

STOCKAGE DE CARBONE EN FORÊT EUROPÉENNE : *PROCESSUS ET BILANS*

Bernard Longdoz

Professeur à ULiège (Belgique)

TERRA Research and
Teaching Center



Académie d'Agriculture de France

29/01/2019



Plan

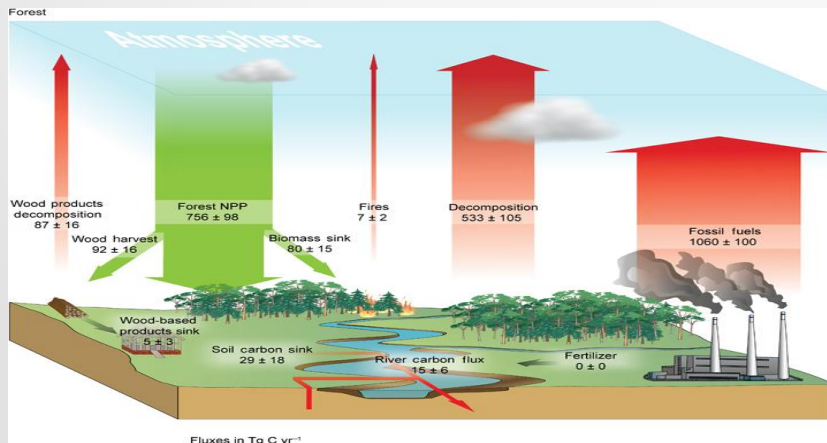
1. Introduction Forêt/Changement Climatique (CC)/Cycle du carbone



2. Flux de CO₂ en forêt

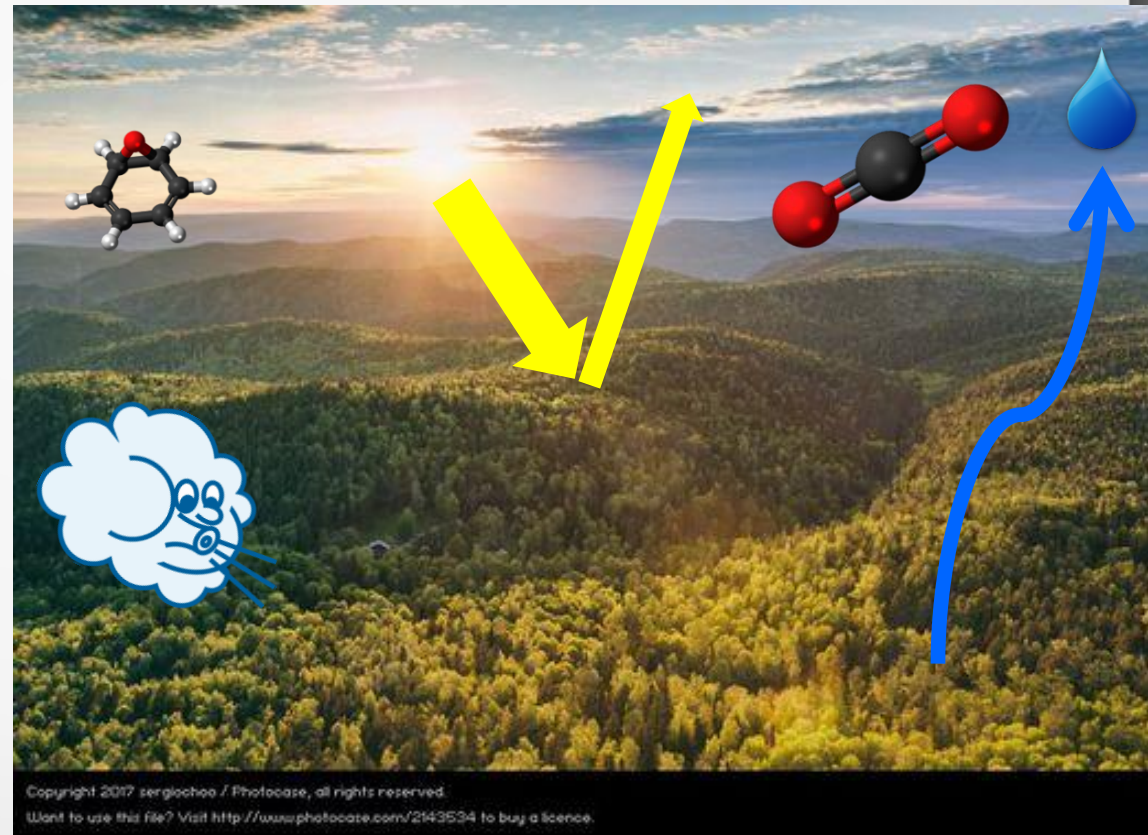


3. Bilan actuel et futur carbone en forêts européennes

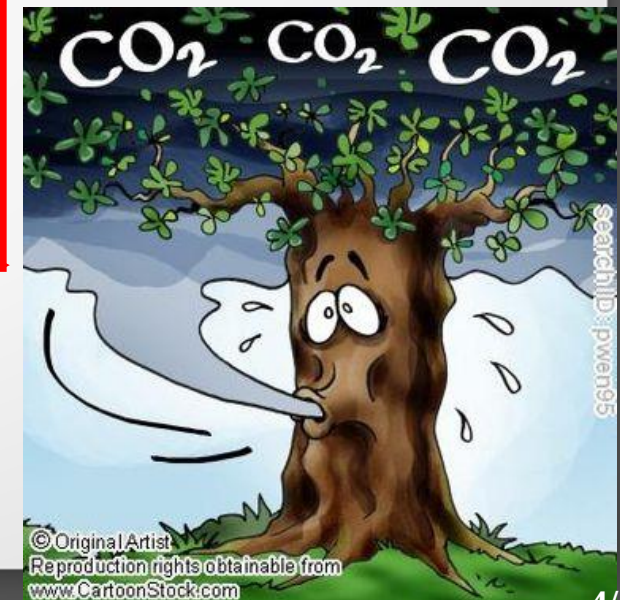
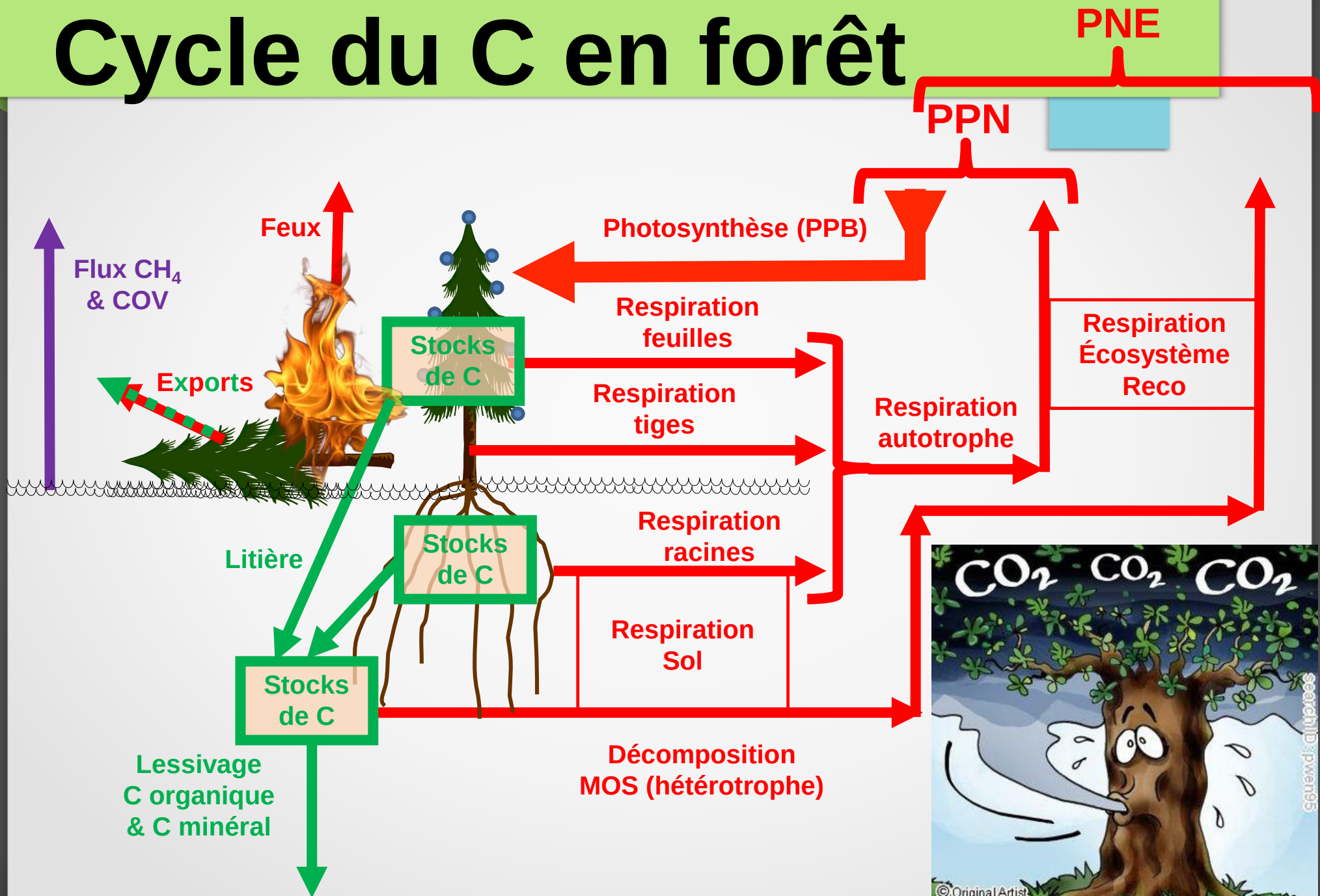


Rôle de la forêt par rapport au CC

- Absorption et stockage du carbone
- Atténuation de la vitesse du vent (friction, transfert de quantité de mouvement)
- Réflexion du rayonnement solaire (albédo feuillus/conifères/culture)
- Émission/absorption de gaz réactifs (O₃, COV...)
- Evapotranspiration (nuages et chaleur latente)
- Émissivité dans les infrarouges lointains (thermiques)



