

# Cycle et temps de résidence du carbone dans les écosystèmes terrestres, approches isotopiques

Jérôme Balesdent

Laboratoire d'Ecologie Microbienne de la Rhizosphère

UMR CNRS/CEA n°163

CEA Cadarache France

SFRP 18 04 2002

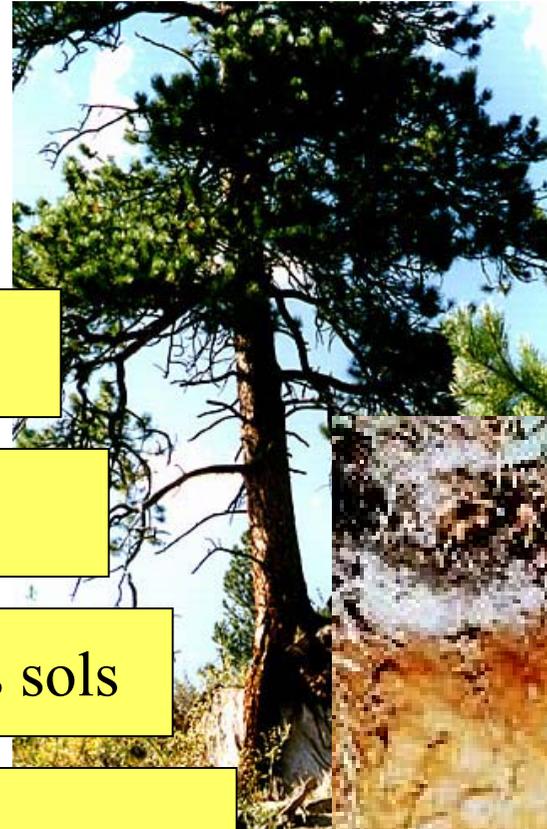
Carbone terrestre et effet de serre

Biotransformations du carbone

Temps de résidence du carbone dans les sols

Modélisation

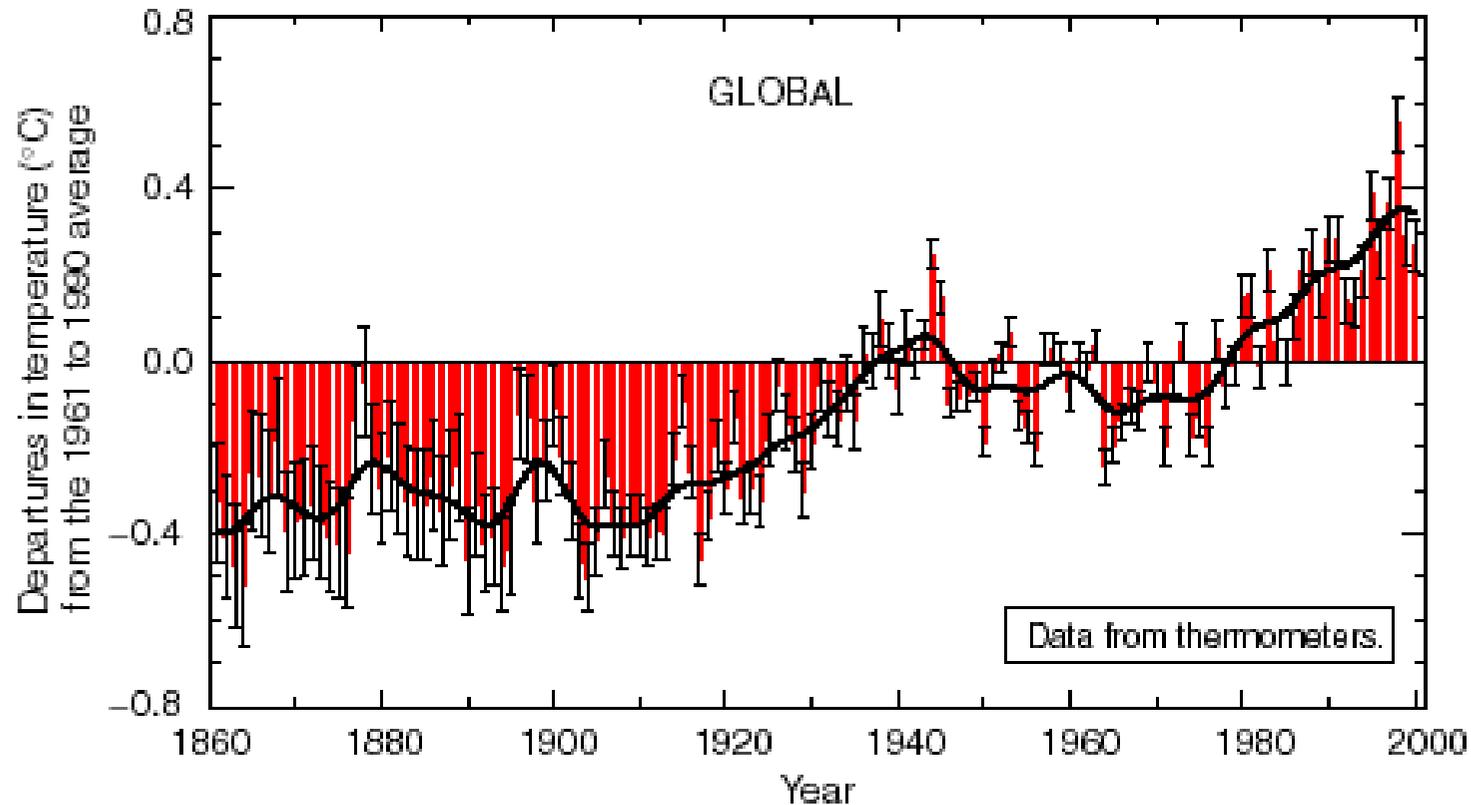
Conclusions



# Réchauffement global

Variations of the Earth's surface temperature for:

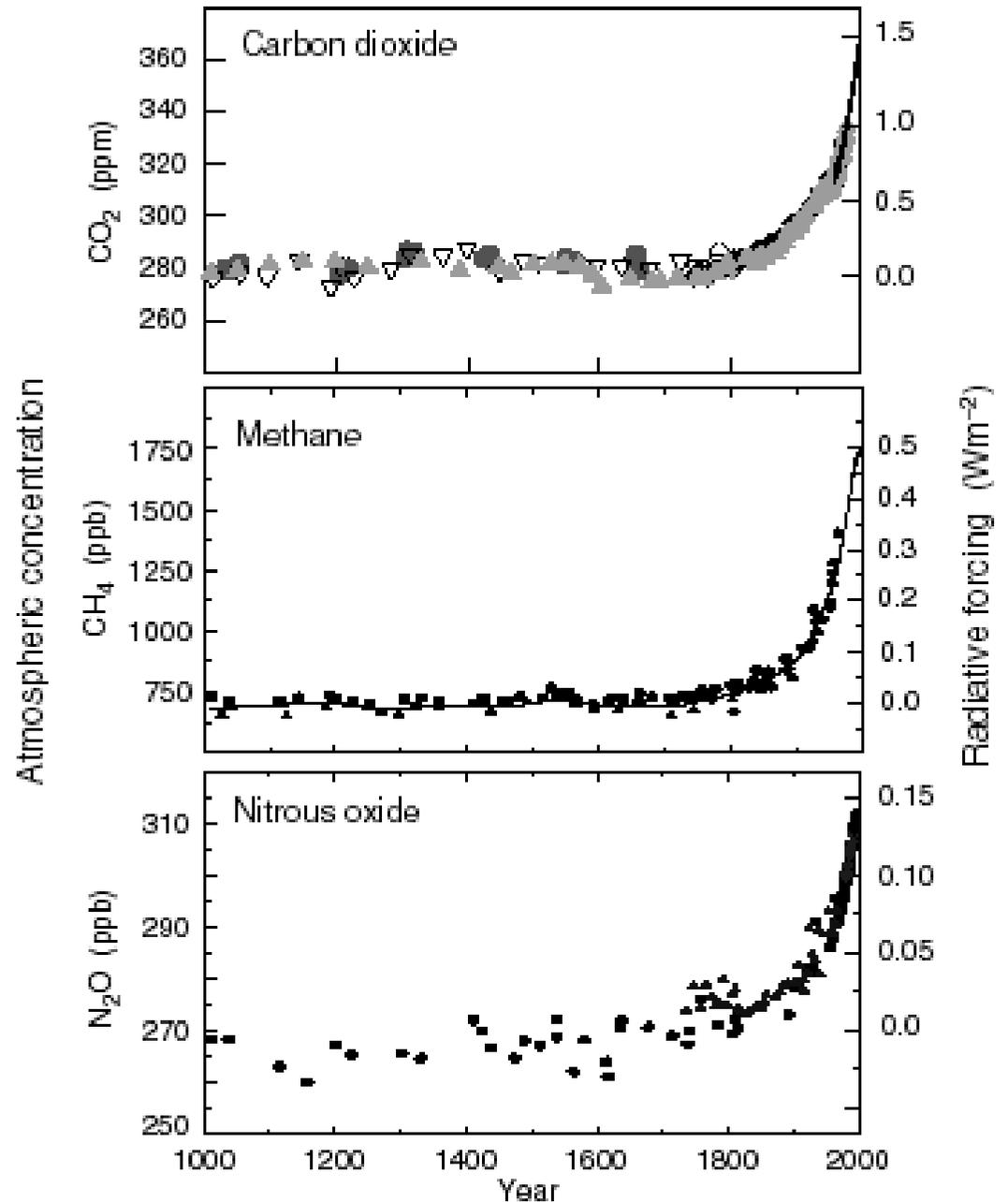
(a) the past 140 years



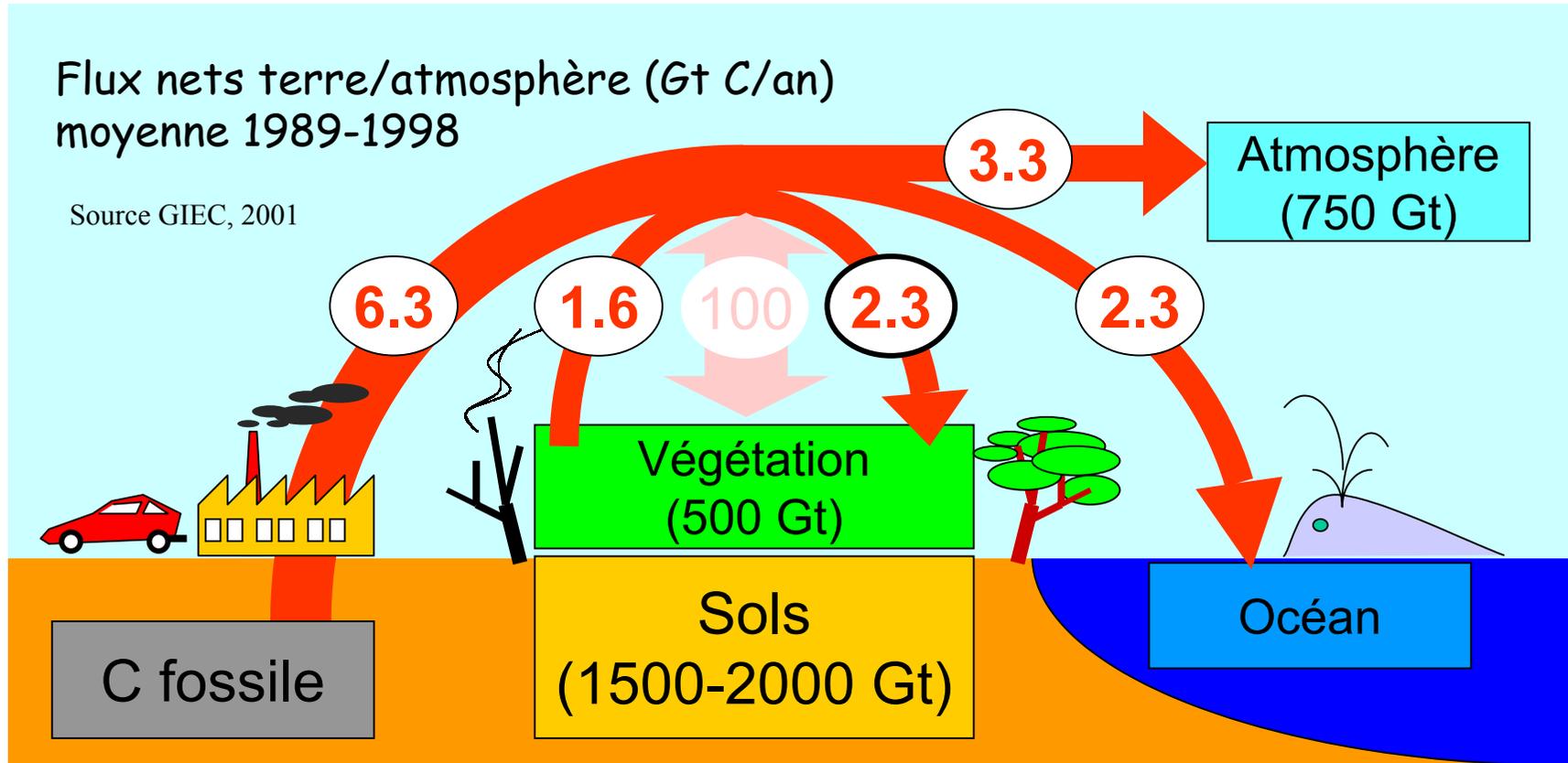
D'après GIEC 2001

# CO<sub>2</sub> atmosphérique

La teneur en CO<sub>2</sub> de l'atmosphère  
a augmenté de  
280 ppmV en 1800  
à  
370 ppmV en 2000

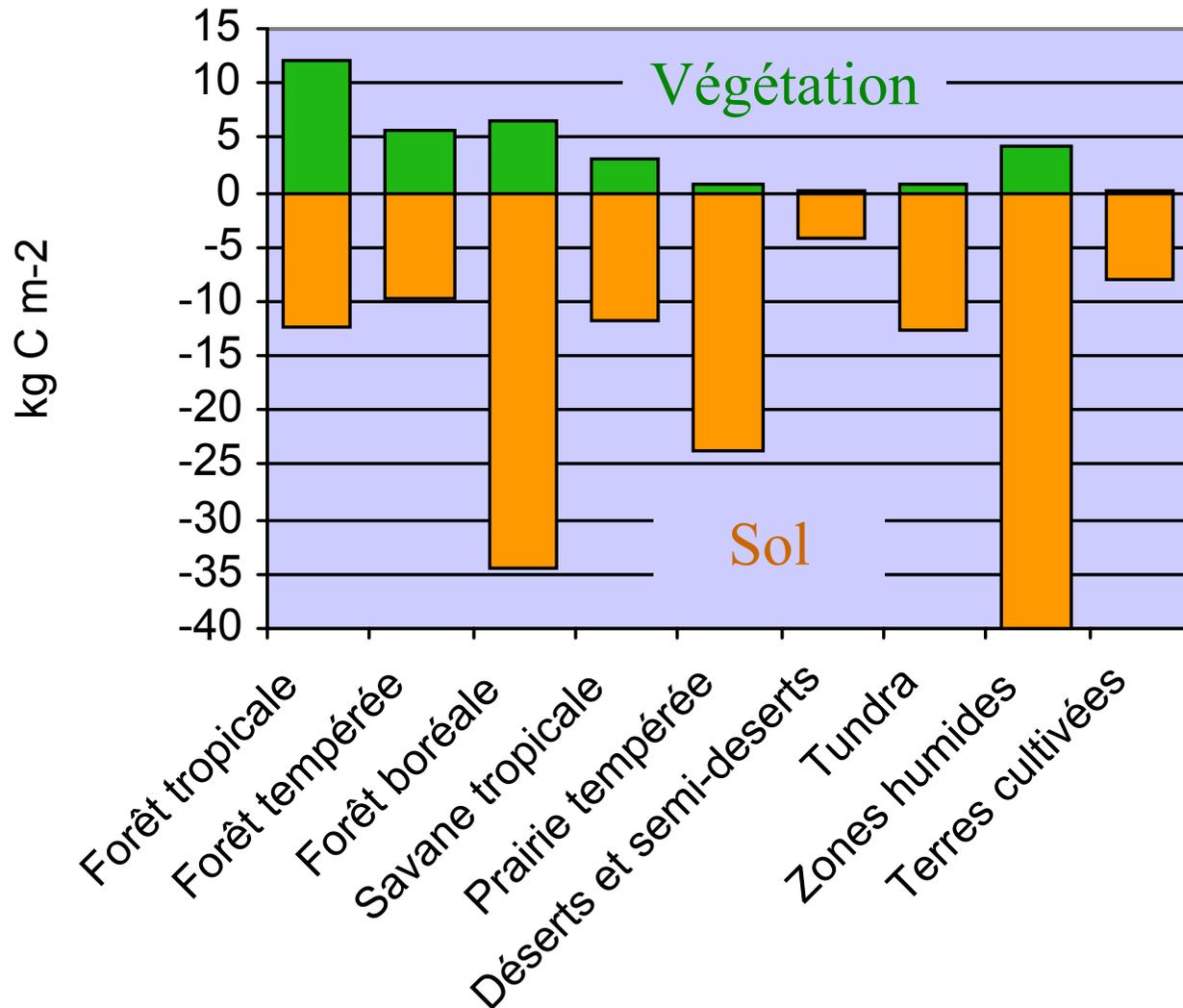


# Flux nets de carbone entre terre et atmosphère



*La biosphère continentale se comporte dans l'hémisphère nord comme un puits absorbant environ 20 % des émissions anthropiques de CO<sub>2</sub>. Les sols et la végétation stockeraient du carbone, contribuant ainsi à réduire l'augmentation du CO<sub>2</sub> atmosphérique*

# Stocks de carbone dans les grands biomes



D'après GIEC 2000

# Mécanismes du stockage continental ?

Changement climatique global :

- augmentation du CO<sub>2</sub> : fertilisation carbonée de la végétation
- augmentation de température : allongement des cycles végétatifs  
mais : augmentation de l'activité microbienne

Changement d'usage des terres

- déprise agricole, intensification, sylviculture

Fertilisation azotée généralisée

Erreurs dans l'estimation des autres postes du bilan

## Questions posées

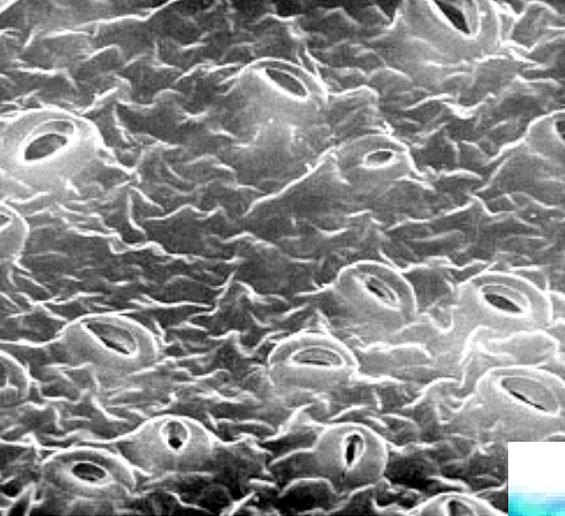
Durée du stockage, temps de résidence du carbone stocké.

