



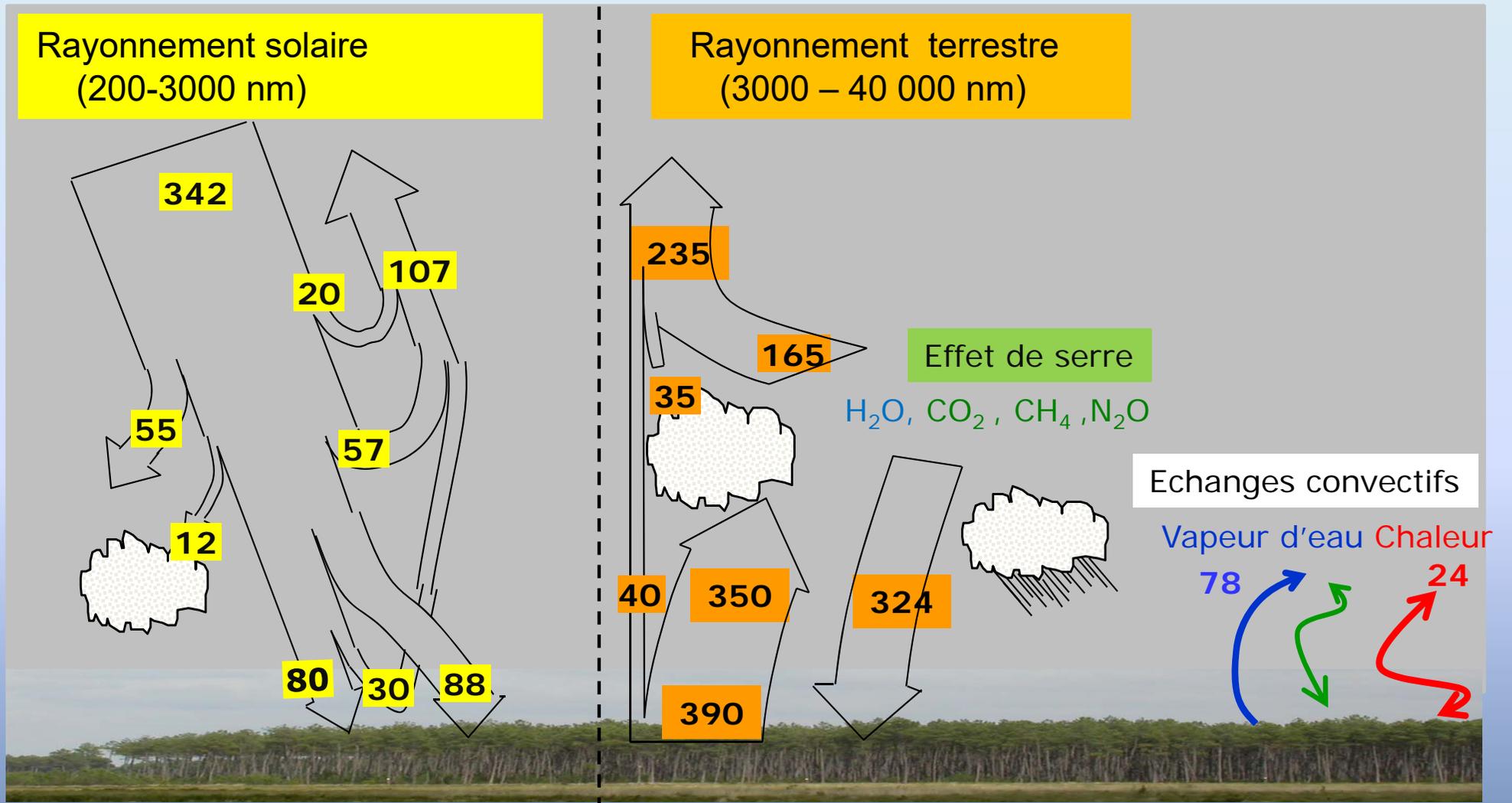
## Le rôle des forêts dans la lutte contre le dérèglement climatique

Denis Loustau,  
INRA, UMR ISPA

- 
1. Interaction forêts – climat
  2. La forêt en France métropolitaine
  3. Analyses de cas
    - Exploitation
    - Région
    - Le pays
  4. Discussion. Adapter les forêts:  
pourquoi, à quoi, comment ?

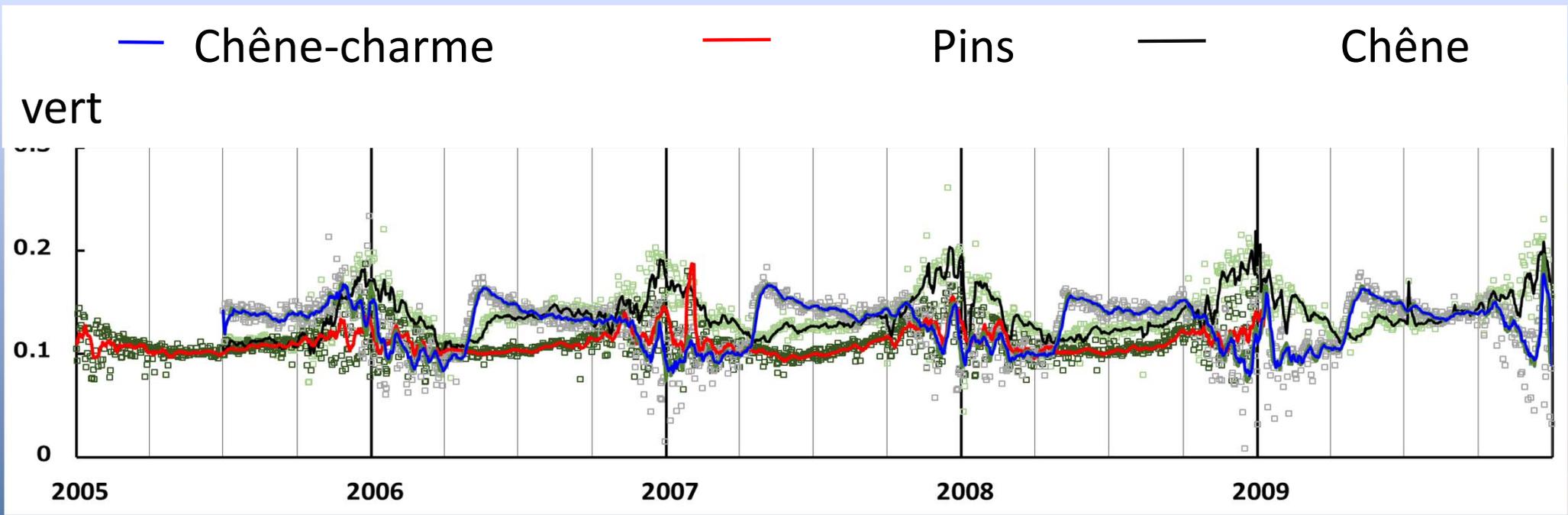
# Les effets biophysiques des forêts





Bilan d'énergie global ( $W \cdot m^{-2}$ )

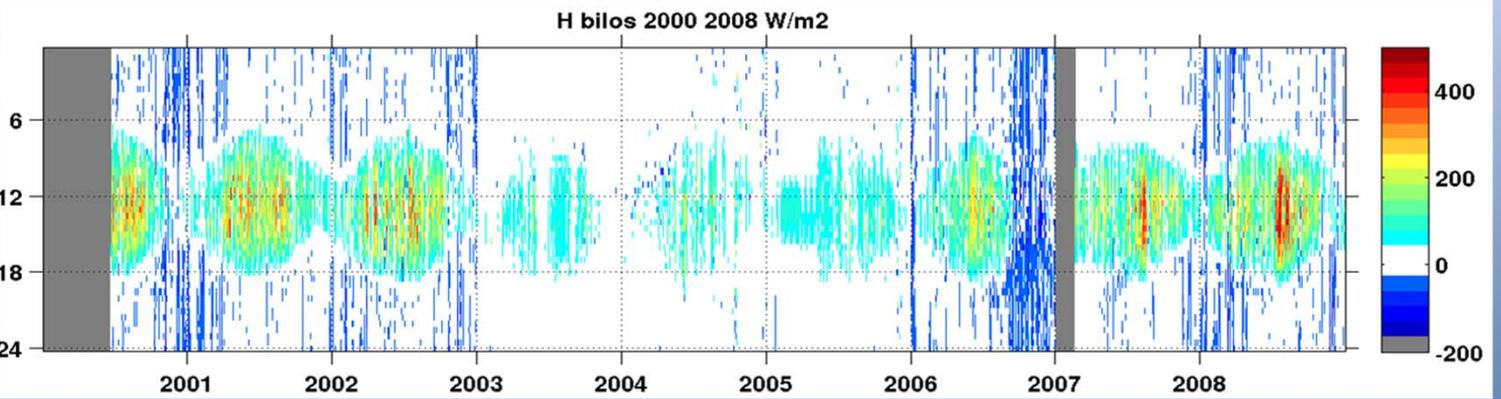
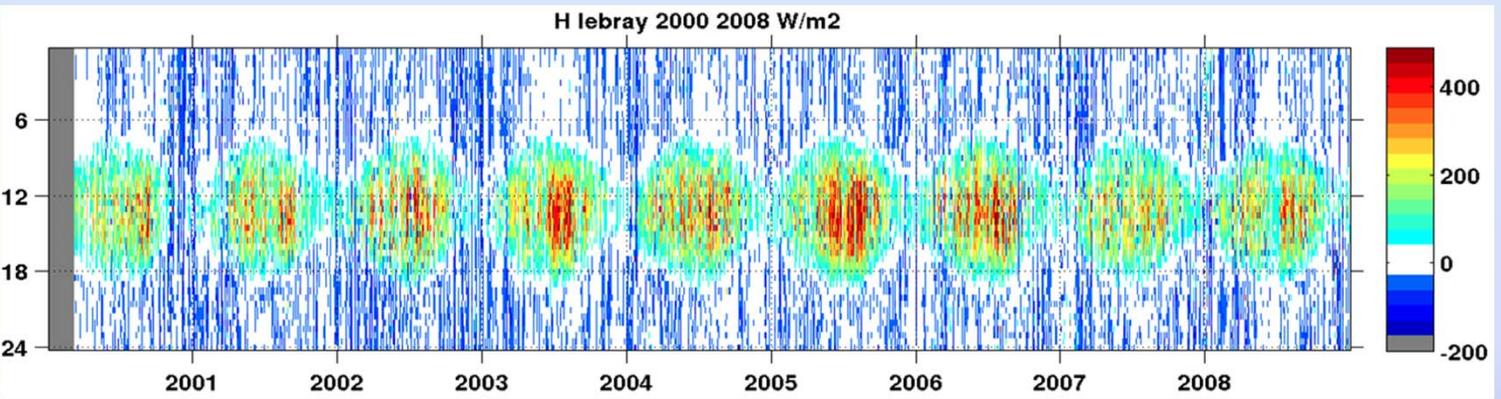
La température locale est contrôlée par le bilan d'énergie



✓ Le flux SW réfléchi varie de  $\pm 50\%$  suivant l'essence.

# Impacts sylvicoles sur le bilan d'énergie. Ex. effet l'âge sur les flux de chaleur

(Projet CESEC)



1. Interaction Forêts-Climat

Une forêt jeune réchauffe moins qu'une forêt fermée.

# Bilan des effets biophysiques des forêts

Biome Removed	$\Delta T_{\text{devegetated region}}$	$\Delta P_{\text{devegetated region}}$	albedo effects	ET effects
tropical forest	1.18°C	-1.34 mm day <sup>-1</sup>	moderate	strong
boreal forest	-2.75°C	-0.27 mm day <sup>-1</sup>	strong	weak
temperate forest	-1.07°C	-0.49 mm day <sup>-1</sup>	moderate	moderate
savanna	0.87°C	-1.10 mm day <sup>-1</sup>	moderate	strong
grassland / steppe	0.75°C	-0.41 mm day <sup>-1</sup>	moderate	moderate
shrubland / tundra	0.32°C	-0.35 mm day <sup>-1</sup>	moderate	moderate / weak

Foley et al. 2005, Science

Effets complexes variant selon :

1. la latitude: les forêts boréales réchauffent
2. l'aridité: les forêts arides réchauffent aussi
3. la sylviculture (âge, éclaircies, essences..)

# Impact des forêts sur l'effet de serre atmosphérique



# Les forêts atténuent 30% des émissions de CO<sub>2</sub> (moyenne 2005-2014)

33.0 ± 1.6 GtCO<sub>2</sub>/yr 91%



## Sources



3.4 ± 1.8 GtCO<sub>2</sub>/yr 9%

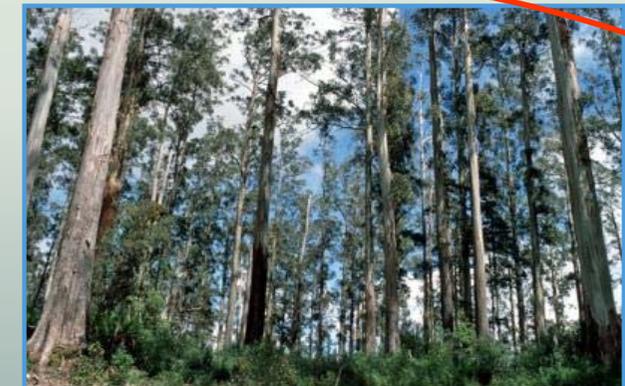
16.0 ± 0.4 GtCO<sub>2</sub>/yr  
44%



## Puits

9.5 ± 2.9 GtCO<sub>2</sub>/yr  
30%

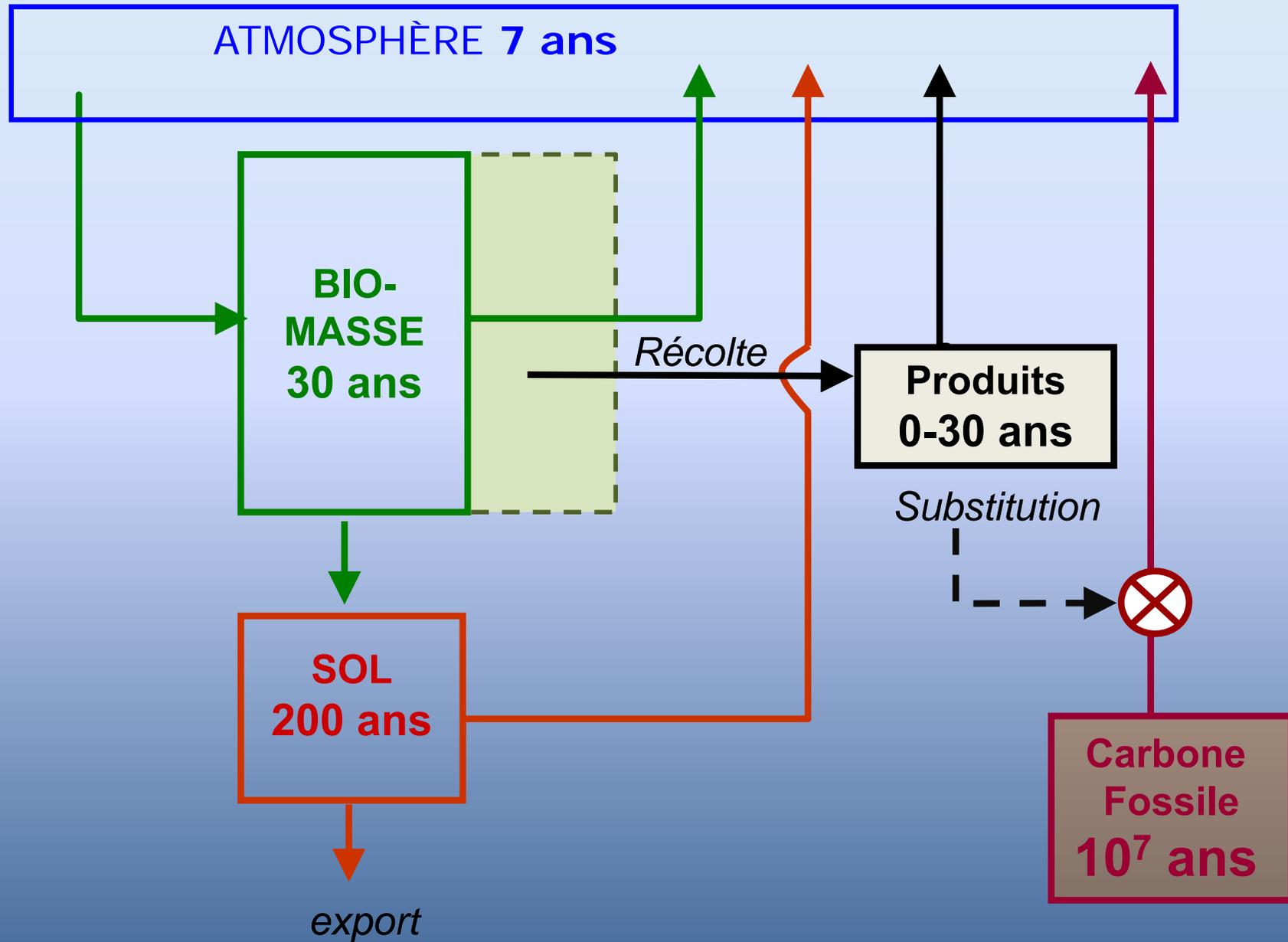
Calculated as the residual of all other flux components



