

# Carrefours

de l'innovation  
agronomique  
2012

Evaluer et gérer  
la fertilité des sols

Vendredi 6 avril 2012



ALIMENTATION  
AGRICULTURE  
ENVIRONNEMENT



# Le modèle AMG: un outil pour gérer le stock de carbone organique du sol

## Application à l'évaluation de scénarios

B. Mary et K. Saffih  
A. Duparque

Agro-Impact, Laon-Mons  
Agrotransfert RT, Mons

## Contexte

- ✓ Recherche de biomasse pour besoins de bioénergie et chimie verte
  - ✓ Cultures énergétiques dédiées
  - ✓ Utilisation des sous-produits des cultures alimentaires (pailles)
- ✓ Préservation des sols (qualité, quantité)
- ✓ Besoin d'outils de simulation des MOS

# 1. Le modèle AMG: un outil pour gérer le stock de carbone organique du sol

- Mesure des stocks C et de leur variation
- Modèle de simulation des MOS

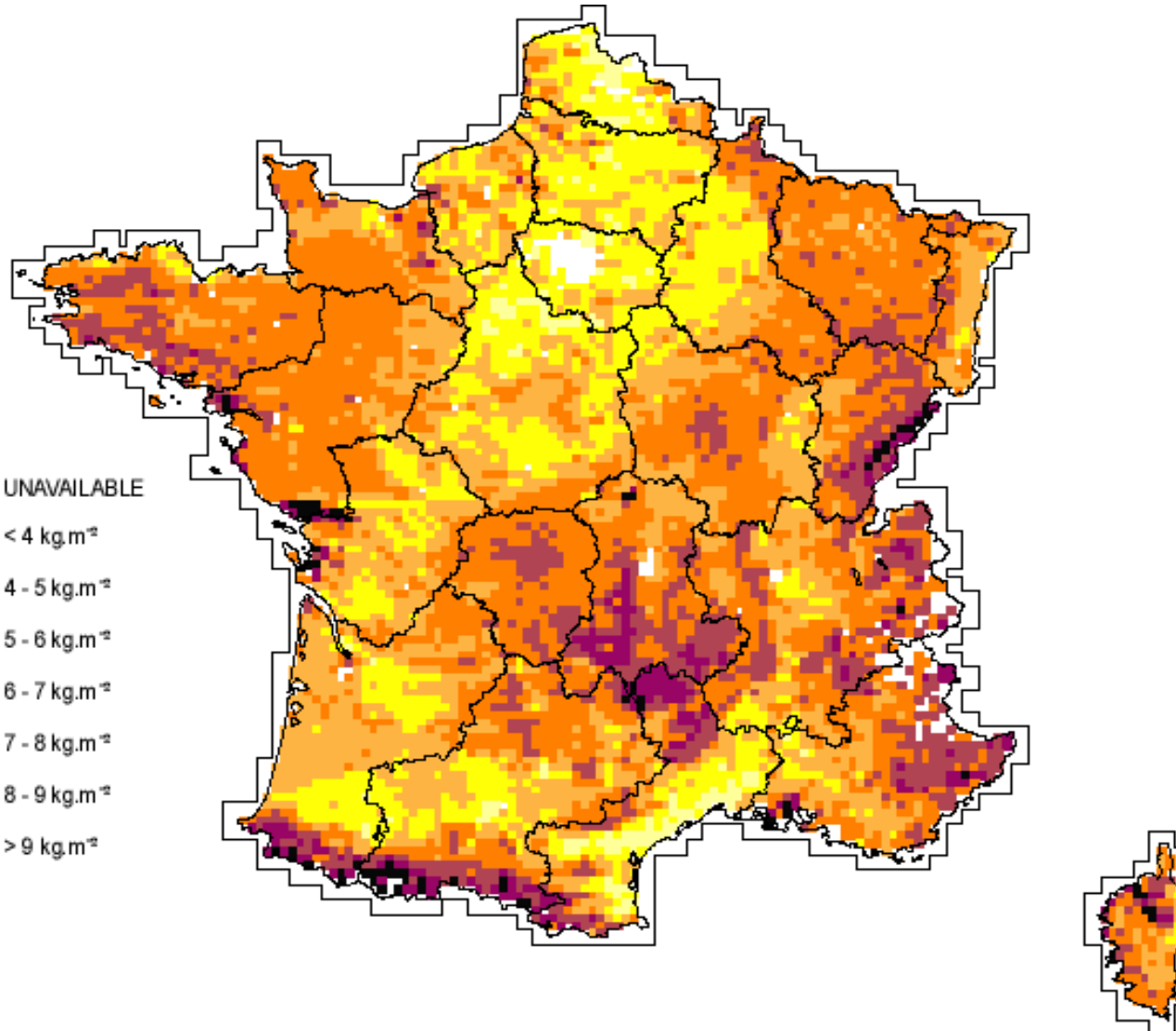
# La matière organique du sol (MOS), c'est quoi ?

Résidus organiques frais (MOF)	0 - 4	t C/ha
Résidus organiques évolués (MOP)	1 - 3	
Macrofaune	0.5 - 1	
Biomasse microbienne	1 - 2	
Humus (MOH)	36	
Total	42	t C/ha

# Inventaire des stocks de C en France

Total (0-30 cm)  
3.1 milliards t C

(Arrouays et al  
2001)



# Comment mesurer l'évolution des stocks ?

- ❑ Mesure des variations de stock de carbone (inventaires)
  - Utilisation des BD analyses de terre
  - Expérimentations longue durée ( $\geq 10$  ans)
  - Réseau RMQS (Infosol)

Variation de stock = humification - minéralisation

Traçage isotopique ( $^{13}\text{C}$ ) permet de distinguer les 2 processus

*Masse volumique*

*Cylindre*

*Sonde gamma*



*Prélèvements de sol*





# Comment mesurer l'évolution des stocks ?

- ❑ Mesure des variations de stock de carbone (inventaire)
  - Utilisation des BD analyses de terre
  - Expérimentations longue durée ( $\geq 10$  ans)
  - Réseau RMQS (Infosol)
  
- ❑ Mesure des flux de CO<sub>2</sub> à la surface du sol (émis ou capté)
  - « Chambres »                      mesures locales (m<sup>2</sup>)
  - « Tours à flux »                    mesures intégrées spatialement (ha)

→ Nécessité d'intégrer sur de longues périodes de temps



« Chambres »

« Tours à flux »

# Analyser la variabilité temporelle suppose de maîtriser la variabilité spatiale

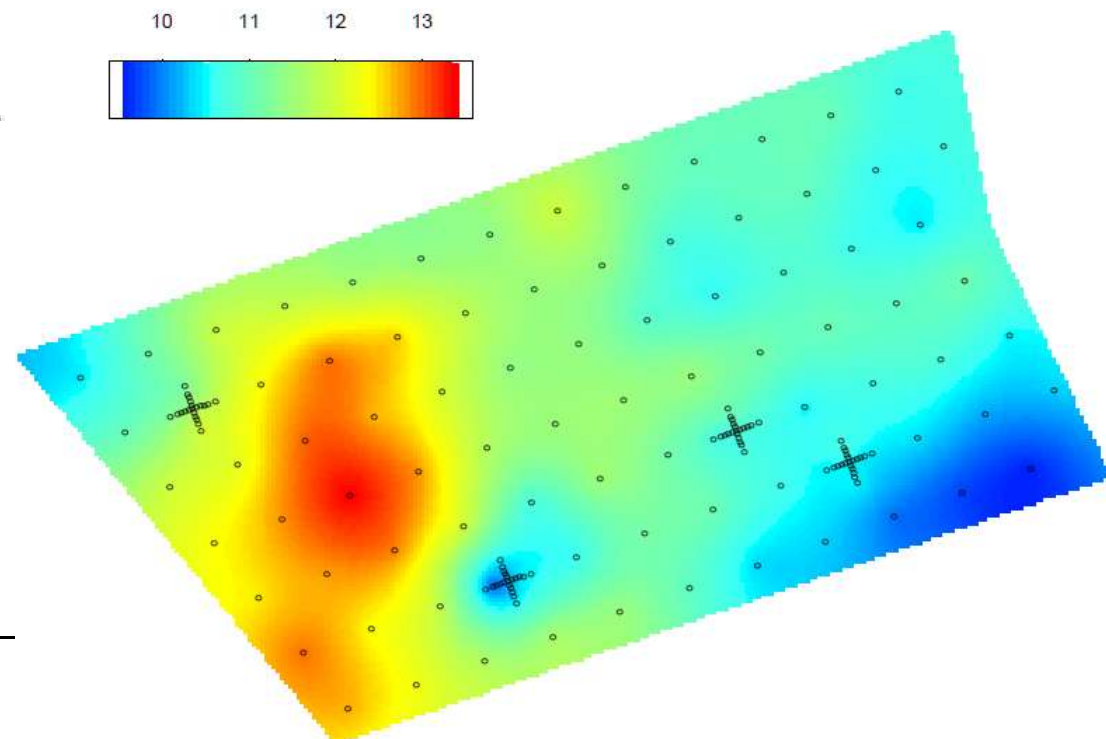
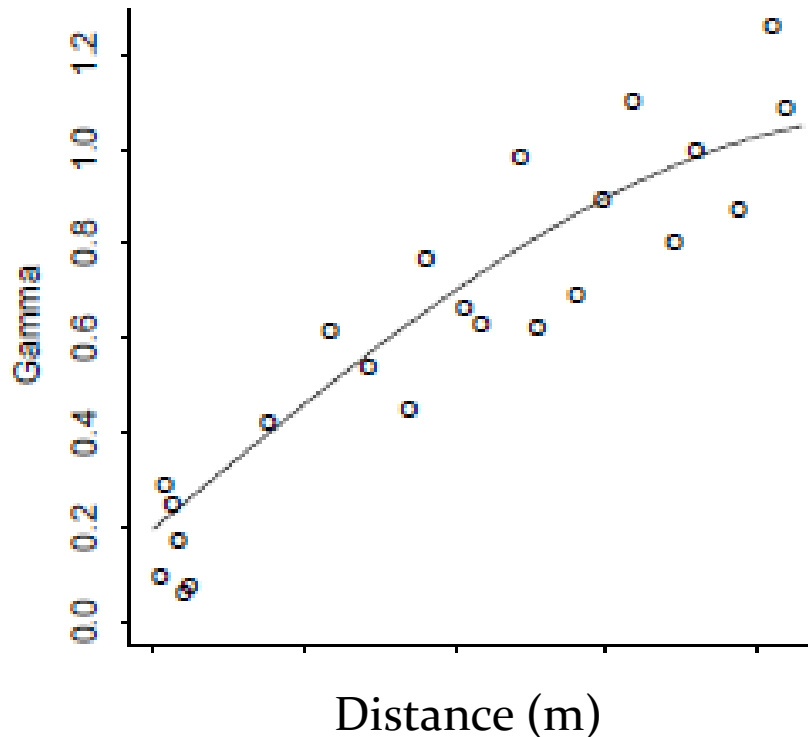
- Dans une parcelle (X,Y)
- Sur la profondeur de sol (Z)

# Variabilité spatiale dans une parcelle

(Bruchou & Mary, 2005)

Le variogramme décrit la variance en fonction de la distance

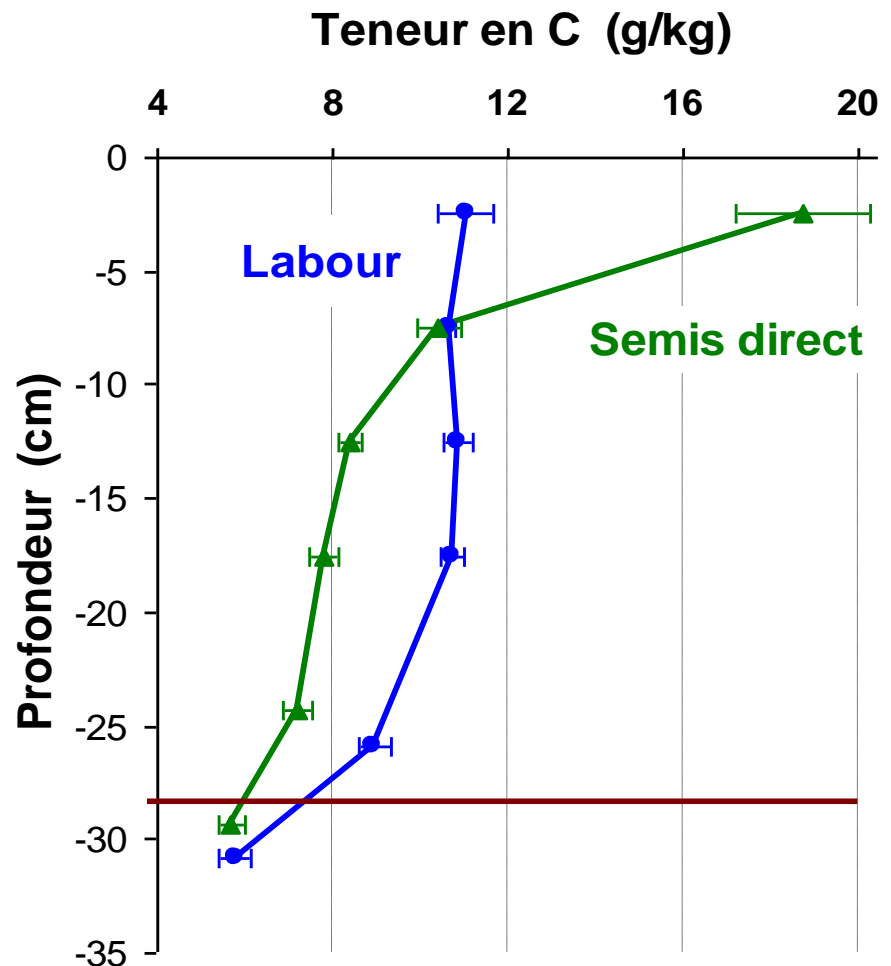
Carte des teneurs en C  
(0-30 cm)



