

La dynamique des MO dans les sols : mesure et modélisation



Bruno Mary,
INRA Laon, Unité Agro-Impact



Projet réalisé avec le
concours financier de :



Manifestation
organisée par :



En partenariat avec :



Amiens
27 janvier 2011
Gestion et Conservation de l'Etat Organique des Sols

La matière organique du sol, c'est quoi ?

Résidus organiques frais, "libres"	0 - 4 t C/ha
Résidus organiques évolués (MOP)	1 - 3
Macrofaune	0,5
Biomasse microbienne	1
"Humus"	36
Total	42 t C/ha

Amiens
27 janvier 2011
Gestion et Conservation de l'Etat Organique des Sols

Comment la mesurer ?

Ce que le laboratoire d'analyse mesure, c'est :

La teneur en C organique en g/kg de sol sec

La teneur en N total en g/kg de sol sec

Ce qu'il calcule, c'est :

la teneur en MO $MO = 1,72 \cdot C$

ou $MO = 2 \cdot C$

Ce qu'il ne calcule pas, c'est le stock de MO

Amiens
27 janvier 2011
Gestion et Conservation de l'Etat Organique des Sols

Calcul du stock de C (une seule couche de sol)

Masse de sol : $M = 1000 \cdot E \cdot \rho$

t/ha dm g/cm³

Teneur en carbone mesurée : C

Stock de C : $S = M \cdot C / 1000 = E \cdot \rho \cdot C$

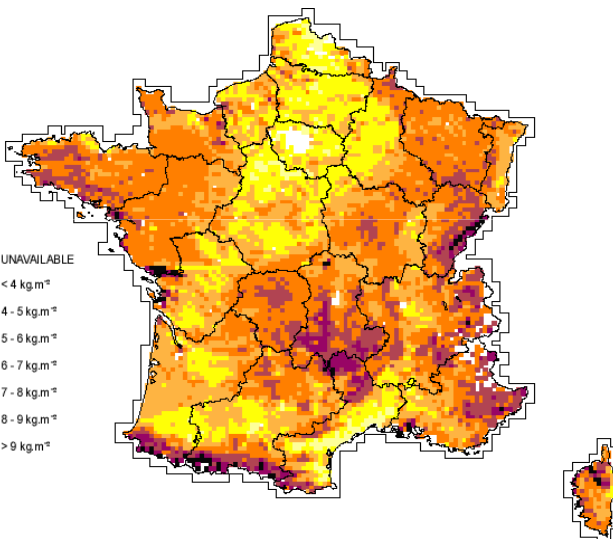
t/ha dm g/cm³ g/kg

Amiens
27 janvier 2011
Gestion et Conservation de l'Etat Organique des Sols

Inventaire des stocks de C en France

Total (0-30 cm)
3.1 milliards t C

(Arrouays et al
2001)



Gestion et Conservation de l'Etat Organique des Sols

Comment mesurer l'évolution des stocks ?

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



Gestion et Conservation de l'Etat Organique des Sols

Mesure de masse volumique
Cylindre
Sonde gamma

Prélèvements de sol



Comment mesurer l'évolution des stocks ?

