



**RENCONTRES RÉGIONALES DE LA  
RECHERCHE, DU DÉVELOPPEMENT ET DE LA  
FORMATION (3RDF) :  
VERS UNE AGRICULTURE BAS CARBONE  
LES MÉCANISMES DE STOCKAGE  
DÉSTOCKAGE DU CARBONE DANS LES SOLS**

**Jean-Christophe MOUNY,**

Ingénieur, référent Simeos-AMG

**Annie DUPARQUE**

Chargée de mission « Sols et Agrosystèmes »

*Avec la contribution de Vincent TOMIS*

**AGRO-TRANSFERT RESSOURCES ET TERRITOIRES**

Partenaires financiers



<http://www.agro-transfert-rt.org/>



[www.simeos-amg.org](http://www.simeos-amg.org)

# Agro-Transfert Ressources et Territoires



**Une plateforme de transfert  
d'innovations au service de  
l'agriculture régionale**



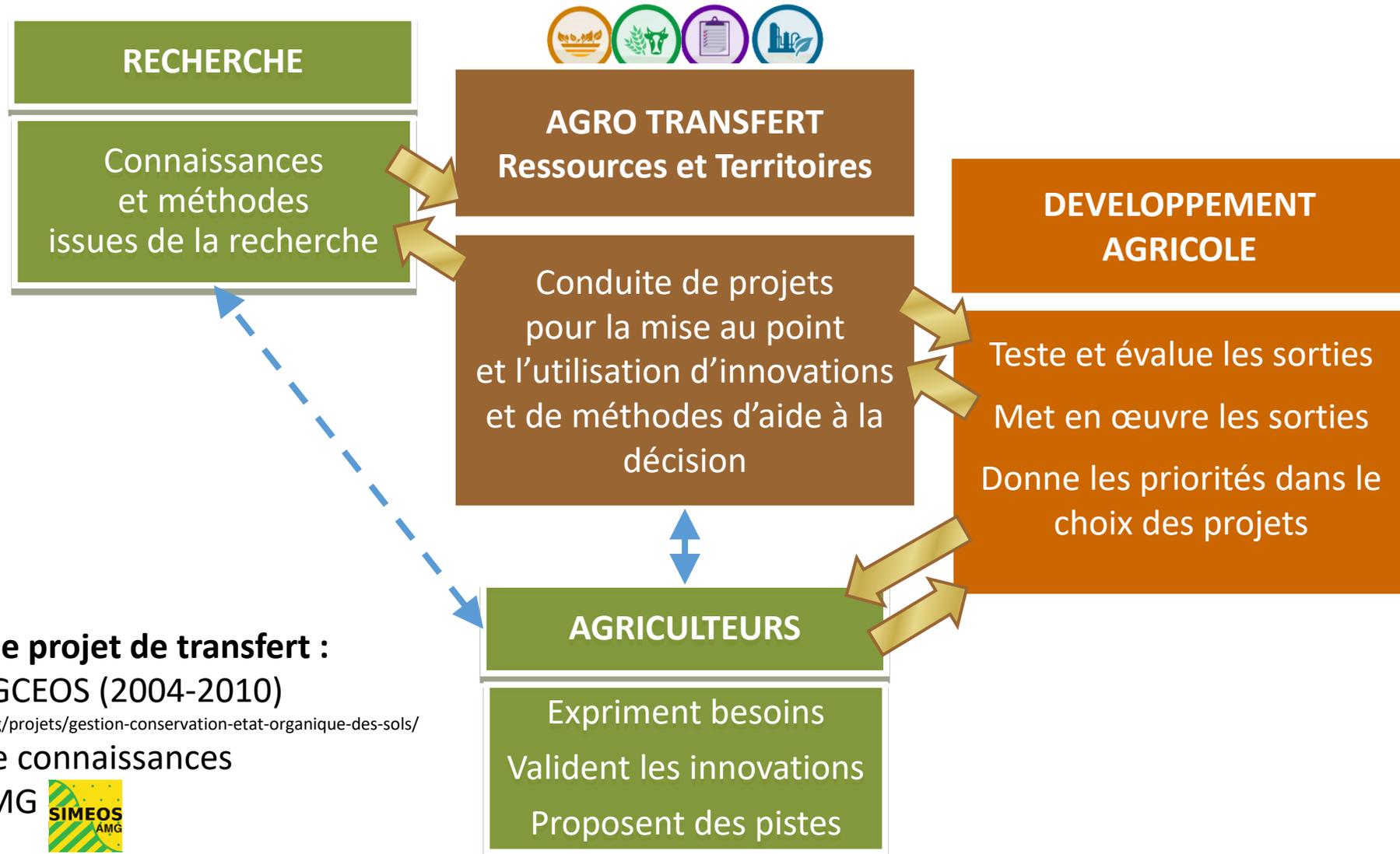
Depuis 1991 à l'initiative de :



<http://www.agro-transfert-rt.org/>

# Agro-Transfert Ressources et Territoires

## Le fondement de la démarche



### Exemple de projet de transfert :

Projet GCEOS (2004-2010)

<http://www.agro-transfert-rt.org/projets/gestion-conservation-etat-organique-des-sols/>

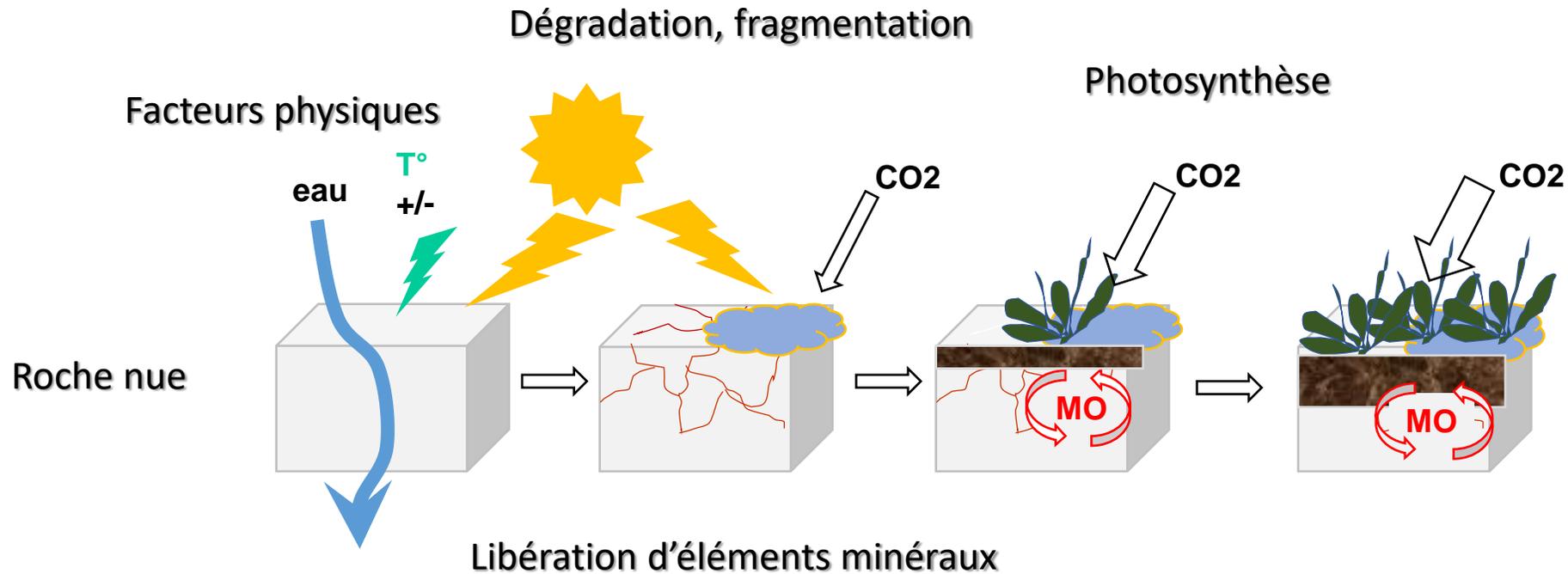
→ Apports de connaissances

→ Simeos-AMG



# LES MATIÈRES ORGANIQUES DU SOL

Il n'y a pas de sol sans matière organique !

