

# La forêt des Landes de Gascogne face au changement climatique

Denis Loustau, INRAE,  
[denis.loustau@inrae.fr](mailto:denis.loustau@inrae.fr)

# Sommaire

- 1. Le fonctionnement physique des forêts
- 2. les forêts face au dérèglement climatique
- 3. Gérer les forêts dans l'Anthropocène

# 1. Fonctionnement physique des forêts: les arbres sont adaptés au milieu continental



## **Nutrition**

- l'atmosphère (lumière, CO<sub>2</sub>)
- le sol (eau, azote, phosphore...)

## **Régulation Thermique**

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

## **Homéostasie Hydrique**

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

## **Stabilité Mécanique**

- Résistance au vent
- Ancrage (racines, sol)

# 1. L'adaptation à la contrainte hydrique : 500 M années de co-évolution

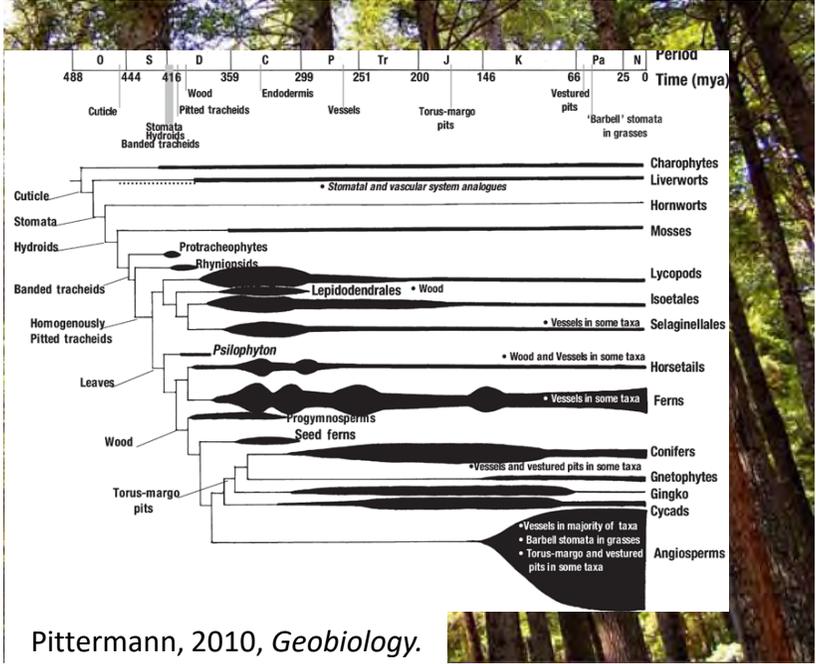
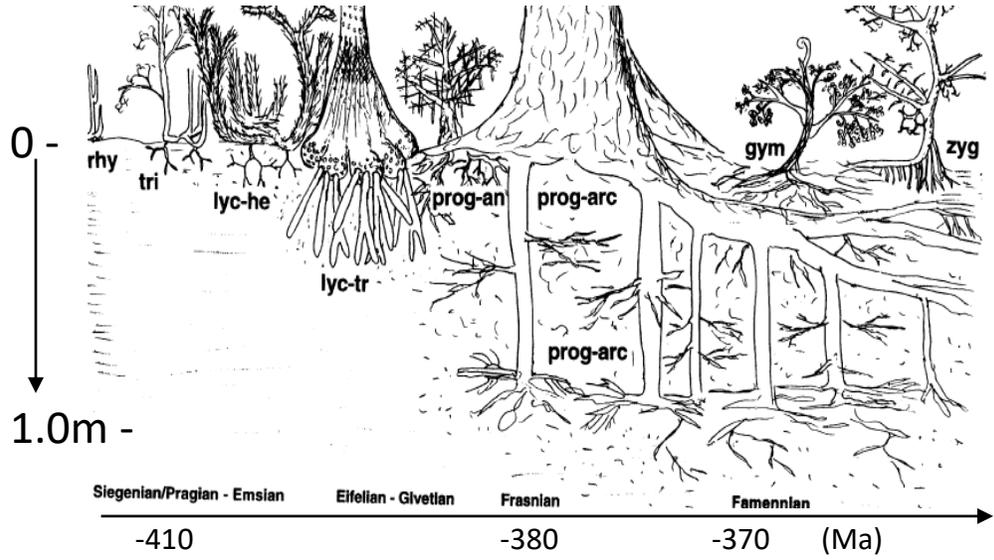
- Un réservoir hydrique, le sol.

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



Pittermann, 2010, *Geobiology*.

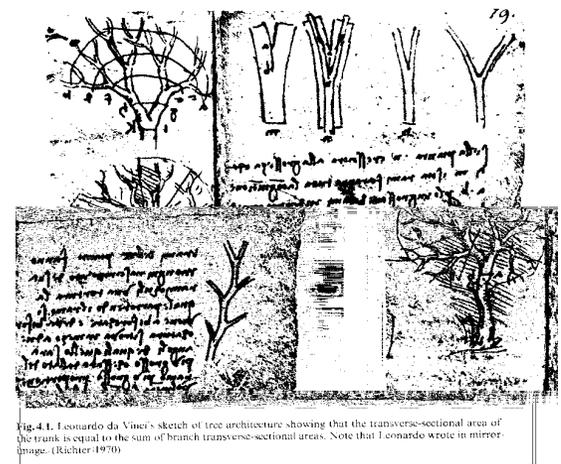
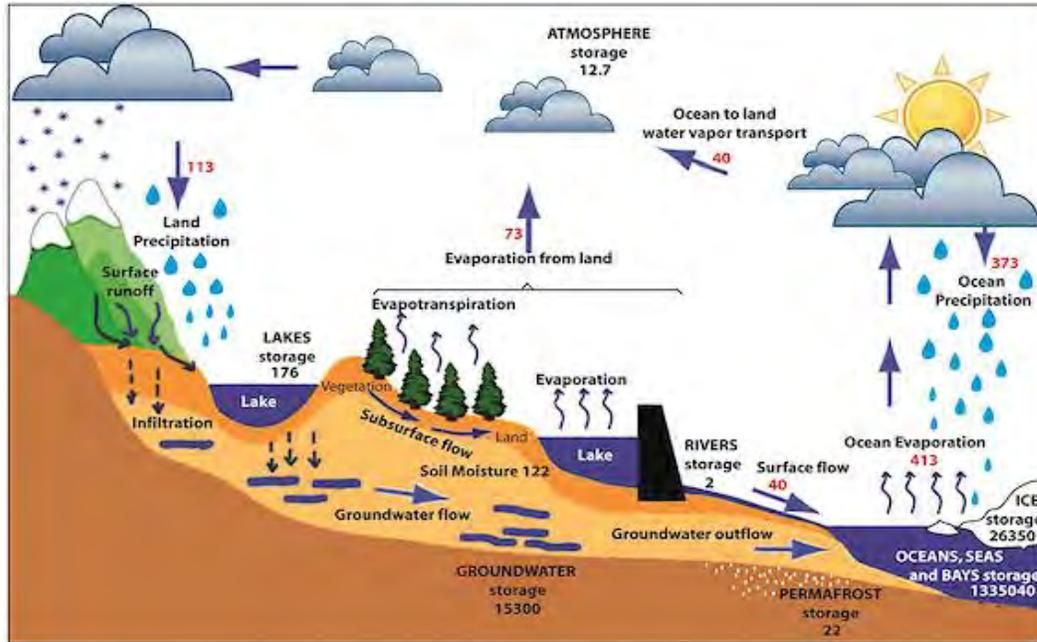


