



HAL
open science

La gestion adaptative des écosystèmes forestiers

Denis Loustau

► **To cite this version:**

Denis Loustau. La gestion adaptative des écosystèmes forestiers. Séminaire inter académies, Académie des Sciences - Académie d'Agriculture de France sur les Forêts., May 2022, Paris, France. hal-03797520

HAL Id: hal-03797520

<https://hal.inrae.fr/hal-03797520>

Submitted on 4 Oct 2022

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

A photograph of a forest stream flowing over large, moss-covered rocks. The water is clear and creates small cascades. The surrounding forest is dense with green trees and foliage, with sunlight filtering through the canopy. The overall scene is vibrant and natural.

La gestion adaptative des écosystèmes forestiers.

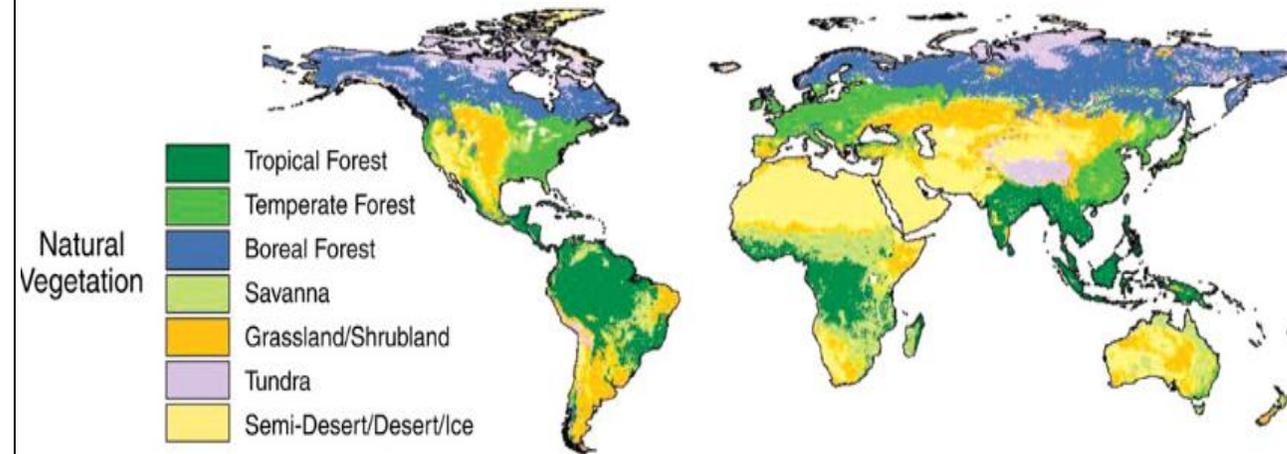
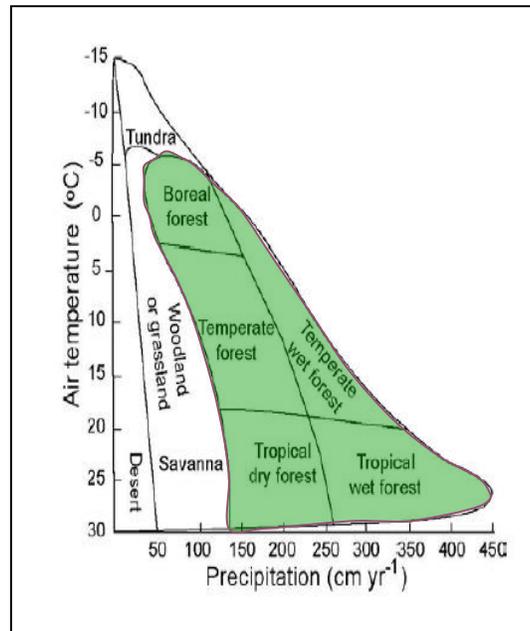
Denis Loustau, INRAE,
denis.loustau@inrae.fr

Sommaire

- Qu'adapte t on ?
Mise en perspective du fonctionnement de l'écosystème forestier..... (2-8)
- A quoi et pourquoi ?(9-20)
La forêt dans l'Anthropocène
Une gestion adaptative des écosystèmes forestiers: la contrainte hydrique
- Conclusion(21)

(3/ 8) Les biomes forestiers dominant les continents

- Terme ultime des successions végétales terrestres,
- Formation végétale dominante : 65 % des terres émergées, 85% du couvert végétalisé



Niche climatique des écosystèmes forestiers

(4/8) Les arbres satisfont les contraintes du milieu physique continental



Stoechiométrique

Assimiler en proportion énergie et éléments depuis:

- l'atmosphère (lumière, CO₂)
- le sol (eau, azote, phosphore...)

Thermique

- dissipation de chaleur (aiguille, feuille..)
- capacité de régulation (feuilles, stomates, rugosité)

Hydrique

- Intégration hydraulique : cuticule, stomate, vaisseaux conducteurs, racines, (Da Vinci, Dixon, Milburn, Tyree, Cochard)
- Temps de réponse adaptés: seconde → siècle

Mécanique

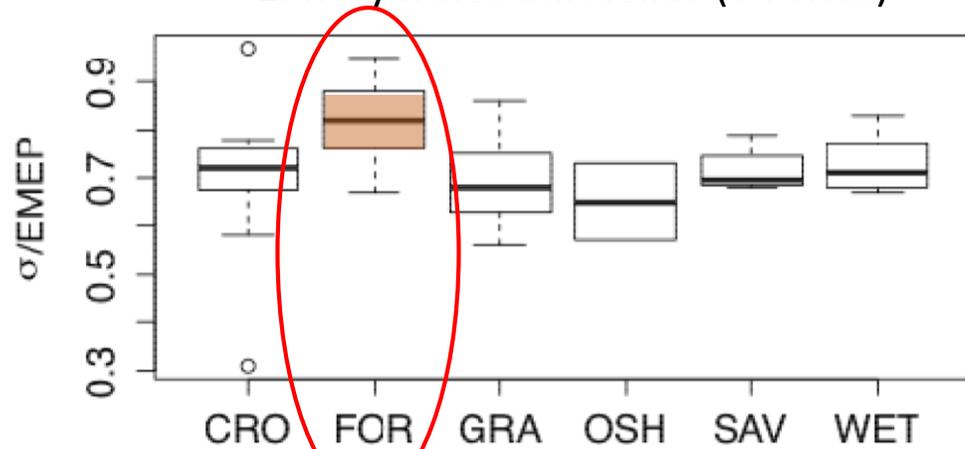
- Résistance au vent
- Ancrage (racines, sol)

5 / 8 Les forêts : un système thermodynamique ouvert, dissipatif

- Les surfaces forestières soutiennent les échanges d'énergie les plus intenses parmi les surfaces continentales
- Elles sont proches de la production maximale d'entropie

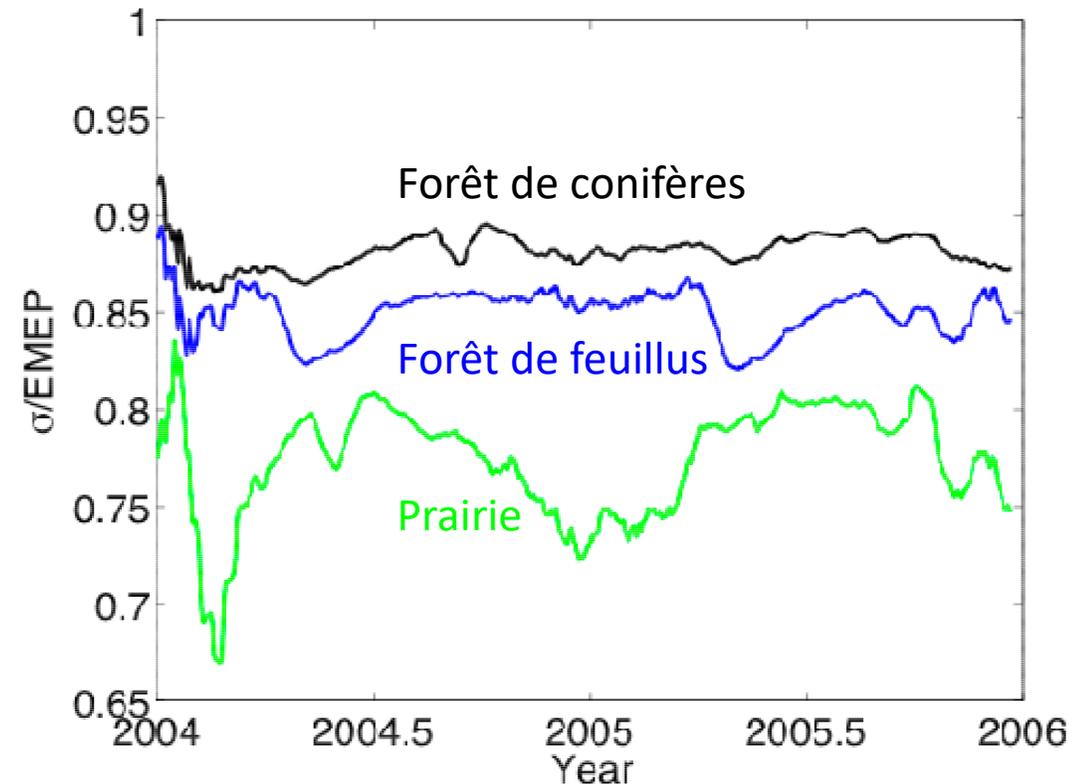
Fraction de la production d'entropie maximale