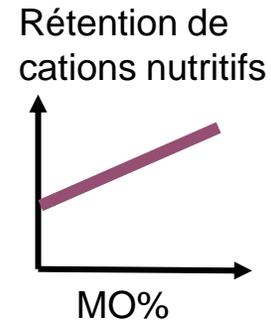
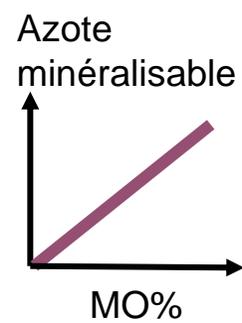


Entrée de plus en plus importante de matières carbonées qui s'associent à la matière minérale issue de la roche

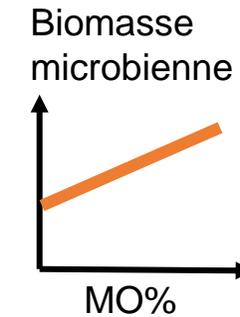
# MATIÈRES ORGANIQUES ET PROPRIÉTÉS DU SOL

## DES TENDANCES CONNUES

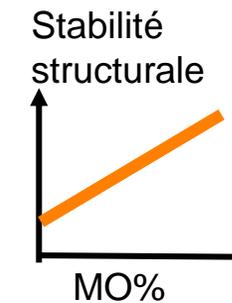
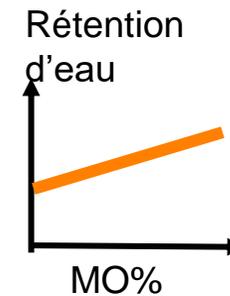
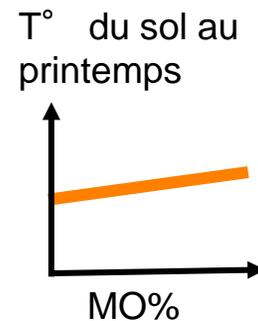
### *fertilité chimique*