Fig. 4.1. Leonardo da Vinci's sketch of tree architecture showing that the transverse-sectional area of the trunk is equal to the sum of branch transverse-sectional areas. Note that Leonardo wrote in mirror-image. (Richter 1970)

Da Vinci, 15XX

# 1. Les interactions forêts – milieu physique jusqu’au niveau global

- 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)

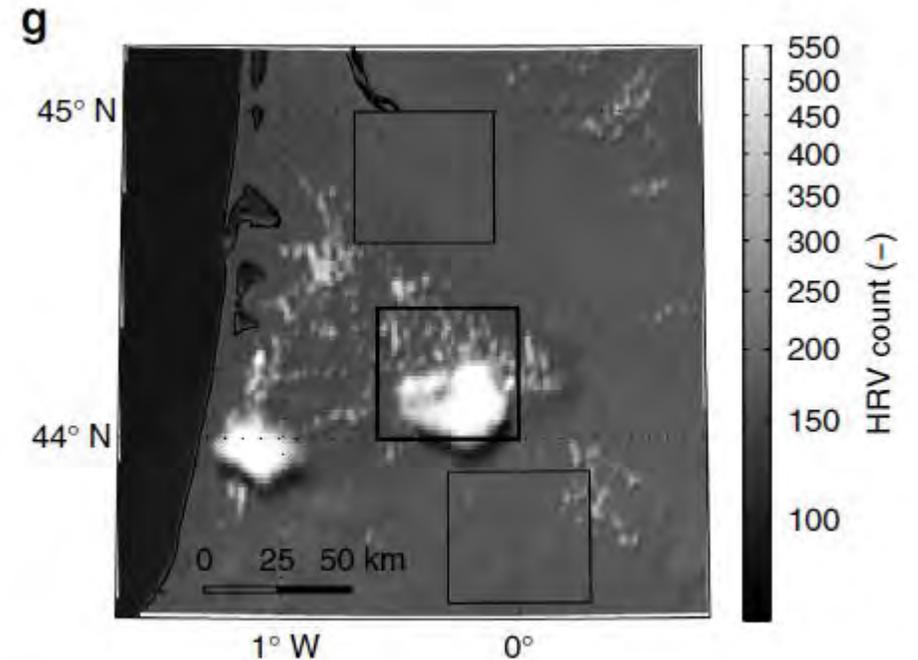


Oceanic and terrestrial sources of continental precipitation