Impacts du changement climatique futur, boucles de rétroaction

Comptabilisation des puits terrestres dans le protocole de Kyoto

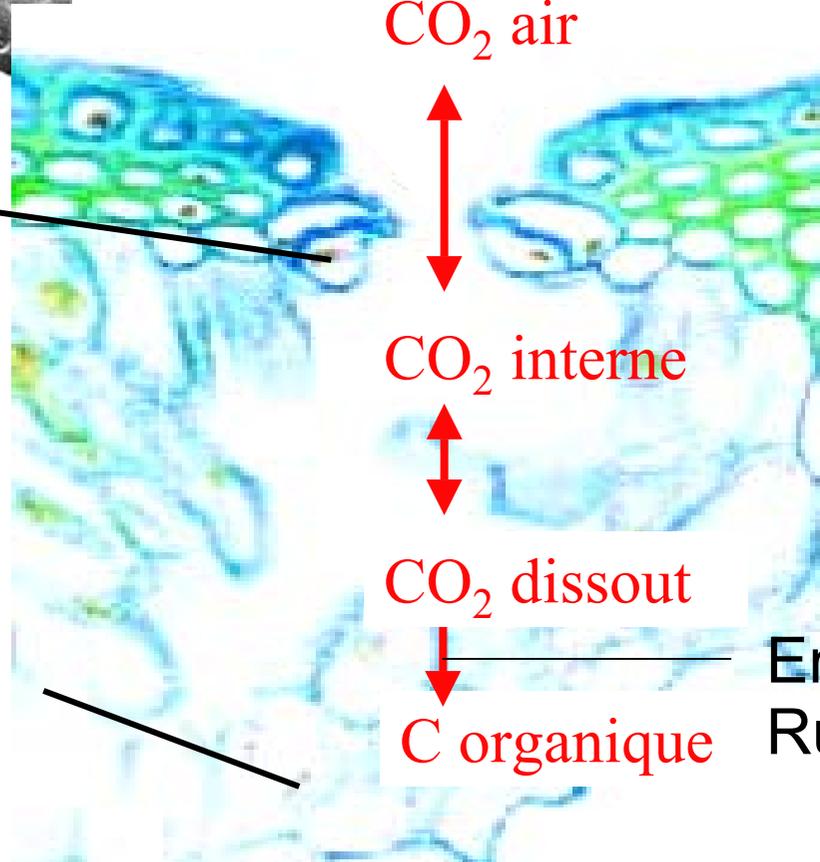
# Biotransformations du carbone

# Fixation photosynthétique du carbone



stomate

chloroplastes



*Teneur en CO<sub>2</sub>*

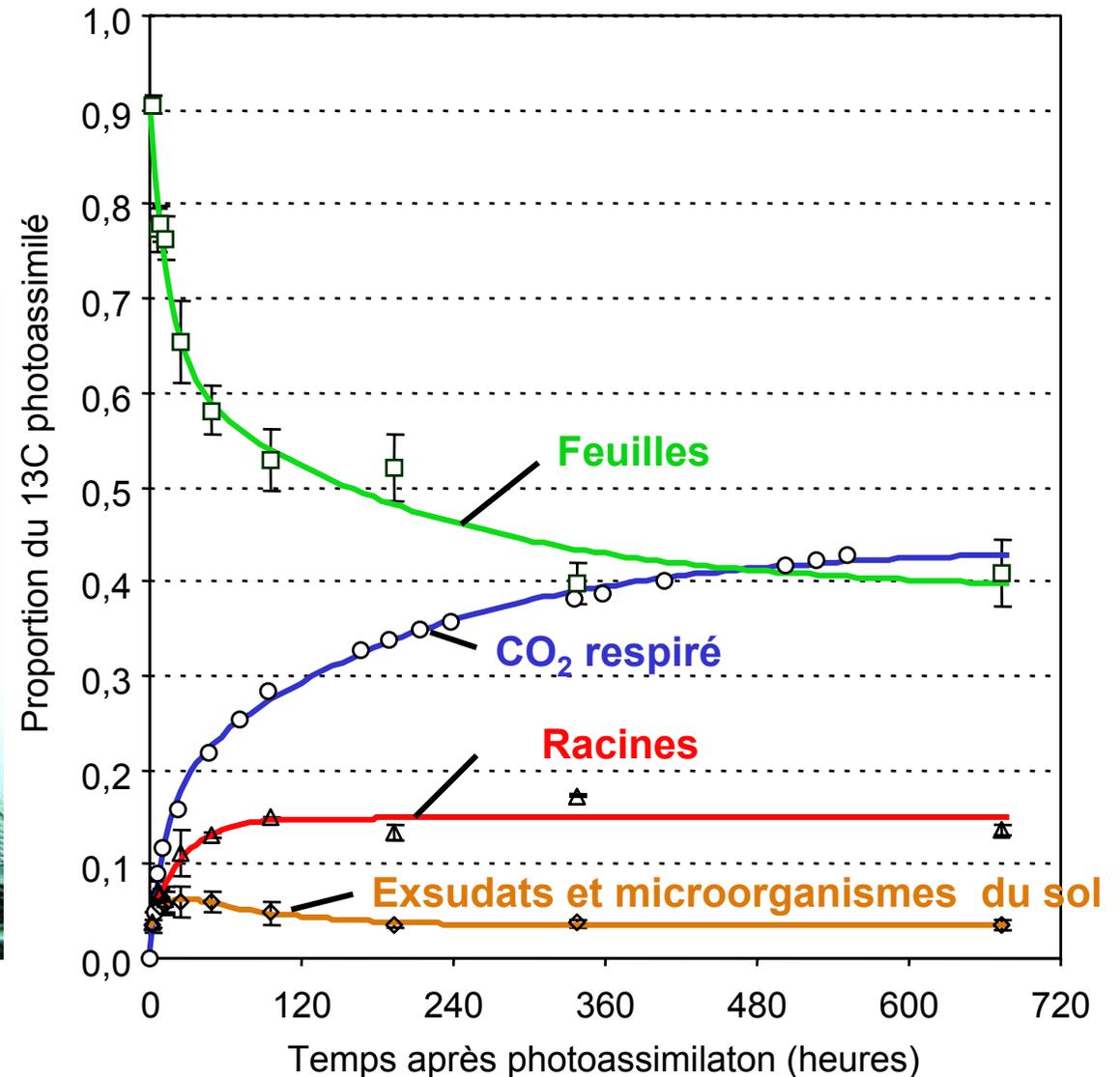
*état hydrique*

*éclairage*

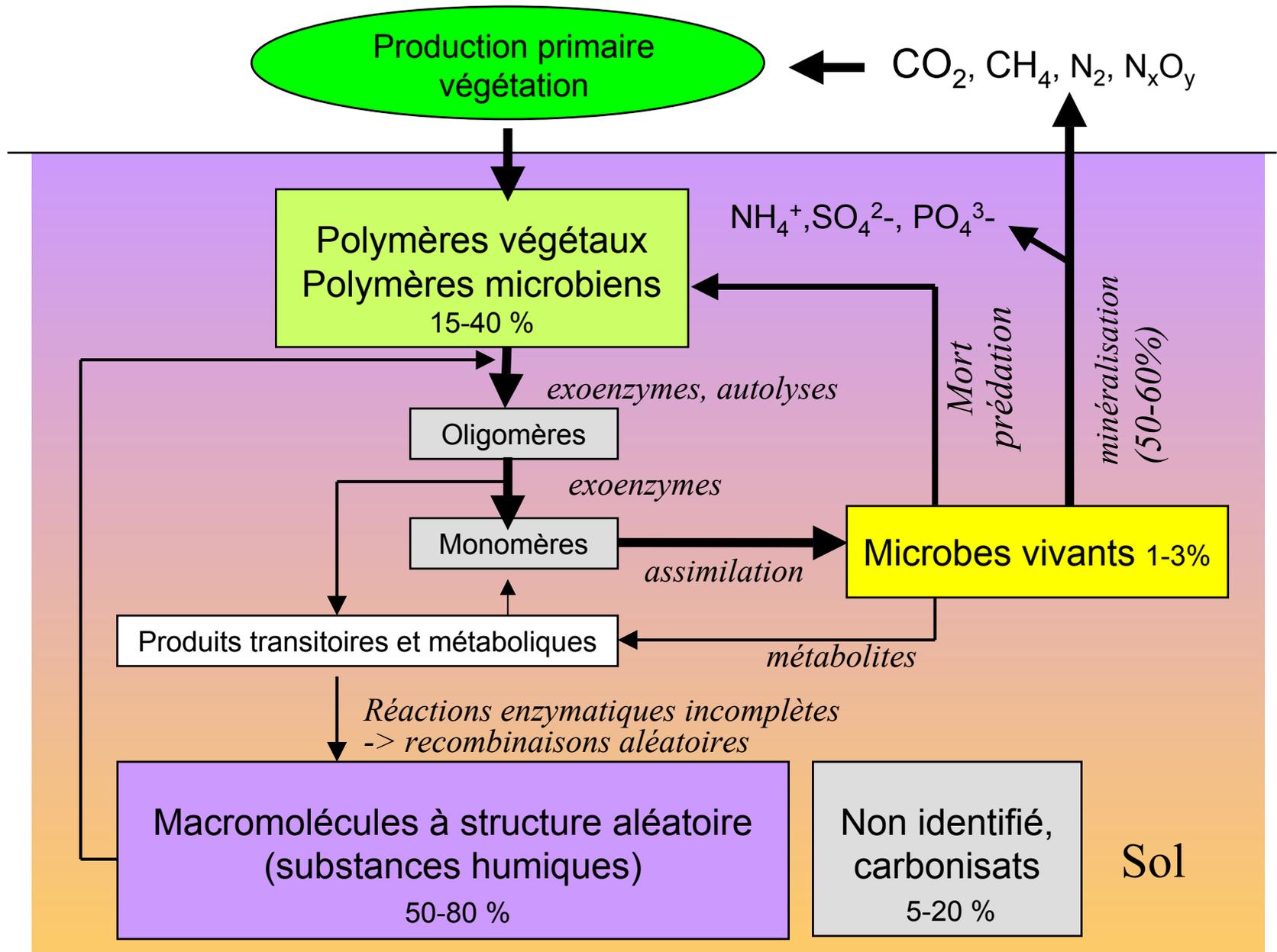
# Allocation et devenir du carbone photo-assimilé

Exemple de suivi par marquage  
pulse-chasse par  $^{13}\text{CO}_2$

culture de Colza



# Nature et biotransformations du carbone dans les sols



# Organismes du sol : un monde de grands nombres

## Valeurs typiques

Nombre (/ g soil)

Biomasse (kg/ha)

Bactéries	$10^7$ to $10^9$	10.000
Champignons	100 to 1000 m	4.000 to 8000
Algues	100 to 40.000	100 to 800
Protozoaires	30.000	50 to 300

Vers de terre jusqu'à 300/m<sup>2</sup>  
Fourmis, termites, arthropodes, vers...

0 à 1000



une diversité énorme (non mesurable)

~10 000 génomes différents (espèces, souches) par g de sol



5 % connu, 10% cultivable -> caractérisation par méthodes génomiques

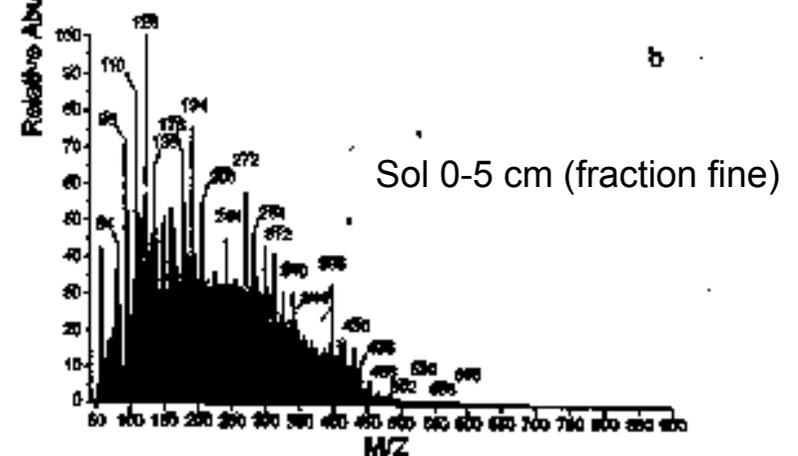
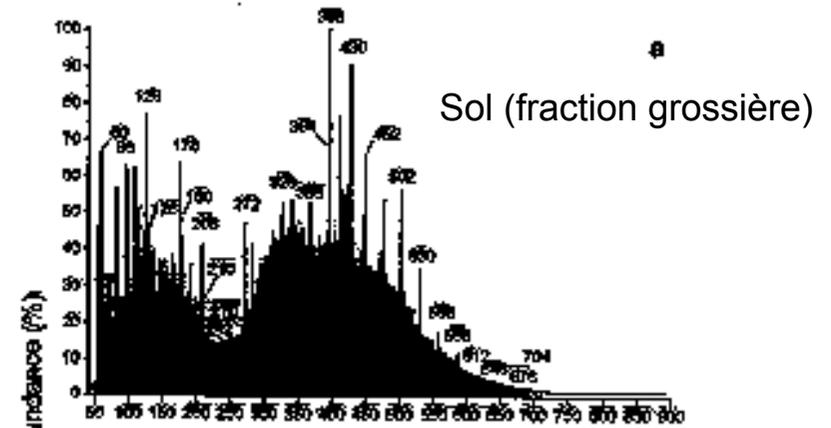
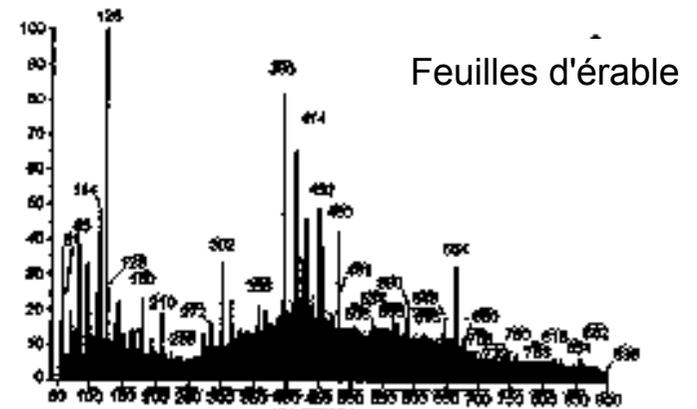
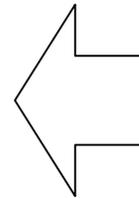
# Nature des matières organiques du sol