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

Variation de stock = humification - minéralisation

→ Traçage isotopique (¹⁴C et ¹³C) pour distinguer les 2 processus

MOH se construit à partir de plantes qui se marquent en ¹⁴C

→ Analyse ¹⁴C pour dater âge de MOH



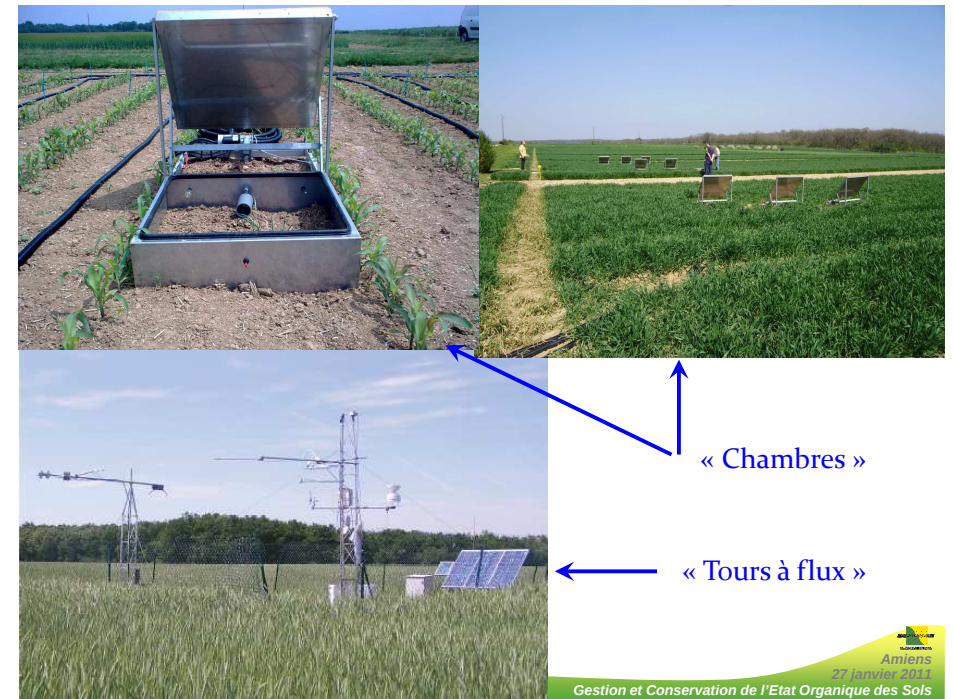
Gestion et Conservation de l'Etat Organique des Sols

Comment mesurer l'évolution des stocks ?

- ❑ Mesure des variations de stock de carbone (inventaire)
 - Utilisation des BD analyses de terre
 - Expérimentations longue durée (≥ 10 ans)
 - Réseau RMQS (Infosol)
- ❑ Mesure des flux de CO_2 à la surface du sol (émis ou capté)
 - « Chambres »
 - « Tours à flux »



Gestion et Conservation de l'Etat Organique des Sols



« Chambres »

« Tours à flux »



Gestion et Conservation de l'Etat Organique des Sols

Comment mesurer l'évolution des stocks ?

- ❑ Mesure des variations de stock de carbone (inventaire)
 - Utilisation des BD analyses de terre
 - Expérimentations longue durée (≥ 10 ans)
 - Réseau RMQS (Infosol)
- ❑ Mesure des flux de CO_2 à la surface du sol (émis ou capté)
 - « Chambres » mesures locales (m^2)
 - « Tours à flux » mesures intégrées spatialement (ha)
 - Respiration « hétérotrophe »
 - Nécessité d'intégrer sur de longues périodes de temps



Gestion et Conservation de l'Etat Organique des Sols

Analyser la variabilité temporelle suppose de maîtriser la variabilité spatiale

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



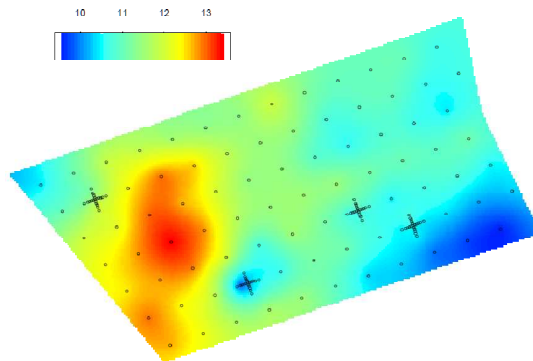
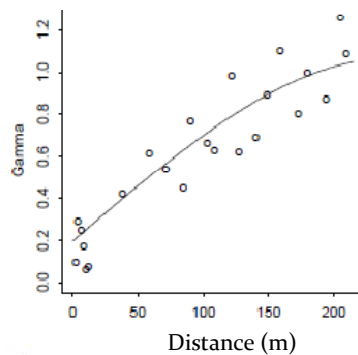
Gestion et Conservation de l'Etat Organique des Sols

Variabilité spatiale du C dans une parcelle

(Bruchou & Mary, 2005)

Le variogramme décrit la variance en fonction de la distance

Carte des teneurs en C



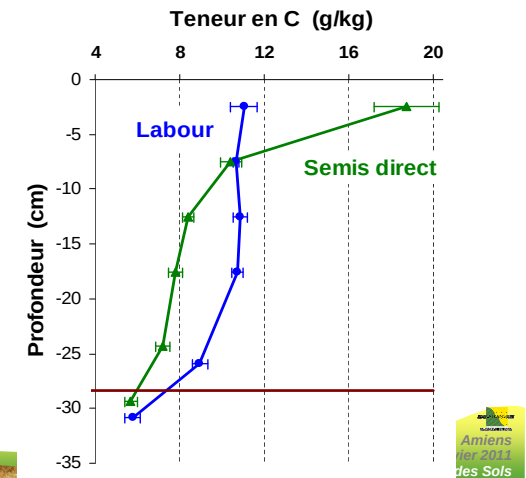
Variabilité spatiale du C dans le profil

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



Comment améliorer la procédure analyse de terre pour établir un bilan C ?