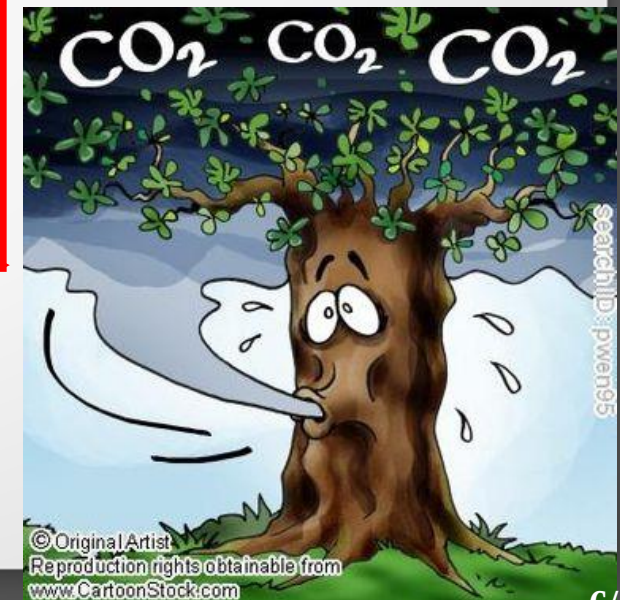
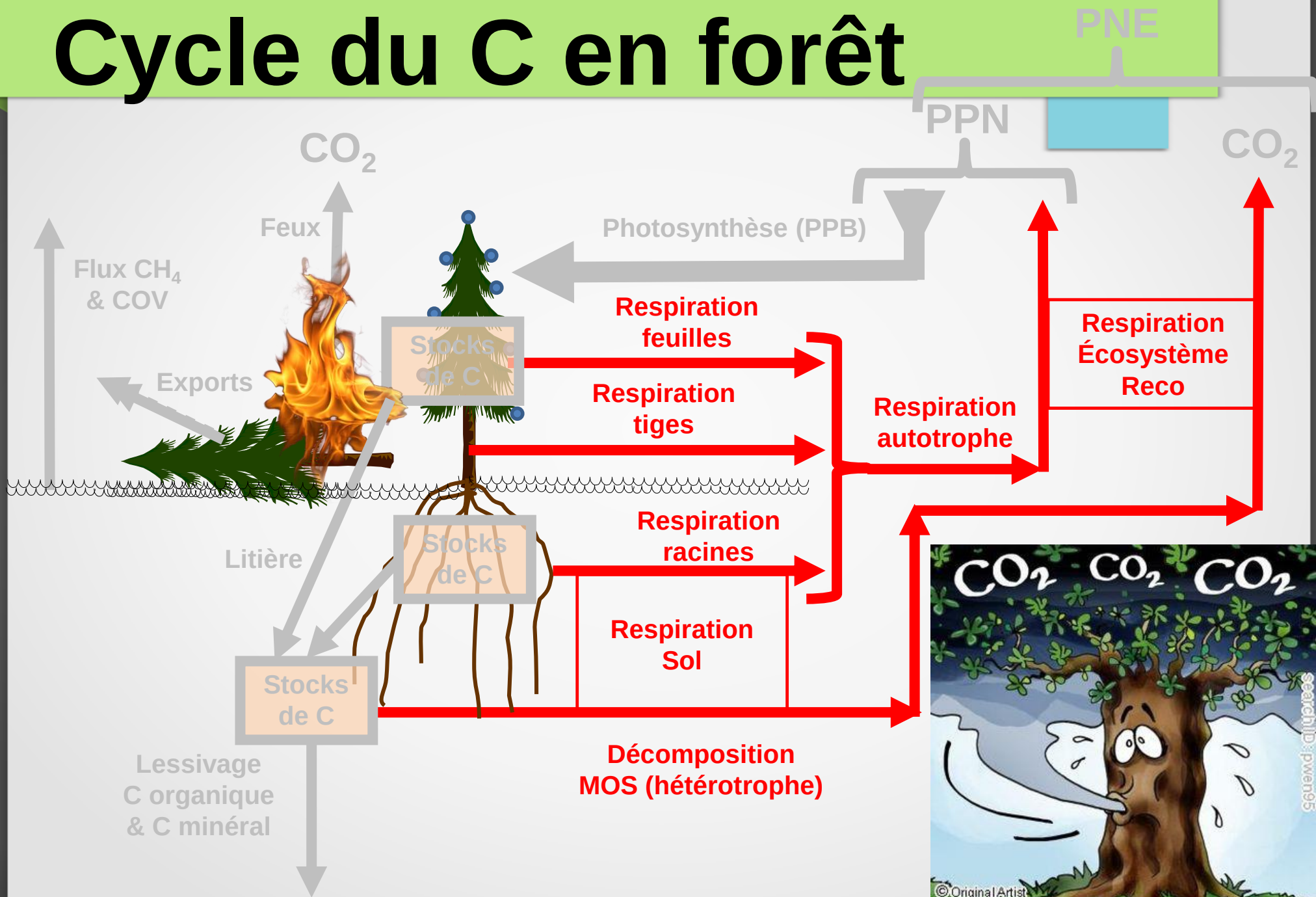
Cycle du C en forêt



Méthodologie

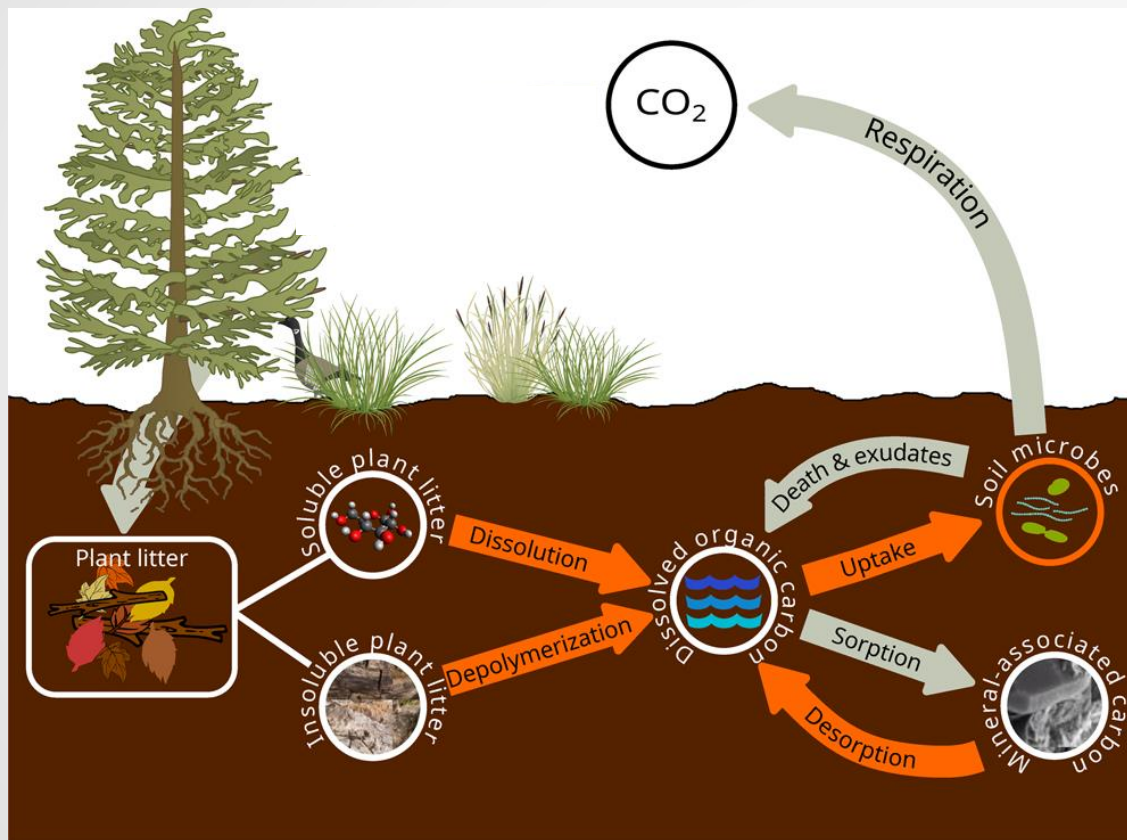
- Etablissement du **bilan** et **prévisions** par modèles (ORCHIDEE) calibrés (données) capable d'estimation à grande échelle spatiale
 - Modèles incluant:
 - ✓ processus cycle C (et associé), croissance, opérations sylvicoles
 - ✓ résolution temporelle élevée pour certains processus (déterminants variables et influence non linéaire)
 - Modèles nécessitant :
 - ✓ Informations spatialisées (cartes) : climat, sol-espèce, type de gestion,...
 - ✓ Calibration/validation par comparaison avec mesures de flux (CO₂,...), inventaires (biomasse, sol,...), données exploitation
- ⇒ **Besoin de mesures des flux (CO₂) et d'inventaires sur grande variété de situations avec fréquence élevée et sur longues périodes**

Cycle du C en forêt



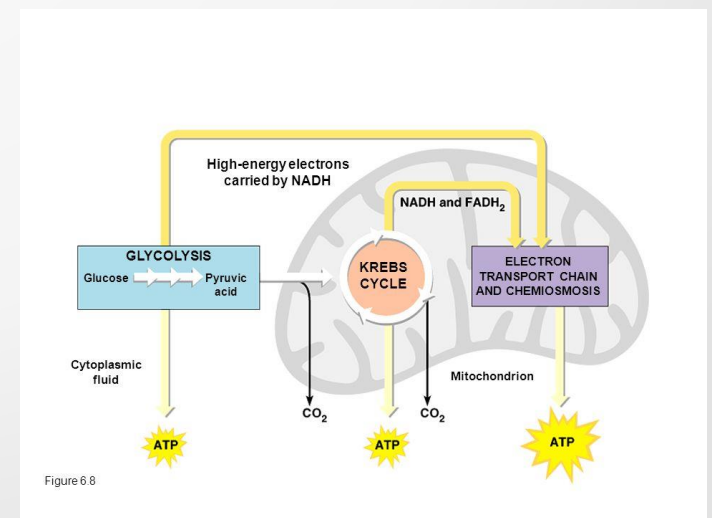
Respiration écosystème

- Processus Reco



- ✓ Production par décomposition du C organique du sol par microorganismes

- ✓ Respiration cellulaire de croissance et de maintenance des racines-feuilles-tiges



Respiration écosystème

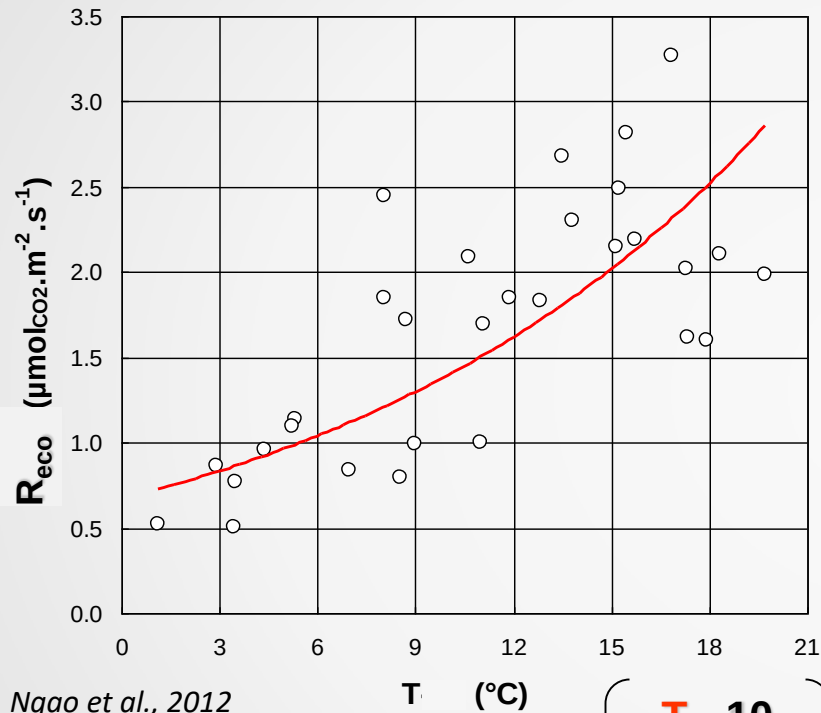
- **Mesure de Reco**

- ✓ Méthode des Covariances de Turbulence (CT) = Mesure de la vitesse verticale et de [CO₂] à 20Hz à l'interface forêt-atmosphère $\Rightarrow$ PNE_{mes}
- ✓ 1 PNE_{mes} chaque demi-heure (24h/24h)
- ✓ $PNE_{mes} = \text{Photosynthèse} + \text{Reco}$
Nuits
- ✓ Réseau européen « ICOS écosystème » (20 forêts)



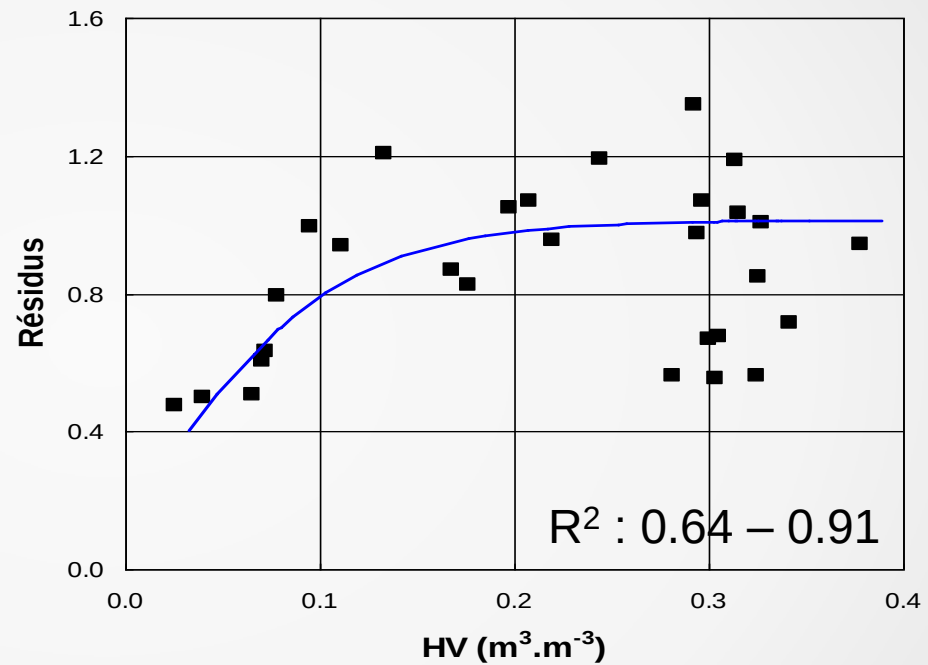
Déterminants Respi. écosystème

• Température :