## Identification par Py-MS

Identification de segments moléculaires par  
Pyrolyse -spectrométrie de masse (Py-MS)  
(d'après Gregorich et al. 1996)

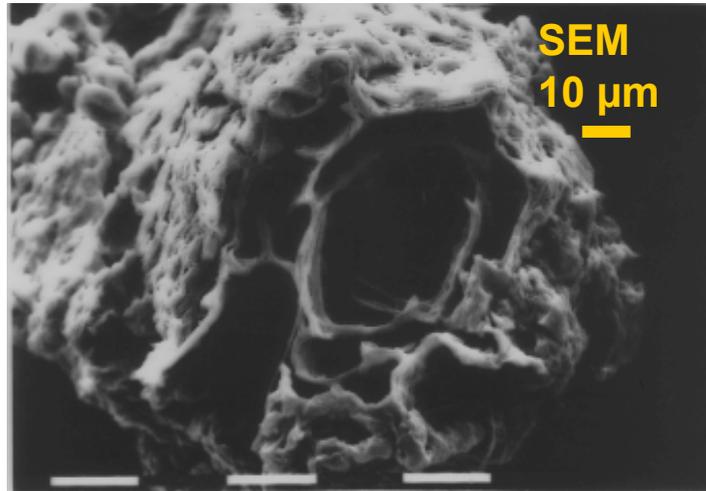
Unités élémentaires du matériel vivant :

- Glucides
- Phénols les lignines
- Lipides
- Aromatiques
- Composés azotés des peptides
- .../...

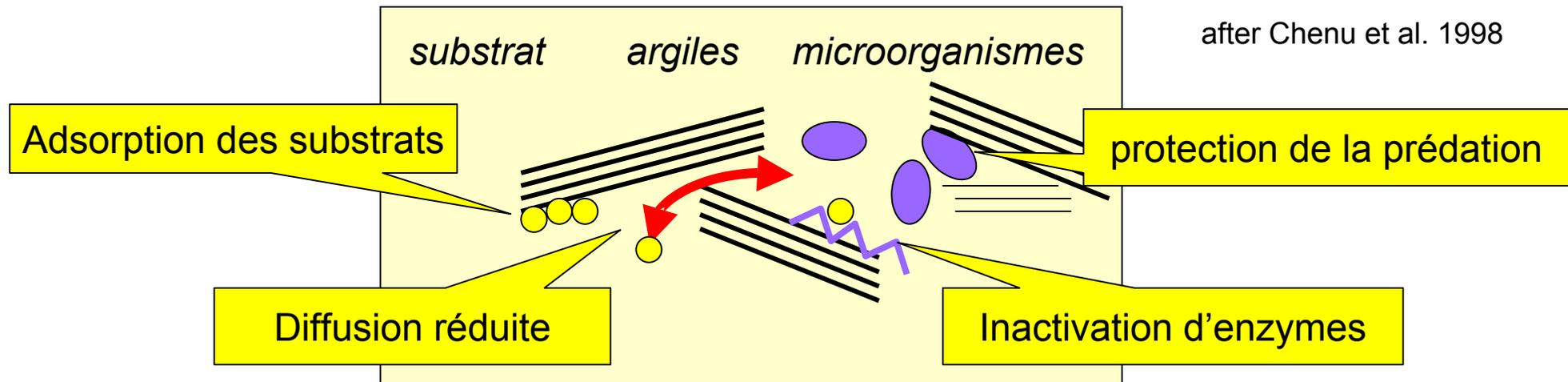
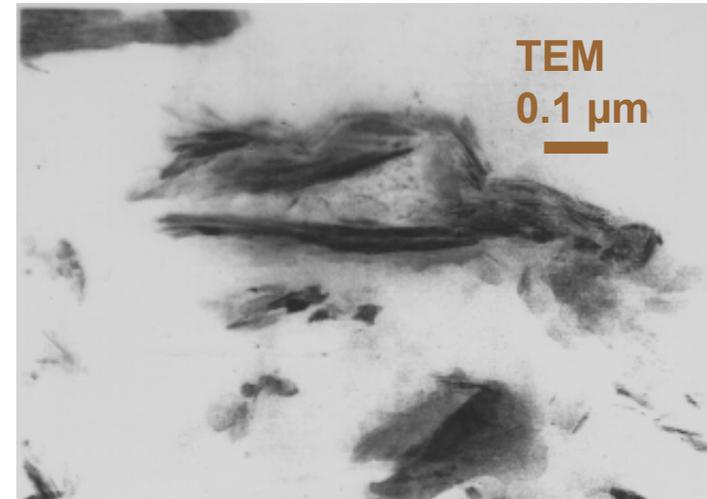


