



➤ Évaluation et gestion des risques multiples en forêt

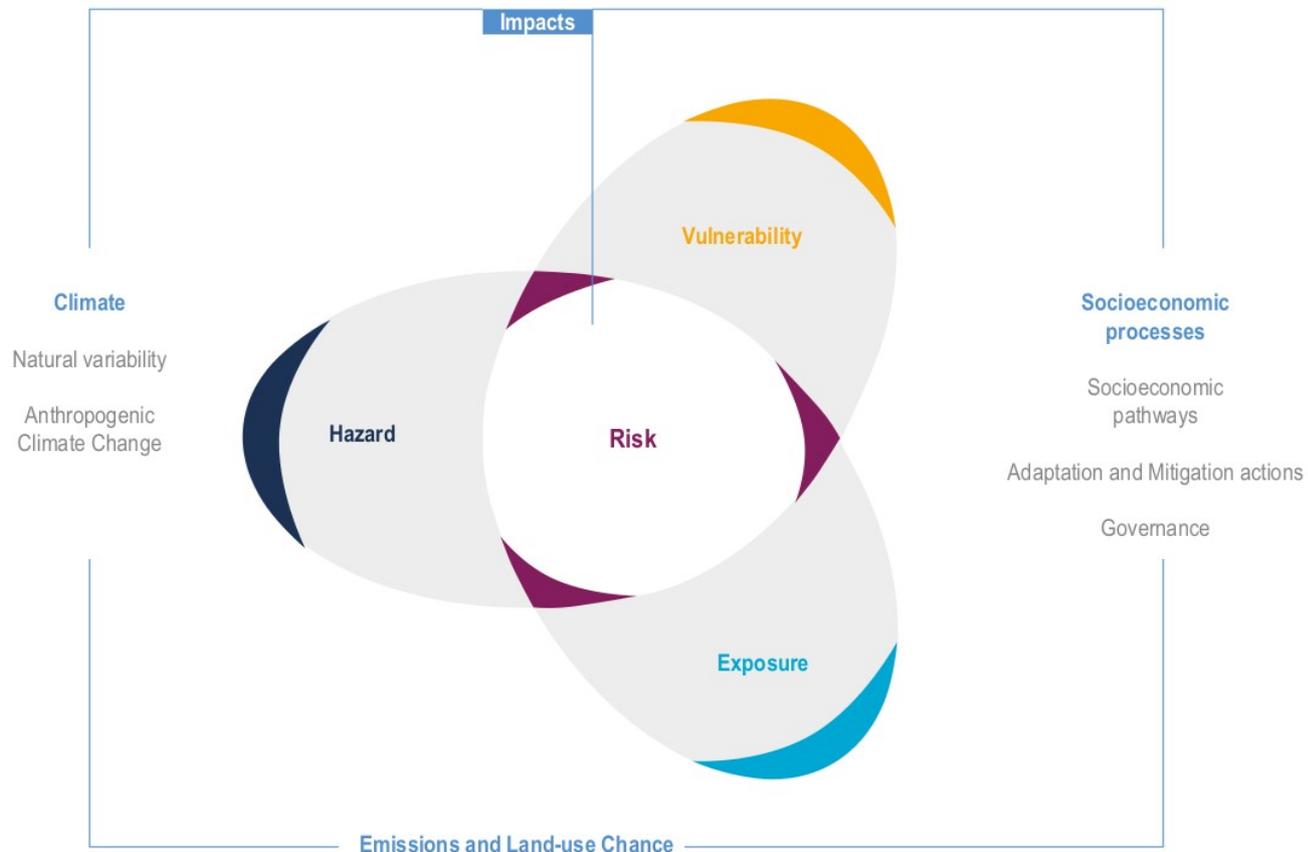
Eric Rigolot - INRAE, Écologie des Forêts Méditerranéennes,
Avignon

Déroulé de l'intervention

- Cadre conceptuel monorisque (Giec) : brefs rappels
 - Illustration : risques liés aux feux de forêt
 - Évaluation et gestion des risques
- Les avancées du Giec vers le multirisque
 - L'entrée par les solutions
 - Une terminologie foisonnante
- Multirisque en forêt
 - Travaux choisis : aléas, enjeux, vulnérabilité, méthodes
 - Cas d'étude de la forêt de la Teste-de-buch
 - Présentation
 - Méthodes d'analyse
- Le projet ciblé X-RISKS du PEPR FORESTT
- Messages conclusifs



Cadre conceptuel du risque selon l'AR5 du Giec

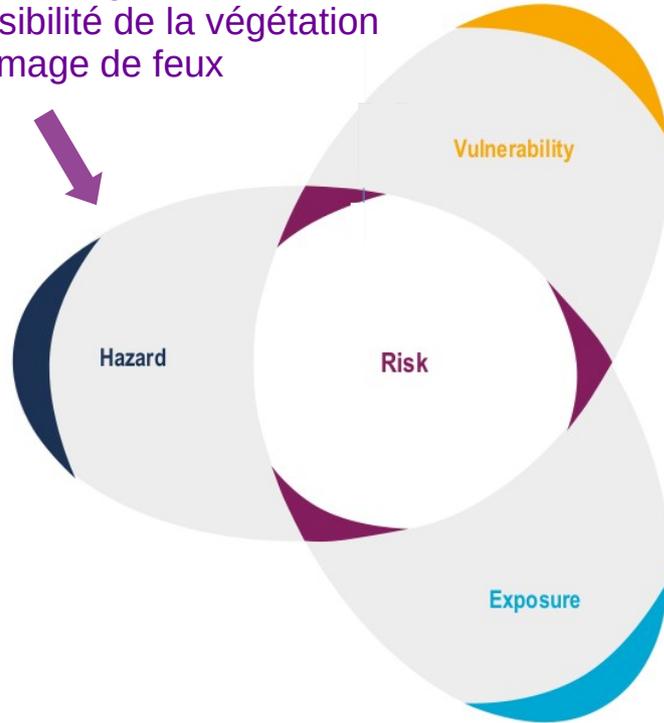


[IPCC-AR6-WGII, 2022]

Ex. évaluation des risques liés aux feux de forêt



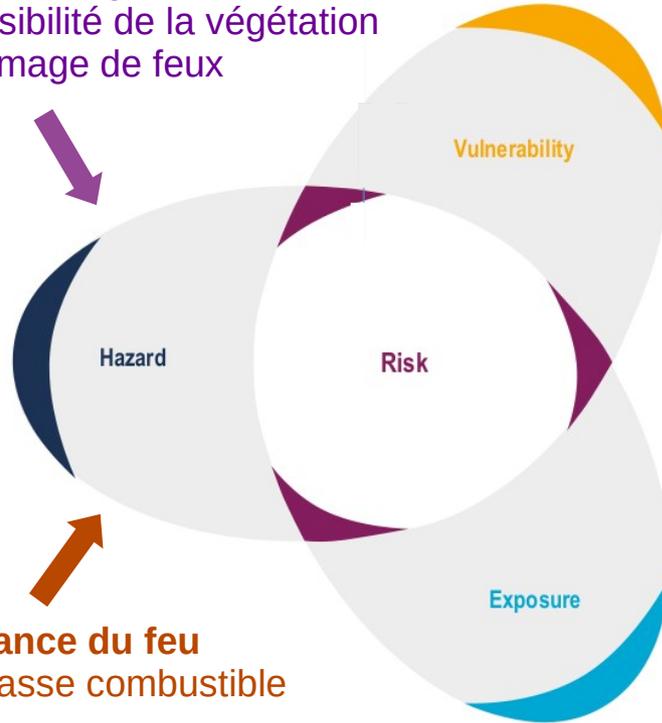
Occurrence du feu
- météorologie
- sensibilité de la végétation
- allumage de feux



Ex. évaluation des risques liés aux feux de forêt



Occurrence du feu
- météorologie
- sensibilité de la végétation
- allumage de feux