10.9 ± 1.8 GtCO<sub>2</sub>/yr  
26%

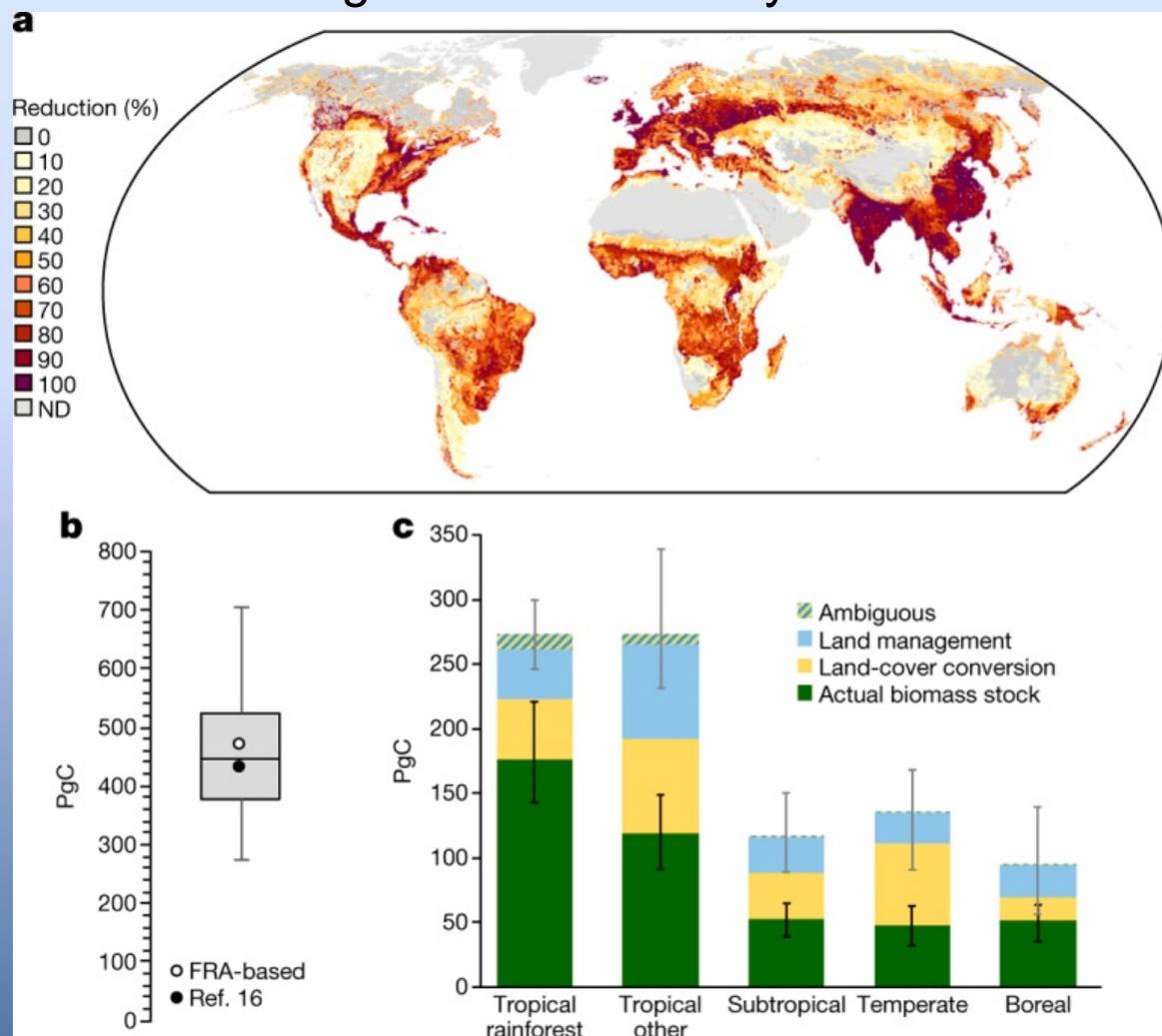


# Cycle du carbone *in situ* en forêt



# Impact direct des activités humaines sur les stocks de carbone

Differences in biomass stocks of potential and actual vegetation induced by land use



- L'exploitation des écosystèmes continentaux a réduit de ~50% leur stock de C.

- La gestion forestière est responsable pour 45% de cette réduction.

- Les chgts d'utilisation des terres (déforestation) de 55%.

# Hot topic: séquestration et substitution

- La séquestration de carbone est un déplacement de la masse de carbone vers les compartiments à long temps de résidence:

  
*atmosphère - produits - biomasse - sol*

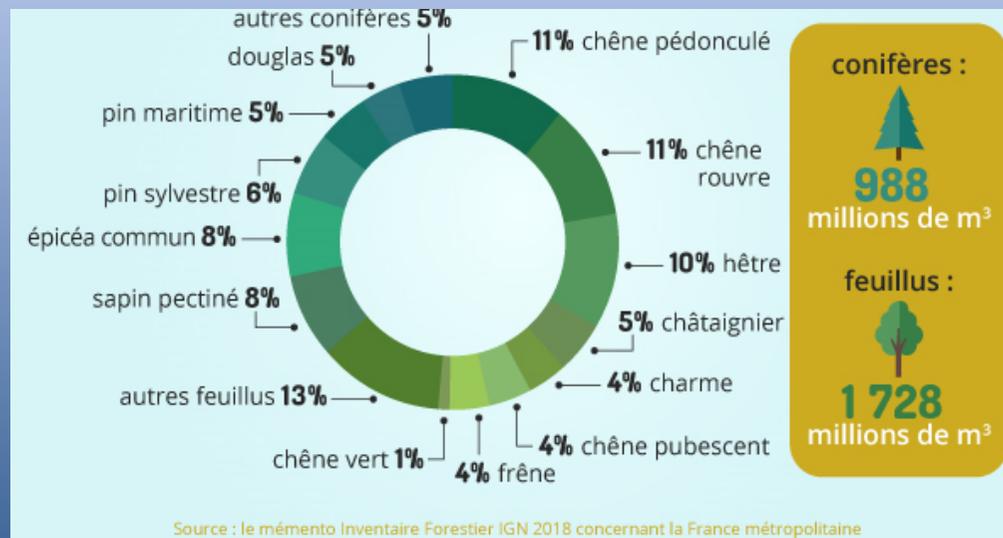
La substitution est le remplacement d'une source d'énergie ou d'un matériau par du C forestier.

<i>Acier</i>	→ <i>bois</i>
<i>Aluminium</i>	→ <i>bois</i>
<i>Charbon</i>	→ <i>biomasse</i>
<i>Méthane</i>	→ <i>granulés</i>

## 2. La forêt en France métropolitaine

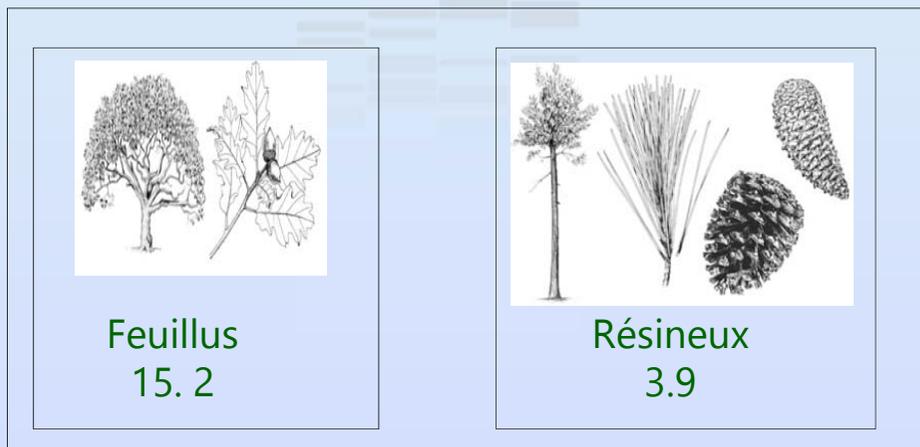


- 16.9 Mha (31% territoire métropolitain)
- + 0.7% an<sup>-1</sup>
- 75 % privée
- Publique: 1.5 Mha État (domaine), 2.7 Mha Communes
- 2.7 10<sup>9</sup> m<sup>3</sup> de bois sur pied:



# Flux de C de la filière forêt-bois 2013 (MtC .an<sup>-1</sup>)

## ECOSYSTEME FORESTIER



Stockage in situ : 24.0

## FILIERE BOIS

### Filière bois-matériau

Stockage produits  
0

Substitution  
Matériau  
8.9

Coefficient : 0.4 tC /m<sup>3</sup>

Plage de variation : 0.16 – 0.9

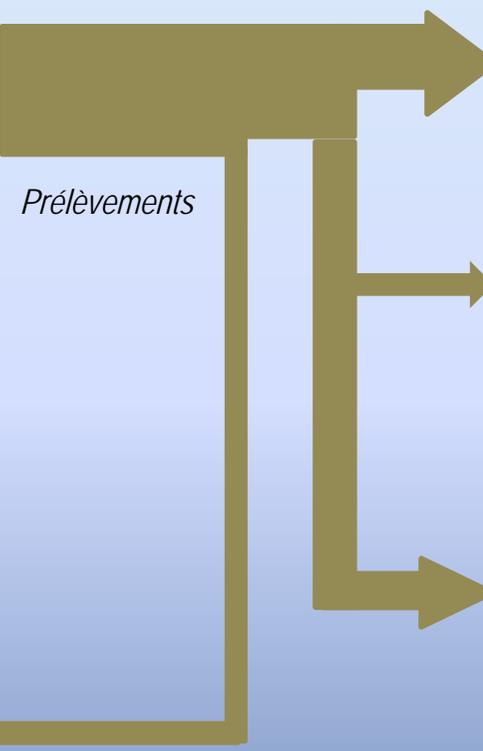


### Filière bois-énergie

Substitution  
Energie  
2.5

Coefficient : 0,14 tC /m<sup>3</sup>

Plage de variation : 0,1 – 0,17



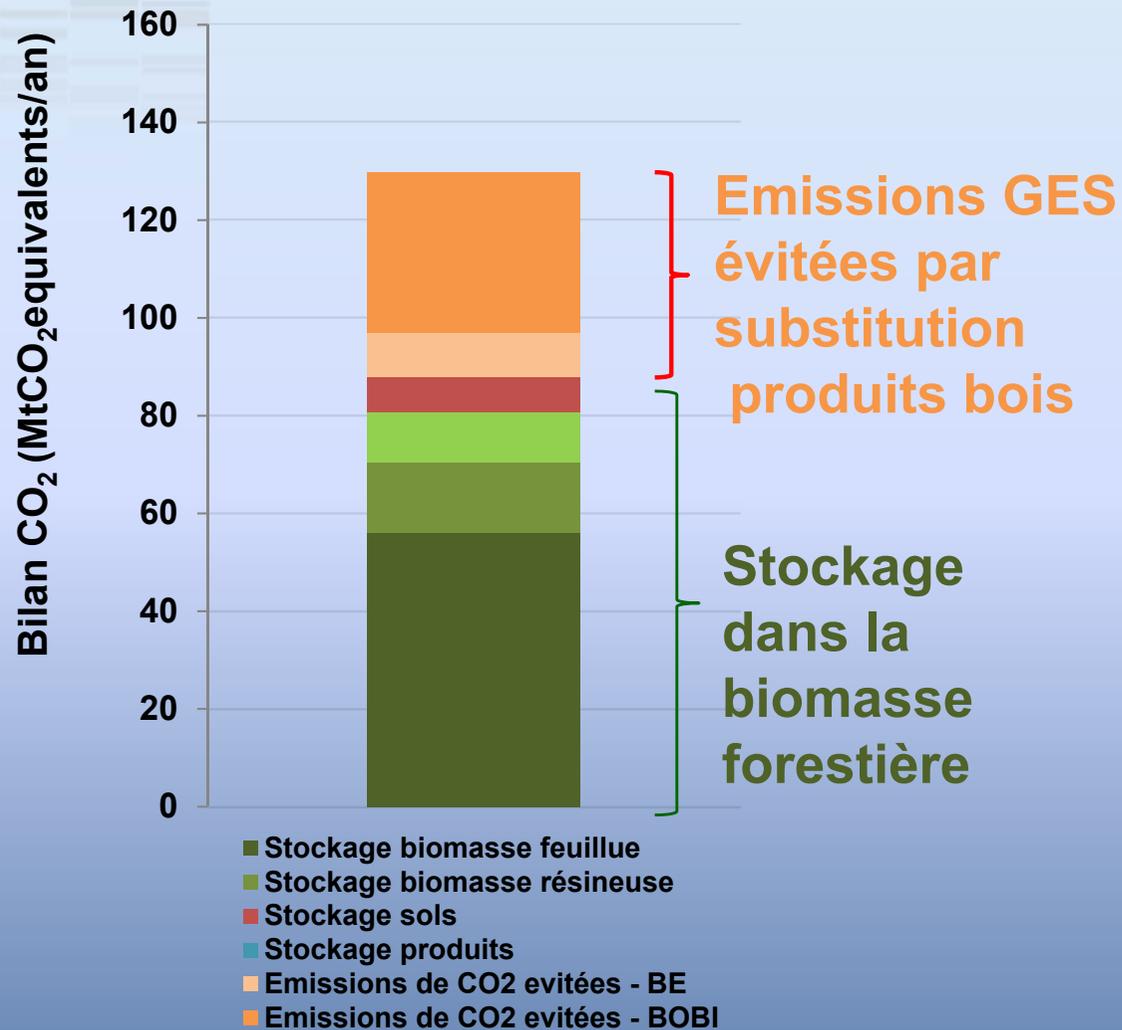
Prélèvements

Pertes d'exploitation

Emissions évitées: 11.4

(IGN, Jonard et al. , Dhote et al. 2016, Zell et al. 2009)

# Flux de CO<sub>2</sub> actuel de la filière forêt-bois



Soit : 12 - 15% des émissions nationales  
: 1.3 % du puits continental global



# 3. Analyses de cas

Exploitation: une propriété des Landes,

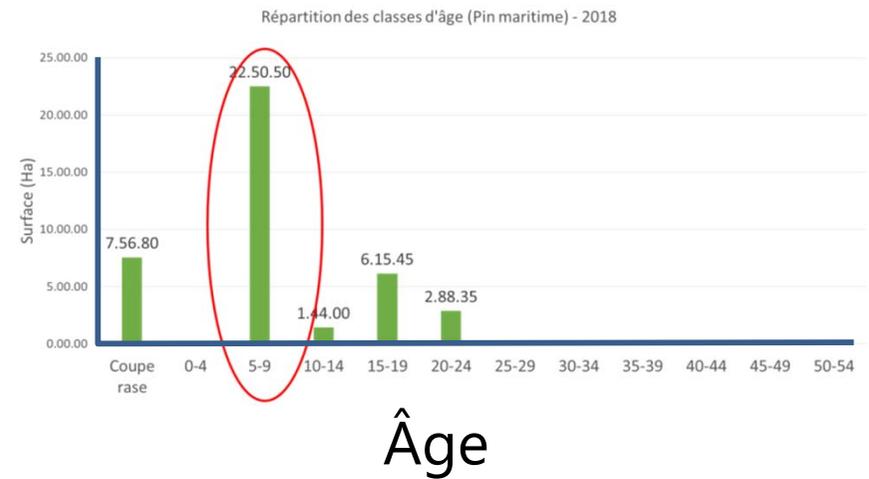
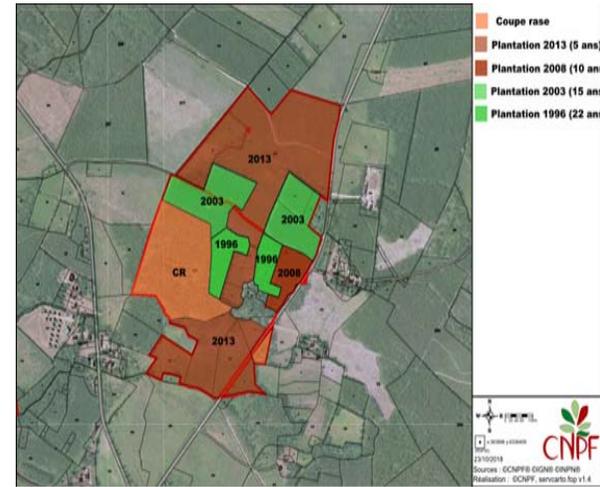
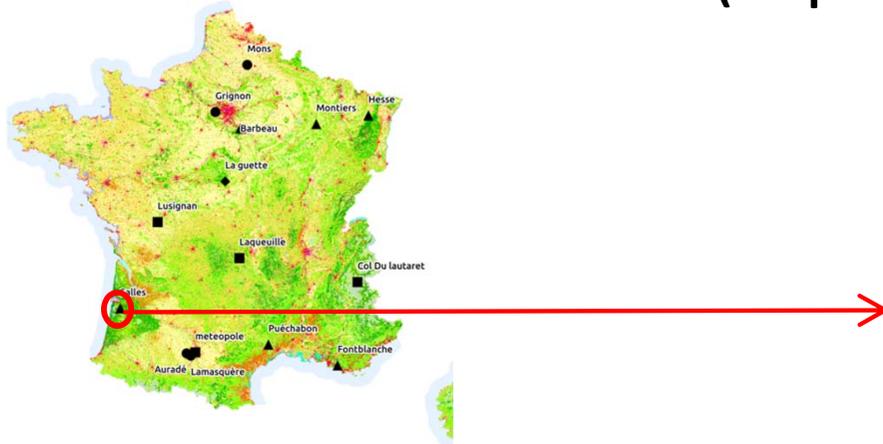
Région: scénariser la sylviculture des essences

Le pays: prospective nationale INRA- IGN

# Les questions au niveau de l'exploitation

- *Comment s'assurer des revenus réguliers tout en continuant à produire du bois d'œuvre ?*
- *Comment prendre en compte le dérèglement climatique ?*
- *Comment gérer l'aléas sanitaire ?*

# Exploitation privée de 43 ha en Pin maritime après tempête (Aquitaine) Adapté de Sylvain Bazas CPFA.

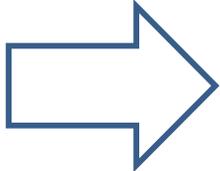


3. Analyses de cas

# Situation actuelle

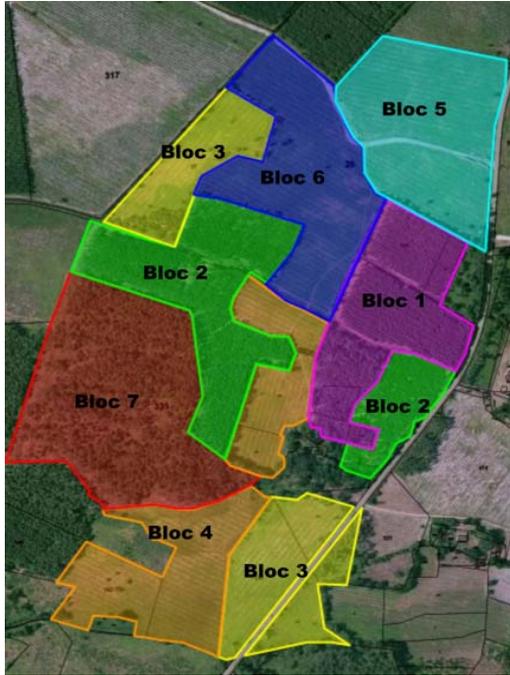
D'ici à 2050 :

- Une seule coupe rase en 2042
- Revenus 2020-42 limités aux éclaircies
- Capacités d'investissement limitées
- Vulnérabilité concentrée sur :
  - une seule classe d'âge (0-15 ans)
  - une essence (Pin maritime variétal)
- Réversibilité et versatilité faibles ( $=0.02 \text{ an}^{-1}$ )

 Résilience et adaptabilité minimales

Adapté de Sylvain Bazas CPFA.