1. Moyennes annuelles (64 sites)

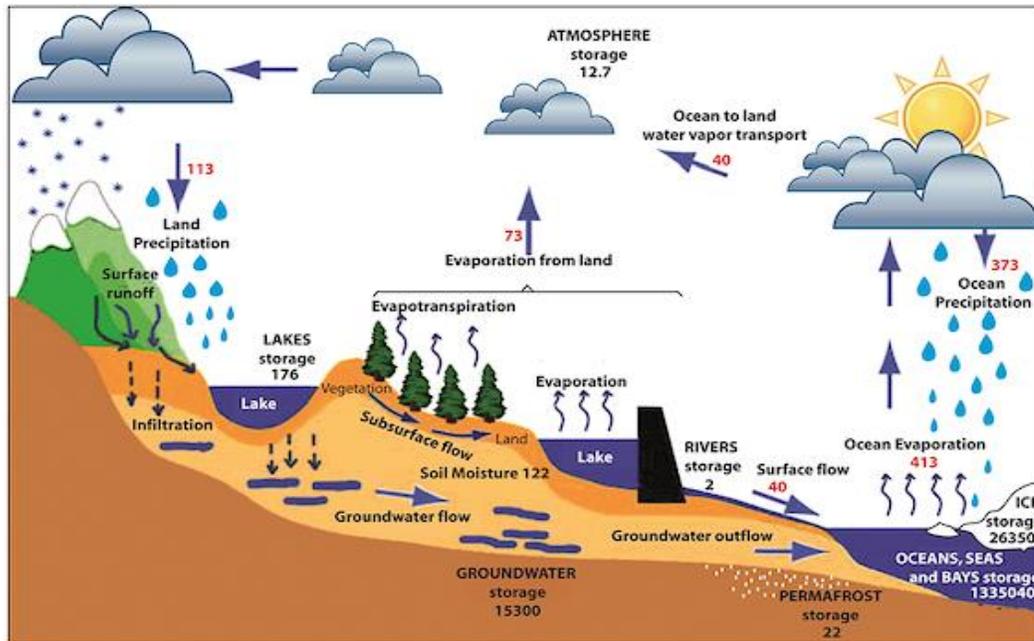


(Stoy et al., Entropy, 2014)

2. Cinétiques saisonnières



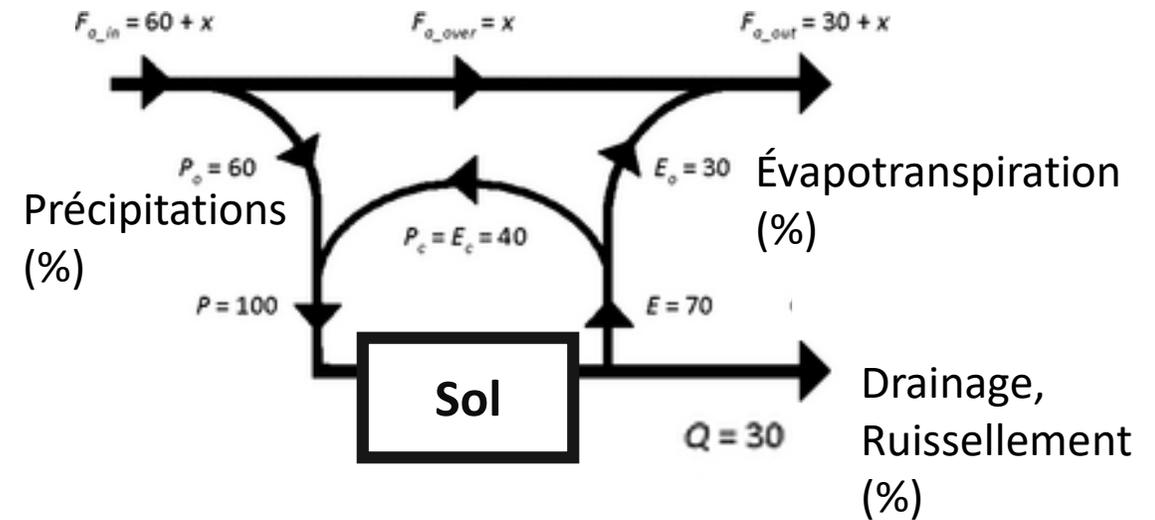
- 40 à 65% de la moyenne des précipitations continentales proviennent de l'évapotranspiration des forêts
- Les forêts « filtrent » les eaux de ruissellement et de surface (rivières, nappe, lacs..)
- Les sols forestiers tamponnent les extrêmes hydrologiques (inondations, sécheresses)



Oceanic and terrestrial sources of continental precipitation

Gimeno et al. 2012. *Reviews of Geophysics*, Volume: 50, Issue: 4, First published: 08 November 2012, DOI: (10.1029/2012RG000389)

Stock en 10^3 km^3
 Flux en $10^3 \text{ km}^3 \text{ an}^{-1}$



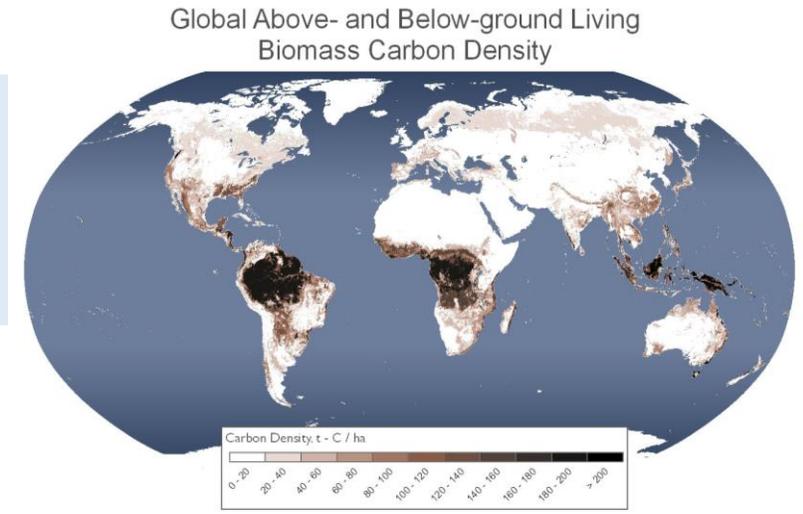
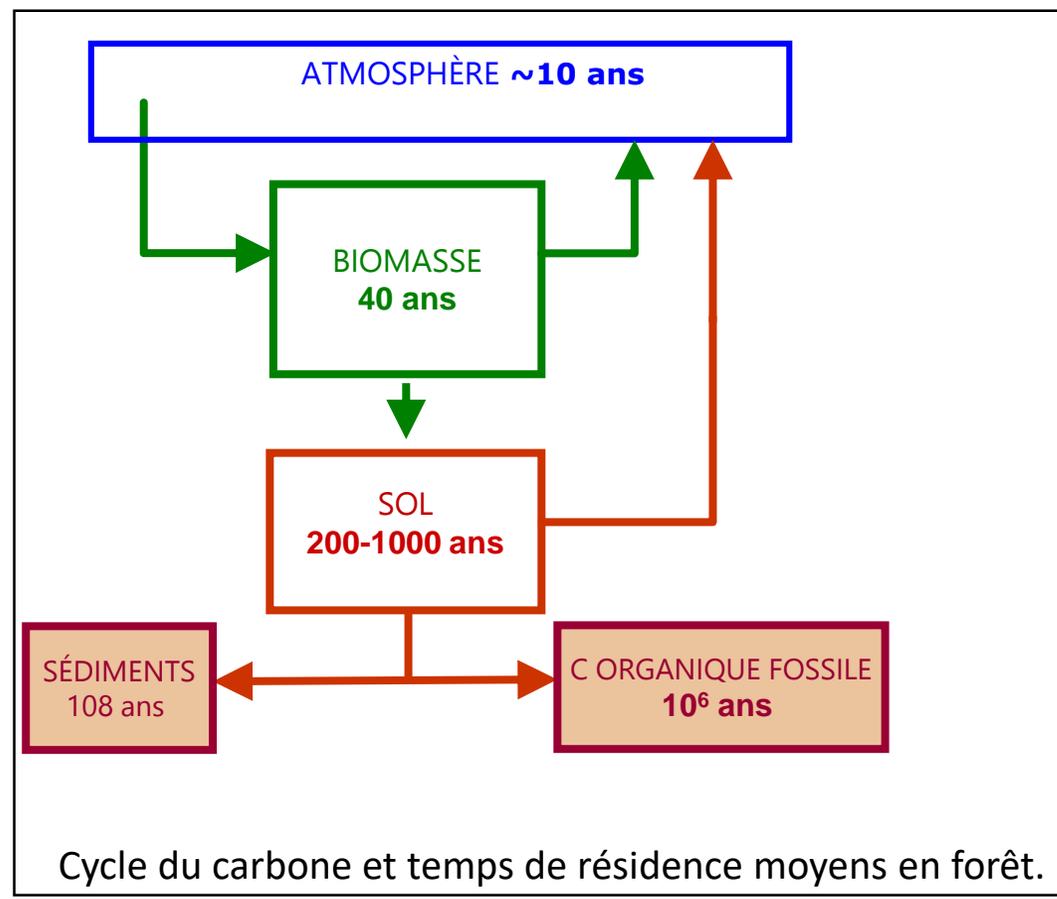
The importance of proper hydrology in the forest cover-water yield debate: commentary on Ellison *et al.* (2012) *Global Change Biology*, 18, 806–820