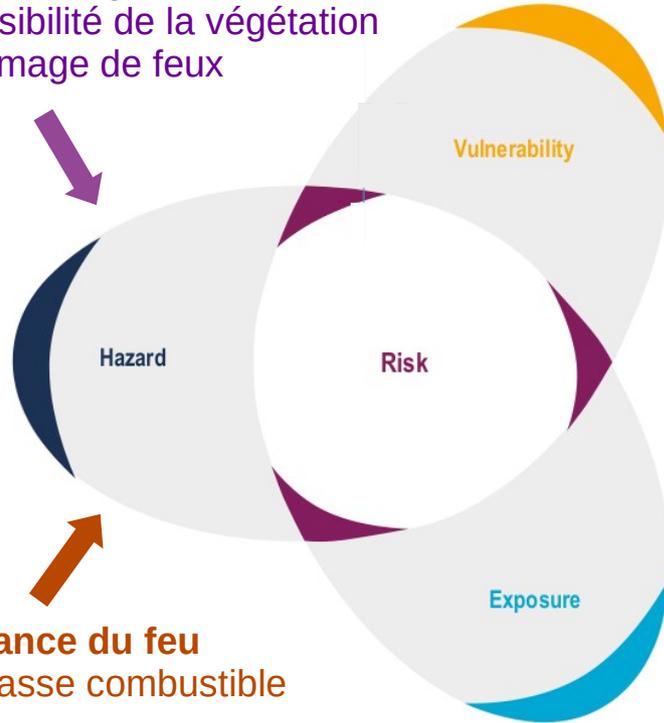


Puissance du feu
- biomasse combustible

Ex. évaluation des risques liés aux feux de forêt

Occurrence du feu

- météorologie
- sensibilité de la végétation
- allumage de feux



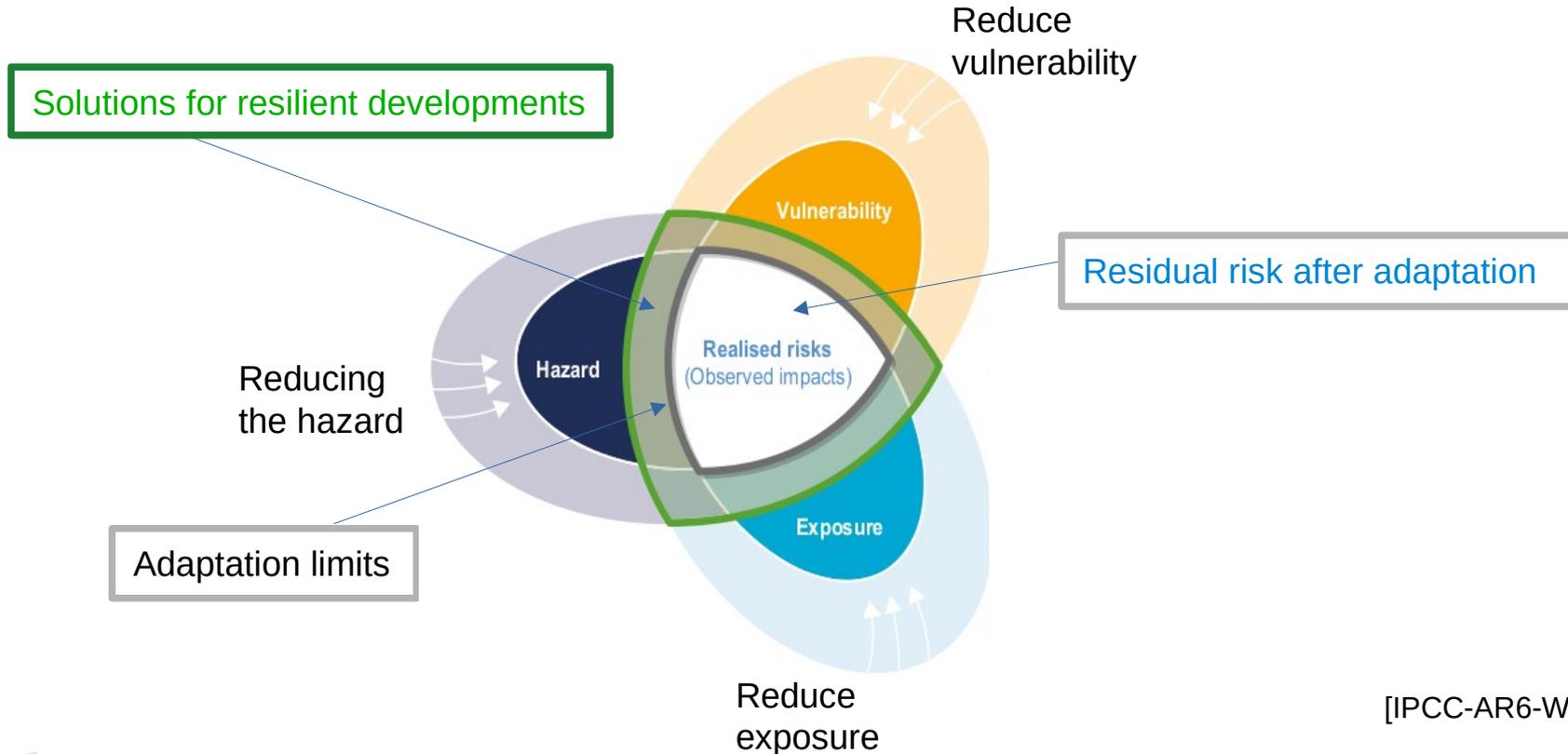
Puissance du feu

- biomasse combustible

La forêt et ses services
Les infrastructures humaines
Les vies humaines



Ex. gestion des risques liés aux feux de forêt



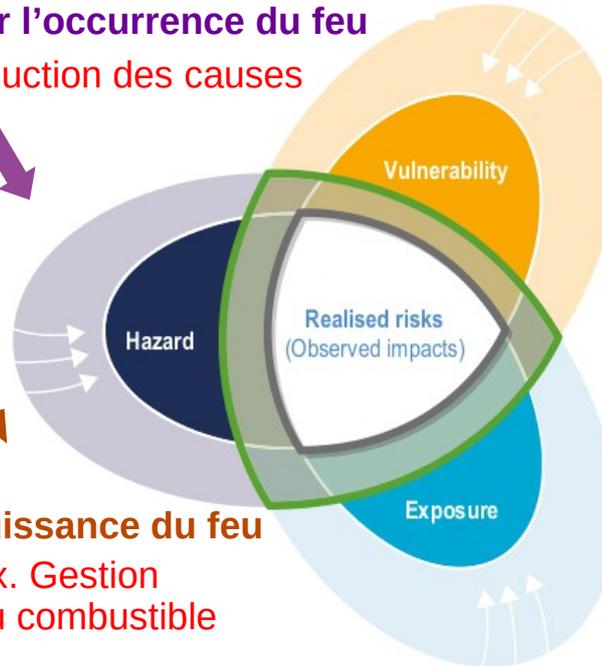
Ex. gestion des risques liés aux feux de forêt



Agir sur l'occurrence du feu
Ex. Réduction des causes



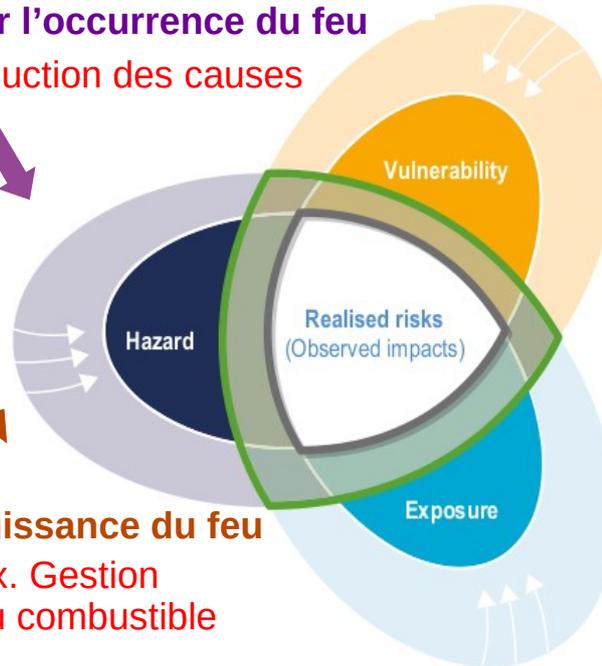
Agir sur la puissance du feu
Ex. Gestion du combustible



Ex. gestion des risques liés aux feux de forêt

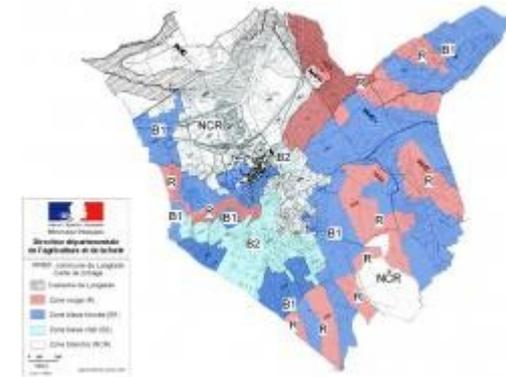


Agir sur l'occurrence du feu
Ex. Réduction des causes



Agir sur la puissance du feu

Ex. Gestion du combustible



Agir sur la limitation des enjeux exposés
Ex. Contrôler le développement de l'urbanisation dans les zones exposées au risque

Ex. gestion des risques liés aux feux de forêt



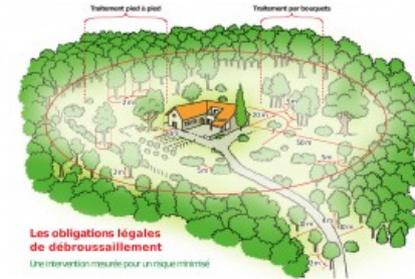
Agir sur l'occurrence du feu
Ex. Réduction des causes



Agir sur la puissance du feu
Ex. Gestion du combustible

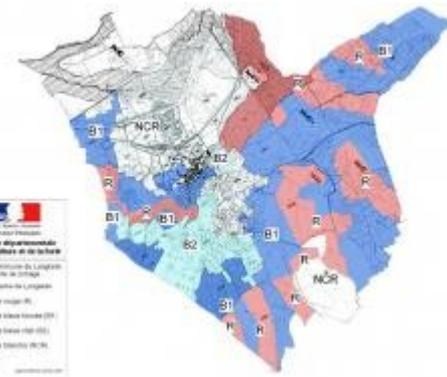


Ex. Gestion du combustible



Les obligations légales de débroussaillage
Une intervention requise pour un risque minimal

Agir sur la résistance au feu des enjeux
Ex. Protection de l'habitat



Agir sur la limitation des enjeux exposés
Ex. Contrôler le développement de l'urbanisation dans les zones exposées au risque



Les limites du cadre conceptuel du risque selon l'AR5 du Giec

[IPCC-AR6-WGII, 2022]



- Cascades d'aléas ?
- Facteurs externes ?
- Stress / risque ?
- Dynamique des vulnérabilités ?
- Cycles évaluation / gestion ?

Déroulé de l'intervention

- Cadre conceptuel monorisque (Giec) : brefs rappels
 - Illustration : risques liés aux feux de forêt
 - Évaluation et gestion des risques
- **Les avancées du Giec vers le multirisque**
 - **L'entrée par les solutions**
 - **Une terminologie foisonnante**
- Multirisque en forêt
 - Travaux choisis : aléas, enjeux, vulnérabilité, méthodes
 - Cas d'étude de la forêt de la Teste-de-buch
 - Présentation
 - Méthodes d'analyse
- Le projet ciblé X-RISKS du PEPR FORESTT
- Messages conclusifs

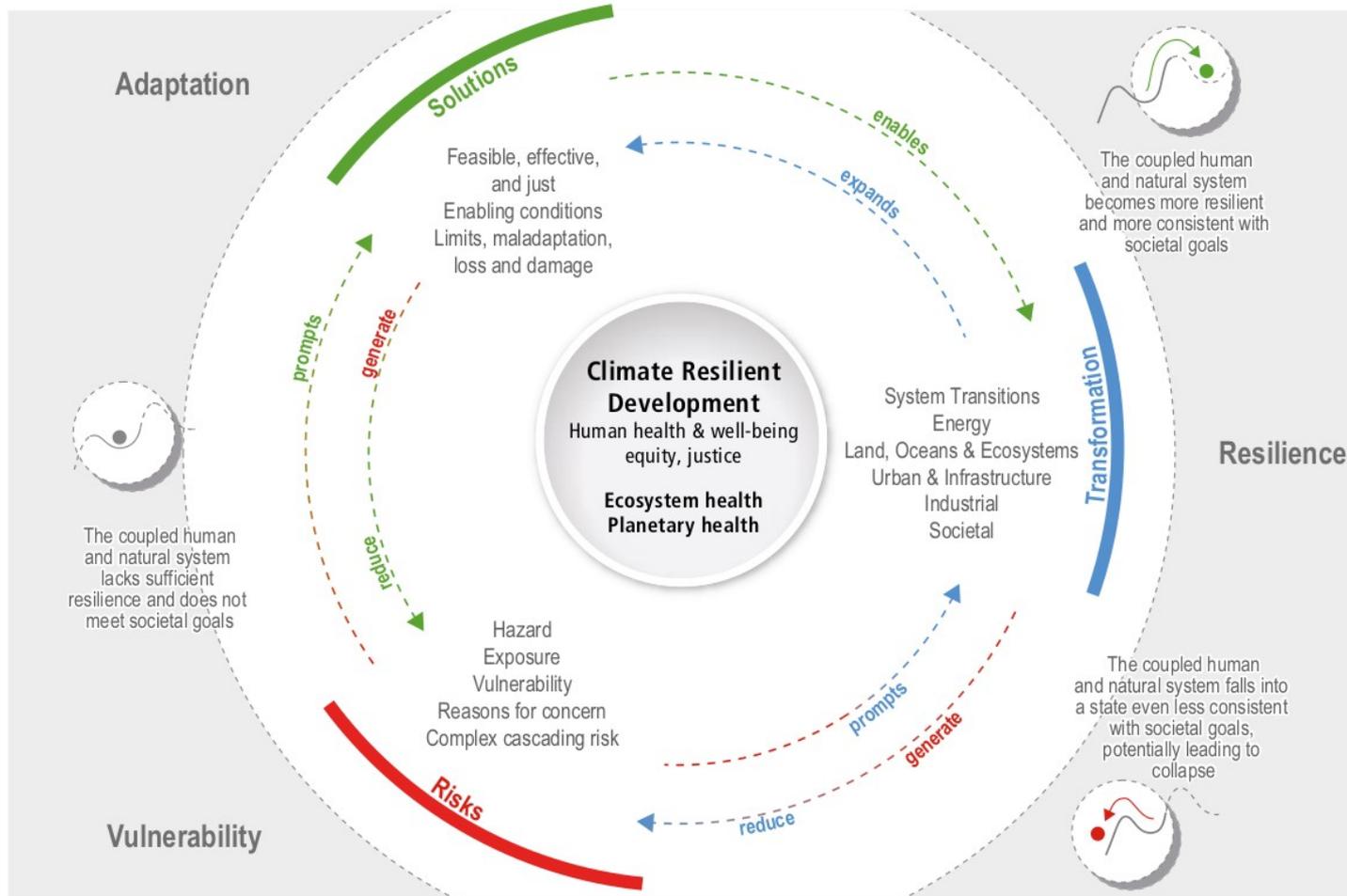


Cadre conceptuel du risque selon l'AR6 du Giec



[Simpson et al. 2021. One Earth]