$$R_{eco} = R_{10} * Q_{10}^{\left(\frac{T - 10}{10} \right)}$$

• Contenu en eau du sol

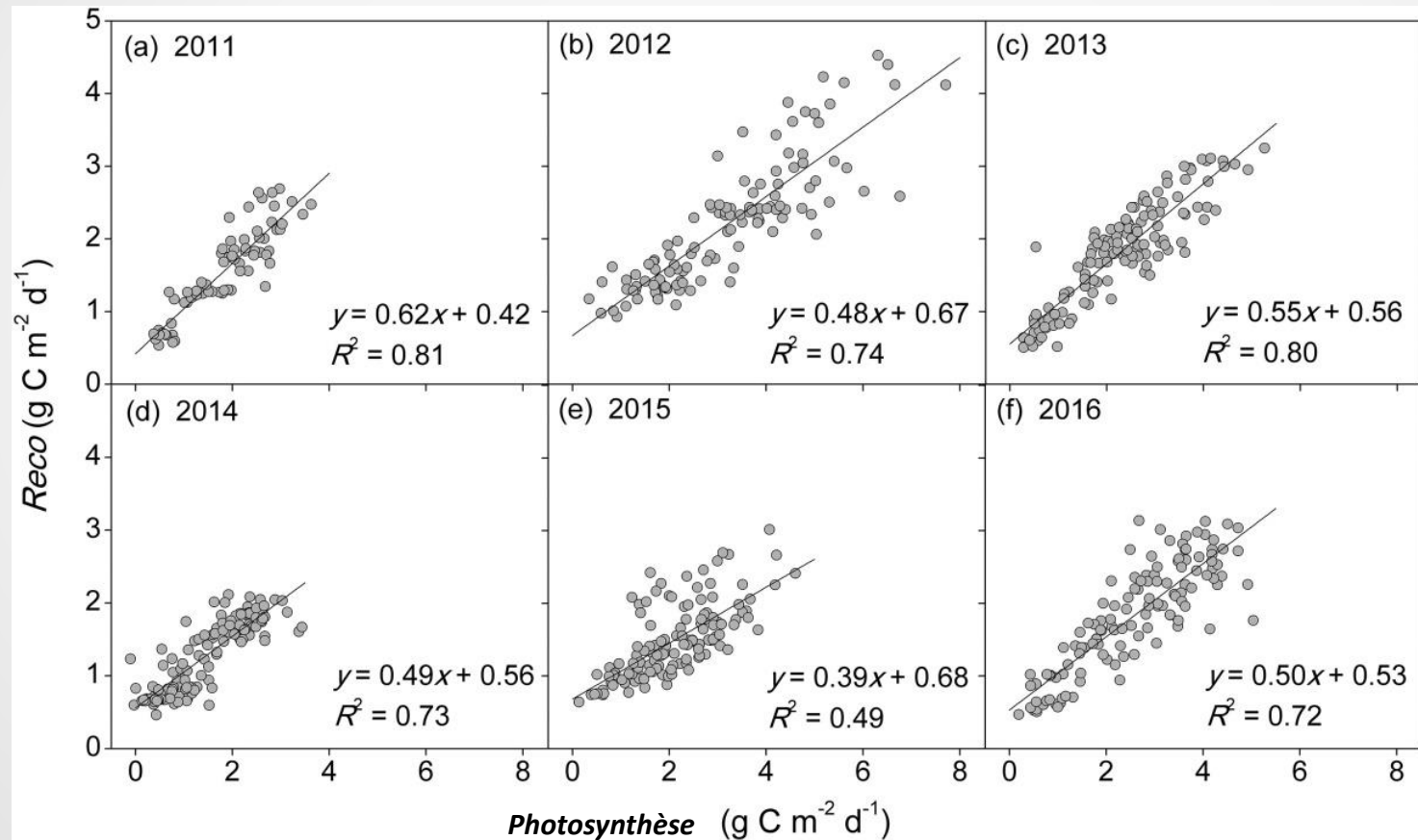


$$\frac{1}{1 + \exp[-k(HV - HV^*)]}$$

- ✓ Activité microbienne et cellulaire intensifiée par une $\nearrow$ de la t°
- ✓ Sécheresse du sol $\searrow$ solubilité et accessibilité du C pour μ organismes

Déterminants Respi. écosystème

- Dépendance vis-à-vis de l'activité photosynthétique

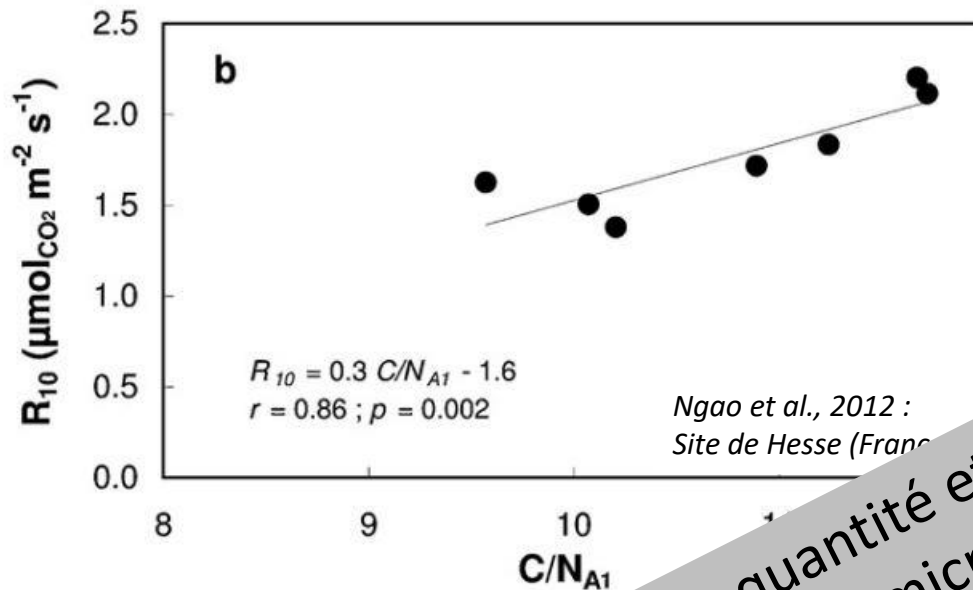


Luan et al., 2018

- ✓ Consommation des carbohydrates produits quelques jours avant...

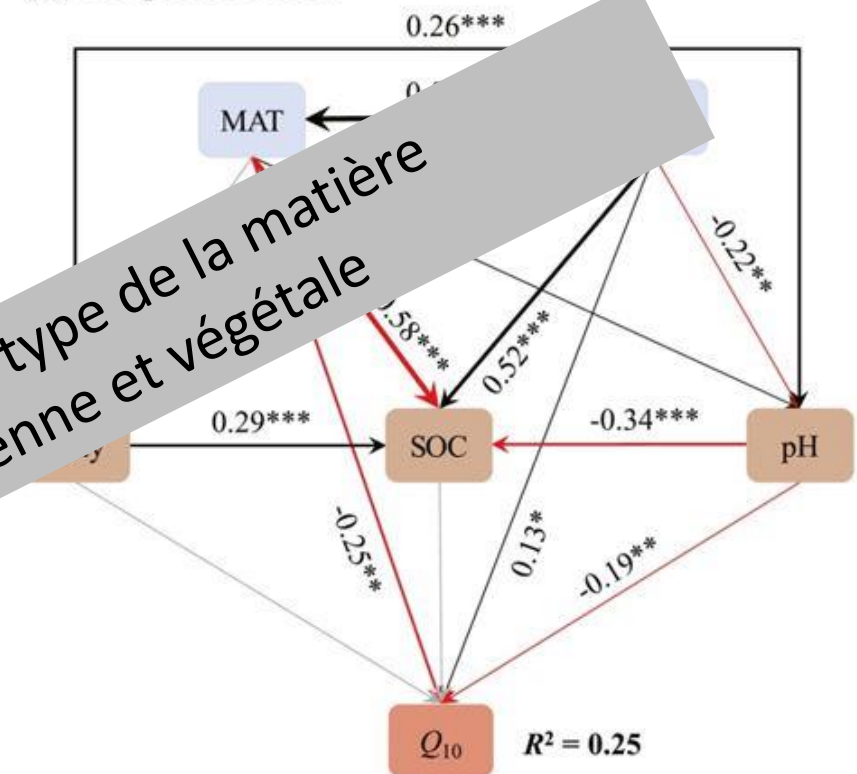
Déterminants Respi. écosystème

- Caractéristiques du couvert/sol, type de climat et management :



(c) Temperate forests

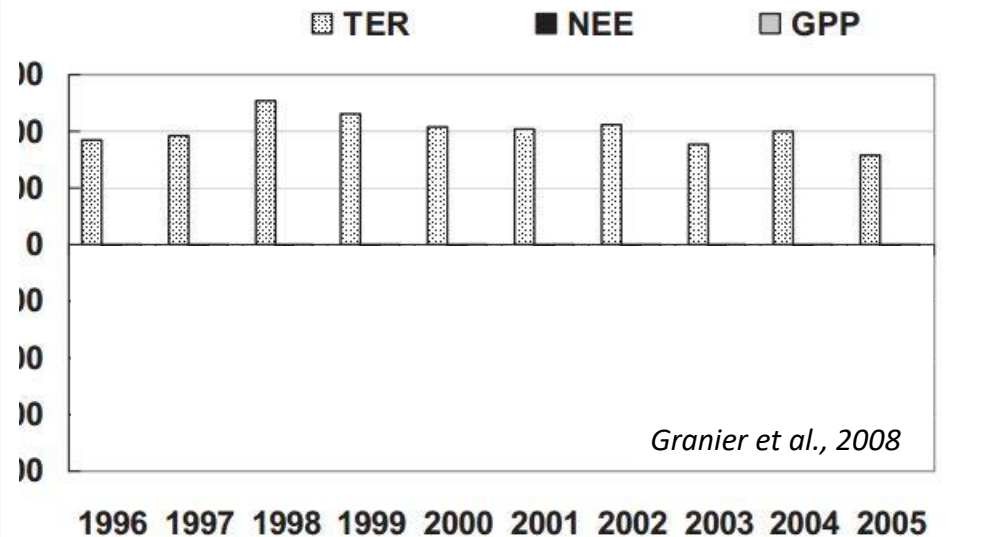
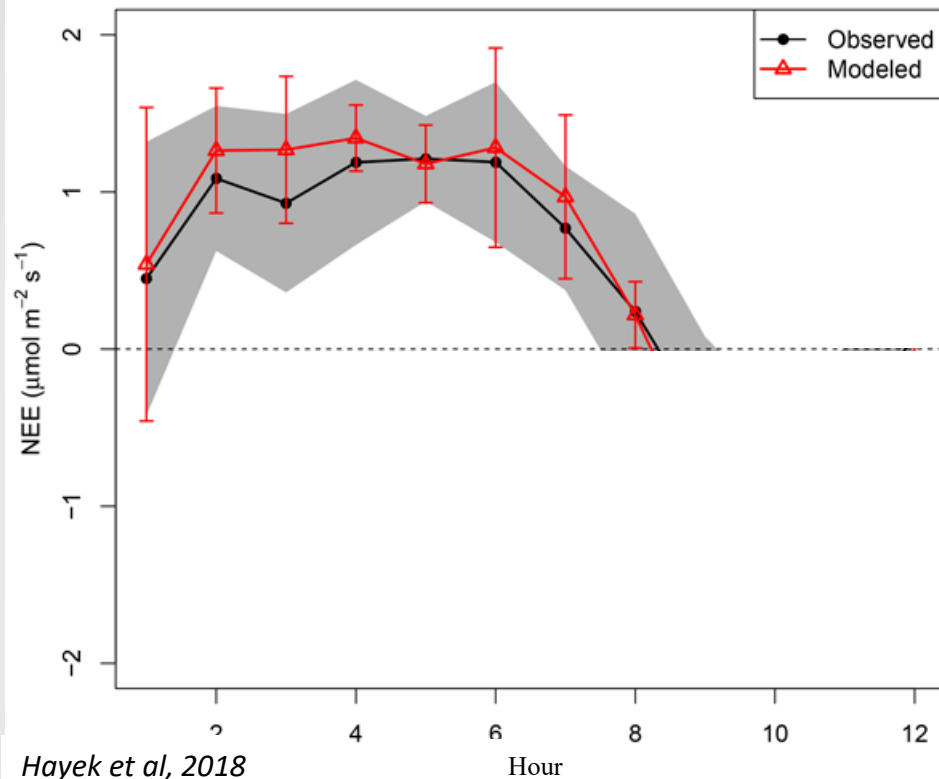
Li et al., 2020 > 250 sites