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

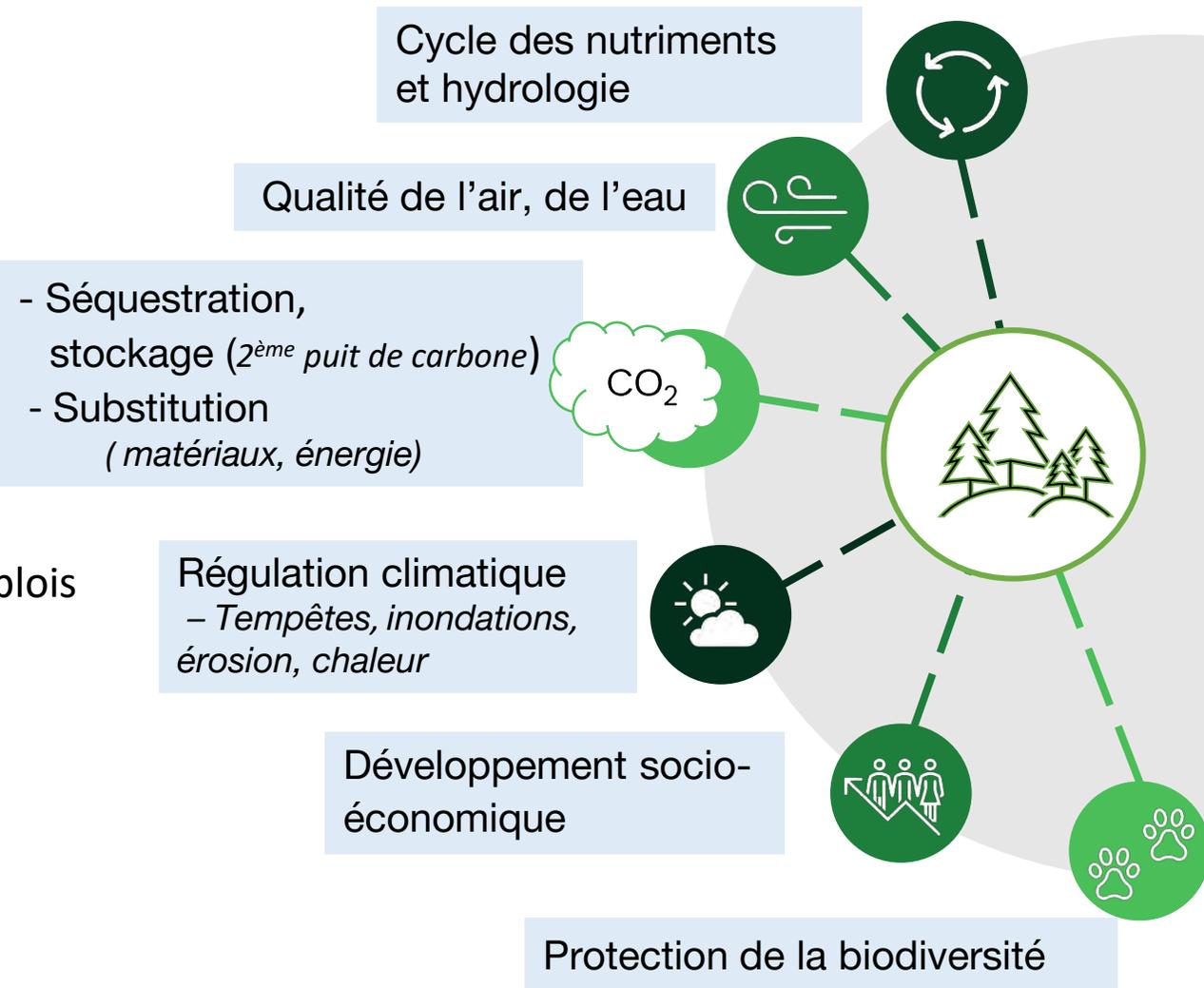
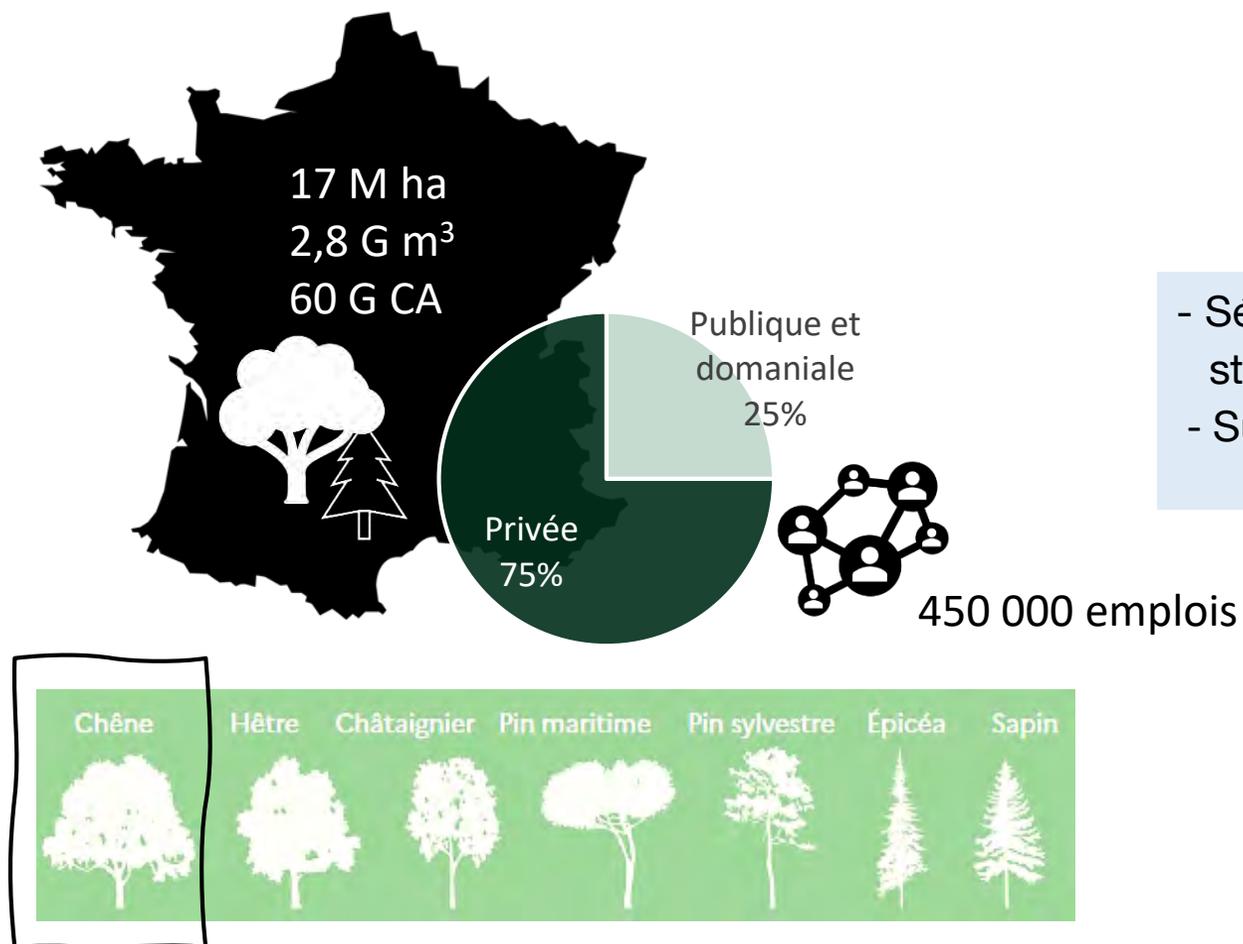
Stock en  $10^3 \text{ km}^3$

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



Nuages en formation au dessus de la forêt des Landes, 17 Juillet 2006. Teuling et al. *Nature Comms* 2017

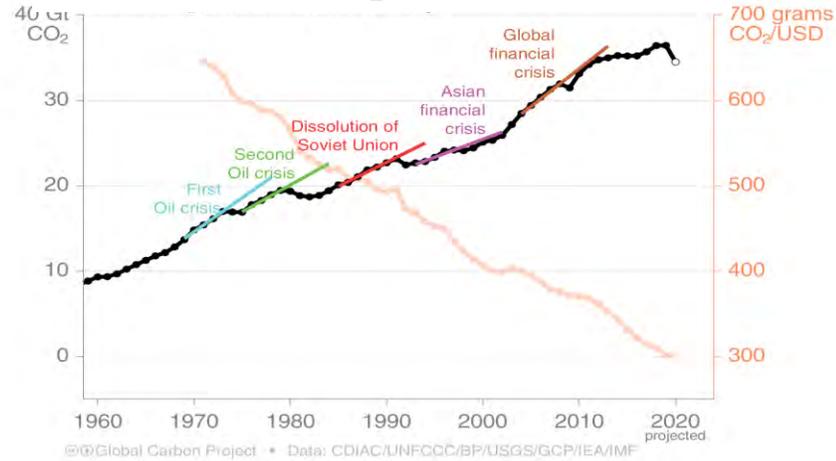
# 1. Les fonctions remplies par les forêts en Europe