Place du risque dans la vision intégratrice du Giec



[IPCC-AR6-WGII, 2022]

Terminologie des risques complexes

Table 1. Complex risk terms with and without an IPCC definition

[Simpson et al. 2021. One Earth]

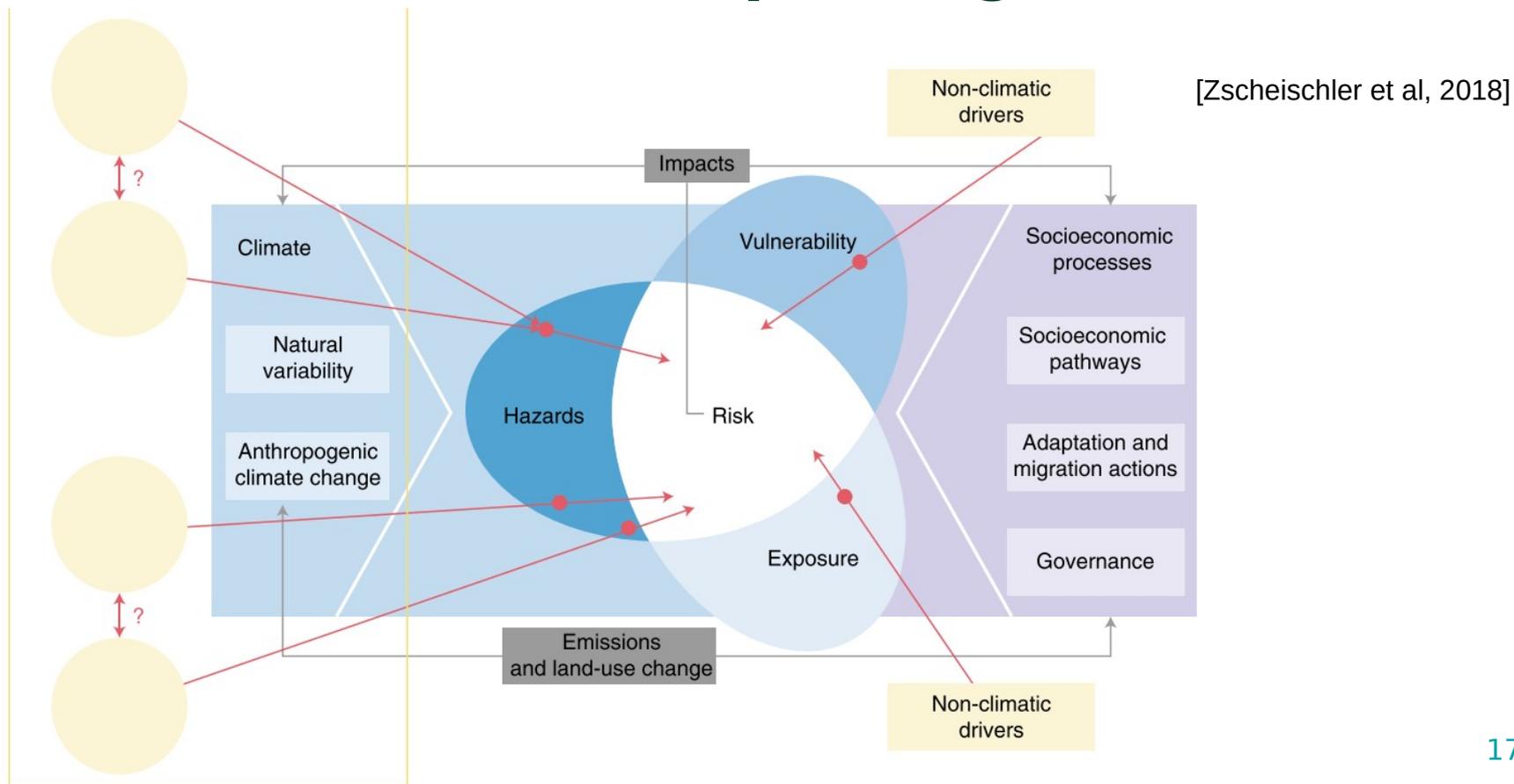
Types of complex risk with IPCC definition

Compound risk	compound risks arise from the interaction of hazards, which can be characterized by single extreme events or multiple coincident or sequential events that interact with exposed systems or sectors ²⁸
Emergent risk	a risk that arises from the interaction of phenomena in a complex system; for example, the risk caused when geographic shifts in human population in response to climate change lead to increased vulnerability and exposure of populations in the receiving region ²⁹

Types of complex risk with no IPCC definition

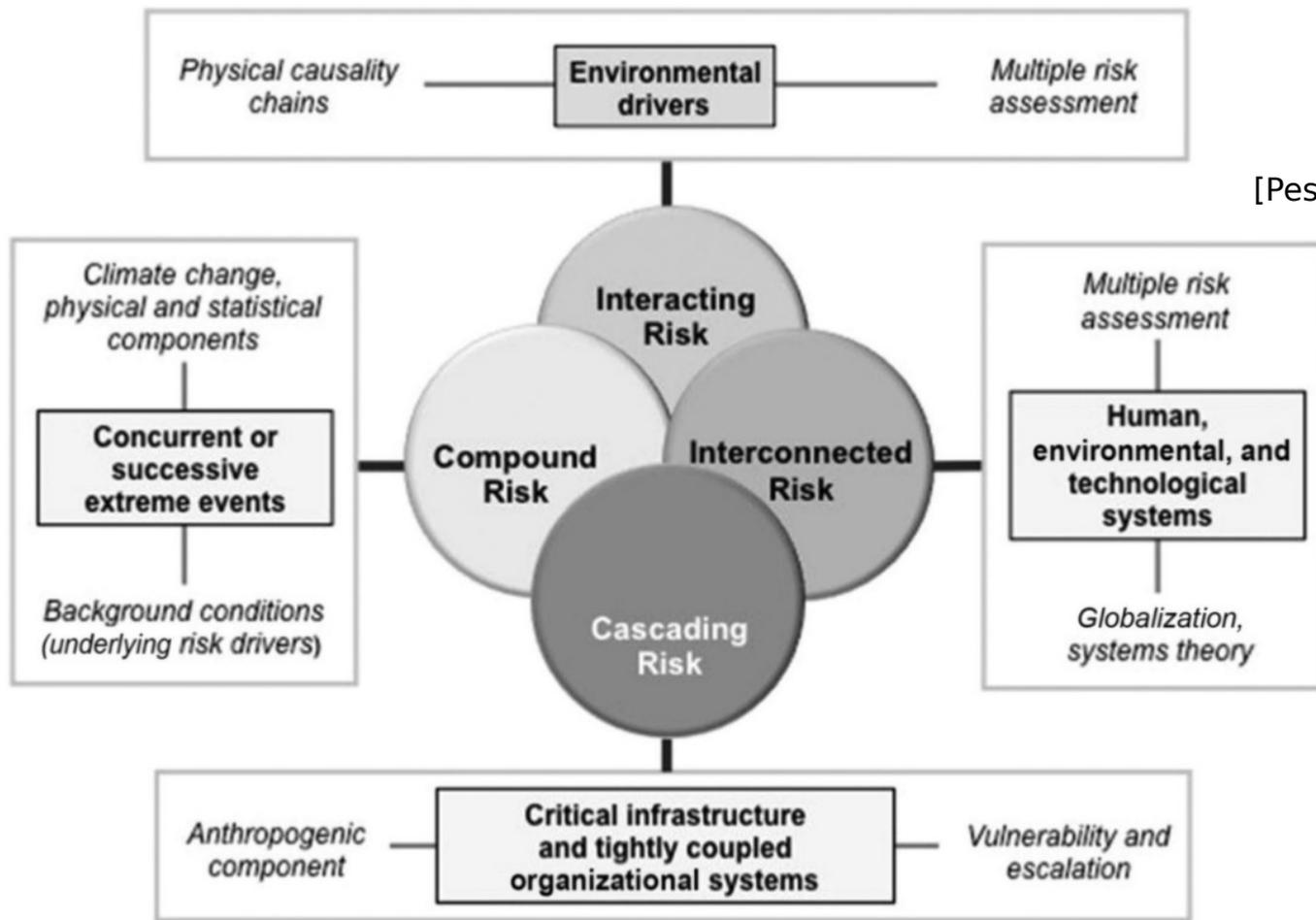
Aggregate risk	the accumulation of independent determinants of risk ³⁵
Amplified risk	the substantial enhancement of background risk through combination or concentrations of determinants of risk in time or space ³⁶
Cascading risk	one event or trend triggering others; interactions can be one way (e.g., domino or contagion effects) but can also have feedbacks; cascading risk is often associated with the vulnerability component of risk, such as critical infrastructure ^{1,22,37,38}
Interacting risk	the combinations of hazards and their reciprocal influences between different factors and coincidences among environmental drivers ³⁸
Interconnected risk	the complex interactions among human, environment, and technological systems with physical interdependencies that are closely linked with interconnected social interactions ³⁸
Interdependent risk	complex systems involve interactions and interdependencies that cannot be separated and lead to a range of unforeseeable risks ³⁹
Multi-risk	the whole risk from several hazards, taking into account possible hazards and vulnerability interactions entailing both multi-hazard and multi-vulnerability perspectives ⁴⁰
Systemic risk	systemic risk results from connections between risks (networked risks), where localized initial failure could have disastrous effects and cause, at its most extreme, unbounded damage ⁴

Notions d'événements composés : combinaison de processus (facteurs climatiques et dangers) conduisant à un impact significatif



Multi-risques

Risques composites, en interaction, interconnectés et en cascade



[Pescaroli & Alexander, 2018]