Global Change Biology

Volume 18, Issue 9, pages 2677-2680, 6 AUG 2012 DOI: 10.1111/j.1365-2486.2012.02703.x
<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1365-2486.2012.02703.x/full#gcb2703-fig-0001>

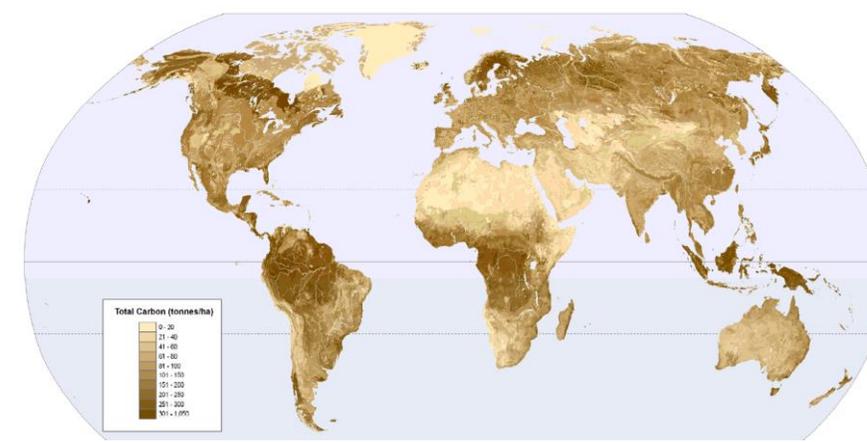
Les forêts : réacteurs biogéochimiques

- Le développement des forêts a accéléré l'altération des roches silicatées et la formation des sols
- Les forêts constituent un stock de carbone et nutriments considérable



BIOMASSE ~800 -1000 PgC

Scharlemann, J., Hiederer, R., Kapos, V. (2009). *UNEP-WCMC & EU-JRC*, Cambridge, UK.