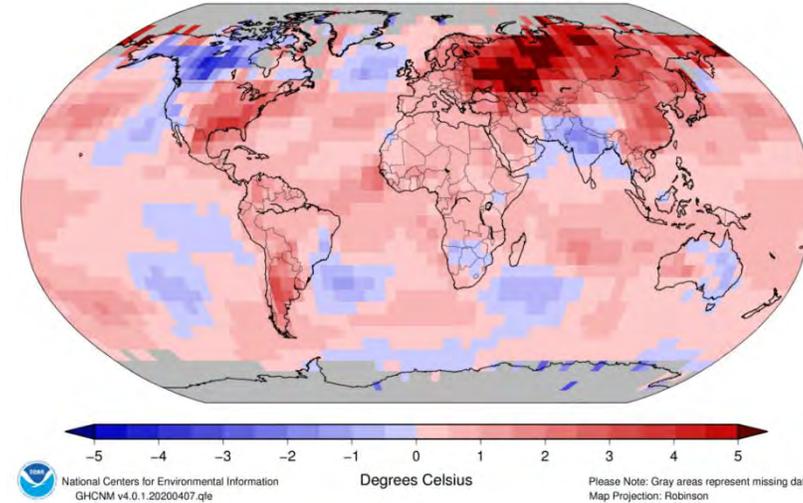
# 2. L'anthropocène en 4 graphiques



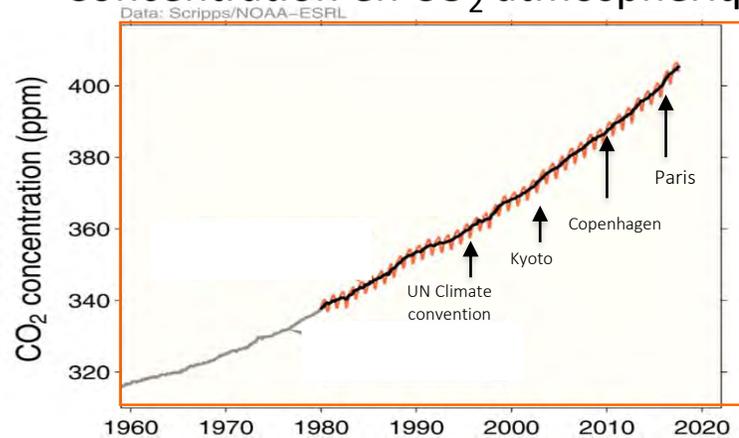
### Émissions de CO<sub>2</sub> d'origine fossile



### Land & Ocean Temperature Departure from Average Mar 2020 (with respect to a 1981–2010 base period) Data Source: NOAA GlobalTemp v5.0.0–20200408

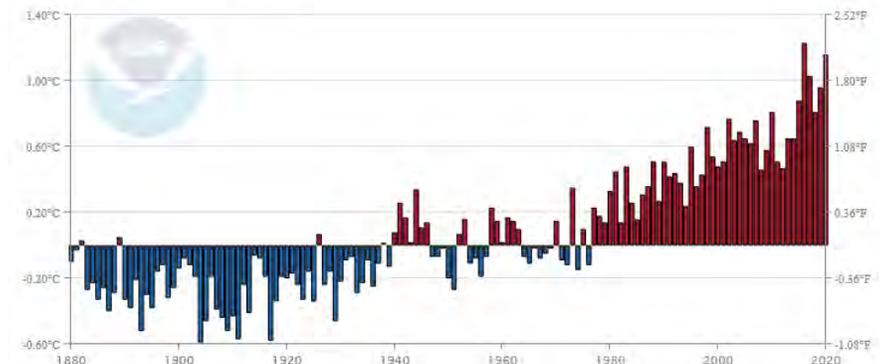


### Concentration en CO<sub>2</sub> atmosphérique



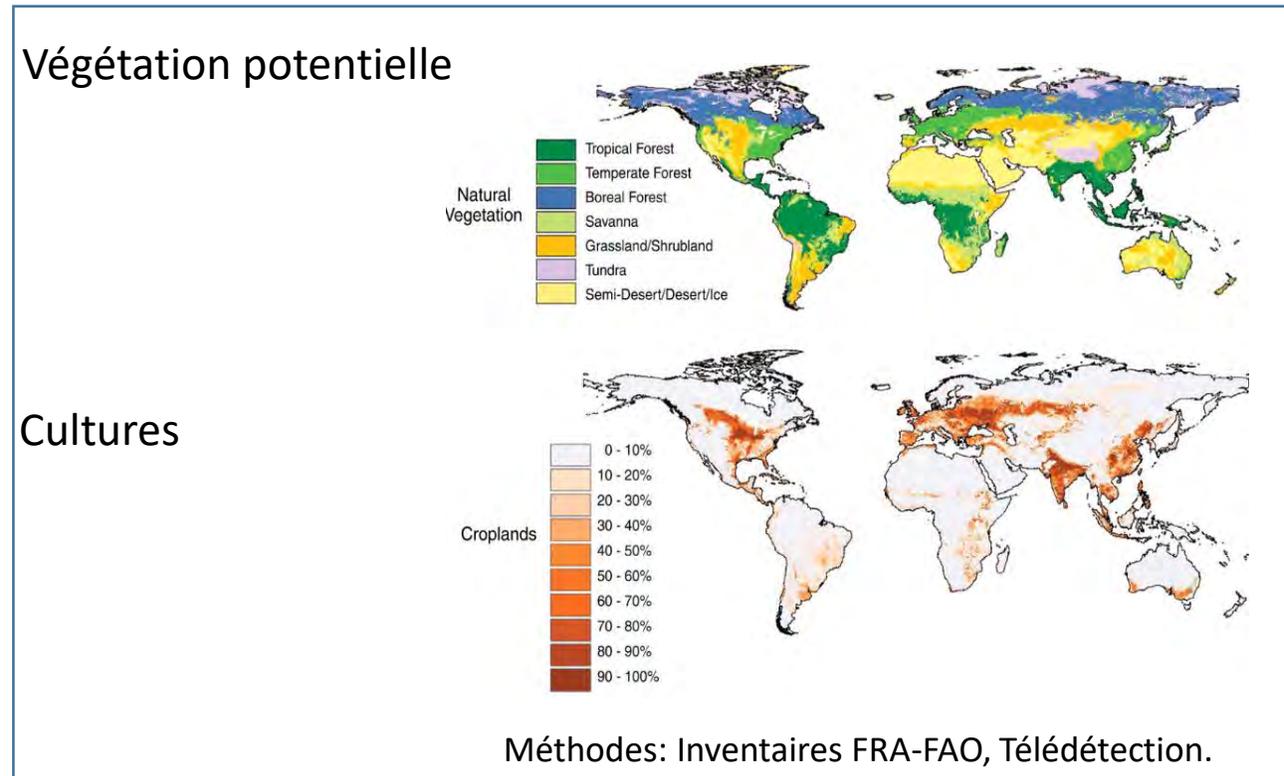
<https://www.ncdc.noaa.gov/cag/global/time-series/globe/land/ytd/7/1880-2020>

### Global Land and Ocean January–March Temperature Anomalies



## 2. Les forêts dans l'Anthropocène.

Les activités humaines ont bouleversé les interactions entre forêts et milieu physique:



*Foley et al. 2005, Science*

*Luyssaert et al. 2011, Nature Geoscience*

*Pan et al. 2011, Nature*

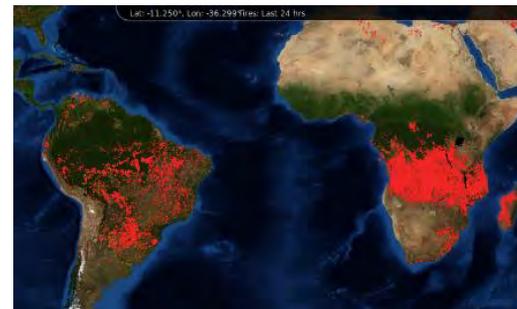
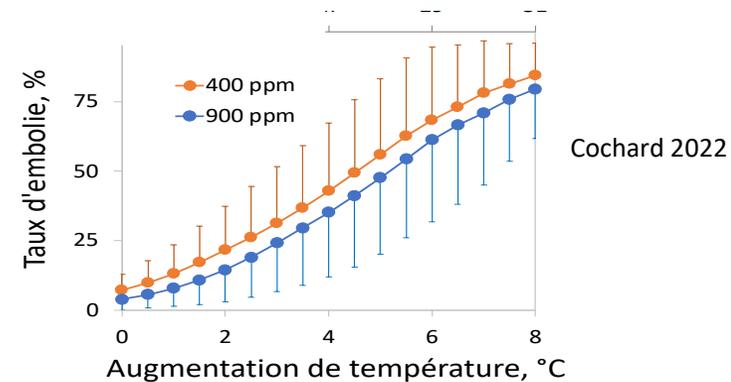
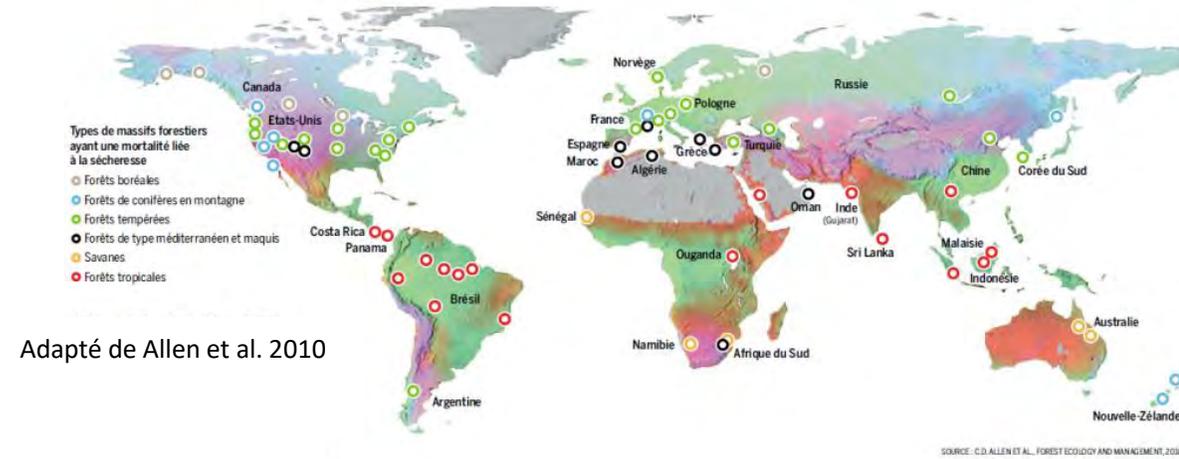
*Bastin et al. 2019, Science*

*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 Mkm<sup>2</sup> (- 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

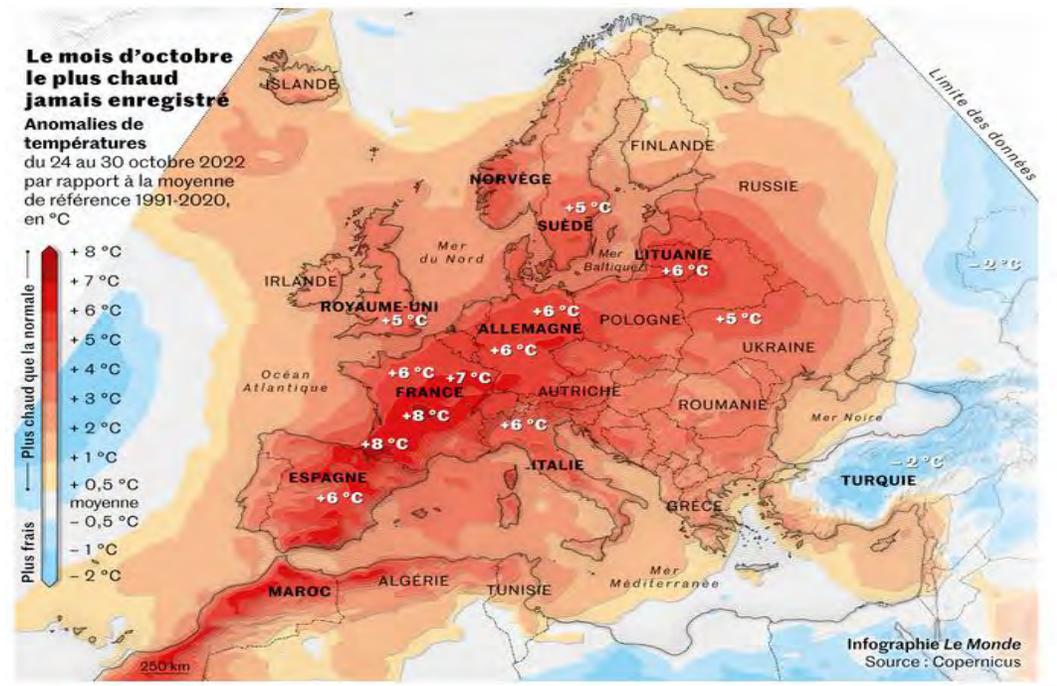
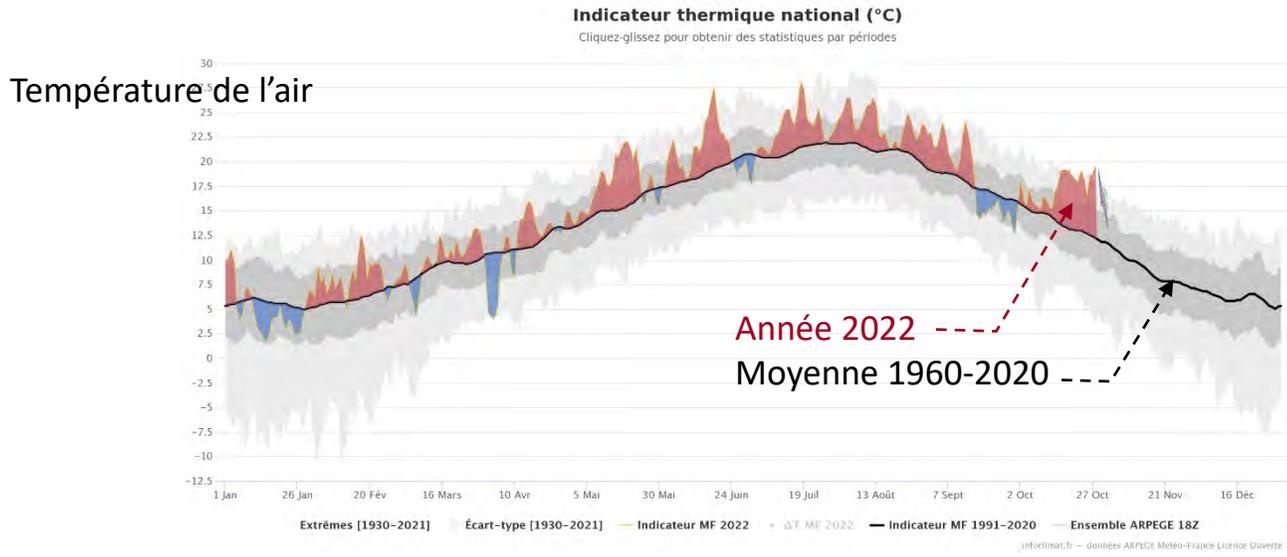
## 2. Ce que l'on sait de la vulnérabilité des forêts dans l'Anthropocène