### *fertilité biologique*

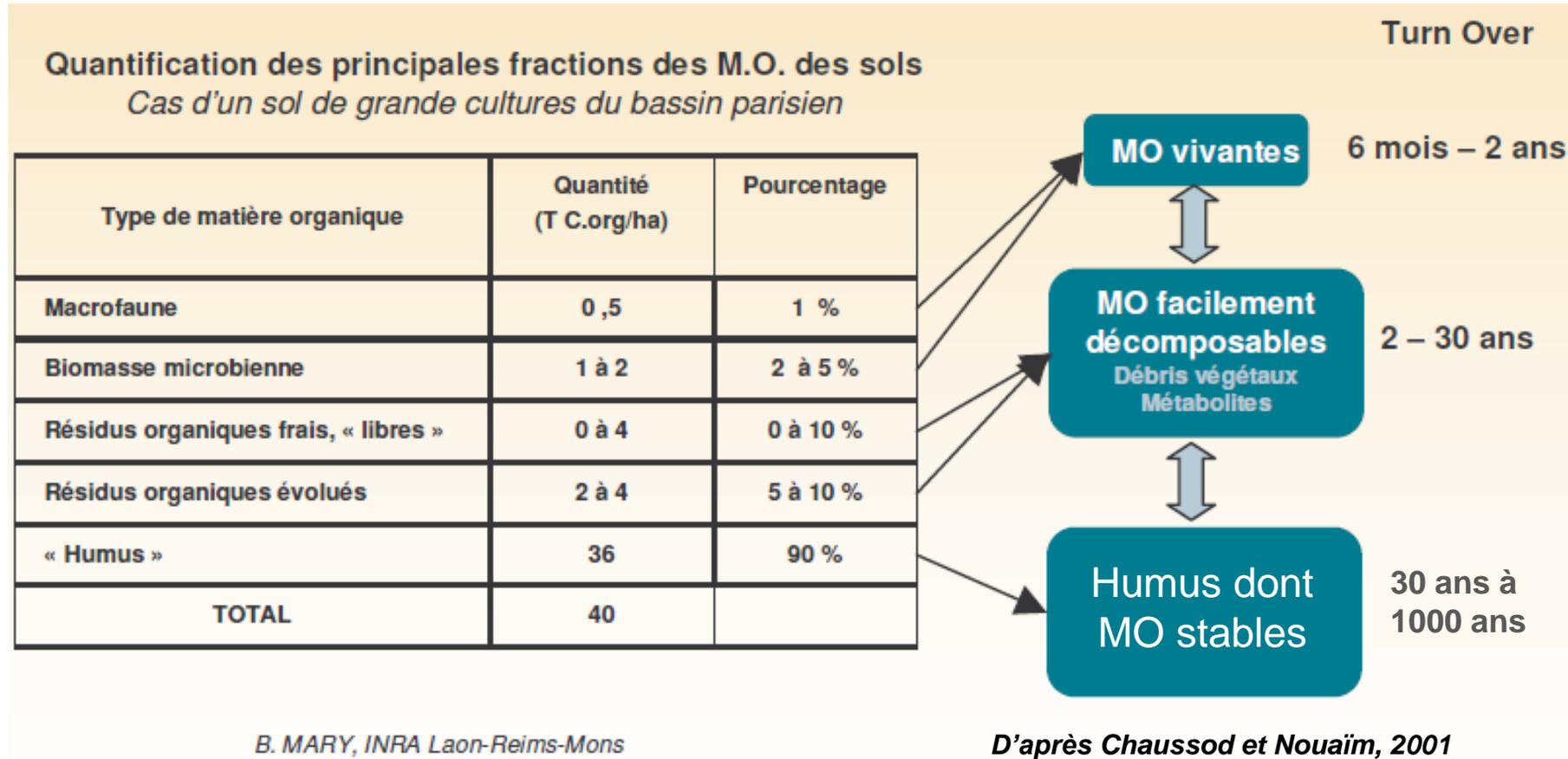


### *fertilité physique*

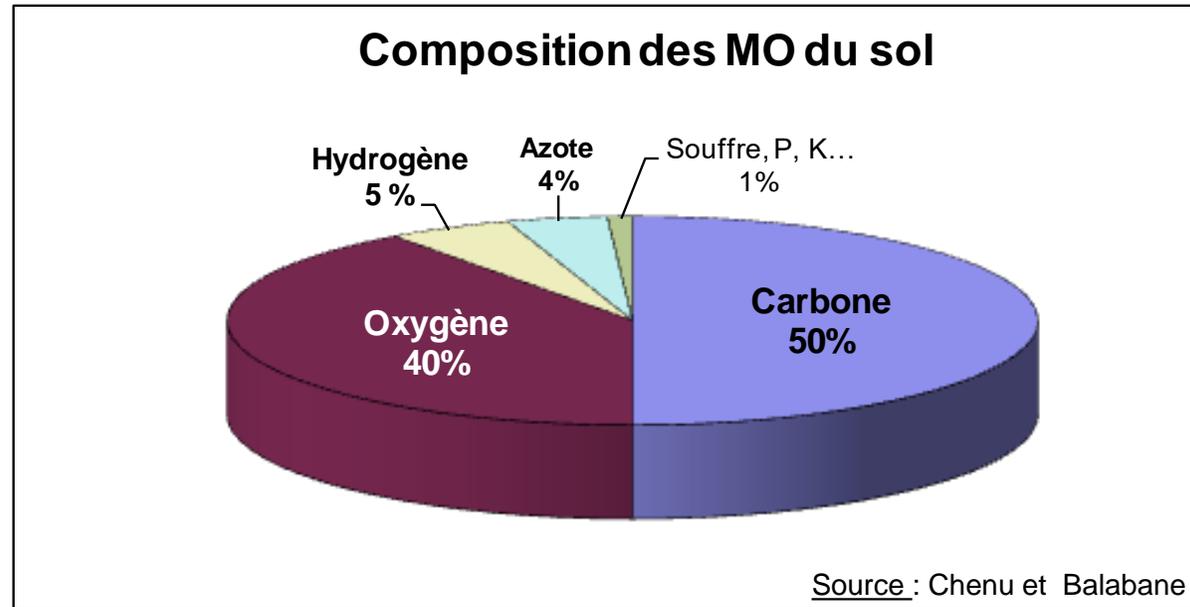


Source : C. Chenu et al, 2011

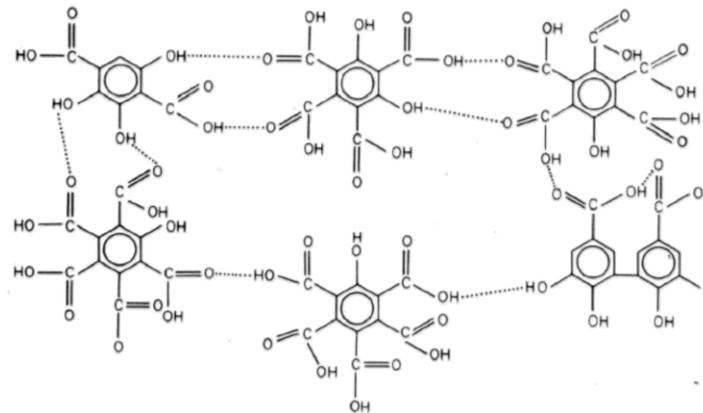
# DES FRACTIONS DE MATIÈRES ORGANIQUES DU SOL AUX DURÉES DE VIE VARIABLES



# LES MATIÈRES ORGANIQUES DU SOL



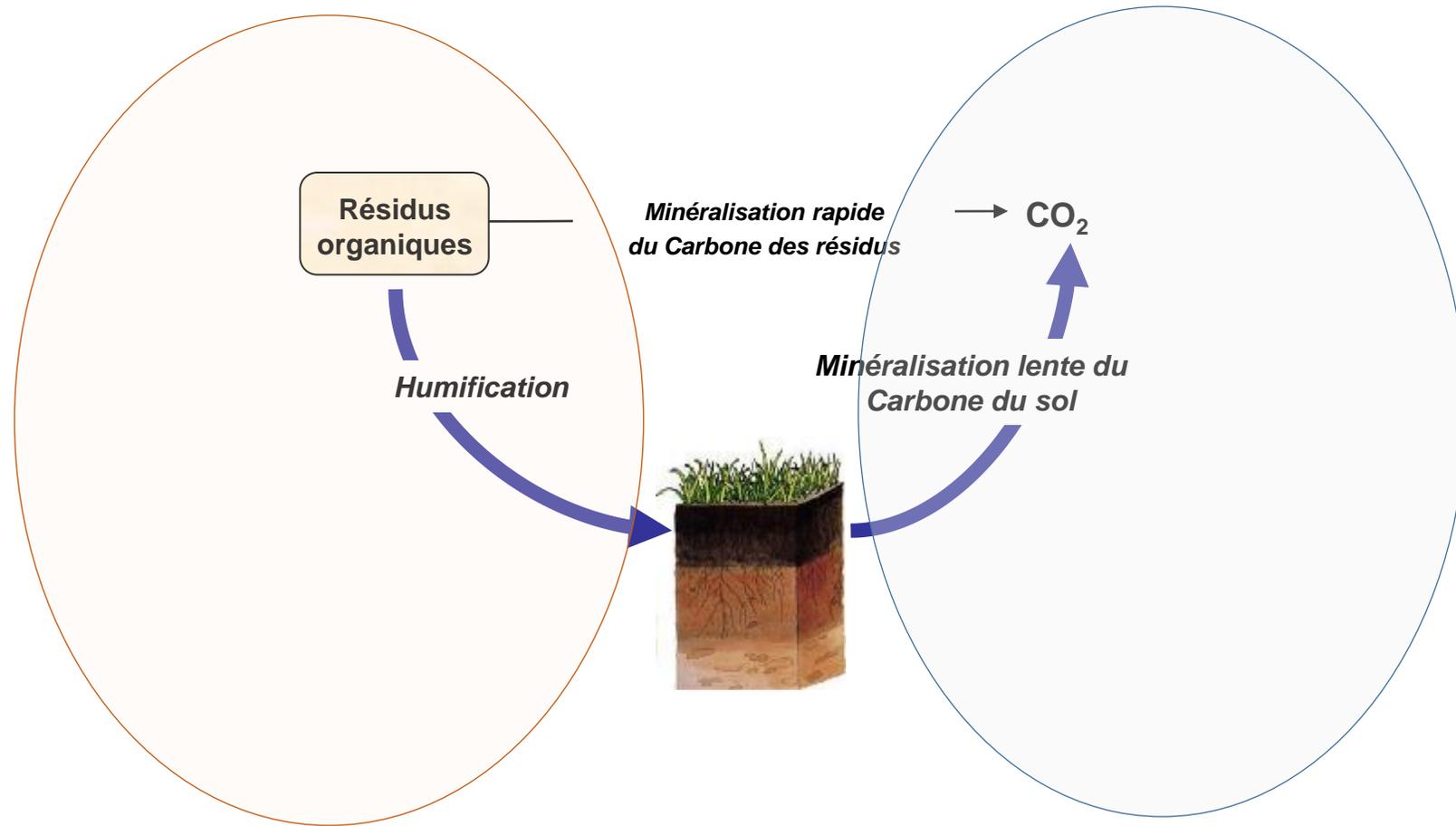
Représentation d'une molécule de « matière organique » :