Complexité croissante des interactions entre risques

[IPCC-AR6-WGII, 2022, adapted from Simpson et al. 2021]

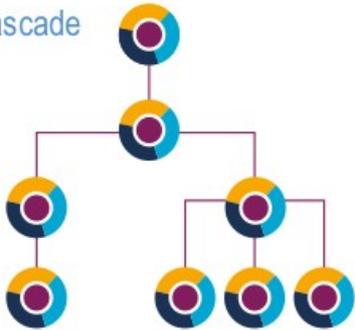
(a) Compound: unidirectional



(b) Compound: bidirectional



(c) Cascade



(d) Aggregate

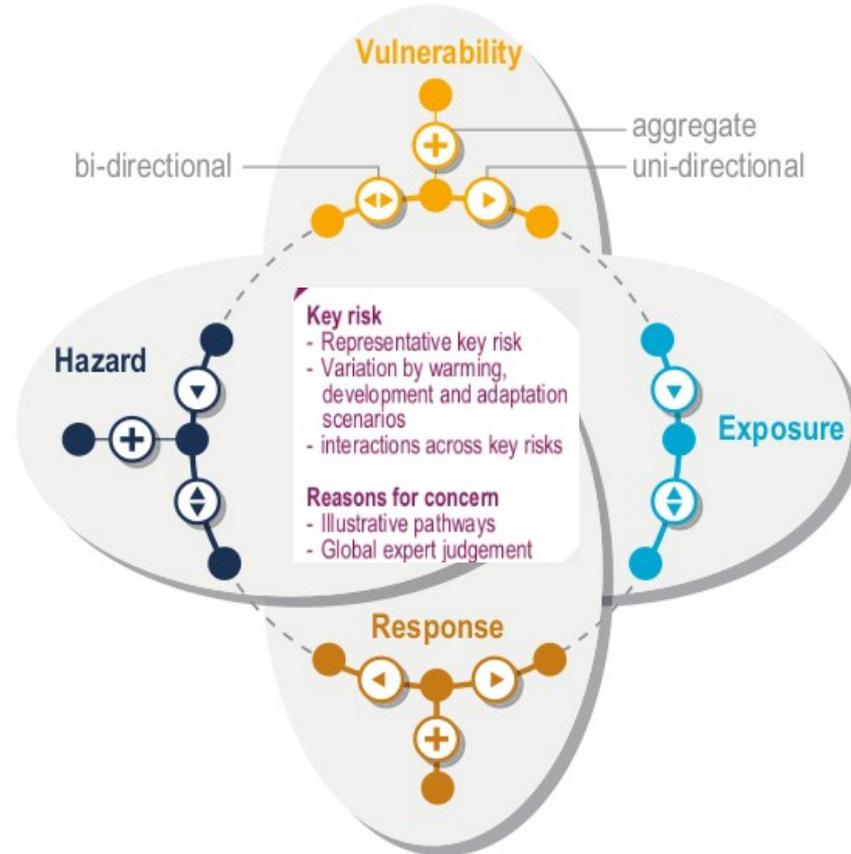


Colour definition of wheels corresponding to the Risk Propeller:



Apports de l'AR6 du Giec à l'hélice du risque

[IPCC-AR6-WGII]



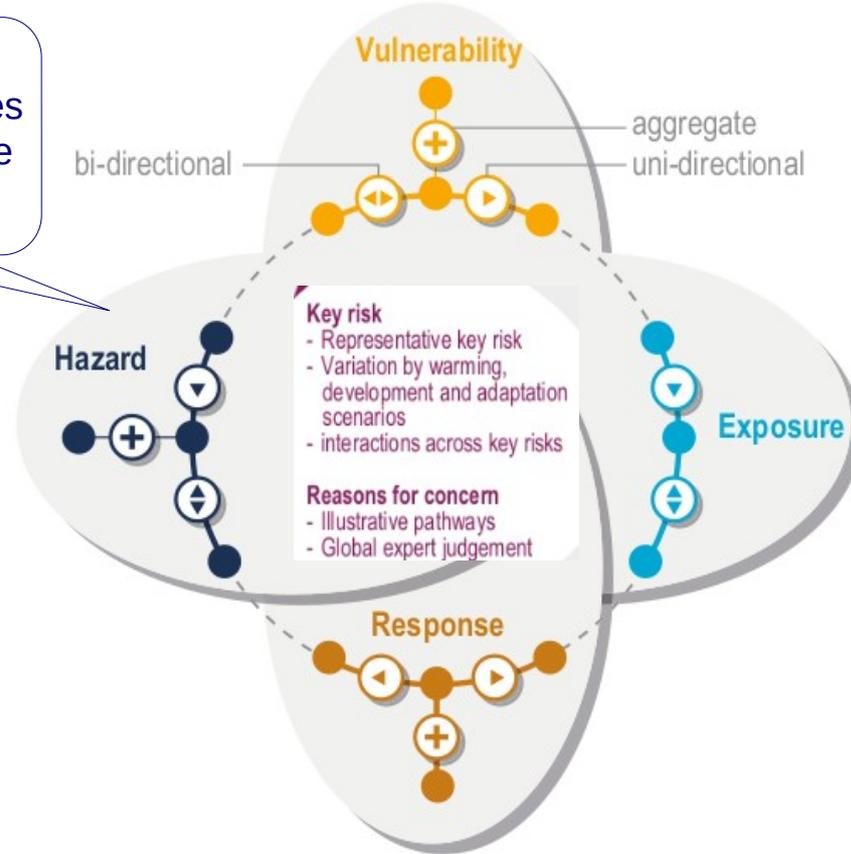
INRAE

Multirisque en forêt
14 janvier 2025 / BSA

Apports de l'AR6 du Giec à l'hélice du risque

[IPCC-AR6-WGII]

Les effets composés peuvent être appliqués à chaque composante du risque



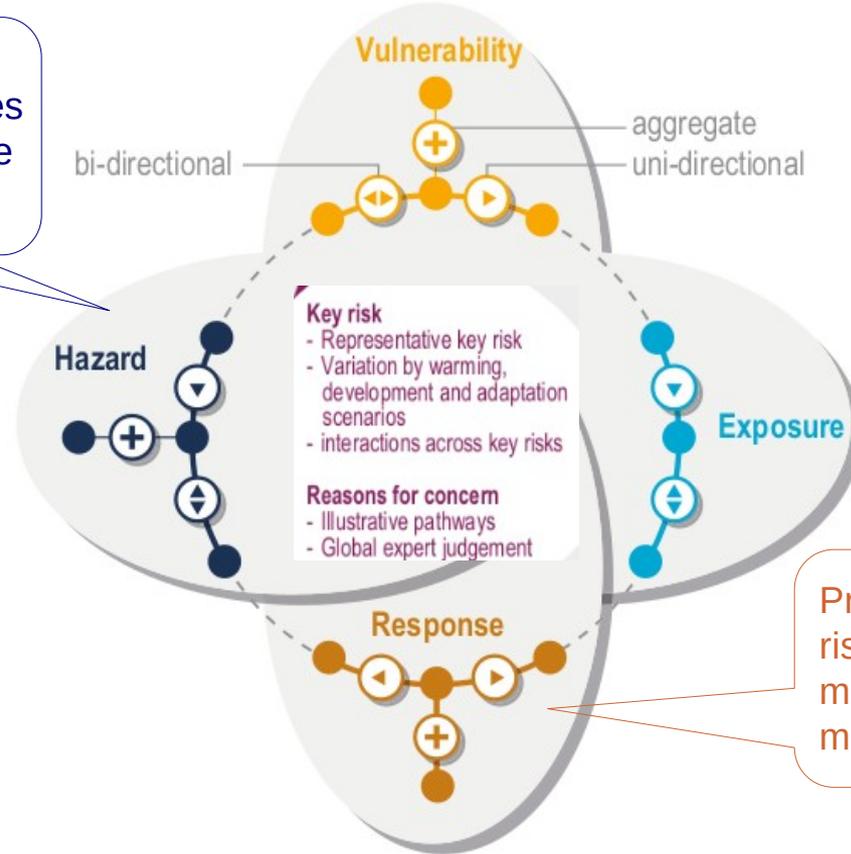
INRAE

Multirisque en forêt
14 janvier 2025 / BSA

Apports de l'AR6 du Giec à l'hélice du risque

[IPCC-AR6-WGII]

Les effets composés peuvent être appliqués à chaque composante du risque



Prendre en compte les risques associés aux mesures d'atténuation, mais aussi d'adaptation



INRAE

Multirisque en forêt
14 janvier 2025 / BSA

Déroulé de l'intervention

- Cadre conceptuel monorisque (Giec) : brefs rappels
 - Illustration : risques liés aux feux de forêt
 - Évaluation et gestion des risques
- Les avancées du Giec vers le multirisque
 - L'entrée par les solutions
 - Une terminologie foisonnante
- **Multirisque en forêt**
 - **Travaux choisis : aléas, enjeux, vulnérabilités, méthodes**
 - Cas d'étude de la forêt de la Teste-de-buch
 - Présentation
 - Méthodes d'analyse
 - Le projet ciblé X-RISKS du PEPR FORESTT
- Messages conclusifs



Prendre en compte les composantes du risque pour s'orienter vers le multirisque en forêt

Aléas biotiques

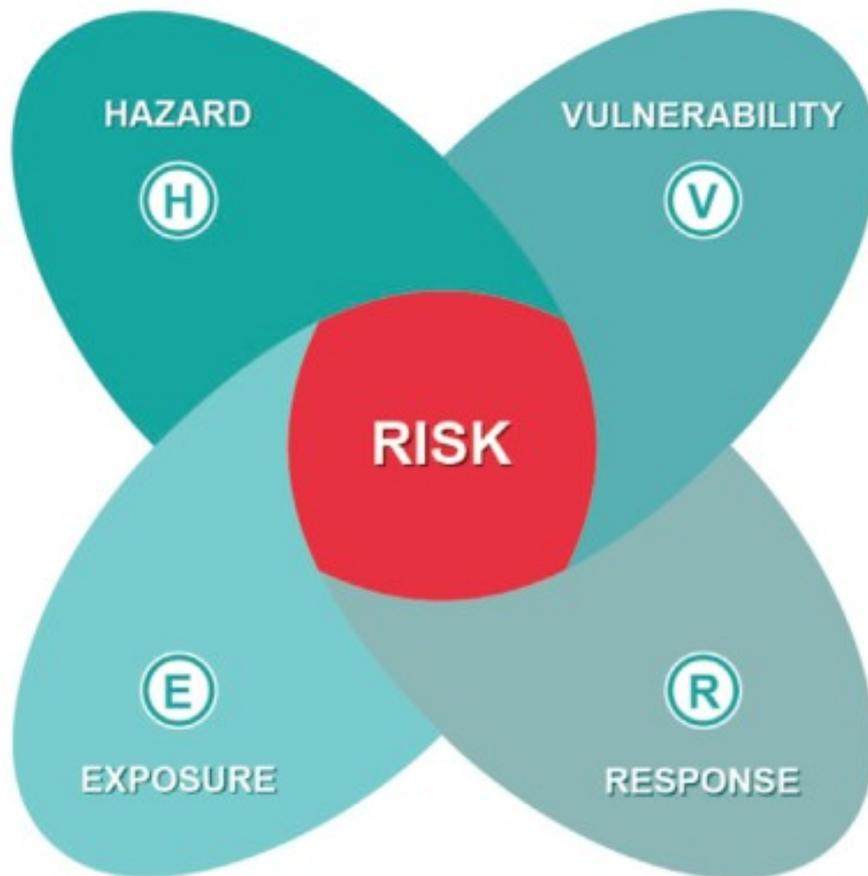
Insectes ravageurs, pathogènes, ...

