



**HAL**  
open science

## Effets des tempêtes sur le fonctionnement des forêts

Denis Loustau

► **To cite this version:**

Denis Loustau. Effets des tempêtes sur le fonctionnement des forêts. Forest and storms: what forestry policy could be implemented after a major climatic event, Nov 2010, Bazas, France. 31 p. hal-02821558

**HAL Id: hal-02821558**

**<https://hal.inrae.fr/hal-02821558v1>**

Submitted on 6 Jun 2020

**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.



M; Guillot, INRA,

# Effets des tempêtes sur le fonctionnement des forêts

Denis Loustau

Unité EPHYSE, [www.inra.fr/ephyse](http://www.inra.fr/ephyse).

ALIMENTATION  
AGRICULTURE  
ENVIRONNEMENT

INRA



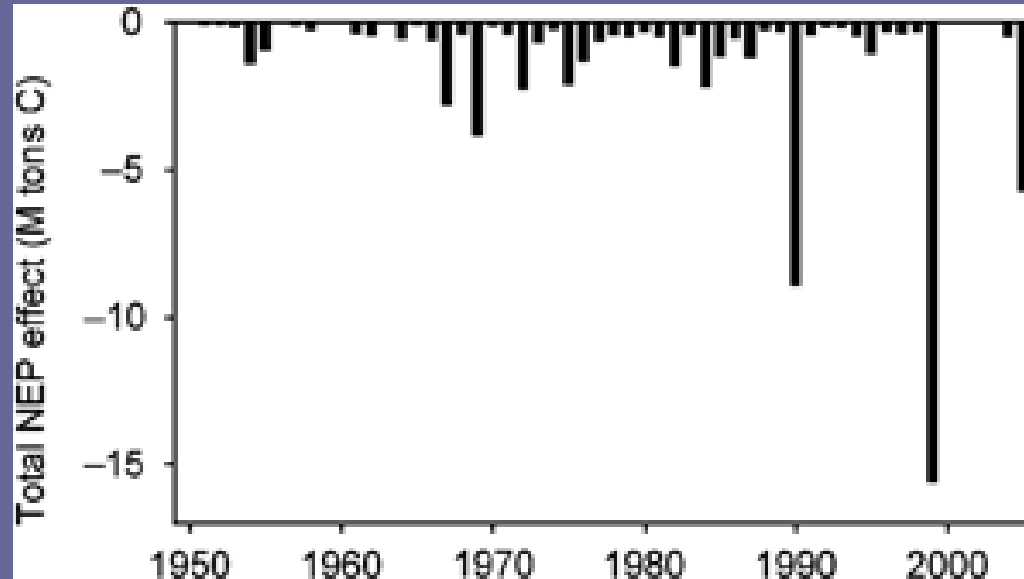
1. Cycle de l'eau
2. Cycle du carbone
3. Les voies d'une adaptation durable

ALIMENTATION  
AGRICULTURE  
ENVIRONNEMENT



# Impacts des tempêtes sur le fonctionnement des forêts : impacts à l'échelle continentale

- effet des tempêtes sur la production moyenne annuelle européenne = -2.3 %



Lindroth et al. *Global Change Biology*, 2009

- effets ponctuels sur le bilan net annuel de carbone :

*Lothar* (1999) = - 30 %

*Gudrun* (2005) = - 11 %

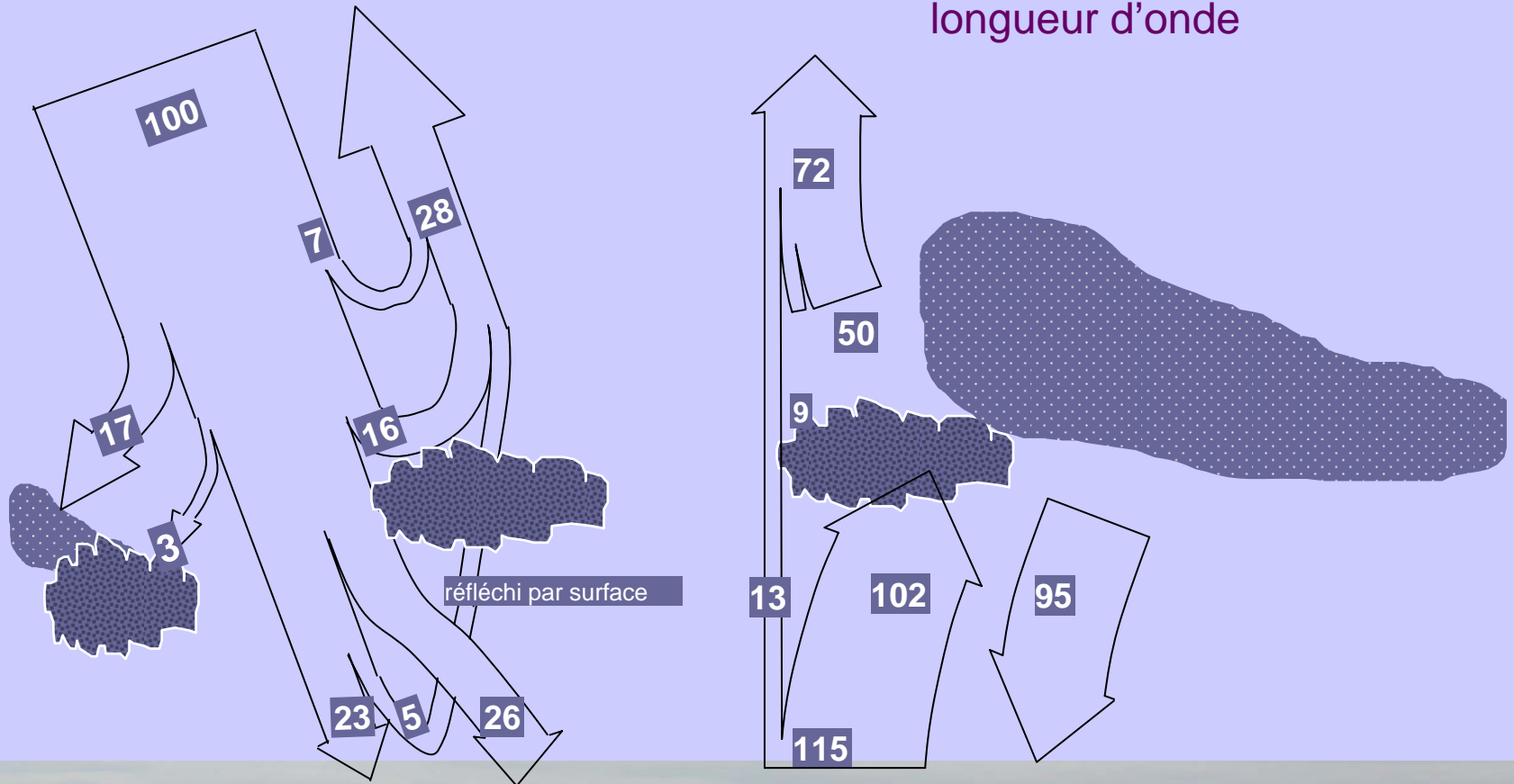
*Katrina* (2005) = - 30 % (USA)

# Le fonctionnement des forêts

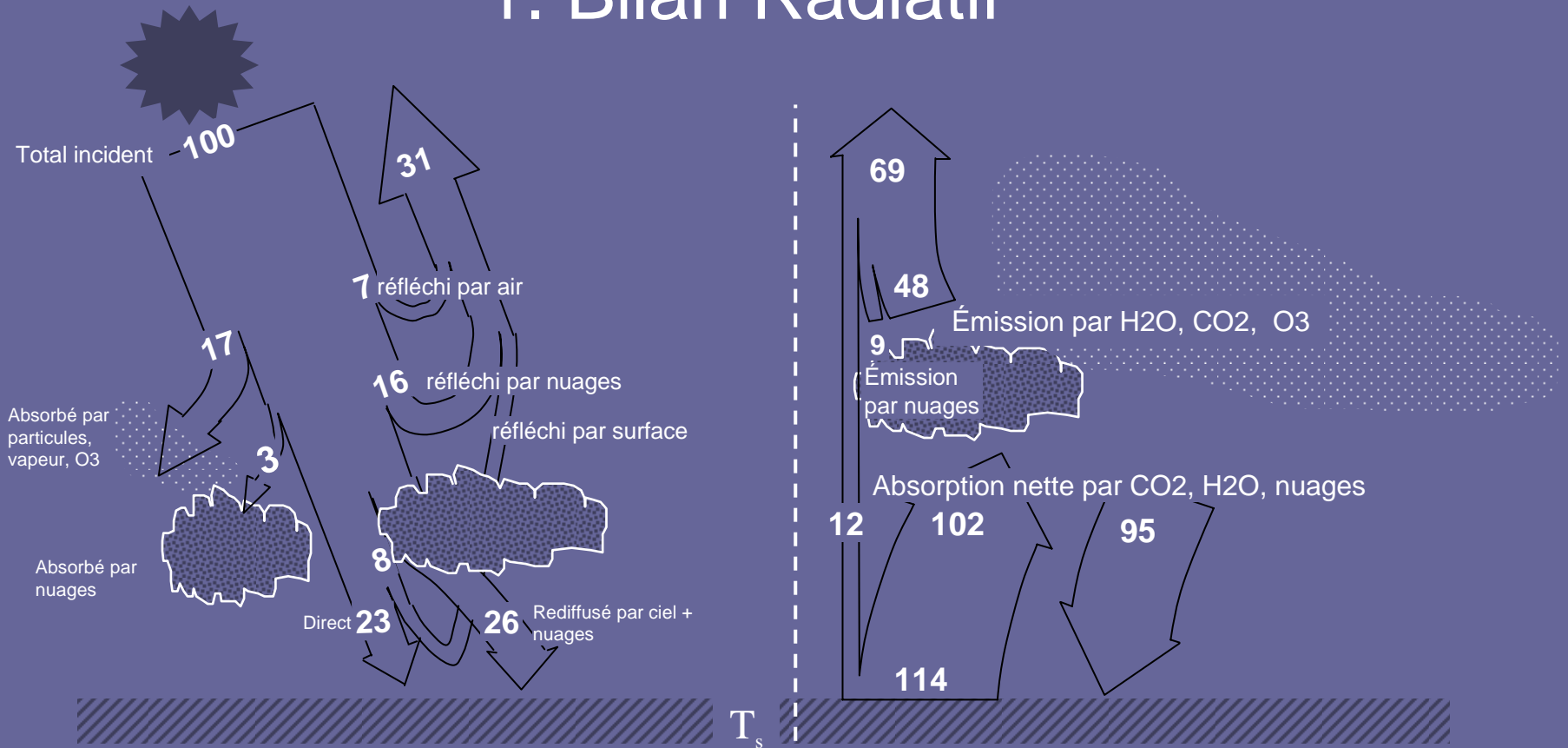
Flux d'énergie et de masse échangés entre atmosphère et couvert forestier  
(en base 100 rayonnement incident)