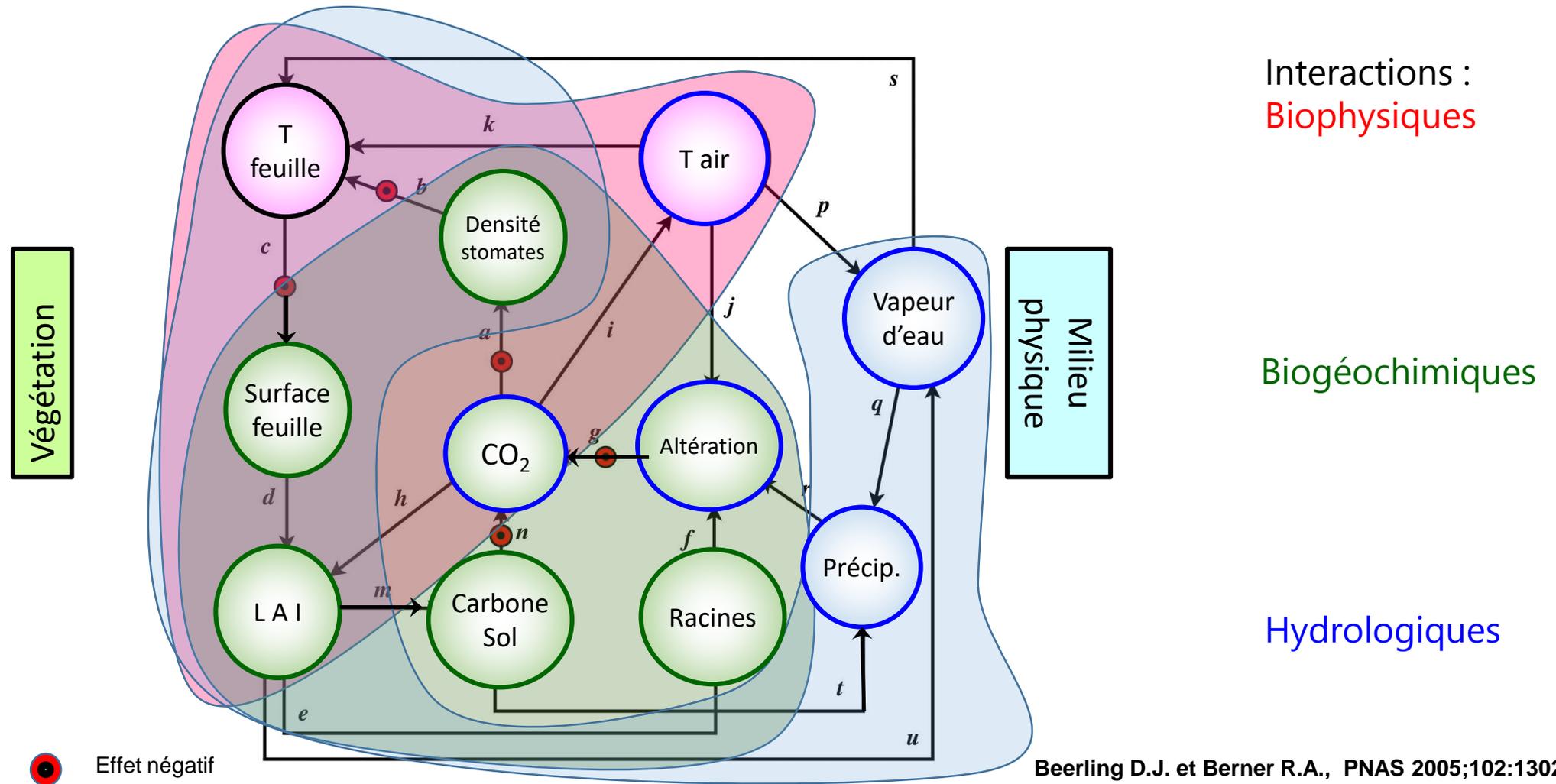


SOLS: 1500 - 2500 PgC

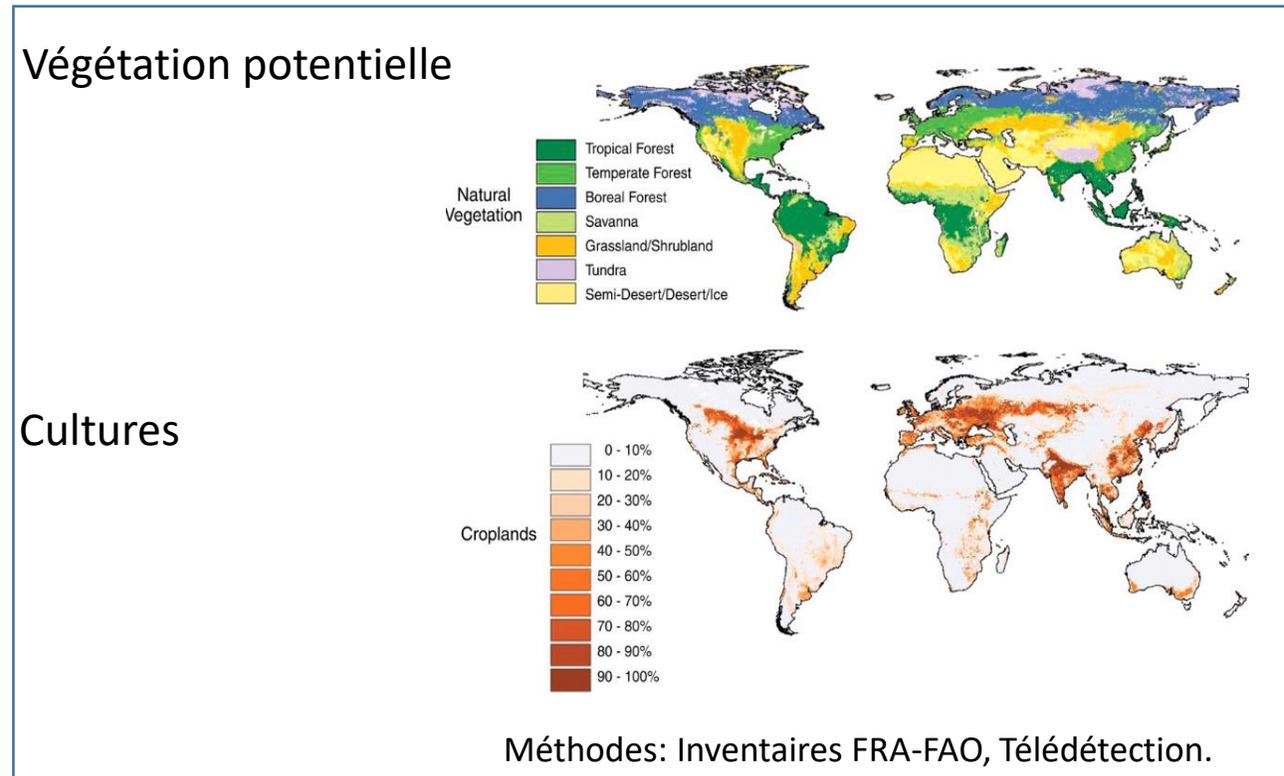
Gibbs H K ; Ruesch A (2008): New IPCC Tier-1 Global Biomass Carbon Map for the Year 2000. *CDIAC*. doi:10.15485/1463800

L'écosystème forestier :

- Des interactions multiples et réciproques
- Boucles de rétroactions positives (emballement) et négatives (stabilisation)
- Constante de temps de 10^{-3} à $> 10^6$ ans (cycles rapide, moyen, long)



Les activités humaines déconnectent les rétroactions entre forêts et milieu physique:



Foley et al. 2005, Science

Luyssaert et al. 2011, Nature Geoscience

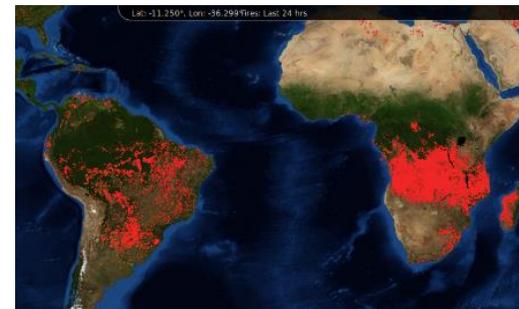
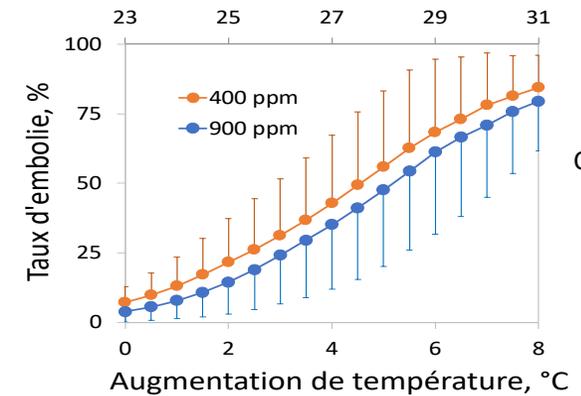
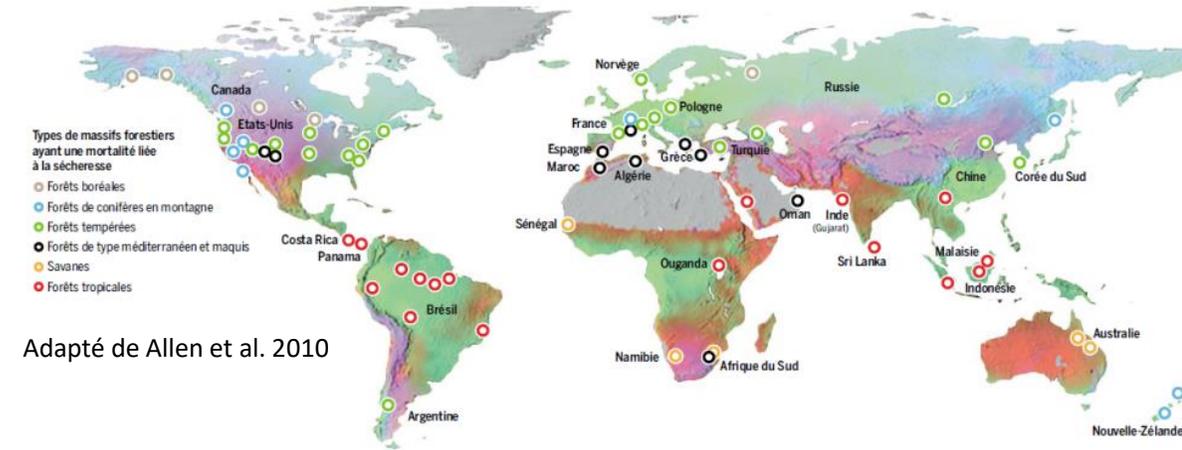
Pan et al. 2011, Nature

