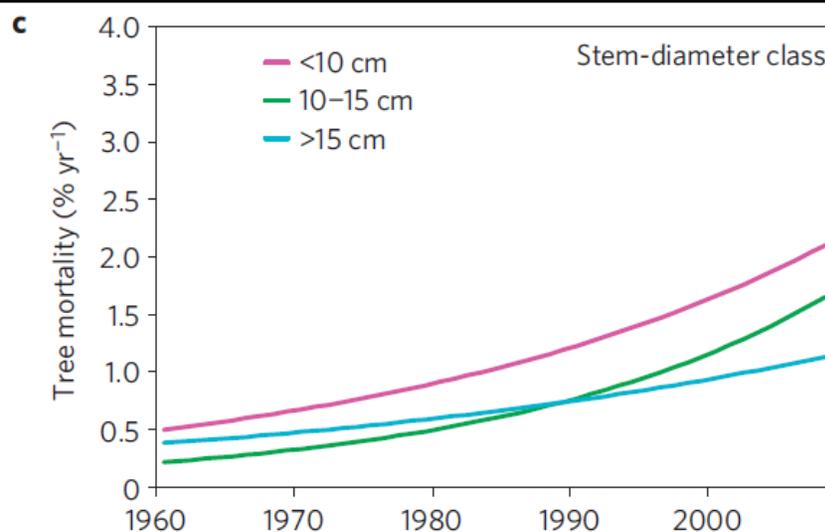
Plus de 25 insectes et maladies exotiques sont présents et risquent de fortement affecter plus de 30 espèces d'arbres du Québec dans les 50 prochaines années

Le réchauffement climatique





Le taux de mortalité des arbres est en **augmentation PARTOUT** au **Canada** et pour **TOUTES** les espèces depuis les années 70-80



represent, respectively, Canada's boreal and hemiboreal regions. Of these plots, 70 were located in western Canada including Alberta (AB), Saskatchewan (SK) and Manitoba (MB), and 26 were located in eastern Canada including Ontario (ON) and Quebec (QC).

Annual Review of Plant Biology

Climate Change Risks to Global Forest Health: Emergence of Unexpected Events of Elevated Tree Mortality Worldwide

Annu. Rev. Plant Biol. 2022. 73:673–702

Henrik Hartmann,¹ Ana Bastos,² Adrian J. Das,³
Adriane Esquivel-Muelbert,^{4,5} William M. Hammond,⁶
Jordi Martínez-Vilalta,^{7,8} Nate G. McDowell,^{9,10}
Jennifer S. Powers,¹¹ Thomas A.M. Pugh,^{4,5,12}
Katinka X. Ruthrof,^{13,14} and Craig D. Allen¹⁵

¹Max Planck Institute for Biogeochemistry, Department of Biogeochemical Dynamics, Leipzig, Germany



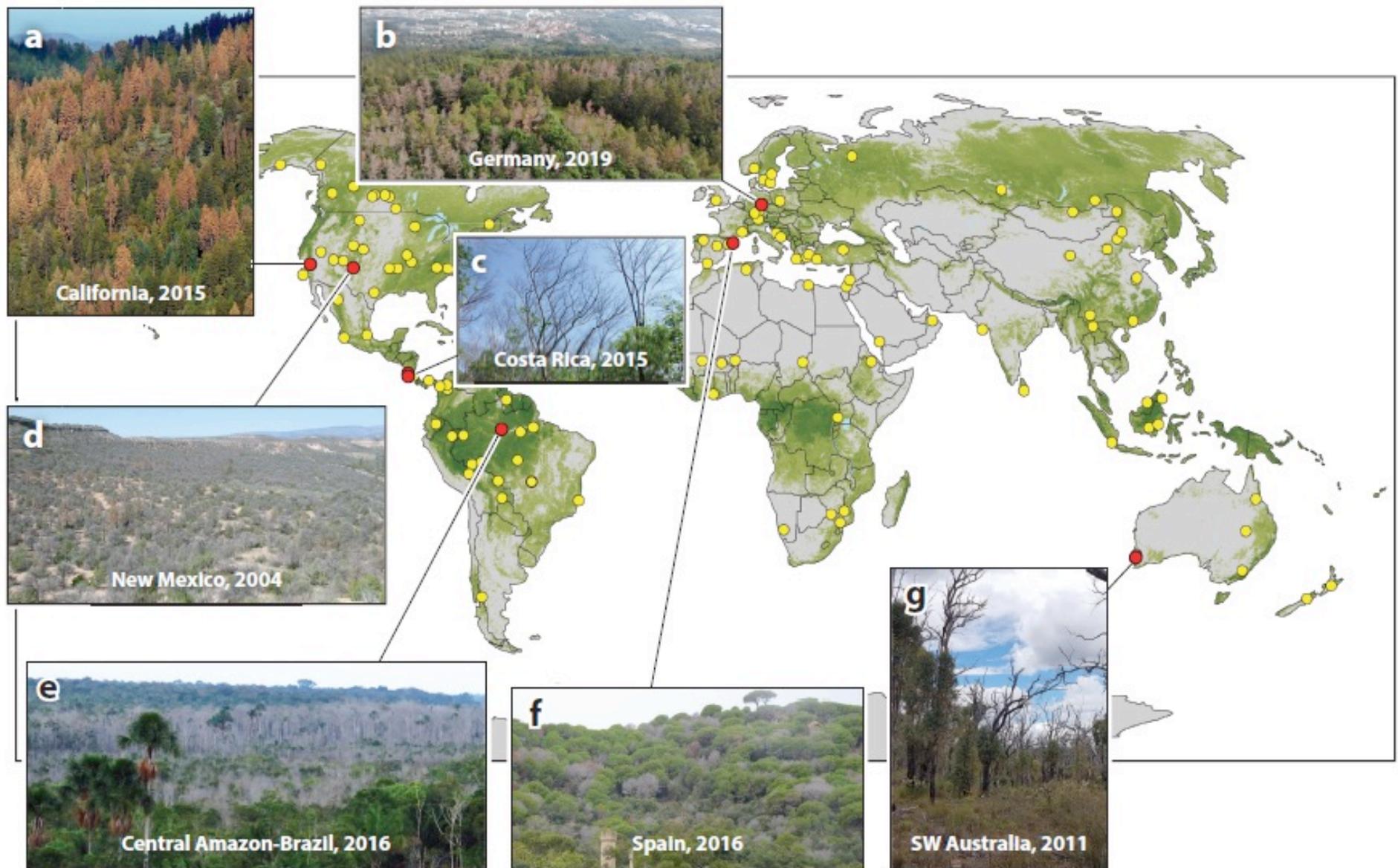


Figure 1

Published observations of elevated tree mortality in response to drought and heat (*yellow dots*). These documented observations have been presented in References 9, 10, 72, and 78. Locations of selected mortality events presented here as case studies are indicated by red dots and illustrated by inset photos. The forest cover shown here is adapted with permission from the canopy height map of Reference 142, with only canopies 5 m or taller plotted and taller canopies in increasingly darker green. (a) Dying *Pinus* and *Abies* in California; photo provided by Nate Stephenson. (b) *Pinus sylvestris* mortality in a matrix of living *Fraxinus excelsior* in Germany; photo provided by Henrik Hartmann. (c) Photo taken in 2017 of ongoing mortality after 2015 drought in Costa Rica; photo provided by

RESEARCH ARTICLE

Significant increase in natural disturbance impacts on European forests since 1950

Marco Patacca^{1,2}  | Marcus Lindner³  | Manuel Esteban Lucas-Borja⁴  |
Thomas Cordonnier⁵  | Gal Fidej⁶  | Barry Gardiner^{7,8}  | Ylva Hauf⁹  |
Gediminas Jasinevičius¹⁰  | Sophie Labonne⁵  | Edgaras Linkevičius¹¹  |
Mats Mahnken^{9,12}  | Slobodan Milanovic^{13,14}  | Gert-Jan Nabuurs^{1,2}  |
Thomas A. Nagel⁶  | Laura Nikinmaa^{3,15}  | Momchil Panyatov¹⁶  |
Roman Bercak¹⁷  | Rupert Seidl^{18,19}  | Masa Zorana Ostrogović Sever²⁰  |
Jaroslaw Socha²¹  | Dominik Thom^{16,22}  | Dijana Vuletic²⁰  | Sergey Zudin³  |
Mart-Jan Schelhaas¹ 