Aléas abiotiques

Sécheresse, tempête, incendie, canicule, ...

Exposition et impacts

économique, écologique (SE), perte de productivité, de biodiversité, de qualité des bois, dépérissement, mortalité, ...



Facteurs de vulnérabilité

Fertilité, compaction des sols, composition des arbres, ressources génétiques forestières

Gestion du risque et adaptation des forêts

- Gestion classique (élagage, éclaircie, ...)
- Gestion spécifique (contrôle du combustible, coupe sanitaire, ...)



INRAE

Multirisque en forêt
14 janvier 2025 / BSA

Aléas en cascade : scolytes => incendie

Fire Ecology Volume 13, Issue 3, 2017
doi: 10.4996/fireecology.130300123

Sieg et al.: Bark Beetle–Fire Disturbance Interactions
Page 1

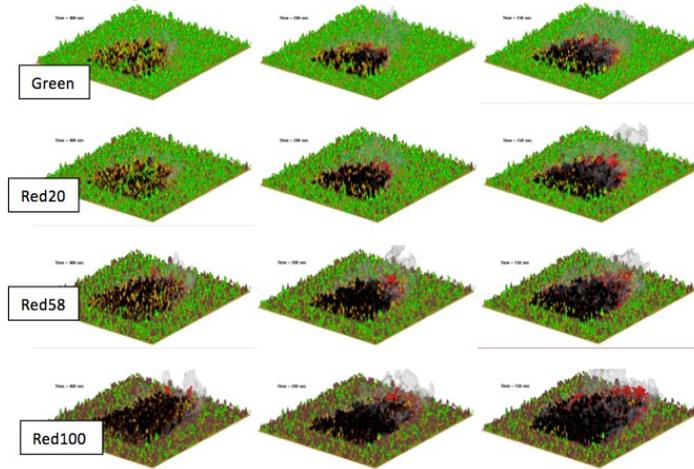
RESEARCH ARTICLE

FIRES FOLLOWING BARK BEETLES: FACTORS CONTROLLING SEVERITY AND DISTURBANCE INTERACTIONS IN PONDEROSA PINE

Carolyn H. Sieg¹, Rodman R. Linn², Francois Pimont³, Chad M. Hoffman⁴,
Joel D. McMillin⁵, Judith Winterkamp², and L. Scott Baggett⁶



Low wind speed Moderate High



Phase	Low wind	Moderate wind	High wind
Red20	0.0194 (N)	0.0309 (N)	0.0082 (N)
Red58	0.530 (+++)	0.0968 (+)	0.0230 (N)
Red100	0.890 (+++)	0.117 (+)	0.0212 (N)
Gray20	0.202 (++)	-0.130 (-)	-0.0165 (N)
Gray58	-0.0793 (-)	-0.169 (-)	-0.0758 (-)
Gray100	-0.338 (--)	-0.289 (--)	-0.269 (--)

Vulnérabilité

Effets de la structure et de la composition vs. Chgt climatique

Global Change Biology

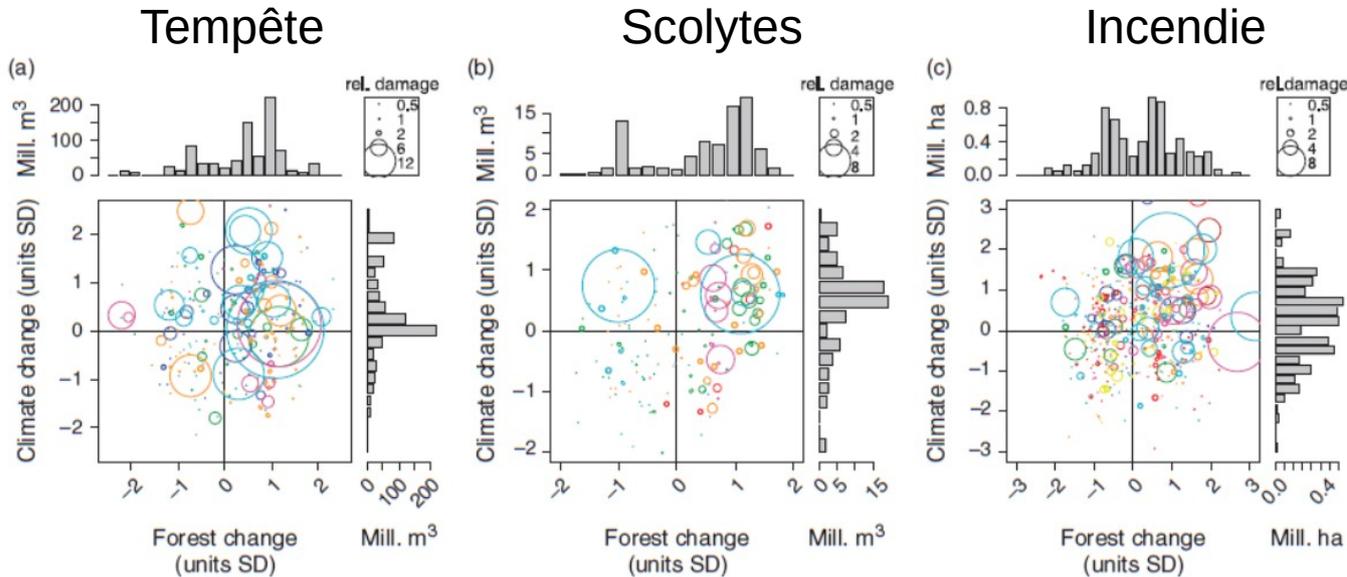
Global Change Biology (2011) 17, 2842–2852, doi: 10.1111/j.1365-2486.2011.02452.x

Unraveling the drivers of intensifying forest disturbance regimes in Europe

RUPERT SEIDL^{*†}, MART-JAN SCHELHAAS[‡] and MANFRED J. LEXER[†]

^{*}Department of Forest Ecosystems and Society, College of Forestry, Oregon State University, 3200 SW Jefferson Way, Corvallis, OR 97331, USA, [†]Department of Forest and Soil Sciences, Institute of Silviculture, University of Natural Resources and Life Sciences (BOKU) Vienna, Peter Jordan Straße 82, 1190 Wien, Austria, [‡]Alterra, Wageningen University and Research Centre, PO Box 47, NL-6700 AA Wageningen, The Netherlands

Climate change was the main driver of the increase in **area burnt**, while changes in forest extent, structure and composition particularly affected the variation in **wind** and **bark beetle** damage.



Understanding the interacting drivers of natural disturbance regimes is thus a prerequisite for climate change mitigation and adaptation in forest ecosystem management.



Approche méthodo

Couplage de modèles à base de processus

[Aderegg et al, 2015 New Phytol]

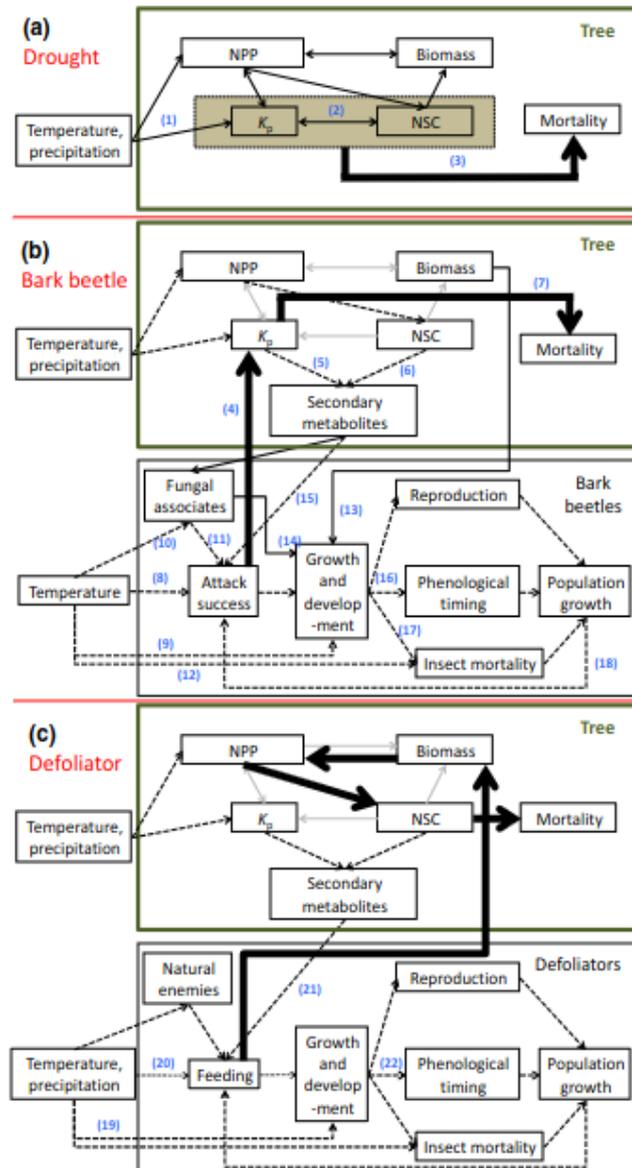


Fig. 3 Conceptual framework of tree interactions with two insect guilds, illustrating tree mortality caused by climate and insects. Drought-induced tree mortality (a) occurs when climate variables influence net primary productivity (NPP) and plant hydraulic conductivity (K_p), which are interlinked with nonstructural carbohydrate (NSC) reserves and biomass. In (b) and (c), insect feeding guilds of bark beetles and defoliators, respectively, are coupled with the tree model (green box) to lead to mortality. Thick black lines indicate pathways of tree mortality. In insect feeding guilds, dashed black lines indicate common links in both bark beetles and defoliators; solid black lines indicate differences between bark beetles and defoliators. Example references for process arrows: (1)

- Cadre conceptuel des interactions arbres-insectes
- Risque de mortalité
- Approche à base de processus
 - Écophysiologie
 - Entomologie (cambiophages et défoliateurs)