# LE BILAN HUMIQUE

les entrées de MO

les sorties de MO



# LE MODÈLE AMG\*

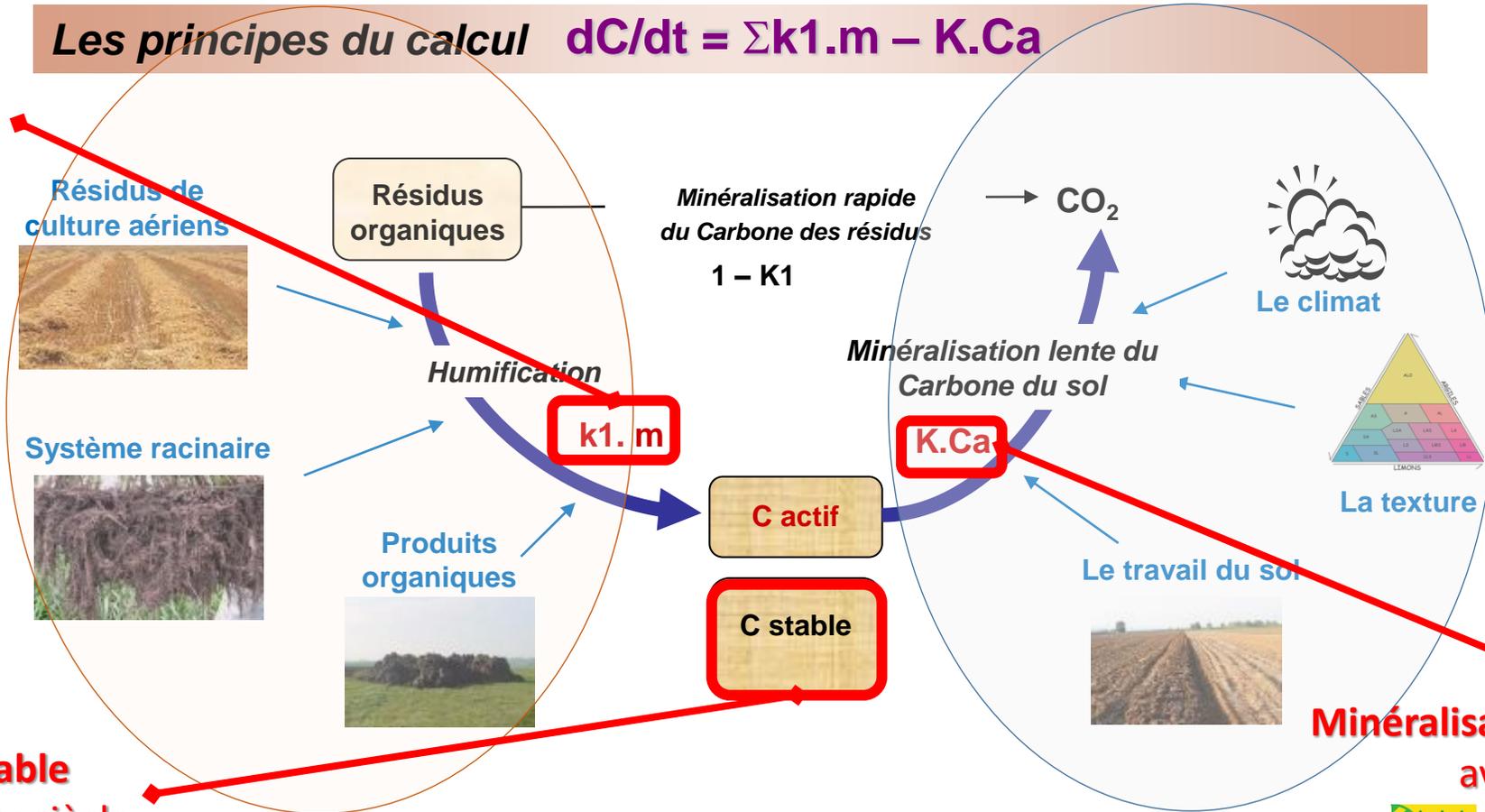
## Un modèle simple de calcul de bilan humique à la parcelle

**Minéralisation rapide et humification du C frais qui crée des apports au C actif initial par les entrées de C humifiées à l'échelle de l'année**