# Protection physique du carbone organique dans les sols

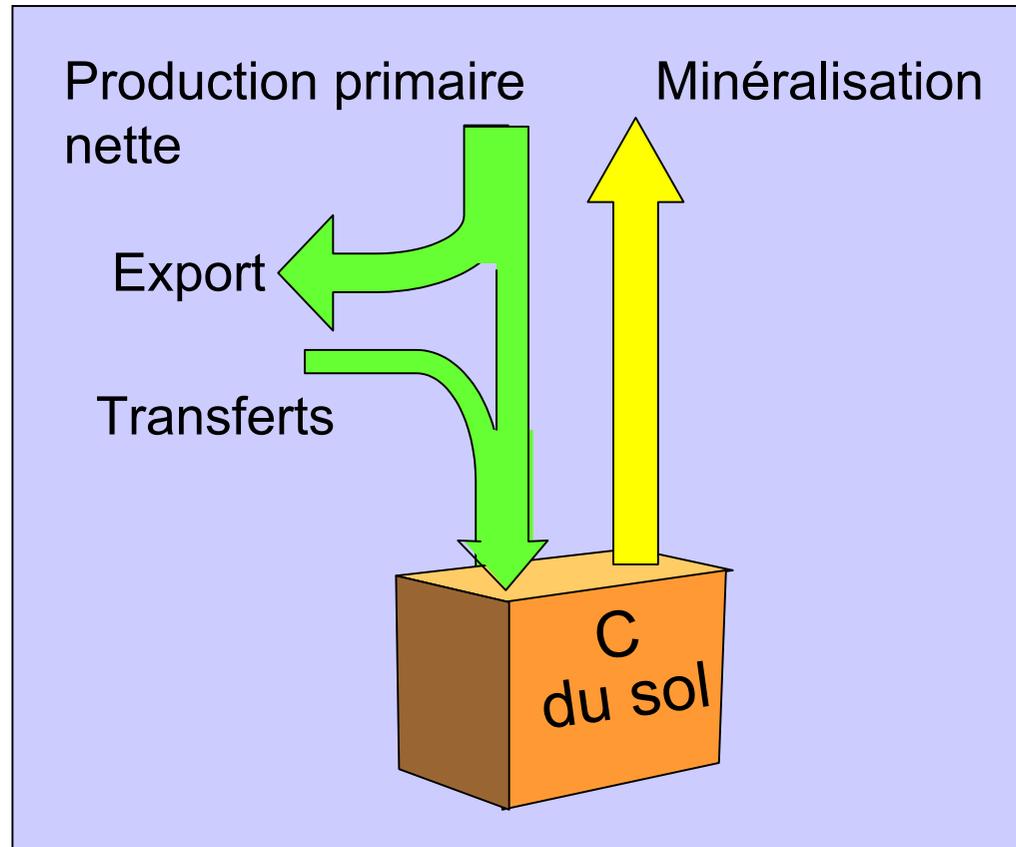
Revêtements argileux sur des débris



OM incluse dans les argiles

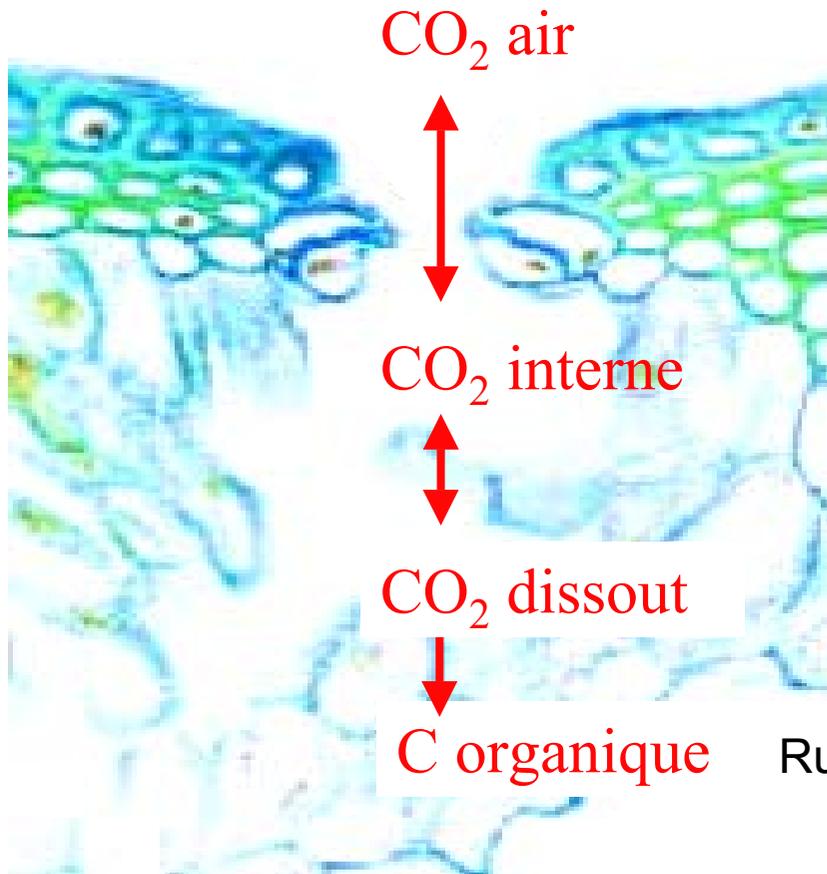


# Quels sont les temps de résidence du carbone dans les sols ?



Systemes en régime dynamique --> traceurs isotopiques

# Fractionnement isotopique du carbone par la végétation



$\delta^{13}\text{C} = -8 \text{ ‰}$



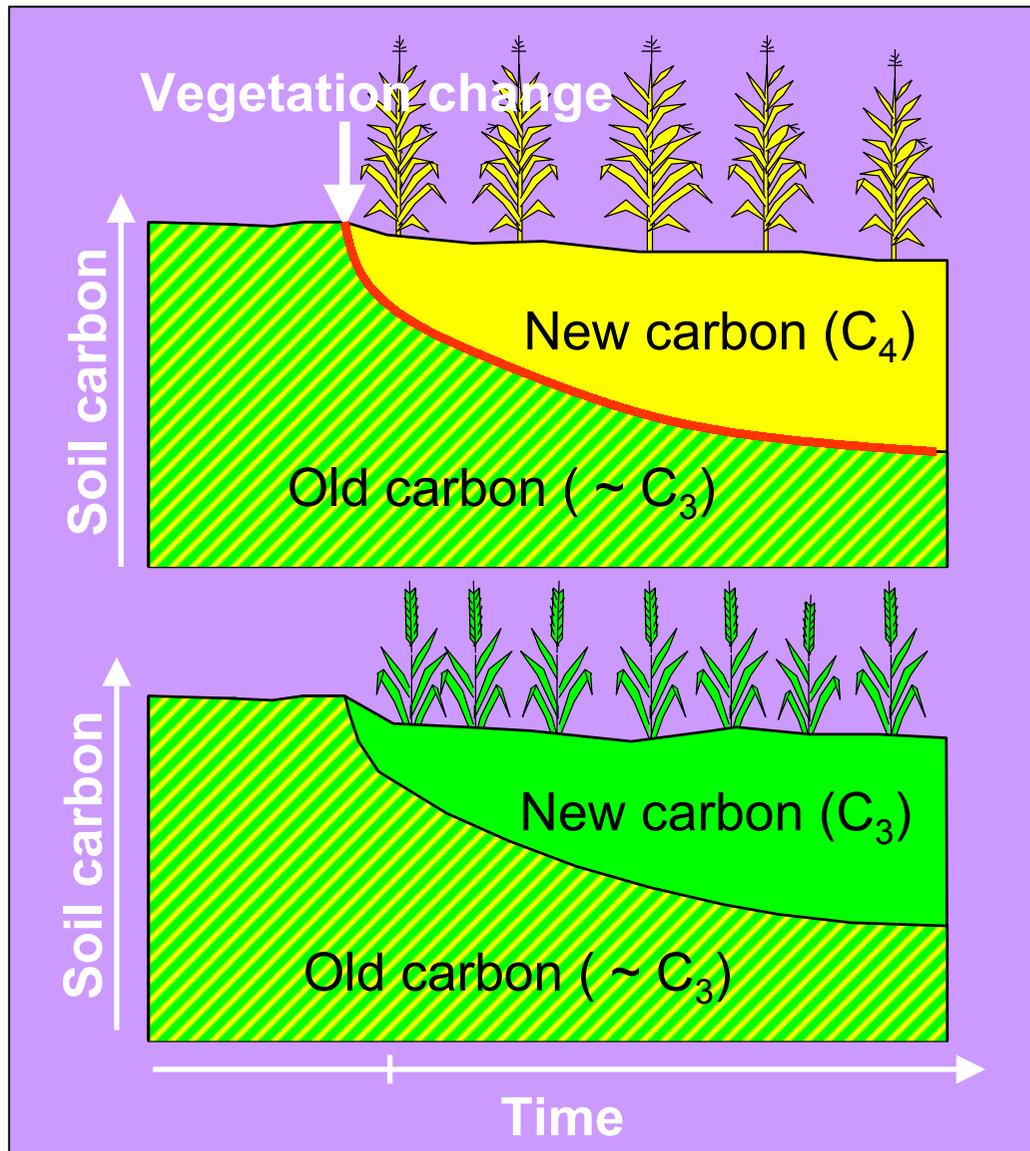
$\delta^{13}\text{C} = -8 \text{ à } -12 \text{ ‰}$



Rubisco (plantes C3)  $\delta^{13}\text{C} = -25 \text{ à } -29 \text{ ‰}$

PEPcase (plantes C4)  $\delta^{13}\text{C} = -11 \text{ à } -12 \text{ ‰}$

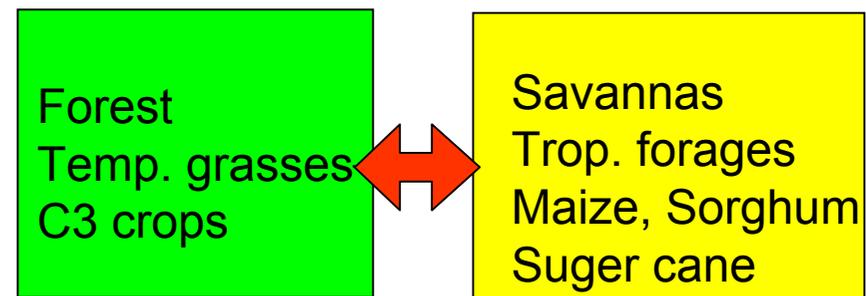
# Principe du traçage naturel par les abondances en $^{13}\text{C}$



Cerri et al. 1985 C. R. Académie des Sciences Paris 300,9, 423:428

$$\delta_{\text{tot}} \cdot C_{\text{tot}} = \delta_{\text{old}} \cdot C_{\text{old}} + \delta_{\text{new}} \cdot C_{\text{new}}$$

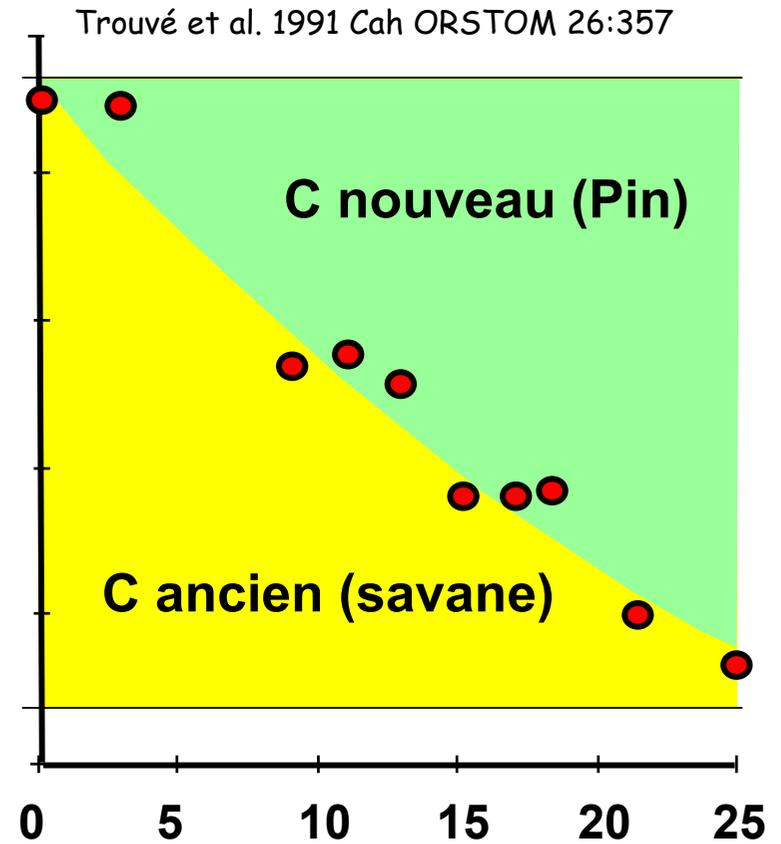
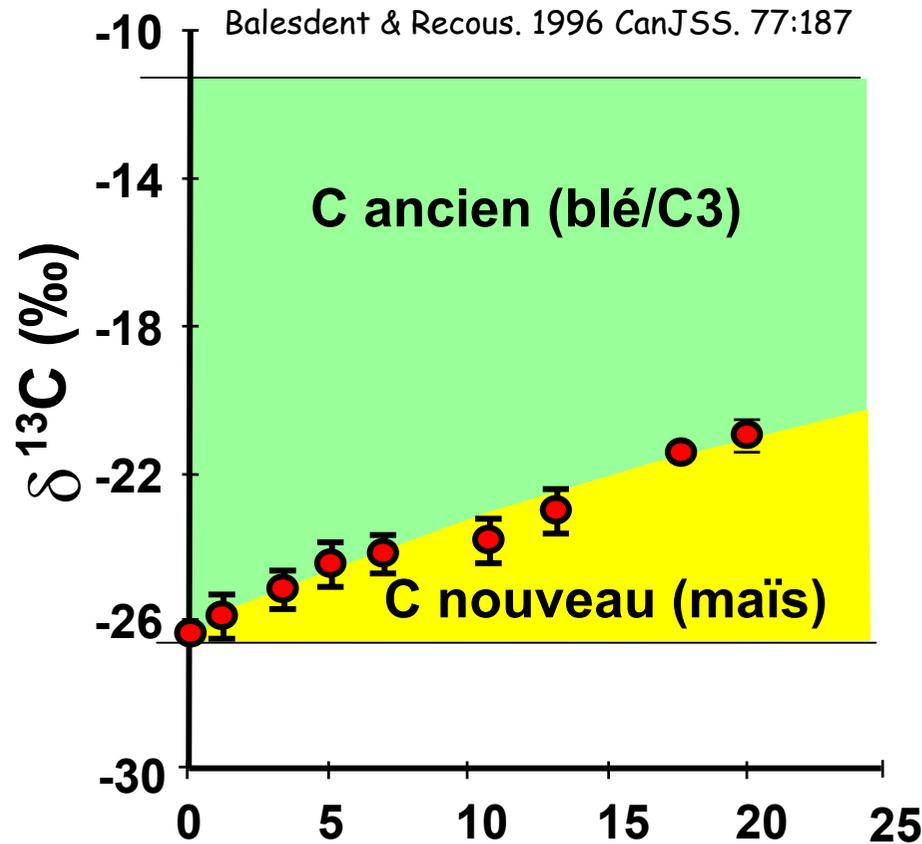
$$C_{\text{new}}/C_{\text{tot}} = (\delta_{\text{tot}} - \delta_{\text{old}})/(\delta_{\text{new}} - \delta_{\text{old}})$$