# Stratégie d'adaptation: rééquilibrer la structure d'âge



## Etape 1. Zonage de la vulnérabilité

Bloc 1 = 4 ha 4680 = qualité, état sanitaire et risque « feu »

Bloc 2 = 6 ha 0100 = risque « vent » et qualité

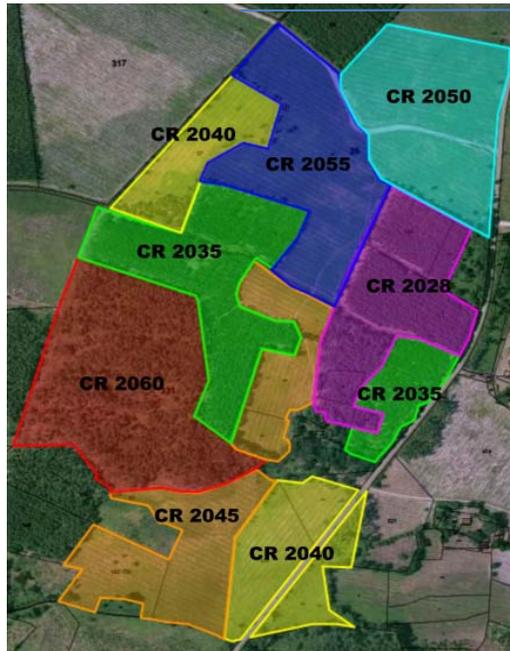
Bloc 3 = 5 ha 3560 = risque « feu » et « vent »

Bloc 4 = 6 ha 5870 = RAS

Bloc 5 = 5 ha 2200 = risque « feu »

Bloc 6 = 5 ha 6970 = risque « feu » et « vent » (CR du bloc 3)

Bloc 7 = 7 ha 2130 = RAS risque « vent » (CR voisin)



## Etape 2. Equilibrer la structure d'âge à l'horizon 2060.

- Lisse les revenus dans le temps
- Accroît les possibilités d'adaptation (essence) ( $=0.08 \text{ a}^{-1}$ )
- Répartit la vulnérabilité entre différents âges
- Possibilités accrues de renouvellement des essences
- Atténue la « dette carbone »
- ❖ coût d'exploitation accru

# Cas régional

Question:

*Comment optimiser la sylviculture d'un massif de production pour l'atténuation ?*

# Démarche participative (ANR MACCAC et ADEME Evafora)



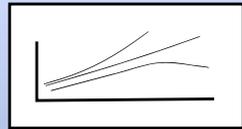
## 1. Acteurs, opérateurs, ingénieurs

### Itinéraires Sylvicoles

Scenario #	Main tree species	Main understorey species	Fertilisation (Kg P2O5/ha <sup>-1</sup> )	Planting density (ha <sup>-1</sup> )	Harvests/ mortality (age % cut)	Climate Scenarios	Soil types	Comment
1	Pinus pinaster	Molinia caerulea, Pteridium aquilinum, Arrhenatum Thorei, Ulex sp.	0	1250	Self thinning and 90:100	RCP 2.6, 4.5, 8.5	50, 85	Reference close from nature scenario
2	Pinus pinaster	Molinia caerulea, Pteridium aquilinum, Arrhenatum Thorei, Ulex sp.	80	1250	Stem 15:25; 25:25; 35:25; 45:100	RCP 2.6, 4.5, 8.5 + AZ	50, 85, 120	Reference Business as usual
3	Pinus pinaster	Molinia caerulea, Pteridium aquilinum, Arrhenatum Thorei, Ulex sp.	120	2500	Stem+bark+branches+ stump 15:50; 30:100	RCP 2.6, 4.5, 8.5	85, 120	Biomass production
4	Pinus pinaster	Molinia caerulea, Pteridium aquilinum, Arrhenatum Thorei, Ulex sp.	120	2500	Stem+bark+branches+ stump 15:50; 30:50; Stem+bark 45:100	RCP 2.6, 4.5, 8.5	85, 120	Hybrid 2-3
5	Pinus pinaster	Ulex Europaeus	120	1250	Stem+bark+branches+ stump 15:50; 30:100	RCP 2.6, 4.5, 8.5	85, 120	Biomass Production intensified
6	Eucalypt		120	1250	Coppice with 2 coppicing rotations	RCP 2.6, 4.5, 8.5	85, 120	Eucalypt Coppice



## 3. Restitution



scénarios de climat



Données d'initialisation, Calibration, validation



Calcul



Simulations

8x8 km

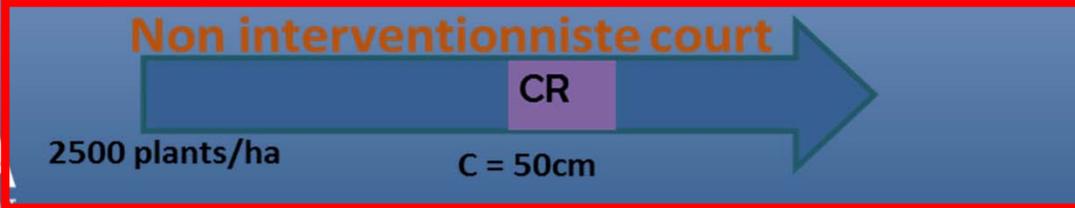
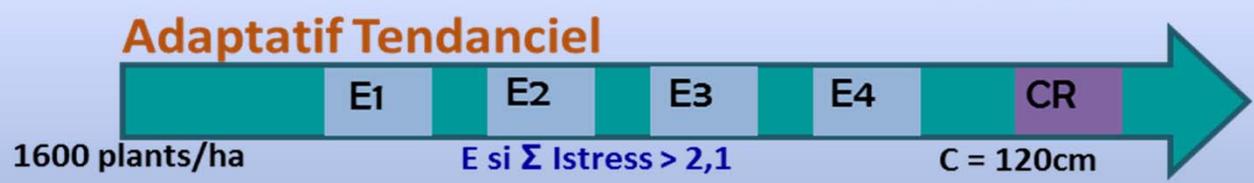
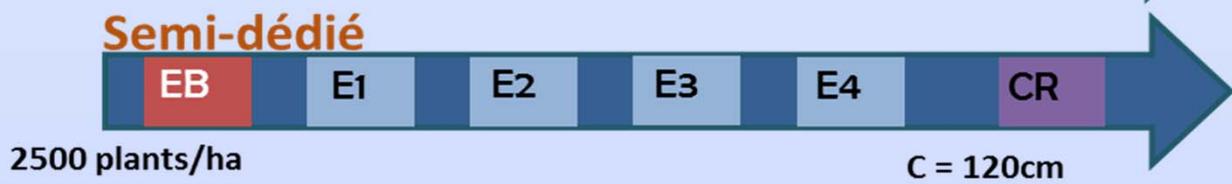
2000-2100

2. Modélisation: validation, implémentation des ITK. Modèle INRA GO+ - CAT

3. Analyses de cas: - région



3. Analyses de cas: - région

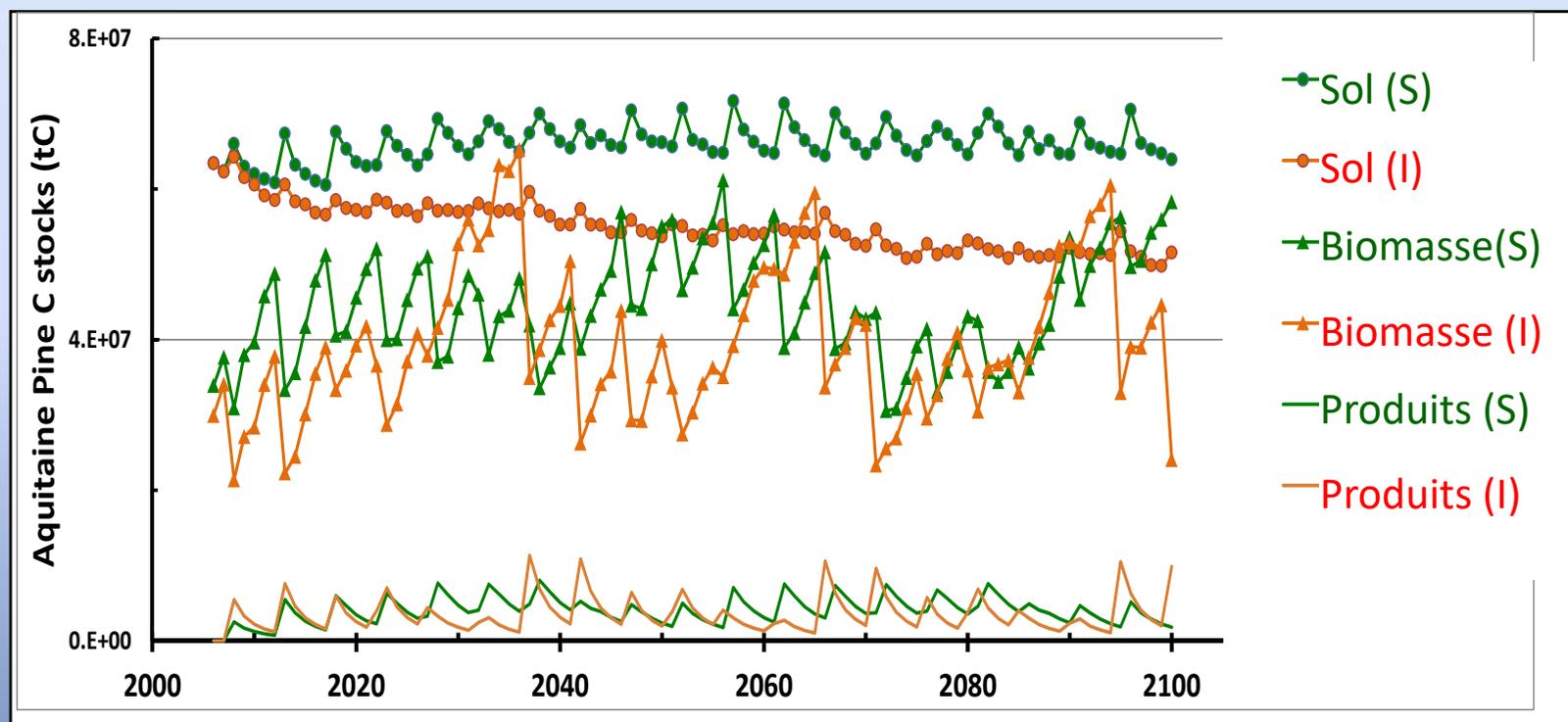


**ITK**  
« non interventionniste »

**ITK**  
« interventionnistes »

# Intégration sur la filière forêt-bois des Landes de Gascogne

Stock de carbone *in situ* et produits - Aquitaine entière



RCP 2.6

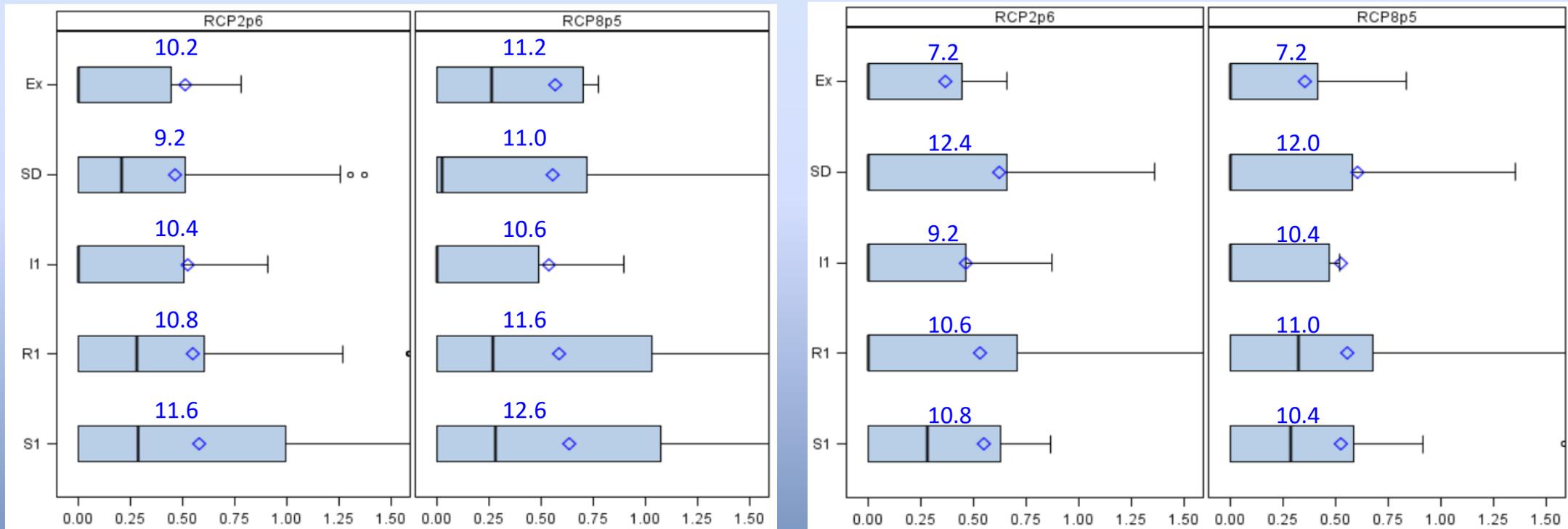
Les stocks de carbone sont systématiquement diminués par l'intensification

# Production forestière 2000-2100

Production en vol bois fort(  $\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{an}^{-1}$ )

2006-2052

2053-2100

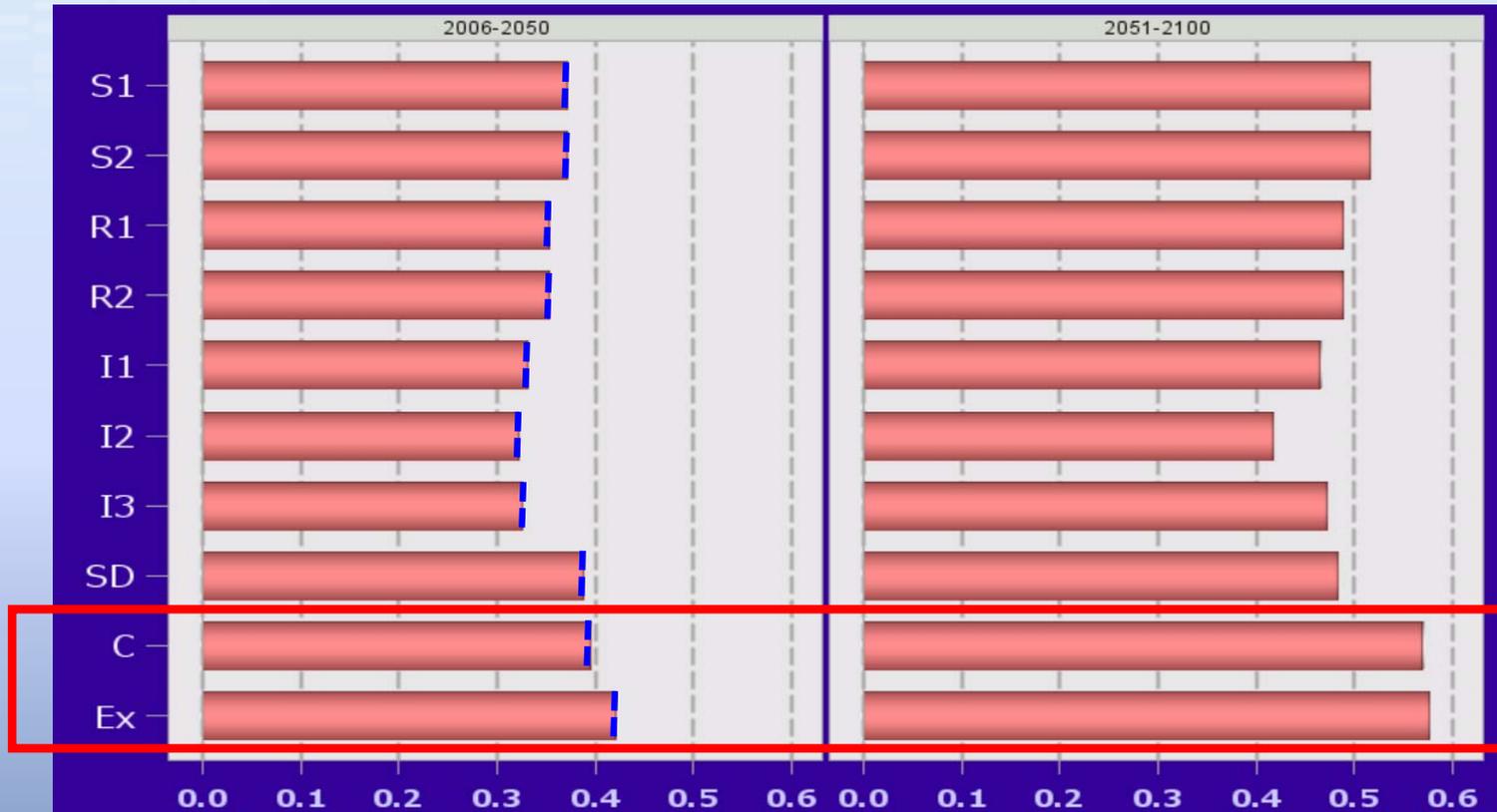


Production + élevée et résiliente sous conduite adaptative (=  $f(\text{croissance})$ )

# Résultats. Comparaison des ITK

## Indice de Stress

RCP 8.5, RU=75mm



- Les ITK non interventionnistes sont les plus stressés ; la régulation « naturelle » du stress par l'écosystème est insuffisante

# Constats

Les options de sylviculture non interventionnistes sont :

- plus vulnérables aux aléas climatiques

L'intensification maximale a un coût élevé en ressources:

- eau
- éléments minéraux N, P
- perte de C organique du sol

Le mode de gestion « standard » à conduite adaptative représente une option:

- résiliente au climat
- relativement efficiente en eau
- efficiente en minéraux

# Cas national

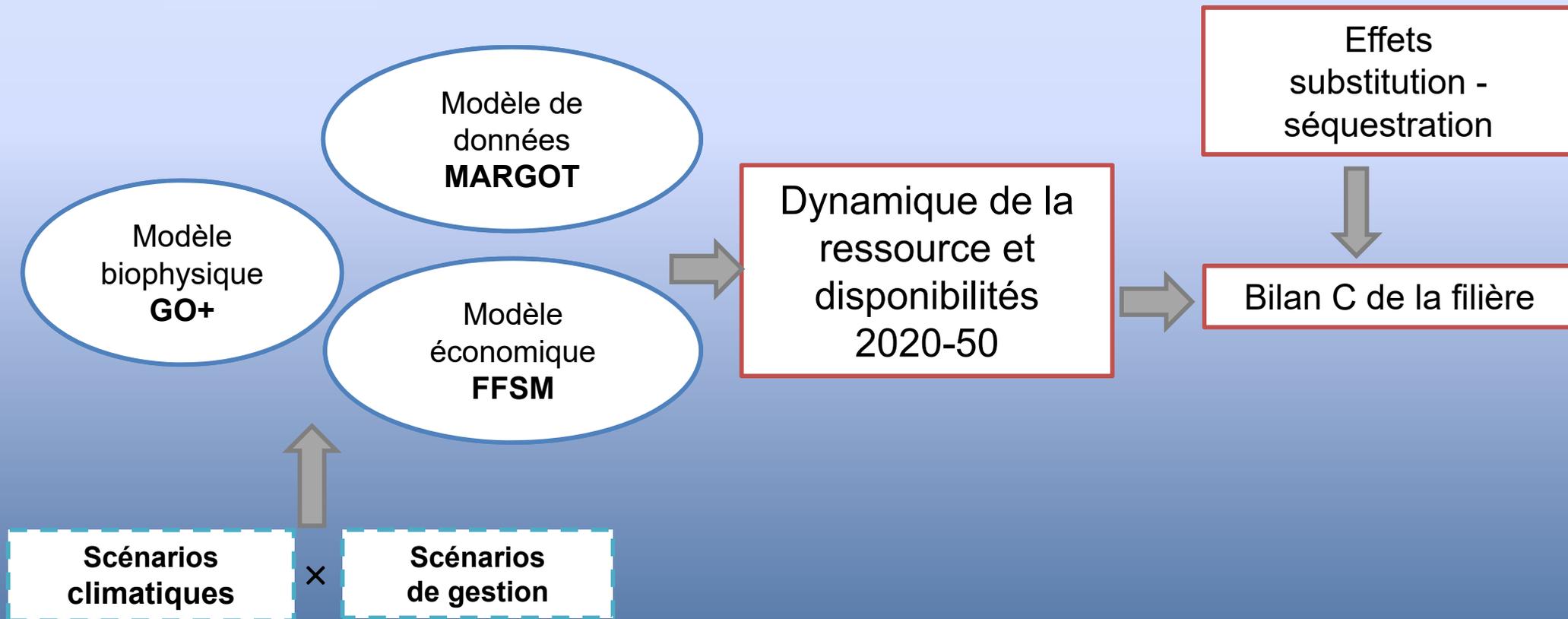
Question:

*En quoi les forêts françaises peuvent elles contribuer à l'atténuation du dérèglement climatique?*

# Prospective France 2050 INRA-IGN

- ❖ Bilan CO<sub>2</sub> de la filière forêt-bois française
- ❖ Effets de scénarios de gestion forestière sur la dynamique des peuplements
- ❖ Effets du changement climatique et crises abiotiques et biotiques

4. Analyses de cas: - pays

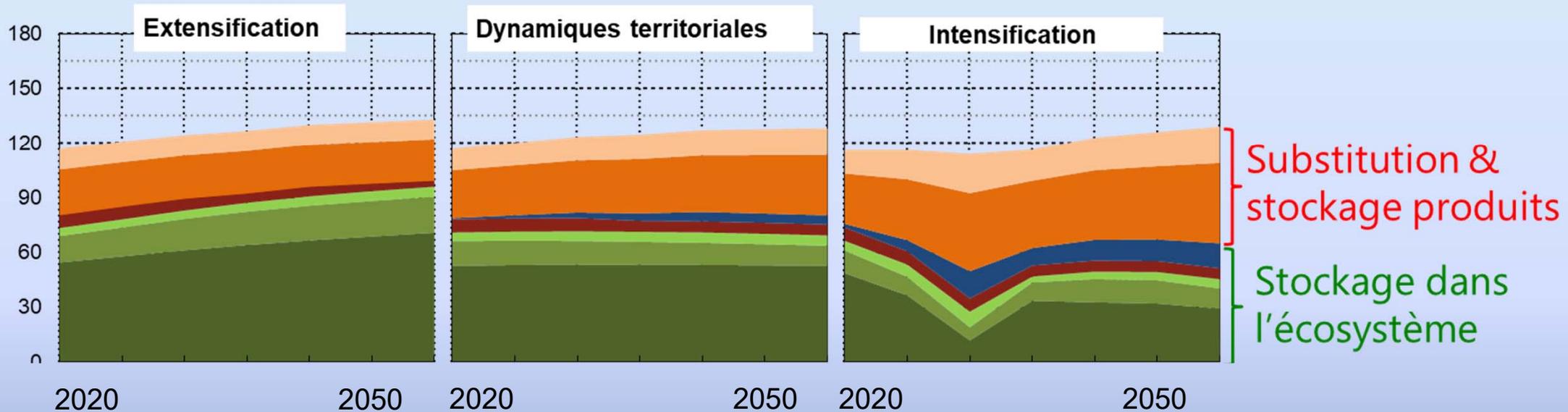


# Scénarios nationaux 2020-50

	<u>1. Extensification</u>	<u>2. Dynamiques territoriales</u>	<u>3. Intensification,</u>
<b>Mode de gestion</b>	Vastes espaces en libre évolution.	Divergences entre régions	Transformation, remise en gestion massifs montagneux et méditerranée
<b>Expansion de la surface forestière</b>	spontanée + 400 km <sup>2</sup> /an,	spontanée + 400 km <sup>2</sup> /an, + qqs plantations localisées	+ 400 km <sup>2</sup> /an, <b>Plan de reboisement</b> : + 500.000 ha/ 10 ans
<b>Niveau de récolte national</b>	<b>Constant</b> soit ≈55 Mm <sup>3</sup> VAT/an	<b>Maintien du taux de coupes,</b> 50 % de l'accroissement	<b>Stimulation du prélèvement</b> 70-75 % de l'accroissement
<b>Allocation de la récolte entre usages</b>	<b>Déplacements d'usages :</b> « grignotage » des gros diamètres par des débouchés bois-énergie	Hétérogène selon les options prises <b>régionalement</b>	<b>Rééquilibrage de l'offre entre BO, BI et BE</b> (avec stimulation BE)

# Bilan de CO<sub>2</sub> selon les 3 scénarios de gestion climat actuel

CO<sub>2</sub> sequestré (MtCO<sub>2</sub>eq/an)

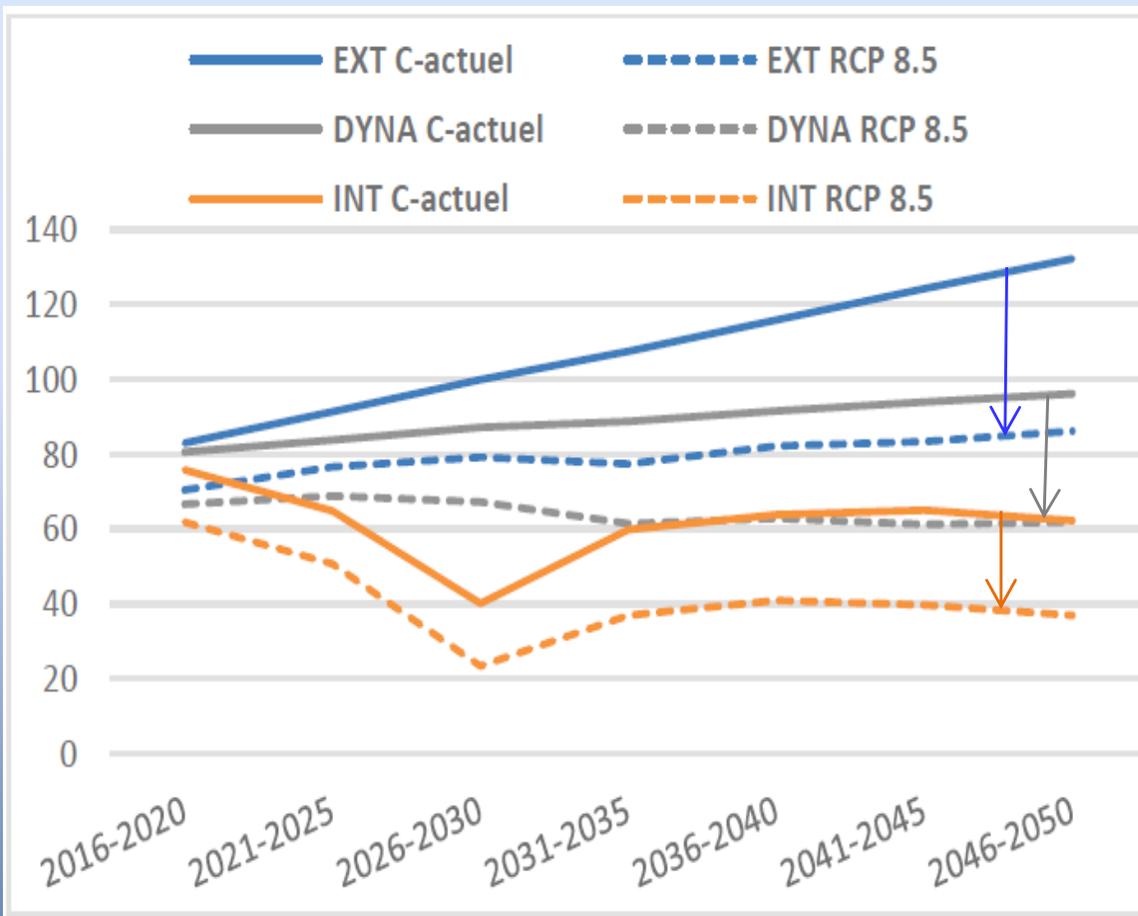


Substitution matériaux Substitution BE Produits BIBO sols Bois mort BiomRésineux BiomFeuillus

- Les trois scénarios ont un bilan ~comparable en 2050
- Compensation entre stockage en forêt & substitution
- Faible contribution de produits-bois, bois-mort & sols

# Impact climatique sur le stockage des forêts françaises

Stockage annuel dans l'écosystème selon les 3 scénarios de gestion et les 2 scénarios climatiques (MARGOT version standard, MtCO<sub>2</sub>eq/an)



- Le climat RCP 8.5 réduit la séquestration in situ
- Cet impact est accentué en gestion extensive

## Sites INRA :

<http://institut.inra.fr/Missions/Eclairer-les-decisions/Etudes/Toutes-les-actualites/Forets-filiere-foret-bois-francaises-et-attenuation-du-changement-climatique>

**Site IGN :** <https://inventaire-forestier.ign.fr/spip.php?article876>

A photograph of a forest landscape. In the foreground, a steep slope is covered with a thick layer of brown, fallen leaves and numerous green ferns. A few small, leafy plants are also visible. In the middle ground, a thin, light-colored tree trunk leans diagonally across the frame. The background is filled with tall, slender trees with vibrant green foliage, creating a dense canopy. The overall scene is bright and natural, suggesting a healthy forest environment.

# 4. DISCUSSIONS

# Comment optimiser les forêts pour atténuer le dérèglement climatique ?

Les points de complexité:

- La diversité écologique des forêts
- La diversité des modes de gestion-exploitation
- La prise en compte des effets biophysiques (ex. en ville)
- Les autres services écosystémiques forestiers

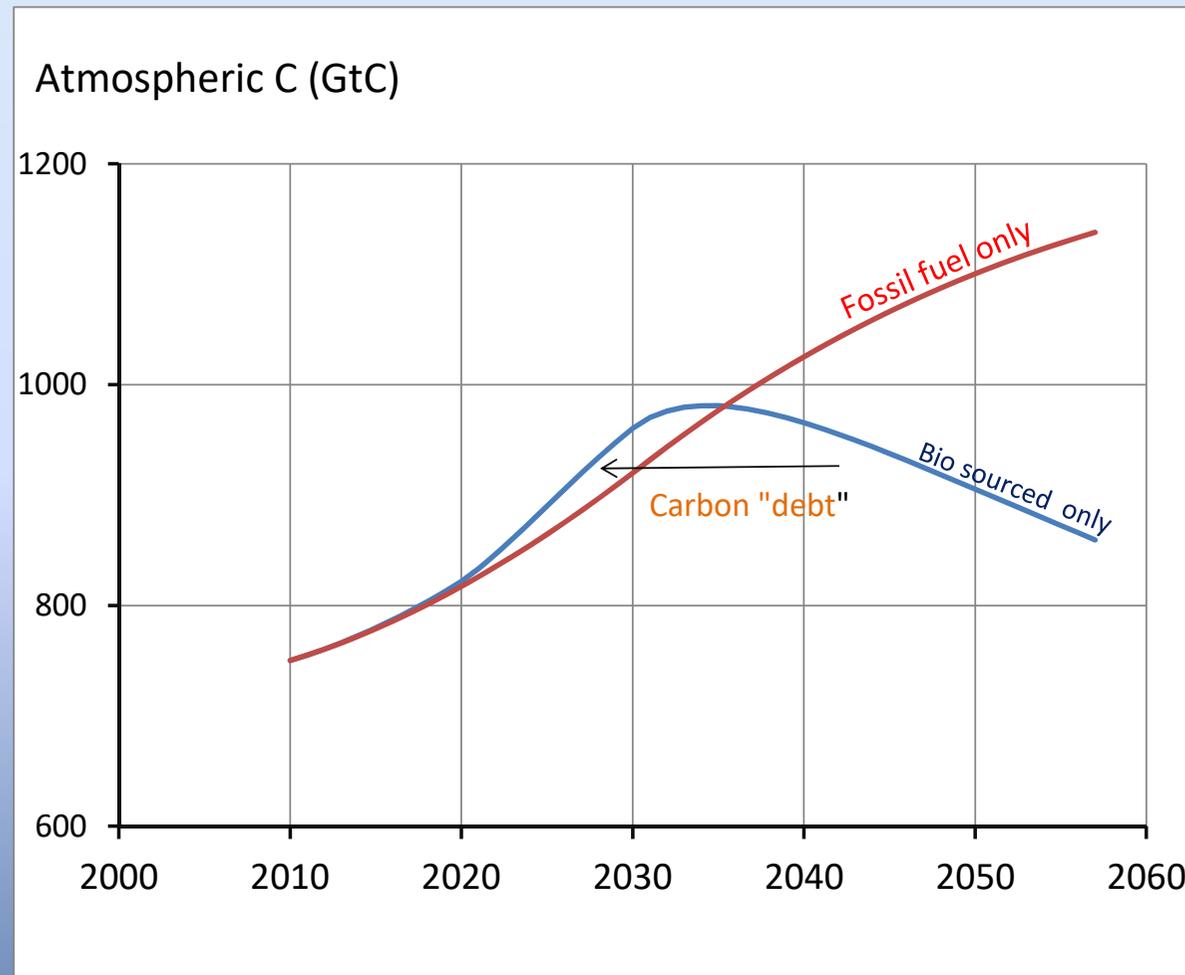
# Comment optimiser les forêts pour atténuer le dérèglement climatique ?

Les questions soulevées:

- Les échelles de temps
  - Cycle de vie des forêts (50-250 ans)
  - Sociologie des acteurs et demande en produits bois (3 ans ?)
  - Changements environnementaux (50 ans ?)
- Should I stay or should I go ?
  - Séquestrer du carbone (risqué!!) ?
  - Substituer du C fossile par du C forestier (controversé)?

# Séquestration, substitution et dette carbone: la controverse

## 2. Maximiser l'atténuation



Explication : substituer peut transitoirement enrichir l'atmosphère en CO<sub>2</sub>

# Adapter la forêt... à quoi ?

---

L'environnement futur des forêts est peu prévisible

- Plus chaud, sec, pollutions N et S, O<sub>3</sub>, SW↓
- Les processus naturels d'adaptation sont **trop lents**

L'interaction forêt ↔ milieu physique est clé.

Quel niveau d'approche pertinent pour définir les politiques climatiques : local, national , global?

# Adapter la forêt... comment ?

---

Idéotype d'une sylviculture en contexte incertain :

- **versatile**: combinaison d'alternatives
- **diverse** : variétale, essences, âges,
- **résiliente** : plasticité,
- **adaptative**: knowledge-based, dynamique

# Adapter la forêt... comment ?

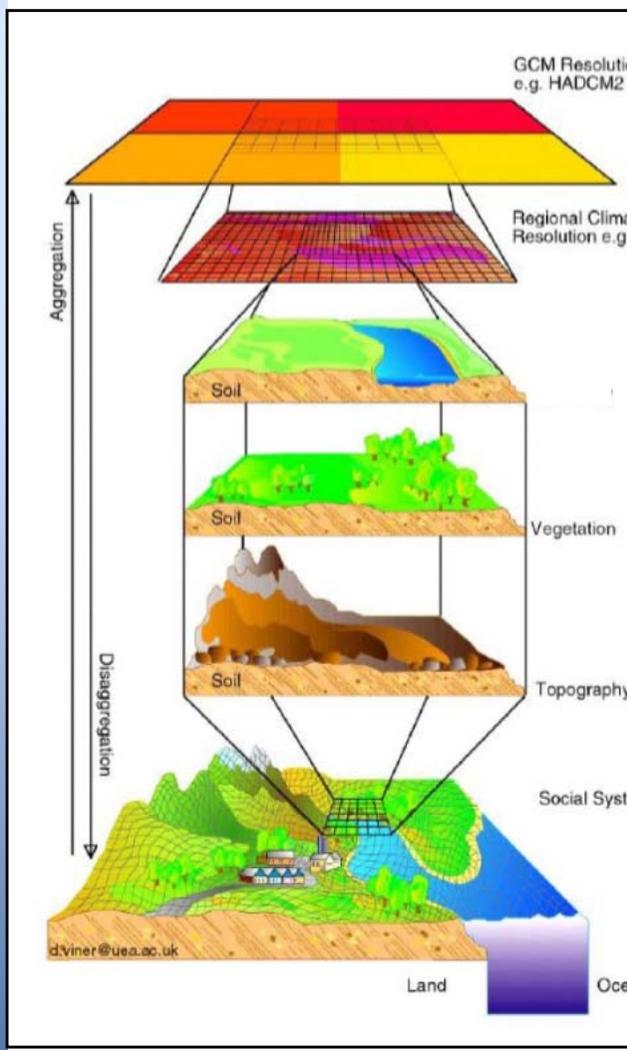
---

Faisabilité d'une sylviculture en contexte incertain :

- **Économique** : produits et services, demande
- **Technique** : logistique, savoir faire, disponibilité du matériel végétal
- **Sociologique** : aptitude au changement , risque

A wide-angle photograph of a lush, green mountainous region. The terrain is characterized by rolling hills and deep valleys, all densely packed with vibrant green trees. The perspective is from an elevated position, looking down into the valleys. In the foreground, several individual trees with varying shades of green and some bare branches are visible. The background shows more distant, hazy mountain ranges under a clear sky. The overall scene is one of a healthy, natural environment.