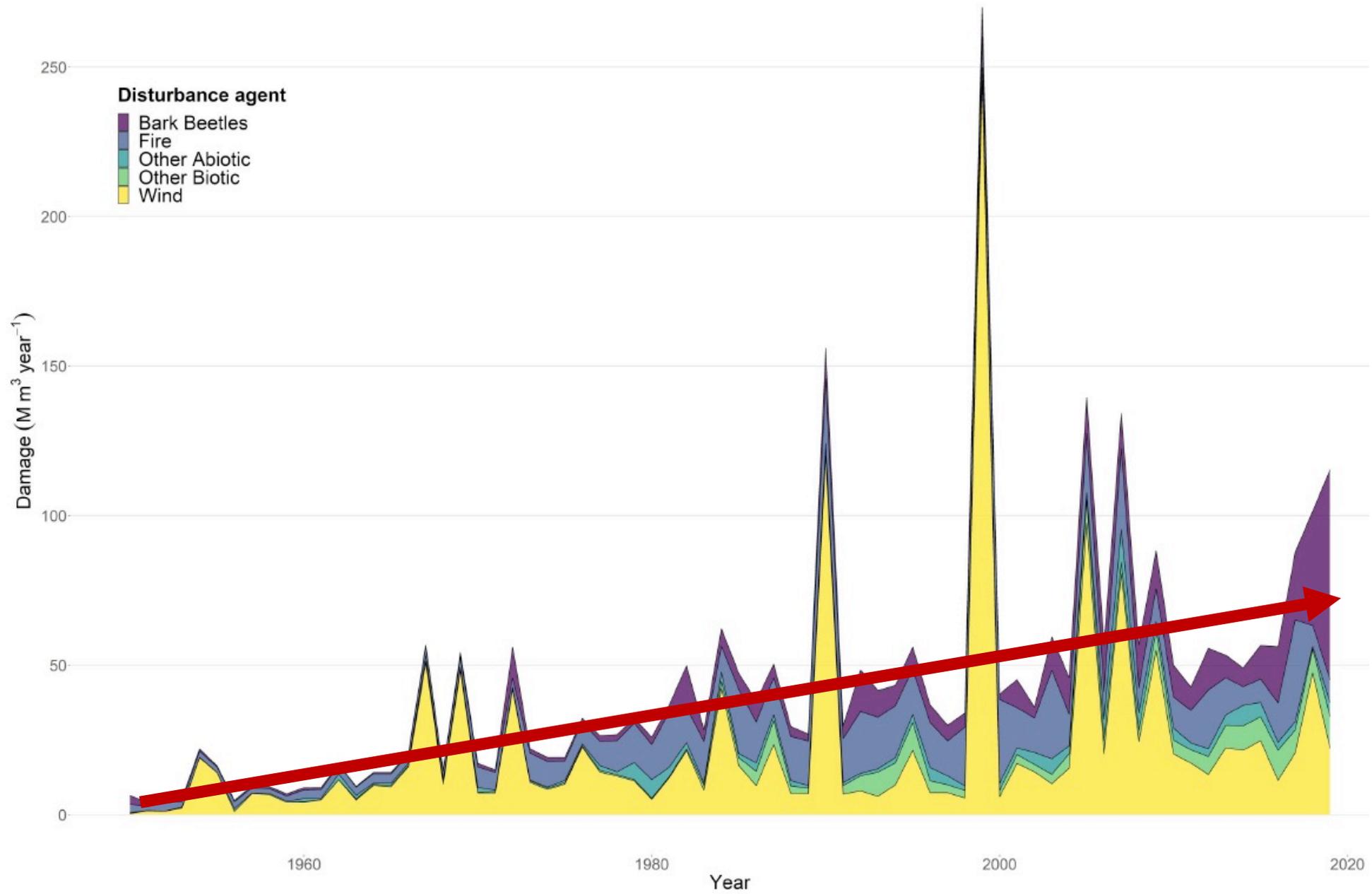
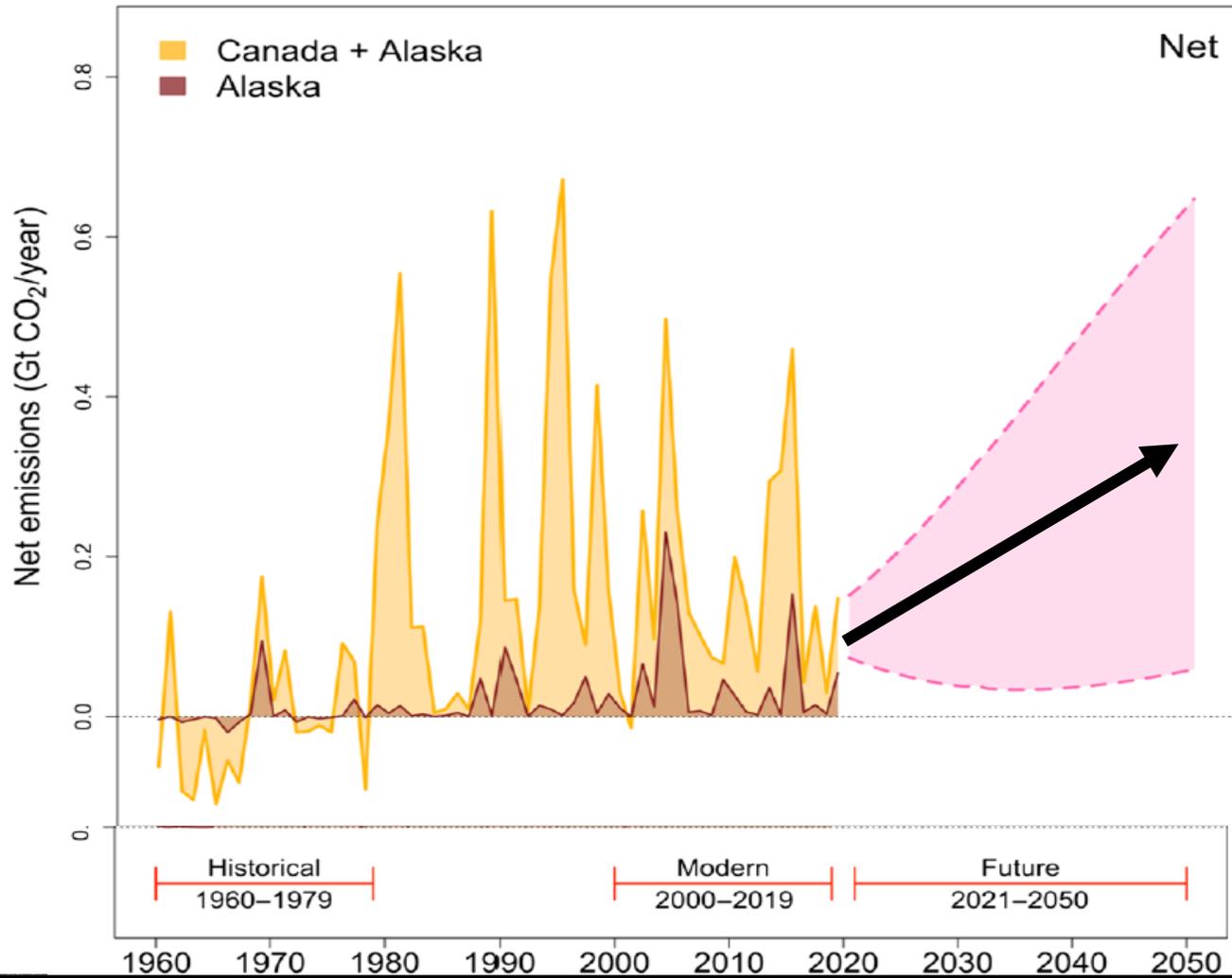


FIGURE 3 Total reported damage caused by natural disturbance in Europe between 1950 and 2019.

Escalating carbon emissions from North American boreal forest

Carly A. Phillips
James T. Ra

Obama⁴,



FOREST ECOLOGY

A climate risk analysis of Earth's forests in the 21st century

William R. L. Anderegg^{1,2*}, Chao Wu^{1,2}, Nezha Acil^{3,4}, Nuno Carvalhais^{5,6}, Thomas A. M. Pugh^{3,4,7}, Jon P. Sadler^{3,4}, Rupert Seidl^{8,9}

Earth's forests harbor extensive biodiversity and are currently a major carbon sink. Forest conservation and restoration can help mitigate climate change; however, climate change could fundamentally imperil forests in many regions and undermine their ability to provide such mitigation. The extent of climate risks facing forests has not been synthesized globally nor have different approaches to quantifying forest climate risks been systematically compared. We combine outputs from multiple mechanistic and empirical approaches to modeling carbon, biodiversity, and disturbance risks to conduct a synthetic climate risk analysis for Earth's forests in the 21st century. Despite large uncertainty in most regions we find that some forests are consistently at higher risk, including southern boreal forests and those in western North America and parts of the Amazon.



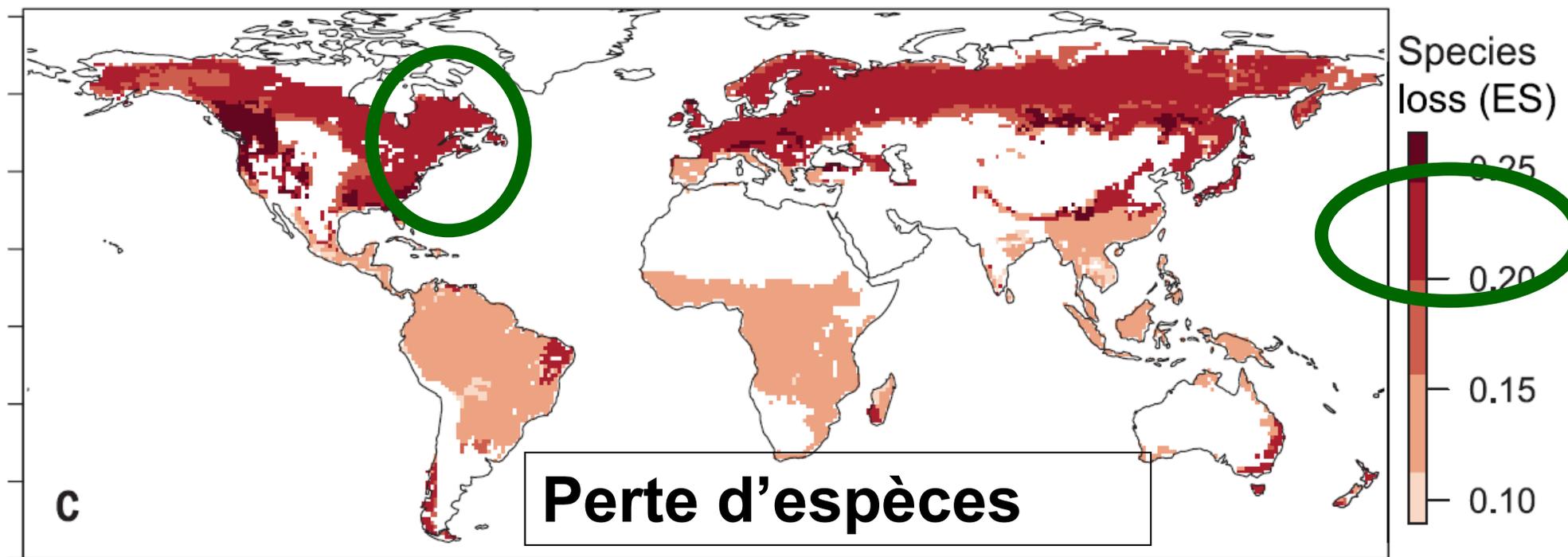


Fig. 2. Global forest risk estimates from climate envelope approaches. (C) Risk of loss in species richness [quantified as an effect size (ES) of $-1 \times \log(\text{DSpeciesRichness}_{\text{highcc-mitigation}} / \text{DSR}_{\text{baseline}})$] where higher numbers indicate more risk of species loss) in the 2070s in a high climate change (RCP 8.5) scenario from Mori et al. 2021 (21).