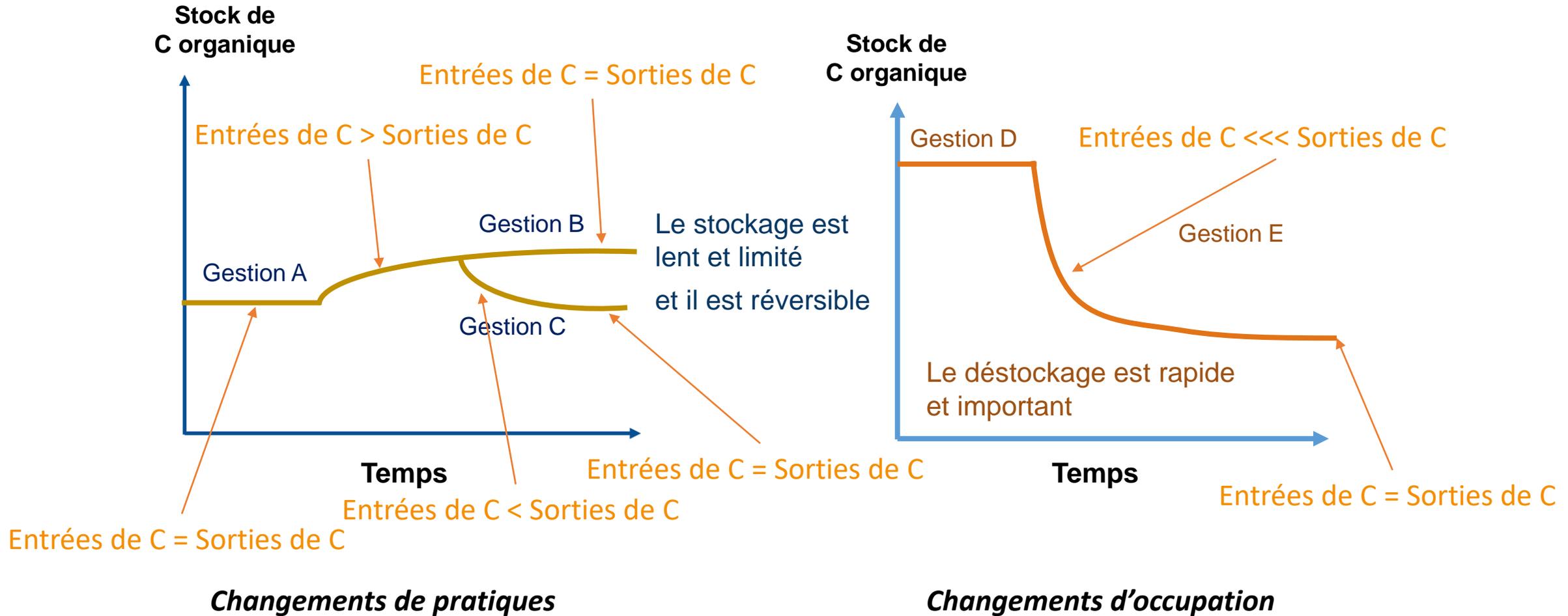
les entrées de Carbone

les sorties de Carbone

Les principes du calcul  $dC/dt = \Sigma k1.m - K.Ca$



# STOCKAGE / DÉSTOCKAGE DE CARBONE ORGANIQUE DES SOLS



# LE MODÈLE AMG\*

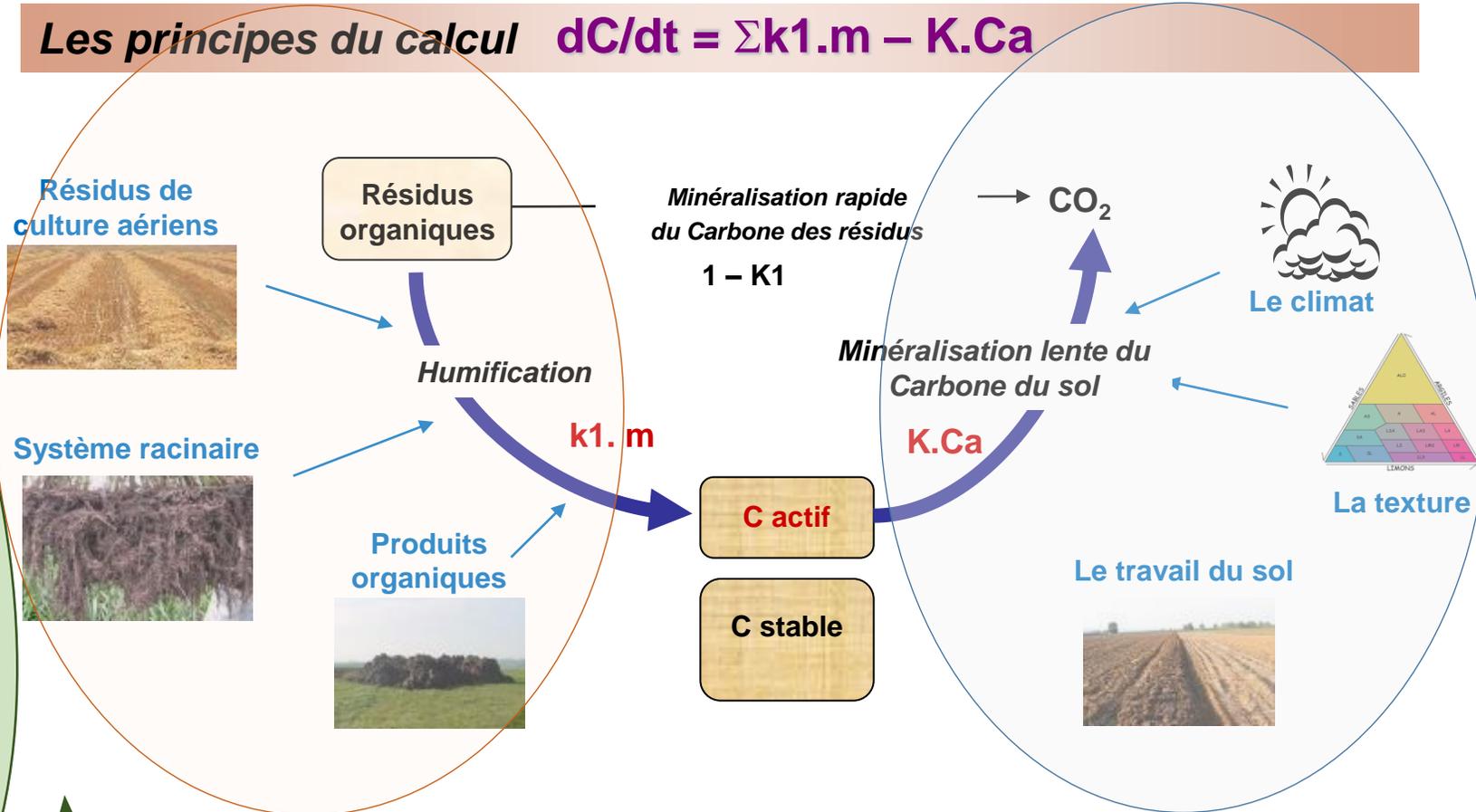
## Un modèle simple de calcul de bilan humique à la parcelle

les entrées de Carbone

Les principes du calcul  $dC/dt = \Sigma k1.m - K.Ca$

les sorties de Carbone

- Succession culturale
- Pratiques
- Niveau de productivité
- Gestion des résidus de récolte
- Couverture du sol
- Fertilisation & amendements organiques