# Variabilité spatiale dans le profil

*selon le mode de travail du sol*

- Forte hétérogénéité verticale dans systèmes non labourés régulièrement
- Calcul de stock dépendant de la profondeur de mesure
- Profondeur de mesure suffisante pour intégrer l'effet du travail du sol



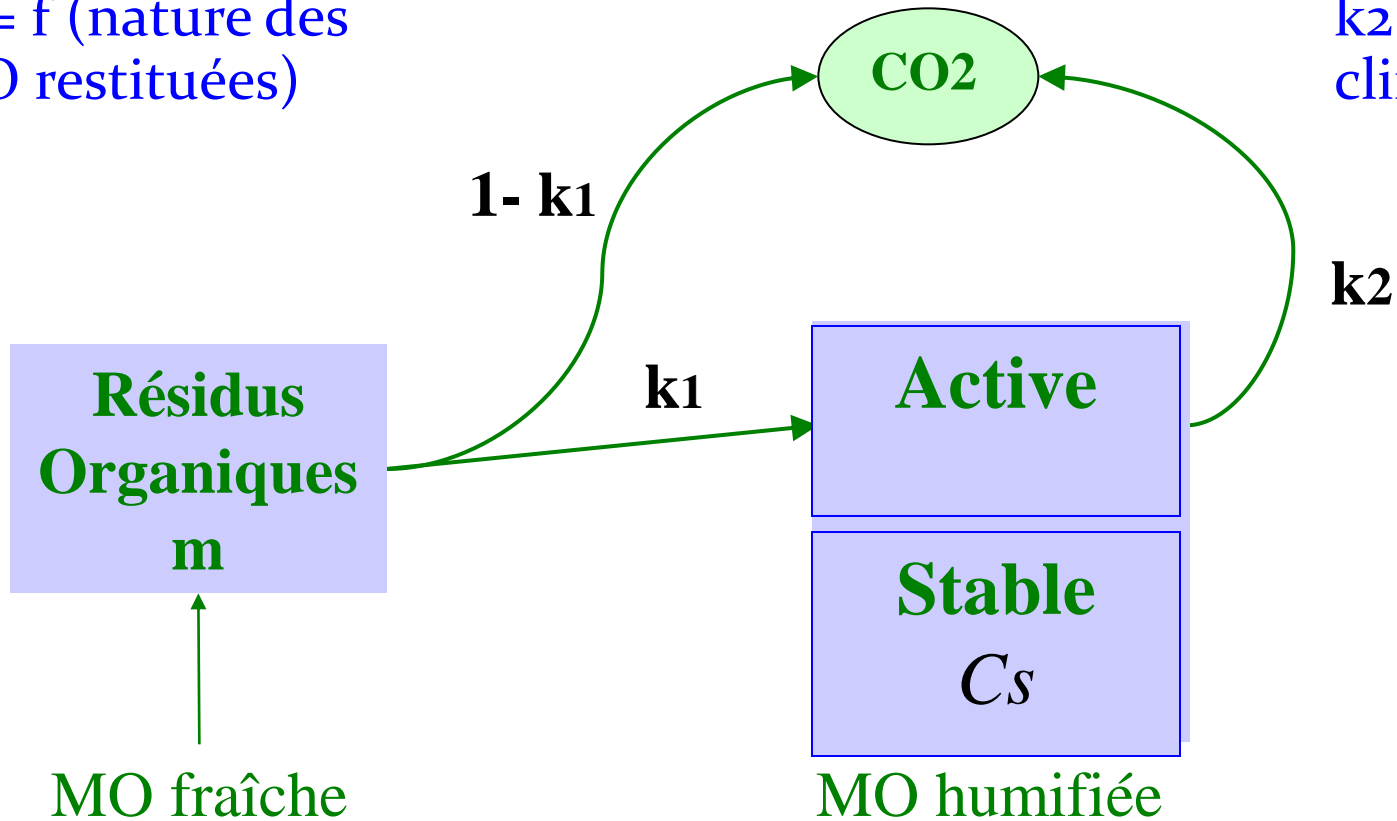
# Quelques modèles de simulation des MOS

- ROTHC (Coleman and Jenkinson, 1996)
- CENTURY (Parton et al., 1987)
- CN-SIM (Petersen et al., 2005)
- DAISY (Hansen et al., 1991)
- AMG (Andriulo et al, 1999; Saffih et Mary, 2008)

# Un modèle simple : AMG

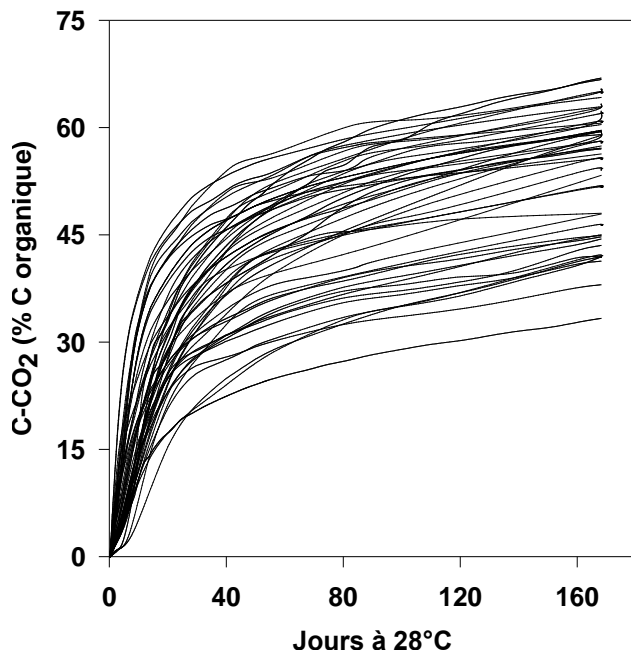
$k_1 = f$  (nature des  
MO restituées)

$k_2 = f$  (sol,  
climat)

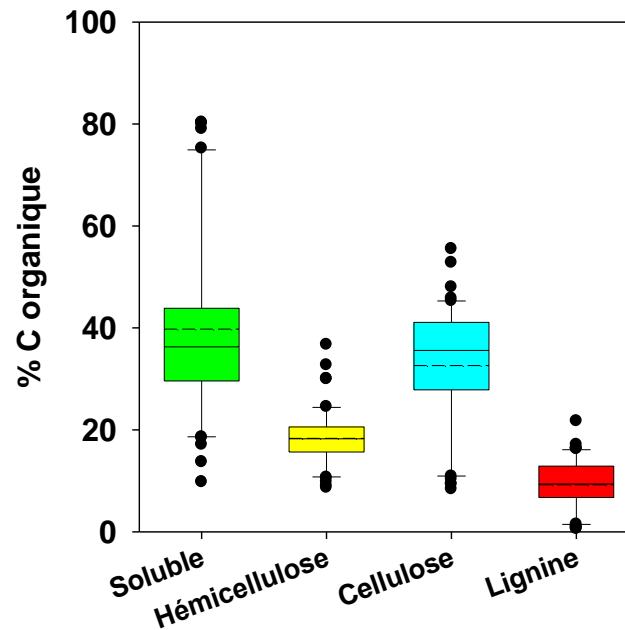


# $k_1 = f(\text{nature MOF})$

Dégradation du carbone



Qualité biochimique



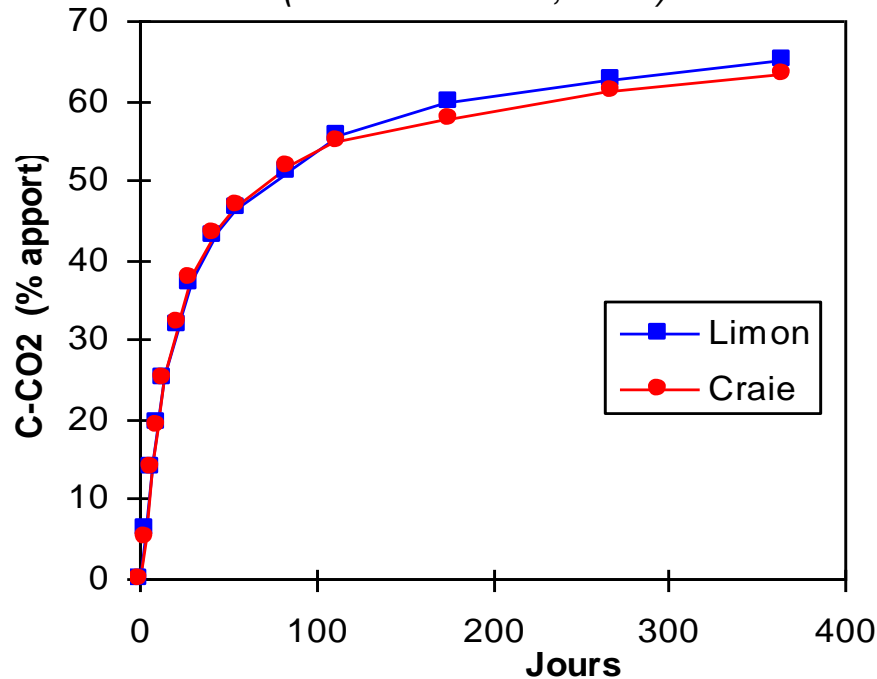
La décomposition des MOF et la stabilisation du C sont très dépendantes de leur nature /composition biochimique



$$k_1 = f(\text{type sol})$$

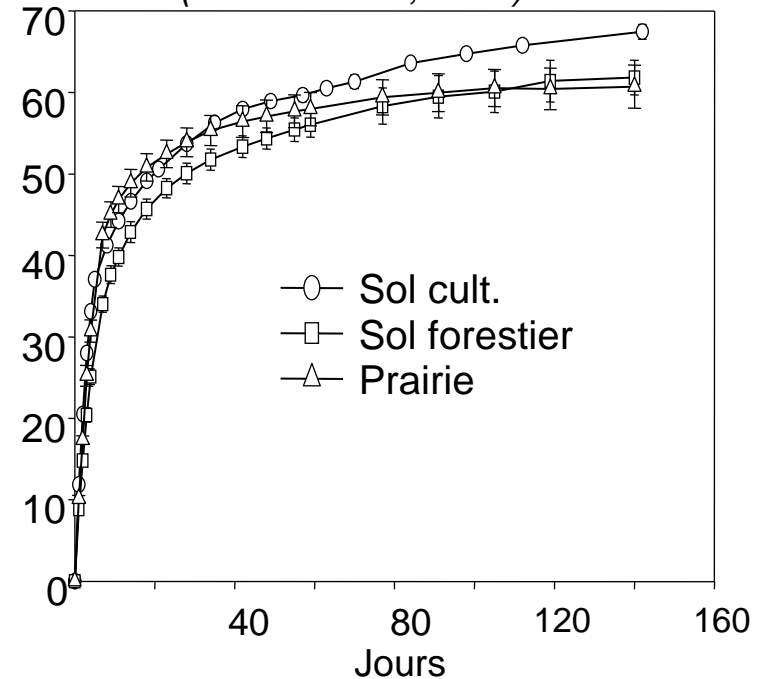
### Résidus de colza à maturité

(Nicolardot et al., 2001)



### Résidus de seigle jeune

(Recous et al., 2005)