- ❑ Pour réduire la variabilité de masse volumique et de résidus de culture
Prélever juste après récolte
- ❑ Pour réduire la variabilité spatiale
Faire des prélèvements de sol
 - toujours au même endroit (repérage GPS)
 - sur une profondeur constante ≥ profondeur de labour
 - en estimant la masse volumique

Des modèles d'évolution des MOS

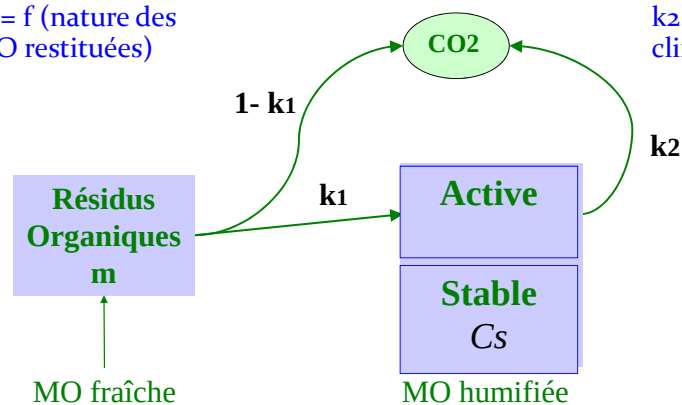
- ROTHC (Coleman and Jenkinson, 1996)
- CENTURY (Parton et al., 1987)
- CN-SIM (Petersen et al., 2005)
- DAISY (Hansen et al., 1991)
- AMG (Andriulo et al, 1999; Saffih et Mary, 2008)



Un modèle d'évolution simple : AMG

$k_1 = f(\text{nature des MO restituées})$

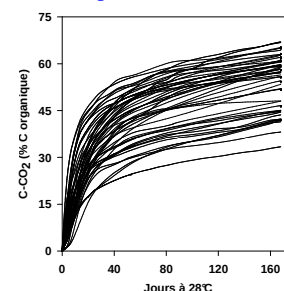
$k_2 = f(\text{sol, climat})$



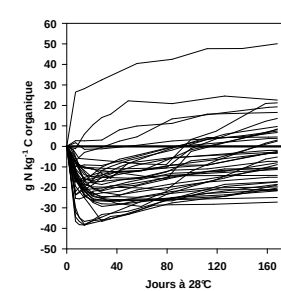
Gestion et Conservation de l'Etat Organique des Sols

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

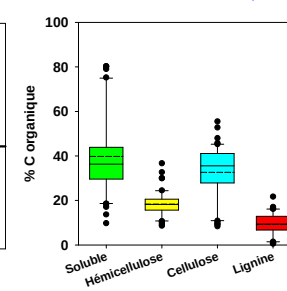
Dégradation du carbone



Minéralisation de l'azote



Qualité biochimique

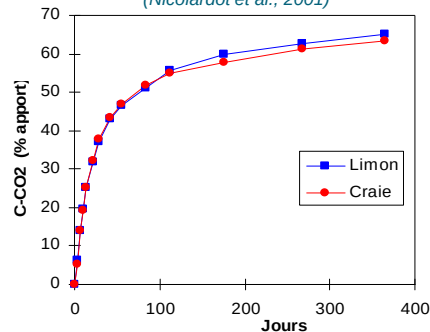


La décomposition des MOF, la minéralisation N et la stabilisation du C sont très dépendantes de leur nature / composition biochimique.