Discutons !



- Modèle atmosphérique global (ARPEGE – 500 km)
  - Modèle climatique régional (ALADIN - 8km)
  - Modèle de forêt (GO+ - 0.1 km)
  - Modèle d'ACV produits bois (CAT)
- 
- ✓ Données sols (RU)
  - ✓ Peuplements initiaux
  - ✓ Pratiques culturelles, ITK

## Discutons !

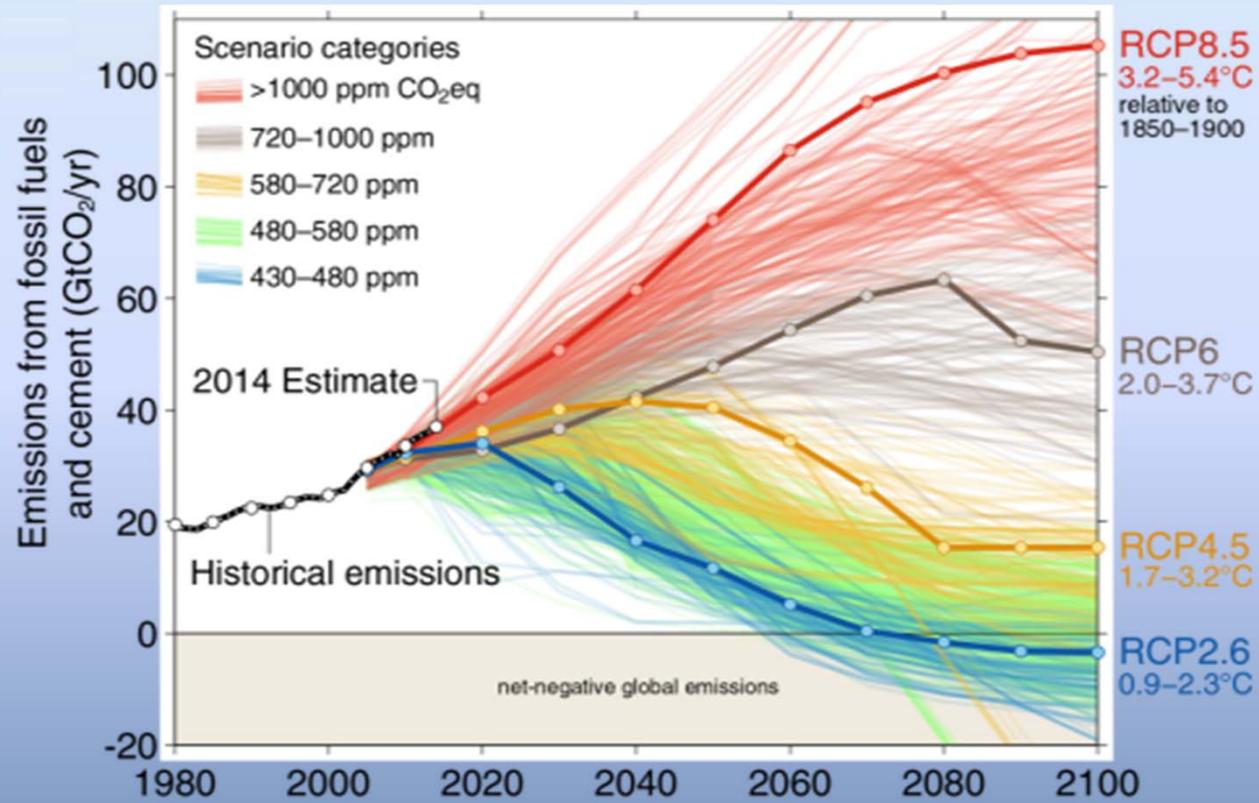
### Quelques leçons tirées des projets participatifs recherche - acteurs

- The best management scheme is the one that can be implemented by managers
- Intensification has environmental costs (climate, water, nutrients)
- Climate-management interaction is substantial and essential

Thank you for attention

# Scénarios climatiques

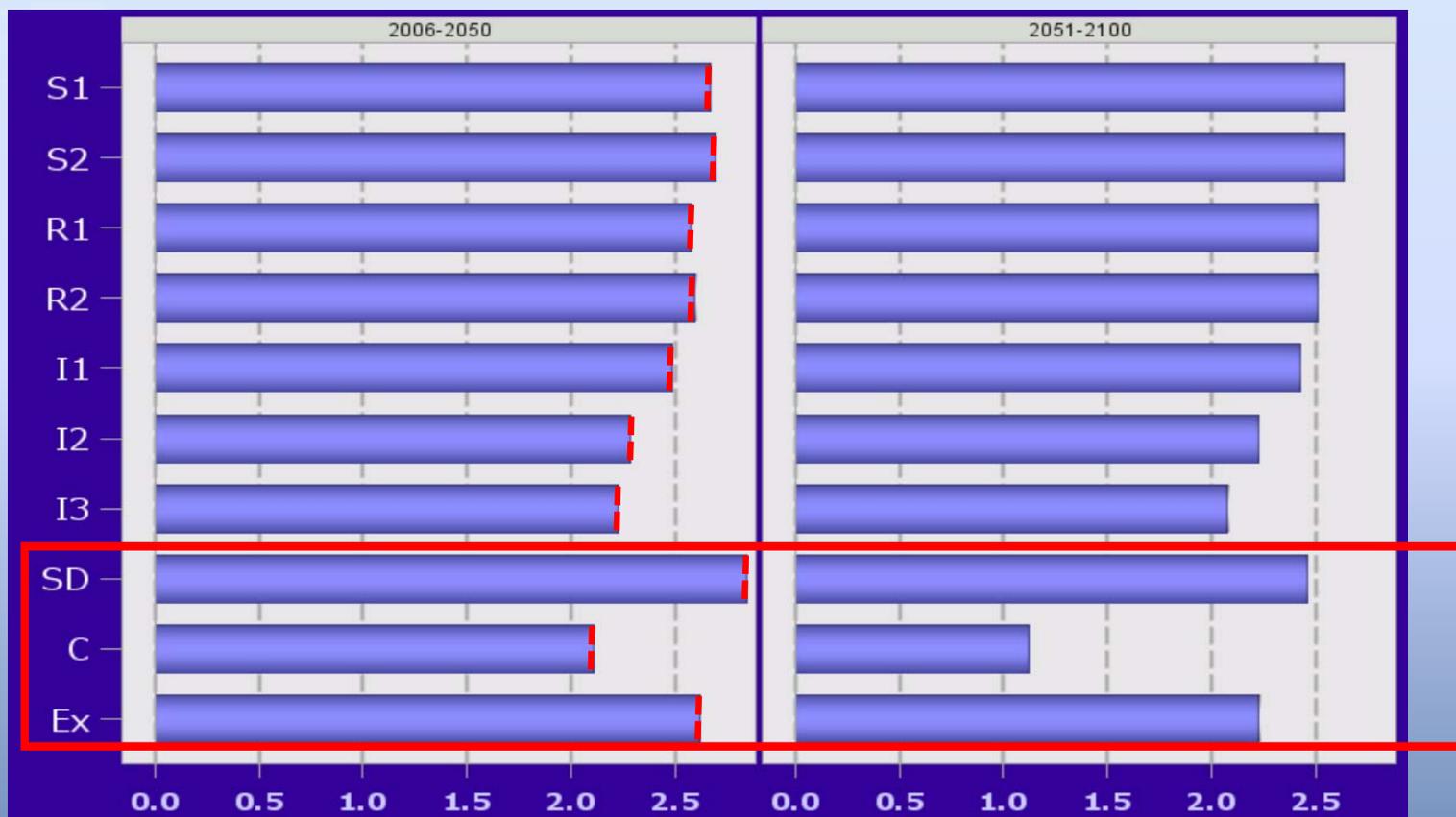
Data: CDIAC/GCP/IPCC/Fuss et al 2014



# Résultats. Comparaison des ITK

\_07

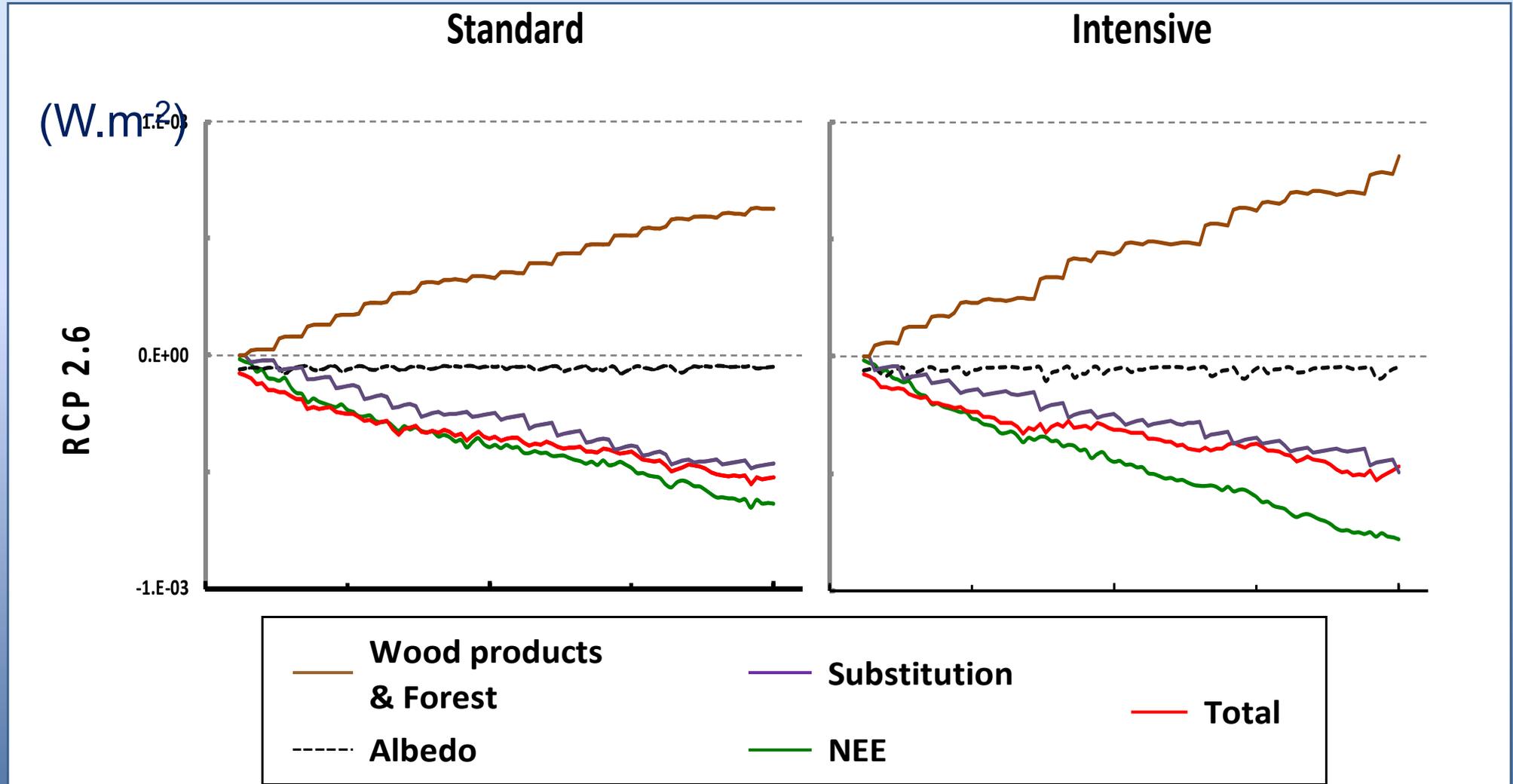
Efficiency d'utilisation de l'eau ( $m^3$  bois fort /  $1000 m^3$  eau évaporée)



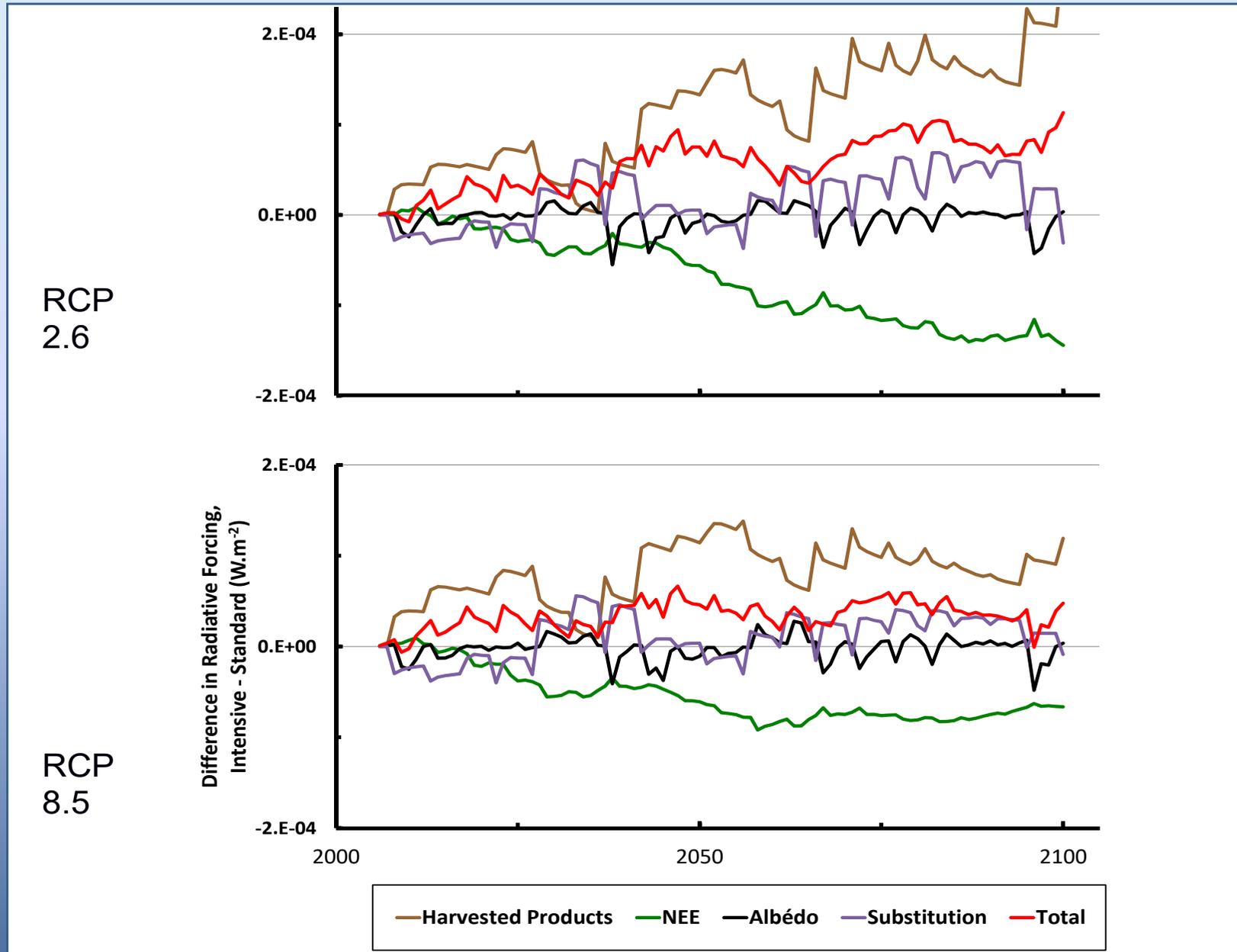
L'efficacité d'utilisation de l'eau des ITK les plus stressés s'écroule

RCP 8.5, RU=75mm

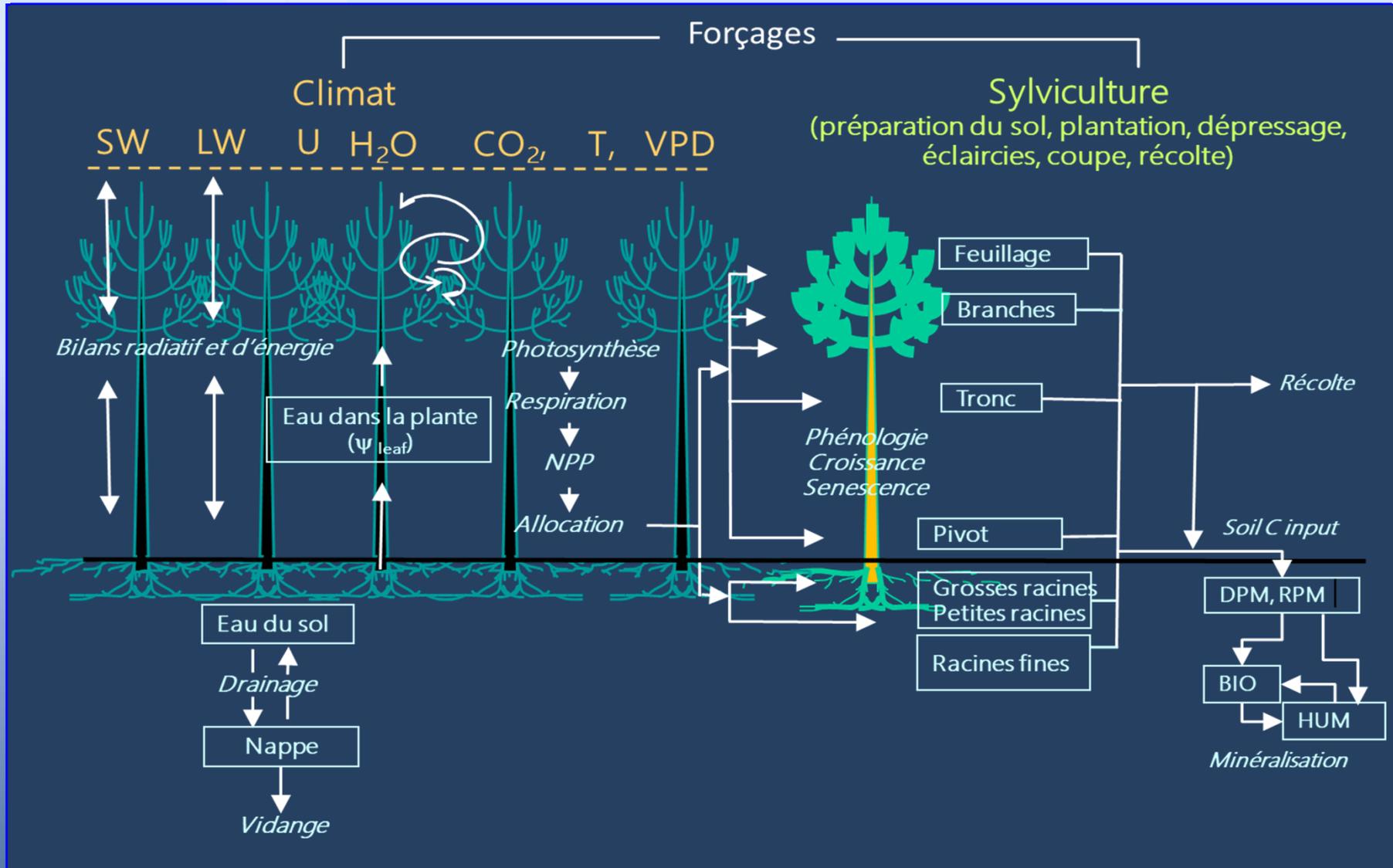
Radiative forcing is negative mainly because of **substitution** effect.