- 5 à 40 % de la surface des biomes forestiers est vulnérable au dérèglement climatique (Gonzalez et al. 2010)
- La capacité d'adaptation des forêts est dépassée par la vitesse du dérèglement climatique (Smith et Beaulieu 2009)
- 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.
  - Sécheresses et canicules 2018-2022



# 2. Le cas de la Forêt des Landes

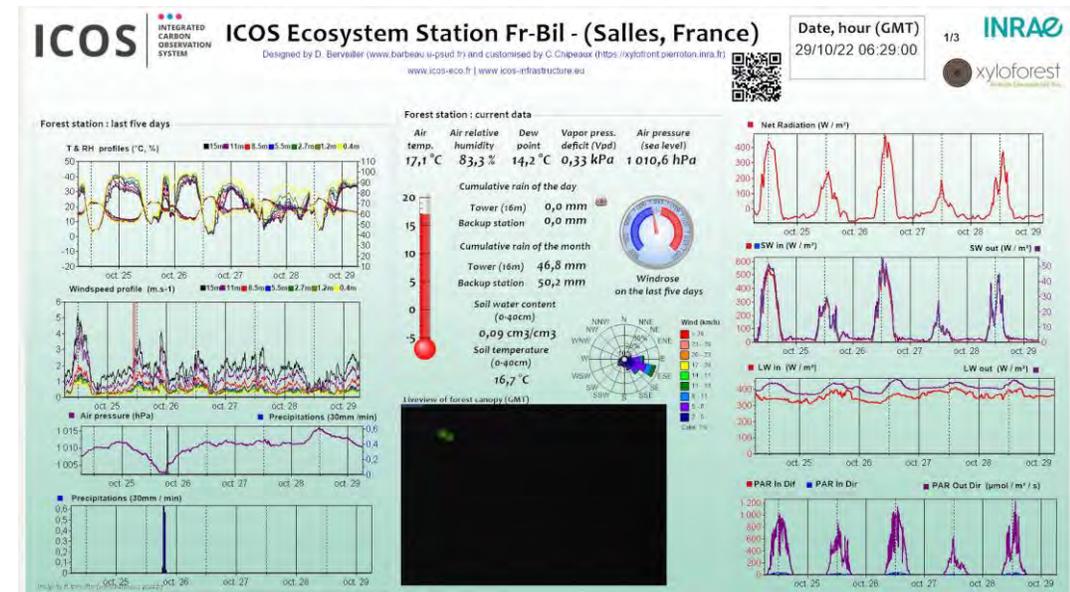
- Les températures observées en 2022 sortent des gammes rencontrées de 1961 à 2021.



- La sécheresse du sol et la siccité de l'air ont atteint en 2022 des niveaux jamais rencontrés en forêt des Landes.

- nappe à -2.4 m en Lande humide le 29 octobre
- un seul épisode de pluie en octobre

<https://xylofront.pierroton.inra.fr/Salles2.html>



# 3. Gérer les forêts dans l'Anthropocène : projection des impacts de futurs scénarios climatiques

Exemple

Le projet Forêts-21  
(M.A.S.A.)

INRAE, CNPF, ONF, IGN

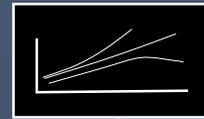
**1. Experts (~60):**  
MASA, MTE, ONF, CNPF,  
FCBA, CFF, IGN, ADEME,  
INRAE,



*Itinéraires Sylvicoles*

Scenario #	Main tree species	Main secondary species	Initial tree sum (ha)	Planting density (ha <sup>-1</sup> )	Harvest mortality (age % cut)	Climate scenario	Soil types	Comment
1	Pinus pinaster	Malva sylvestris, Prunella spinosa, Asperula cynosuroides, Urtica	0	1250	Self-thinning and 90-100	RCP 2.6, 4.5, 8.5	30, 83	Reference: Good structure
2	Pinus pinaster	Malva sylvestris, Prunella spinosa, Asperula cynosuroides, Urtica	80	1250	Same 10-25, 25-25, 25-25, 80-100	RCP 2.6, 4.5, 8.5	50, 85, 120	Reference: Harvest in 2040
3	Pinus pinaster	Malva sylvestris, Prunella spinosa, Asperula cynosuroides, Urtica	120	2000	Same+Same+Branching 10-30, 30-100	RCP 2.6, 4.5, 8.5	85, 130	Biomass production
4	Pinus pinaster	Malva sylvestris, Prunella spinosa, Asperula cynosuroides, Urtica	120	2000	Same+Same+Branching 10-30, 30-30, 30-30, 80-100	RCP 2.6, 4.5, 8.5	85, 130	Harvest 2-3
5	Pinus pinaster	Urtica	120	1250	Same+Same+Branching 10-30, 30-100	RCP 2.6, 4.5, 8.5	85, 130	Biomass Production uncontrolled
6	Pinus pinaster	Urtica	120	1250	Coppice with 2 toppling, uncontrolled	RCP 2.6, 4.5, 8.5	85, 130	Biomass Coppice