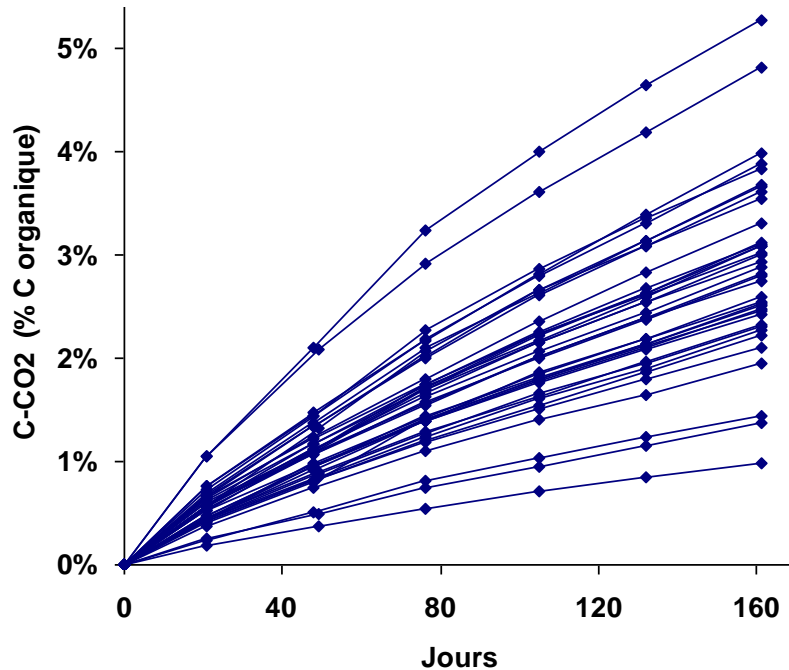


La cinétique de décomposition des MOF est :

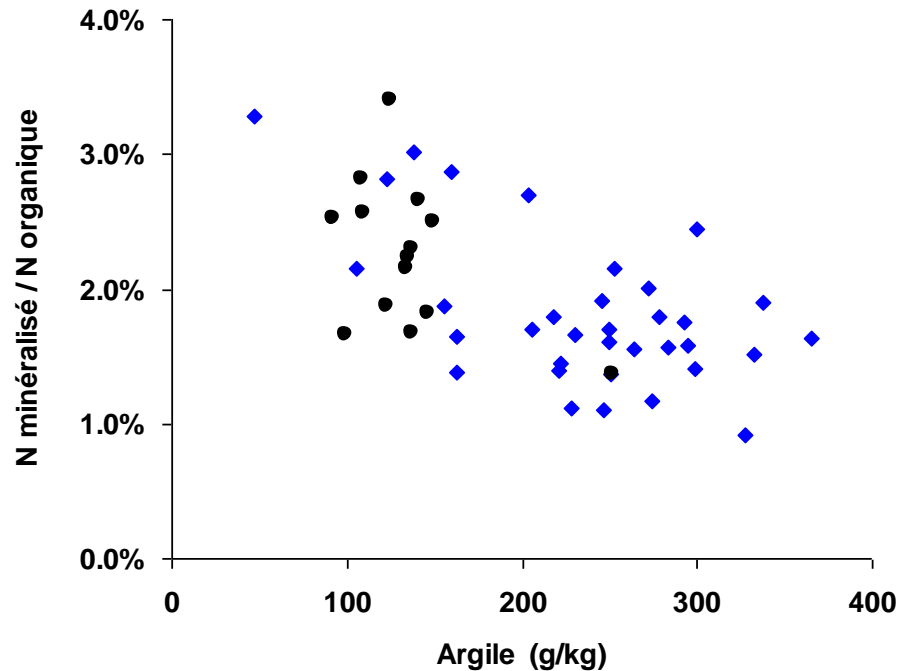
- proportionnelle à la quantité de C apporté
- peu dépendante du type de sol

$$k_2 = f(\text{type sol})$$

Minéralisation du C par différents sols  
incubés après élimination de MOF  
(Valé, 2006)



Taux de minéralisation = f(argile)

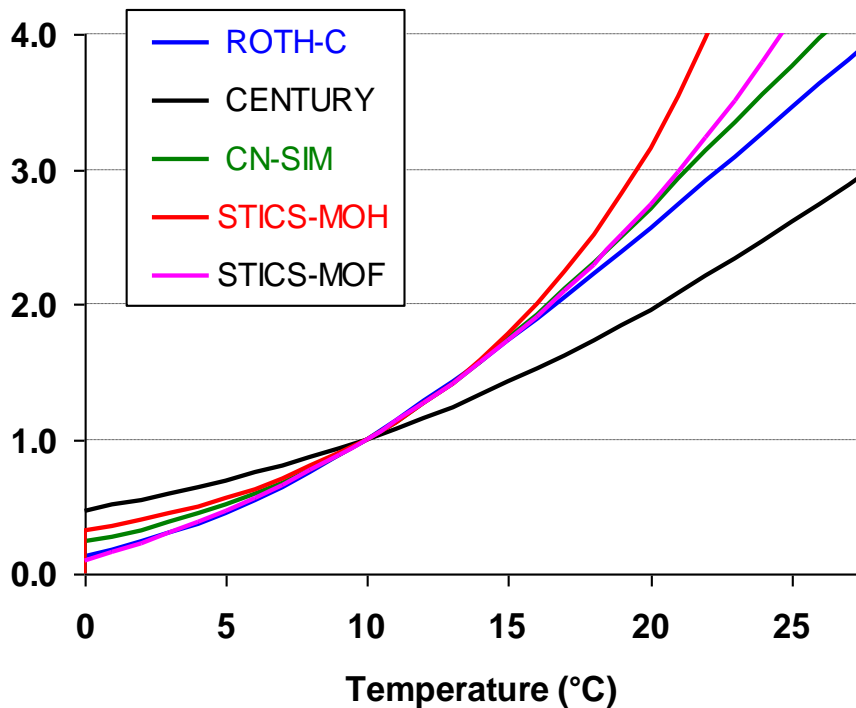


La décomposition des MOH

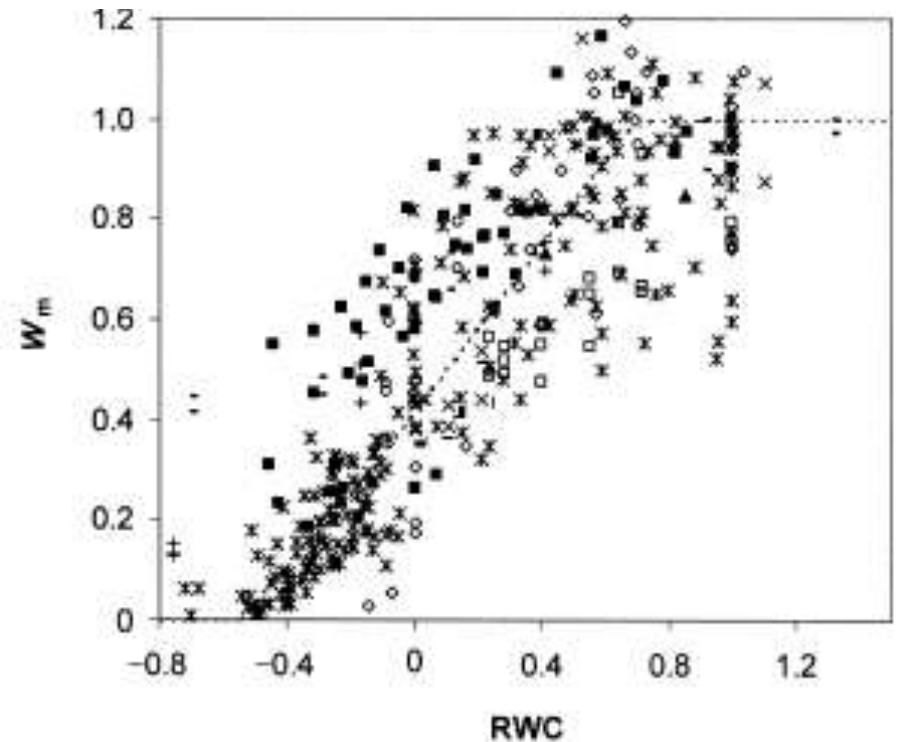
- est proche d'une cinétique du 1er ordre
- est très dépendante du type de sol (f. fine)

$$k_2 = f(\text{climat})$$

Effet température du sol



Effet humidité du sol



Forte dépendance à la température du sol  
Moindre dépendance à l'humidité du sol  
Humidité → relation empirique dans AMG

# Evaluation du modèle AMG

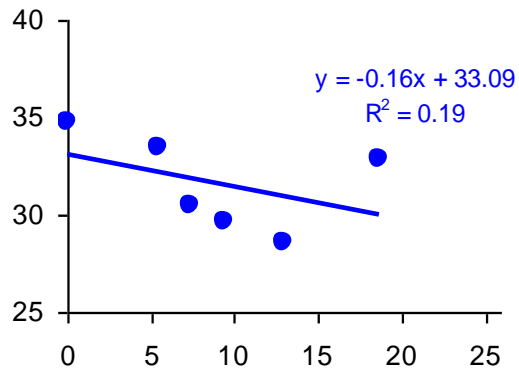
- 1) Données LDAR, années 1970-1997  
Sélection de 391 parcelles agricoles  
Analysées 3, 4 ou 5 fois  
Calcul de la vitesse moyenne d'évolution
  
- 2) Essais de longue durée avec restitution ou exportation de pailles  
Sélection de 9 essais expérimentaux de 12 à 35 ans  
Gradient pédo-climatique : Suède à Thaïlande

# Evaluation (1)

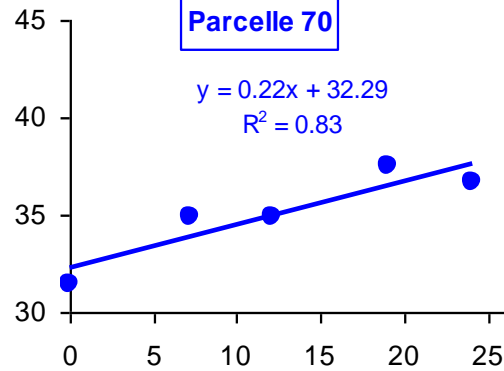
## 391 parcelles (10-25 ans)

### a) Calcul de la vitesse d'évolution

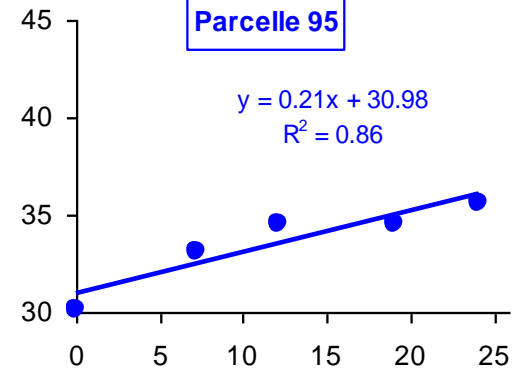
Stock C (t/ha)