Bastin et al. 2019, Science

Erb et al. 2018, Nature

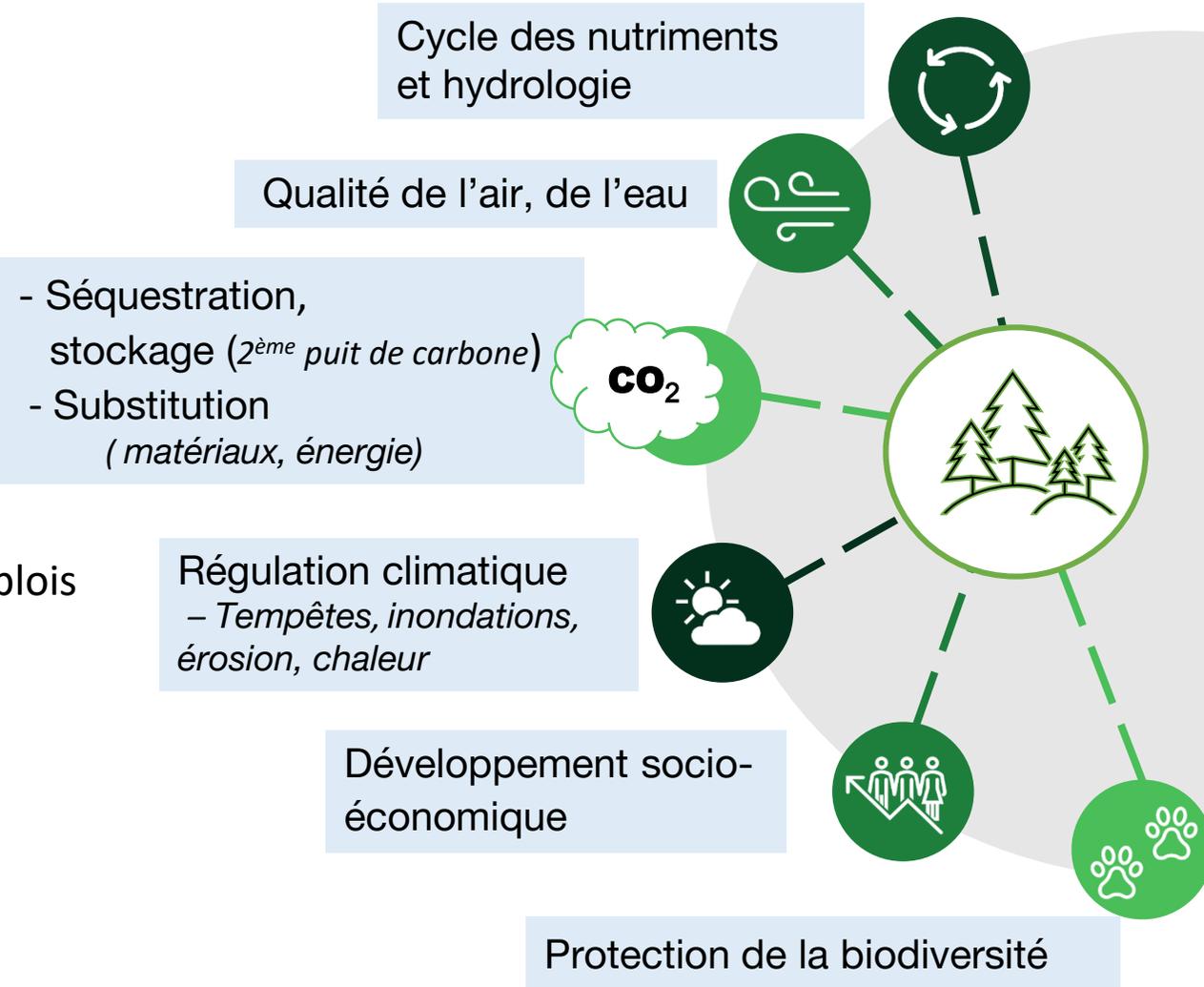
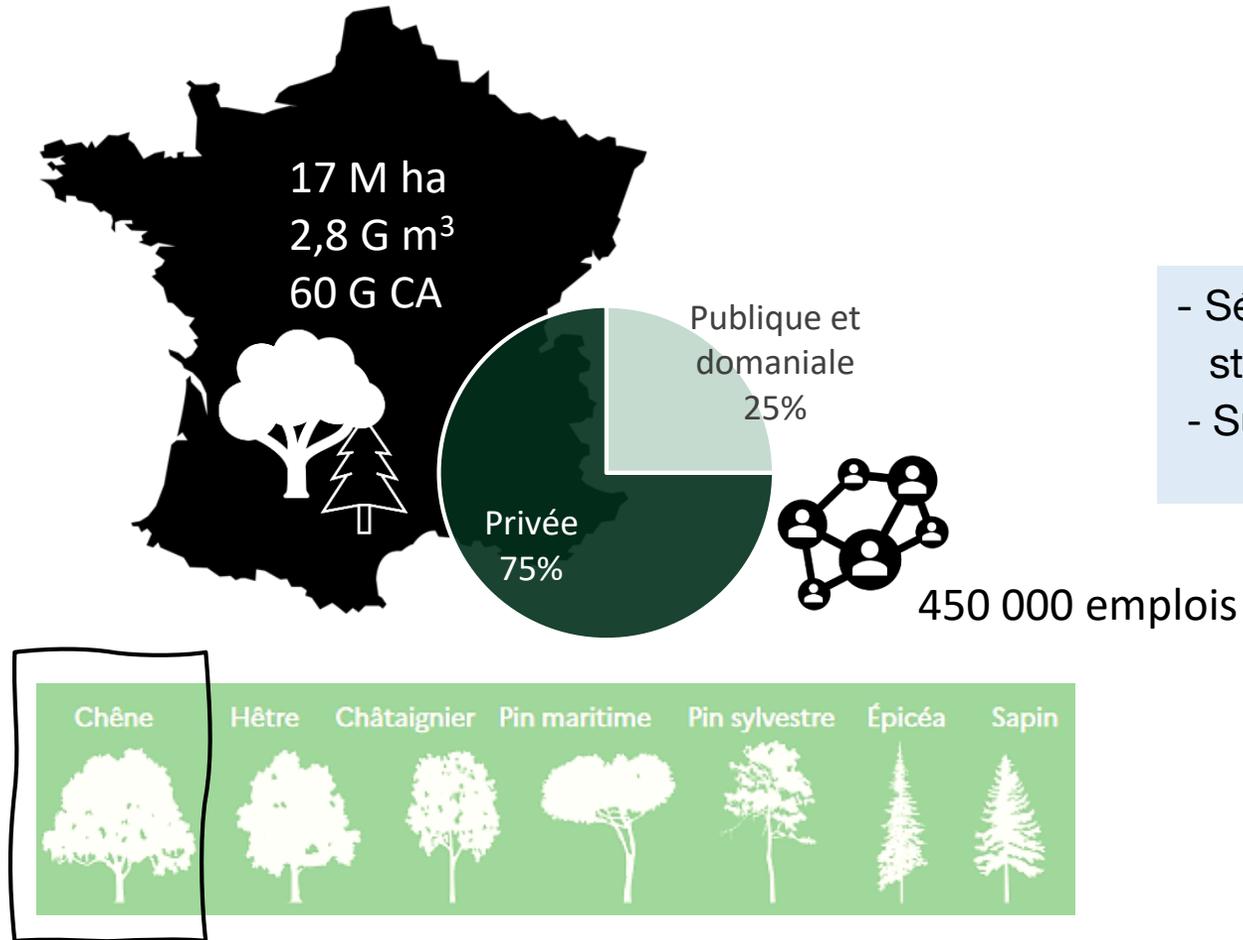
- Le cycle du carbone du surface est forcé par les émissions de C fossile
- L'atmosphère modifiée provoque un dérèglement climatique brutal.
- La superficie des forêts est réduite de 67 à 41 Mkm² (- 40%)
- Le stock de C biomasse des forêts exploitées (85%) est diminué de :
 - 23-38 % en zone tropicale
 - 32-34 % en zone tempérée
 - 21-25 % en zone boréale
-

- 5 à 40 % de la surface des biomes forestiers est vulnérable au dérèglement climatique (Gonzalez et al. 2010)
- La mortalité des arbres liées aux sécheresses est globale, générale et atteindrait des niveaux catastrophiques en 2050 (Allen et al. 2010, Choat et al. 2012, Cochard 2022, Grossiord 2022).
- La fréquence des évènements extrêmes s'accroît, ex.
 - Incendies en Amérique du Sud et en Afrique, 23 Août 2019
 - Tempêtes en Europe : Klaus, Lothar, Martin, 1999 - 2009.
- La capacité d'adaptation des forêts est dépassée par la vitesse du dérèglement climatique (Smith et Beaulieu 2009)

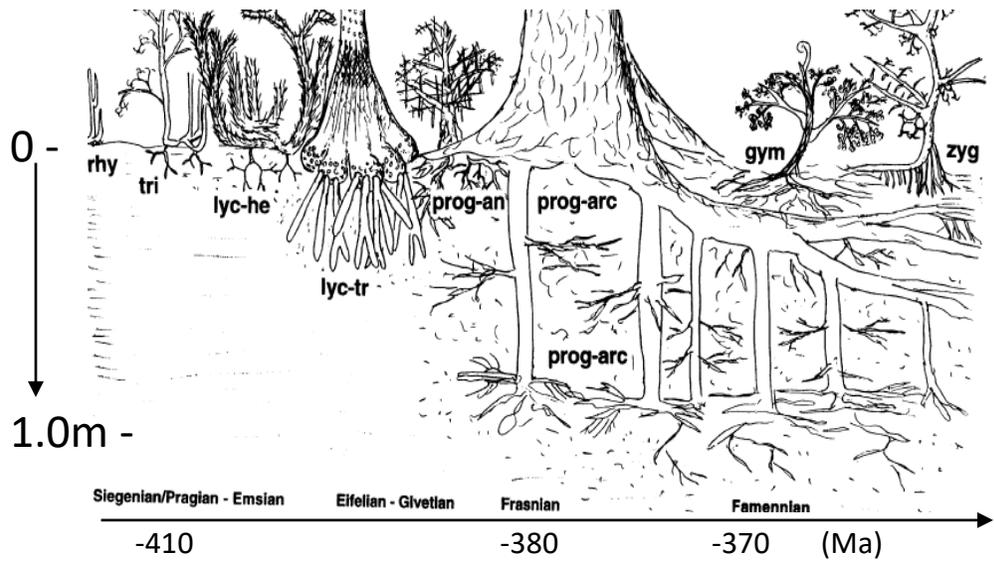


Adapter pour quoi ?

Les services attendus des forêts. Cas de la France



(12/20) Adapter les forêts: le cas de la contrainte hydrique



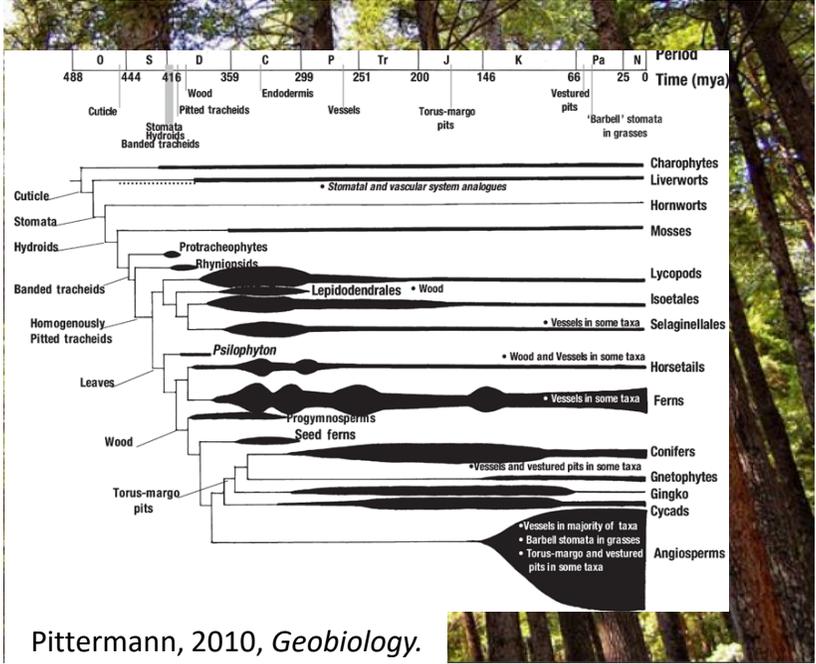
- Disposer d'un réservoir hydrique et de nutriments

- pédogénèse (10^4 ans)
- altération des silicates

- Une régulation hydrique adaptée

- Un système conducteur intégré : cuticule et stomate, vaisseaux et racines (10 ans) (Da Vinci, Dixon, Milburn, Tyree, Cochard,..)