Schéma conceptuel du risque en forêt

Dimension temporelle

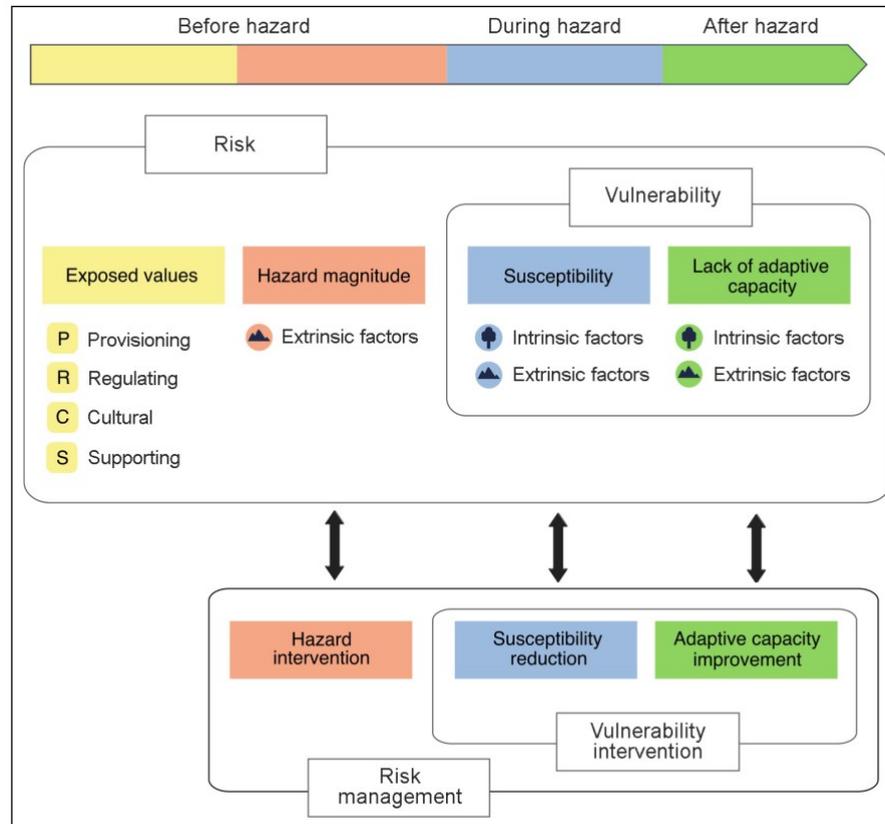
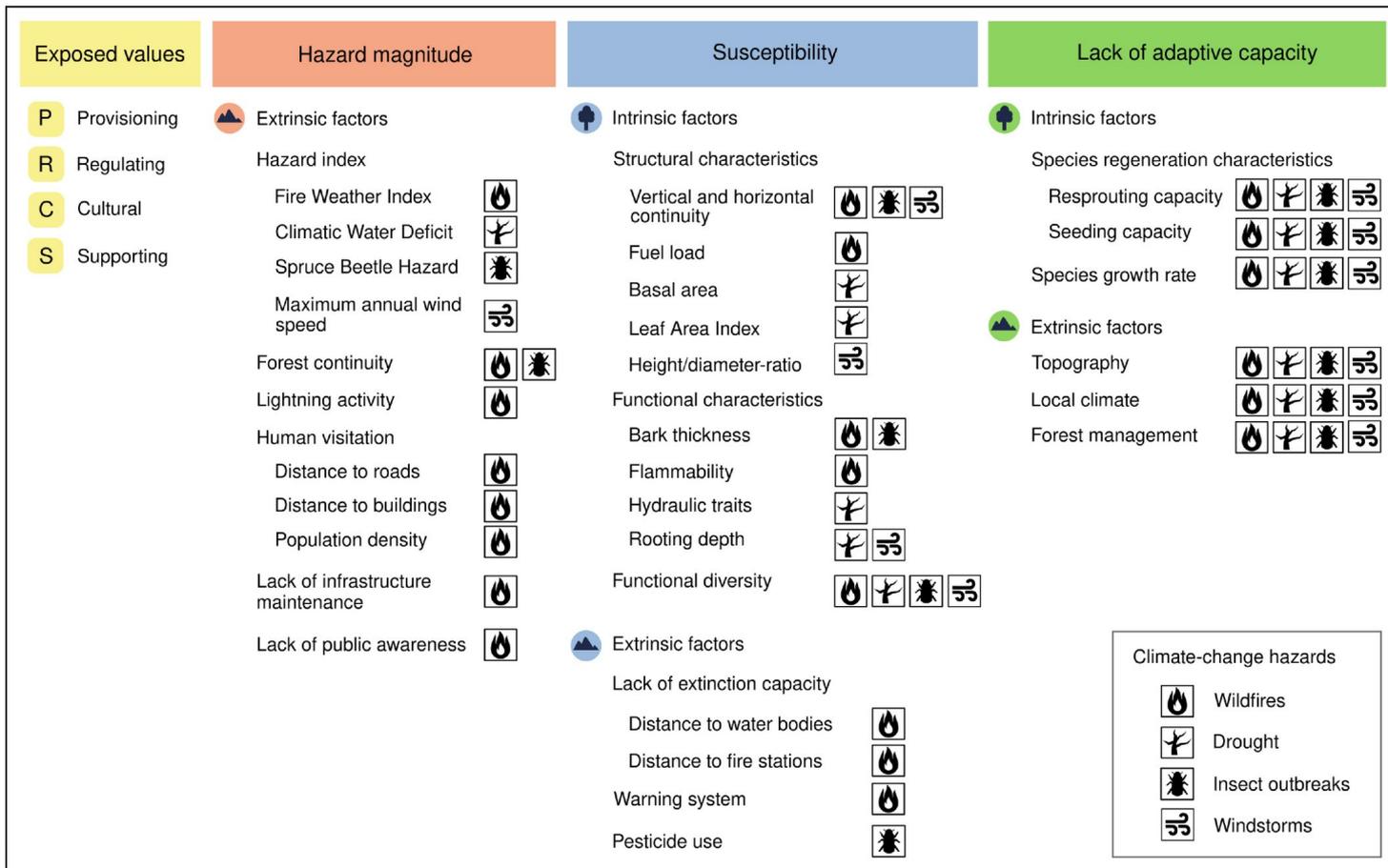


Figure 2. General framework of forest vulnerability and risk to climate-change hazards and its temporal dimension (before, during, and after hazard). See main text for details.

Characterizing forest vulnerability and risk to climate-change hazards

[Lecina-Diaz et al, 2020]

Multi aléas, multi enjeux, multi vulnérabilité dans le contexte forestier



Gestion des risques multiples

L'art du compromis

Table 2 Climate change sensitivities, adaptation strategies, and adaptation tactics associated with forest vegetation. Adaptation strategies and tactics were developed by resource managers in a series of hands-on workshops in the Pacific Northwestern U.S. Applicability of individual tactics will vary based on the type of landowner, management goals, ecosystem types, and other factors

Sensitivity to climate change	Adaptation strategy	Adaptation tactics
Increased warming, drought and wildfire will reduce tree vigor and increase susceptibility to insects and pathogens, with increased potential for large and extensive insect and pathogen outbreaks, particularly of non-native insects and pathogens	<p style="text-align: center;">... / ...</p> Increase resilience of forest stands to disturbance by increasing tree vigor	<ul style="list-style-type: none"> • Thin to decrease stand density, increase tree vigor and accelerate development of late-successional forest conditions • Harvest to variable densities • Reduce density of post-disturbance artificial regeneration • Plant disease-resistant species or genotypes where species-specific insects or pathogens are a concern • Increase stand-scale biodiversity and minimize monocultures

Déroulé de l'intervention

- Cadre conceptuel monorisque (Giec) : brefs rappels
 - Illustration : risques liés aux feux de forêt
 - Évaluation et gestion des risques
- Les avancées du Giec vers le multirisque
 - L'entrée par les solutions
 - Une terminologie foisonnante
- **Multirisque en forêt**
 - Travaux choisis : aléas, enjeux, vulnérabilité, méthodes
 - **Cas d'étude de la forêt de la Teste-de-buch**
 - **Présentation**
 - **Méthodes d'analyse**
 - Le projet ciblé X-RISKS du PEPR FORESTT
- Messages conclusifs



Un cas d'application : risques en cascade dans les Landes de Gascogne (La Teste-de-Buch)



Un cas d'application : risques en cascade dans les Landes de Gascogne (La Teste-de-Buch)