# The overall radiative forcing of standard management is cooler in colder scenarios



# Approche de modélisation mécaniste



4. Analyses de cas: - région

# Contrôle de la température : les sorties d'énergie

Evapotranspiration



Chaleur



CO<sub>2</sub>



Stockage



✓ Variables atmosphériques

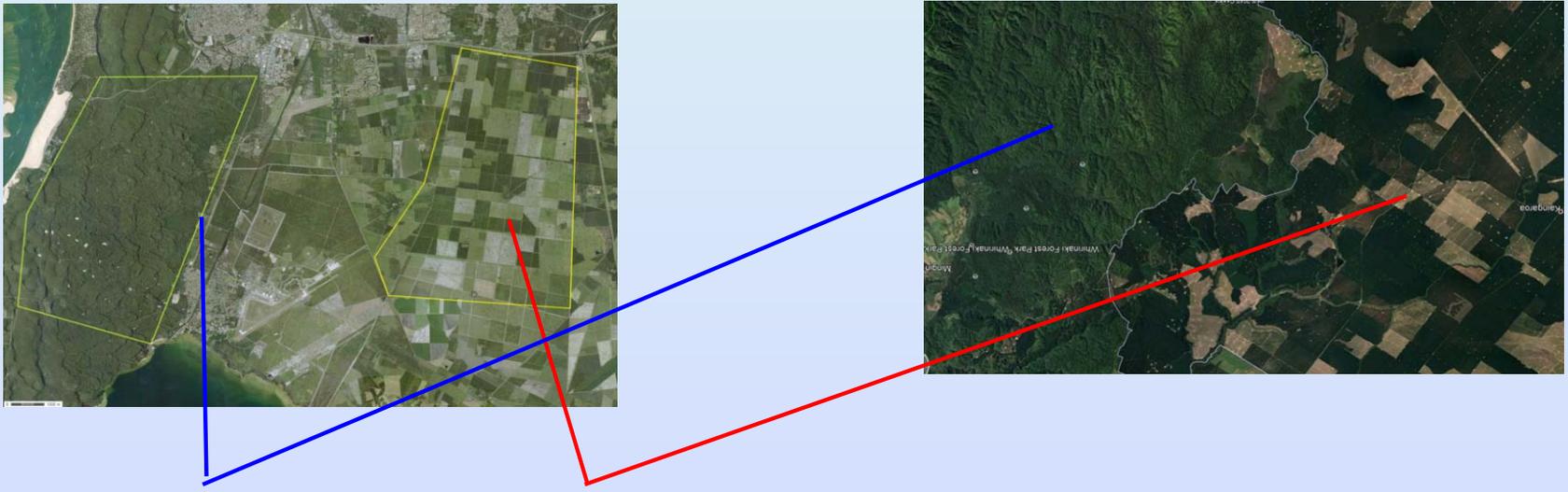
- ✓ Température
- ✓ Pression de vapeur
- ✓ Vent
- ✓ [CO<sub>2</sub>]

✓ Nature et composition du feuillage

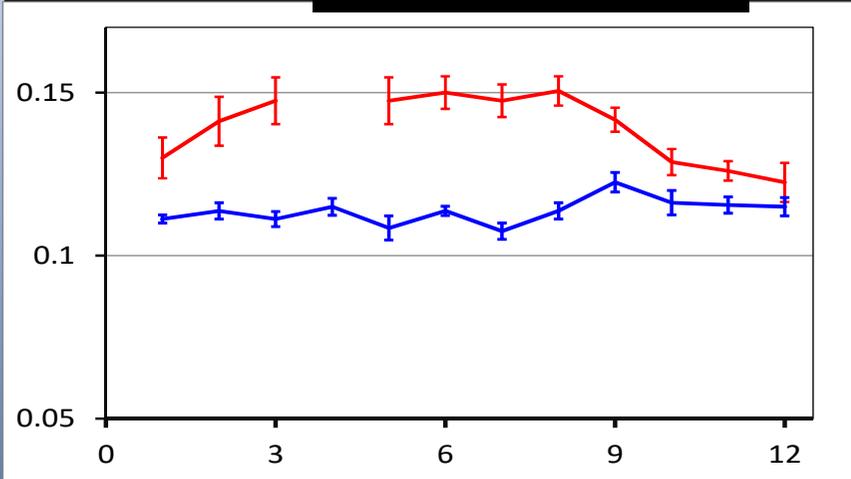
- ✓ Abondance et nature du feuillage
- ✓ Régulation stomatique

✓ Disponibilité de l'eau dans le sol

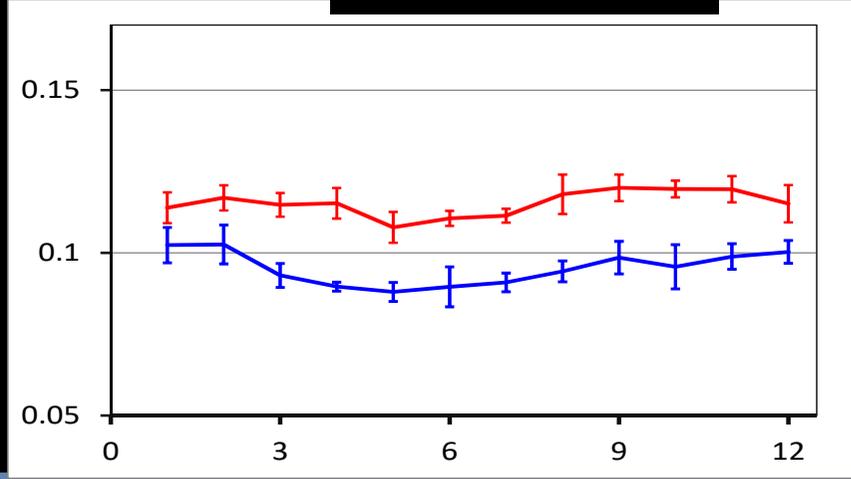
# Impacts de la gestion forestière: ex. l'albedo



— Extensive      — Intensive



SW France  
**COPERNICUS ALBEDO product (AL-BH-BB) from VGT sensor.** 1km / 10-day



N - New Zealand  
**Modis product MCD43A1 Collection 5 shortwave actual albedo** 0.5 km / 8-day

1. Interaction Forêts-Climat

# Le cycle des gaz à effet de serre en forêt: les stocks

Carbon sink and source in biomes	1990–1999	2000–2007	1990–2007
Boreal forest	0.50 ± 0.08	0.50 ± 0.08	0.50 ± 0.08
Temperate forest	0.67 ± 0.08	0.78 ± 0.09	0.72 ± 0.08
Tropical intact forest*	1.33 ± 0.35	1.02 ± 0.47	1.19 ± 0.41
Total sink in global established forests†	2.50 ± 0.36	2.30 ± 0.49	2.41 ± 0.42
Tropical regrowth forest‡	1.57 ± 0.50	1.72 ± 0.54	1.64 ± 0.52
Tropical gross deforestation emission§	-3.03 ± 0.49	-2.82 ± 0.45	-2.94 ± 0.47
Tropical land-use change emission	-1.46 ± 0.70	-1.10 ± 0.70	-1.30 ± 0.70
Global gross forest sink¶	4.07 ± 0.62	4.02 ± 0.73	4.05 ± 0.67
Global net forest sink#	1.04 ± 0.79	1.20 ± 0.85	1.11 ± 0.82

## Equations of global forest C fluxes

$$F_{\text{established forests}} = F_{\text{boreal forests}} + F_{\text{temperate forests}} + F_{\text{tropical intact forests}} \quad (\text{Eq. 1})$$

$$F_{\text{tropical land-use change}} = F_{\text{tropical gross deforestation}} + F_{\text{tropical regrowth forests}} \quad (\text{Eq. 2})$$

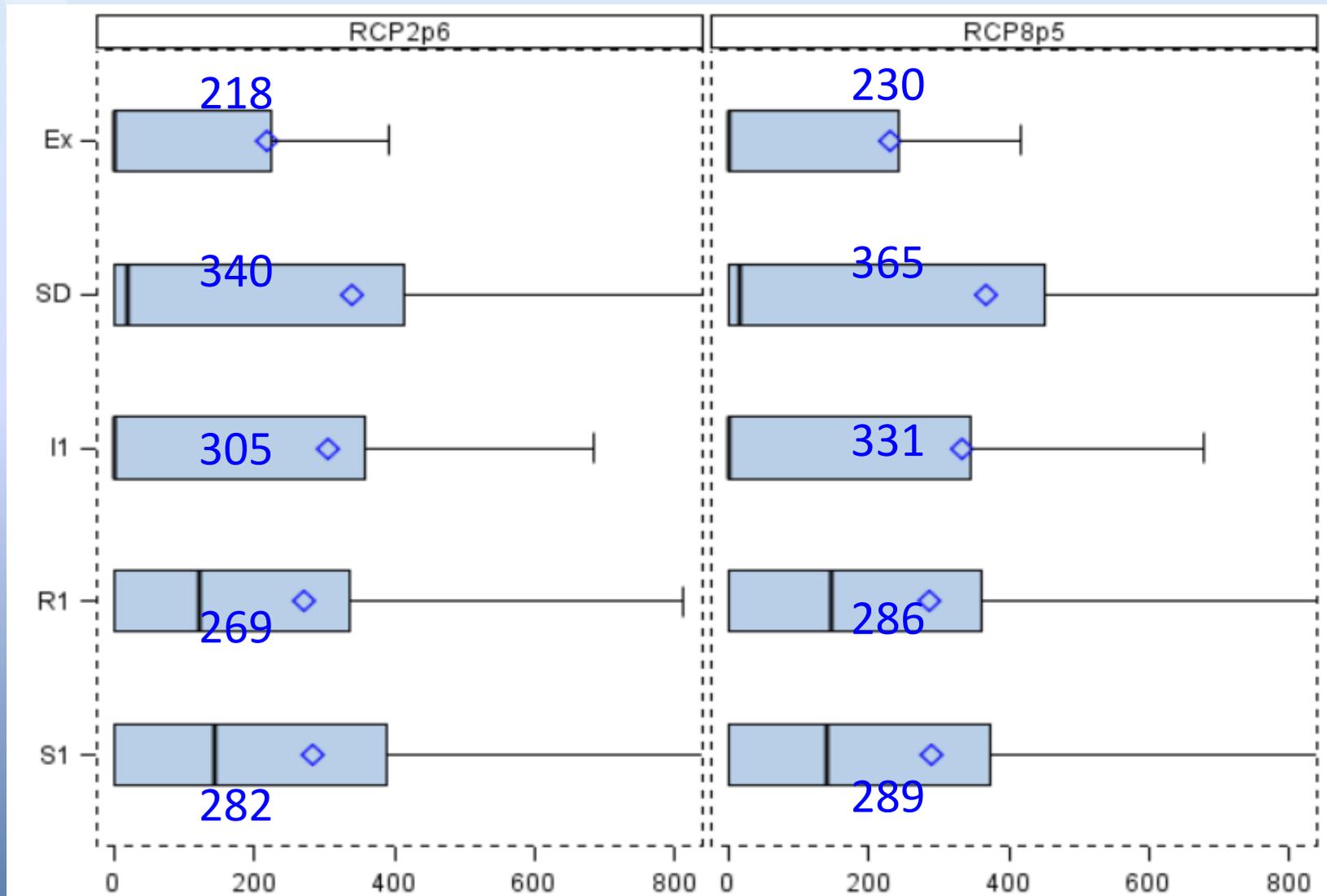
$$F_{\text{gross forest sink}} = F_{\text{established forests}} + F_{\text{tropical regrowth forests}} \quad (\text{Eq. 3})$$

$$F_{\text{net forest sink}} = F_{\text{established forests}} + F_{\text{tropical land-use change}} \quad (\text{Eq. 4})$$

La séquestration de C par les forêts (hors LUC) correspond à 30% des émissions de C fossile

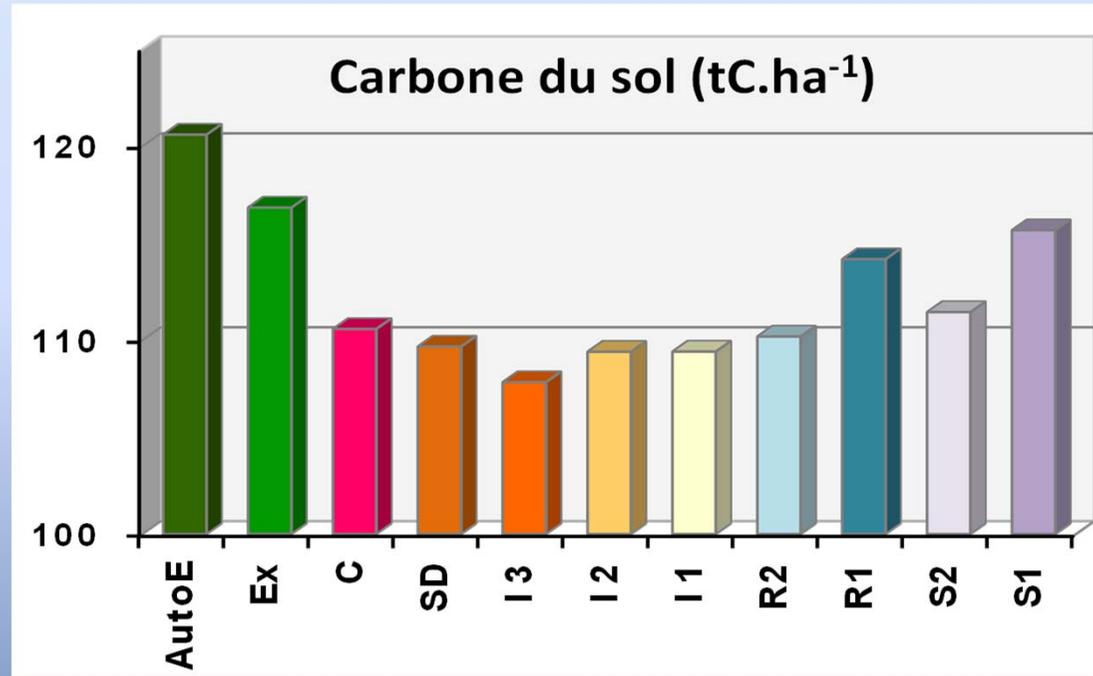
# Production forestière 2000-2100 par ITK selon 2 RCP

Récolte moyenne en biomasse ( $\text{gC.m}^{-2}.\text{an}^{-1}$ )