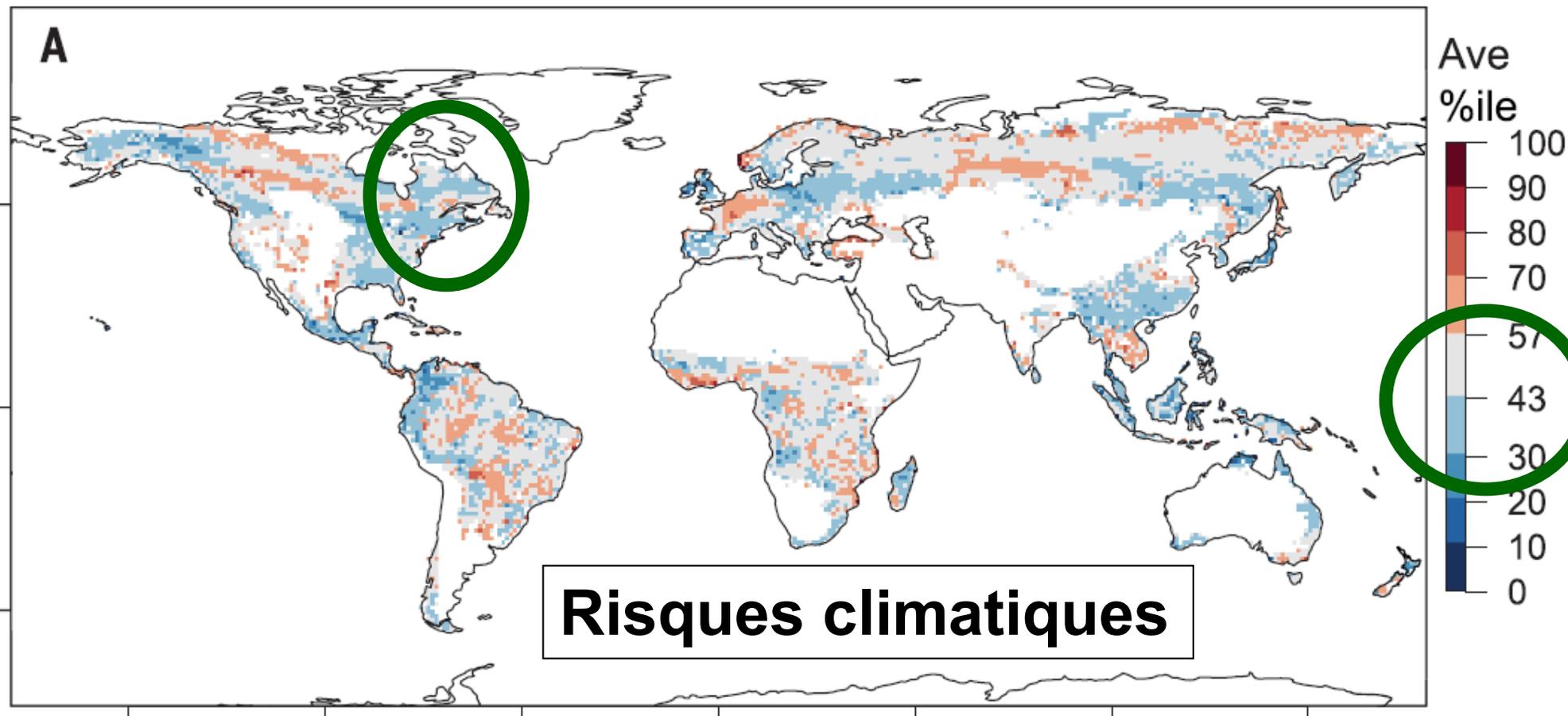


Fig. 4. Comparisons and syntheses across different climate risk axes.

(A) Average percentile of risk combined across all metrics where 0%ile is lowest climate risk and 100%ile is highest climate risk, averaged across all datasets that covered a given grid cell.



Intensification des perturbations forestières et interactions avec le changement climatique



“Nous concluons que les écosystèmes et la société doivent être préparés à un avenir **DE PLUS EN PLUS PERTURBÉ** des forêts.”

Seidl et al. 2018. Nat. Clim. Change



On rentre dans une zone de “**haute turbulence et d’incertitude**”, y-a-t’il des solutions?



Plan de la présentation

- La foresterie et ses fantômes
- La forêt menacée
- **Des nouveaux concepts intéressants**
- Pour une foresterie de résilience

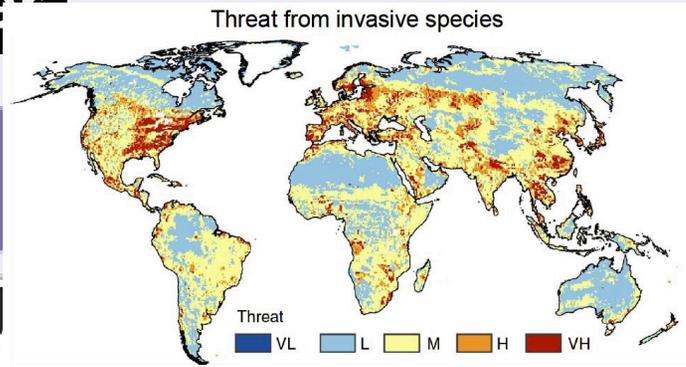
Concept de nouvel écosystème

Management of novel ecosystems: are novel approaches required?

Timothy R Seastedt^{1*}, Richard J Hobbs², and Katharine N Suding³

Hier

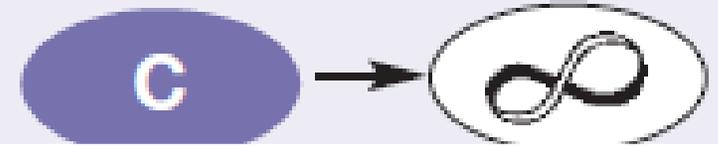
Position
Altered



Aujourd'hui &
demain

**Nouvel
écosystème**

Position
Altere



➤ On ne doit pas intervenir
forestières seulement sur nos connaissances du
passé, mais **AUSSI selon les conditions futures
changeantes et incertaines**

Historical

Altered

Environmental conditions

H



Environmental conditions

Reconciling Conflicting Paradigms of Biodiversity Conservation: Human Intervention and Rewilding

December 2019 / Vol. 69 No. 12 • BioScience 997

➤ *On doit considérer de plus en plus **INTERVENIR** pour maintenir les services que l'on désire même dans nos aires protégées*

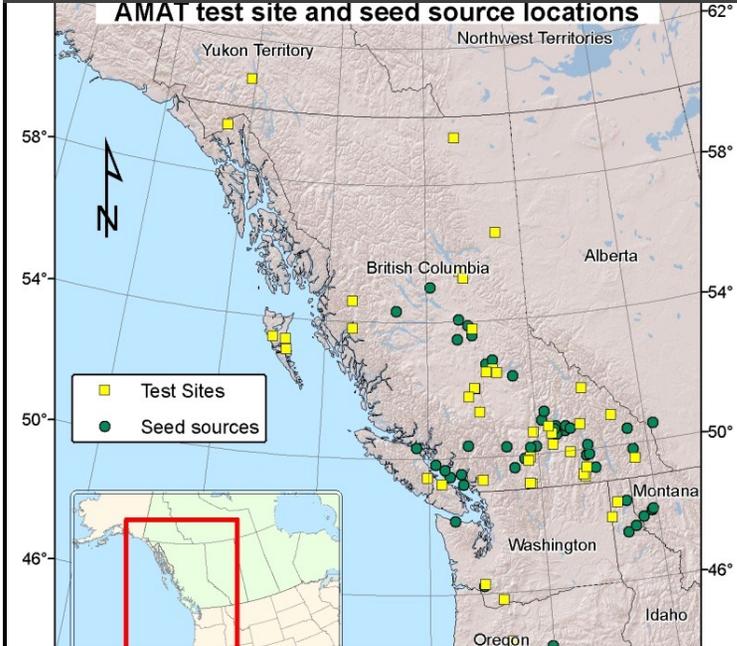
Ecological Science in the Twenty-first Century

BioScience • June 2011 / Vol. 61 No. 6

RICHARD J. HOBBS, LAUREN M. HALLETT, PAUL R. EHRLICH, AND HAROLD A. MOONEY

Rapid, extensive, and ongoing environmental change increasingly demands that humans intervene in ecosystems to maintain or restore ecosystem services and biodiversity. At the same time, the basic principles and tenets of restoration ecology and conservation biology are being debated and

Concept de migration assistée



- *On peut adapter nos forêts pour le future en **ENRICHISSANT** la composition génétique (provenance) et spécifique (nouvelles espèces) de celles-ci*

climate, one forester in British Columbia is already doing it. Emma Marris reports.



At a research station in the Okanagan valley in British Columbia, a few kilo-

and premature. Plants moved by humans may become invasive in their new haunts or just fail

important trees and moving them south, forcing them to endure a warmer climate, quickly simu-

The portfolio concept in ecology and evolution

Daniel E Schindler^{1*}, Jonathan B Armstrong², and Thomas E Reed³

Biological systems have similarities to efficient financial portfolios; the emergent properties of aggregate systems are often less volatile than the individual components. The dynamics of system components in phase space. The “portfolio” concept provides a framework for understanding how systems are organized, how they evolve, and appropriate scales for development. It also helps identify approaches that do not rely on prescriptive planning and instead focus on managing risk from inevitable changes.



statistical averaging across the components. It also helps identify approaches that do not rely on prescriptive planning and instead focus on managing risk from inevitable changes.

Front Ecol Environ 2015; 13(1): 1-10

certain emergent properties of ecosystems, such as stability and productivity, can be understood through the lens of portfolio theory.

diversification, integrity, and long-term sustainability.



- **Comme pour vos investissements, on peut DIVERSIFIER intelligemment les espèces d'arbres dans nos forêts pour réduire les risques**

PERSPECTIVE

For the sake of resilience and multifunctionality, let's diversify planted forests!



- *En **diversifiant** nos plantations, on **diminue** la susceptibilité aux perturbations et on **augmente** la production des services écosystémiques*

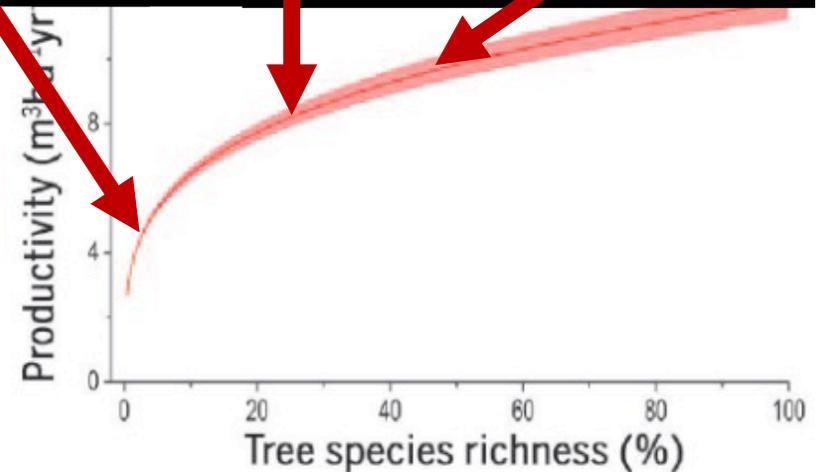
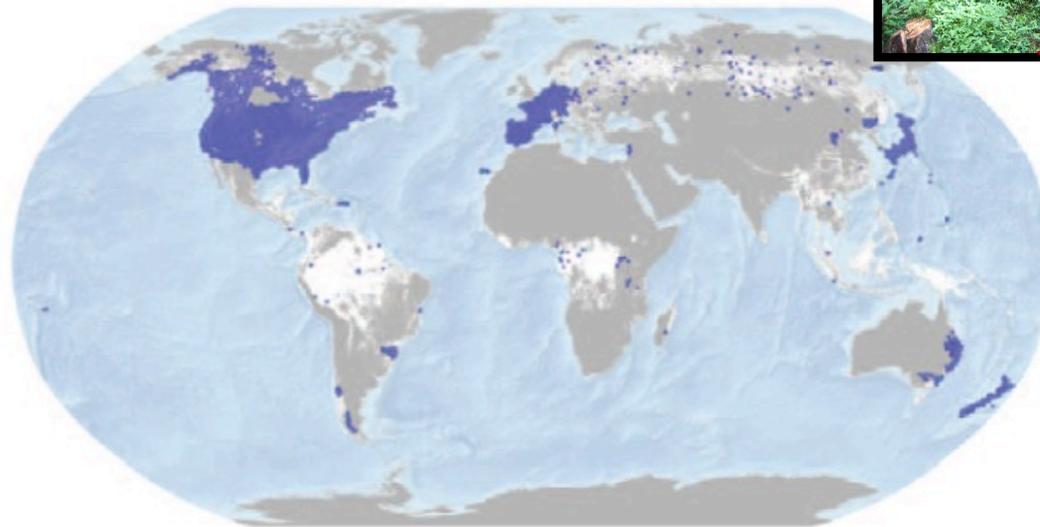
L'effet de la diversité des espèces d'arbres sur la productivité