- WTH = whole-tree harvest
- 20SR = 20% slash retained
- SOH = stem-only harvest
- Control = unharvested

$\chi^2 = 0.221, P = 0.639, GFI = 1.000, RMSEA < 0.001$

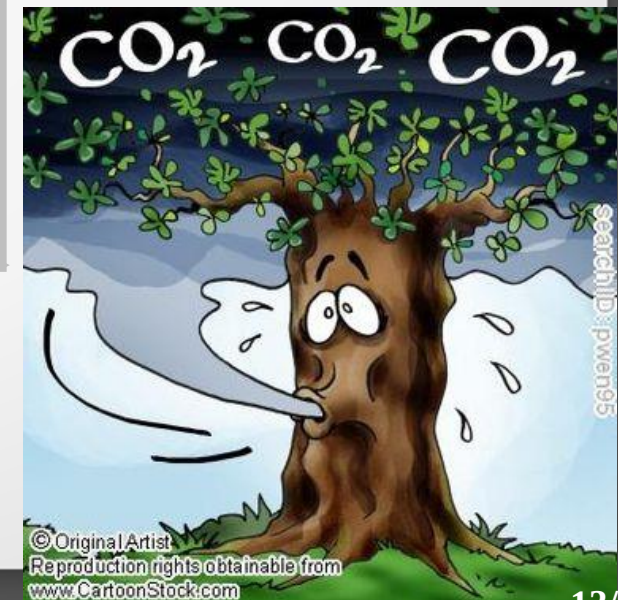
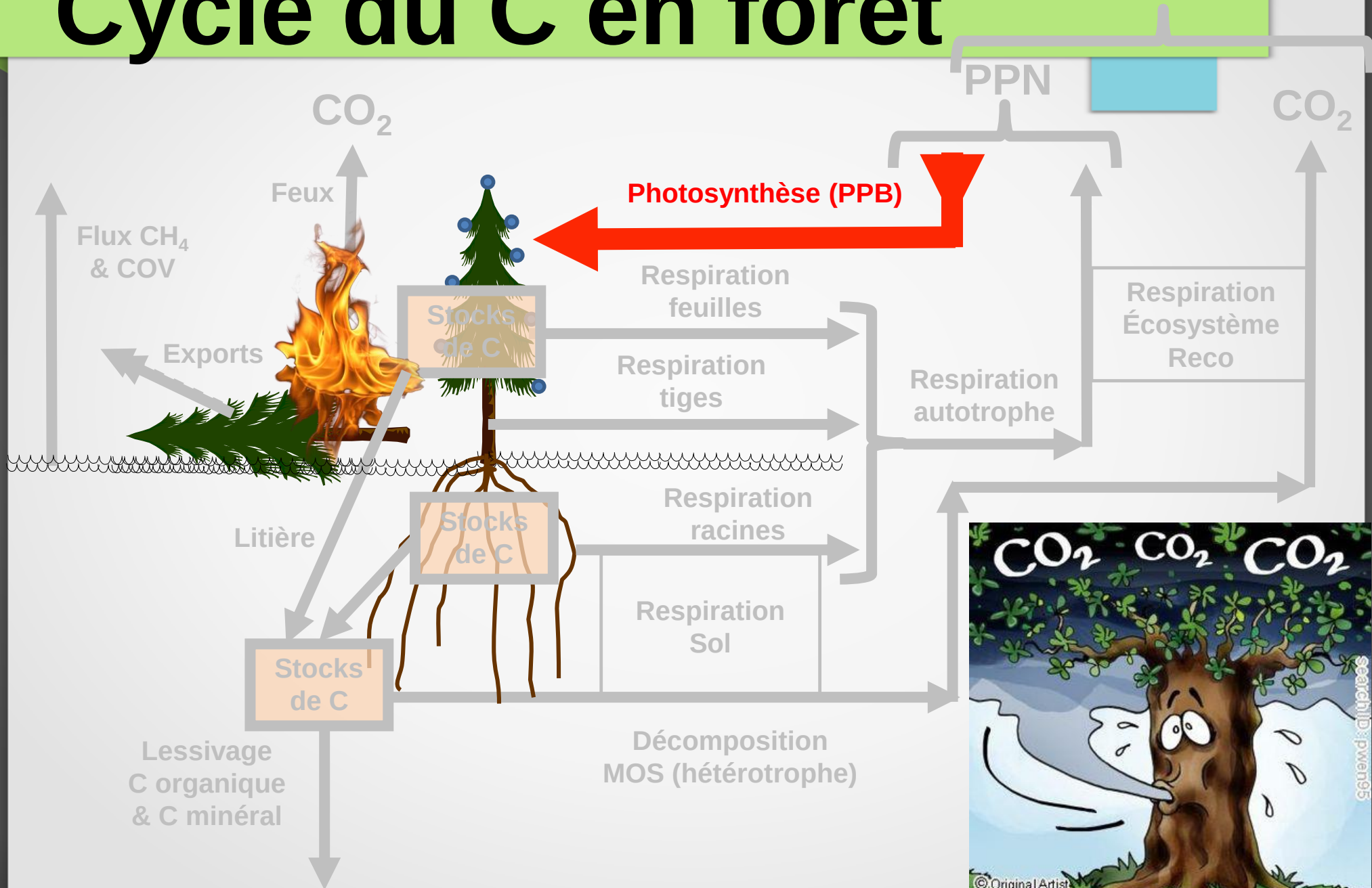
Respiration écosystème



Compréhension des processus pour mise au point des modèles

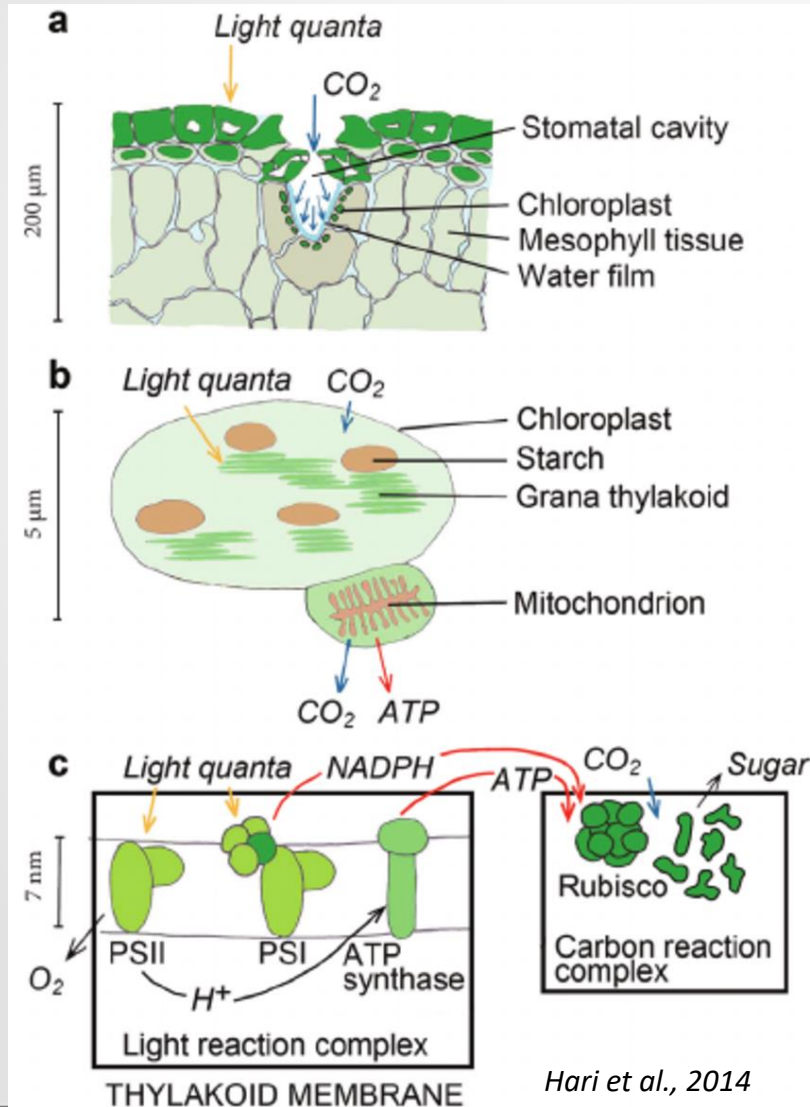
- Simulation Reco de jour
- Bouchage de trous
- Bilan annuel
- Up-scaling spatio-temporelle

Cycle du C en forêt



Photosynthèse

Photosynthèse = 3 processus



- Transfert → cavité sous-stomatique
- Transport à travers mésophylle → chloroplaste
- Réactions biochimiques → sucre (Cycle Calvin)

Mesure Photosynthèse

- Échelle feuille : Poromètre



- Feuille dans chambre éclairée
- Mesure de [CO₂] à l'entrée et à la sortie de la chambre
- Détermine photosynthèse sous conditions déterminées

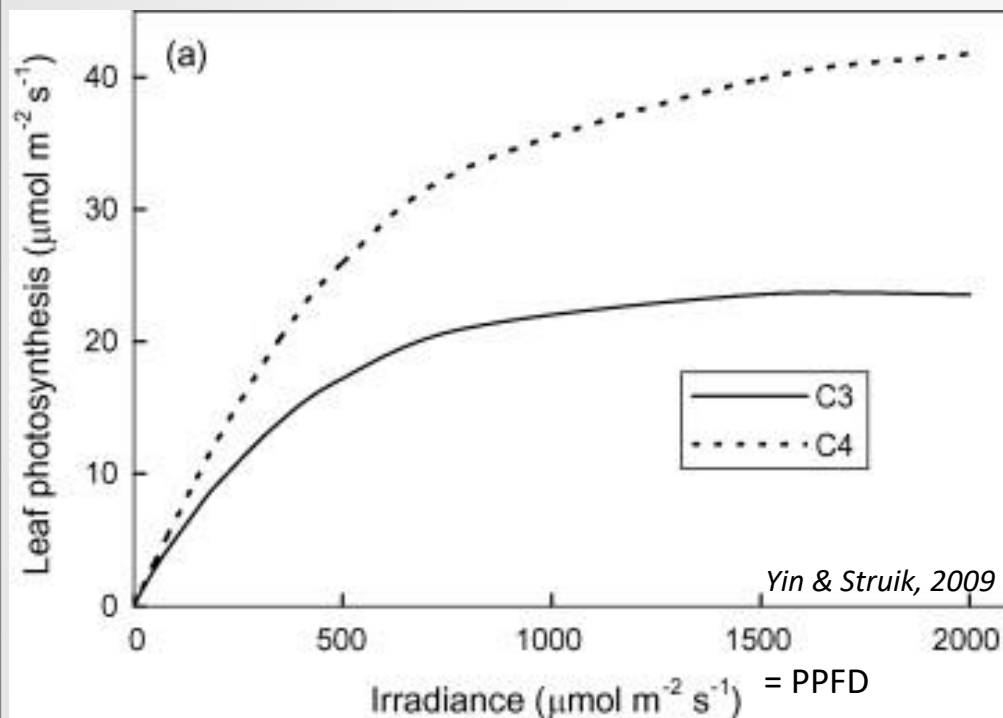
Pour une parcelle forestière: Covariances de Turbulence

- Le jour : $PNE_{mes} = \text{Photosynthèse} + \text{Reco}$
- Reco modélisé à partir des données de nuit
- $\text{Photosynthèse} = PNE_{mes} - \text{Reco}_{mod}$