Rayonnement solaire

Rayonnement de grande longueur d'onde



# 1. Bilan Radiatif



**Bilan radiatif  
des courtes longueurs d'onde (0.4-3  $\mu$ )**

$$R_g(1-a) = (I \cos \alpha + D)(1-a)$$

**Bilan radiatif  
des grandes longueurs d'onde (>3  $\mu$ )**

$$\varepsilon(L - \sigma T_s^4)$$

**Rayonnement Net:  $R_n = R_g(1-a) + \varepsilon(L - \sigma T_s^4)$**

# Bilan d'énergie (2).

Que devient l'énergie absorbée,  $R_n$ ?

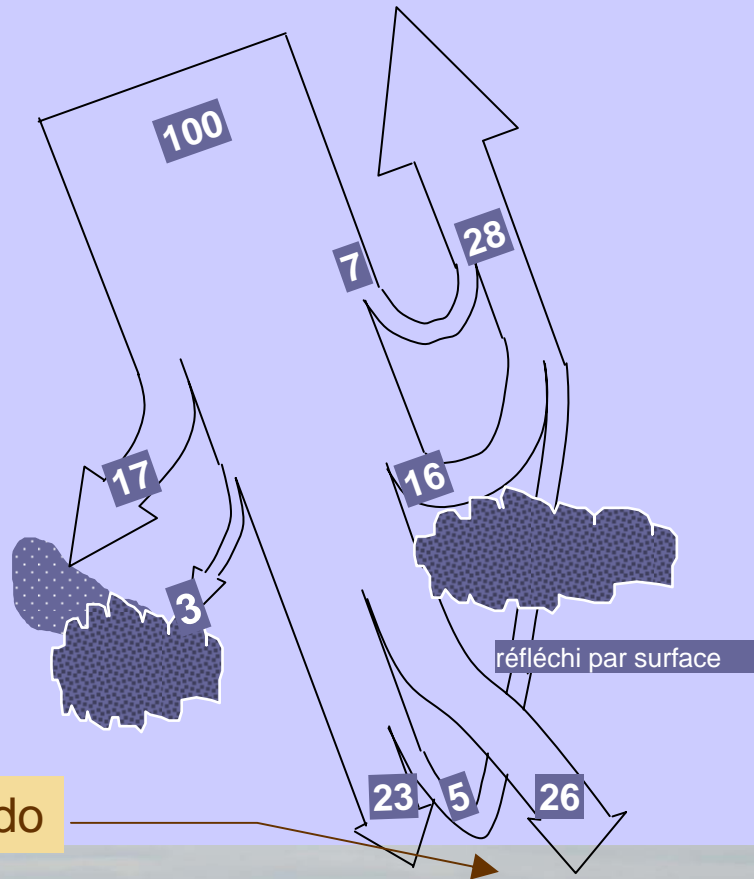
$$R_n = H + \lambda E + G + P$$

- $R_n$  = rayonnement net absorbé (100)
- $H$  = flux de chaleur sensible (49)
- $\lambda E$  = flux d'évaporation (49) (mm jour<sup>-1</sup>)
- $G$  = flux de chaleur dans le sol et biomasse (0)
- $P$  = photosynthèse (< 2%)

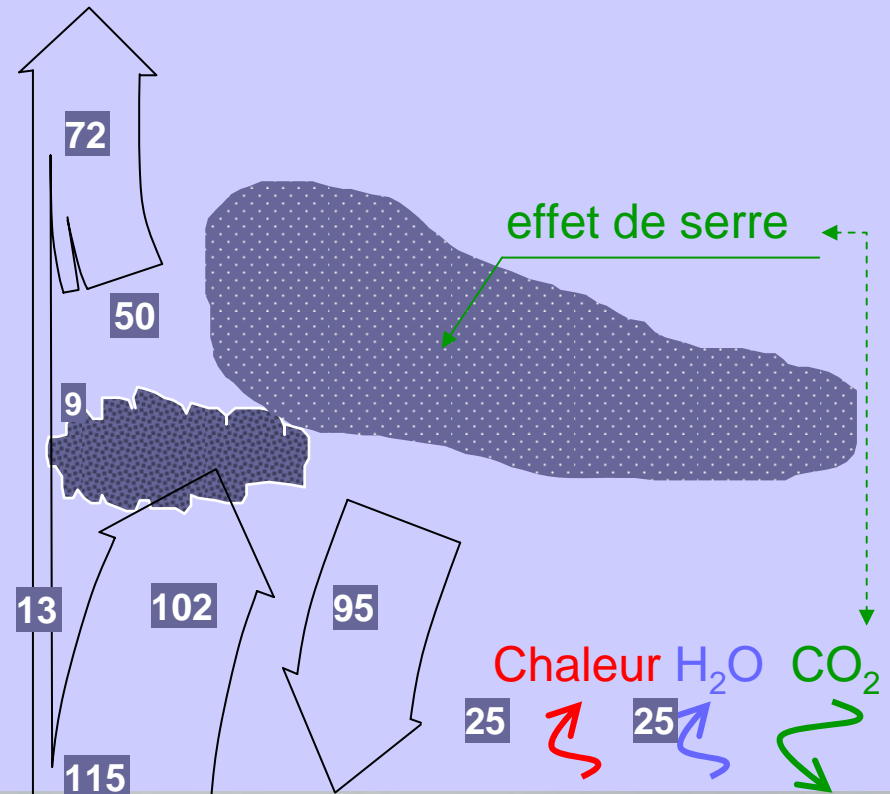
# Le fonctionnement des forêts

Flux d'énergie et de masse échangés entre atmosphère et couvert forestier  
(en base 100 rayonnement incident)

Rayonnement solaire



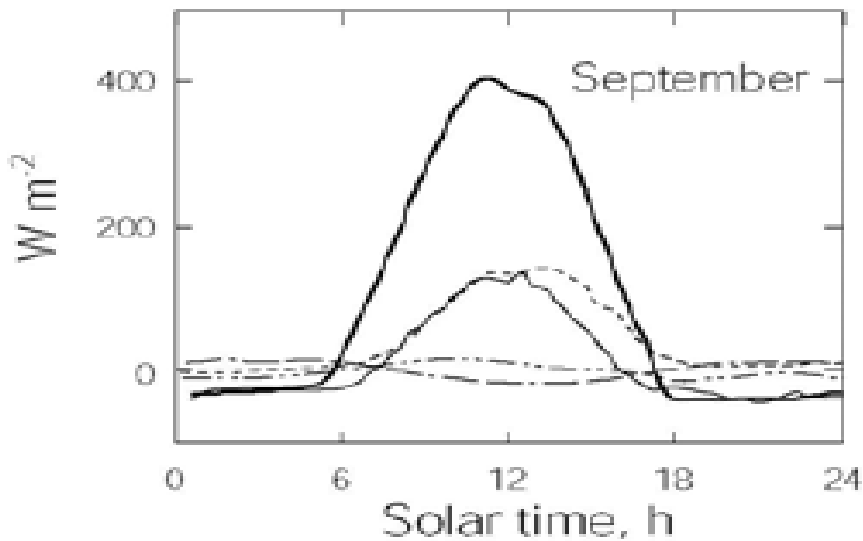
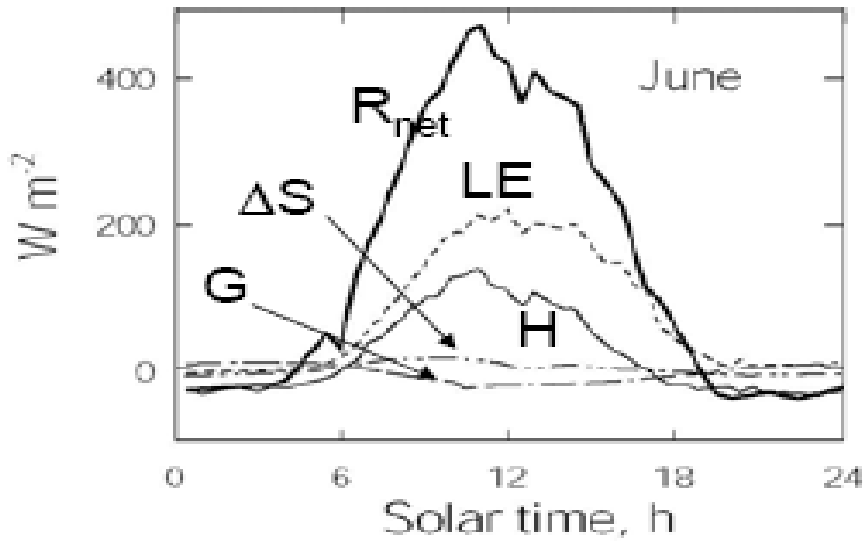
Rayonnement de grande longueur d'onde