- Une régulation de la transpiration (s, mn, h, j a).



Pittermann, 2010, *Geobiology*.

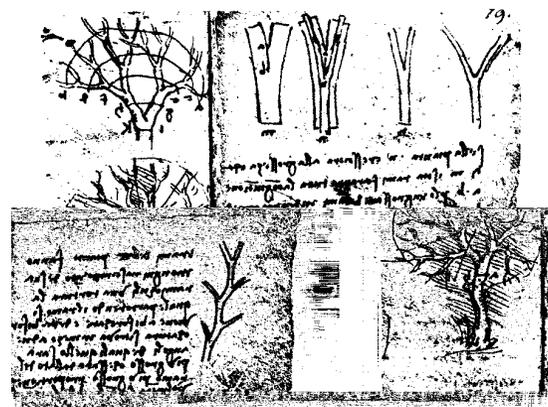


Fig. 4.1. Leonardo da Vinci's sketch of tree architecture showing that the transverse-sectional area of the trunk is equal to the sum of branch transverse-sectional areas. Note that Leonardo wrote in mirror-image. (Richter 1970)

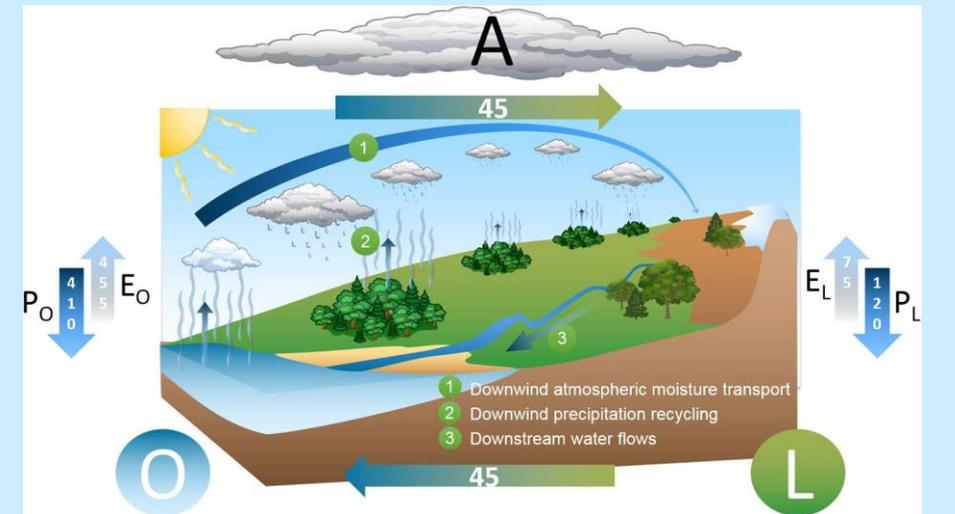
Da Vinci, 15XX

(13/20) Gérer la contrainte hydrique : le niveau global

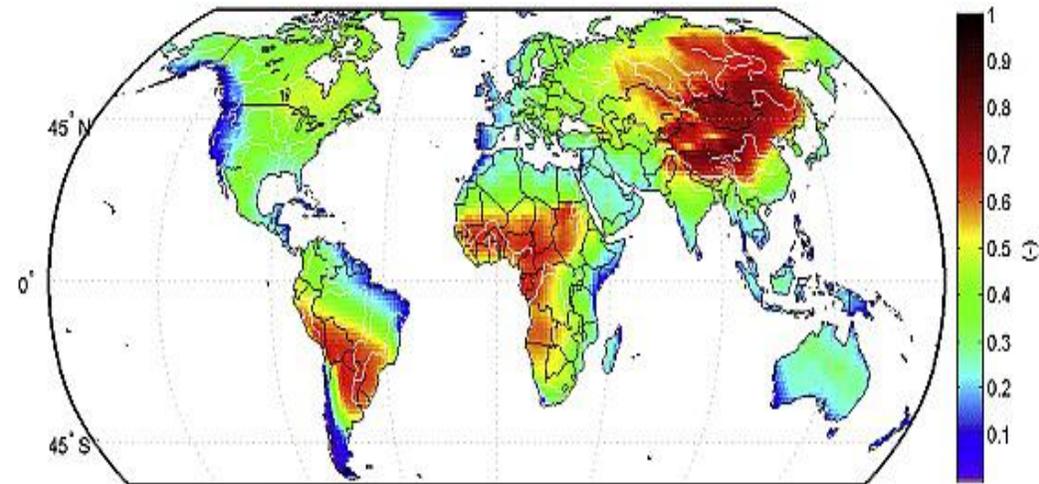
Le fonctionnement des forêts affecte le cycle de l'eau à l'échelle globale

L'occupation globale des terres conditionne le régime des précipitations continentales

→ Gérer les activités conduisant à la déforestation ou surexploitation des forêts.



Coefficient de recyclage des précipitations continentales



van der Ent et al. (Water Resource Research, 49,9, 2010)

Impact des forêts sur le régime de précipitations

Biome Removed	$\Delta T_{\text{devegetated region}}$	$\Delta T_{\text{all land}}$	ΔT_{global}	$\Delta P_{\text{devegetated region}}$	$\Delta P_{\text{all land}}$	ΔP_{global}
tropical forest	1.18 °C	0.71 °C	0.24 °C	-1.34 mm day ⁻¹	-0.55 mm day ⁻¹	-0.11 mm day ⁻¹
boreal forest	-2.75 °C	-1.58 °C	-0.77 °C	-0.27 mm day ⁻¹	-0.11 mm day ⁻¹	0.00 mm day ⁻¹
temperate forest	-1.07 °C	-0.46 °C	-0.22 °C	-0.49 mm day ⁻¹	+0.18 mm day ⁻¹	-0.06 mm day ⁻¹
savanna	0.87 °C	0.37 °C	0.12 °C	-1.10 mm day ⁻¹	-0.61 mm day ⁻¹	-0.19 mm day ⁻¹
grassland / steppe	0.75 °C	0.20 °C	0.05 °C	-0.41 mm day ⁻¹	-0.31 mm day ⁻¹	-0.12 mm day ⁻¹
shrubland / tundra	0.32 °C	0.04 °C	-0.01 °C	-0.35 mm day ⁻¹	-0.31 mm day ⁻¹	-0.08 mm day ⁻¹

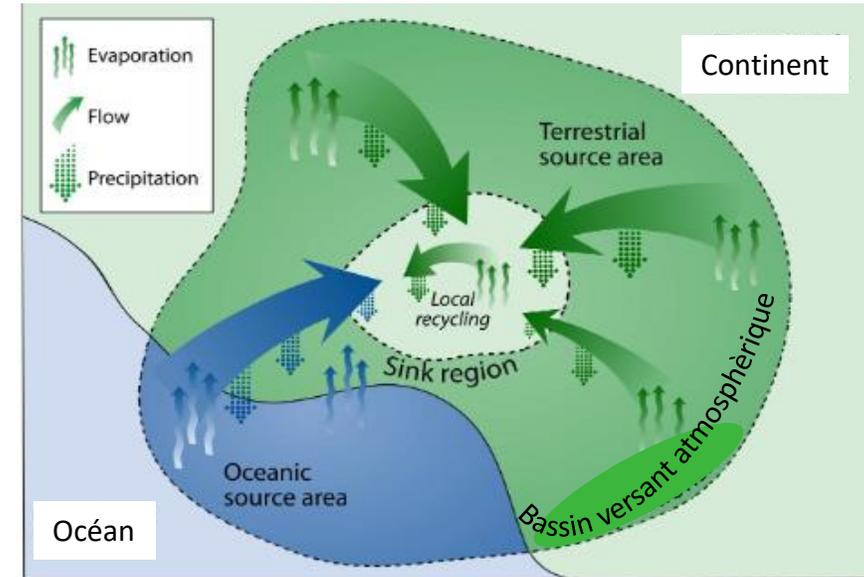
Table S2A. Estimated Changes in Temperature and Precipitation That Could Result from Large-Scale Land Cover Change. A set of global climate model simulations (S23) have demonstrated how large-scale land cover change – removing an entire biome from the surface of the planet, one at a time – could affect the global climate system. Each biome's potential influence on the annual average temperature (°C) and precipitation (mm day⁻¹) are presented as differences (vegetation removal – control simulations). The results are summarized over the areas where vegetation was removed ("devegetated"), over all land areas ("all land") and the entire globe ("global"). Only gridcells with a statistically significant change in temperature or precipitation (using a two-sided Student's t-Test, at 95% confidence) are used in this analysis. (Adapted from ref. S23)

Snyder et al. CLIMATE DYNAMICS 23 (3-4) , pp.279-302 2004.