SCIENCE sciencemag.org

14 OCTOBER 2016 • VOL 354 ISSUE 6309 aaf8957-1

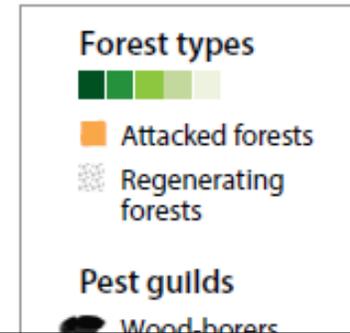
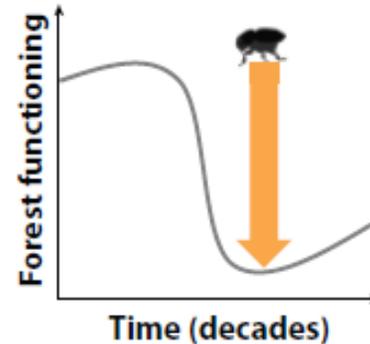
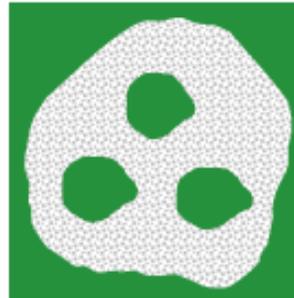
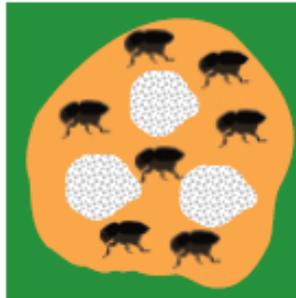
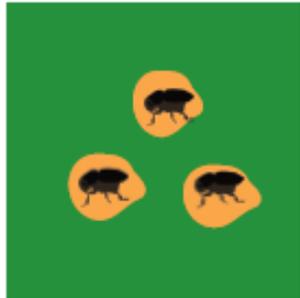
Positive biodiversity-productivity relationship predominant in global forests

Jingjing Liang,^{1*} Thomas W. Crowther,^{2,3†} Nicolas Picard,⁴ S. Giorgio Alberti,⁶ Ernst-Detlef Schulze,⁷ A. David McGuire,⁸ F. Hans Pretzsch,¹⁰ Sergio de-Miguel,^{11,12} Alain Paquette,¹³ Bruno Michael Scherer-Lorenzen,¹⁵ Christopher B. Barrett,¹⁶ Henry



Global effect of tree species diversity on forest productivity. Ground-sourced data from 777,126 global forest biodiversity permanent sample plots (dark blue dots, left) which cover a substantial portion

a Landscape with low spatial heterogeneity



b Landscape with high spatial heterogeneity



➤ **En diversifiant le paysage forestier on diminue les risques**



Figure 2
 Expected effects of landscape heterogeneity on insect damage. (a) In highly homogeneous landscapes dominated by single tree species, there are high chances of large outbreaks causing quick pulses in forest biomass, while (b) in heterogeneous landscapes with multiple forest types, insect disturbances are expected to be smaller and shorter, maintaining higher stability in ecosystem functioning at a large spatial scale.



Ouf, ok, mais on fait comment sur le terrain?



Plan de la présentation

- La foresterie et ses fantômes
- La forêt menacée
- Des nouveaux concepts intéressants
- **Pour une foresterie de résilience**

Qu'est-ce que la résilience?

La capacité d'un système à résister, recupérer rapidement ou s'adapter suite à une ou des perturbations ou stress de façon à ce que le système conserve sa structure et ses fonctions. (adapté de Gunderson & Holling 2002).



LA SOLUTION: *en diversifiant*
INTELLIGEMMENT et EFFICACEMENT



Inverser la relation **INDUSTRIE DU BOIS** → **FORÊT**

Jusqu'à présent, l'industrie du « bois » a conditionné la simplification de la forêt: une approche typique **TOP-DOWN**

La forêt

L'industrie du bois

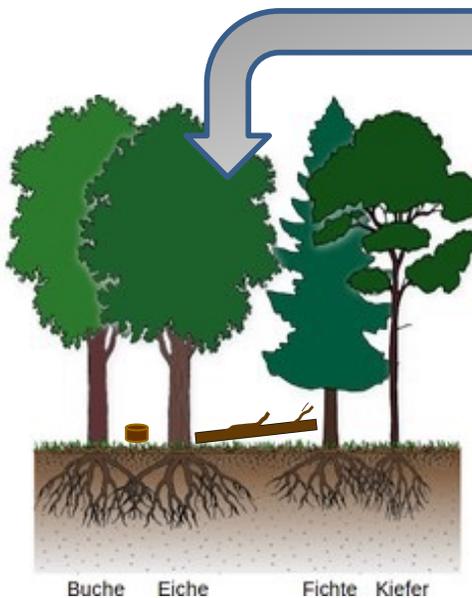
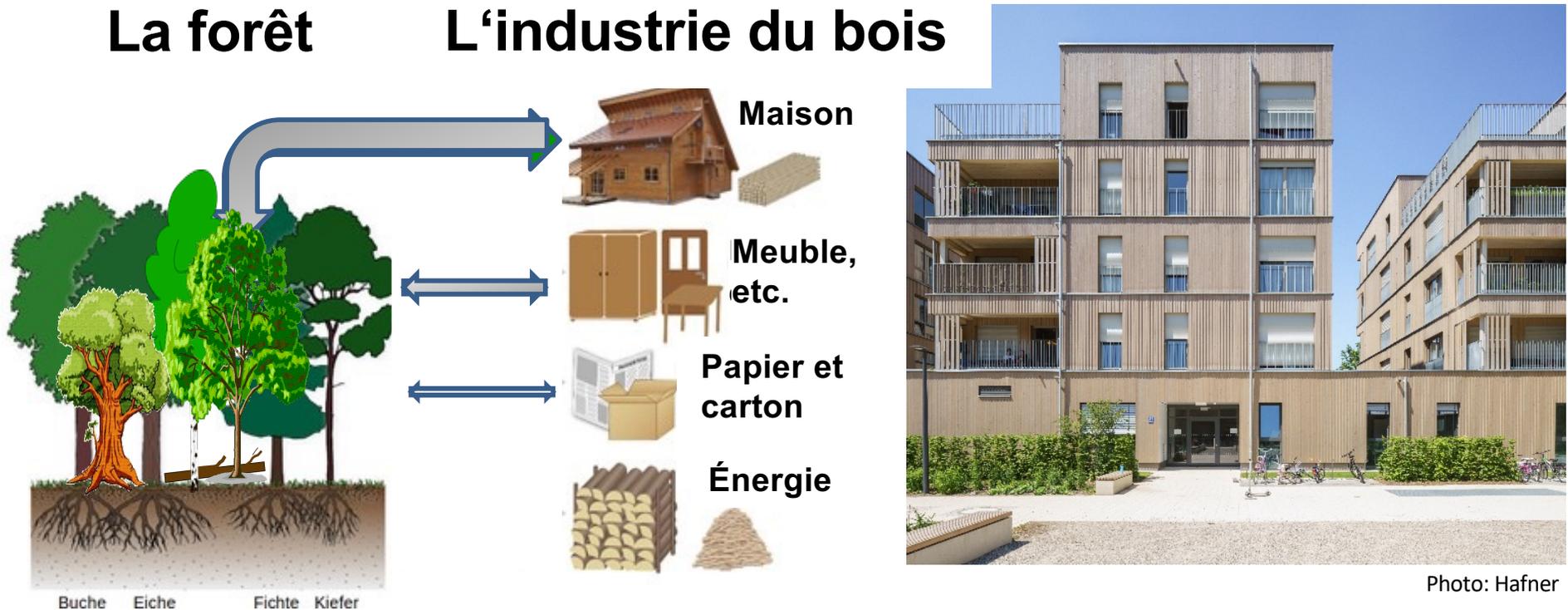
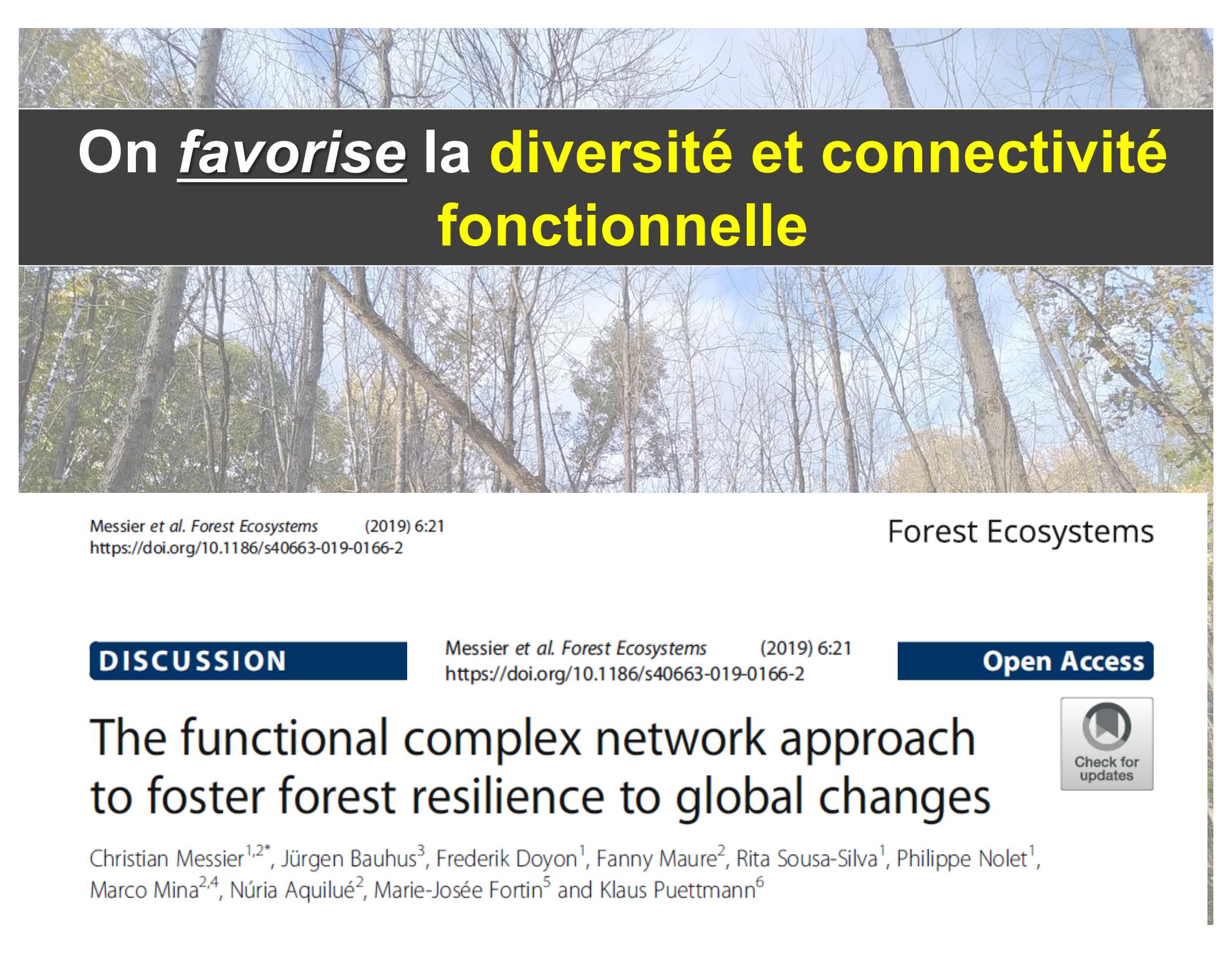