**3. Portail web Forêts-21**



*Scénarios de climat DRIAS  
2000-2100*



*Données IGN-IFN, GIS SOL  
Données de validation*



*Calcul*



*Simulations 8x8  
km  
2000-2100*



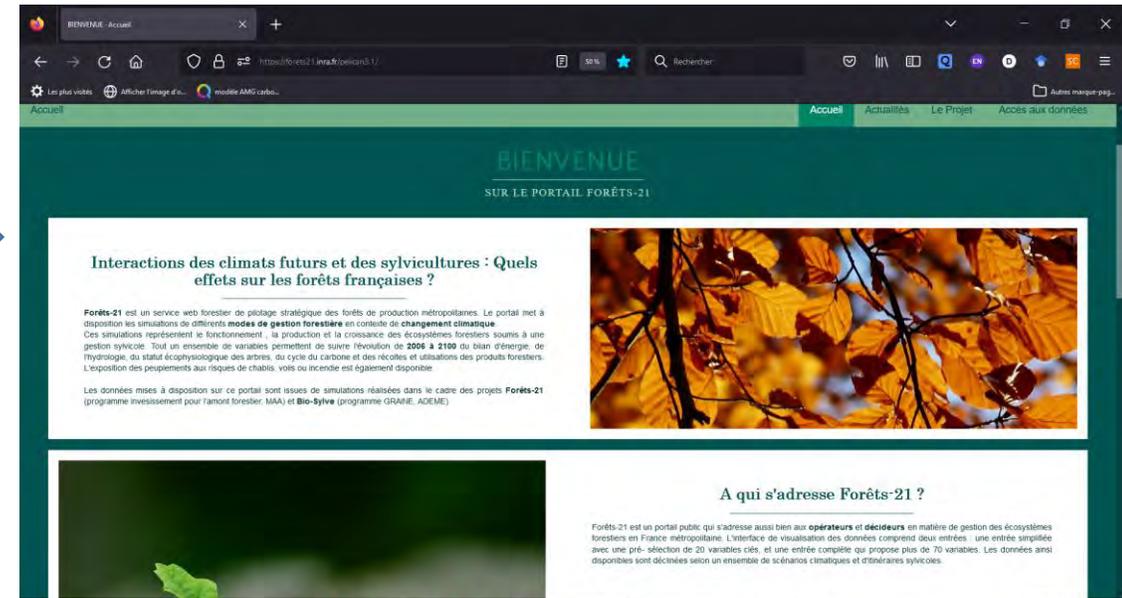
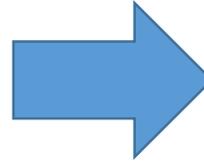
**2. Modèles:** croissance et production, fonctionnement, stocks de carbone, risques (vent, incendie)

# Quelques projections utilisables

## Forêts-21:

Simulation des forêts de Pins, chênes, Hêtre, Douglas sur la France entière, 3 scénarios de climat, 27 itinéraires techniques (INRAE, CNPF, ONF, IGN)

<https://forets21.inra.fr/pelican3.1/>



**CLIMESSENCES:** modèle de niche géographique des essences en France (RMT AFORCE)

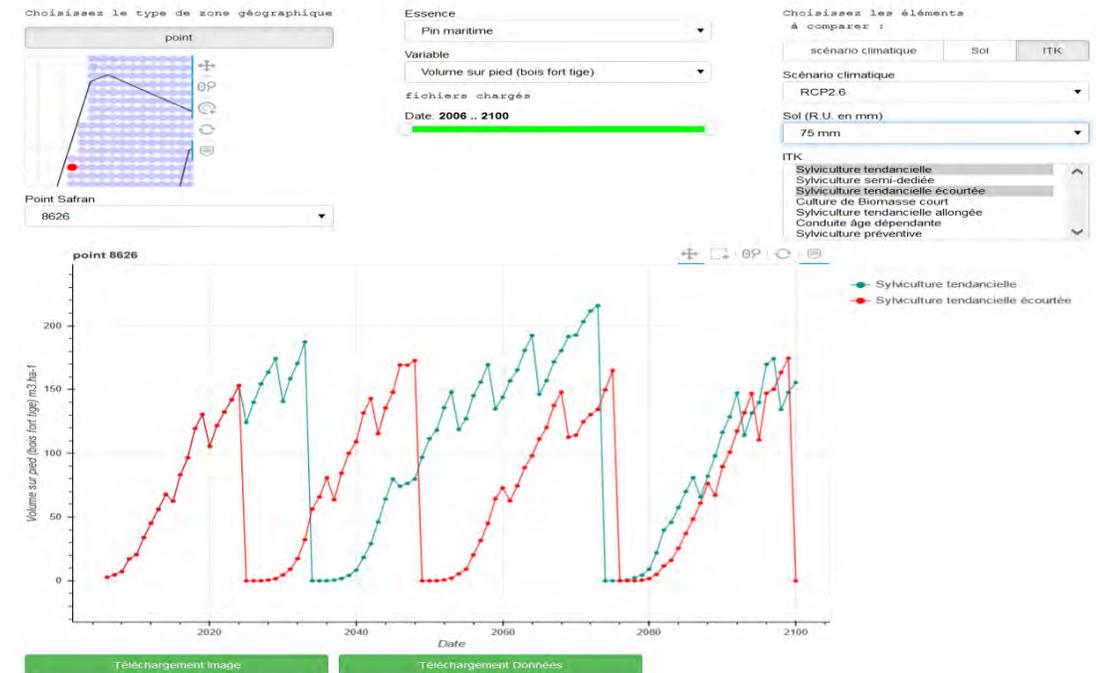
<https://climessences.fr/node/2>

**BIOCLIMSOL;** pistes de recommandations sylvicoles dans un contexte de changement climatique(CNPF)

<https://www.cnpf.fr/nos-actions-nos-outils/outils-et-techniques/bioclimsol>

**BILJOU:** modèle de bilan hydrique des forêts en France

<https://appgeodb.nancy.inra.fr/biljou/fr/>



# Un agenda pour gérer les forêts dans l'Anthropocène

---

## 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

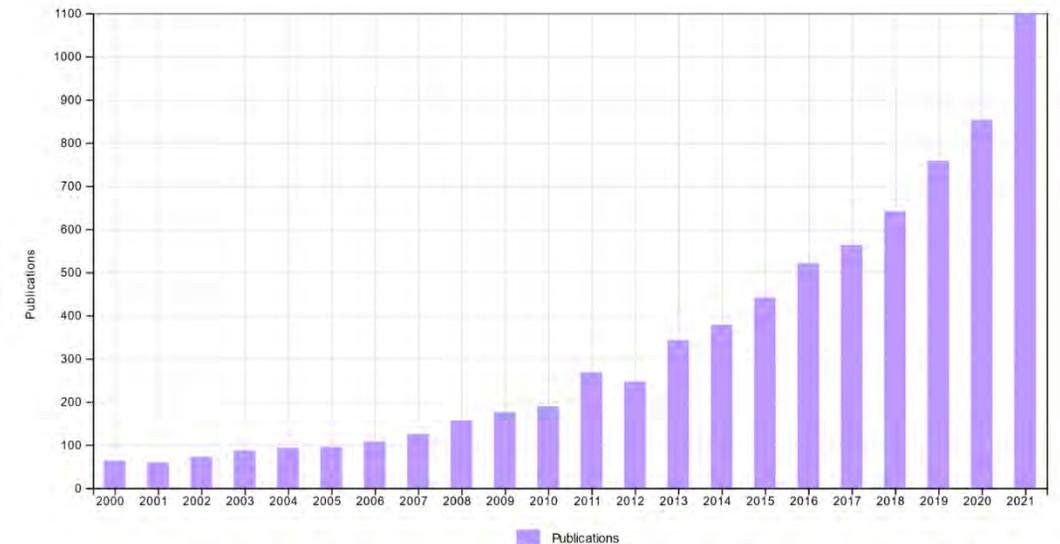
## 2. Adapter les forêts

- 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<sup>ts</sup> extrêmes
  - Mesures de protection physiques (DFCI, Lisières,..)
  - Barrières sanitaires (quarantaines,..)