Déterminants Photosynthèse

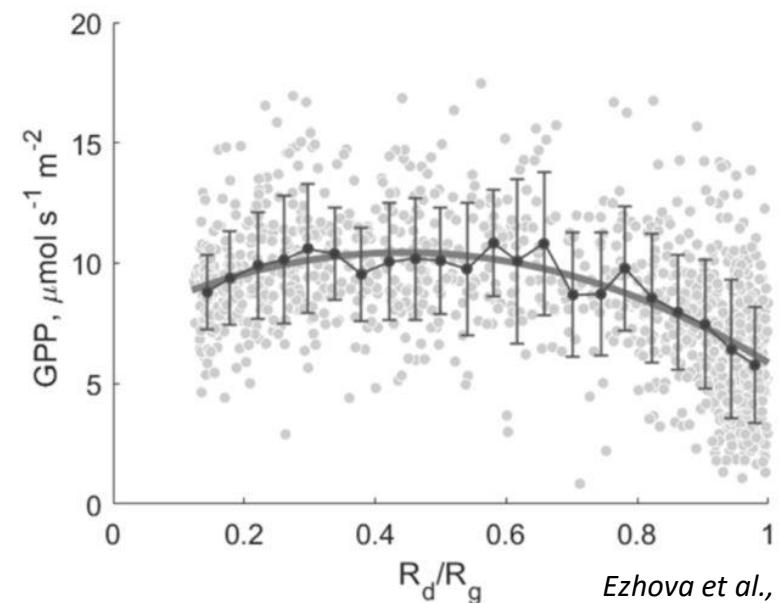
• Rayonnement



- ✓ Qualitatif: impact du type de lumière (ray. diffus/direct).
Photosynthèse non homogène en fonction de la longueur d'onde

- ✓ Quantitatif: processus à saturation
⇒ gestion pour répartition de la lumière ($500\text{-}1000 \mu\text{mol}_{ph} \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$)

SMEAR I



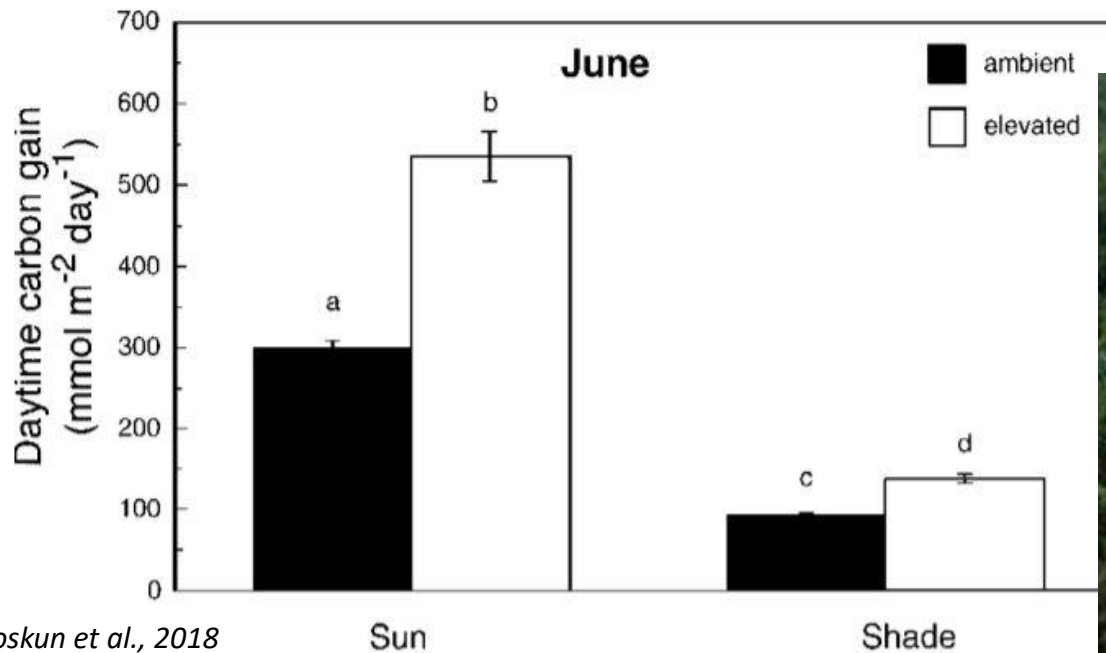
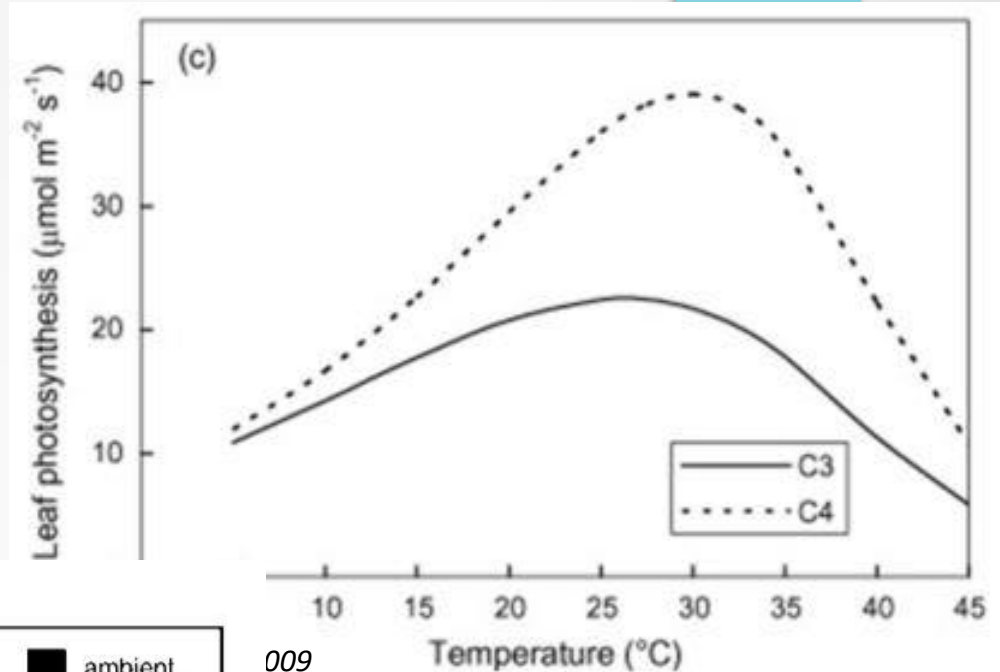
Déterminants Photosynthèse

- **Température**

- ✓ Courbe à optimum (25 - 30°C)