(14/20) Gérer la contrainte hydrique : le niveau régional

La répartition régionale des usages des terres impactent directement le fonctionnement hydrique des forêts :

- les précipitations reçues proviennent d'un bassin atmosphérique collectant l'ETR de plusieurs 100aines de km²
- Réciproquement, l'ETR d'une forêt impacte toute une région aval ou « puits »

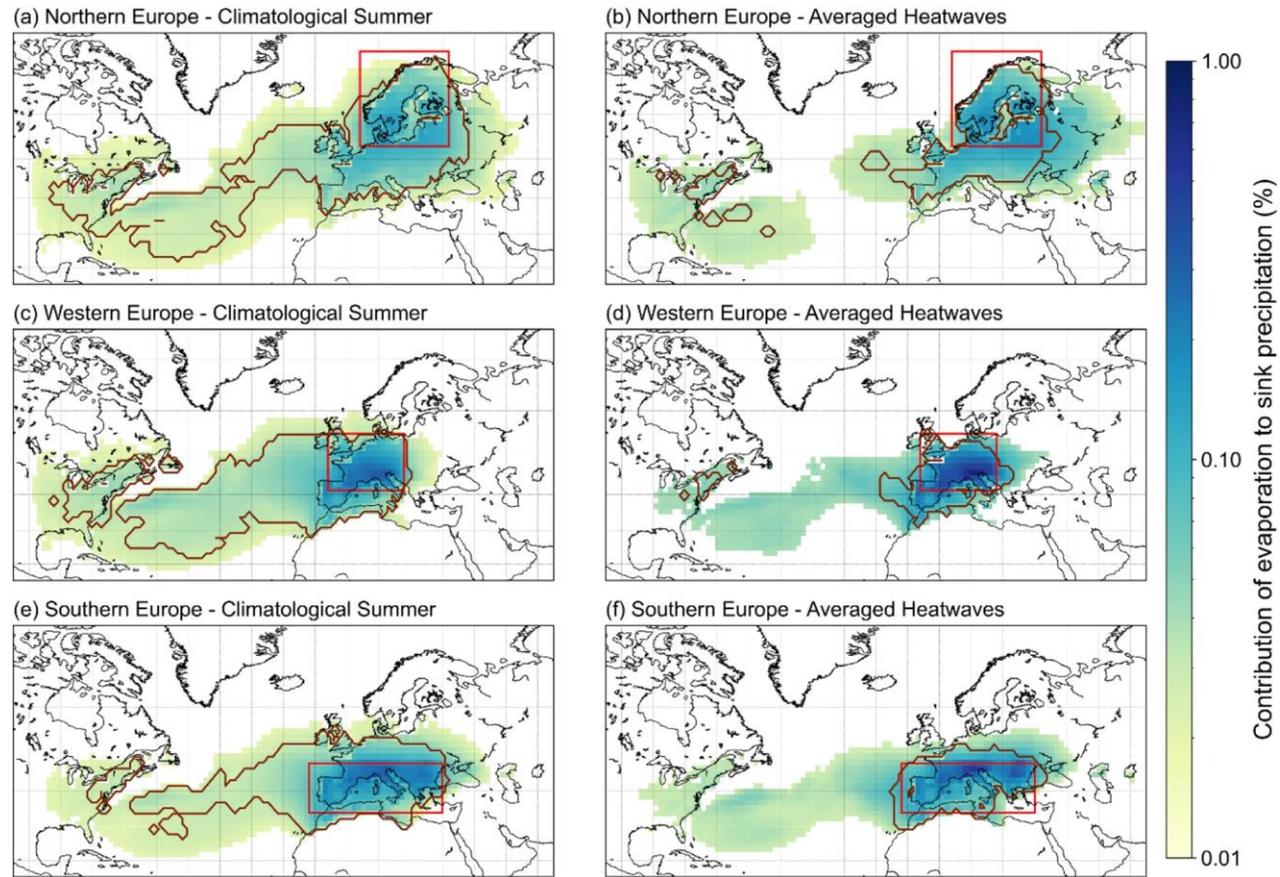


D'après Keys et al.
(Biogeosciences, 2012)



(Pline l'ancien, Livre XXXI)

(15/20) Gérer la contrainte hydrique: niveau régional



Dynamique du bassin versant atmosphérique en Europe durant les canicules:

- En Europe du Nord et Ouest, les hautes pressions coupent les forêts de leur BV océanique durant les canicules
- Les précipitations deviennent majoritairement sourcées par la végétation continentale
- La déforestation réduit les précipitations des zones aval:
Spracklen and Garcia-Carreras [2015](#); Badger and Dirmeyer [2015](#); Keys et al. [2016](#))

(16/20) Gérer la contrainte hydrique: le niveau local

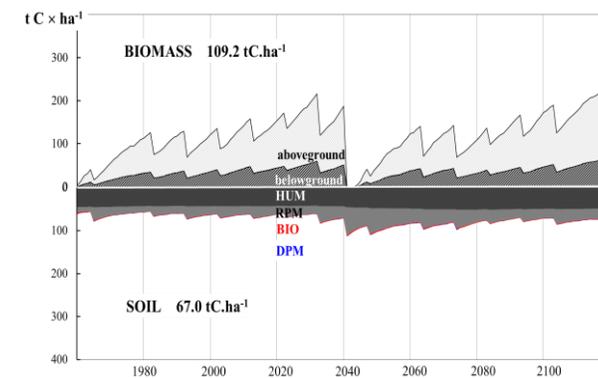
Au niveau local, le régime de conduite des peuplements contrôle leur bilan d'énergie (albédo) et le stock de carbone *in situ*.



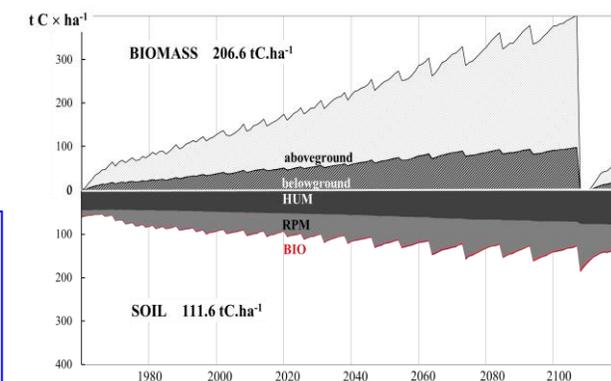
Sylviculture intensive
Stock moyen : 176 tC ha⁻¹

Couvert continu
Stock moyen : 222 tC ha⁻¹

Forêts de La Teste-de-Buch - Sud Arcachon



D cible = 60 cm
Révolution = 10 y
Compétition (RDI) = 0.35



Age = 150 ans
R = variable
C = 1.0

(17/20) Gérer la contrainte hydrique: le niveau local

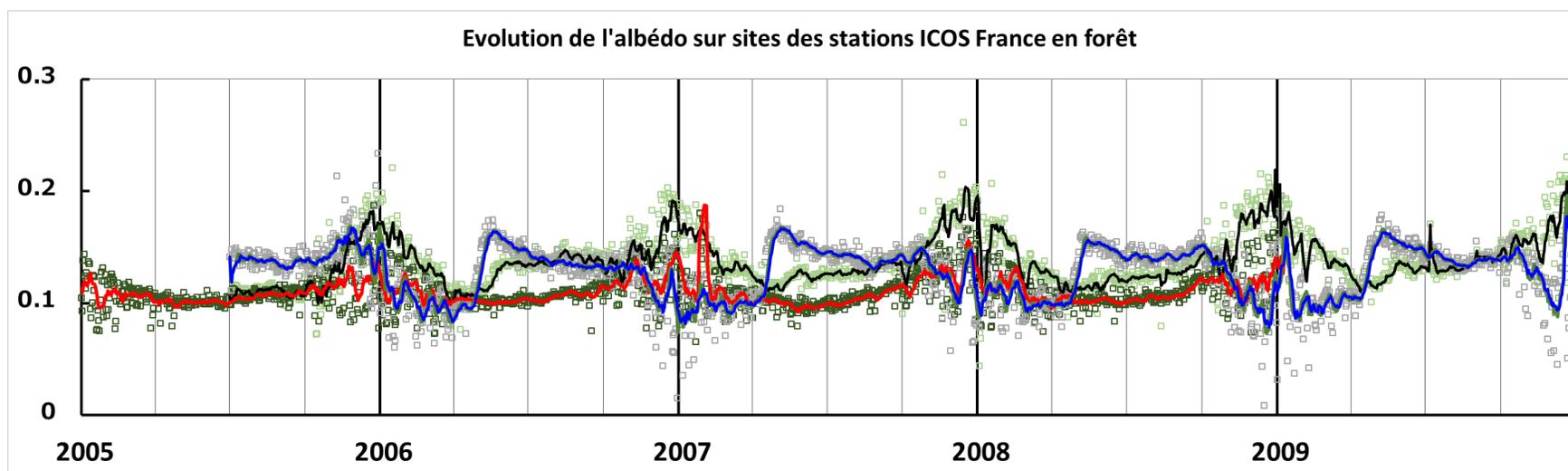
La conduite des peuplements contrôle leur bilan d'énergie (albédo pour différentes essences tempérées)