Photo: Hafner

Inverser la relation INDUSTRIE DU BOIS ← FORÊT

À l'avenir, la nécessité d'une forêt **RÉSILIENTE PLUS DIVERSIFIÉE** conditionnera l'industrie du « bois » : une approche **BOTTOM-UP** typique d'un **Système Complexe Adaptative**





On favorise la **diversité et connectivité fonctionnelle**

Messier et al. *Forest Ecosystems* (2019) 6:21
<https://doi.org/10.1186/s40663-019-0166-2>

Forest Ecosystems

DISCUSSION

Messier et al. *Forest Ecosystems* (2019) 6:21
<https://doi.org/10.1186/s40663-019-0166-2>

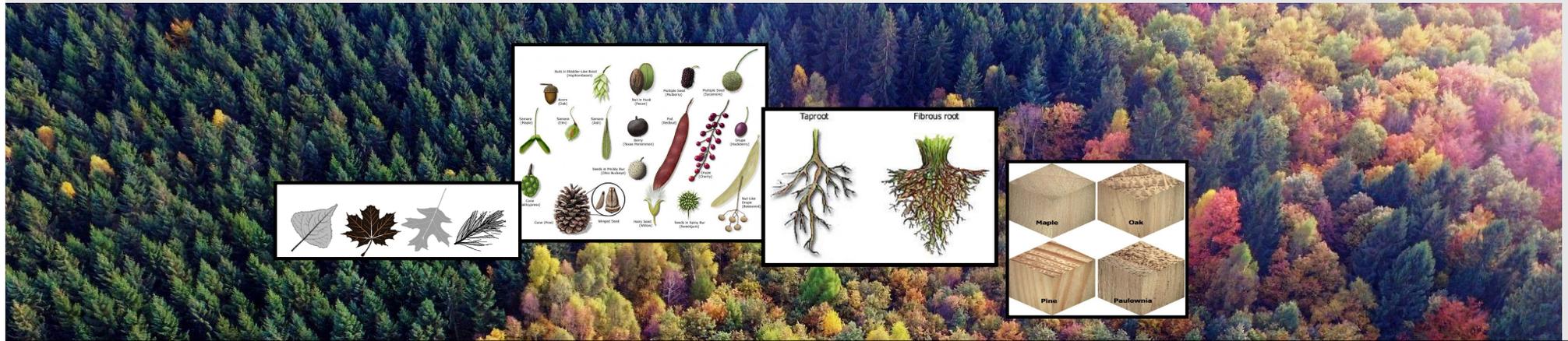
Open Access

The functional complex network approach to foster forest resilience to global changes



Christian Messier^{1,2*}, Jürgen Bauhus³, Frederik Doyon¹, Fanny Maure², Rita Sousa-Silva¹, Philippe Nolet¹, Marco Mina^{2,4}, Núria Aquilué², Marie-Josée Fortin⁵ and Klaus Puettmann⁶

DIVERSITÉ DES TRAITS FONCTIONNELS: Une meilleure façon de caractériser la diversité des arbres



➤ *Ou comment différentes espèces **AGISSENT** dans l'écosystème et **RÉAGISSENT** aux perturbations*

- ❖ Propriétés des feuilles
- ❖ Méthode de dispersion
- ❖ Profondeur d'enracinement
- ❖ Type de mycorhizes
- ❖ Densité du bois
- ❖ Épaisseur de l'écorce
- ❖ Capacité de germination

REGROUPER LES ESPÈCES D'ARBRES EN GROUPES FONCTIONNELS:

pour aider à diversifier efficacement

Urban Forestry & Urban Greening 62 (2021) 127157



ELSEVIER

Contents lists available at [ScienceDirect](https://www.sciencedirect.com)

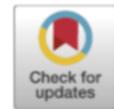
Urban Forestry & Urban Greening

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



Short communication

Praise for diversity: A functional approach to reduce risks in urban forests



Alain Paquette^{a,*}, Rita Sousa-Silva^a, Fanny Maure^a, Elyssa Cameron^a, Michaël Belluau^a,
Christian Messier^{a,b}

and low N-content

high N-content

and low
N-content

and high N-content

(d)



Ginkgo



Spruce



Maple



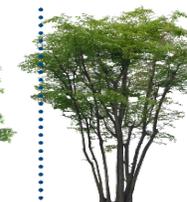
Ash



Basswood



Oak



Zelkova tree



Poplar



Birch



Willow

CONNECTIVITÉ FONCTIONNELLE ET CENTRALITÉ : *une façon d'optimiser notre intervention*

CONNECTIVITÉ FONCTIONNELLE: Niveau possible d'échange de propagules d'arbres (mesuré en termes de traits fonctionnels qui peuvent être transférés) entre les peuplements et les propriétés forestières

CENTRALITÉ: Le niveau d'influence ou de connectivité des nœuds dans un réseau. Il permet de déterminer les nœuds les plus influents.

Connectivity

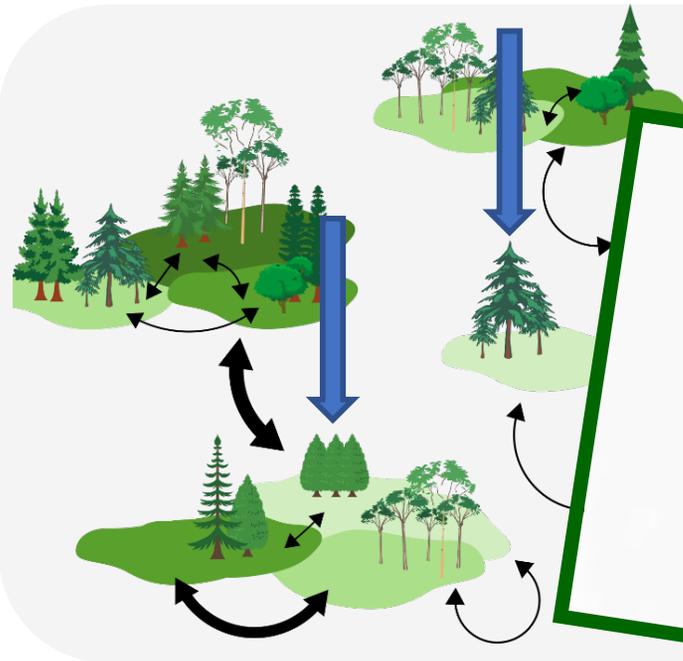
Complex network



Bunn et al. 2000

Voici un exemple

Avant intervention



$$D_{\text{iversité}} F_{\text{onctionnelle}} = 2,7$$

$$C_{\text{onnectivité}} F_{\text{onctionnelle}} = 1,8$$

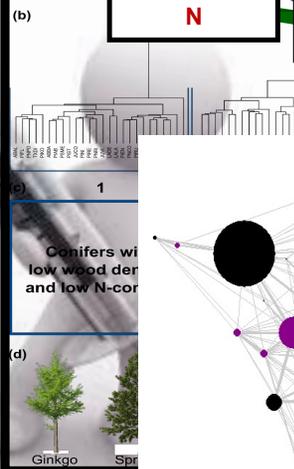
Diversité fonctionnelle



Faible Forte



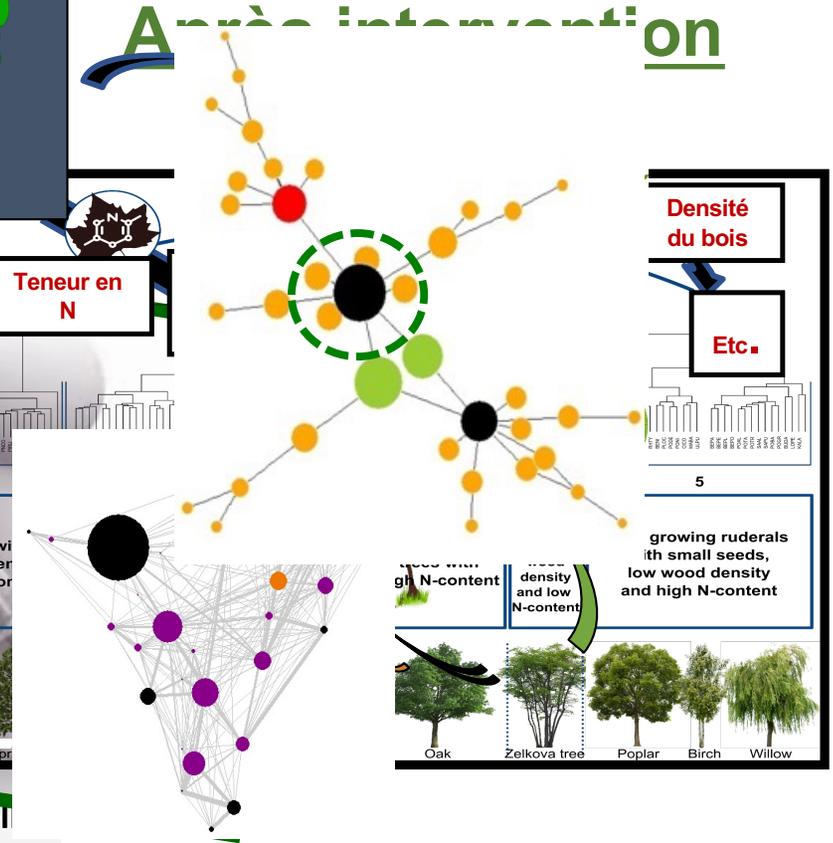
Teneur en N



Canifers with low wood density and low N-content



Après intervention



Densité du bois

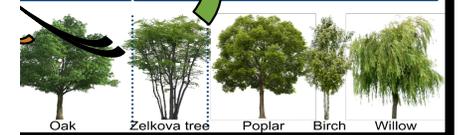
Etc.