- **[CO₂] atmosphérique**

- ✓ Effet fertilisant modulé par disponibilité en azote

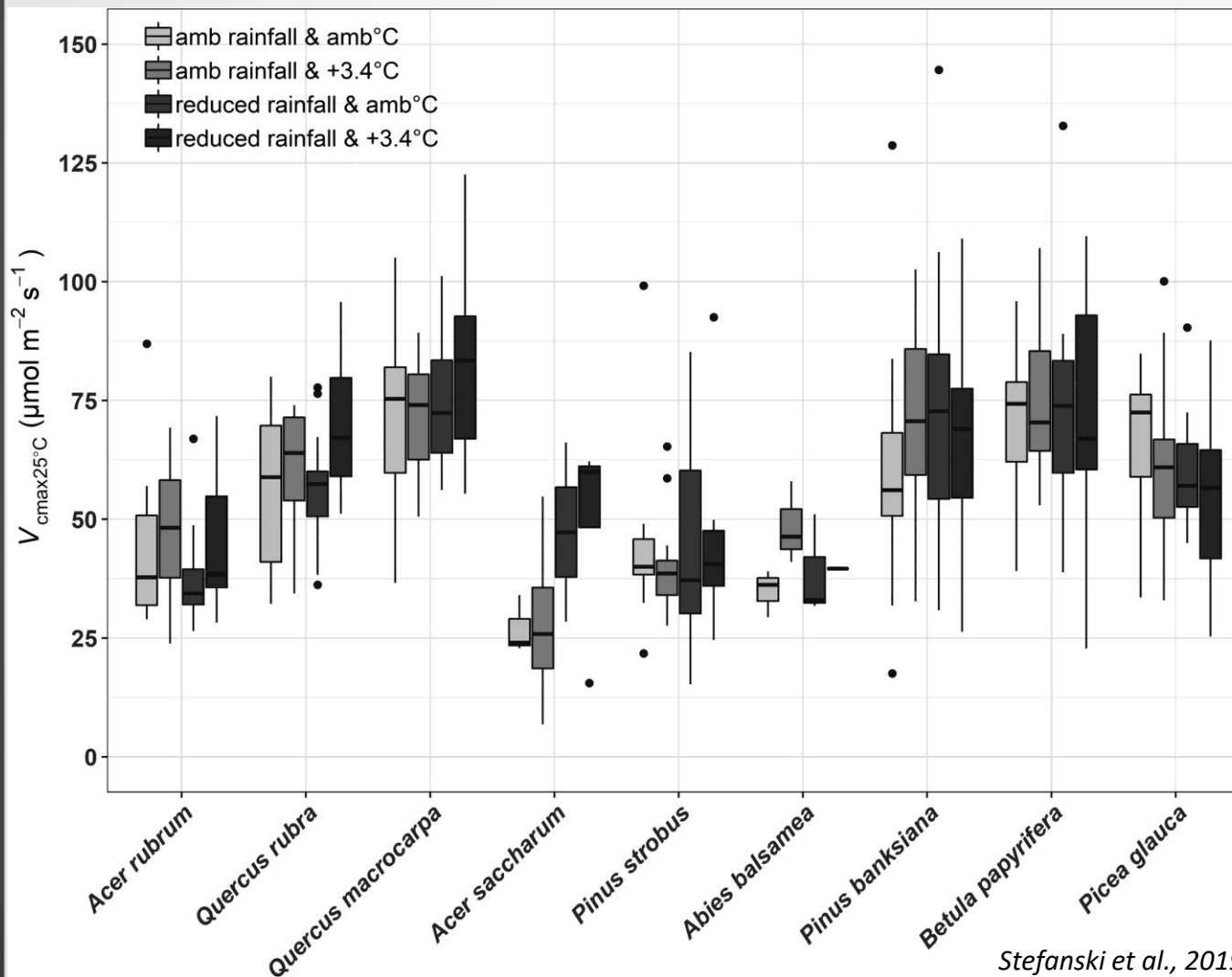


Coskun et al., 2018



Déterminants Photosynthèse

• Capacité photosynthétique des feuilles

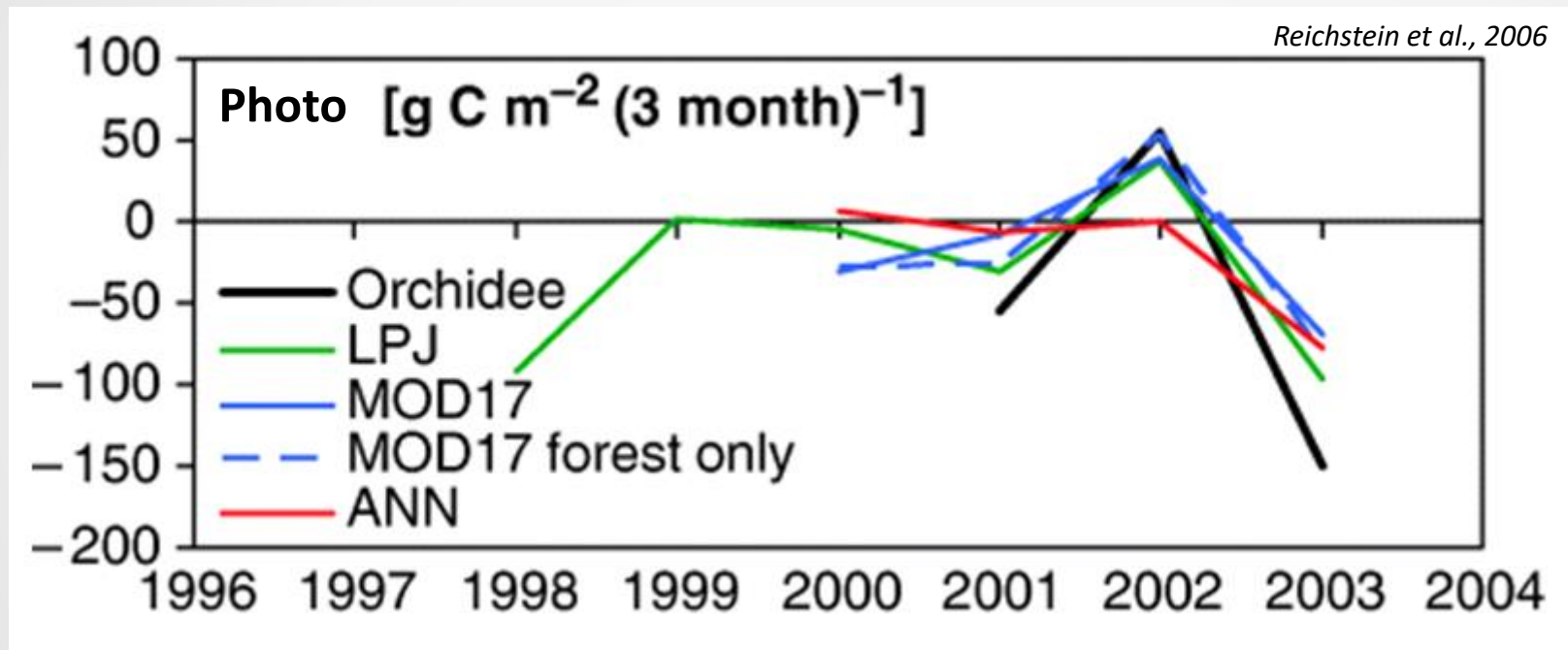


- ✓ Espèce,
- ✓ Disponibilité en azote
- ✓ Âge

Stefanski et al., 2019

Déterminants Photosynthèse

- Réserve en eau utile du sol: Effet de la sécheresse 2003



GPP Europe  30% (4 années de séquestration effacé) *Ciais et al., 2005*

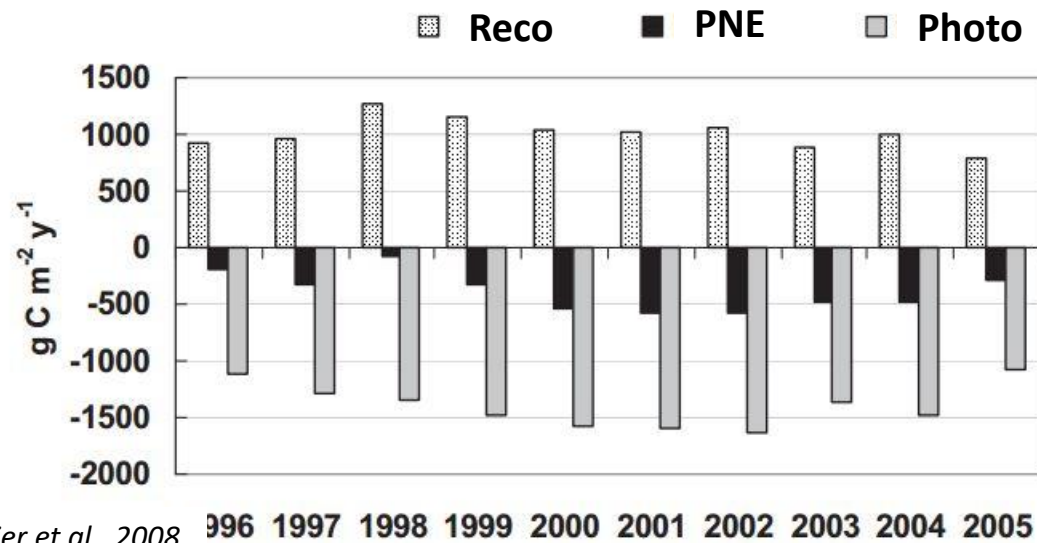
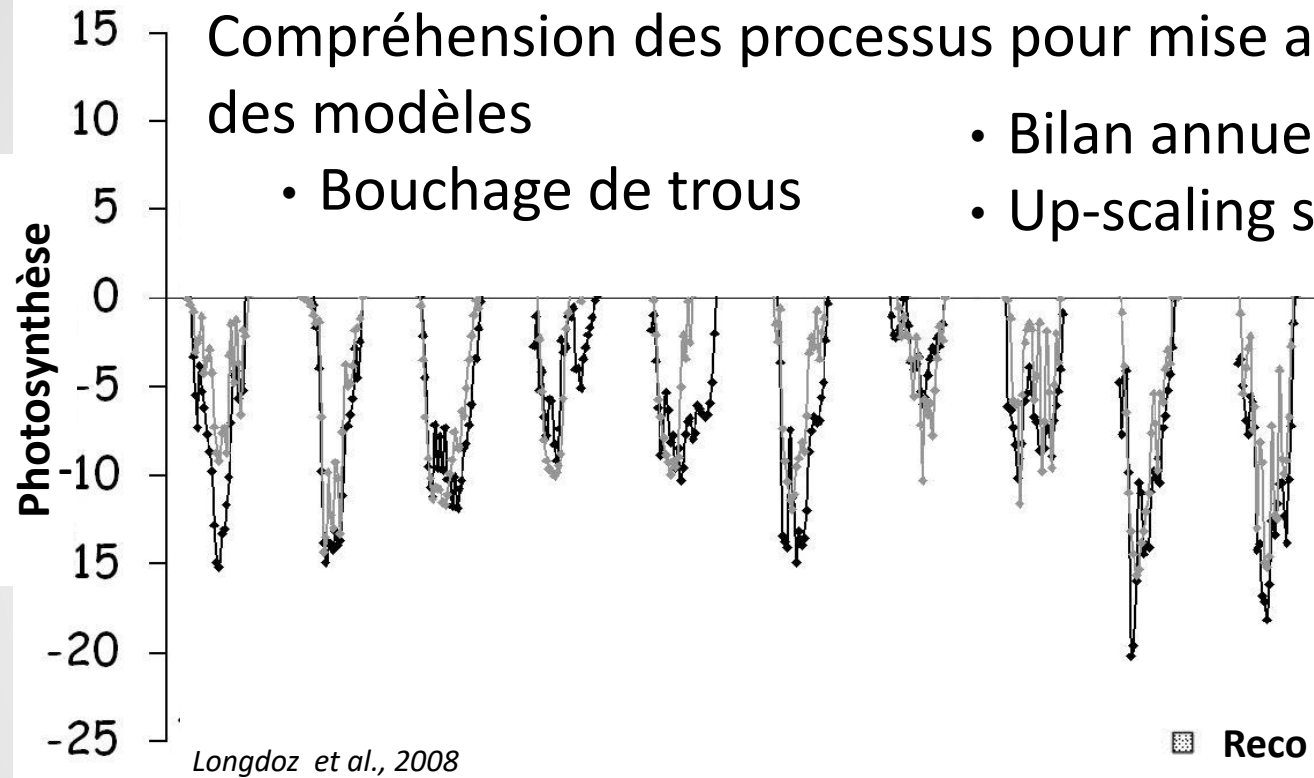
- ✓ Effet modulé en fonction de la profondeur d'enracinement:
espèce & type de sol

Photosynthèse

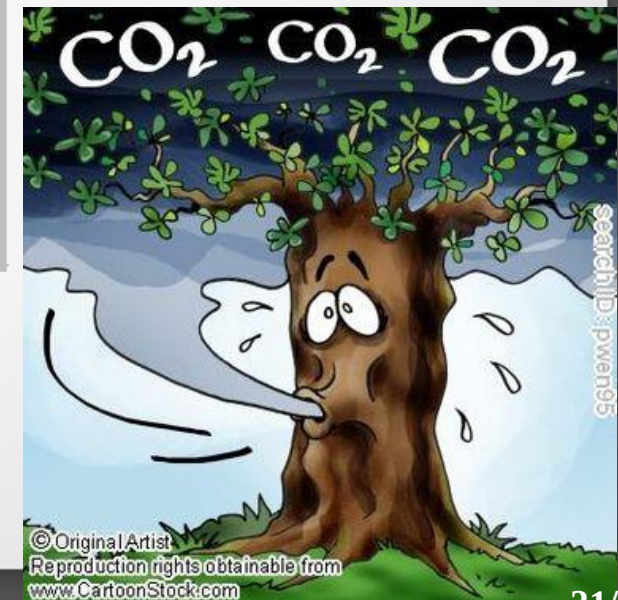
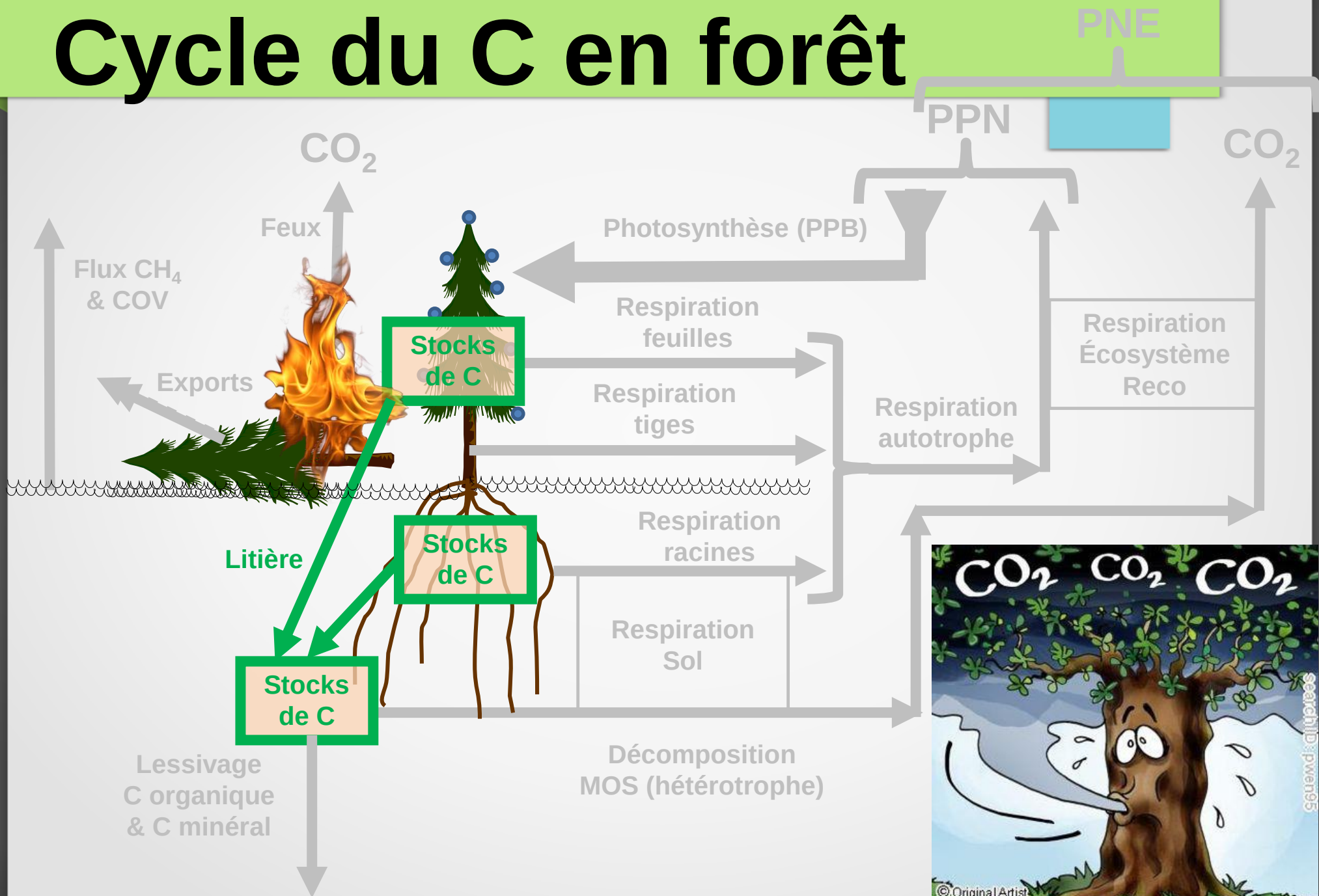
Compréhension des processus pour mise au point des modèles