— Chêne-charme

— Pins

— Chêne vert

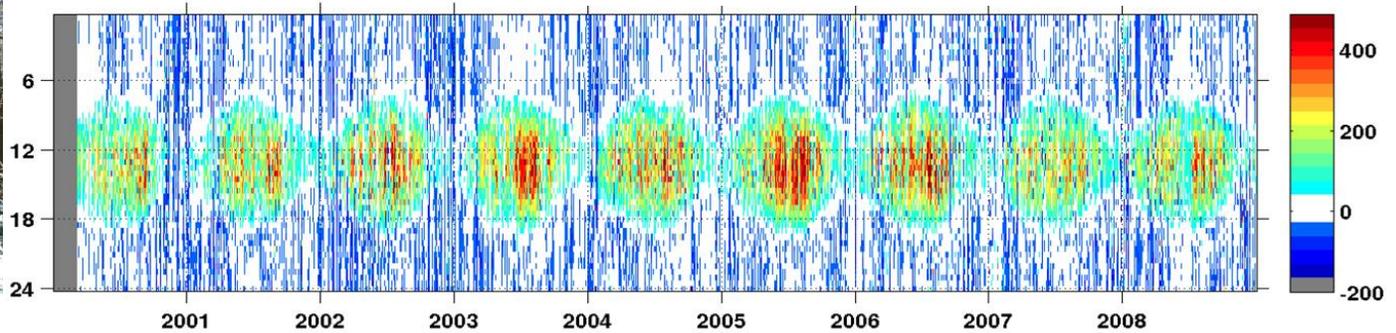


✓ La densité de flux de rayonnement réfléchi varie de 1 à 1.5 suivant l'essence.

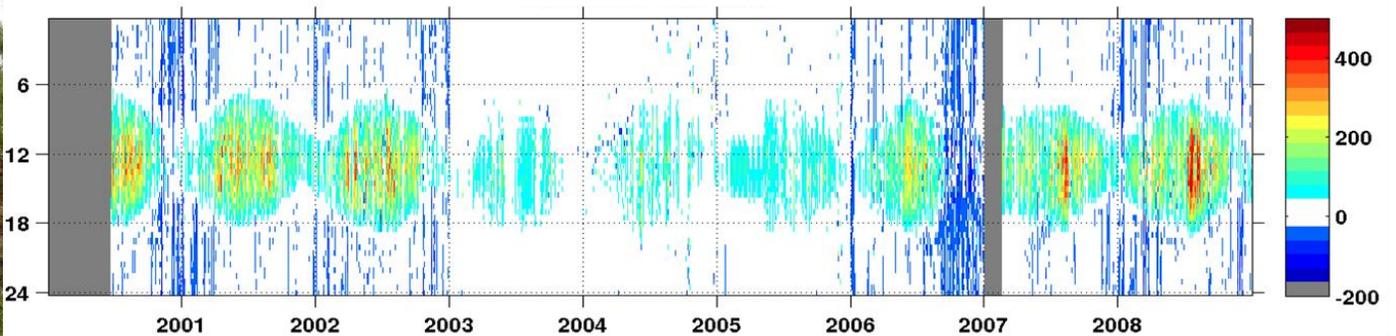
La gestion sylvicole contrôle les flux convectifs forêt-atmosphère (dissipation de chaleur sensible et latente)



1) régime de couvert continu ($H, W \text{ m}^{-2}$)



2) régime de coupe rase ($H, W \text{ m}^{-2}$)

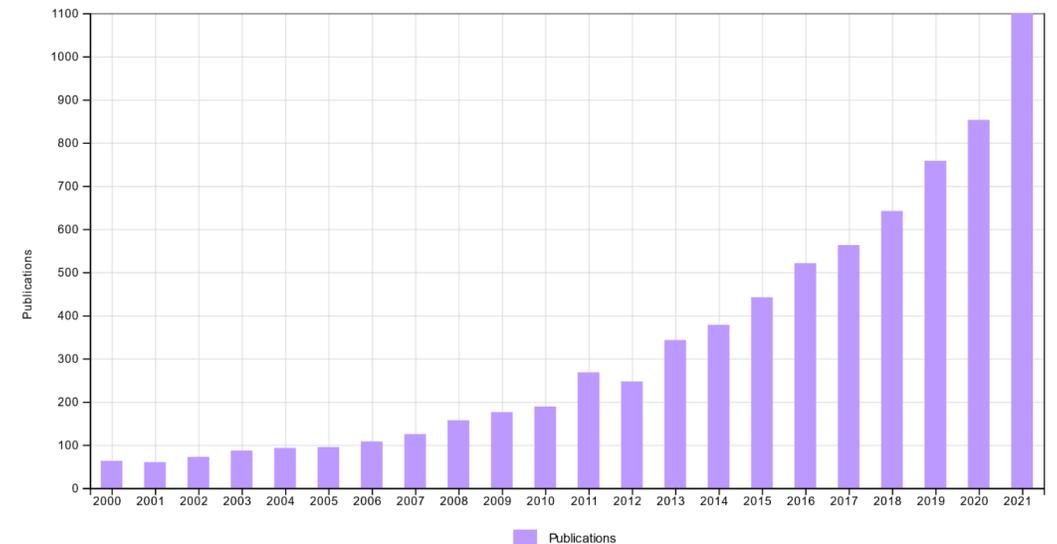


Adapter le régime hydrique des peuplements mobilise:

- Le choix du régime de conduite (densité et surface foliaire des arbres, mélanges, irrégulier,..)
- Le choix des essences
- La préparation du sol (drainage, couverture,...)
- La gestion du sous - étage

Les obstacles:

- L'incertitude
- L'absence de références observées
- Le conservatisme et les politiques de déni



7400 Publications contenant « *forest* », « *management* » et « *drought* » ou « *water balance* », de 2000 à 2020 (WOS).

1. L' écosystème global

- Stabiliser le milieu physique:
 - Atmosphère et climat
 - Eaux continentales
- Prendre en compte les interactions forêt-milieu physique:
 - Bilan d'énergie
 - Bassin versant atmosphérique
 - Bassin versant hydrologique et gestion de l'eau bleue
 - Séquestration de carbone

2. Adapter les forêts

- Maîtriser le régime hydrique local
 - Gestion des nappes
 - Ressources en eaux superficielles
- Adapter les peuplements à la ressource en eau
 - Composition des essences
 - Conduite du peuplement (éclaircies, coupes, entretien)
 - Sol
- Donner du temps à l'adaptation
 - Continuités spatiales et temporelles
 - Migration assistée
 - Réserves intégrales
- Accroître la résilience aux év^{ts} extrêmes
 - Mesures de protection physiques (DFCI, Lisières,..)
 - Barrières sanitaires (quarantaines,..)

Messages

- Le risque d'une disparition des biomes forestiers après 2050 et l'emballlement climatique qui en résulterait sont avérés (Cox et al. 2000, Cochard, 2022)
- Une gestion cohérente des forêts aux niveaux, global, régional, local est nécessaire
- Sa mise en œuvre se heurte à des ressorts de décision inadaptés : recherche du profit, ignorance, conservatisme, court-termisme
- L'adaptation locale des forêts doit être forcée par la gestion
- Les alternatives de gestion des forêts en France sont connues (rapport Bianco, 1998, Roux et al. 2017, Canopée-Fern 2020, Rapport Cattelot 2020...) mais contradictoires.



A dense forest of tall trees, likely rainforest, is reflected in a calm body of water. The trees are mostly green, with some showing signs of being dead or dormant. The water is very still, creating a clear mirror image of the forest above.

Merci pour votre attention

Forêt pluviale, Tasmanie