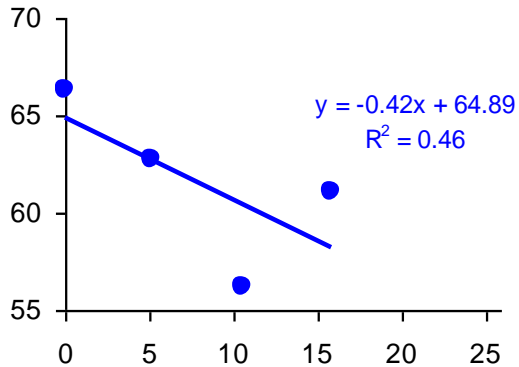
Parcelle 70



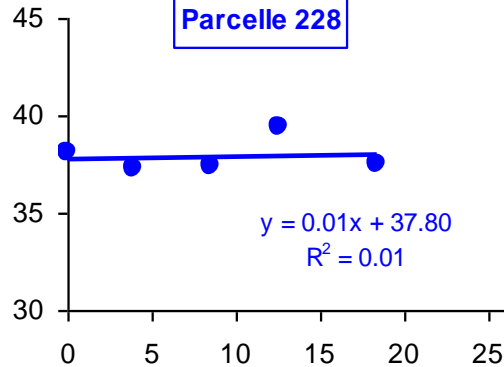
Parcelle 95



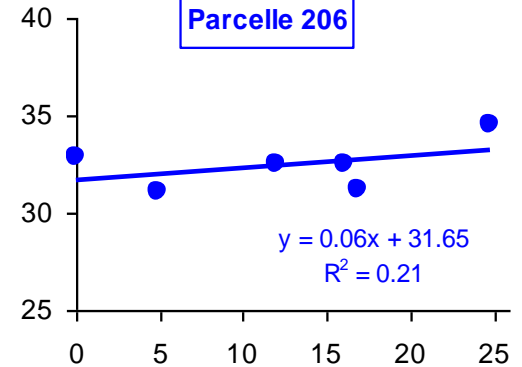
Années



Parcelle 228



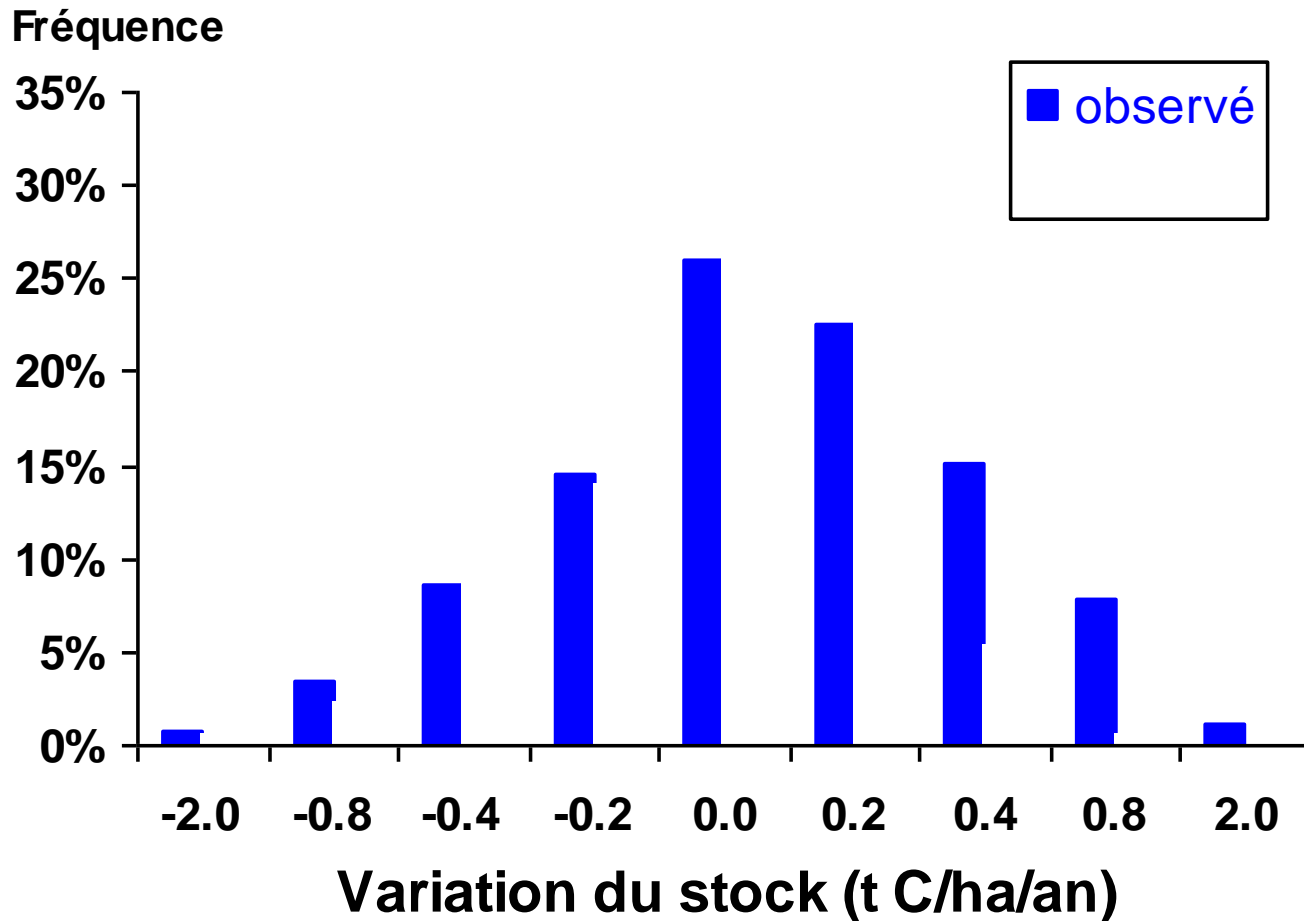
Parcelle 206



# Evaluation (1)

391 parcelles (10-25 ans)

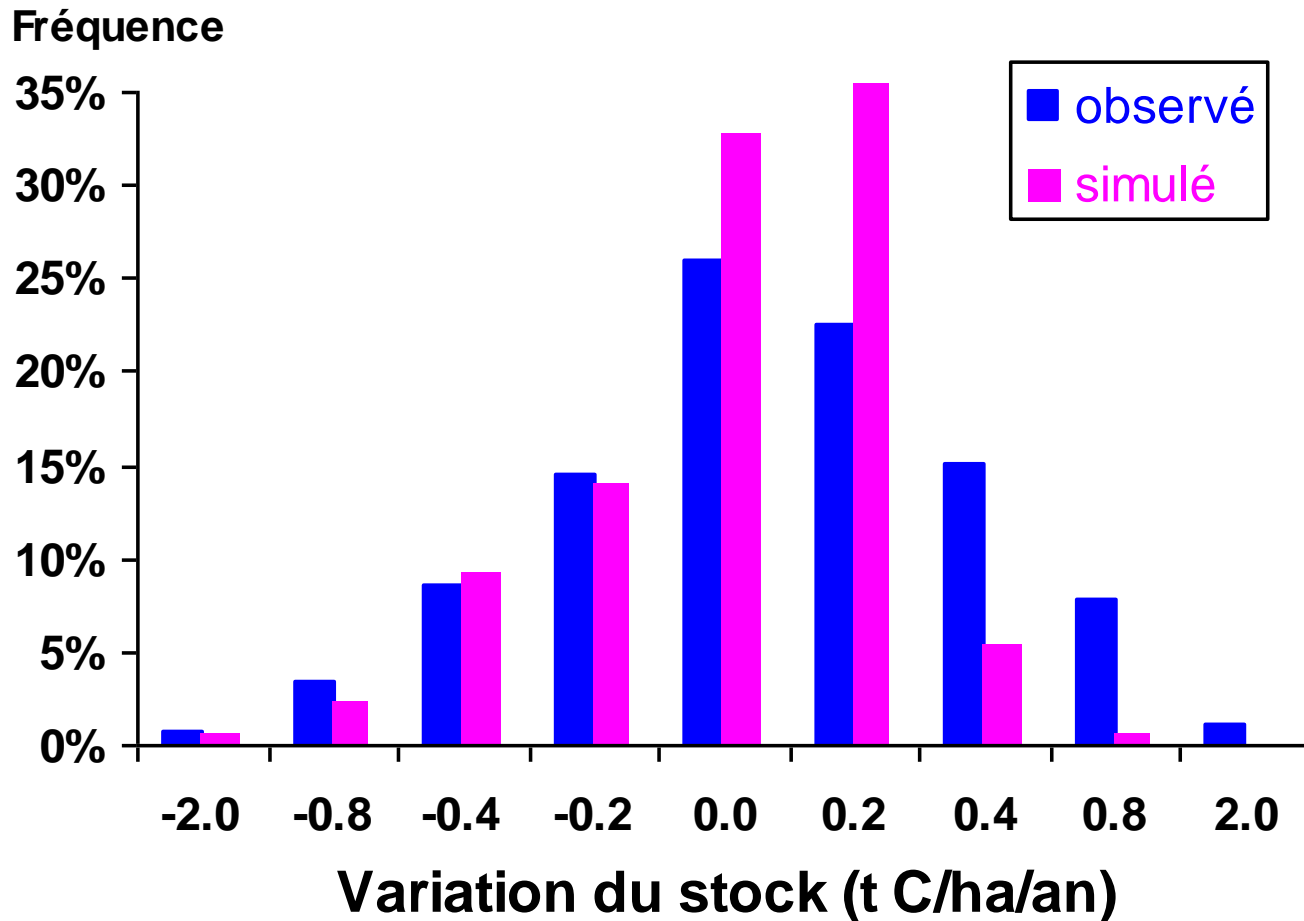
*b) Distribution des vitesses d'évolution*



# Evaluation (1)

391 parcelles (10-25 ans)

*b) Distribution des vitesses d'évolution*

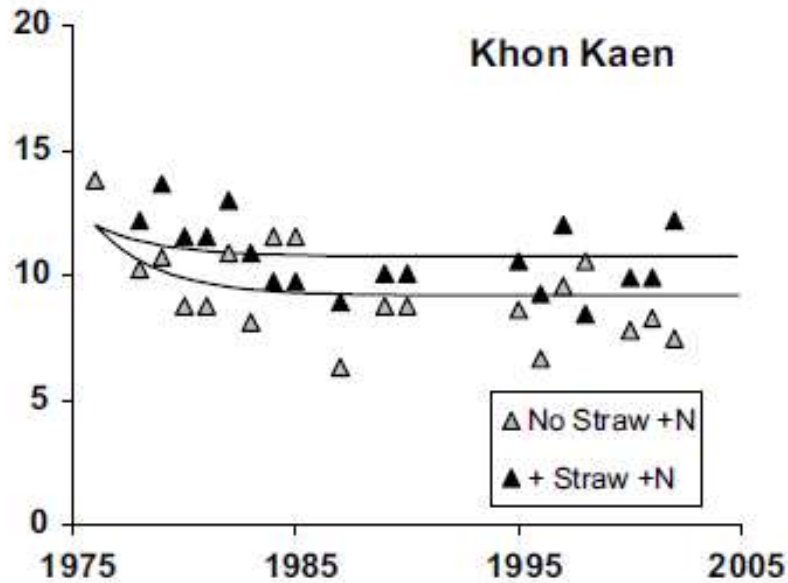


# Evaluation (2)

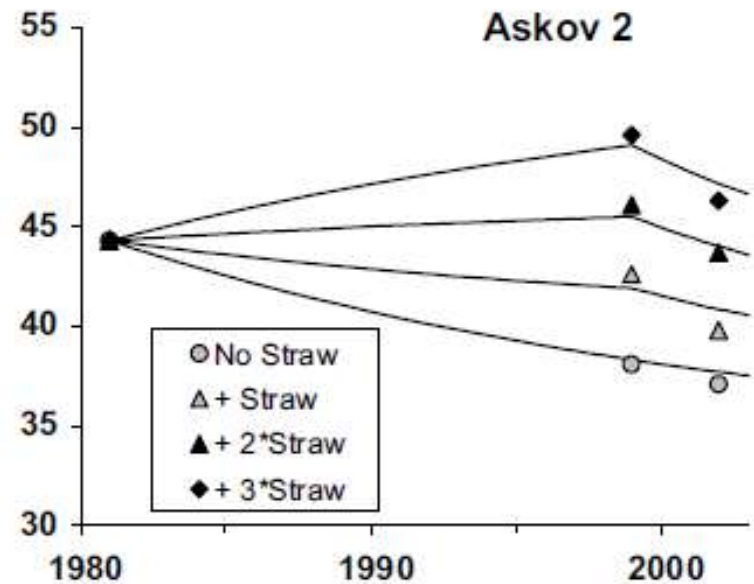
## 9 sites expérimentaux long terme

(Saffih et Mary, 2008)