- Bouchage de trous

- Bilan annuel
- Up-scaling spatio-temporelle

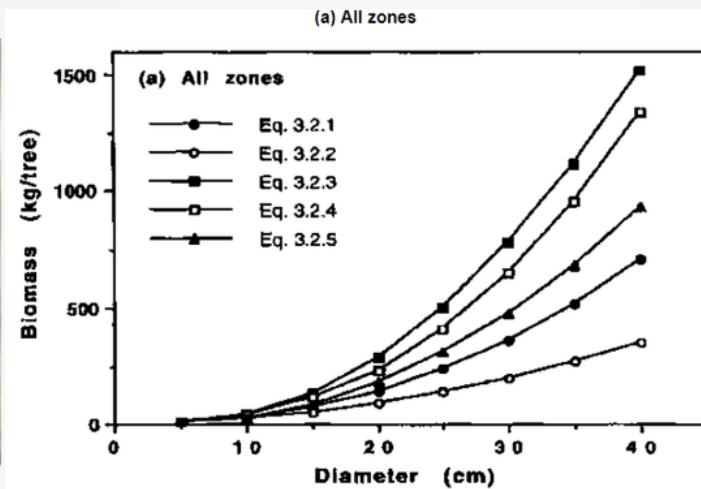


Cycle du C en forêt



Stockage et litière

- **Biomasse aérienne:** dendrométrie + tables allométriques + contenu en C



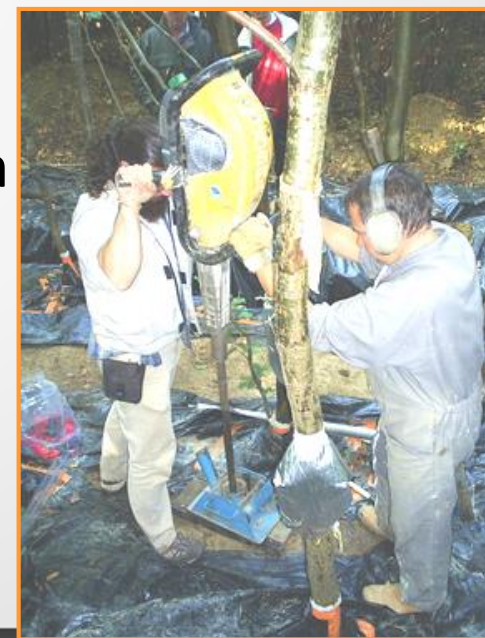
✓ Si automatisé:
stockage hebdomadaire

✓ Effet phénologique

- **Biomasse souterraine:** Carottage et analyse de C
 - ✓ Stockage sur intervalles de 10 ans minimum

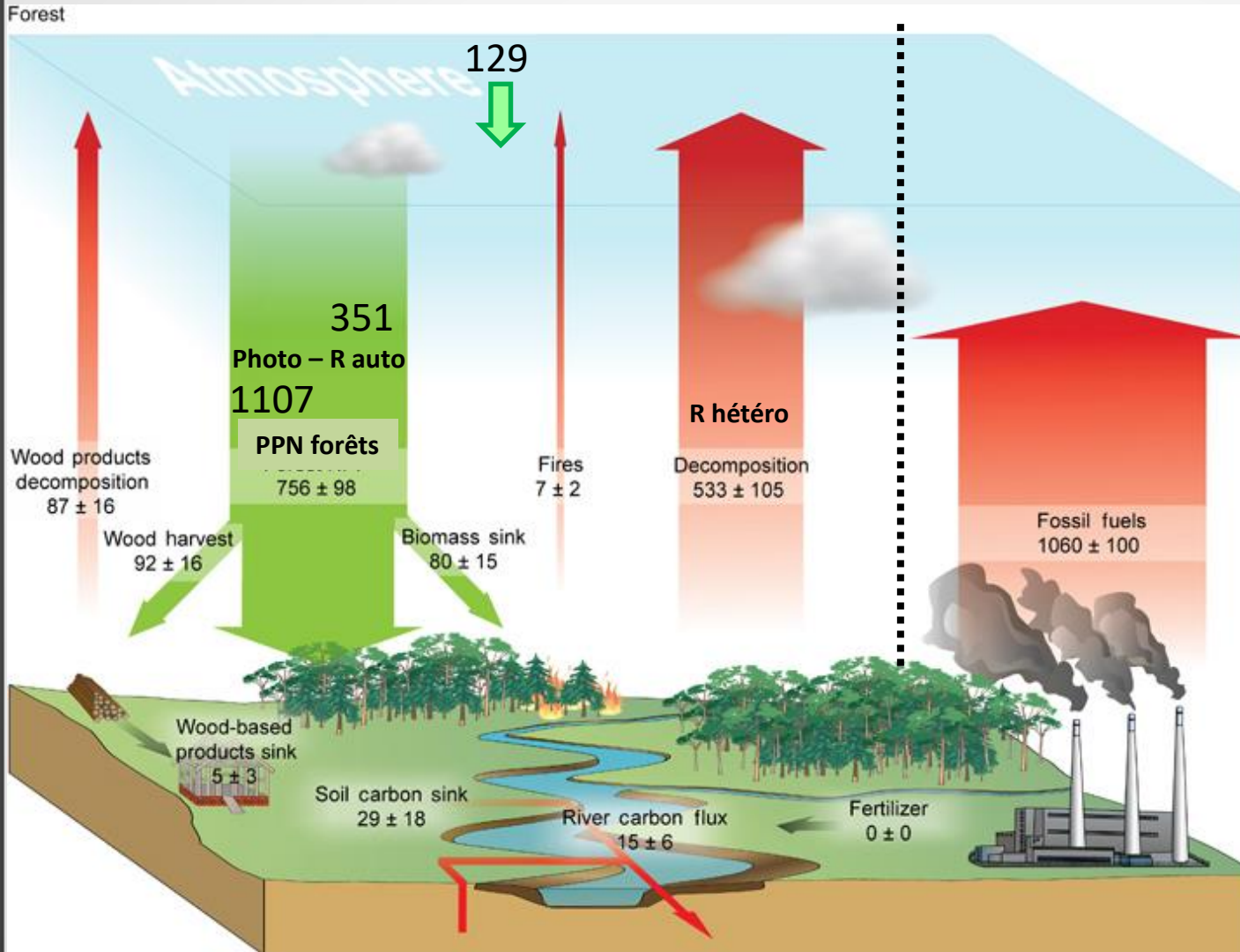


- **Litière:** par collecte
(hebdomadaire/journalière)



Bilan de C

Bilan Forêts européennes:

Fluxes in Tg C yr⁻¹

Luyssaert et al., 2010

% PPN dans
biomasse: 10,6%

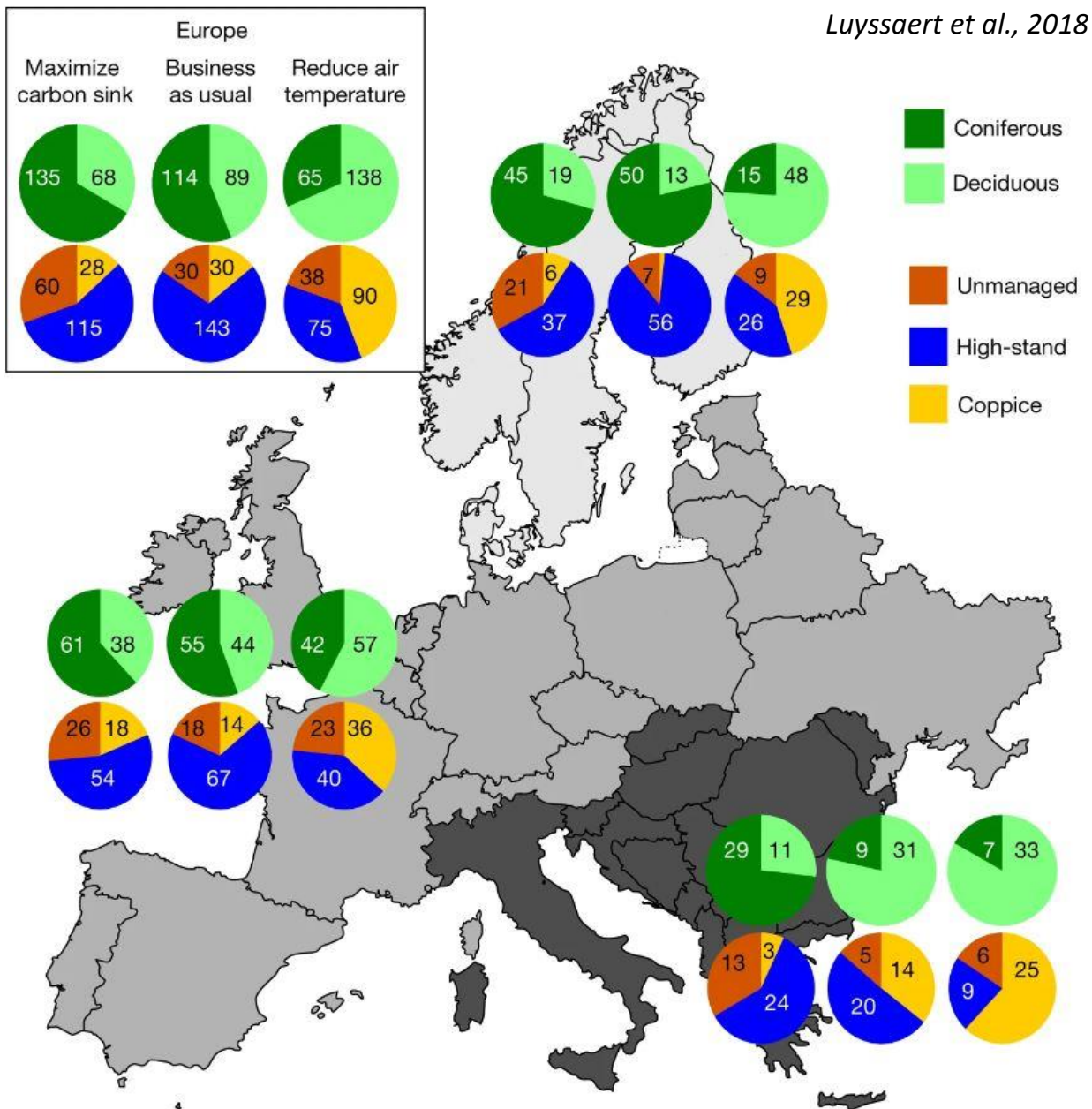
% PPN stocké dans
sol: 3,8%

% PPN stocké dans
produits bois: 0,7%

Bilan atmosphère-
forêt/produits bois
: puit 129 TgCyr⁻¹

% p.r. émissions
fossiles : 12,2%

Prévisions (2010-2100)



Buisness as usual (b.a.u.) :

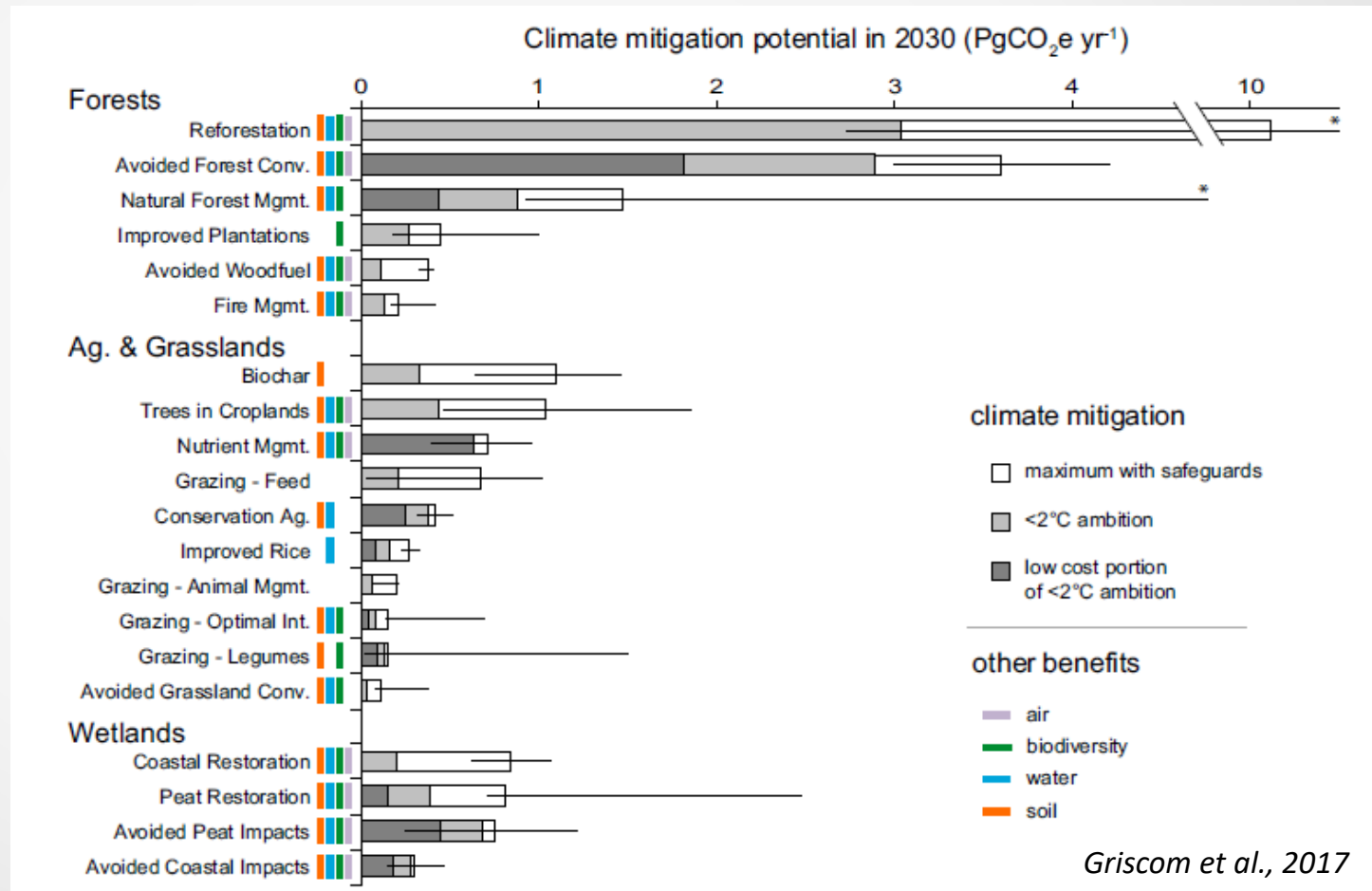
→ 934 ppm

Scénario pour max. stock C dans forêts européennes :