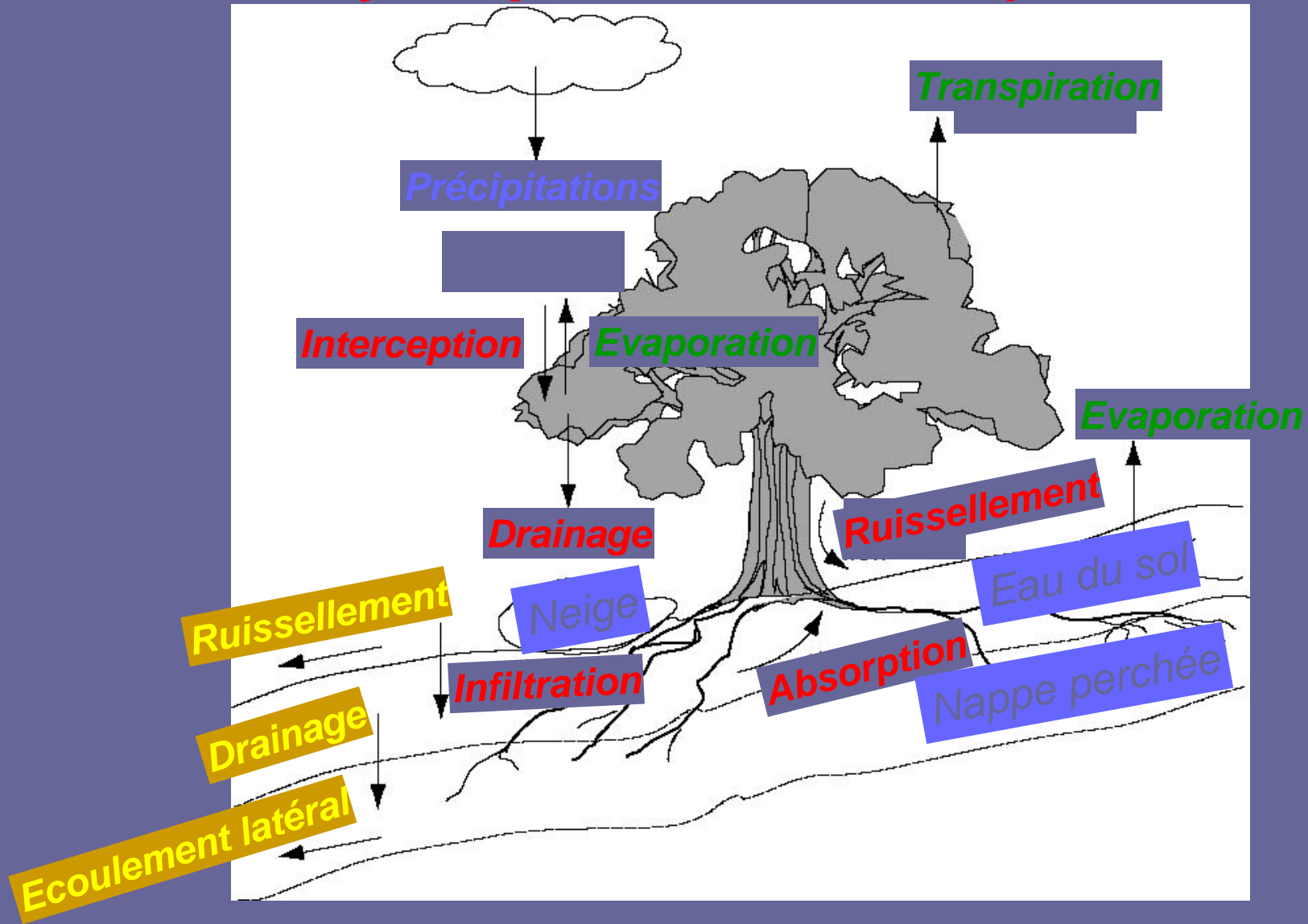


# Module « Fonctionnement intégré des végétaux supérieurs »

## Partie 6. Intégration de la plante au couvert



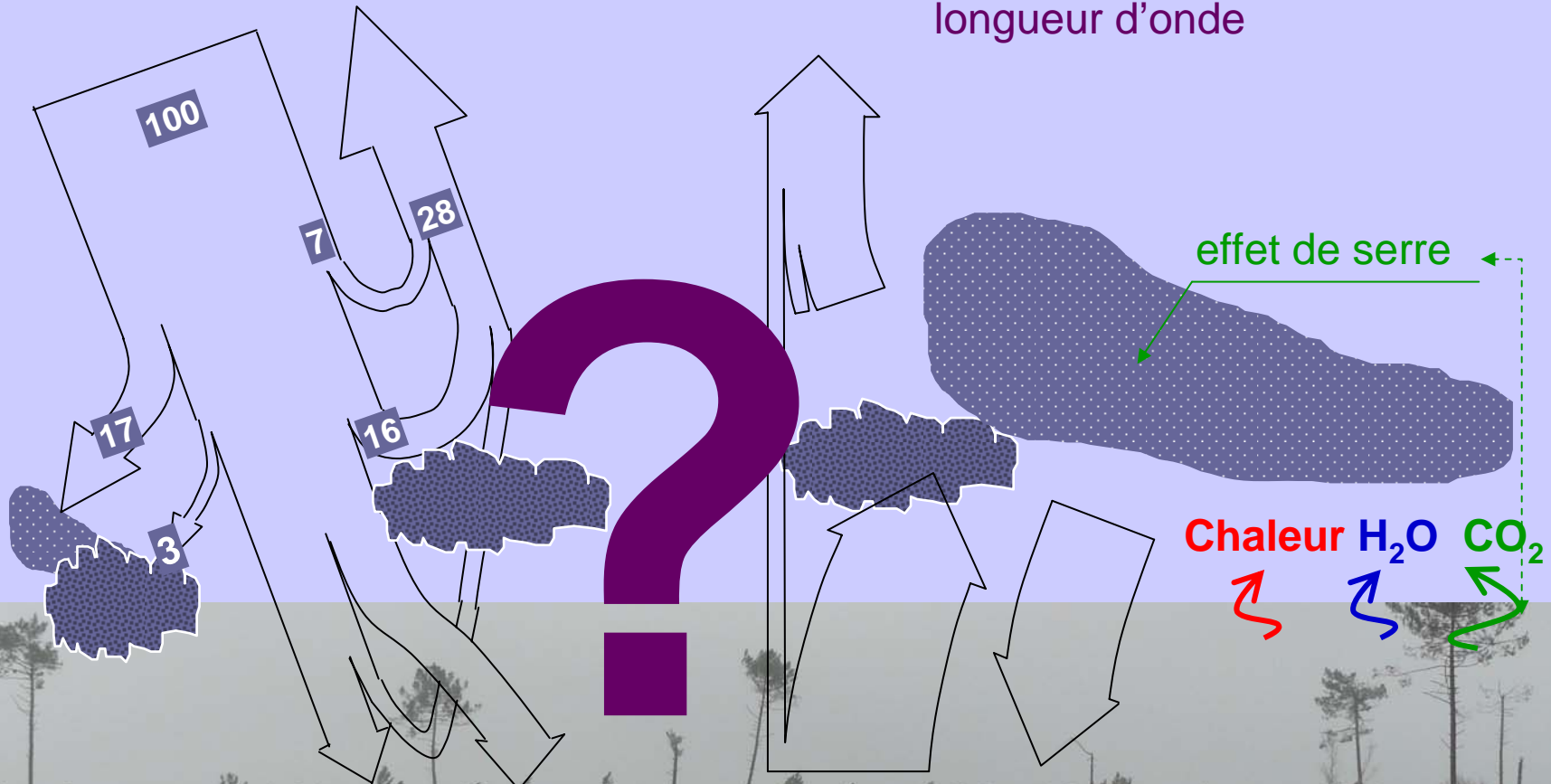
# Bilan hydrique du couvert (LE – P - D)



# Question: impacts des tempêtes sur les forêts ?

Rayonnement solaire

Rayonnement de grande longueur d'onde



# Résultats: synthèse de données disponibles des réseaux d'observation de l'INRA en forêt des Landes



- ▲ Mesures en continu des échanges atmosphériques
- Suivi hydrologique de sous bassins versants de la Leyre
- Périmètres de calibration et validation de produits de télédétection





# Impacts des tempêtes sur les forêts : 1. bilans annuels des mesures des flux d'énergie et eau.

Mesures depuis des sites ateliers observatoires en forêt de Pin maritime



Bray avant tempête



Bray après tempête  
(20% de chablis)



Bilos après tempête  
(coupe rase)

# Impacts des tempêtes sur les forêts : 1. bilans annuels des mesures des flux d'énergie et eau.

Flux nets annuels échangés par un peuplement adulte de Pin maritime avant et après la tempête MARTIN

		Site du Bray Peuplement semé en 1970		Site de Bilos Coupe rase
		avant tempête	après tempête	
		1998	2001	2001
Rayonnement net absorbé	MJoules.m	3006	2746	1956
Evapotranspiration	mm	666	624	358
Drainage	mm	264	184	517