5

growing ruderals with small seeds, low wood density and high N-content

trees with high N-content

density and low N-content



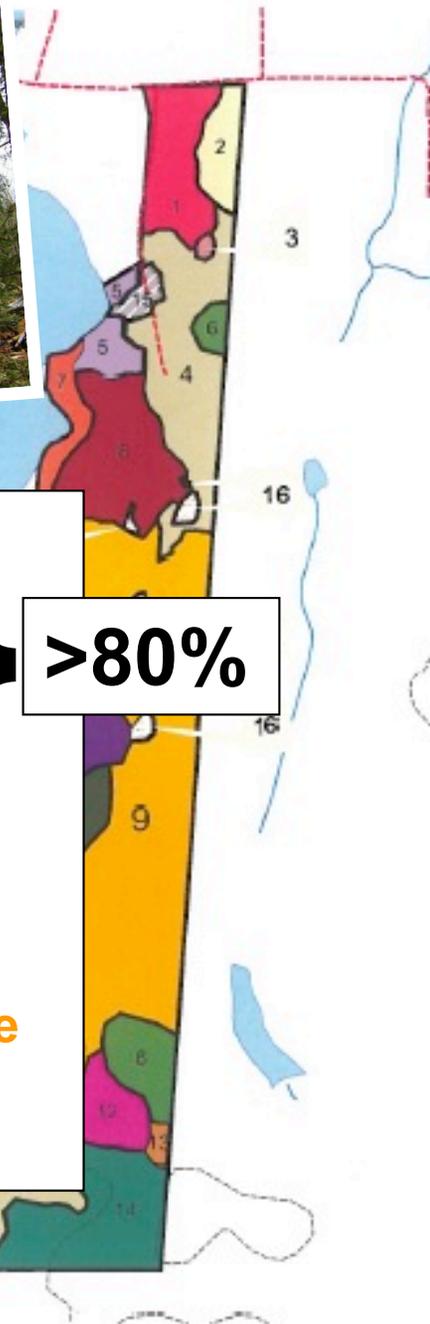
(4) On plante/favorise la régénération de groupes fonctionnels manquants



CARTOGRAPHIE

Numéro de la carte forestière : 31 G15 NO

Échelle : 1 cm : 80 m 1 po : 667 pi



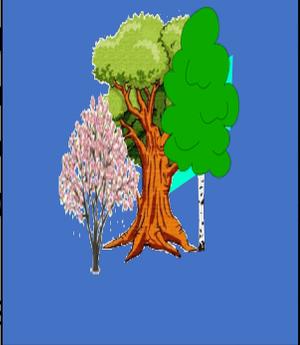
- Sapin
 - Peupliers
 - Érable à sucre
 - Érable rouge
 - Bouleau jaune
 - Bouleau blanc
 - Tilleul
 - Pruche
 - Cerisier d'automne
 - Pin blanc
 - Chêne rouge
- >80%**

Application: *iForêt*

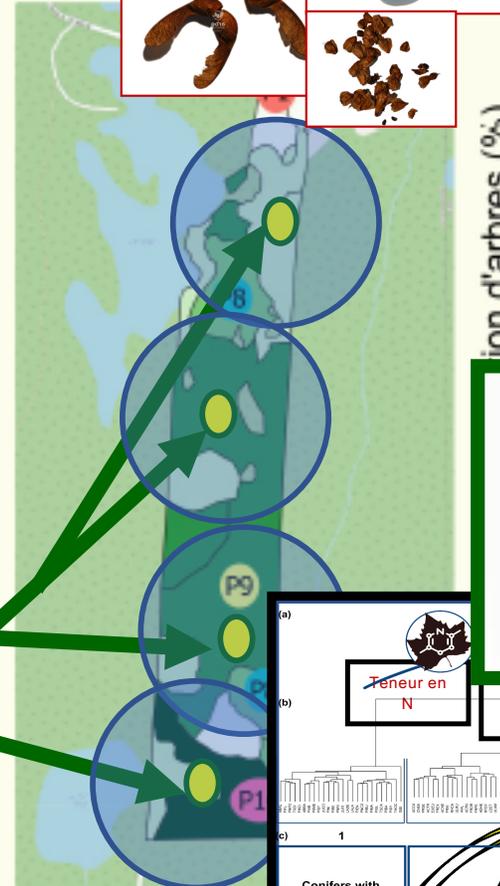
Cet outil permet de déterminer:

- La diversité fonctionnelle des peuplements
- La connectivité fonctionnelle entre les peuplements
- Le niveau de vulnérabilité des forêts/peuplements
- Le niveau de résilience des écosystèmes

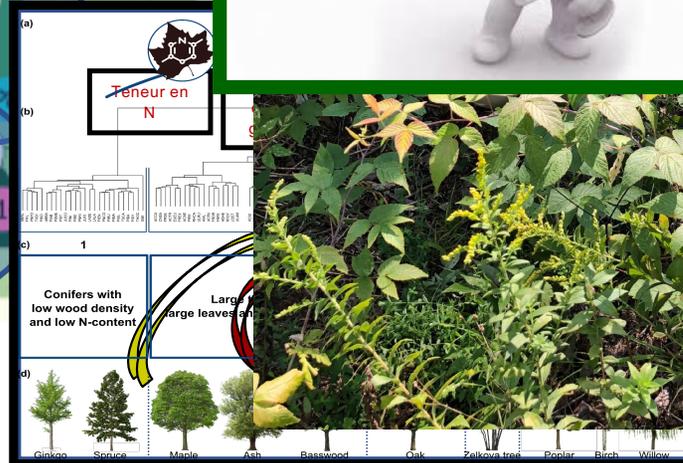
Groupes 2, 3 & 4



Il propose où intervenir pour **maximiser la résilience** au moindre coût.



Peuplement

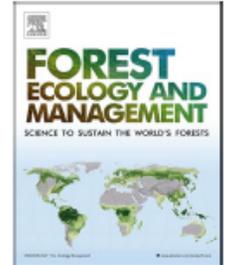




Contents lists available at [ScienceDirect](https://www.sciencedirect.com)

Forest Ecology and Management

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



A simple-to-use management approach to boost adaptive capacity of forests to global uncertainty

Núria Aquilué^{a,b,*}, Christian Messier^{a,c}, Kyle T. Martins^d, Véronique Dumais-Lalonde^d, Marco Mina^a

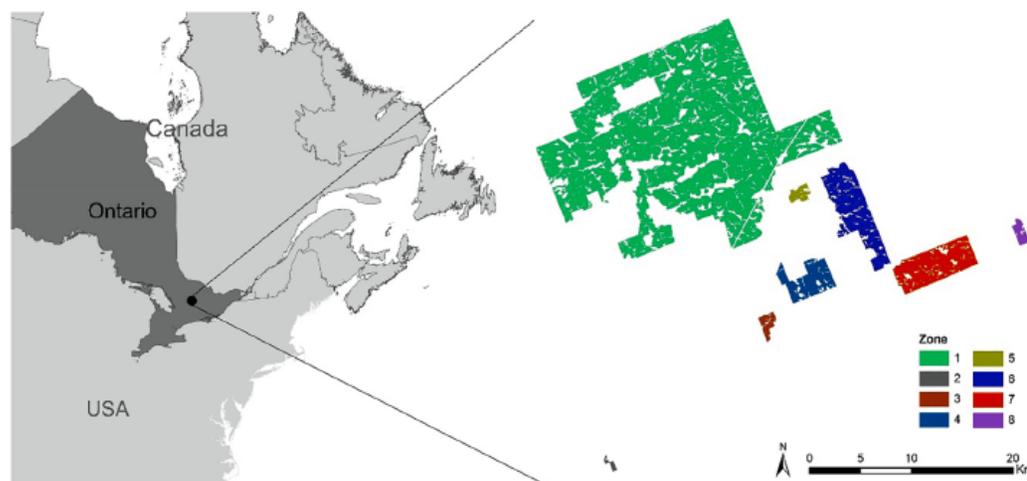
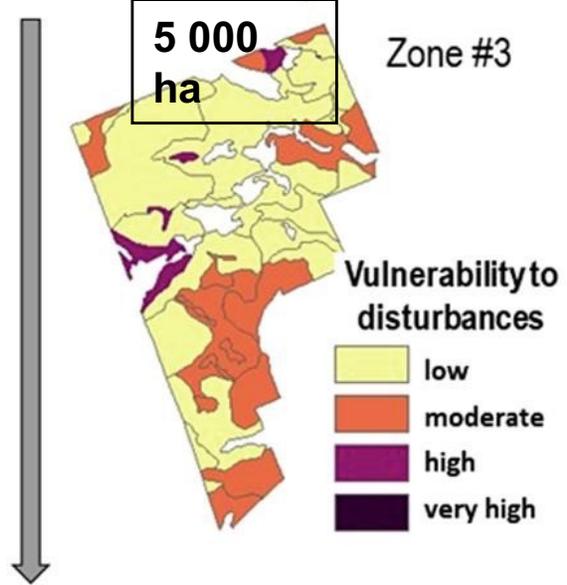


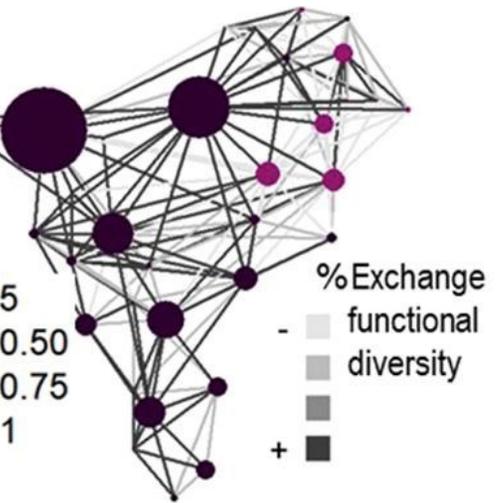
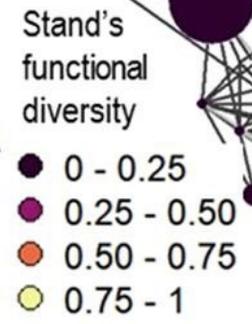
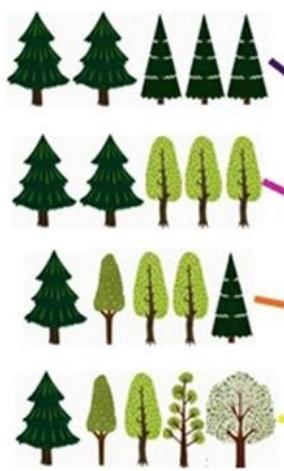
Fig. 1. . Geographic location of the Haliburton Forest in Ontario, Canada (left panel) and the eight forest zones in the Haliburton Forest (right panel).