# Mesure du renouvellement du carbone du sol par la mesure des abondances naturelles en $^{13}\text{C}$

**Blé** → **Maïs (France)**  
Cambisol limoneux 0-30 cm

**Savane** → **Pin (Congo)**  
Ferralsol sableux 0-5 cm



Temps après le changement de végétation (années)

# Identification des fractions organiques labiles et stables

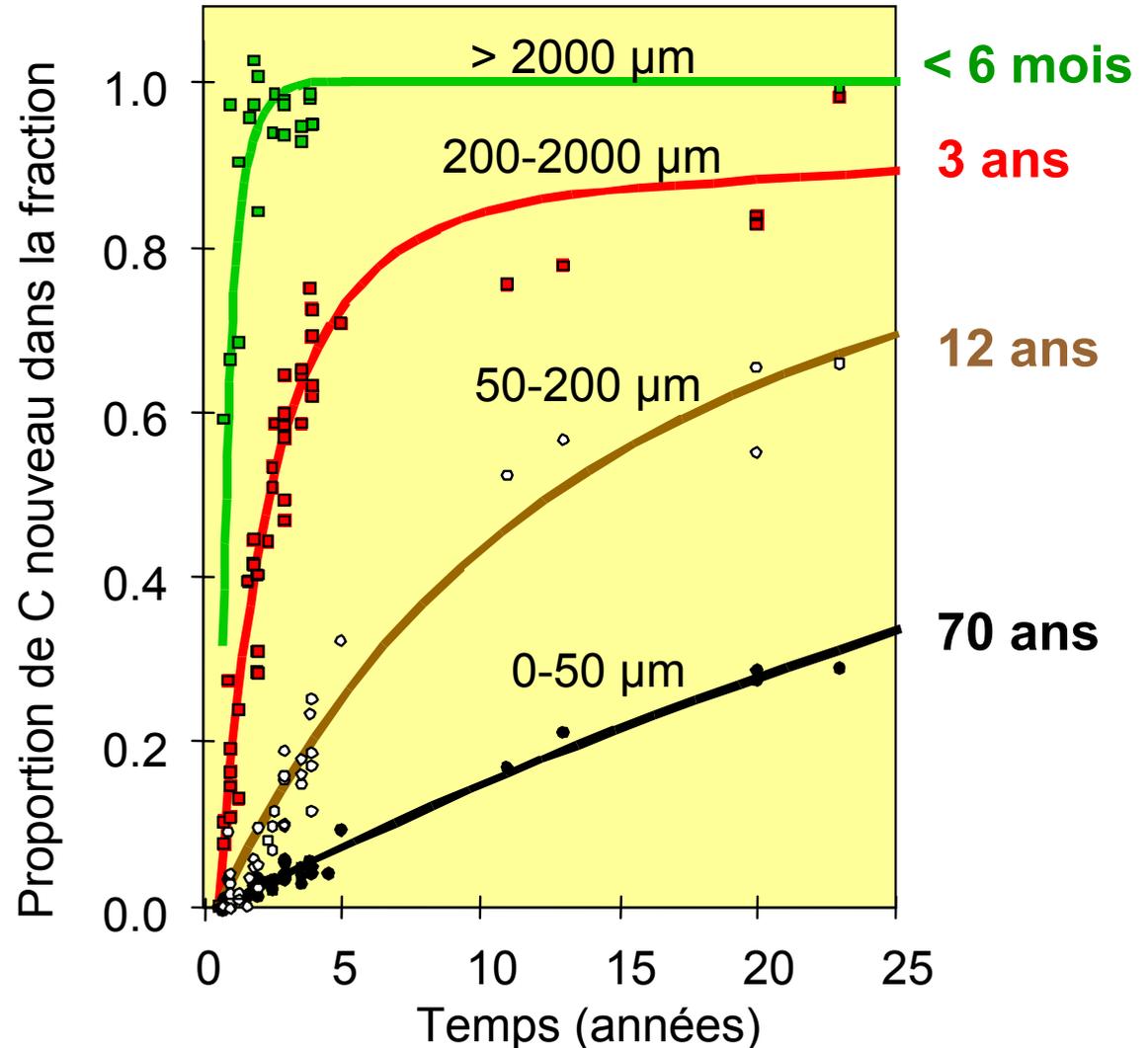
Relation entre la taille granulométrique et l'âge moyen du carbone du sols

Monocultures de maïs en France

d'après Balesdent, 1996

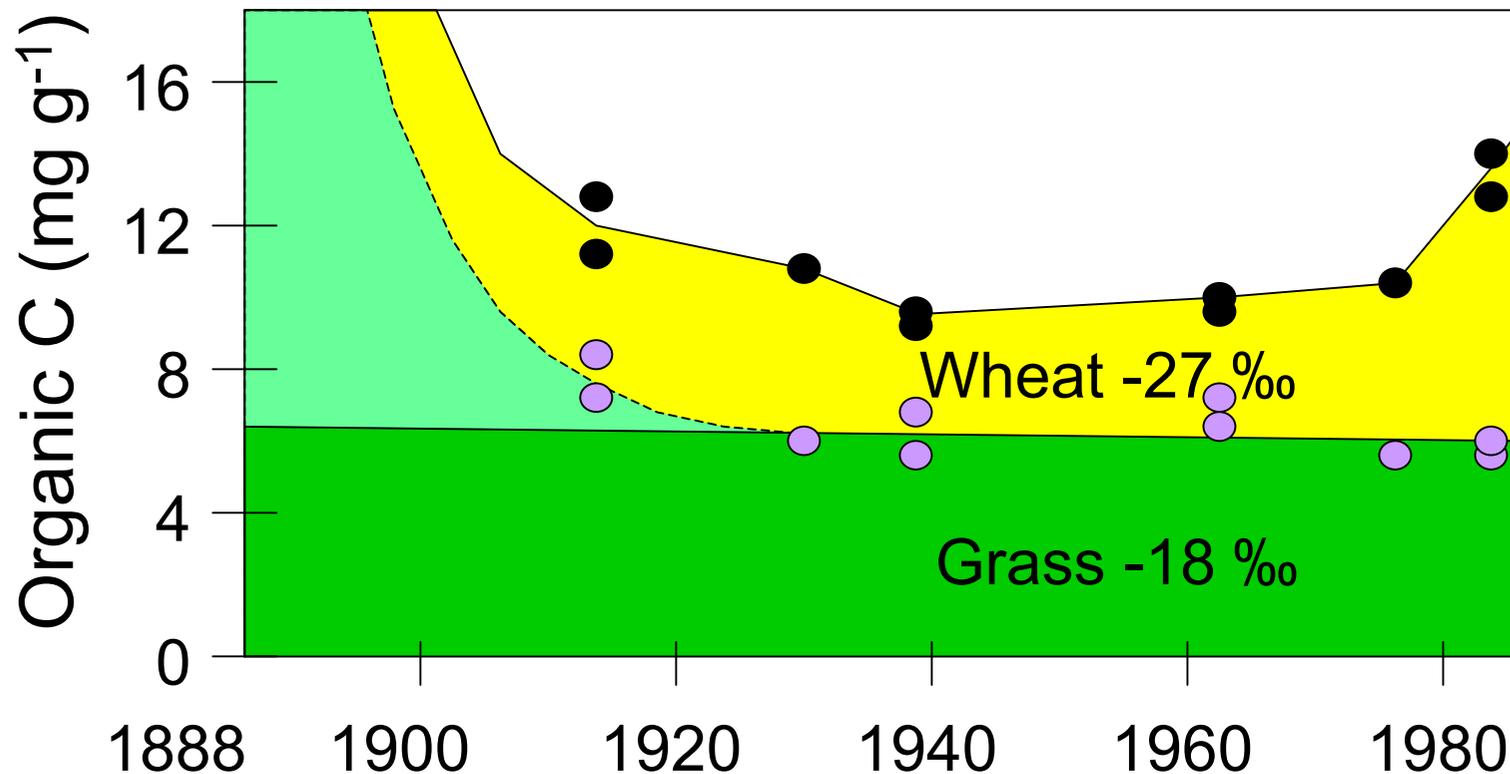
## Autres applications

- carbone provenant des racines
- turnover de la biomasse microbienne
- validation de séparations
- dynamique moléculaire du C
- calage de modèles
- diète de vers de terre
- carbone stable des sols .../...

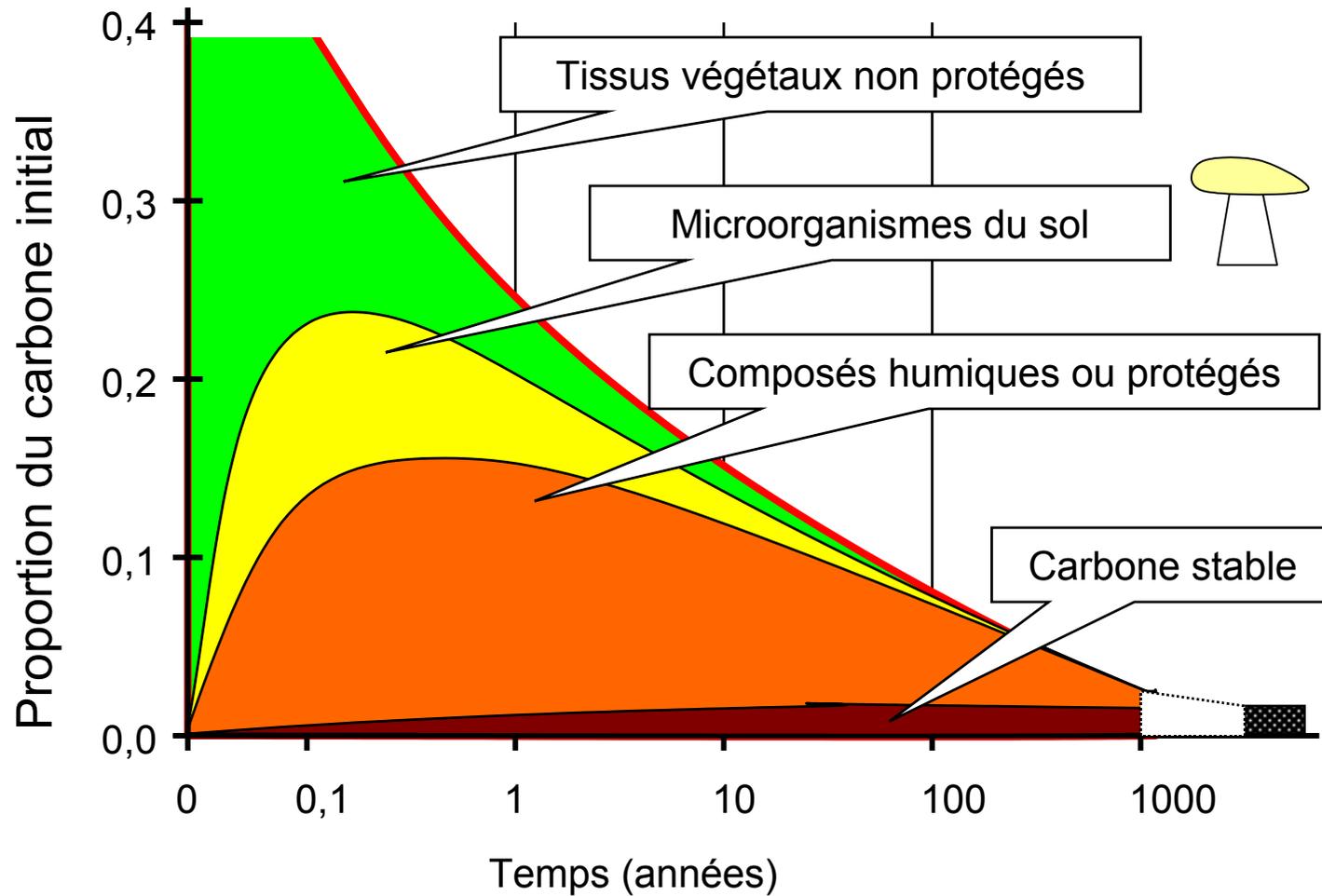


# Existence de carbone stable (millénaire)

Evidence et quantification de carbone stable dans les sols cultivés en blé sur la prairie américaine (Columbia Missouri). D'après Balesdent et al., 1988