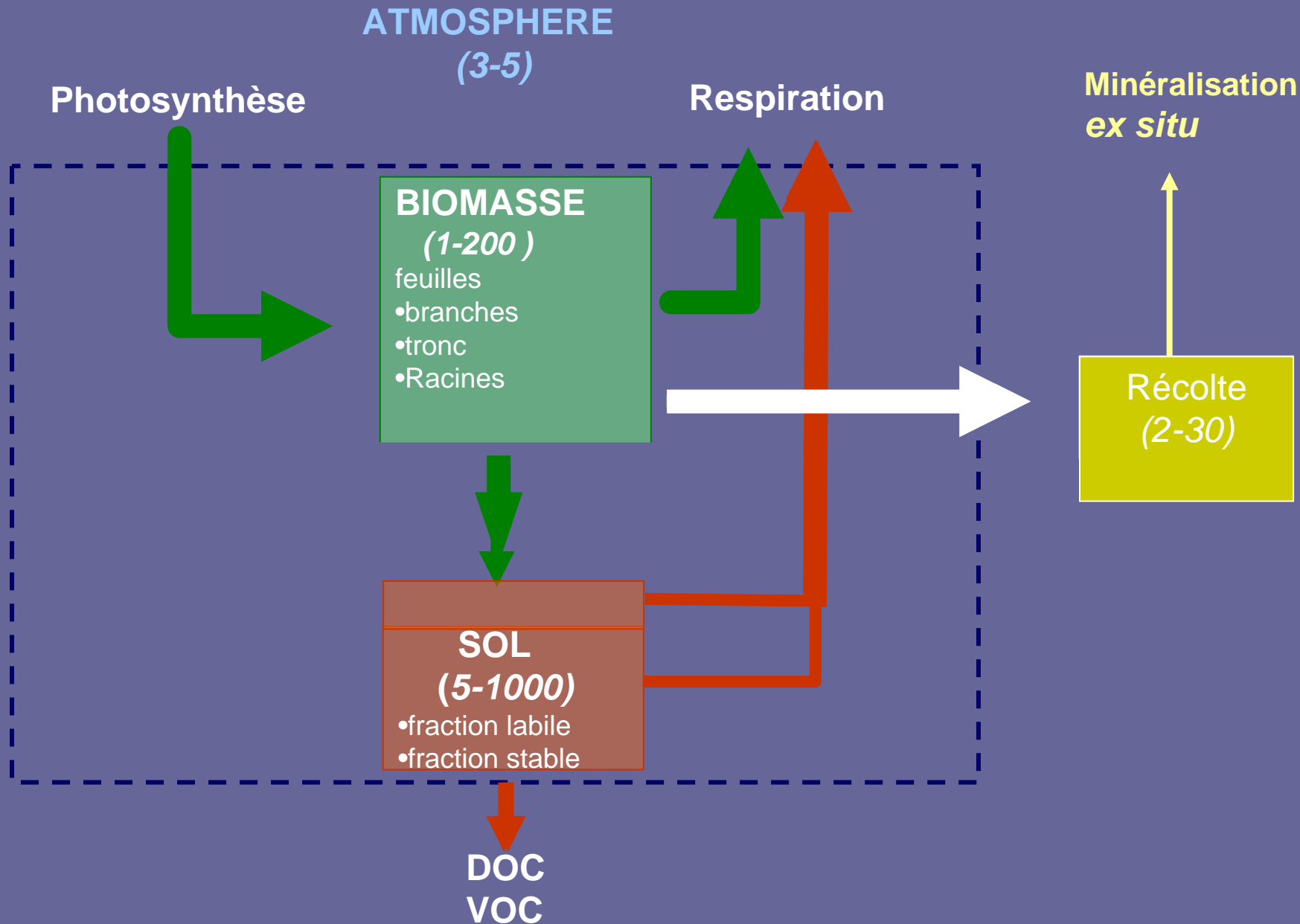
(1) compté positivement en émission, négativement en prélèvement

Berbigier et al., *Agric. For. Met.* (2001)

Kowalski et al., *Global Change Biology* (2004)