### 3. Gérer l'écosystème forestier : niveau local

Adapter le régime hydrique des peuplements :

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



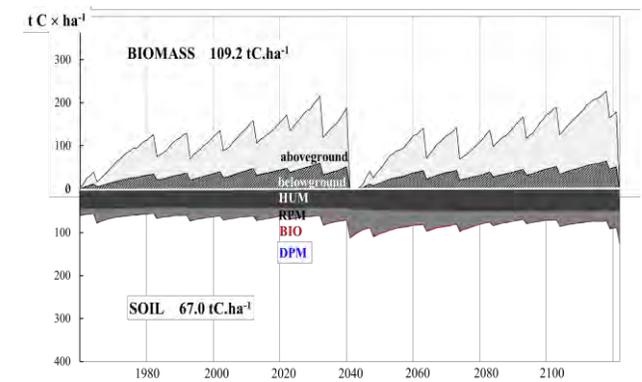
7400 Publications contenant « *forest* », « *management* » et « *drought* » ou « *water balance* », de 2000 à 2020 (WOS).

### 3. Gérer l'écosystème forestier : niveau local

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

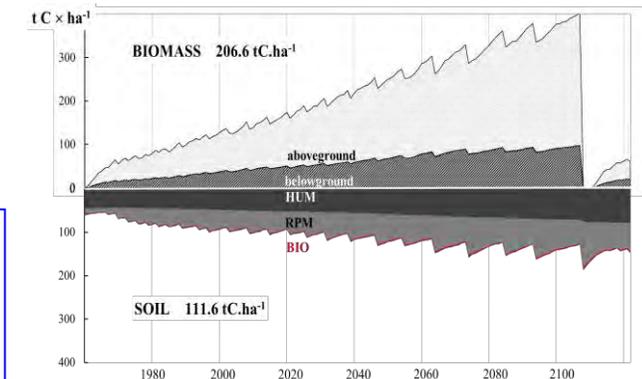


Sylviculture intensive  
Stock moyen : 176 tC ha<sup>-1</sup>



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

Couvert continu  
Stock moyen : 222 tC ha<sup>-1</sup>



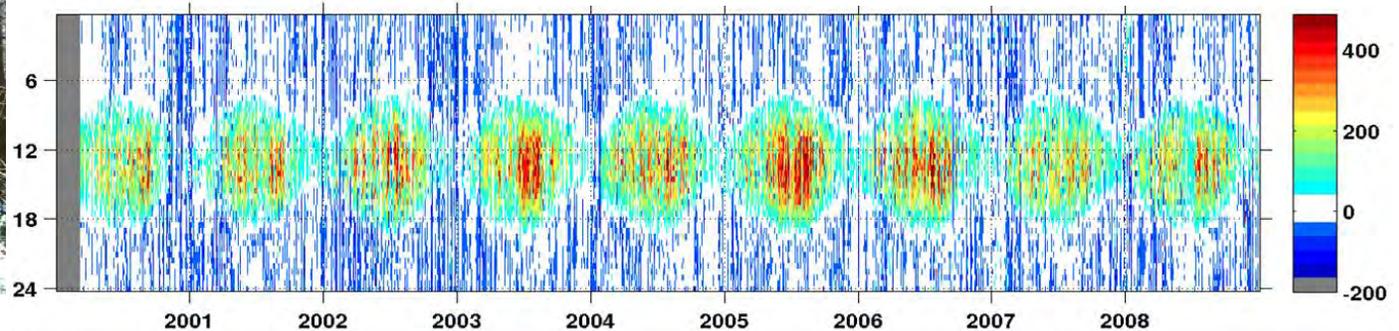
Age = 150 ans  
R = variable  
C = 1.0

# 3. Gérer l'écosystème forestier : niveau local

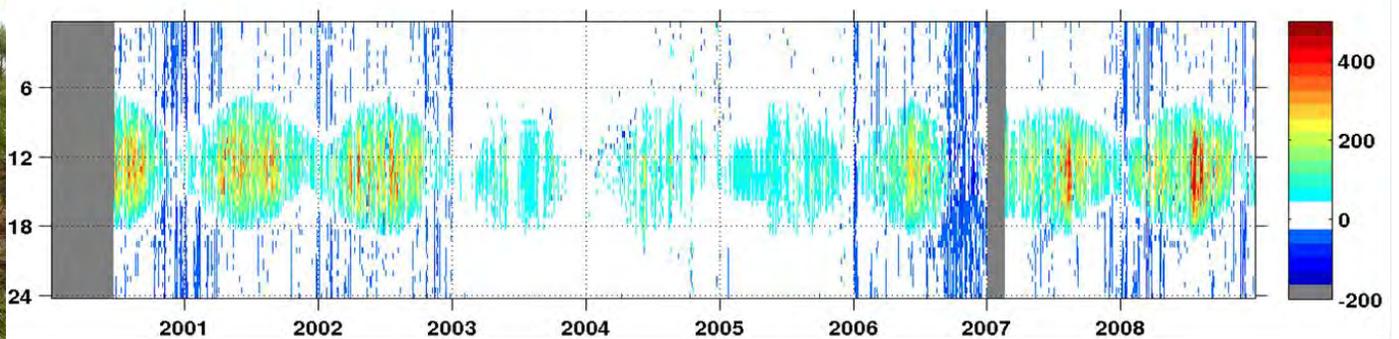
La gestion sylvicole contrôle les flux convectifs forêt-atmosphère (évapotranspiration )



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



2) monoculture équiennne(LE,  $W m^{-2}$ )



# Messages

- Le risque d'une disparition des forêts après 2050 est avéré (Cox et al. 2000, Cochard, 2022), en France y compris.
- Une gestion cohérente des forêts aux niveaux, global, régional, local est nécessaire et urgente
- Les alternatives de gestion des forêts en France sont connues (rapport Bianco, 1998, Roux et al. 2017, Canopée-Fern 2020, Rapport Cattelot 2020, projets et rapports ADEME et M.A.A...).
- La vitesse et l'imprévisibilité du dérèglement climatique défient la sélection variétale et l'évolution naturelle
- L'adaptation locale des forêts doit être forcée par la gestion



A photograph of a dense forest with tall, thin trees, likely eucalyptus, 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 reflection of the forest above. The overall scene is peaceful and natural.

Merci pour votre attention

*Forêt pluviale, Tasmanie*