# Stock de carbone du sol

RCP 8.5  
RU=125 mm  
2000-100  
#6597



# Ecosystèmes continentaux et bilan de carbone planétaire

## The cumulative contributions to the global carbon budget from 1870

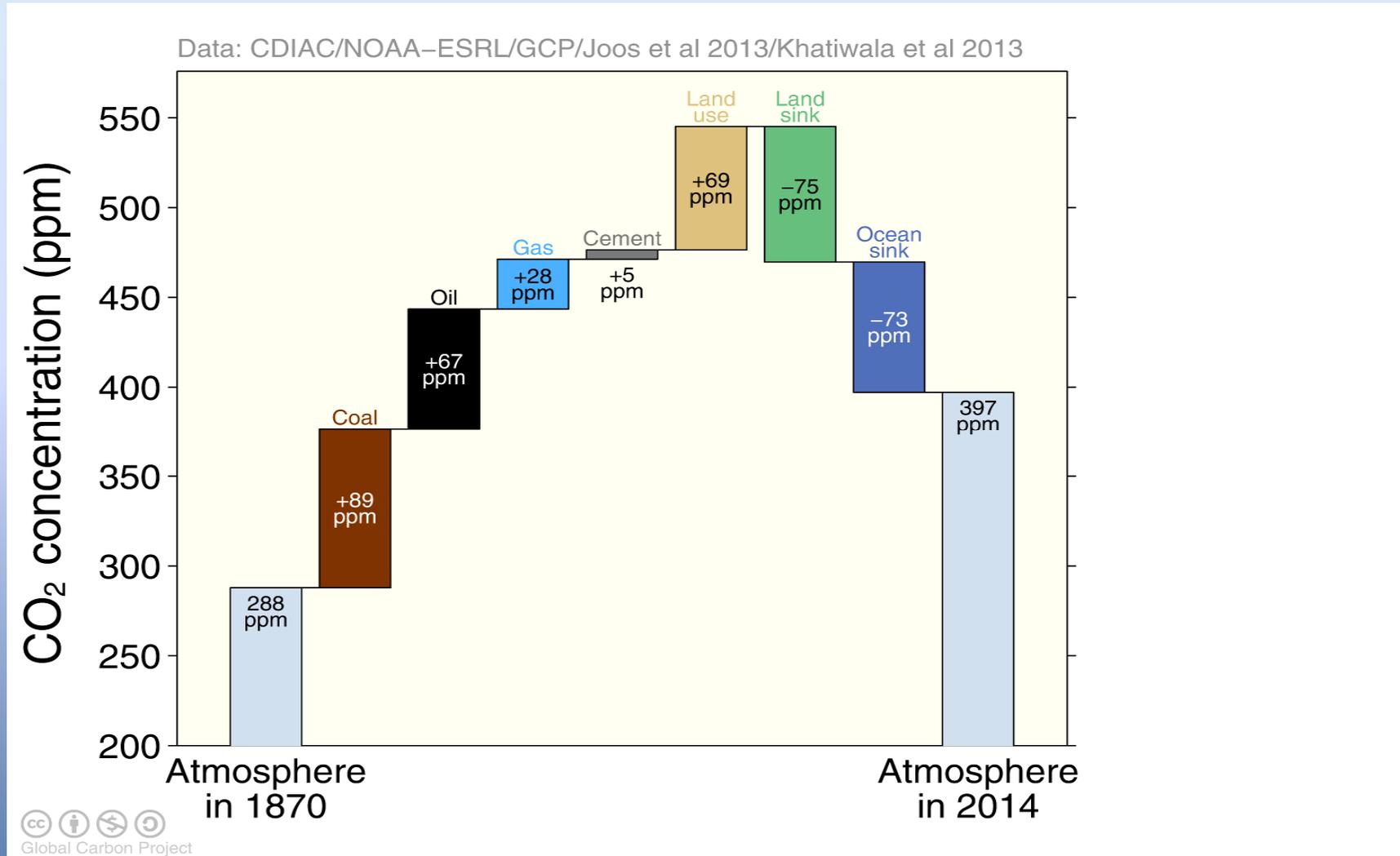
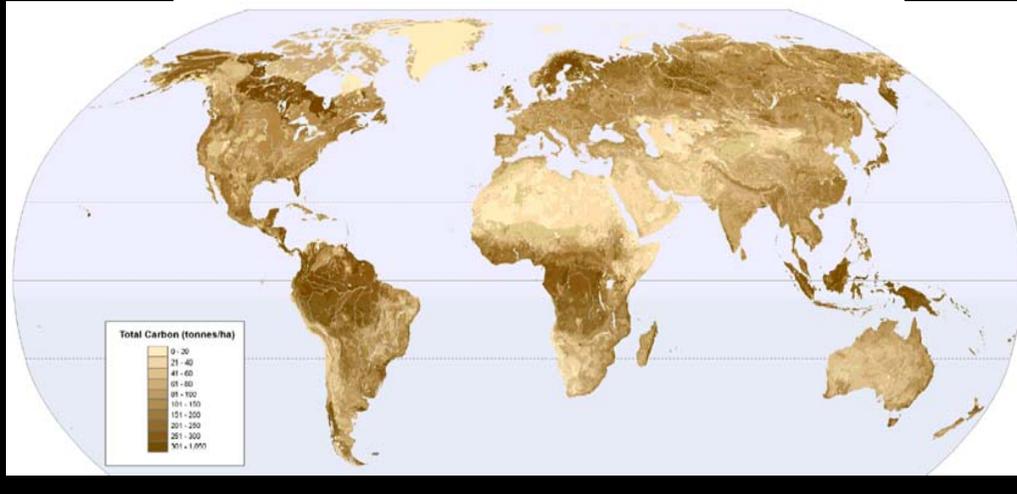


Figure concept from [Shrink That Footprint](#)

Source: [CDIAC](#); [NOAA-ESRL](#); [Houghton et al 2012](#); [Giglio et al 2013](#); [Joos et al 2013](#); [Khatiwala et al 2013](#); [Le Quéré et al 2015](#); [Global Carbon Budget 2015](#)

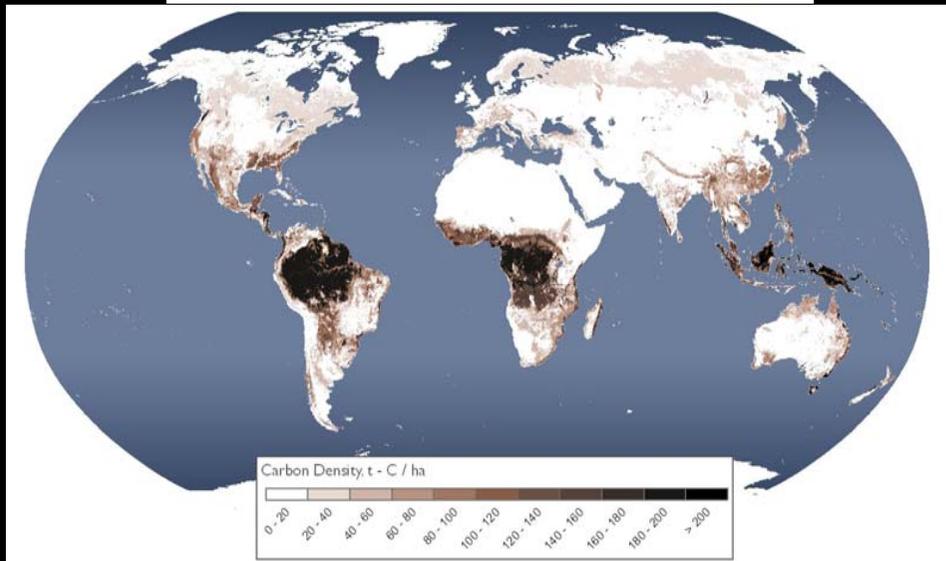
# Les stocks de carbone continentaux (hors roches séd.)

## Densité en carbone - sol



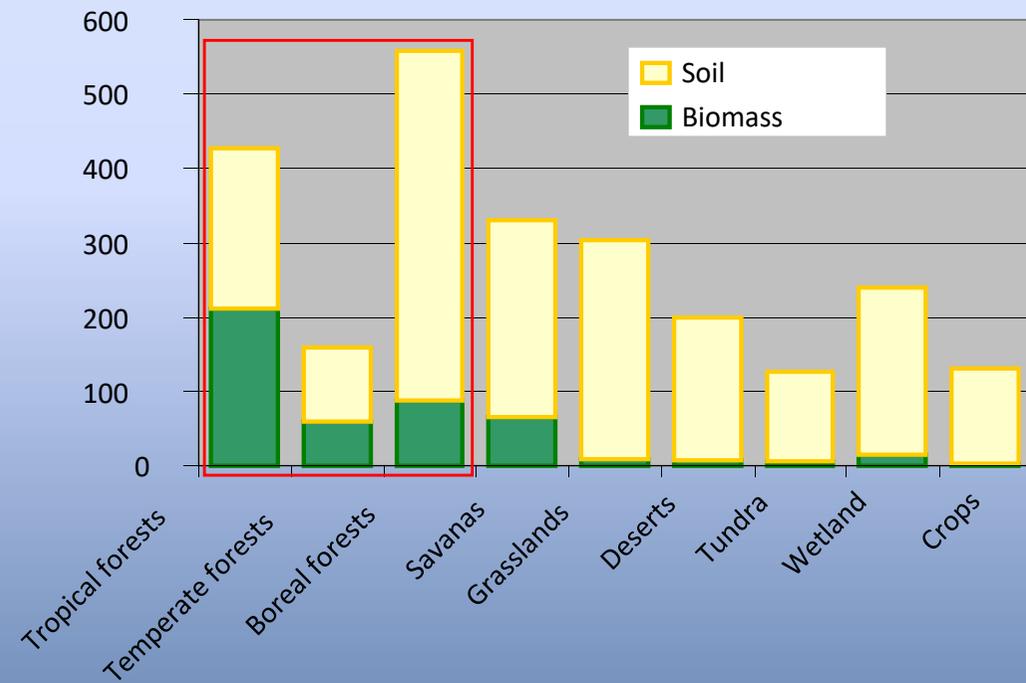
Scharlemann, J., Hiederer, R., Kapos, V. (2009). *UNEP-WCMC & EU-JRC*, Cambridge, UK.

## Densité en biomasse

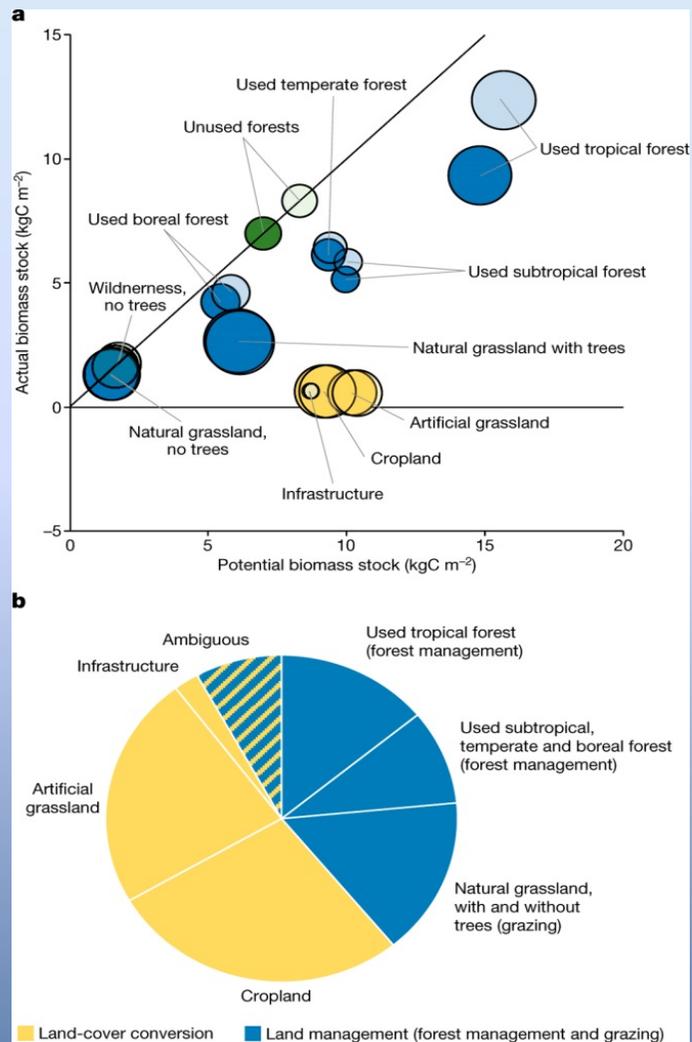


Ruesch, et al. 2008. *New IPCC Tier-1 Global Biomass Carbon Map For the Year 2000*.

## Stock en Gt C



## Contribution of land-use types to the difference between potential and actual biomass stocks

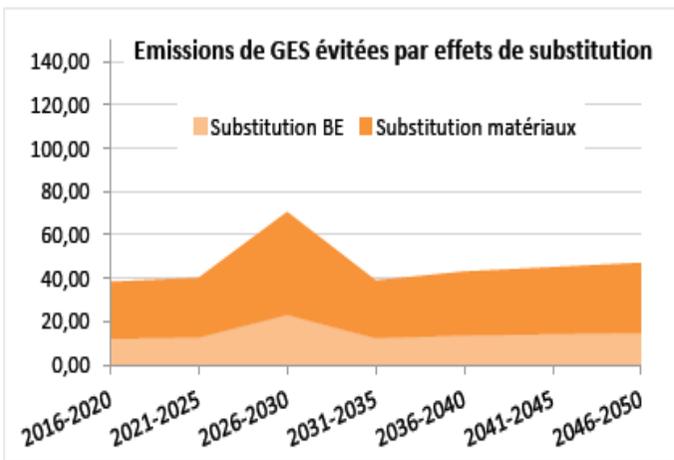
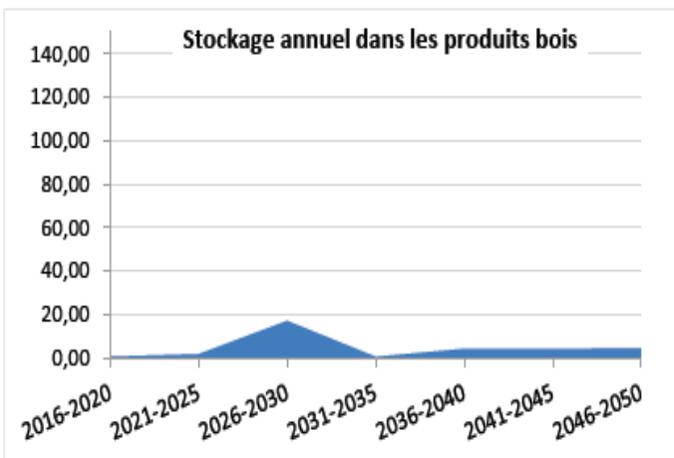
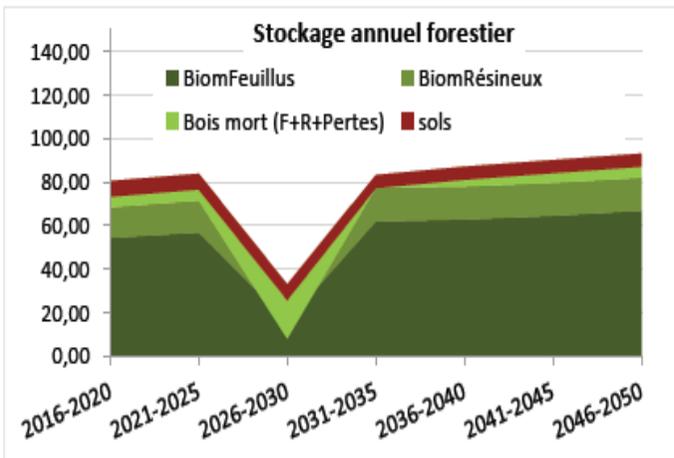


K-H Erb *et al.* *Nature* **553**, 73–76 (2018) doi:10.1038/nature25138

## Déroulé d'une crise

Ex. : Crise Tempête-scolytes-incendies survenant en 2026-30, ss Climat actuel & « *Dynamiques territoriales* »)

- 324 Mm<sup>3</sup> de dégâts
- 70 % de la surmortalité récupérée en produits



- **Écosystème : dynamique antérieure rétablie dès 2036**
- **Déficit *in situ* compensé par stockage produits & d'émissions évitées**
- **Mais, réalisme économique et social des hypothèses ?**



# 04 Conclusions et limites de l'étude

## Des résultats forts ...

- ❖ **Filière forêt-bois acteur de 1<sup>er</sup> plan pour le PNBC:** 80 à 130 MtCO<sub>2</sub>eq/an
- ❖ **Tendance** maintenue jusqu'à 2050 avec légère augmentation potentielle, quel que soit le scénario de gestion retenu
- ❖ **Compensation entre Stockage dans écosystème et Substitution** Difficulté de mise en œuvre économique scénario « *Intensification* »
  - Modification comportements acteurs de filière : consommateurs et structures industrielles
- ❖ **Le stockage en forêt est vulnérable :**
  - Aggravation du Changt Climatique ou de ses effets (-30 % avec RCP 8.5)
  - Crises majeures notamment biotiques
- ❖ **La préservation du puits en CO<sub>2</sub> en cas de crise repose sur** la capacité de filière à absorber le bois « à sortir »

# Incertitudes de nature diverse

## ❖ Incertitudes réductibles par amélioration modèles et/ou recherche :

- **Mécanisme de croissance à long terme des forêts françaises**
- Variabilité des **coefficients de substitution actuels**
- **Effets du climat** sur croissance forêts tempérées
- **Prise en compte du comportement des acteurs**

## ❖ Incertitudes

- **Coefficients de substitution**
- **Evolution de la demande** (préférences pour produits-bois et type de produits)
- **Evolution des structures industrielles** de transformation
- **Trajectoire(s) climatique(s)**

## ❖ Incertitudes sur aléas et crises majeures :

- Fréquence et ampleur des crises
- Capacités à préparer/absorber les crises (industries, forestiers) : logistique, assurance, mutualisation ?