Thaïlande



Danemark

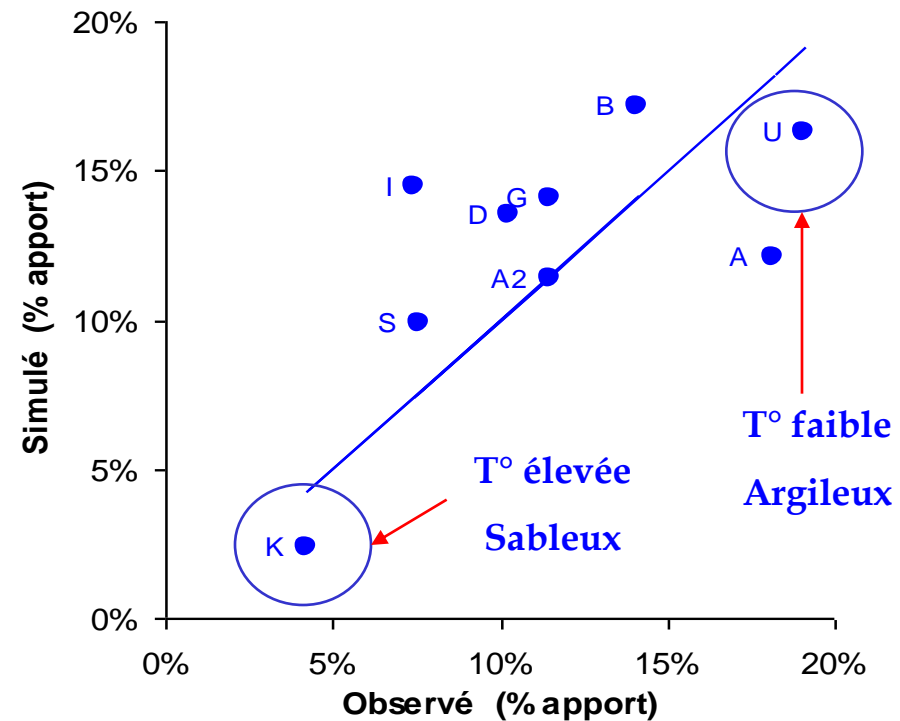
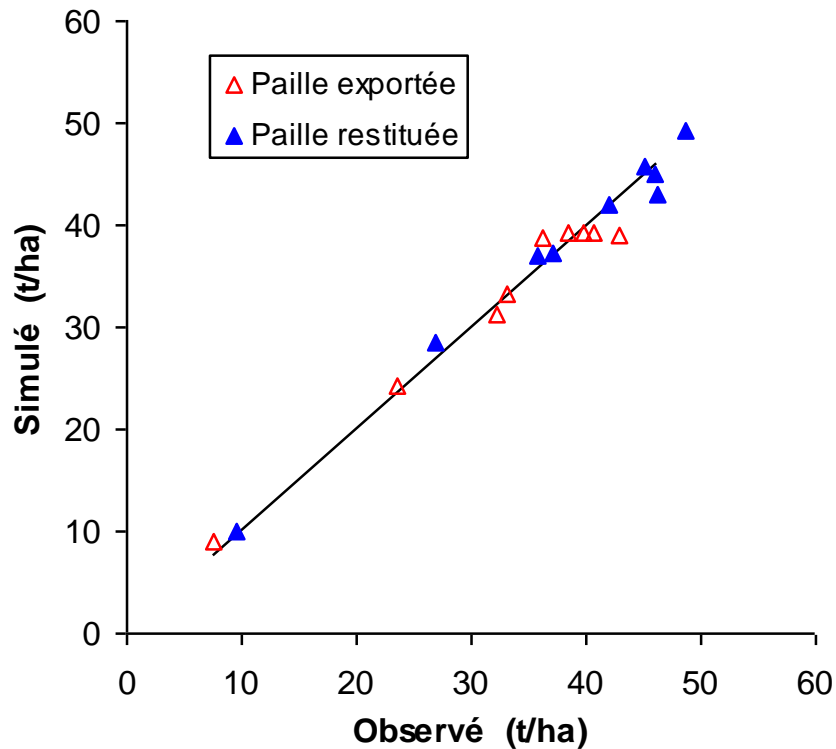




# Evaluation (2)

## 9 sites expérimentaux long terme

(Saffih et Mary, 2008)



*Taux de stabilisation du C paille*

## 2. Application à l'évaluation de scénarios

Problématique (Cartopaille, Picardie )

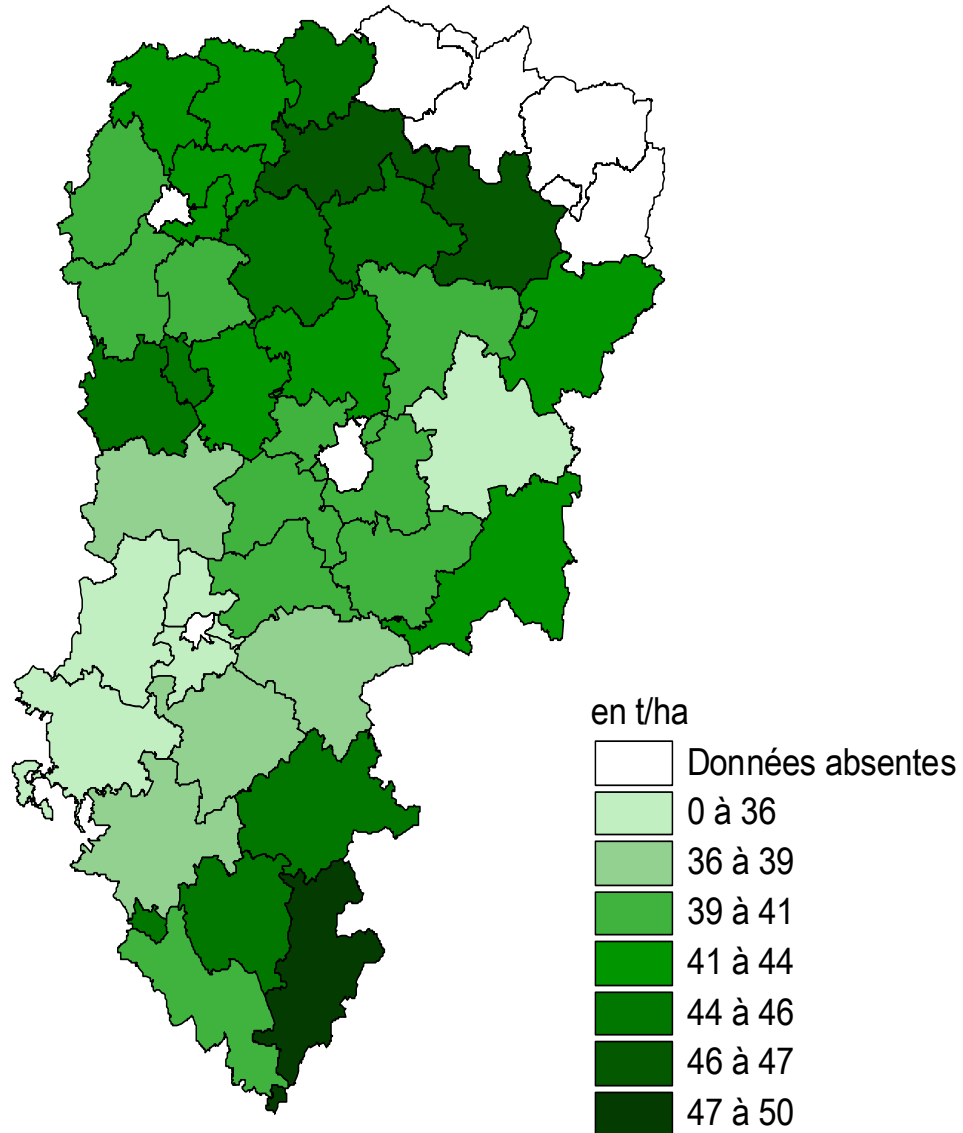
- combien de pailles de céréales peut-on exporter sans dé-stocker massivement ?
- où et comment exporter ?

## Compilation de bases de données

- Sols (analyses de terre)
- Données culturales (assolement, pratiques)
- Rendements
- Climat

## Application du modèle sur un territoire

# Carte des stocks C par canton de l'Aisne

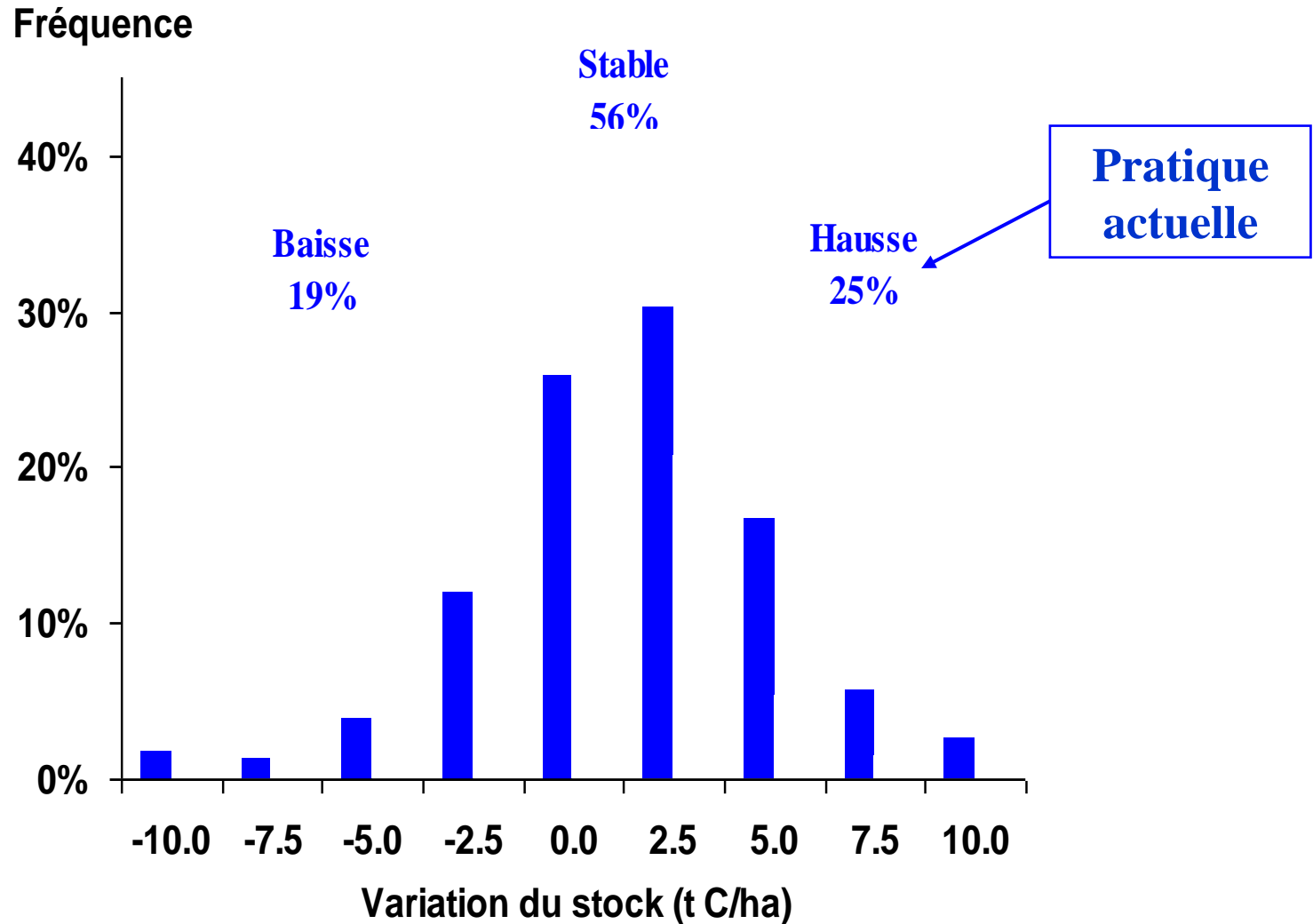


# Evolution prévisible des stocks de C dans l'Aisne sur 50 ans

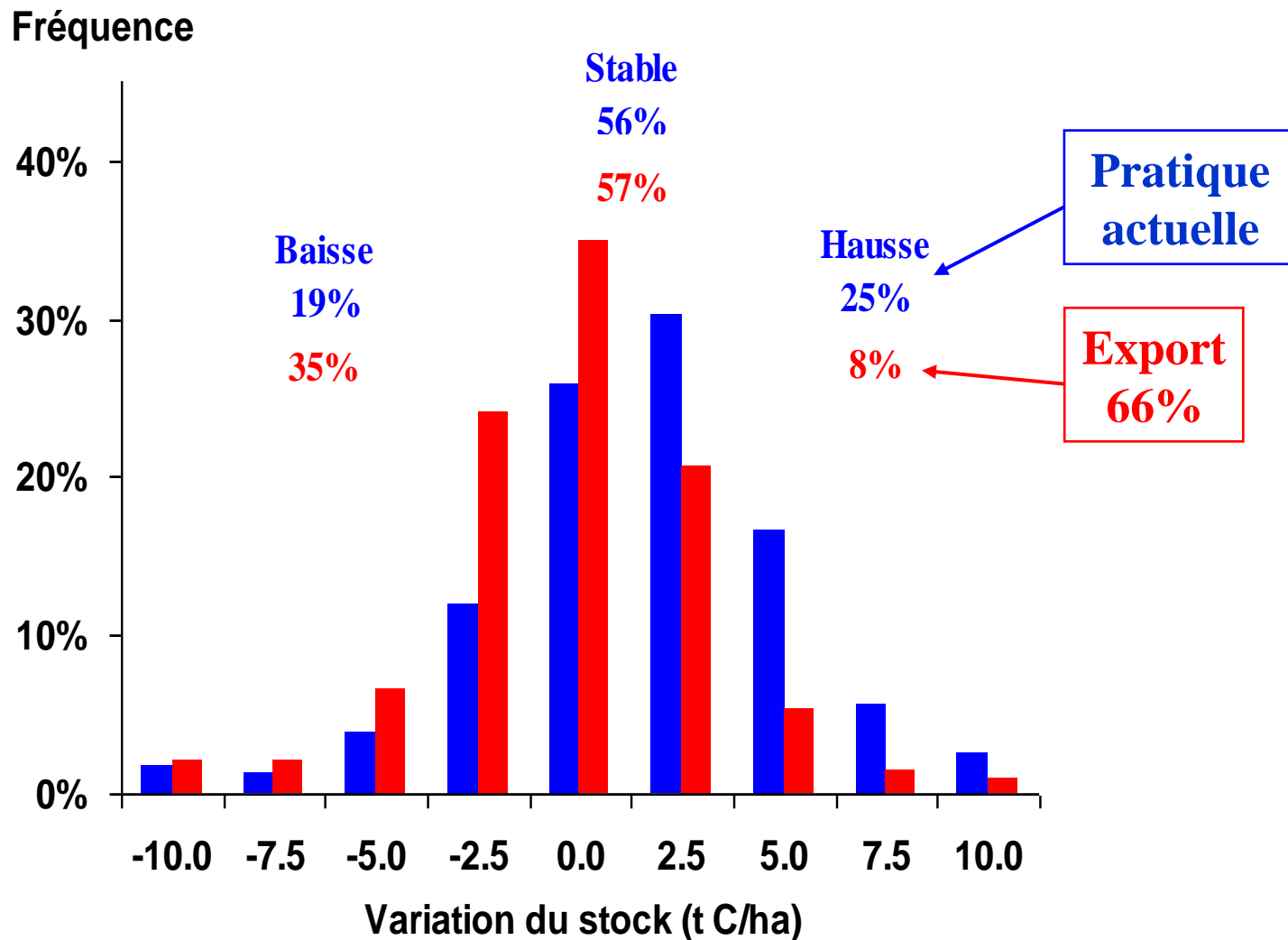
Hypothèses de calcul :