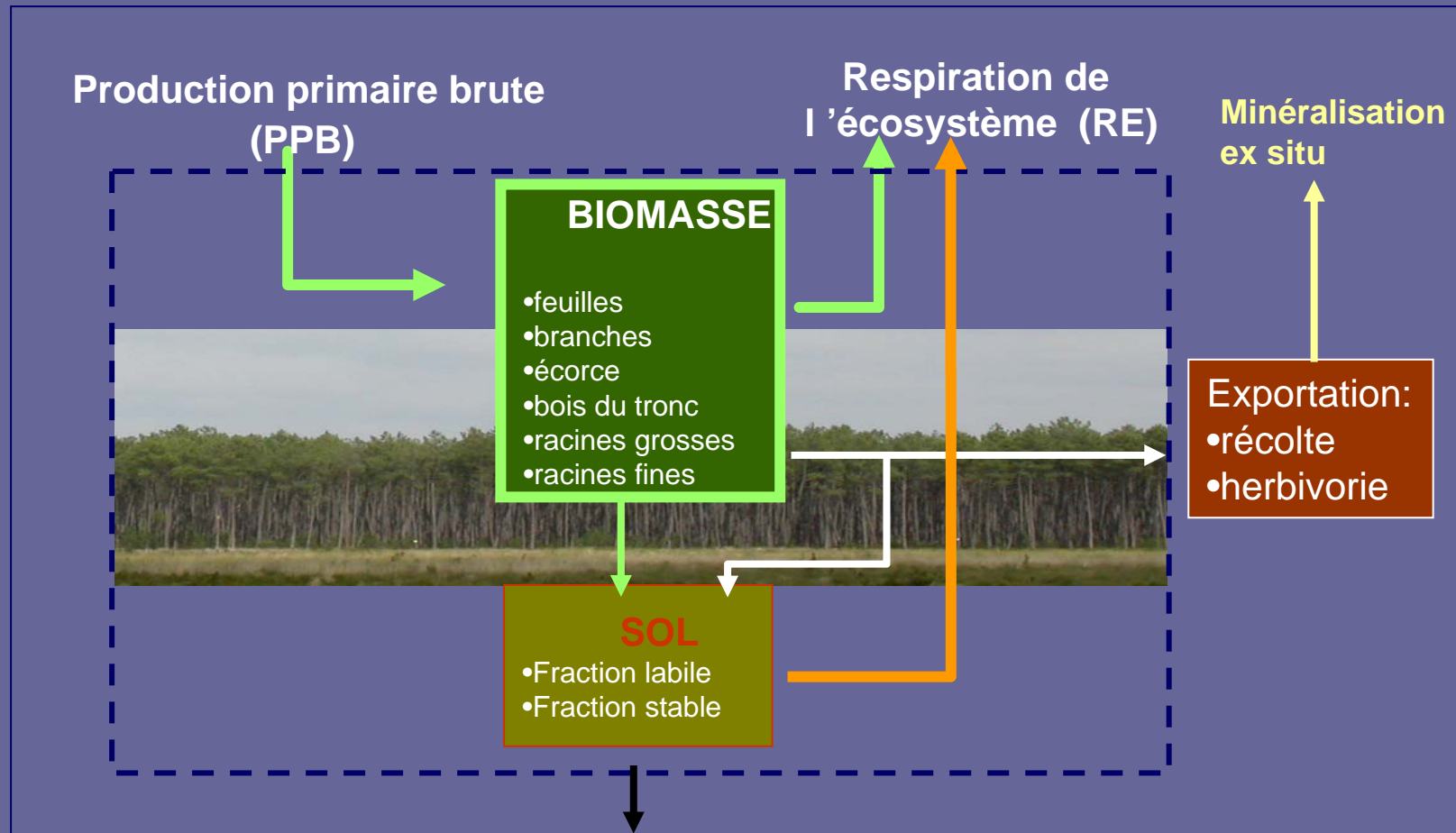


## 2. Cycle du carbone en forêt: effets d'une perturbation sur les flux, compartiments et temps moyens de résidence (an)



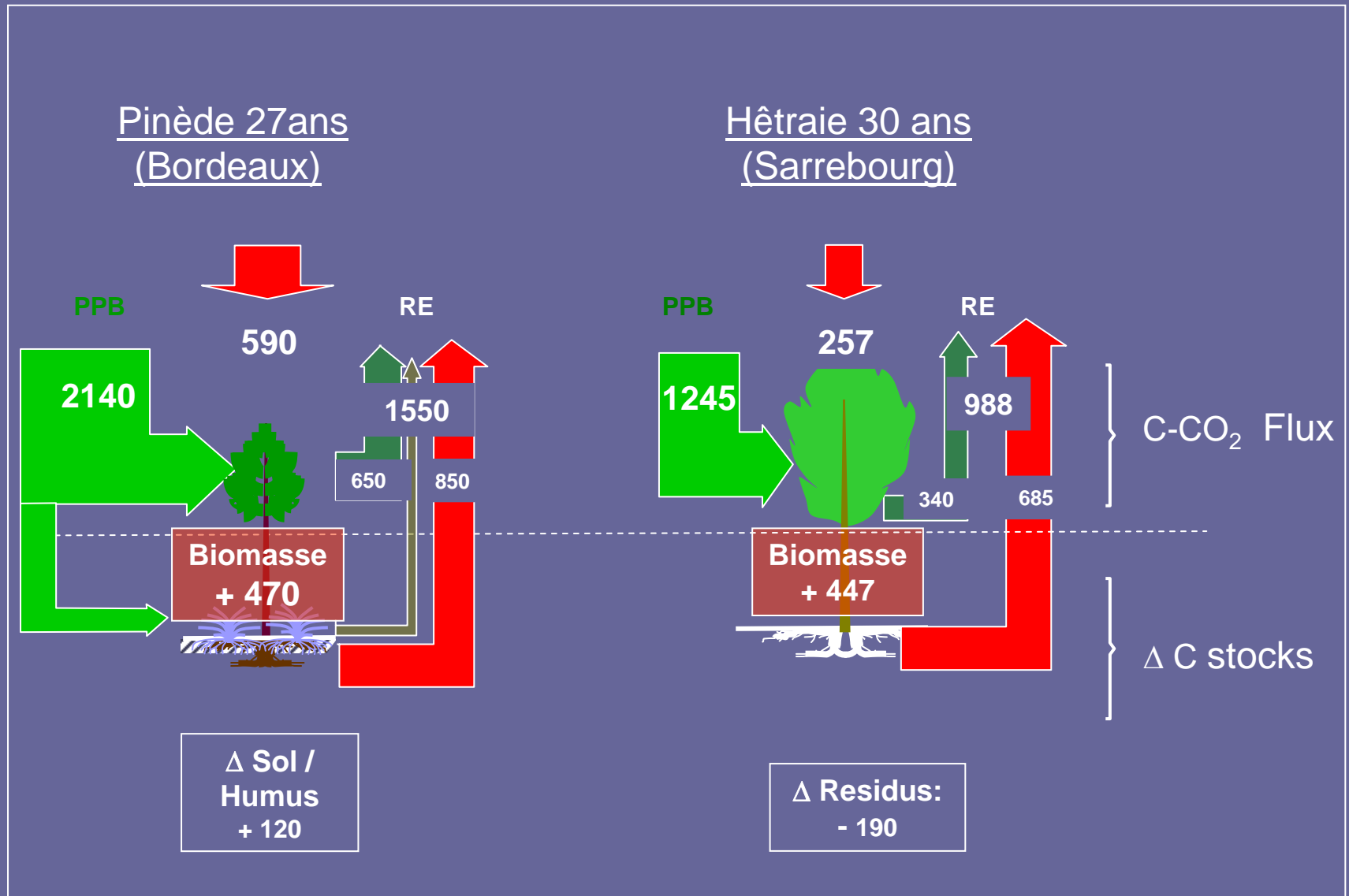


## 2. Cycle du carbone en forêt: compartiments et temps moyens de résidence (an)



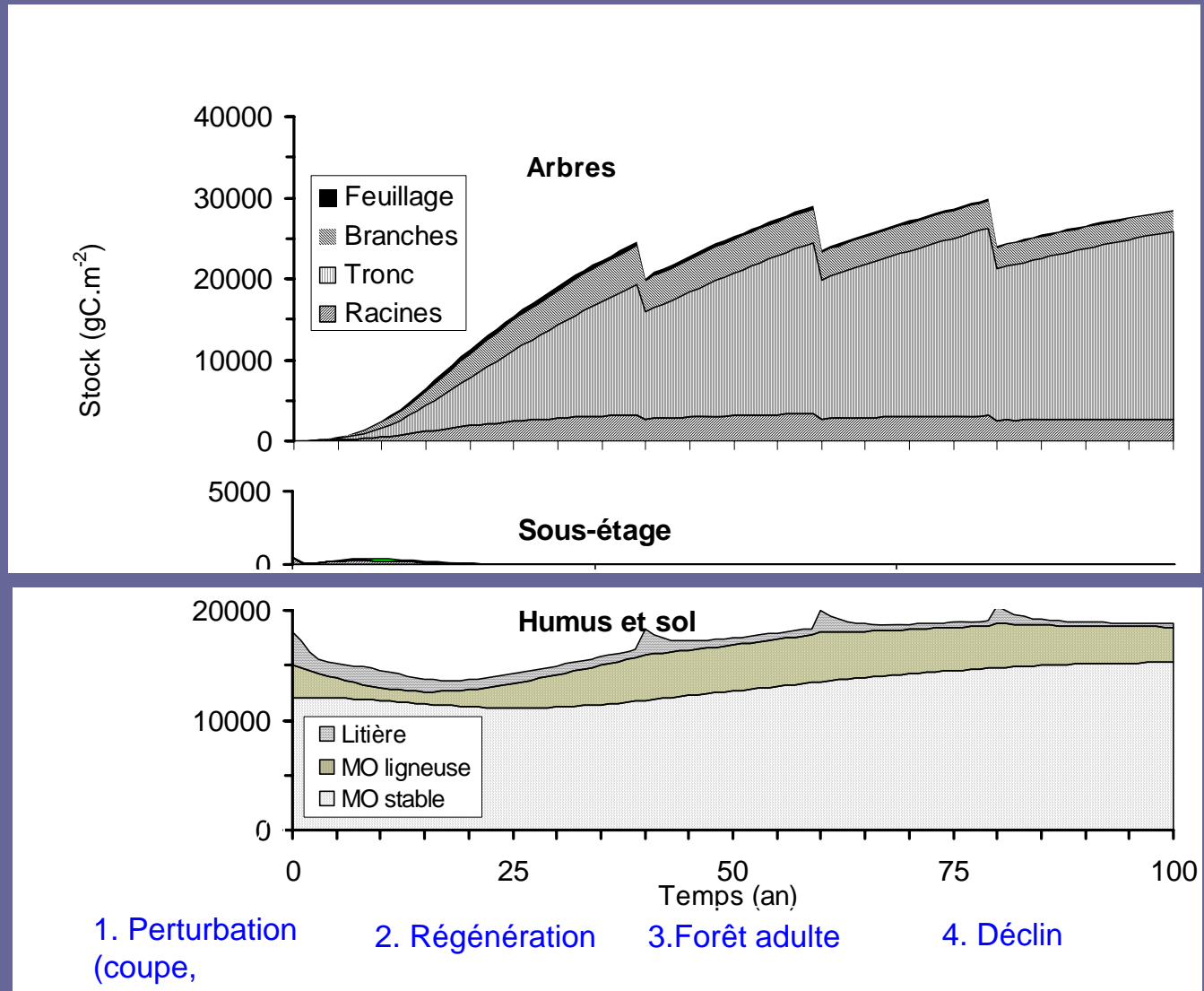
- Deux flux de  $\text{CO}_2$  de sens opposés, PPB et RE, et un flux d'exportation de récolte
- Deux compartiments de stockage: biomasse vivante et sol+humus
- Des taux de renouvellement variant de 2 (racines fines) à  $10^{-3}$  (tronc, M.O. du sol)  $\text{an}^{-1}$ .

# Bilan annuel de C de forêts exploitées (gC m<sup>-2</sup> an<sup>-1</sup>)



# Production primaire et cycle du carbone, dynamique interannuelle

## Dynamique temporelle des stocks C de biomasse et sols en forêt exploitée



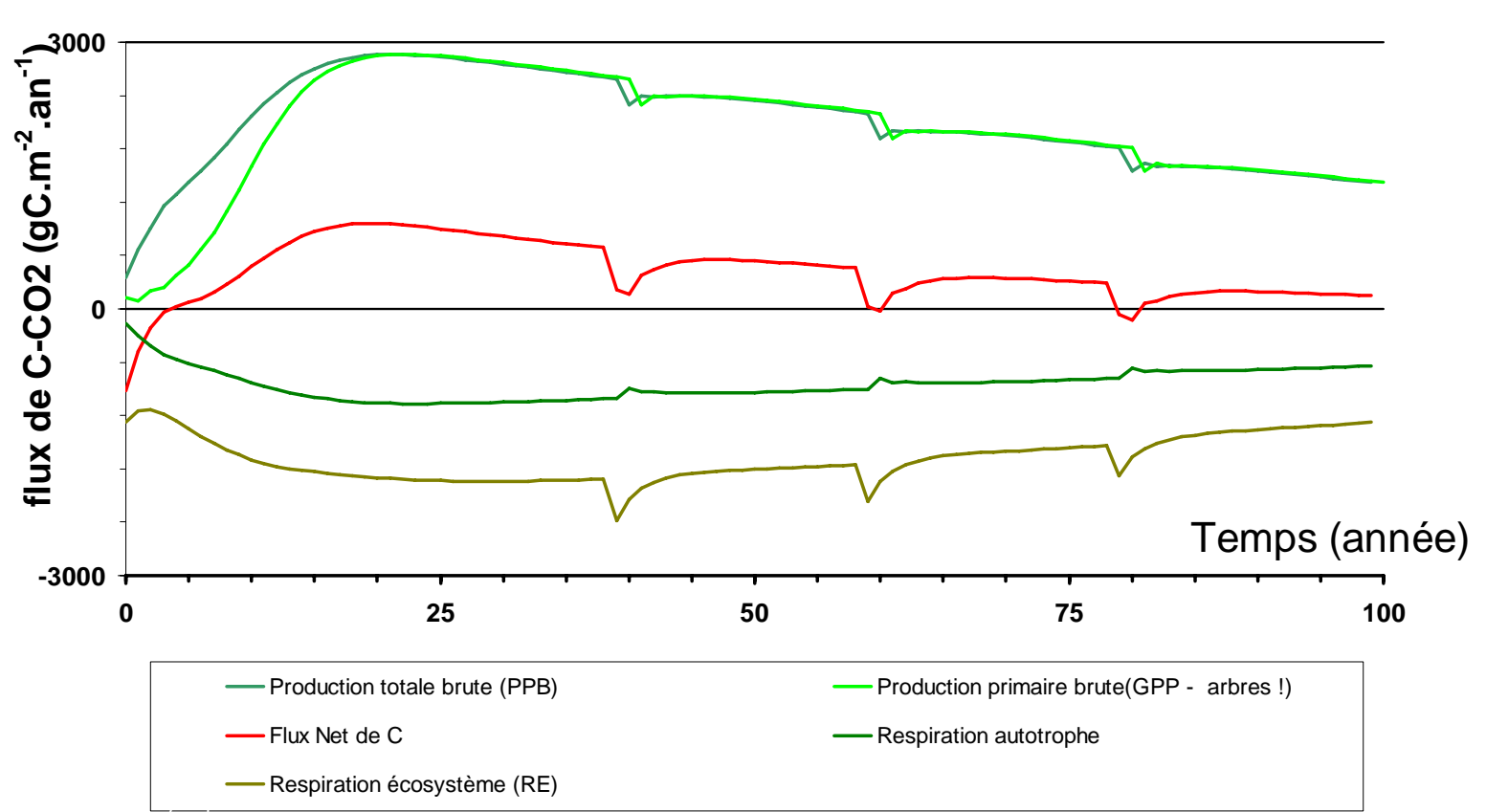
1. Perturbation  
(coupe,  
Incendie,  
Tempête,..)

2. Régénération

3. Forêt adulte

4. Déclin

# Dynamique temporelle des flux de Carbone en forêt exploitée



1. Perturbation  
(coupe,  
Incendie,  
Tempête,..)

2. Régénération  
PPB faible  
RE élevée  
NEE ≤ 0

3. Forêt adulte  
PPB maximum  
RE stable  
NEE > 0

4. Déclin  
PPB décline  
RE stable  
NEE ~0

## Pin maritime

### Flux Site 1: Le Bray

30-yr old Maritime Pine.

Understorey: graminae

Measurement height: 43 m.