- Pédoclimat
  - Température
  - Humidité
- Argiles vraies
- Calcaire
- pH
- C/N

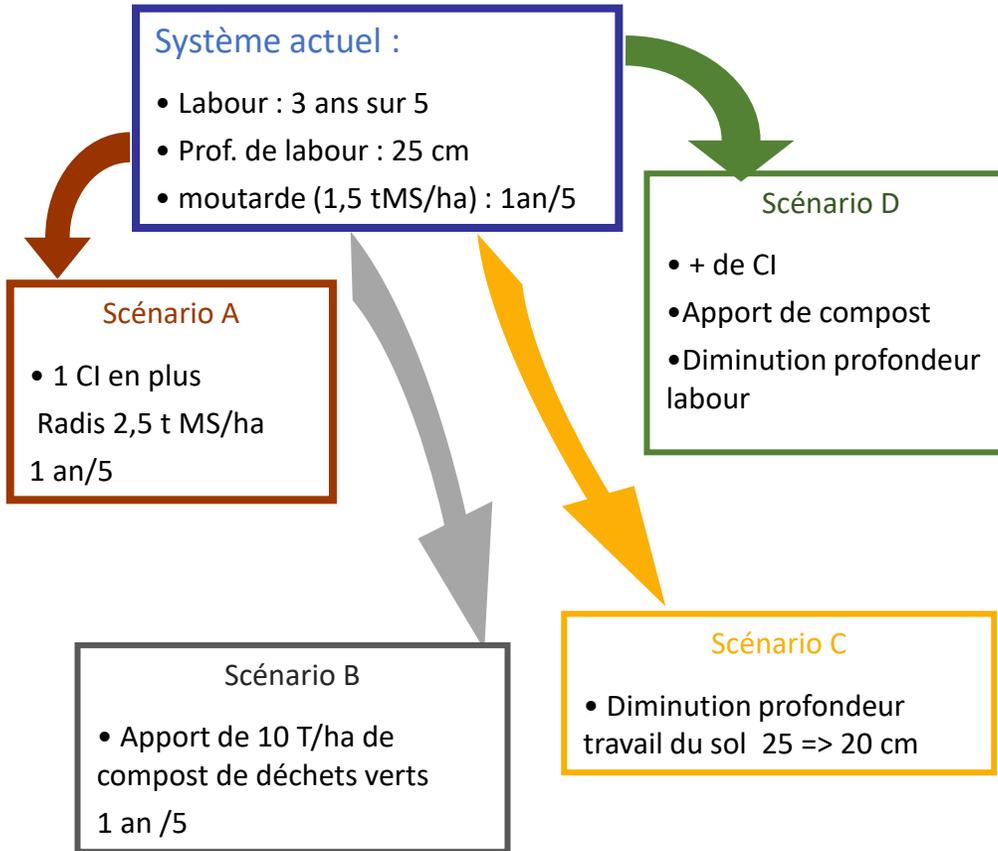
Taux de MO initial  
Pool stable

Leviers agronomiques mobilisables

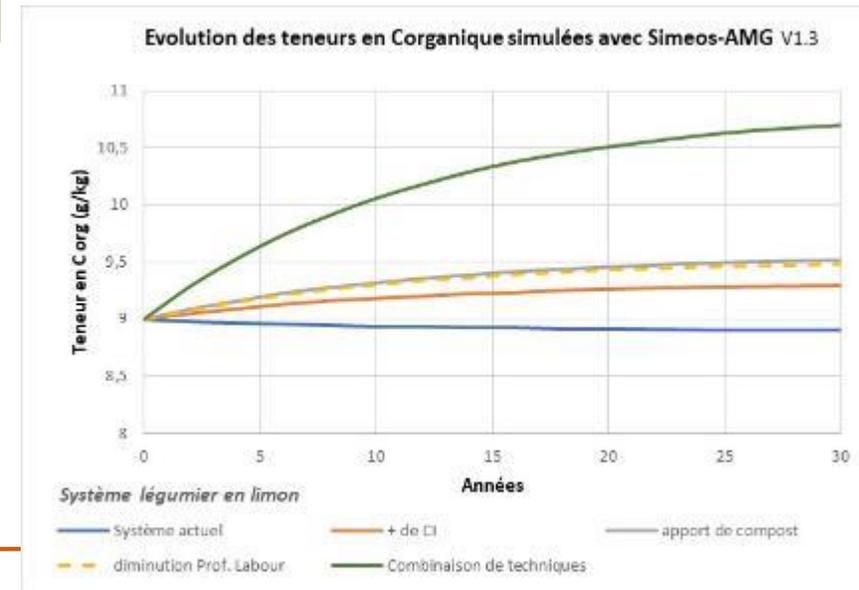
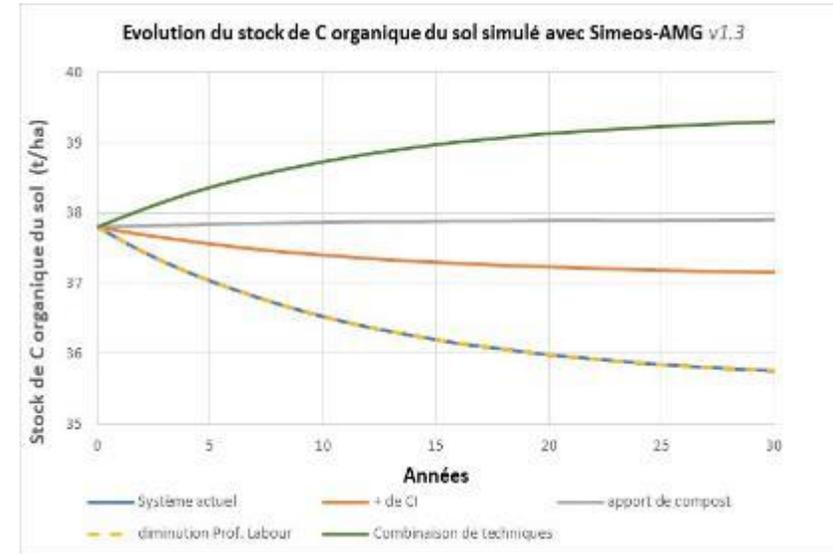
## Système Légumier en limon

Rotation culturale :

Pomme de Terre / Blé / Pois conserve / Blé / Betteraves



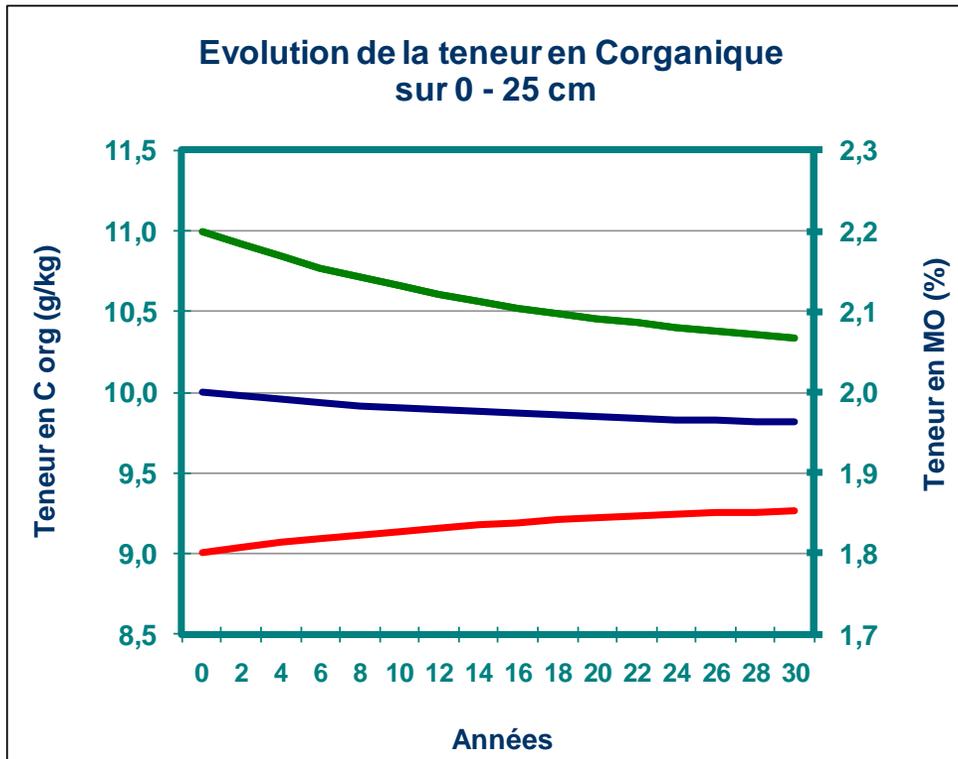
Simulations avec Simeos-AMG v1.3 (2019)



# FACTEURS INFLUENÇANT LA DYNAMIQUE DU C

Ca = pool de Carbone actif  
Cs = pool de Carbone stable  
K = vitesse de minéralisation

La dynamique d'évolution des MO du sol dépend :  
- du taux de MO initial



Taux de MO initial :