- même système de culture
- mêmes restitutions et apports MO
- climat futur, avec augmentation T°
- paille blé exportable = 3.7 t/ha

# Evolution prévisible des stocks de C dans l'Aisne sur 50 ans

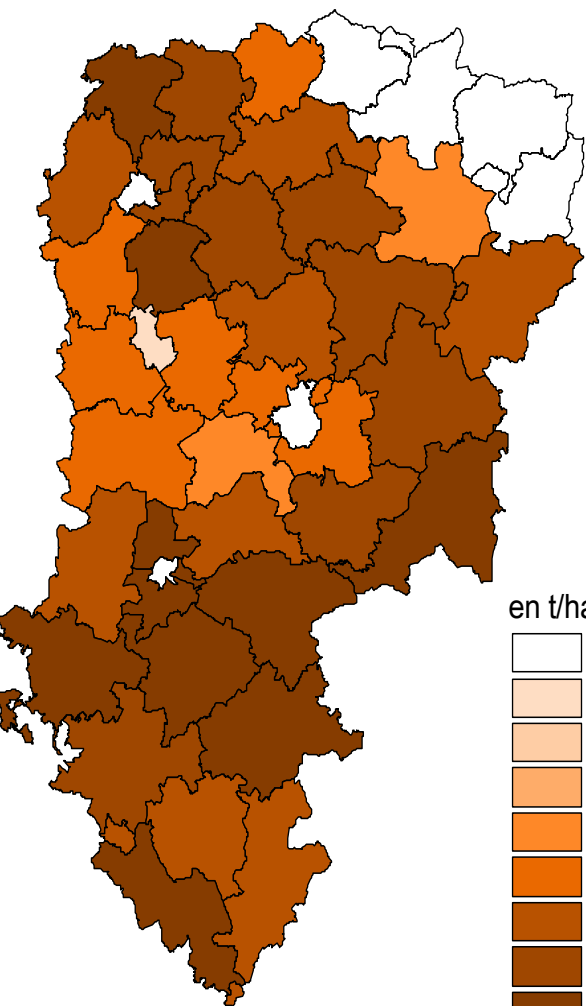


# Evolution prévisible des stocks de C dans l'Aisne sur 50 ans

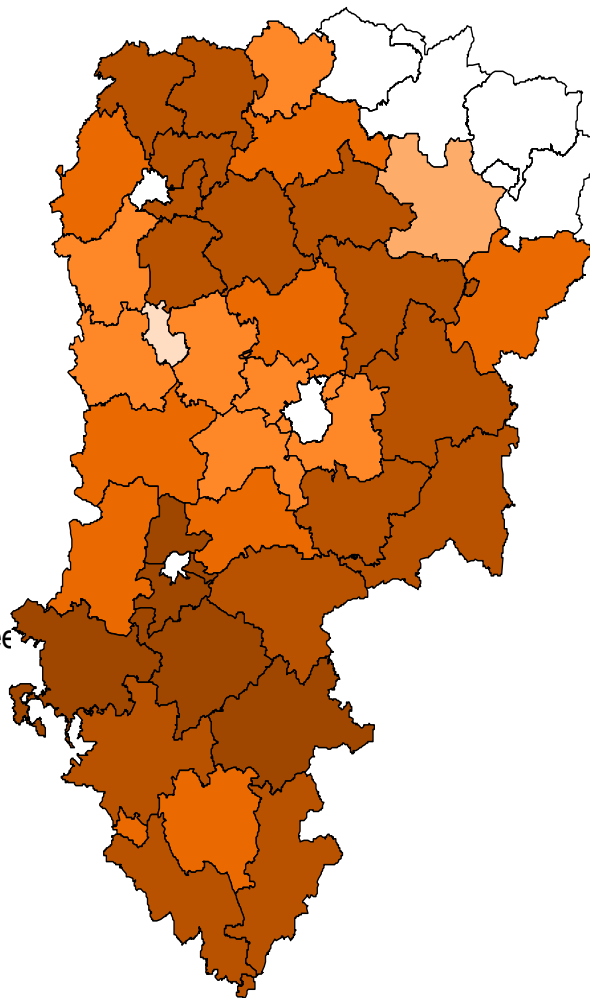


# Variation des stocks de C dans 50 ans

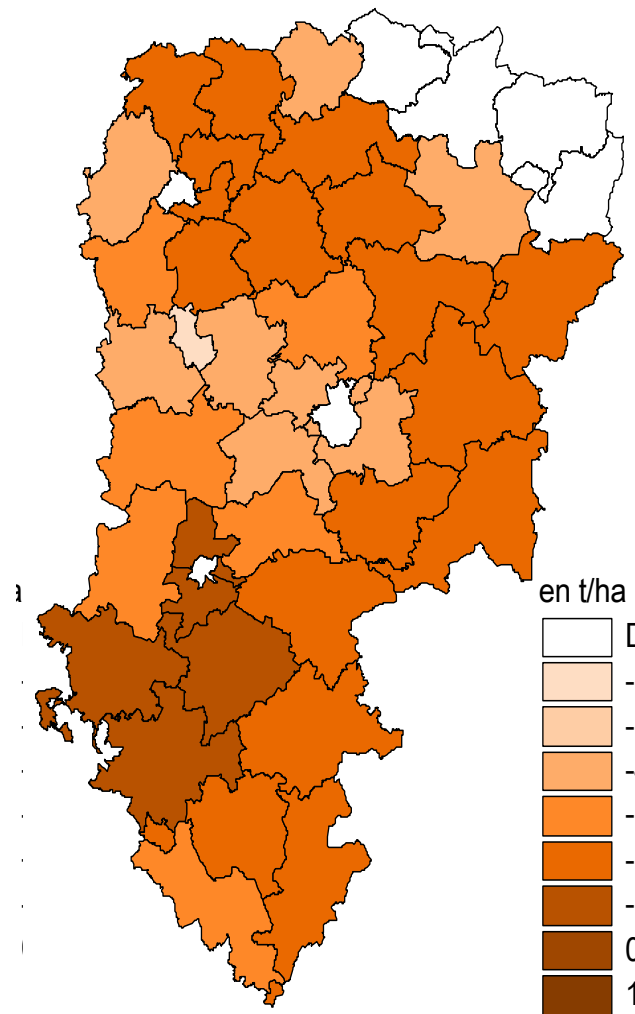
Pas export



Export 1/3 paille

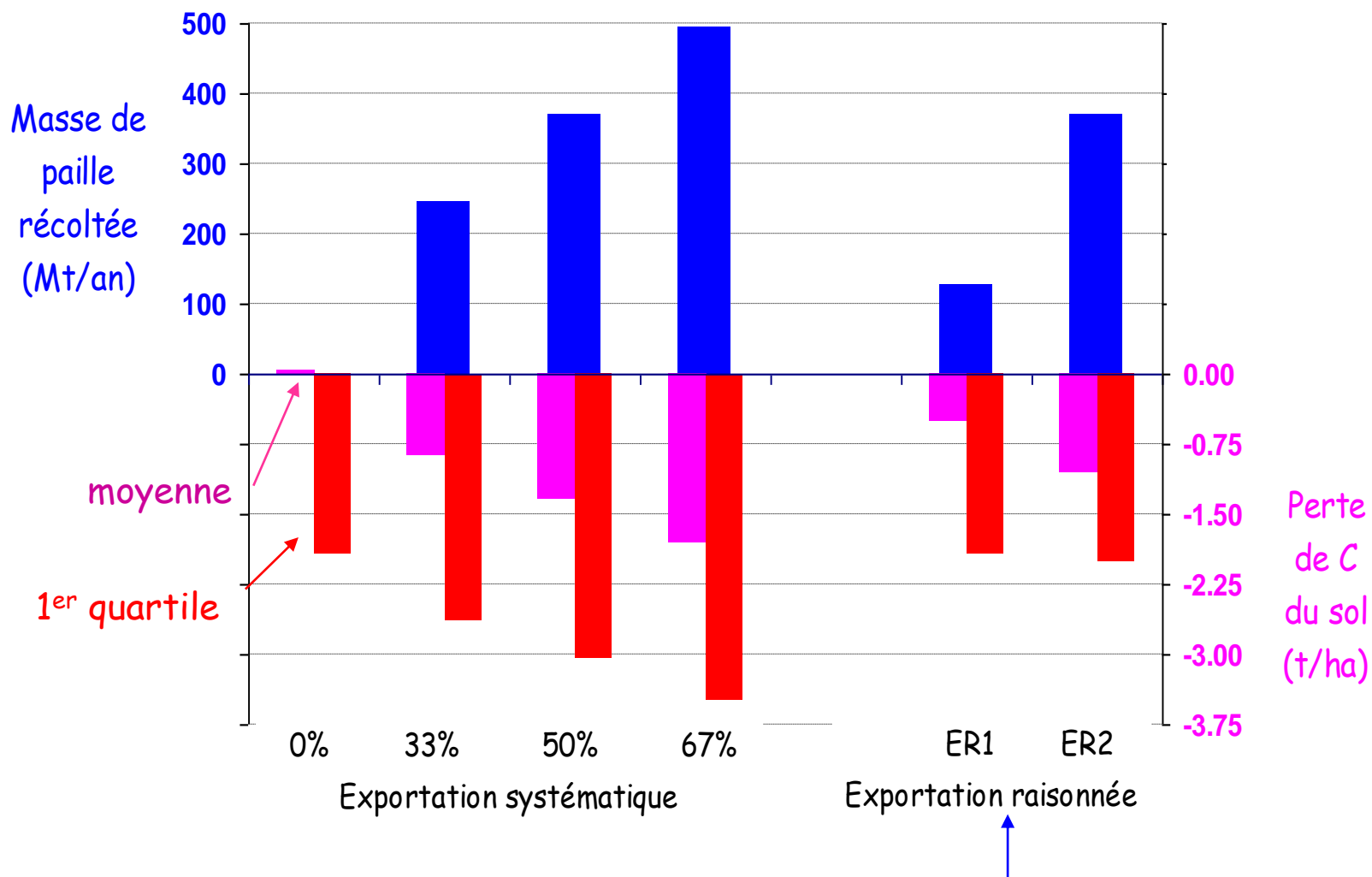


Export 2/3 paille





# Synthèse : exportation de paille et variation de stock C



ER1: on n'accepte aucune baisse supplémentaire du stock C  
ER2: on n'accepte aucune baisse supplémentaire > 5% du stock C

# Conclusions

- Difficulté de mesurer les stocks de C, surtout avec l'évolution des pratiques de travail du sol
- Intérêt des expérimentations de longue durée (ORE,...) et de réseaux type RMQS
- Bonne évaluation du modèle AMG, malgré sa simplicité
- Application possible à des scénarios de gestion
- Développement / évaluation du modèle
  - appui Agrotransfert RT
  - projet ITA-AMG : extension à une large gamme de pédoclimats, de PRO

## Conclusions (2)

- Un taux d'exportation des pailles (33%) conduit à une faible diminution des stocks (1 t C/ha, soit 2,5% du stock en 50 ans)
- Il permet la collecte de 240 Mt paille sur le département, mais peut conduire certaines parcelles à une baisse excessive
- Une stratégie à la parcelle, sur la base d'analyses de terre, permettrait d'éviter ces situations, et d'exporter davantage sur des parcelles peu sensibles : collecte 370 Mt paille.
- Mesures d'accompagnement possibles : implanter des cultures intermédiaires, réduire le travail du sol, faire un suivi du C dans les parcelles avec exportation.