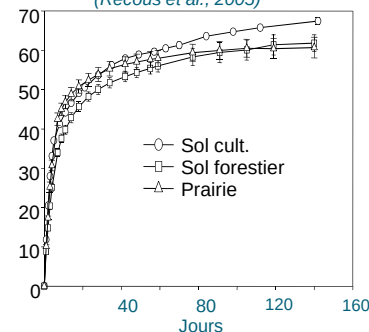
Gestion et Conservation de l'Etat Organique des Sols

$k_1 = f(\text{nature sol ?})$

Résidus de colza à maturité
(Nicolardot et al., 2001)



Résidus de seigle jeune
(Recous et al., 2005)

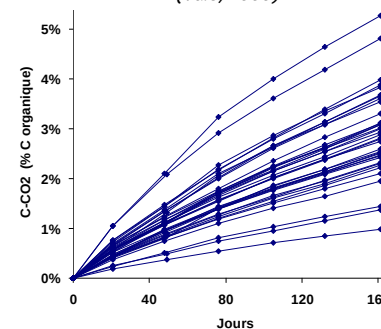


La cinétique de décomposition des MOF est :

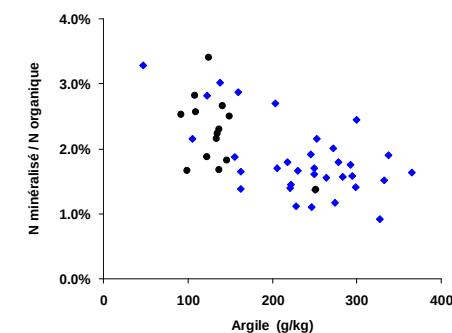
- proportionnelle à la quantité de C apporté
- peu dépendante du type de sol

$k_2 = f(\text{nature sol ?})$

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



Taux de minéralisation = $f(\text{argile})$

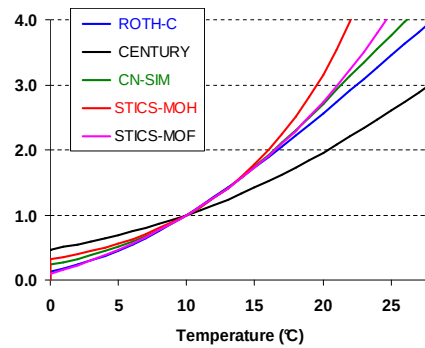


La décomposition des MOH

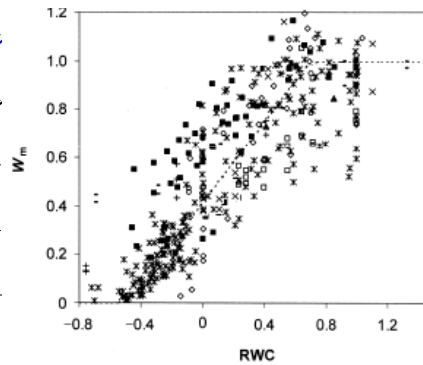
- est proche d'une cinétique du 1er ordre
- est très dépendante du type de sol (f. fine)

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

Effet température du sol



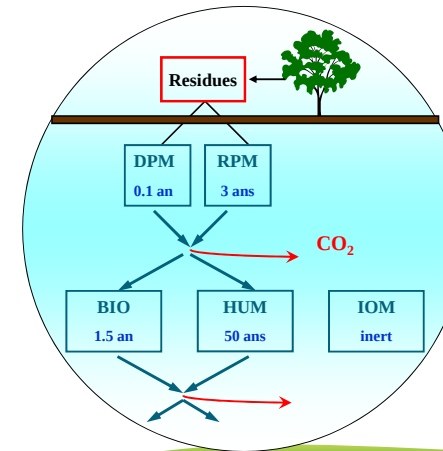
Effet humidité du sol



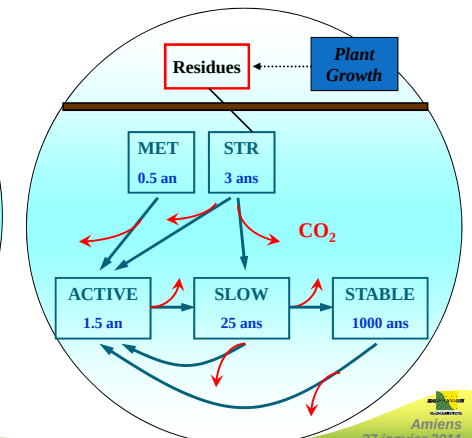
Forte dépendance à la température du sol
Moindre dépendance à l'humidité du sol
Humidité → relation empirique dans AMG