# Distribution moyenne des temps de résidence du carbone des sols

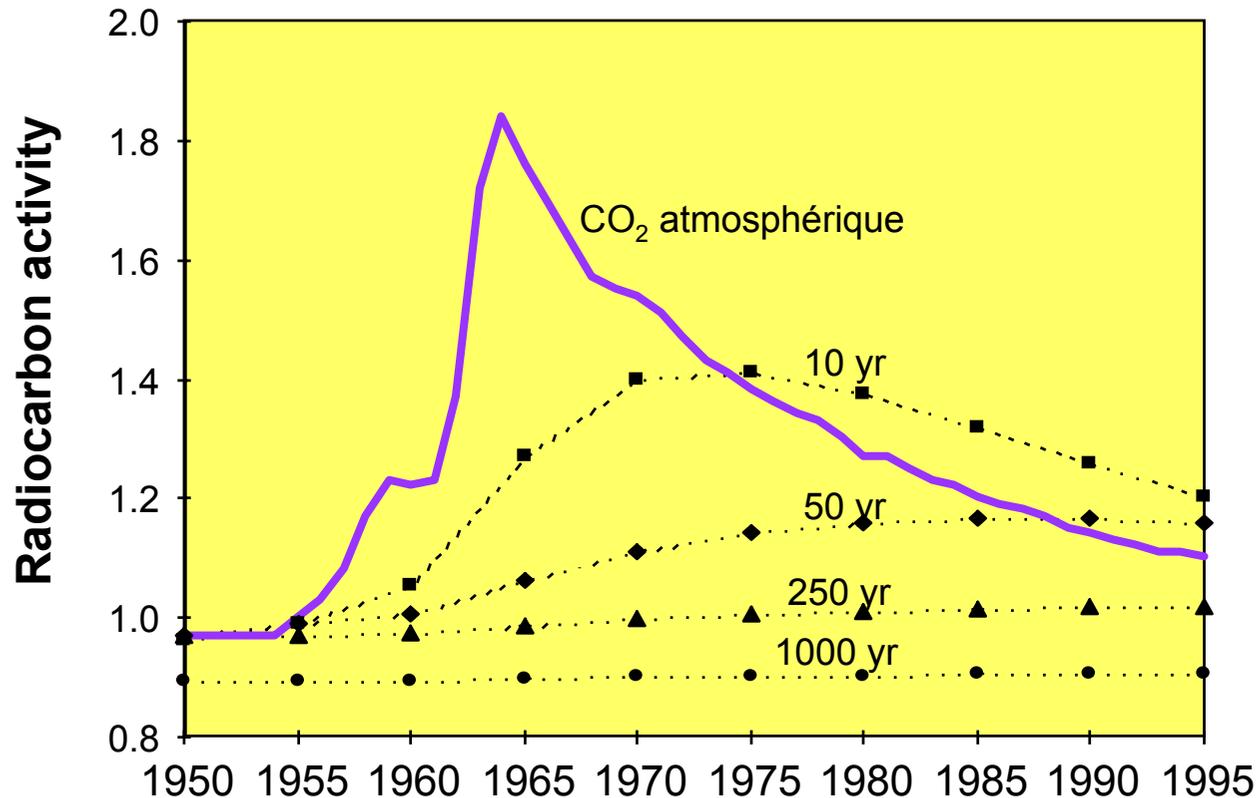


# Apports de la datation au carbone 14

Exploitation du traçage fortuit par les bombes des années 1960.

e.g, O'Brien et al. 1981; Balesdent et Guillet, 1982; Jenkinson et al. 1991; Trumbore et al. 1994

Relations entre le temps de résidence du carbone et l'activité  $^{14}\text{C}$ .