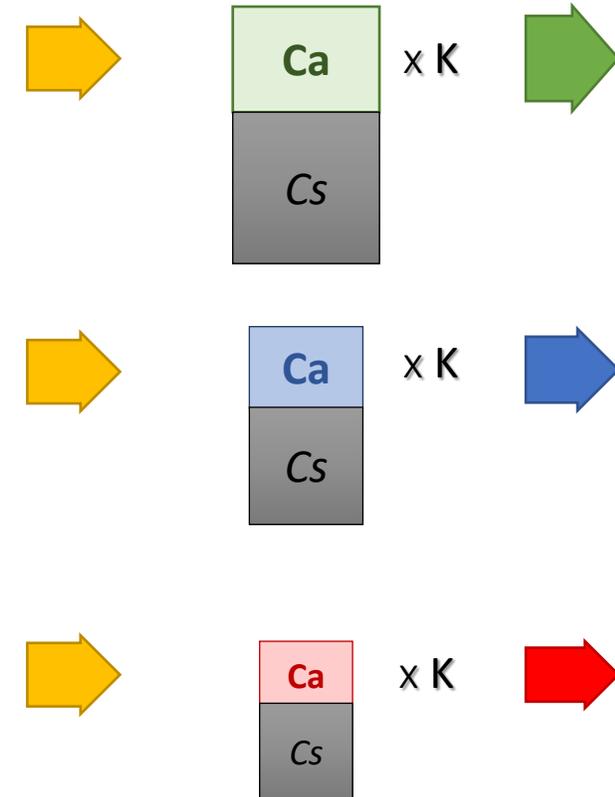
2,2 % de MO initial

2 % de MO initial

1,8 % de MO initial

Entrées de C

Sorties de C



Simulation réalisée à partir d'une **rotation betterave – blé – féverole – blé en sol limoneux**  
Labour 1 an/2 à 25 cm ; pailles restituées, cultures intermédiaires 1 an/4

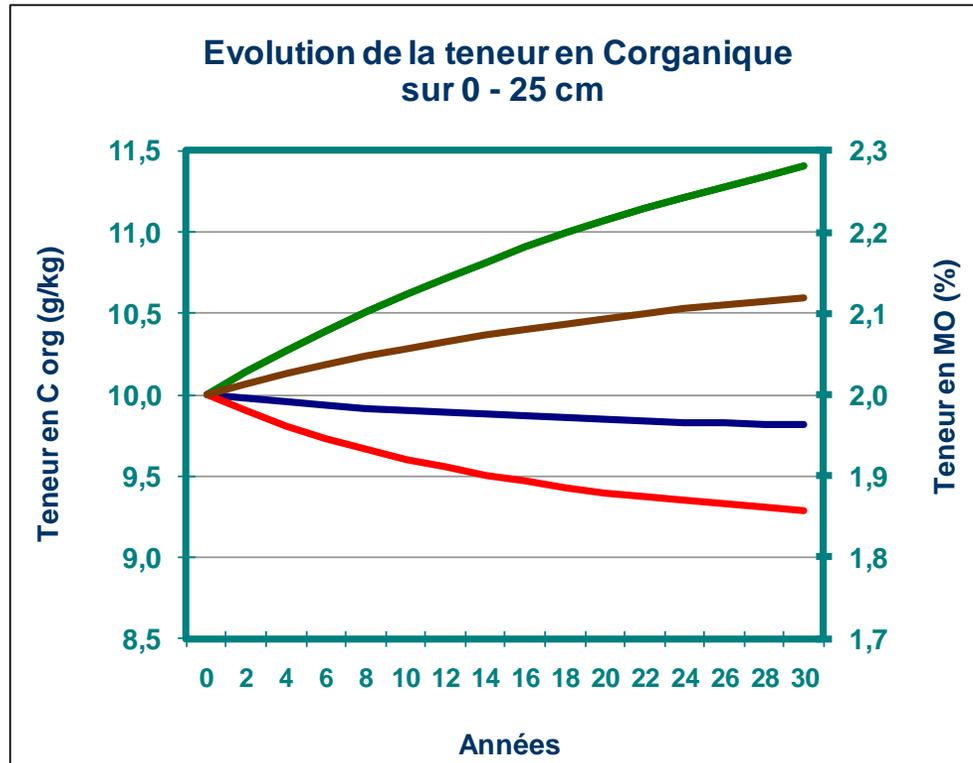
Simulations réalisées sous Simeos-AMG Version 1.2

# FACTEURS INFLUENÇANT LA DYNAMIQUE DU C

Ca = pool de Carbone actif  
Cs = pool de Carbone stable  
K = vitesse de minéralisation

La dynamique d'évolution des MO du sol dépend :

- du type de sol



Types de sol :

Sol crayeux  
(10 % d'argile, 600 g/kg de CaCO<sub>3</sub>)

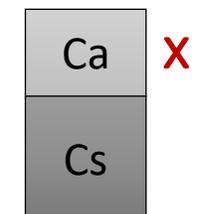
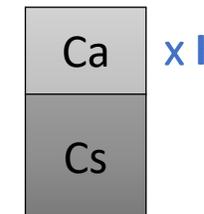
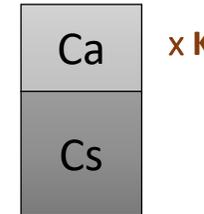
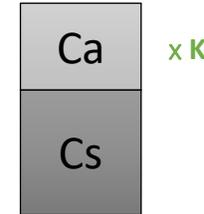
Limon argileux (25 % d'argile)

Limon (16 % d'argile)

Sable limoneux (8 % d'argile)

Entrées de C

Sorties de C



Simulation réalisée à partir d'une rotation betterave – blé – féverole – blé  
Labour 1 an/2 à 25 cm ; pailles restituées, cultures intermédiaires 1 an/4

Simulations réalisées sous Simeos-AMG Version 1.2

# FACTEURS INFLUENÇANT LA DYNAMIQUE DU C

## Effet travail du sol :



Concentration MOS en surface

= augmentation du stock de carbone organique du sol (SOC) en surface (a) dans la partie travaillée

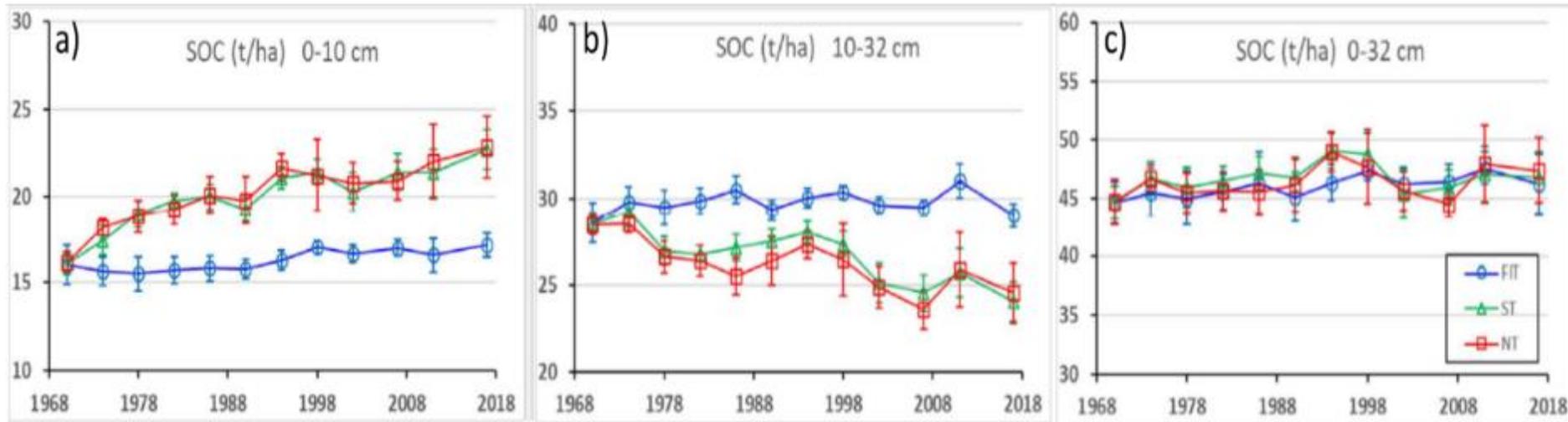
= diminution du stock de SOC en profondeur (b) : seule source de C org → une partie des racines