Deux modèles de référence plus complexes

ROTH-C
(Jenkinson & Rayner, 1977)



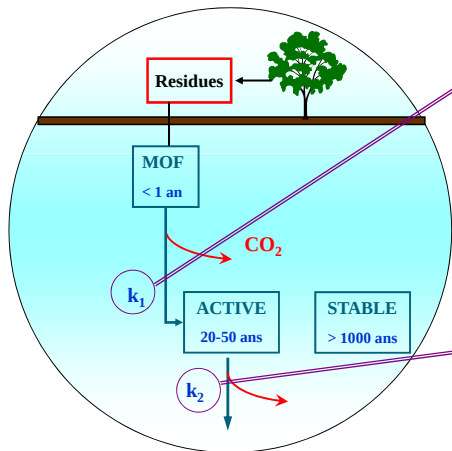
CENTURY
(Parton et al., 1987)



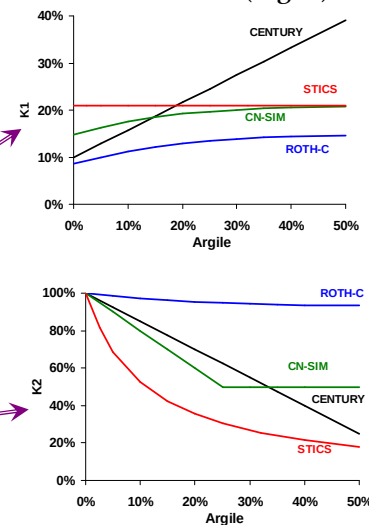
Amiens
27 janvier 2011
Gestion et Conservation de l'Etat Organique des Soils

Comparaison avec AMG

AMG - STICS



Dépendance à la nature
du sol (argile)



Amiens
27 janvier 2011
Gestion et Conservation de l'Etat Organique des Soils

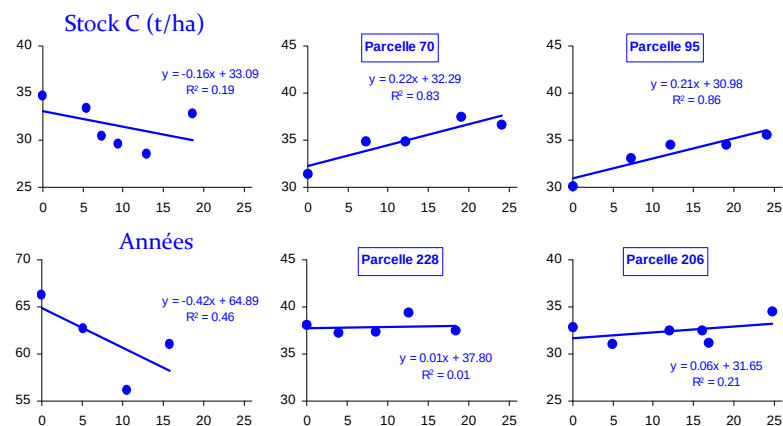
Evaluation du modèle AMG

- Données LDAR, années 1970-1997
Sélection de 391 parcelles agricoles
Analysées 3, 4 ou 5 fois
Calcul de la vitesse moyenne d'évolution
- 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

Amiens
27 janvier 2011
Gestion et Conservation de l'Etat Organique des Soils

Evaluation sur 391 parcelles (10-25 ans)

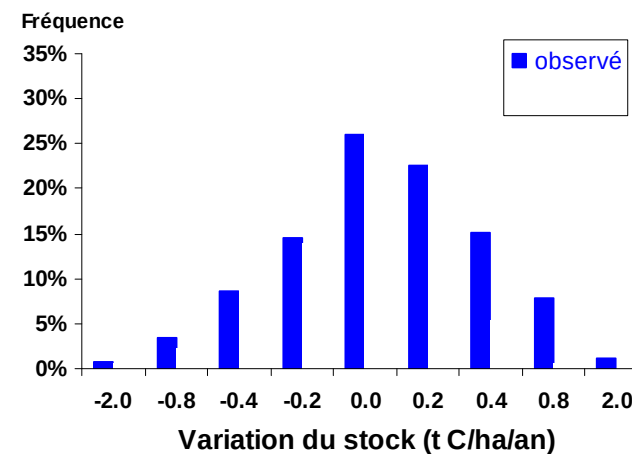
a) Calcul de la vitesse d'évolution (Wylleman, 1999)