## Pour en savoir plus

Andriulo A, Mary B, Guérif J (1999) Modelling soil carbon dynamics with various cropping sequences on the rolling pampas. *Agronomie* 19: 365-377.

Bruchou C, Mary B (2007) Analyse statistique de caractéristiques permanentes et non permanentes du sol d'une parcelle agricole. *Agriculture de Précision*, M. Guérif et D. King (éds.), Editions Quae, INRA, 147-164.

Maltas A, Oberholzer H, Charles R, Bovet V, Sinaj S (2012). Effet à long terme des engrais organiques sur les propriétés du sol. *Recherche Agronomique Suisse*, 3: 148-155.

Mary B, Saffih K, Duparque A, Tomis V (2009) Préserver le stock de carbone du sol. *Perspectives Agricoles* 354, 6-9.

Saffih-Hdadi K, Mary B (2008) Modelling consequences of straw residues export on soil organic carbon. *Soil Biology & Biochemistry*, 40: 594-607.

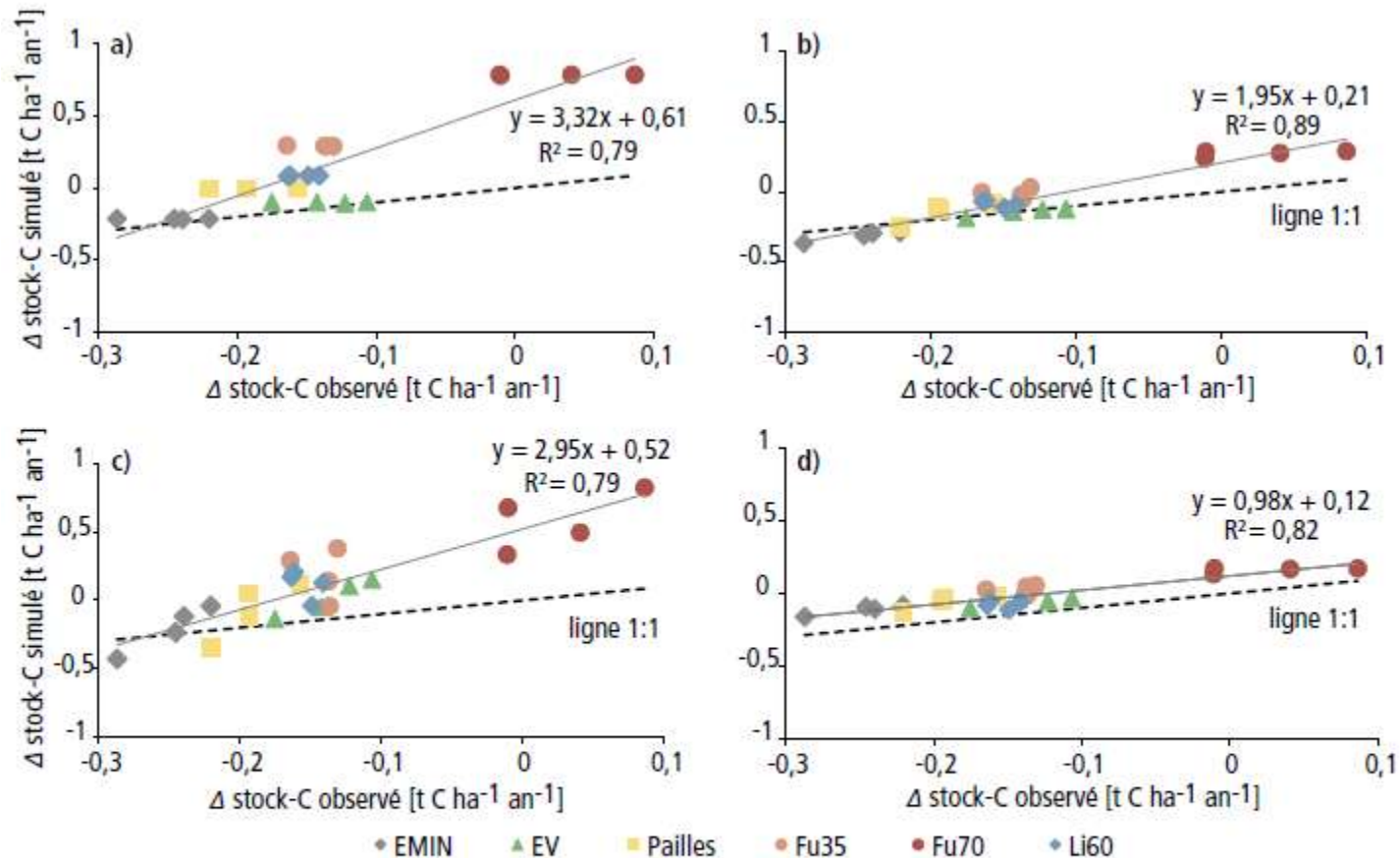
Saffih-Hdadi K, Mary B (2007) Prévision de l'évolution des stocks de carbone organique pour différentes pratiques d'exportation des pailles. Application à l'estimation de la disponibilité en paille pour le département de l'Aisne. Rapport final Contrat Cartopailles, INRA Laon, 74 pp.

Valé M, Laurent F, Mary B, Justes E, Mangin M (2007) Minéralisation de l'azote organique : effets de la température et de l'humidité. *Perspectives Agricoles* 331, 46-49.

**Merci de votre attention**



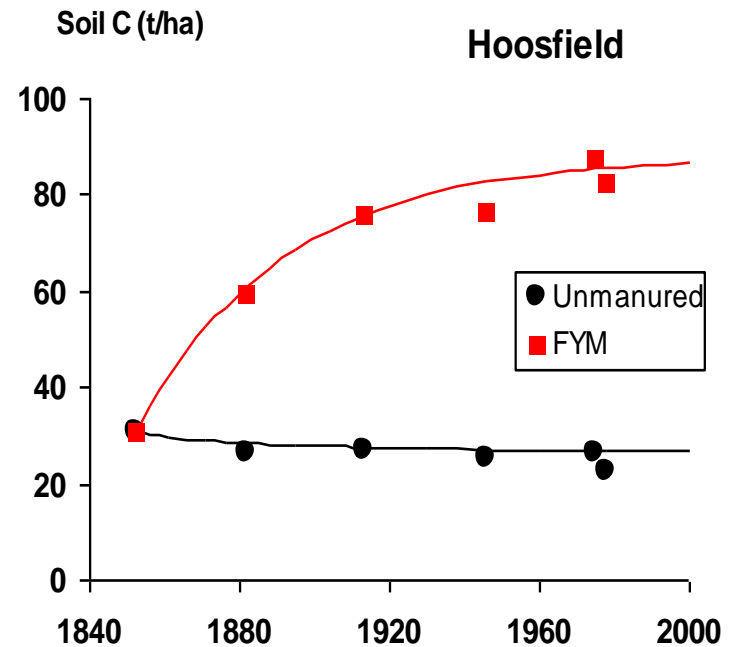
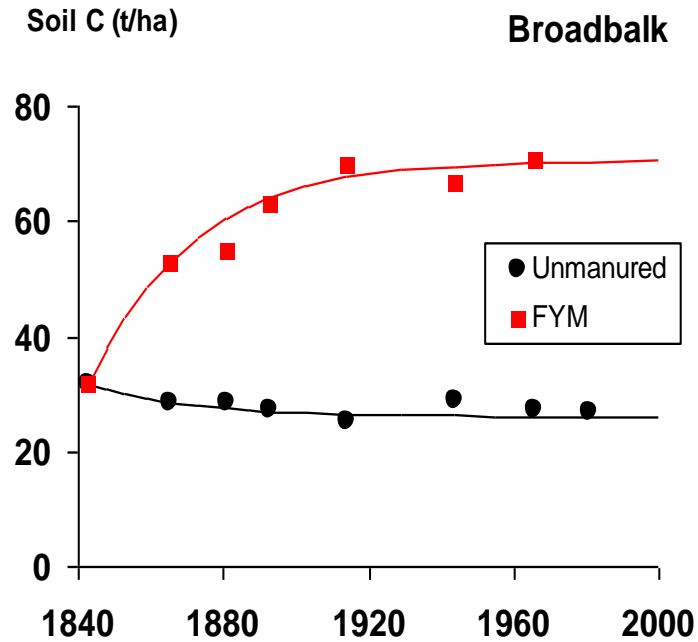
# Evaluation de AMG sur des essais de long terme en Suisse (Maltas et al., 2012)



**Figure 2 |** Variations annuelles moyennes du stock de C sur 0–25 cm entre 1975 et 2009 observées (axe x) et simulées (axe y) par le modèle a) SALCA, b) VDLUFA, c) HUMOD et d) SIMEOS-AMG. Les quatre points pour un même procédé correspondent aux sous-procédés de fertilisation azotée.

# Rothamsted long-term experiment

(Jenkinson *et al.*, 1987)

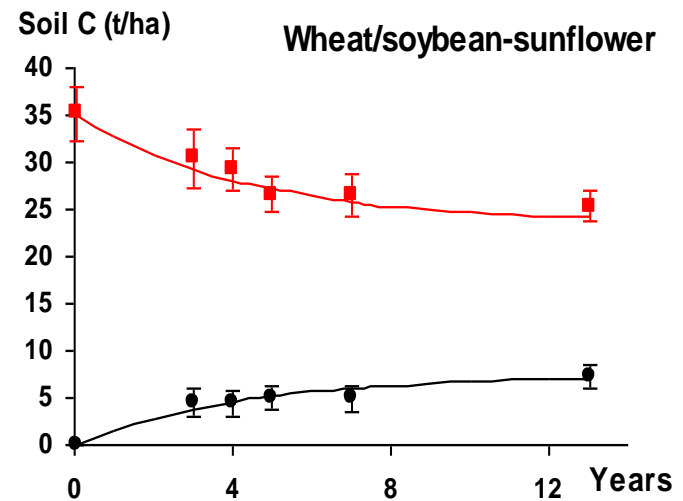
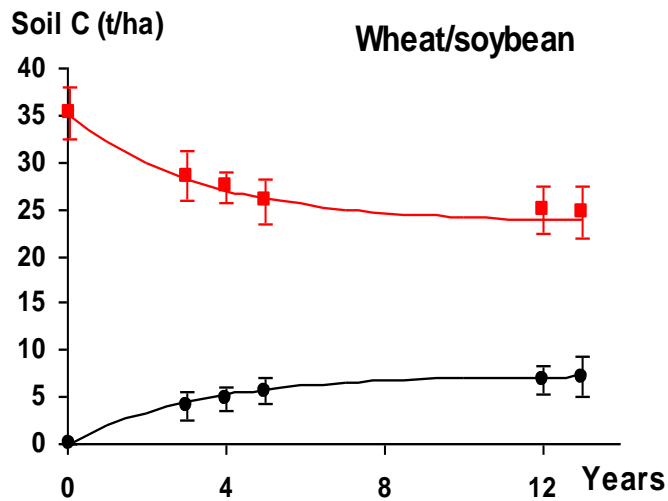
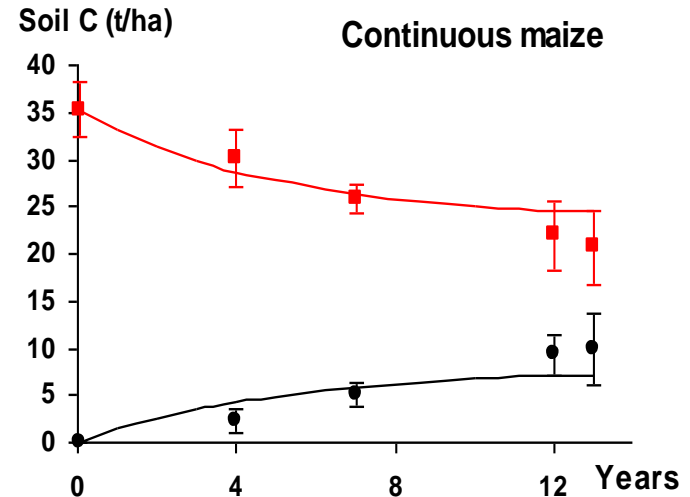
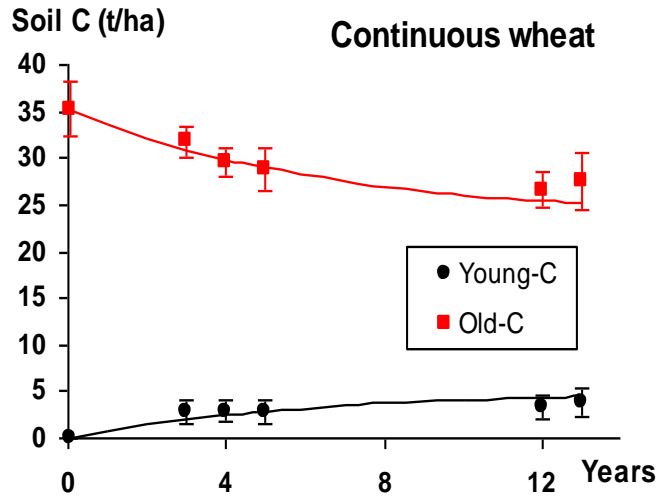