Tree height: ~19-20m

Severe storm damage, very irregular, mainly South of the tower (LAI North:~2.6; LAI South~1.7)



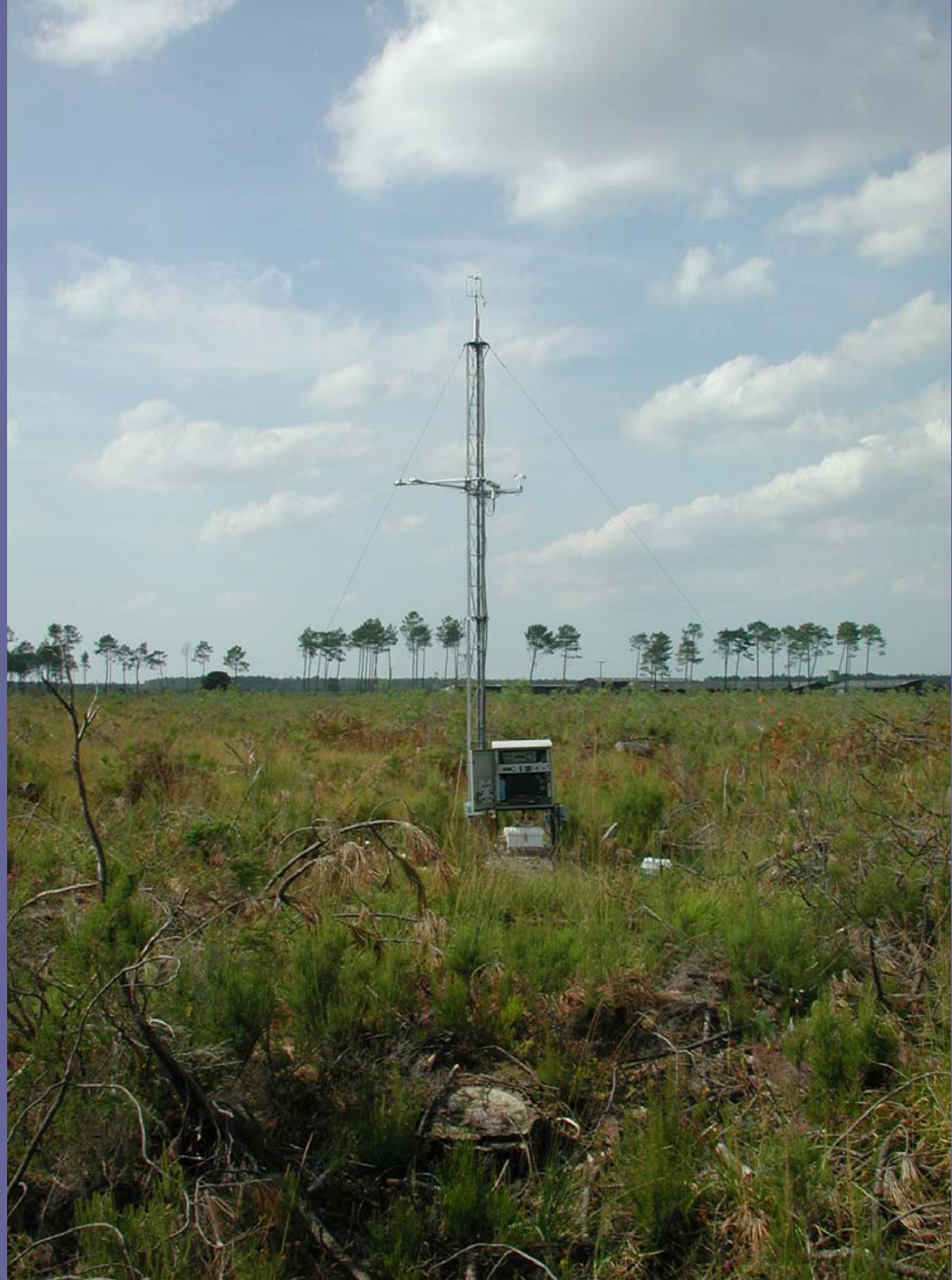
19/8/1999

## Pin maritime

Flux Site 2: Bilos

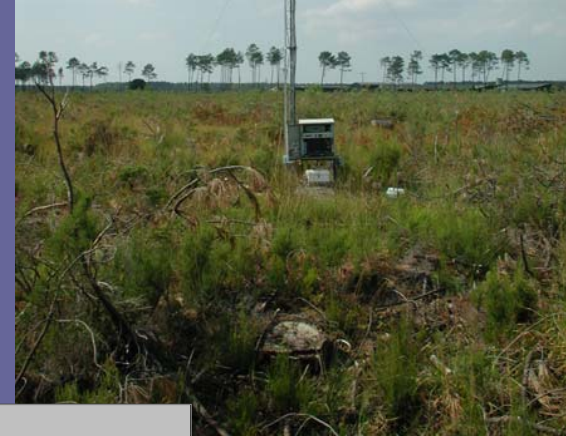
Maritime Pine forest was clearcut after December 1999.

Regrowth: gramineae, pine saplings, heather, gorse.



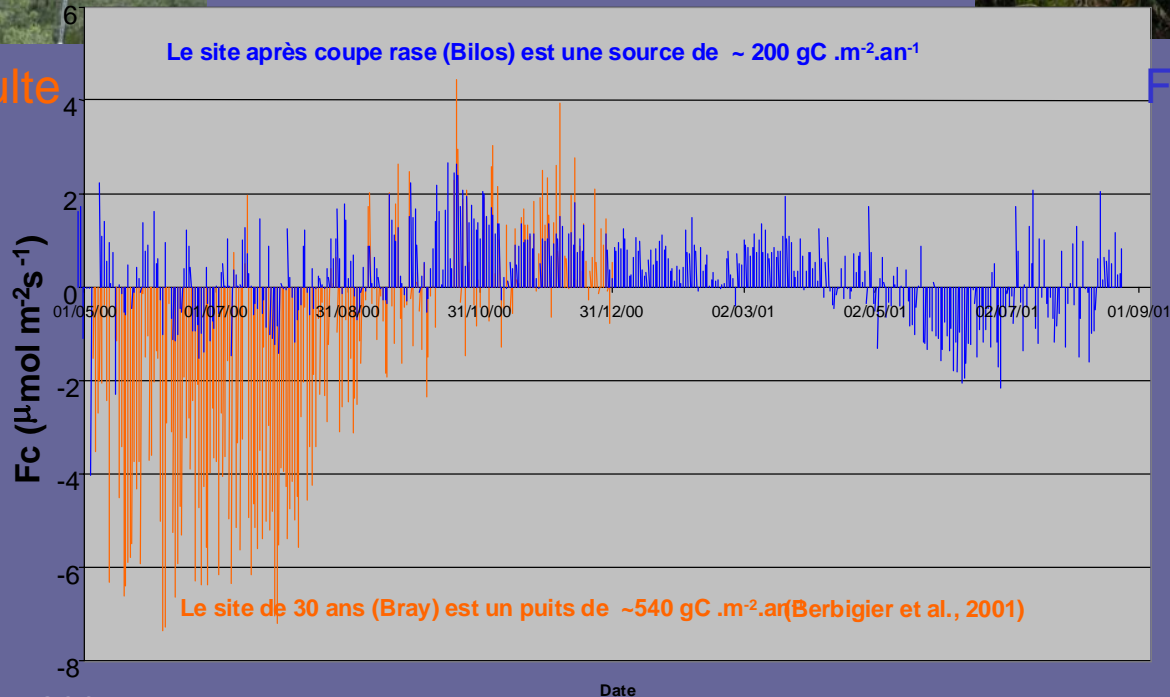


# Cas de la tempête: une perturbation majeure inverse le bilan de carbone de l'écosystème



Peuplement adulte

Friche post tempête

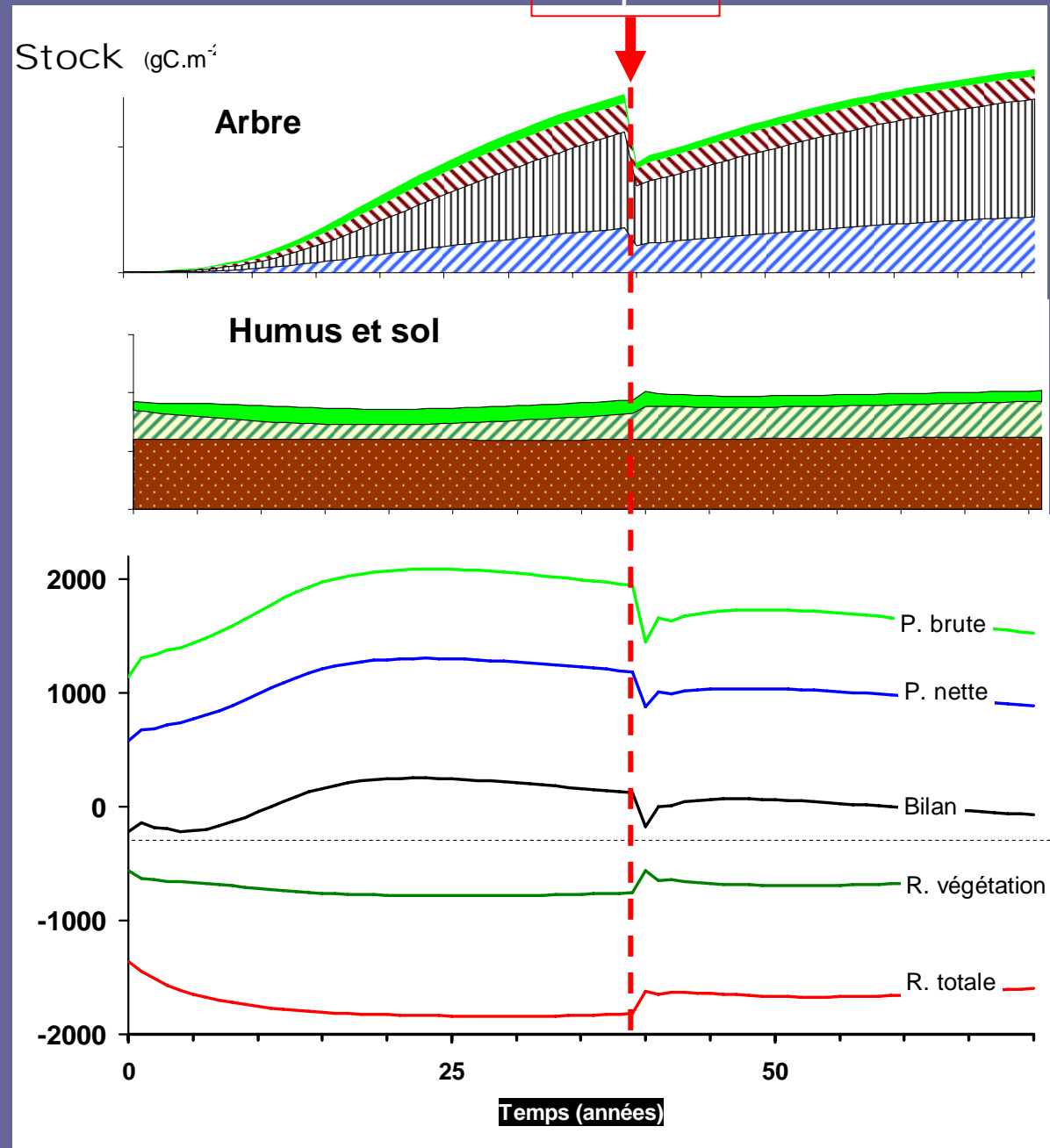


Magnani et al. *Nature*, 2007

Stella et al. *Biogeoscience disc.* 2009

# Niveau de dégâts faible (1) :

- Effet comparable à une éclaircie;
- Compensation des échanges par le sous étage;
- Restauration en 3-5 ans;