Printemps 2022



Été 2022



Hiver 2022/2023



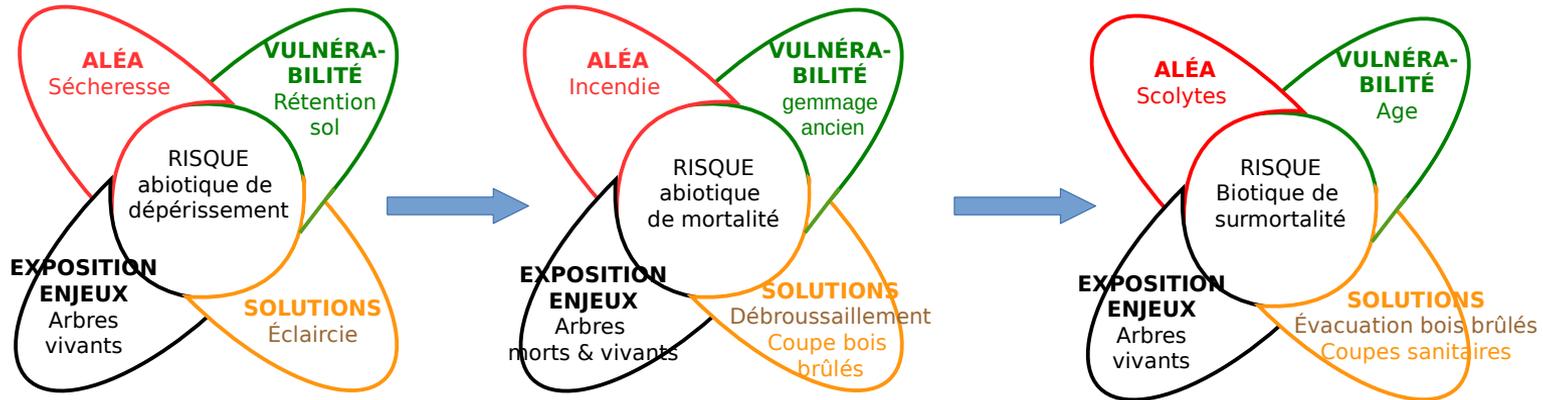
Printemps 2023 – Été 2023 => 2024



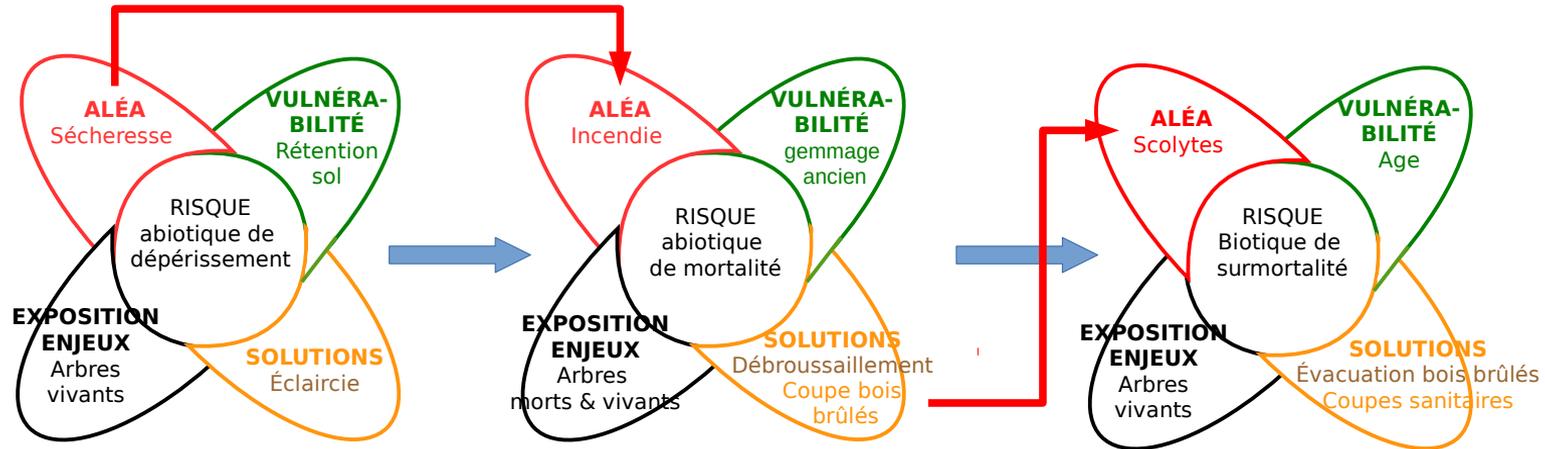
L'ATTAGUE
DES SCOLYTES

- Juillet 2022, le 2ème mois le plus sec depuis le début des mesures en 1958
- Une forêt usagère et une forêt domaniale
- Accident de voiture le 12 juillet 2022 : déclenchement d'un incendie (6 semaines, 5800 ha)
- 550 000 m³ et 80 000 m³ récoltés respectivement en forêts usagère et domaniale.
- Trois générations d'un coléoptère endémique du pin (*Ips sexdentatus*) en 2023

Un cas d'application : risques en cascade dans les Landes de Gascogne (La Teste-de-Buch)



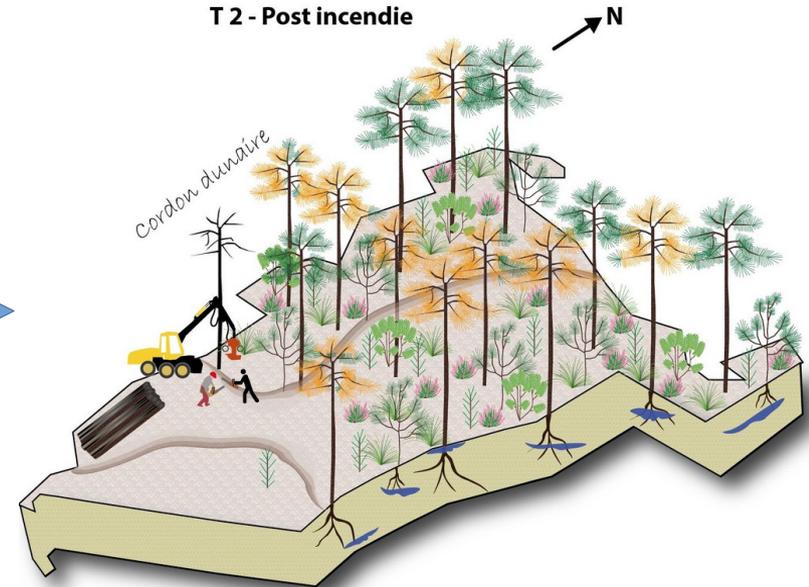
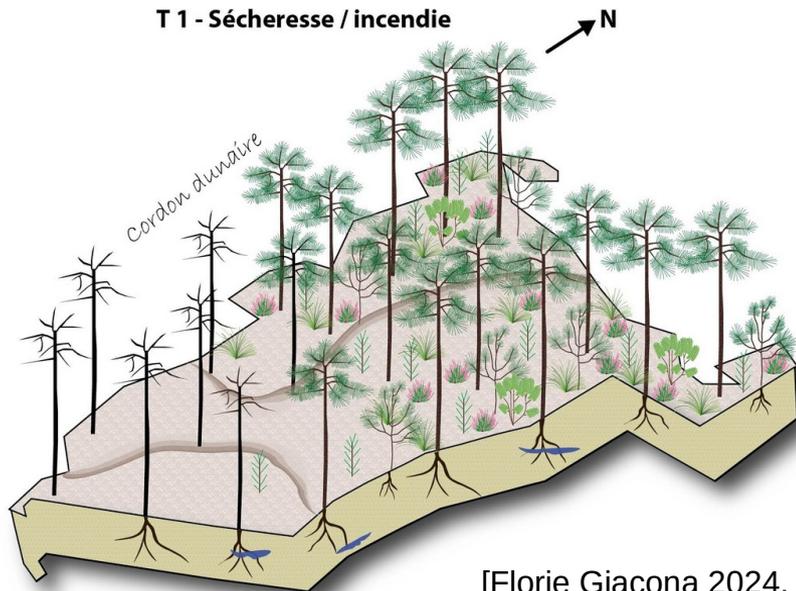
Un cas d'application : risques en cascade dans les Landes de Gascogne (La Teste-de-Buch)



Un cas d'application : risques en cascade dans les Landes de Gascogne (La Teste-de-Buch)



Représentation de la cascade
Modèles systématiques graphiques
diachroniques (Giacona, 2019)



[Florie Giacona 2024, projet RIMINI]

Un cas d'application : risques en cascade dans les Landes de Gascogne (La Teste-de-Buch)

Global Environmental Change 69 (2021) 102307



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

Global Environmental Change

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

A conceptual framework for cross-border impacts of climate change

Timothy R. Carter^{a,*}, Magnus Benzie^{b,c}, Emanuele Campiglio^d, Henrik Carlsen^b, Stefan Fronzek^a, Mikael Hildén^a, Christopher P.O. Reyer^e, Chris West^f

Méthode des graphes causaux

d) Impact transmission dynamics

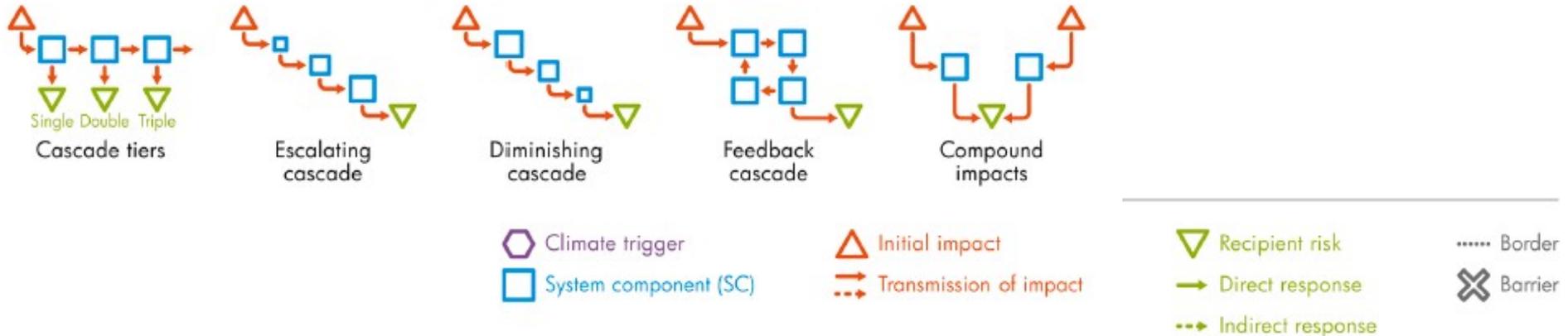


Fig. 3. Typologies for representing cross-border climate change impacts. Specific cases may treat one or more categories of cross-border impacts (b) characterised by types of climate triggers (a), impact transmission scales (c) and dynamics (d), and response transmission targets (e) and dynamics (f). These are indicative and not intended to be comprehensive. For explanation, see text.

INRAE

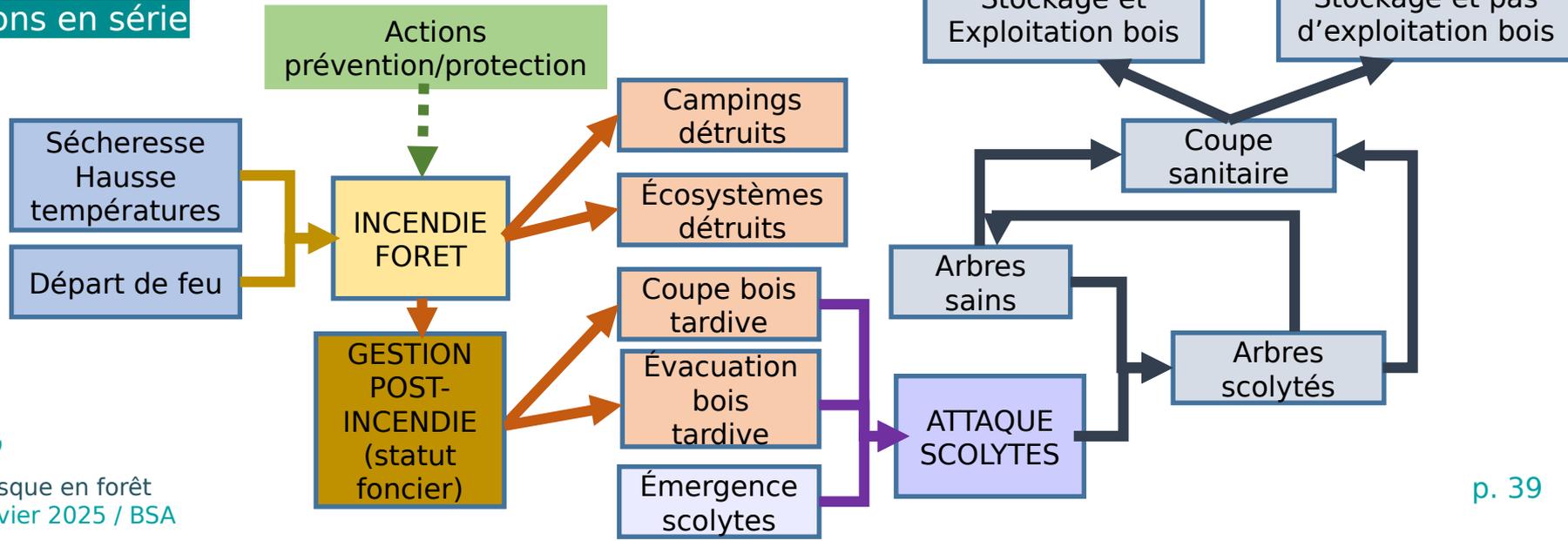
Multirisque en forêt
14 janvier 2025 / BS.