Proportion of active fraction  $\alpha = 0.35$   
Decomposition rate  $k = 0.027-0.036 \text{ yr}^{-1}$  TRM = 30-40 yr

(Mary & Guérif, 1994)

# Rotation experiments in Argentina

(Andriulo *et al.*, 1998)

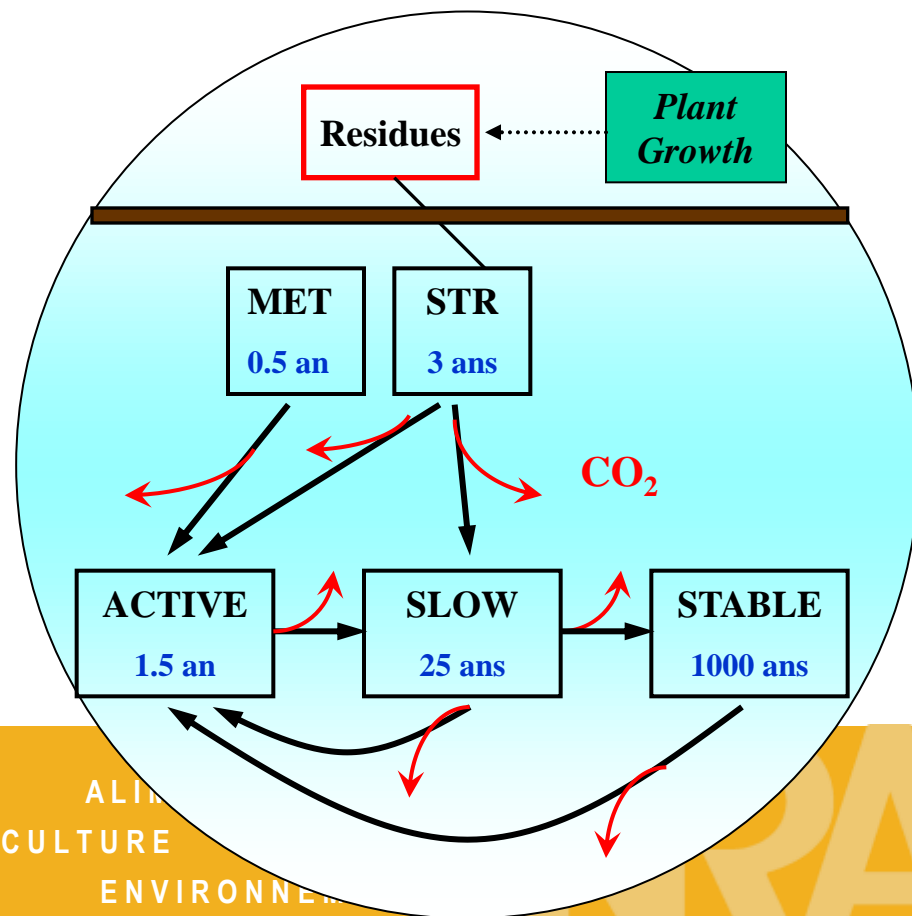
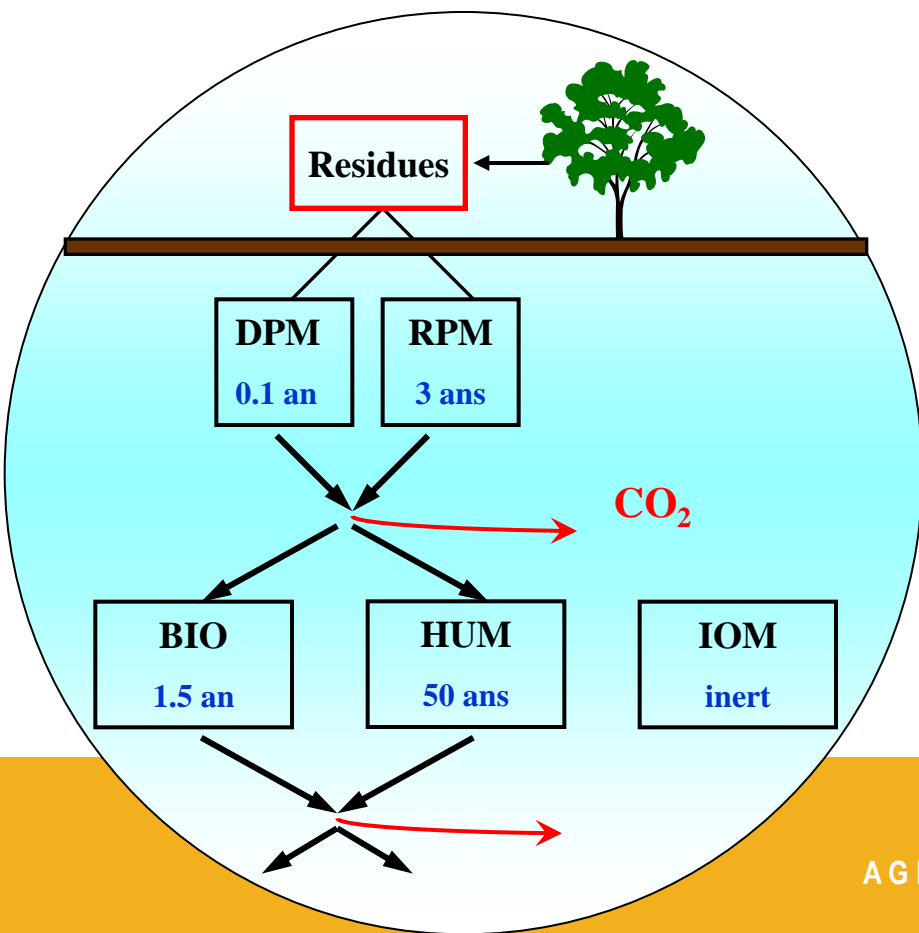




# Deux modèles de référence plus complexes

**ROTH-C**  
(Jenkinson & Rayner, 1977)

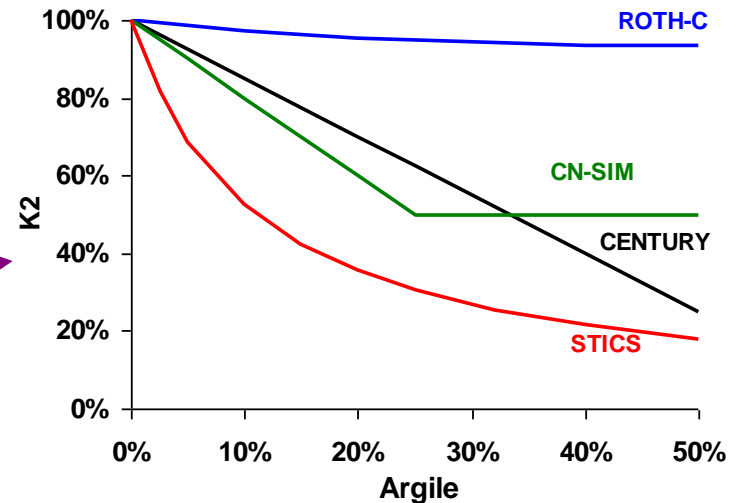
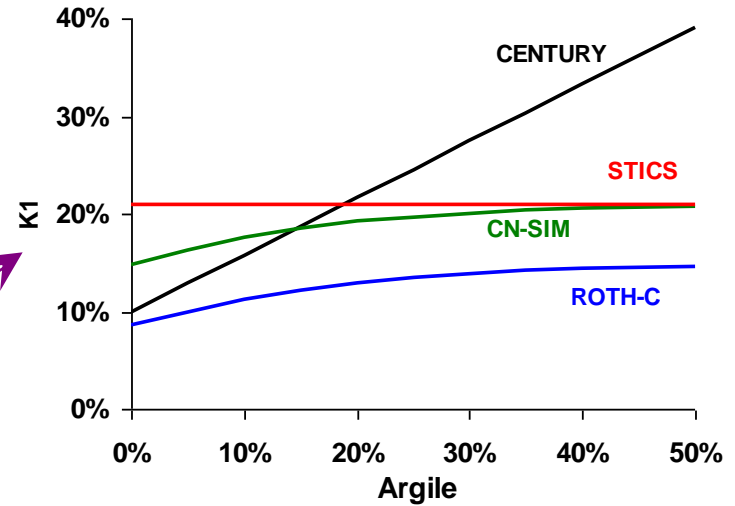
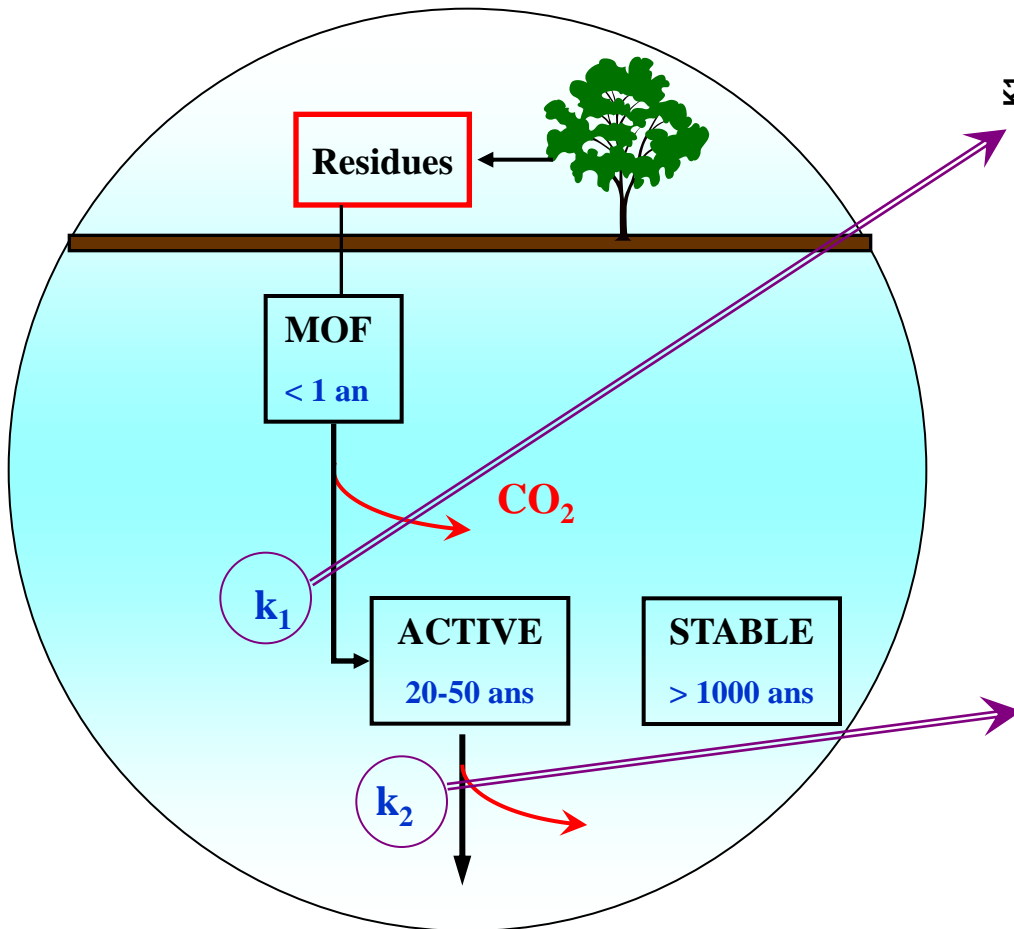
**CENTURY**  
(Parton et al., 1987)



# Comparaison avec AMG

Dépendance à la nature du sol (argile)

AMG - STICS



# Stocks de C et ADN en France