## 2. niveau de dégâts faible (1) :

Flux nets annuels échangés par un peuplement adulte de Pin maritime avant et après la tempête MARTIN

		Site du Bray	
		Peuplement semé en 1970	
		avant tempête	après tempête
		1998	2001
Bilan net de C -CO <sub>2</sub>	gC.m <sup>-2</sup>	-575	-498
Production primaire brute	gC.m <sup>-2</sup>	2255	2025
Respiration totale	gC.m <sup>-2</sup>	1680	1527

(1) compté positivement en émission, négativement en prélèvement

Berbigier et al., *Agric. For. Met.* (2001)

Kowalski et al., *Global Change Biology* (2004)

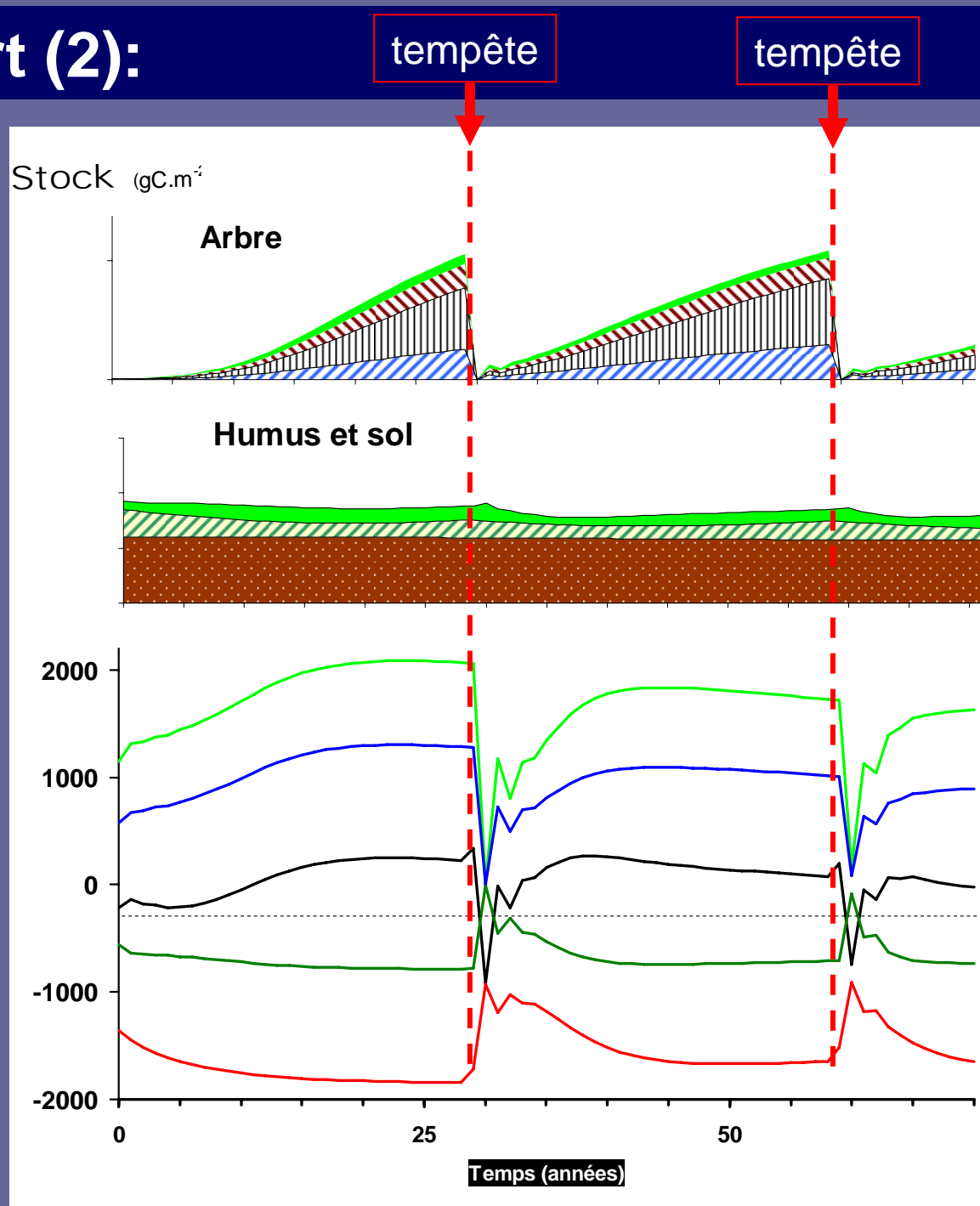
# Niveau de dégâts fort (2):

## Effet immédiat:

- chute de photosynthèse
- libération de carbone du sol

## Effet différé:

- baisse de la production moyenne (-18%)
- et du stock moyen sur pied et dans le sol (-65%)



# Niveau de dégâts fort (2): effet année n+1

Flux nets annuels échangés par un peuplement adulte de Pin maritime avant et après la tempête MARTIN

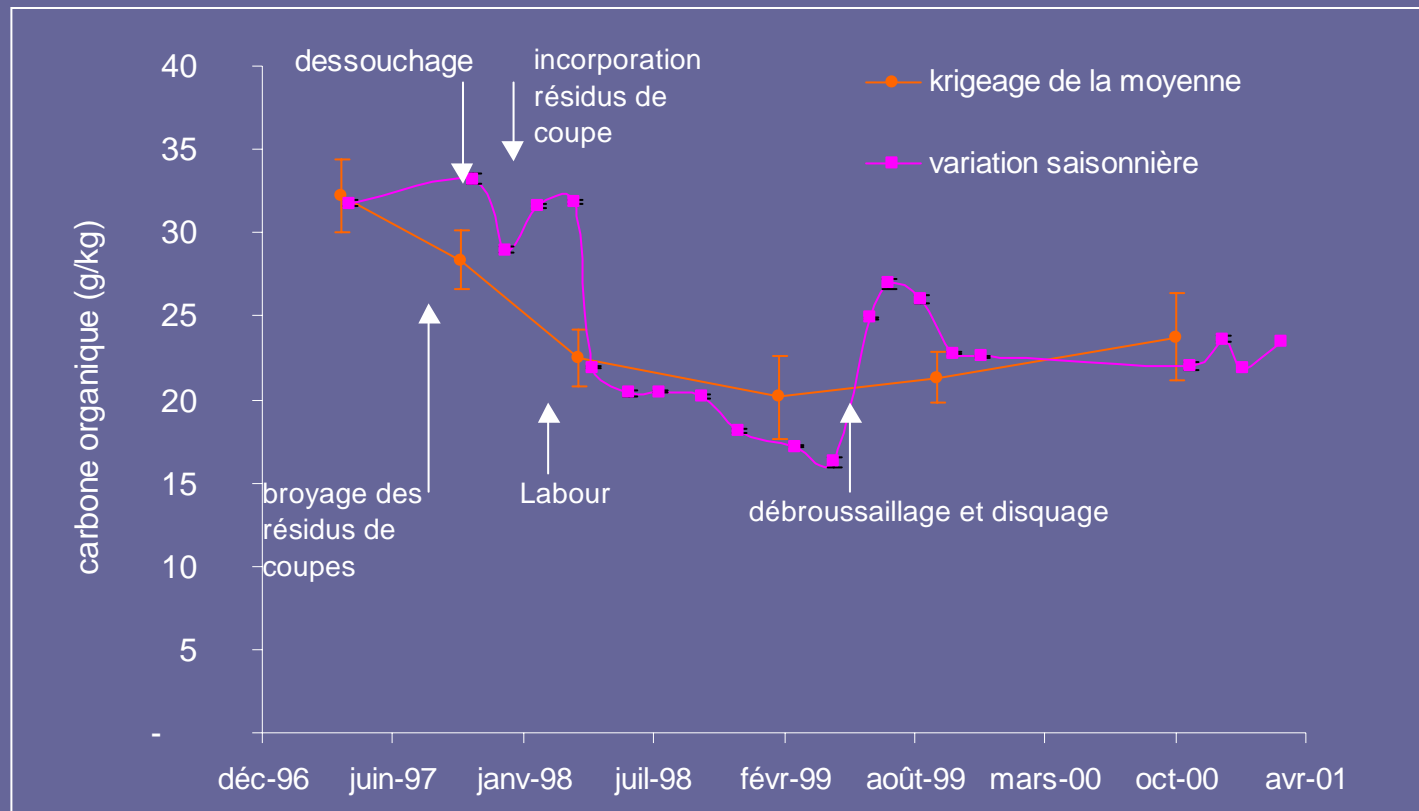
		Site du Bray Peuplement semé en 1970		Site de Bilos Coupe rase
		avant tempête	après tempête	
		1998	2001	2001
Bilan net de C -CO <sub>2</sub>	gC.m <sup>-2</sup>	-575		290
Production primaire brute	gC.m <sup>-2</sup>	2255		727
Respiration totale	gC.m <sup>-2</sup>	1680		996