2. Calculer la connectivité fonctionnelle et la centralité pour déterminer les priorités de gestion

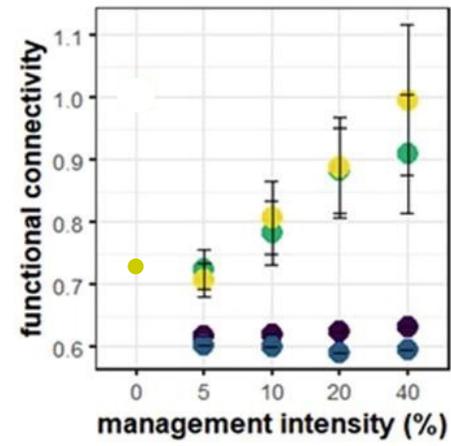
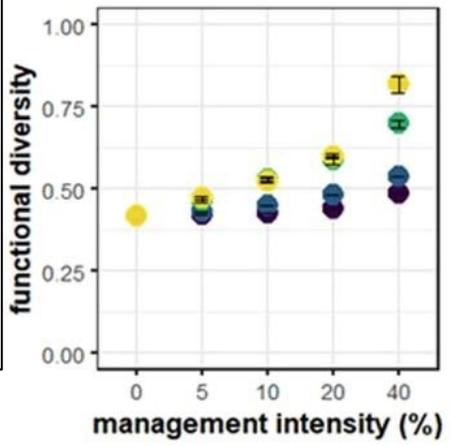
Forest landscape:



1. Calculer la diversité fonctionnelle



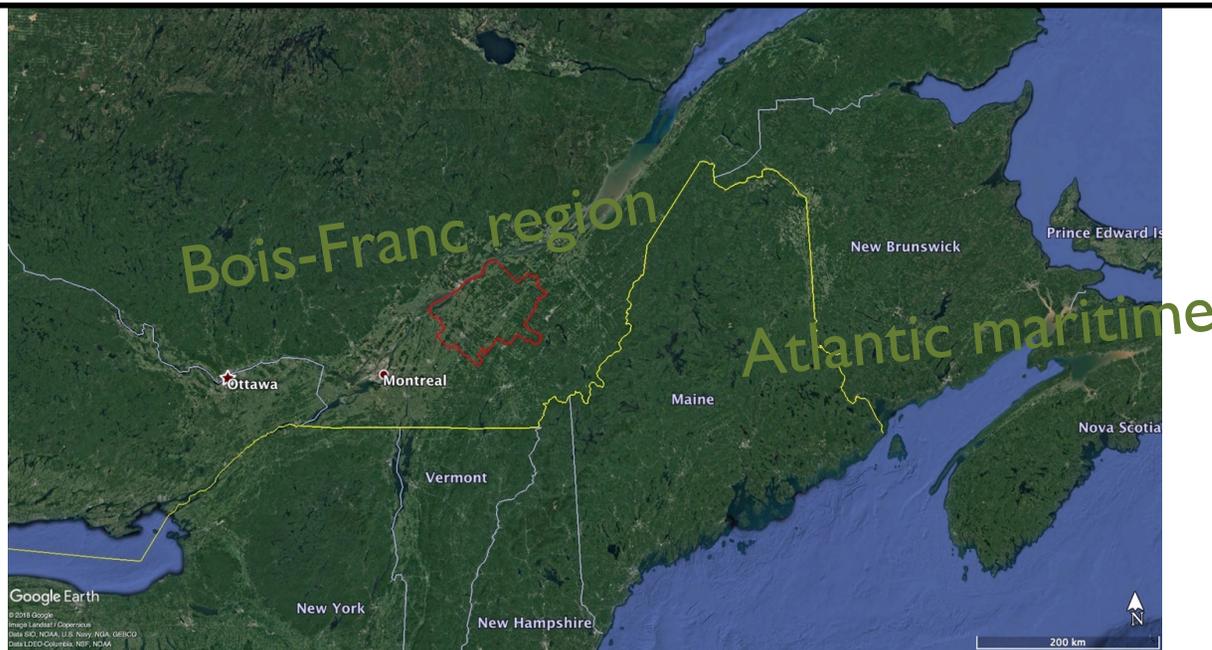
3. Simuler les effets de différents scénarios de gestion sur la connectivité fonctionnelle du paysage, la centralité, la récolte, etc.

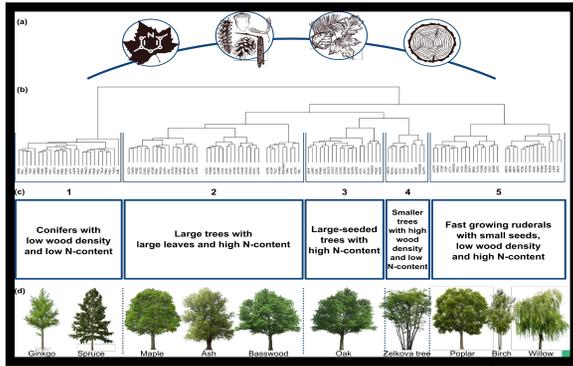
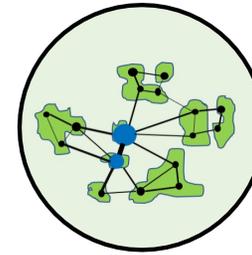
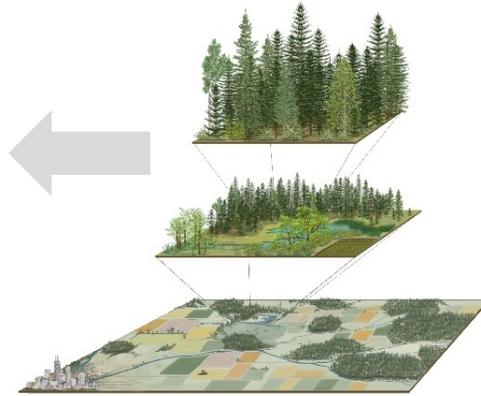


- Management scenarios:
- harvest low
 - harvest high
 - harvest + plant low
 - harvest + plant high

Managing for the unexpected: Building resilient forest landscapes to cope with global change

Marco Mina^{1,2}  | Christian Messier^{1,3} | Matthew J. Duveneck^{4,5} | Marie-Josée Fortin⁶ |
Núria Aquilué^{1,7} 





Enrichissement

Plantations mixtes

Sylviculture

Functional Diversity



Connectivity fonctional



DISCUSSION

Open Access

The functional complex network approach to foster forest resilience to global changes

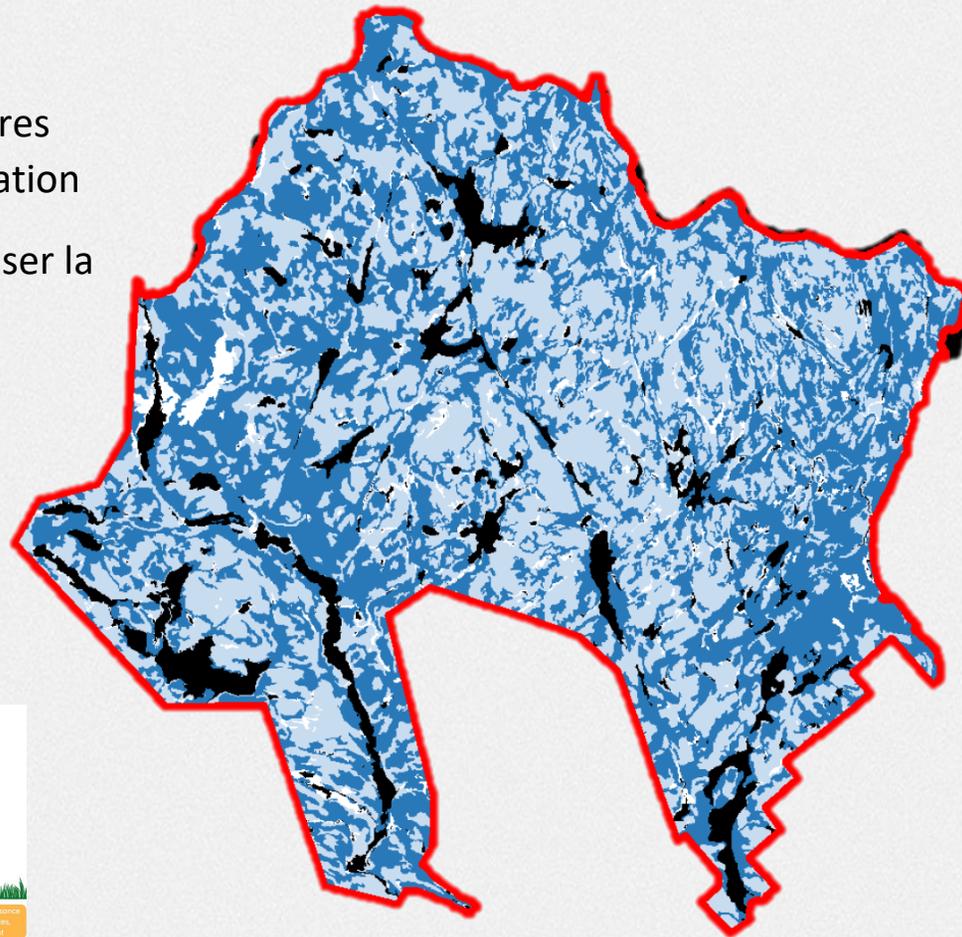
Christian Messier^{1,2*}, Jürgen Bauhus³, Frederik Doyon¹, Fanny Maure², Rita Sousa-Silva¹, Philippe Nolet¹, Marco Mina^{2,4}, Núria Aquilué², Marie-Josée Fortin³ and Klaus Puettmann⁶