- 30% forêts managées
- Stocker 90 TgC/an en + que b.a.u.
- 932.6 ppm au lieu de 934.6 pour b.a.u
- ≠ scénario pour Tair

Prévisions (Mondiale-2030)

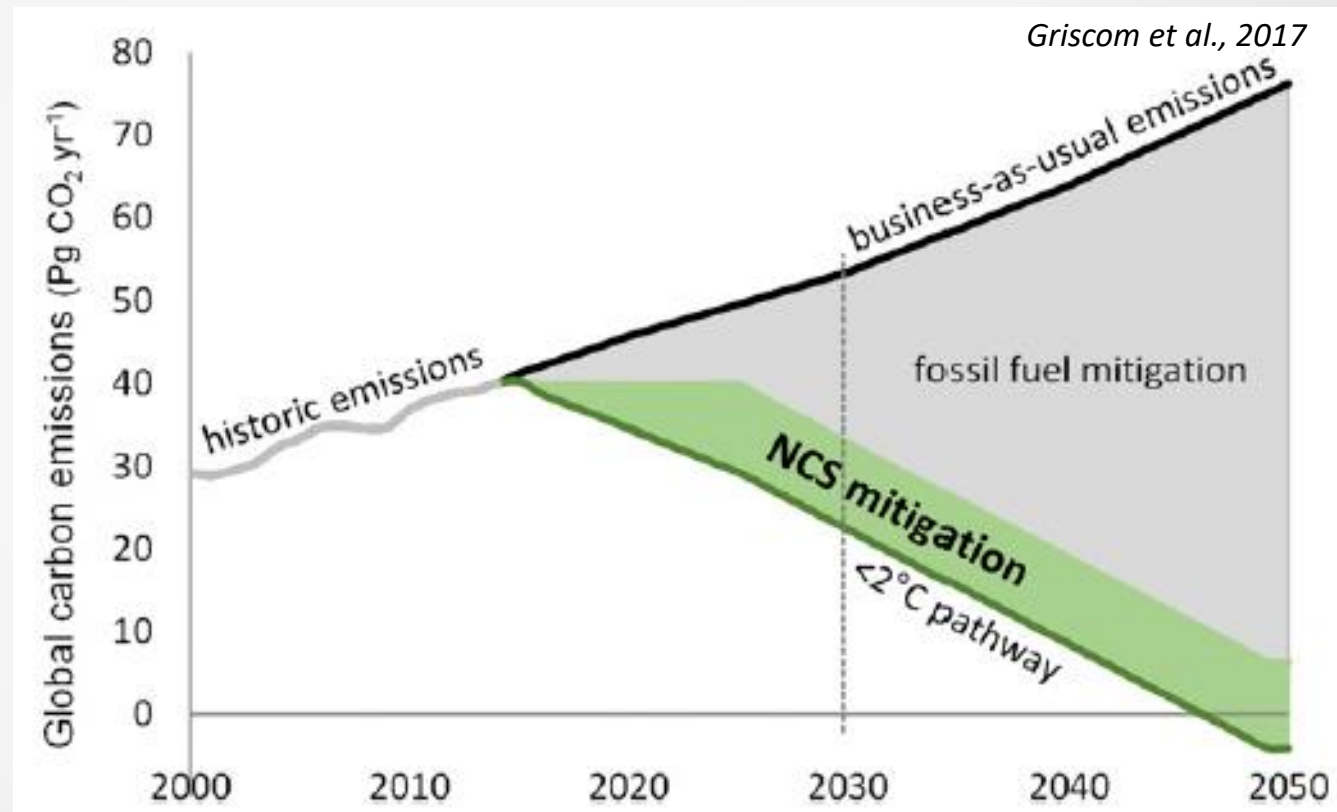
- Atténuation de l'effet de serre dû aux changements des pratiques écosystémiques



- ✓ Forêts = écosystèmes qui ont le potentiel de mitigation le + important

Prévisions

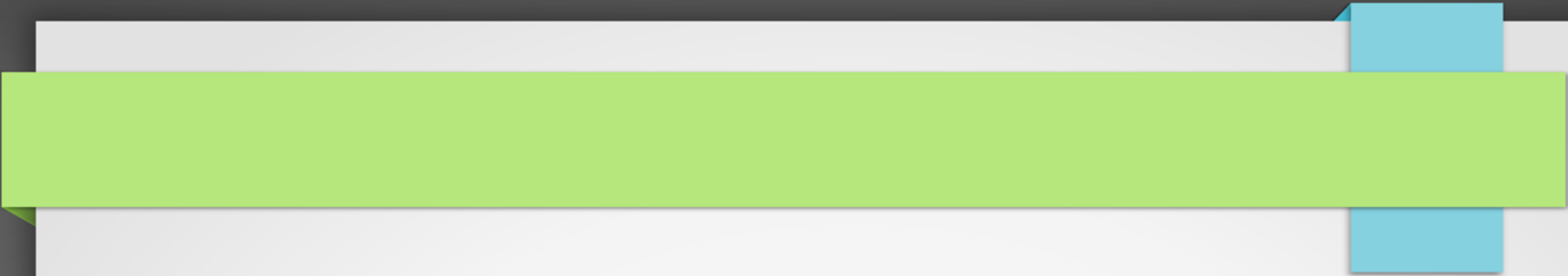
- Atténuation de l'effet de serre dû aux changements des pratiques écosystémiques



- ✓ Solutions climatiques « naturelles » : contribuent de manière significative mais très partielle aux efforts d'atténuation

Quelques messages

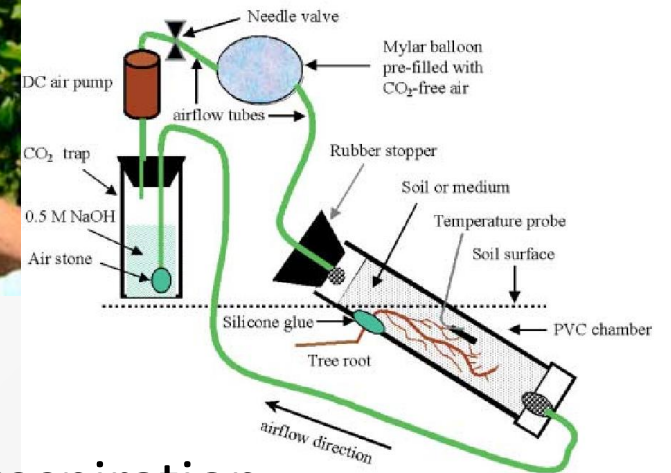
- Variété et complexité des processus du cycle du C $\Rightarrow$ nécessite mesures aux échelles parcelle/organe (sol)
- Gestion $\leftrightarrow$ Climat $\Rightarrow$ associer les 2 volets dans les études
- Stocker du C mais autre processus biophysiques peuvent effacer partiellement ce stockage $\Rightarrow$ besoins d'études pluridisciplinaires
- Niveau mondial: écosystèmes ne compenseront jamais complètement nos émissions (37% de ce qui est requis pour réchauffement $<2^\circ$)



**Merci pour votre
attention**

Respiration écosystème

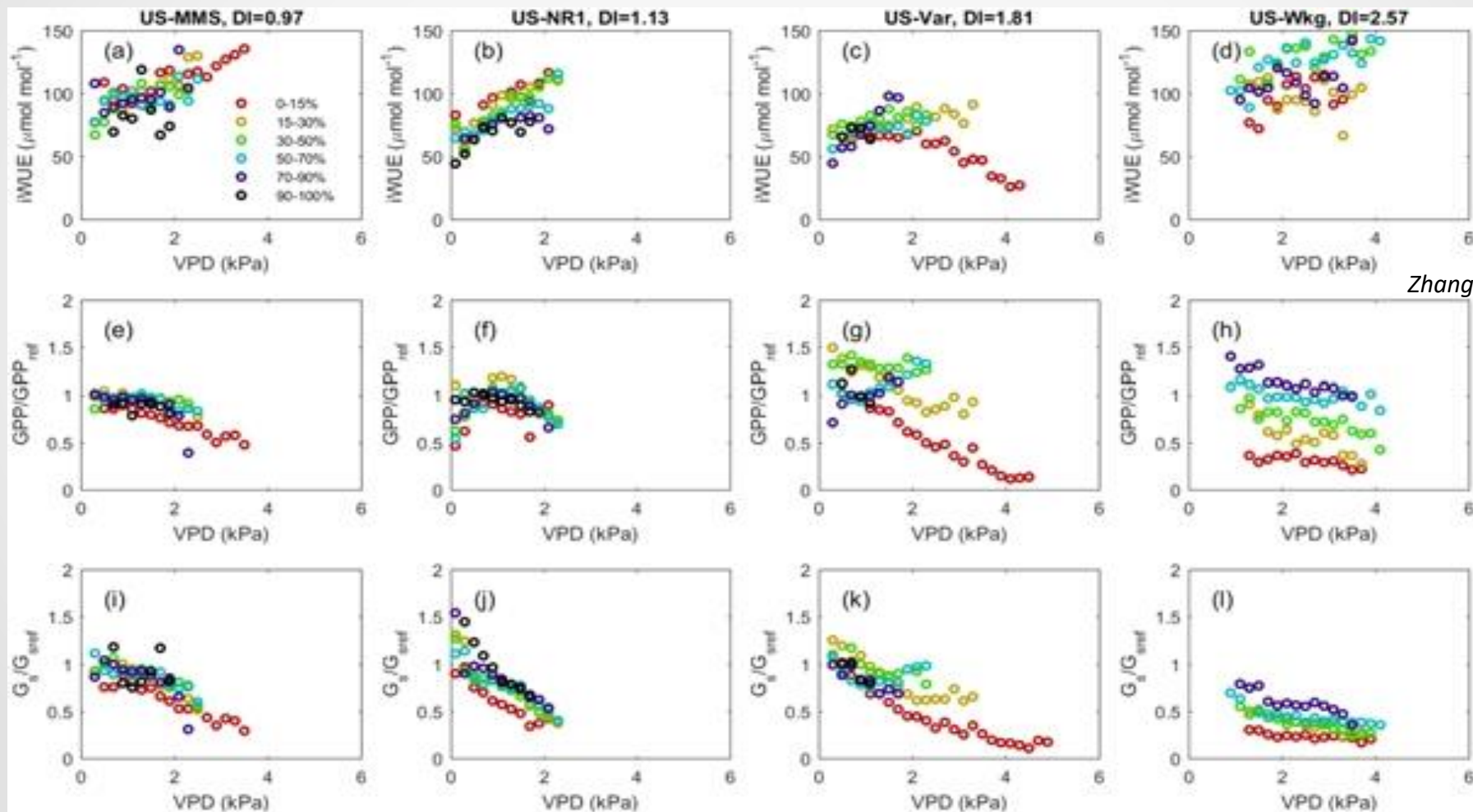
- Mesure des composantes de Reco (R_{auto} , $R_{\text{hétéro}}$, R_{sol} , ...)✓ Chambre obscure couvrant sol/organe et couplée à analyseur [CO₂]



- ✓ Taux auquel [CO₂]_{chambre} augmente → flux de respiration

Déterminants Photosynthèse

- **Diffusion:** Déficit de pression de vapeur (sécheresse aérienne)



Zhang et al., 2019

Effet sur photosynthèse par réduction de la conductance stomatique