(1) compté positivement en émission, négativement en prélèvement

Berbigier et al., *Agric. For. Met.* (2001)

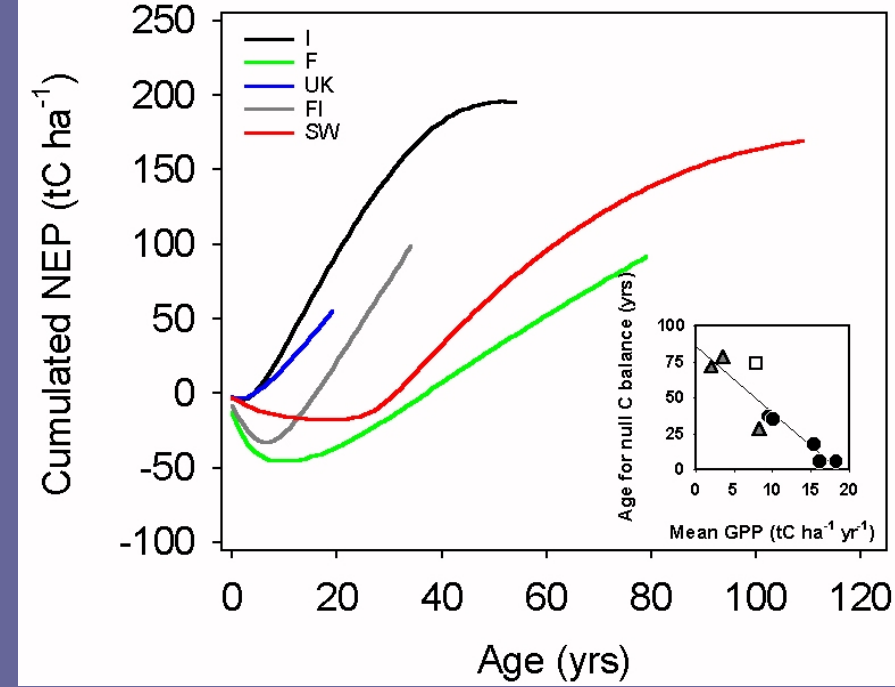
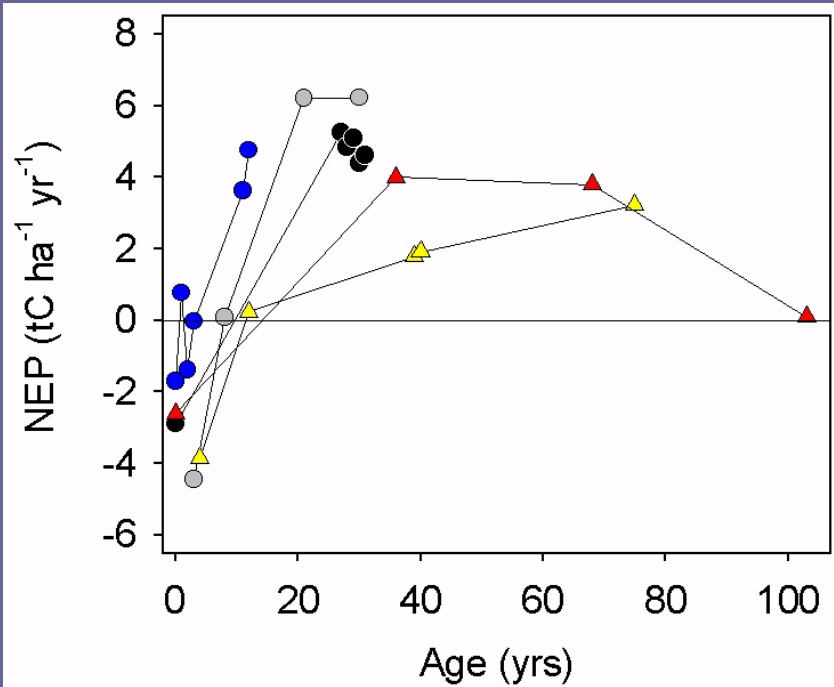
Kowalski et al., *Global Change Biology* (2004)

# Niveau fort (2) : impacts de la restauration du sol sur les stocks de C.



20 à 40 % du C organique du sol est minéralisé par le chablis et les opérations de restauration, soit l'équivalent de 4 à 6 années de fixation nette d'une forêt adulte.

# Restauration du cycle du carbone: la durée de retour à l'équilibre dépend de la productivité.



TCR (Italie) = 2 ans  
Pin m. (France) = 15 ans  
Pin s. (Finlande) = 45 ans

# Impacts des tempêtes sur le fonctionnement des forêts : synthèse

## Niveau de dégâts faible

- l'effet d'un niveau de dégât inférieur à 30% est ténu et s'apparente à une éclaircie sylvicole
- il est compensé par une redistribution des flux vers les arbres intacts et le sous-étage
- le couvert se referme en 3 à 5 ans

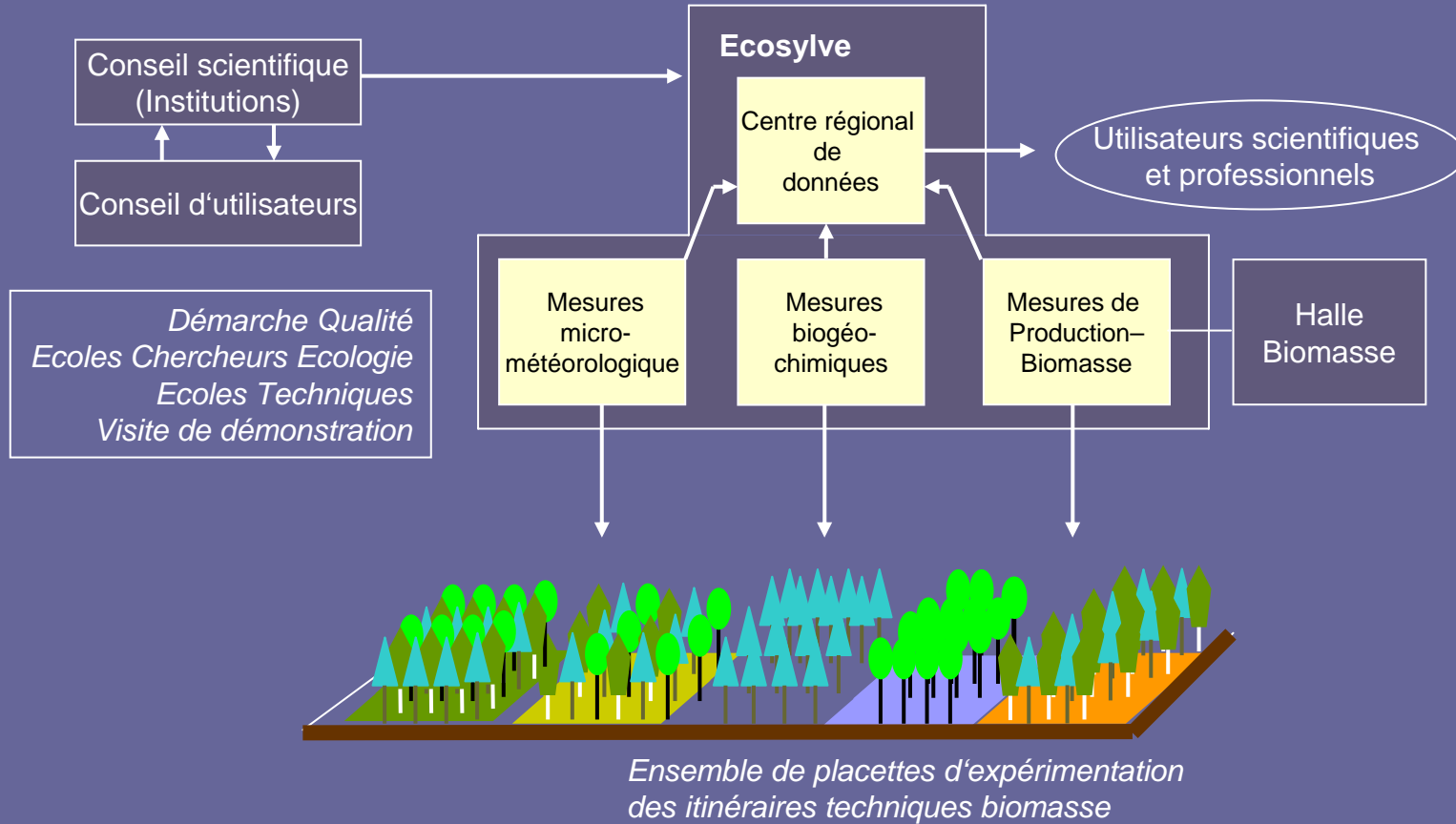
## Niveau élevé

- l'effet de dégâts suivis d'une coupe rase entraîne une rupture du cycle de vie de la forêt et un changement brutal sur l'ensemble des composantes du fonctionnement
- la régénération d'un couvert forestier fonctionnel dure de 10 à 15 ans (Pin maritime).

# Impacts des tempêtes sur le fonctionnement des forêts : 3. pistes de recherche .

- adapter les itinéraires sylvicoles au contexte 2010-2050
  - températures élevées, CO<sub>2</sub>, ozone, azote
  - sécheresses accrues
  - événements extrêmes à plus forte fréquence
  - demande en biomasse forestière en forte croissance

### 3. Développement d'une plate forme régionale « ECOSYLVE » de sylvicultures innovantes



- itinéraires évolutifs et adaptables (donc « durables »)
- sylviculture « biologique »
- gestion régionale des ressources (eau, air, sols, biodiversité)
- maîtrise des impacts et des risques (tempêtes, incendies)