Évaluation de la diversité fonctionnelle

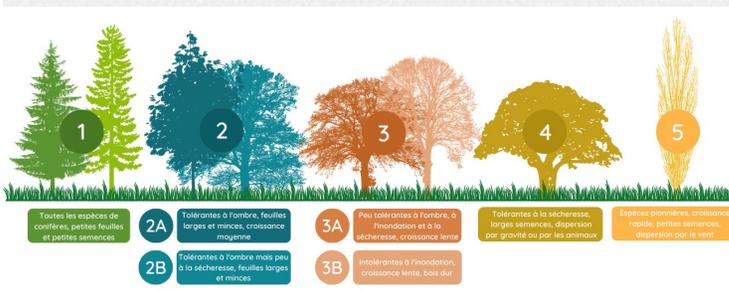
Parc national de la Mauricie

- Répartition de la diversité fonctionnelle des peuplements forestiers
- Identification des secteurs prioritaires pour les interventions de diversification
 - Recommandations pour favoriser la diversification



Indice de diversité fonctionnelle

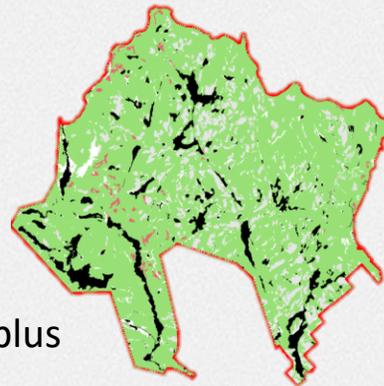
-  Faible
-  Élevé



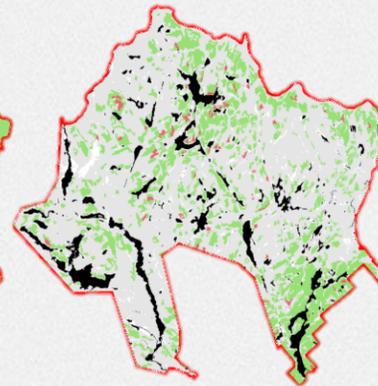
Vulnérabilités aux menaces abiotiques

Parc national de la Mauricie

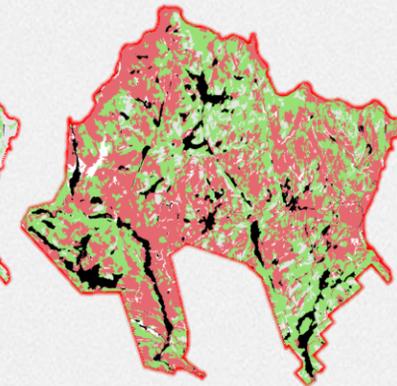
Écarts de température



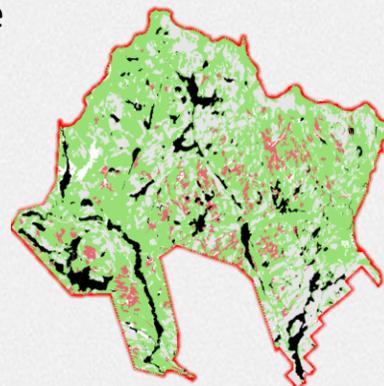
Inondations



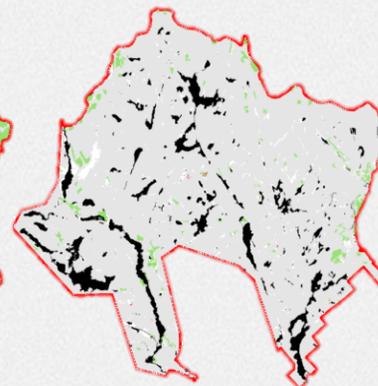
Sécheresse



- Identification des menaces les plus préoccupantes
- Guide pour les interventions de diversification



Vents



Verglas

Vulnérabilité

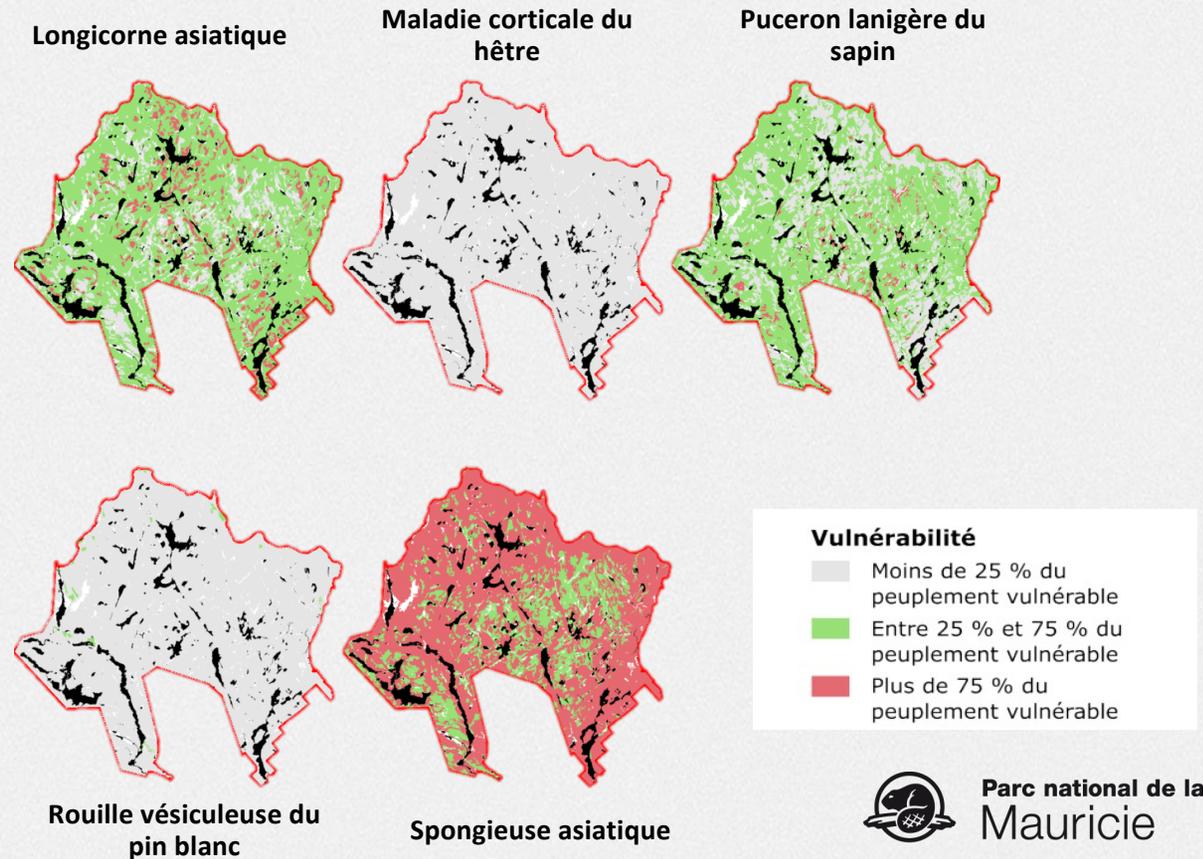
- Moins de 25 % du peuplement vulnérable
- Entre 25 % et 75 % du peuplement vulnérable
- Plus de 75 % du peuplement vulnérable



Vulnérabilités aux menaces biotiques

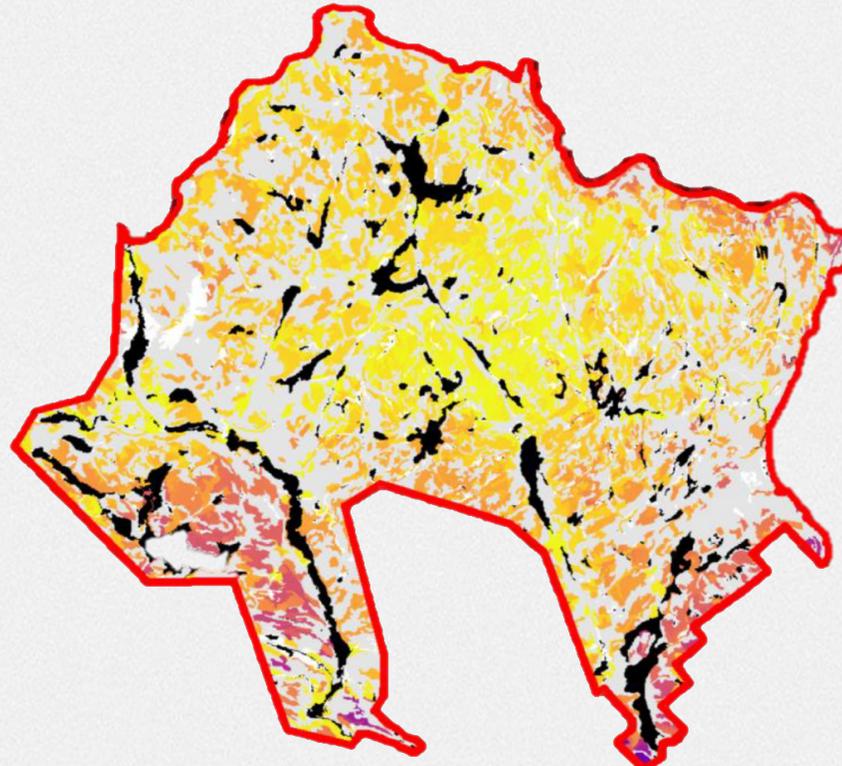
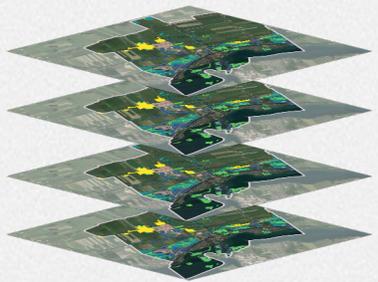
Parc national de la Mauricie

- Identification des menaces les plus préoccupantes
- Guide pour les interventions de diversification



Identification des secteurs vulnérables

Parc national de la Mauricie



Prioriser les interventions



- **Anticiper les impacts** sur le paysage et la connectivité écologique
- **Prioriser** les interventions dans les secteurs :
 - les moins diversifiés
 - les plus vulnérables



Un plan « Marshall » pour la forêt Québécoise

- Ne plus planter ou favoriser QUE des espèces considérées commerciales aujourd'hui
- Les espèces présentes localement ne sont peut-être pas bien adaptées ou assez diversifiées pour affronter les rigueurs et incertitudes climatiques et biotiques futures
- **LE PASSÉ N'EST PLUS GARANT DU FUTUR**
- **NE PLUS PLANTER DES MONOCULTURES**
- Favoriser des espèces diversifiés au niveau de leur fonctionnement
- Penser bois et carbone, biodiversité, espèces clés, eau, santé mentale, résilience, stabilité, etc.
- **1+1 = 3 OU MÊME 5: NOTRE MEILLEURE ALLIÉE...LA DIVERSITÉ**
- Il faut penser globalement et agir localement

Merci