## ❖ Disponibles en ligne :

- **Rapport** (102 p.) & Annexes (14 annexes techniques, 234 p.)
- **Résumé** (8-pages, FR & EN)
- **Vidéos** (2:14 intro & résultats, 0:58 table-ronde, 0:23 conclusions, FR + doublage EN)

**Sites INRA** : <http://institut.inra.fr/Missions/Eclairer-les-decisions/Etudes/Toutes-les-actualites/Forets-filiere-foret-bois-francaises-et-attenuation-du-changement-climatique>

**Site IGN** : <https://inventaire-forestier.ign.fr/spip.php?article876>



**04**

**Merci de votre attention !**

**Roux A., Dhôte J.-F. (Coordinateurs),**

**Achat D., Bastick C., Colin A., Bailly A., Bastien J.-C.,  
Berthelot A., Bréda N., Cauria S., Carnus J.-M., Gardiner  
B., Jactel H., Leban J.-M., Lobianco A., Loustau D.,  
Meredieu C., Marçais B., Martel S., Moisy C., Pâques L.,  
Picart-Deshors D., Rigolot E., Saint-André L., Schmitt B.**

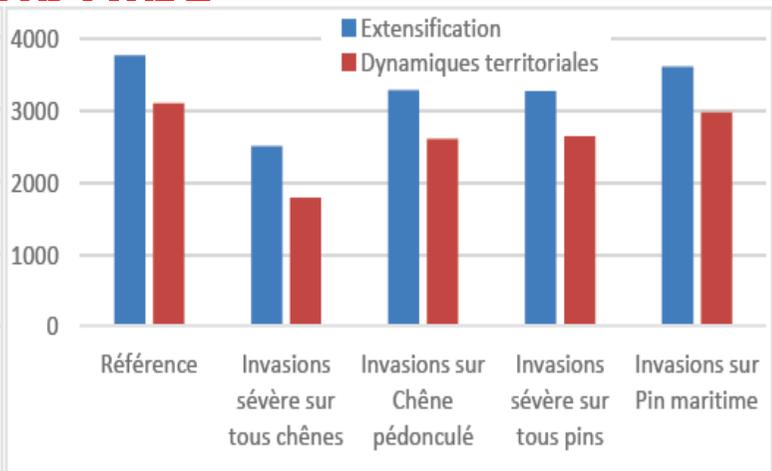
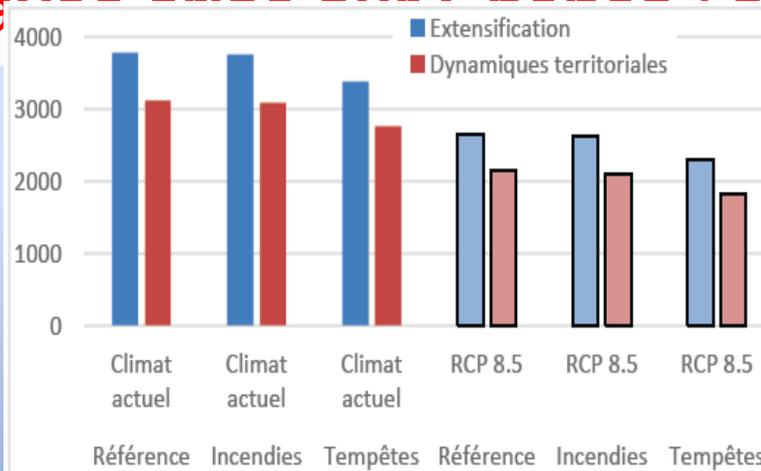


## Supports supplémentaires

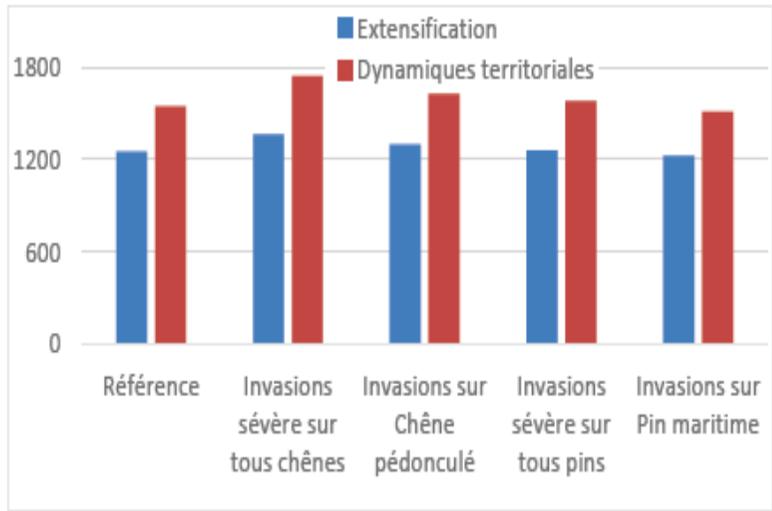
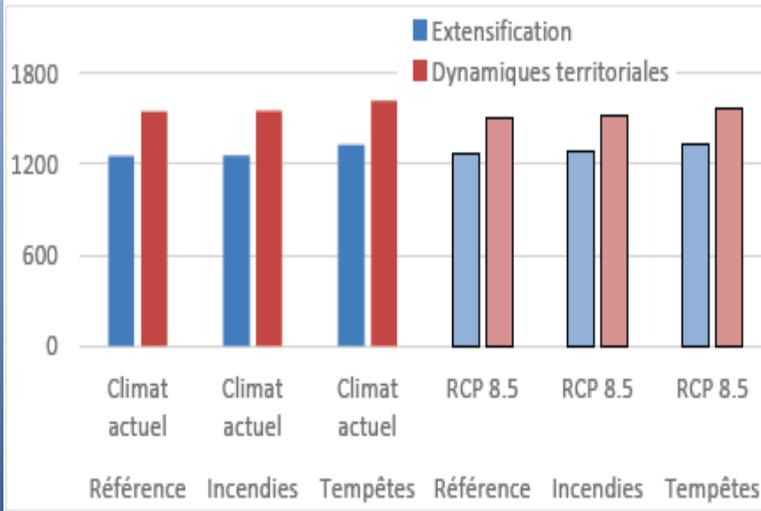
# Bilans CO<sub>2</sub> cumulés (2016-2050) pour scénarios « Extensification » & « Dynamiques territoriales »

- Effets Forts sur stockage écosystème vs Faibles sur émissions évitées
- Chute conséquente en RCP 8.5 / climat actuel, aggravée avec Tempêtes
- Effondrement avec crises sur Chêne / Pin D...

Stockage C cumulé 2016-50 (MtCO<sub>2</sub> eq)



Émissions GES évitées cumuls 2016-50 (MtCO<sub>2</sub> eq)



# Analyse économique

- ❖ **Les objectifs du scénario « Intensification » seraient économiquement impossibles à atteindre sans modification des structures de production, de transformation et de consommation**  
→ nouveaux usages du bois
- ❖ Comparativement au scénario « *Extensification* », **le scénario « *Intensification* » se traduit en un gain de surplus pour les agents économiques de la filière**
- ❖ **Affiner l'analyse ⇒ Modéliser les impacts de l'investissement dans la filière** (gains de productivité endogènes ; économies d'échelle ; capacités industrielles) **et les comportements des consommateurs** (incitations non-monétaires, élasticités de long terme)

# Les déterminants du climat:

## 3. Les interactions surface atmosphère

### 3.1.

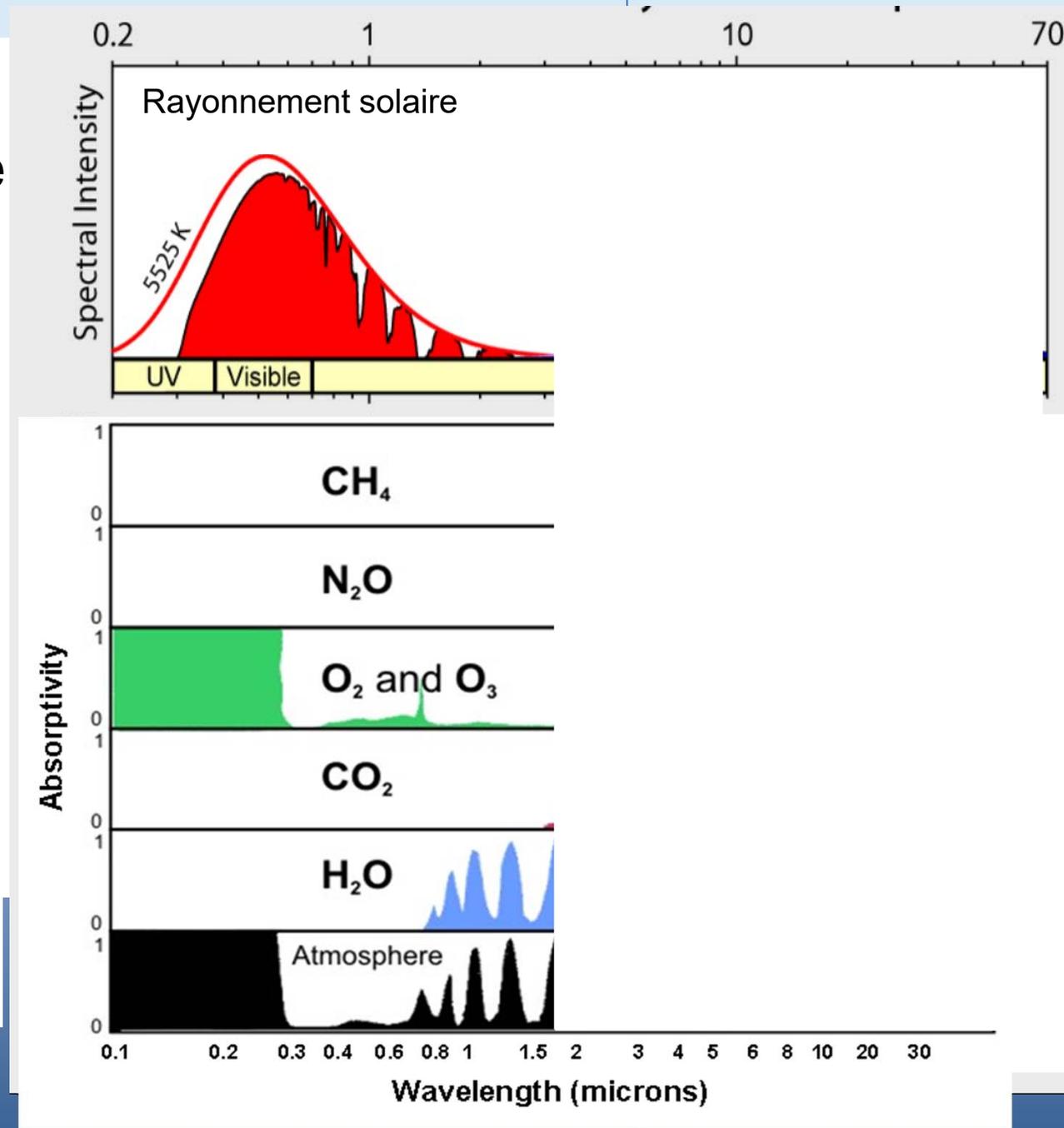
#### L'effet de serre atmosphérique

1. La température d'un objet détermine son spectre d'émission (Wien) et la quantité d'énergie émise (Stefan-Boltzmann).

2. Le rayonnement solaire (5600 °K) traverse l'atmosphère (70% transmis)

3. La surface de la terre (300 °K) émet un rayonnement IR lointain dont 70% est absorbé par l'atmosphère.

**C'est l'effet de serre atmosphérique**



# Les déterminants du climat:

## 3. Les interactions surface atmosphère

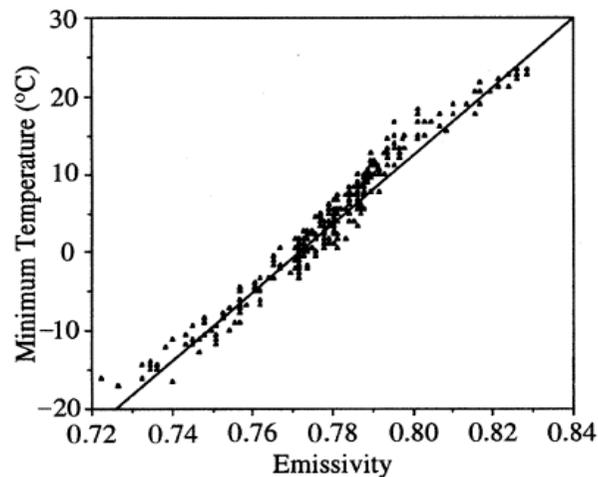
### 3.2. Rôle du cycle de l'eau

1<sup>st</sup> Feed back +:

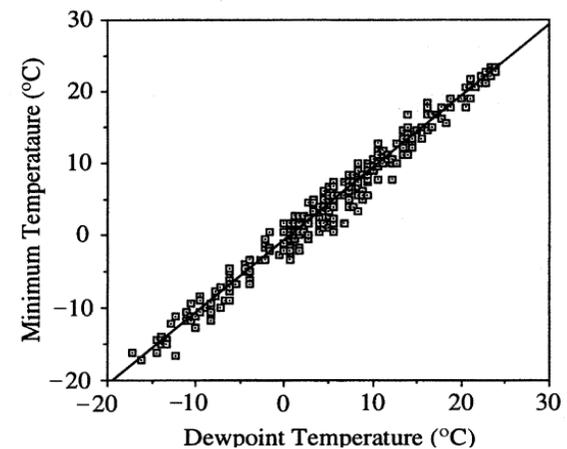
ETR → air humidity ↑ → LW radiation ↑ → T min ↑

2<sup>nd</sup> Feed back +

ETR → air humidity ↑ → dew point T ↑ → Latent heat for condensation ↑ & Tmin ↑



Correlation between atmospheric emissivity and min. Temperature for 222 stations in N Americ.



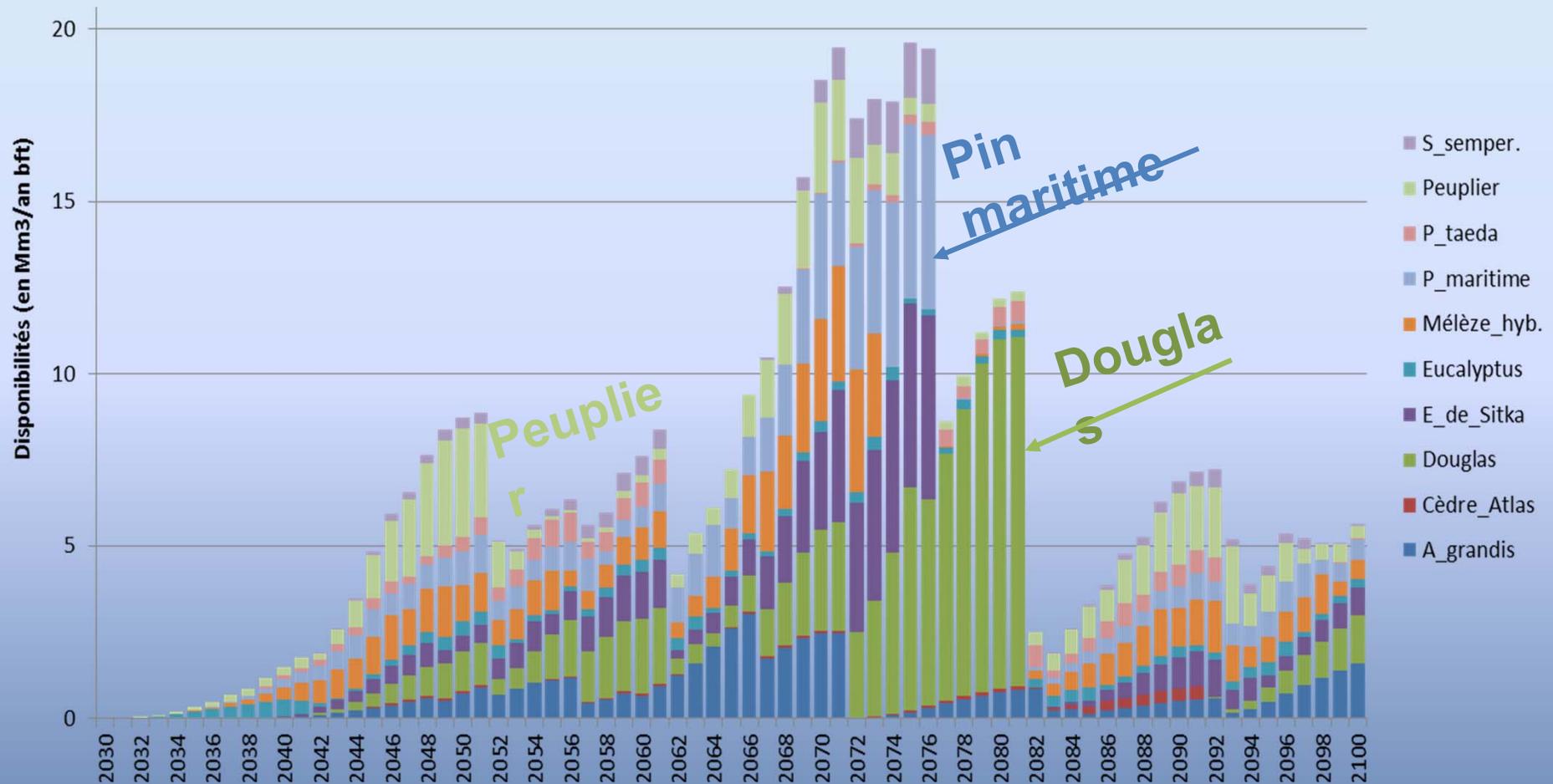
Corrélation between dew point temperature and min Temperature for 222 met. stations .

# Les déterminants du climat:

## 3. Les interactions surface atmosphère



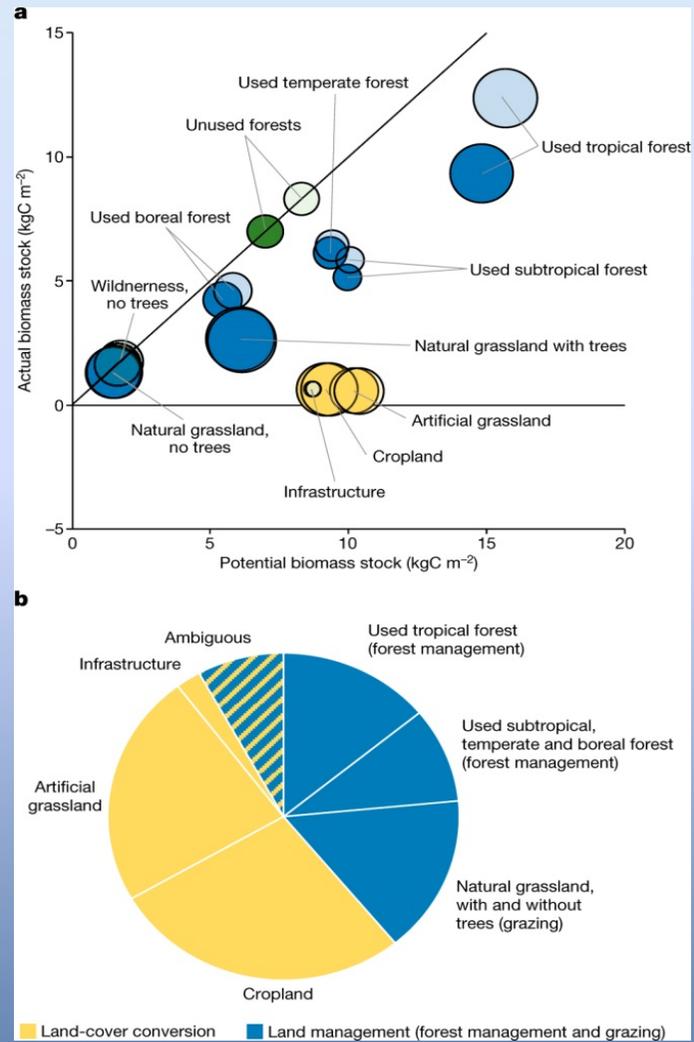
# Impact du plan de reboisement (scénario 3)



## Pic en 2070-80:

Le plan de reboisement proposé ne prend son sens qu'à échéance de 50 ou 60 ans.

# Contribution of land-use types to the difference between potential and actual biomass stocks



K-H Erb *et al. Nature* **553**, 73–76 (2018) doi:10.1038/nature25138