Gestion et Conservation de l'Etat Organique des Sols

Evaluation sur 391 parcelles (10-25 ans)

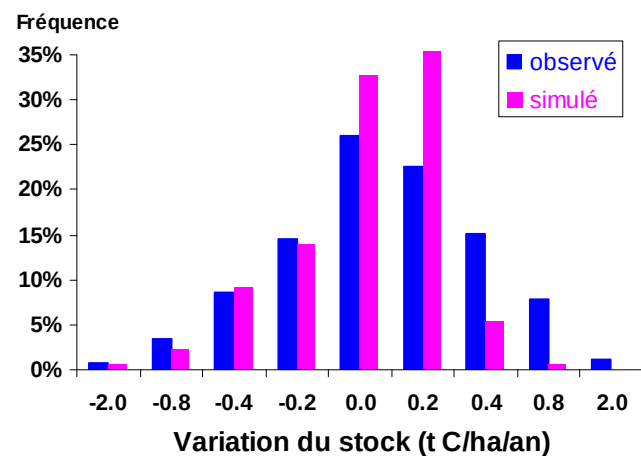
b) Comparaison des vitesses d'évolution



Gestion et Conservation de l'Etat Organique des Sols

Evaluation sur 391 parcelles (10-25 ans)

b) Comparaison des vitesses d'évolution



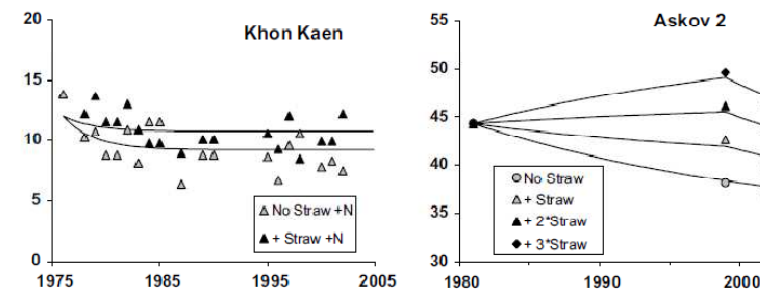
Gestion et Conservation de l'Etat Organique des Sols

Evaluation sur 9 sites expérimentaux

(Saffih et Mary, 2008)

Thaïlande

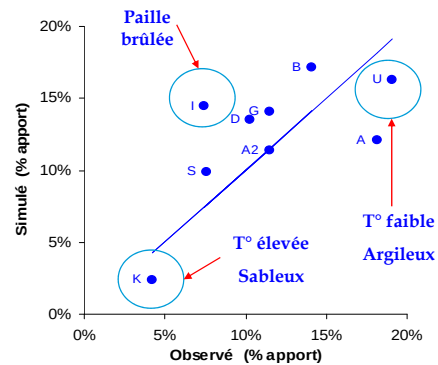
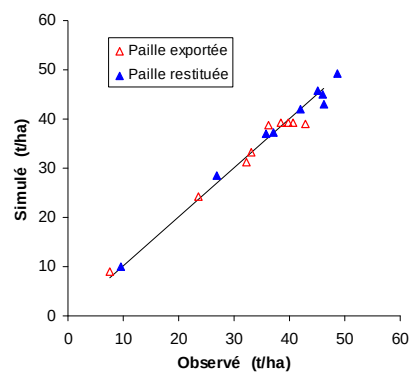
Danemark



Gestion et Conservation de l'Etat Organique des Sols

Evaluation sur 9 sites expérimentaux

(Saffih et Mary, 2008)



Amiens
27 janvier 2011

Gestion et Conservation de l'Etat Organique des Sols

Perspectives

- 1) Evaluation du modèle sur d'autres situations
 - projet ITA-AMG
 - thèse en cours : effet du travail du sol à long terme
 - valorisation du marquage ^{13}C (maïs, sorgho, ...)
- 2) Amélioration du paramétrage
 - k_1 des résidus végétaux
 - k_1 des produits résiduels organiques
 - Cs mesure par méthodes physico-chimiques
- 3) Comparaison avec d'autres modèles
 - existants : ROTH-C, CENTURY
 - nouveaux : « priming effect »

Amiens
27 janvier 2011

Gestion et Conservation de l'Etat Organique des Sols