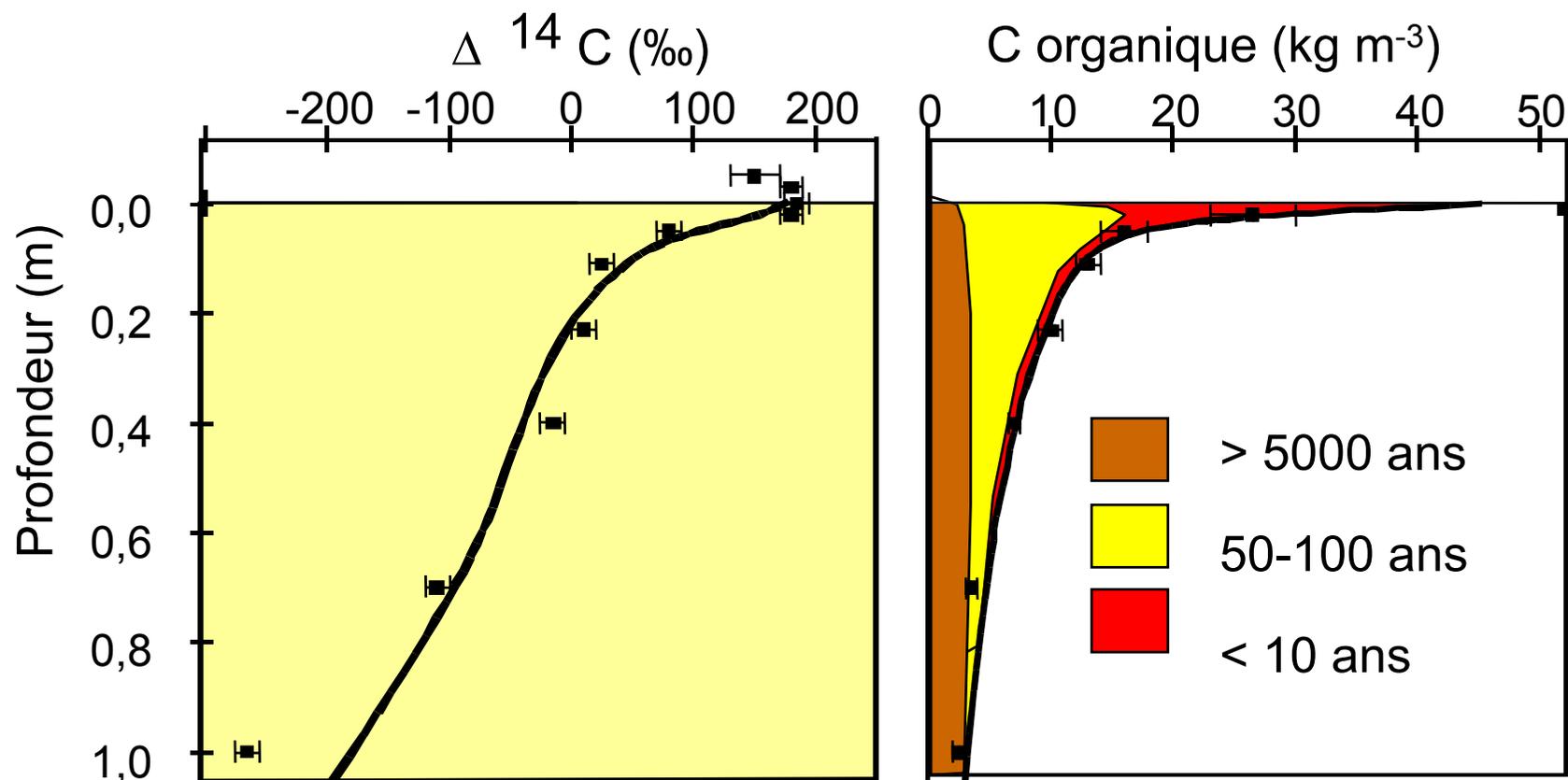


# Répartition verticale du carbone des sols

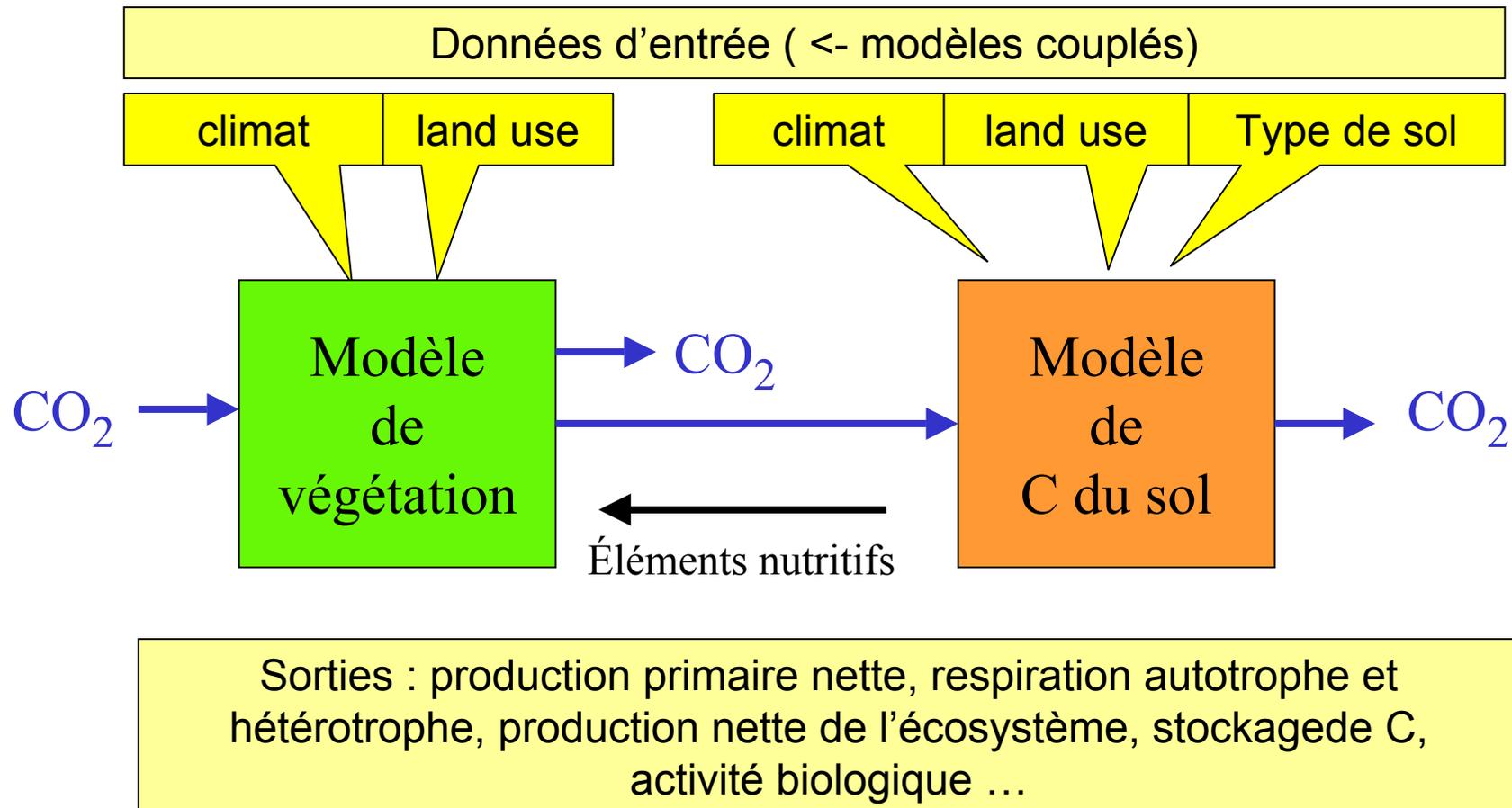
Le carbone se répartit vers la profondeur, essentiellement par brassage du sol, en même temps qu'il est minéralisé. La datation au carbone 14, couplée à une modélisation, permet de quantifier le processus.

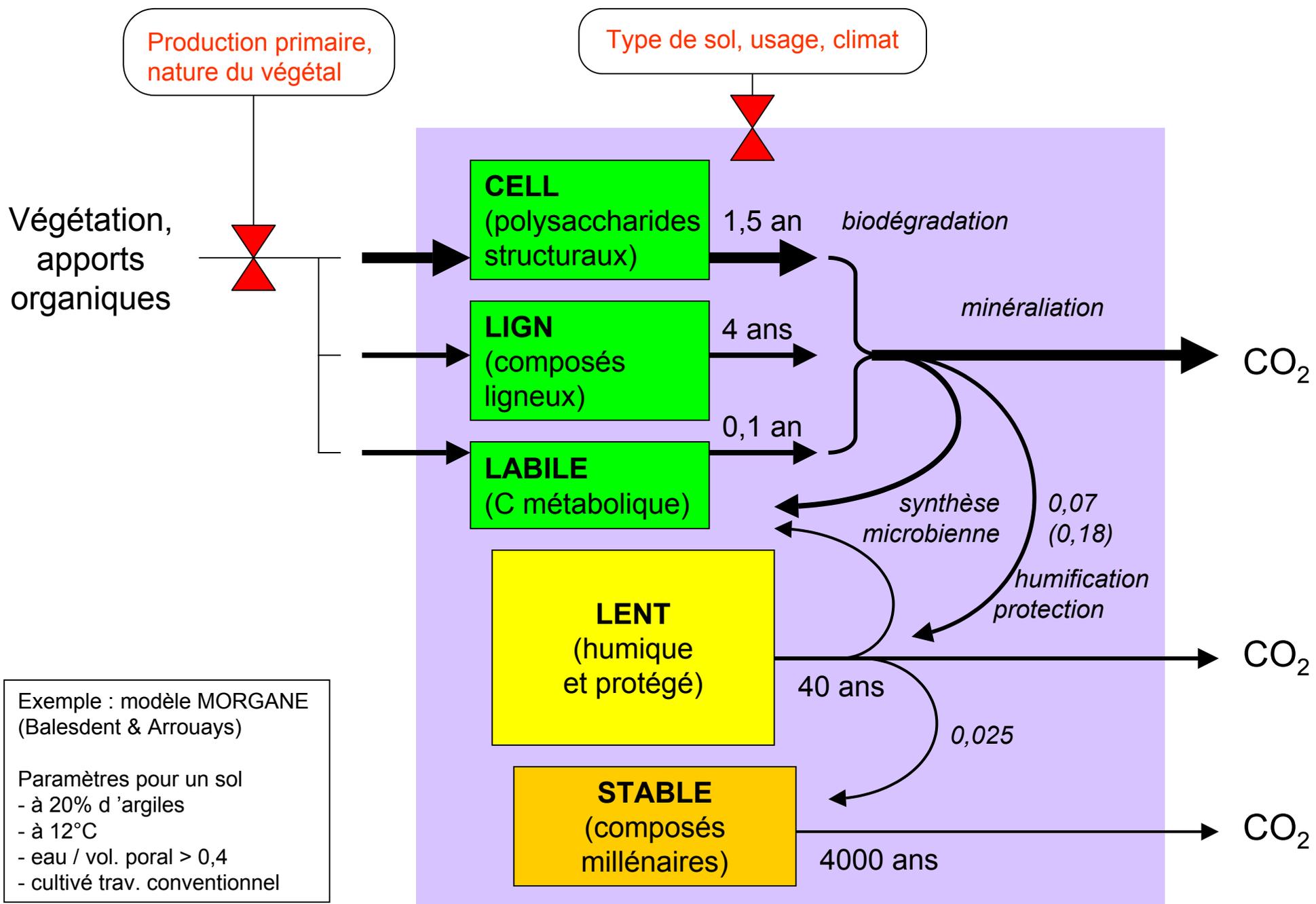
Répartition des âges du carbone dans d'un sol forestier (sol faiblement lessivé, Marly-le Roy, Ile-de-France)

D'après Elzein & Balesdent, 1995



# Modèles de la dynamique du carbone





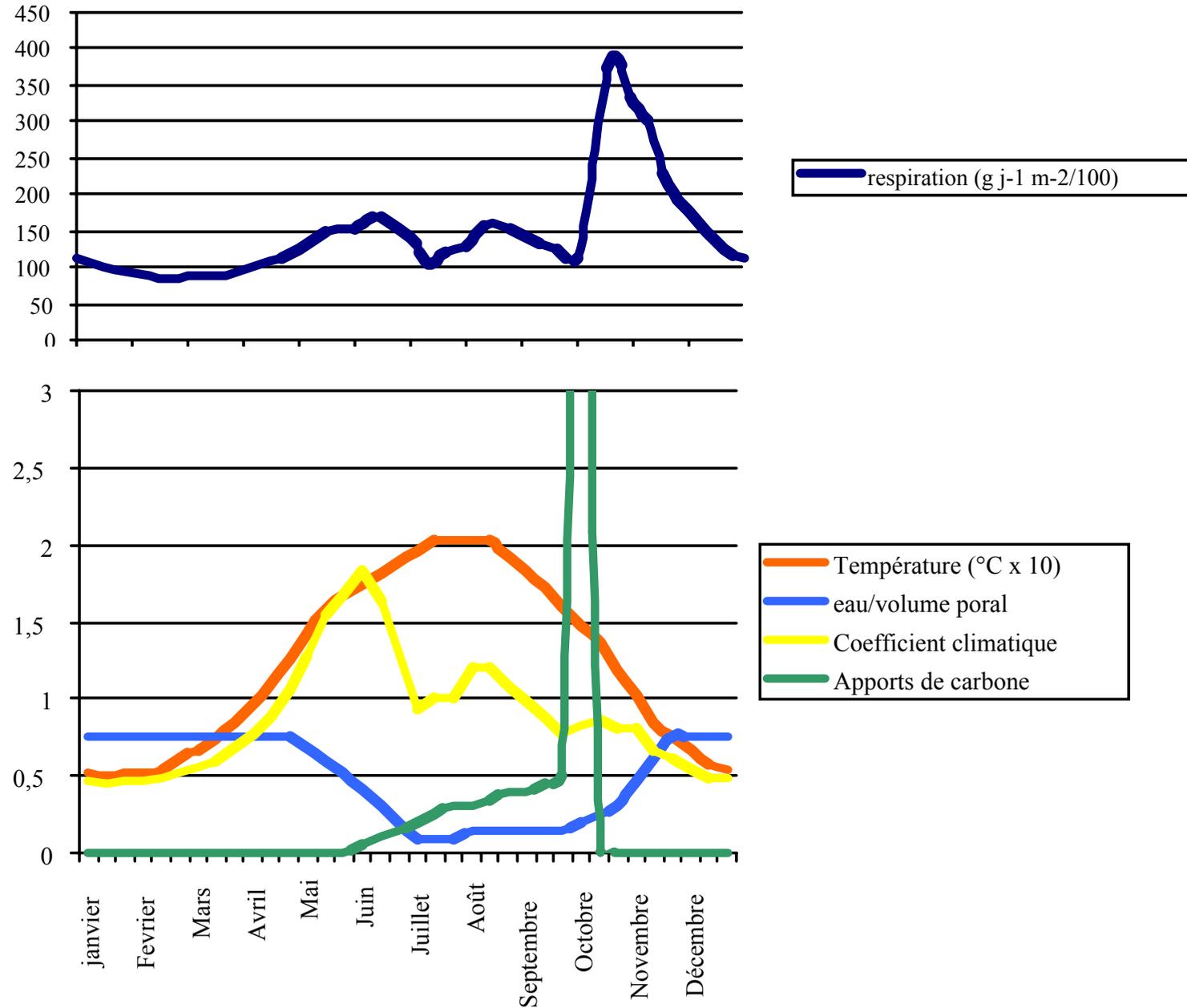
Exemple : modèle MORGANE (Balesdent & Arrouays)

Paramètres pour un sol

- à 20% d'argiles
- à 12°C
- eau / vol. poral > 0,4
- cultivé trav. conventionnel

un exemple  
de simulation :  
respiration  
hétérotrophe  
du sol

Un cycle de  
culture de  
maïs en Ile de  
France



# Conclusions

Une importante communauté scientifique estime les flux de carbone entre terre et atmosphère

La mesure directe des flux globaux ou régionaux est encore impossible

L'estimation utilise la modélisation, combinée avec / calée par :

- les modèles de circulation atmosphérique
- les mesures locales de flux nets (eddy flux covariance)
- les mesures locales de variations de stock
- les mesures locales de temps de résidence du carbone

Les modèles peuvent être appliqués à la prévision de la distribution de contaminations accidentelles par  $^{14}\text{C}$ , ...

... d'autant mieux qu'ils ont été essentiellement calibrés par les traçages isotopiques.