Un cas d'application : risques en cascade dans les Landes de Gascogne (La Teste-de-Buch)



[Corinne Curt 2024, projet RIMINI]

Méthode des graphes causaux :
Noeuds papillons en série



INRAE

Multirisque en forêt
14 janvier 2025 / BSA

Déroulé de l'intervention

- Cadre conceptuel monorisque (Giec) : brefs rappels
 - Illustration : risques liés aux feux de forêt
 - Évaluation et gestion des risques
- Les avancées du Giec vers le multirisque
 - L'entrée par les solutions
 - Une terminologie foisonnante
- Multirisque en forêt
 - Travaux choisis : aléas, enjeux, vulnérabilité, méthodes
 - Cas d'étude de la forêt de la Teste-de-buch
 - Présentation
 - Méthodes d'analyse
- **Le projet ciblé X-RISKS du PEPR FORESTT**
- Messages conclusifs



X-RISKS Analyse et gestion des risques multiples pour les socio-écosystèmes forest



- Établissement coordinateur : INRAE

- Établissements partenaires :  UNIVERSITÉ DE PAU ET DES PAYS DE L'ADOUR

AgroParisTech 

INP PURPAN ÉCOLE D'INGÉNIEURS

Aix-Marseille université *Société engagée*

Office National des Forêts 

- Durée du projet : 6 ans

INRAE 

 cirad

 CNRS

 IRD

IGN 

 CNPF

- Budget : 5 M€

Un projet ciblé du PEPR FORESTT <https://www.pepr-forestt.fr/>



X-RISKS Analyse et gestion des risques multiples pour les socio-écosystèmes forest

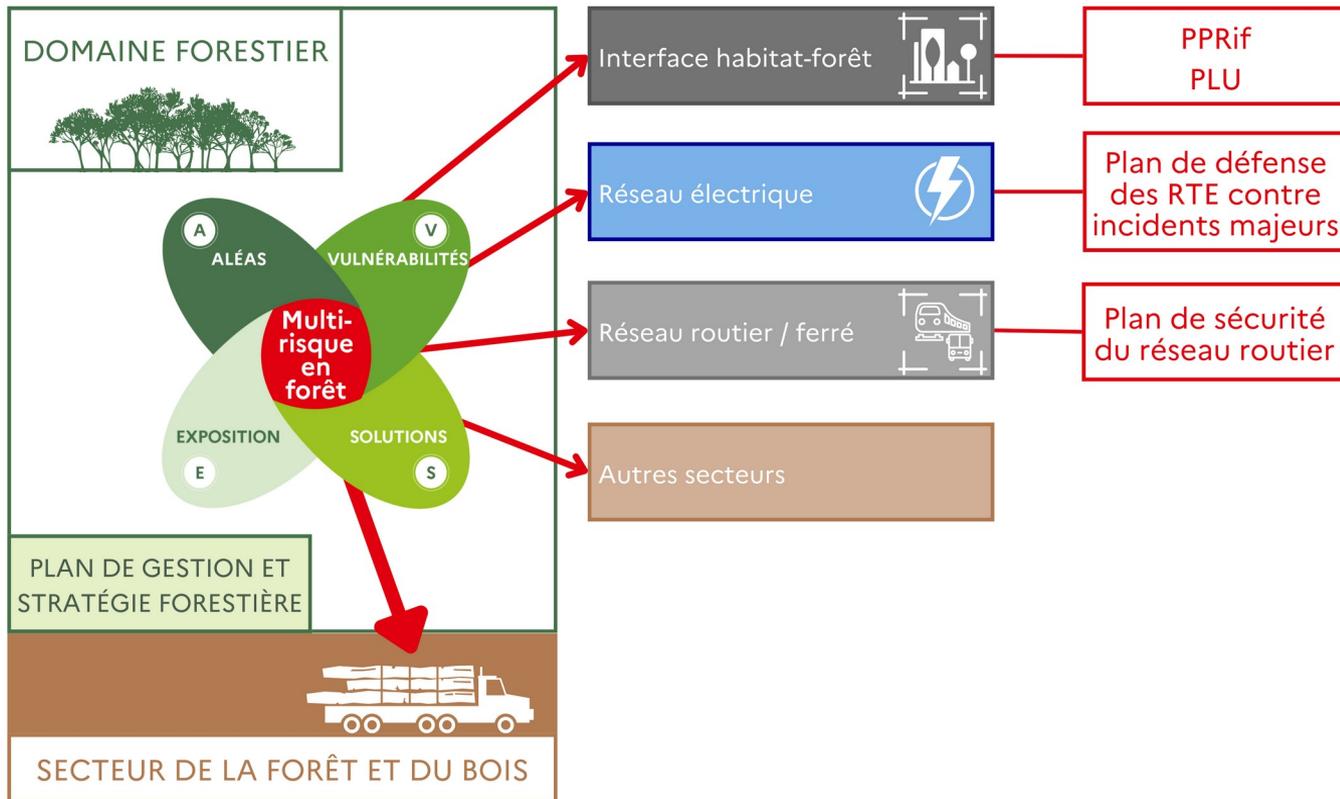


Objectif : intégrer la dimension « risques multiples » dans les questions sociétales et scientifiques liées à la gestion des forêts

Axes de recherche :

- Comprendre et définir le **concept** de multirisque en foresterie
- Améliorer la **surveillance** des risques multiples, de leurs interactions et de leurs impacts
- Développer des approches comparatives pour la **modélisation** des risques multiples, afin d'explorer leurs conséquences et leurs impacts sur les méthodes de gestion
- Améliorer la compréhension de la **perception** des risques multiples et des vulnérabilités par les différentes parties prenantes
- Identifier des **stratégies de gouvernance et de gestion** appropriées pour prévenir ou limiter les risques multiples, en tenant compte des compromis nécessaires.





PORTFOLIO DE SOLUTIONS INTÉGRÉES

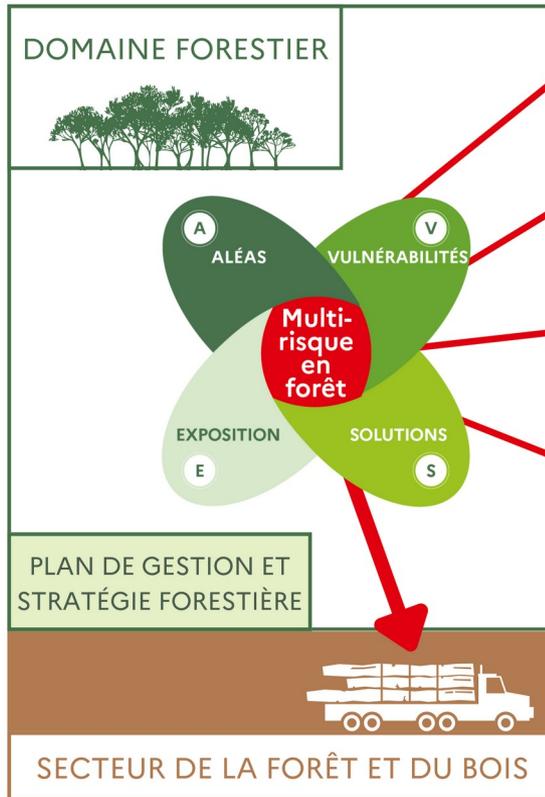
Solutions au niveau peuplement

- Séquence technique (sylviculture, débroussaillage,...)
- Diversité génétique
- Mélange d'espèces

Solutions au niveau du paysage ou du massif forestier

- Fragmentation des paysages
- Mélange d'espèces
- Assurances

PORTFOLIO DE SOLUTIONS INTÉGRÉES



Interface habitat-forêt

PPRif
PLU

Réseau électrique

Plan de défense des RTE contre incidents majeurs

Réseau routier / ferré

Plan de sécurité du réseau routier

Autres secteurs

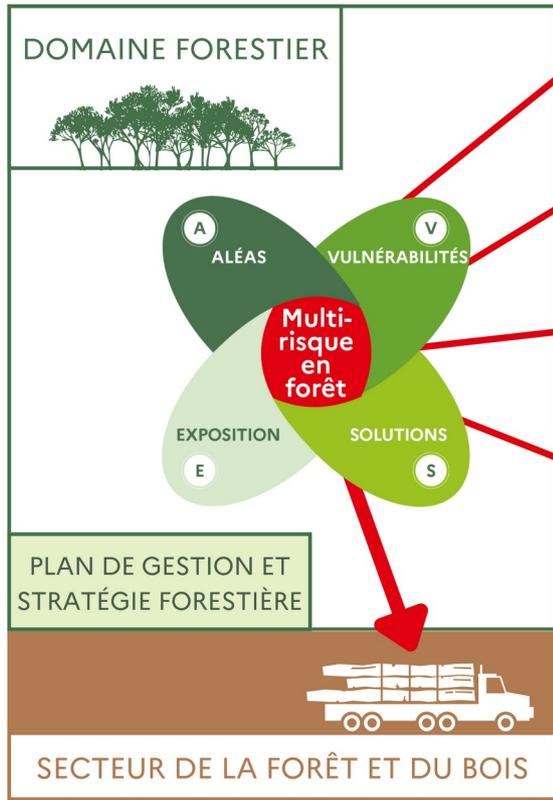
Solutions au niveau peuplement

- Séquence technique (sylviculture, débroussaillage,...)
- Diversité génétique
- Mélange d'espèces

Solutions au niveau du paysage ou du massif forestier

- Fragmentation des paysages
- Mélange d'espèces
- Assurances

PORTFOLIO DE SOLUTIONS INTÉGRÉES



Interface habitat-forêt

PPRif
PLU

Réseau électrique

Plan de défense des RTE contre incidents majeurs

Réseau routier / ferré

Plan de sécurité du réseau routier

Autres secteurs

Solutions à l'échelle du massif ou régionales

- Gouvernance
- Organisation
- Gestion post crise pour atténuer les impacts sur l'aval
- Gestion post crise pour atténuer le prochain aléa

Messages conclusifs

- Le formalisme du Giec s'adapte bien aux risques en forêt
 - ✓ Permet une décomposition analytique utile des risques : compréhension, causalité
 - ✓ Et de passer du mono au multirisque
- Enjeux exposés
 - ✓ L'entrée principale pour l'évaluation des risques ?
 - ✓ Le multi-enjeux est déjà une vision multirisque
 - ✓ Même dans le domaine forestier, les enjeux sont multiples
- Le périmètre pris en compte détermine l'évaluation multirisque
 - ✓ Domaine forestiers / non forestier
 - ✓ Facteurs endogènes / exogènes ; prédisposants / déclenchants / aggravants
- Les solutions, une composante clé de l'évaluation et de la gestion multirisque
=> Vers une vision intégrée de la gestion multirisque



Réflexion finale

Les **stratégies d'adaptation**, qui comprennent la gestion intégrée des risques multiples en forêt, bien que nécessaires, ne suffiront pas à sauver les forêts sans un engagement fort envers les **stratégies d'atténuation globales**.

La crise climatique exige une **approche intégrée et multisectorielle**, où les actions prises dans d'autres domaines, comme l'énergie et l'agriculture, renforcent la résilience des écosystèmes forestiers.

Sans cette **complémentarité**, les efforts d'adaptation risquent de se heurter à des limites insurmontables, menaçant à terme non seulement les forêts, mais aussi les nombreux services écosystémiques dont elles sont la source, y compris leur contribution à l'atténuation en stockant du carbone.



Merci pour votre attention !