Résultante couches T/NT (c)

= **pas de différences significatives liées uniquement au travail du sol au bout de 50 ans.**

La réduction du travail du sol conduit à une forte stratification du C dans le profil

Mais n'induit pas de stockage additionnel



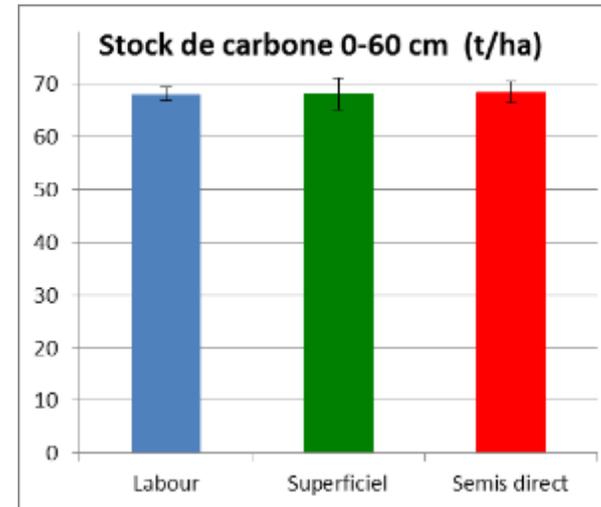
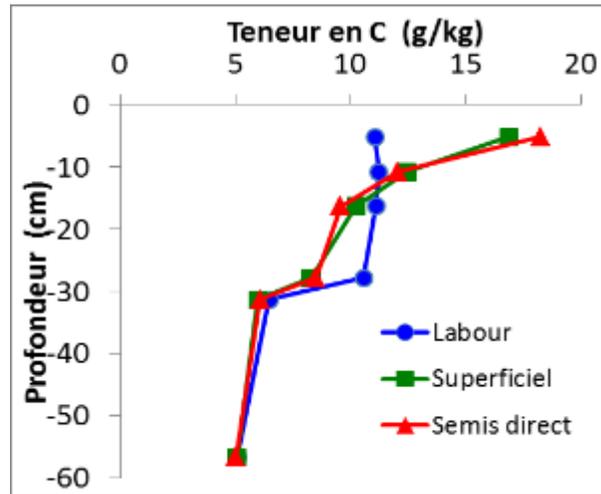
Travaux de l'INRA de Laon (Mary, et al., 2018) et d'Arvalis sur l'essai de Boigneville (91)

FIT = Labour, ST = Techniques culturales simplifiées, NT = Non travail du sol (semis direct)

# LE TRAVAIL DU SOL: UN FACTEUR MAJEUR DE DISTRIBUTION DU C-N...

mais pas du stockage de C-N

Après 41 ans de pratique continue de travail du sol



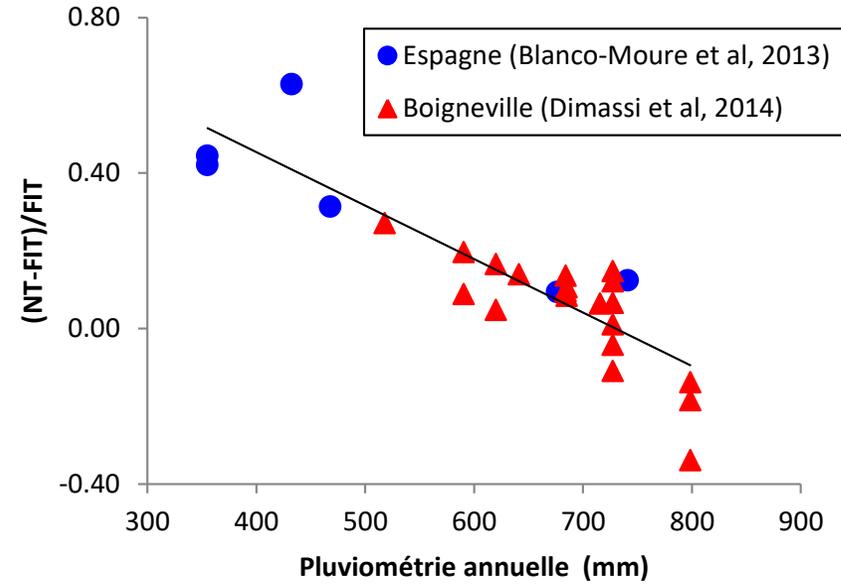
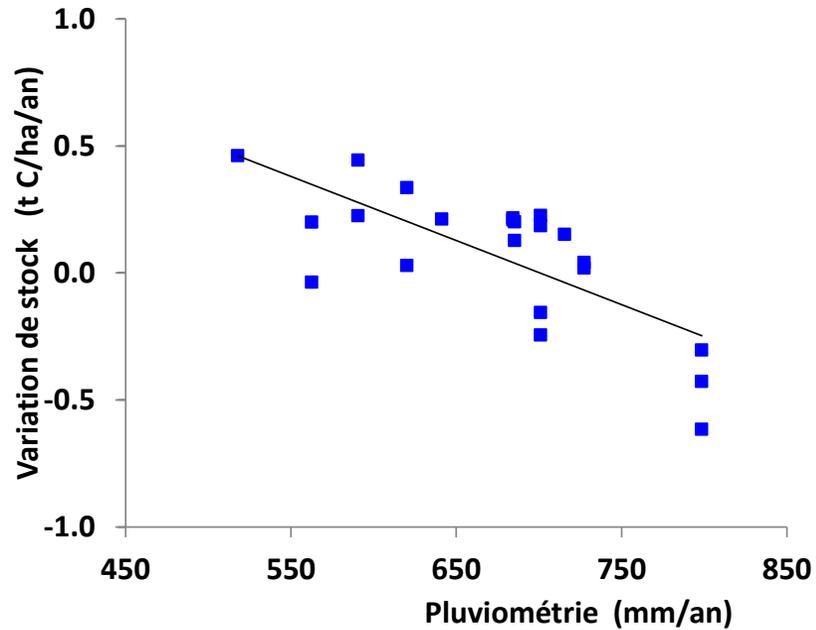
La réduction du travail du sol conduit à une forte stratification du C dans le profil

mais n'induit pas de stockage additionnel  
Ce qui est gagné en surface (0-10 cm) est perdu en profondeur (10-30 cm)

*Dimassi et al. (2014)*

# LE STOCKAGE/DÉSTOCKAGE EN FONCTION DU TRAVAIL DU SOL ...

Dimassi et al (2014)



En année sèche, le travail réduit stocke du C

En période humide, il déstocke du C

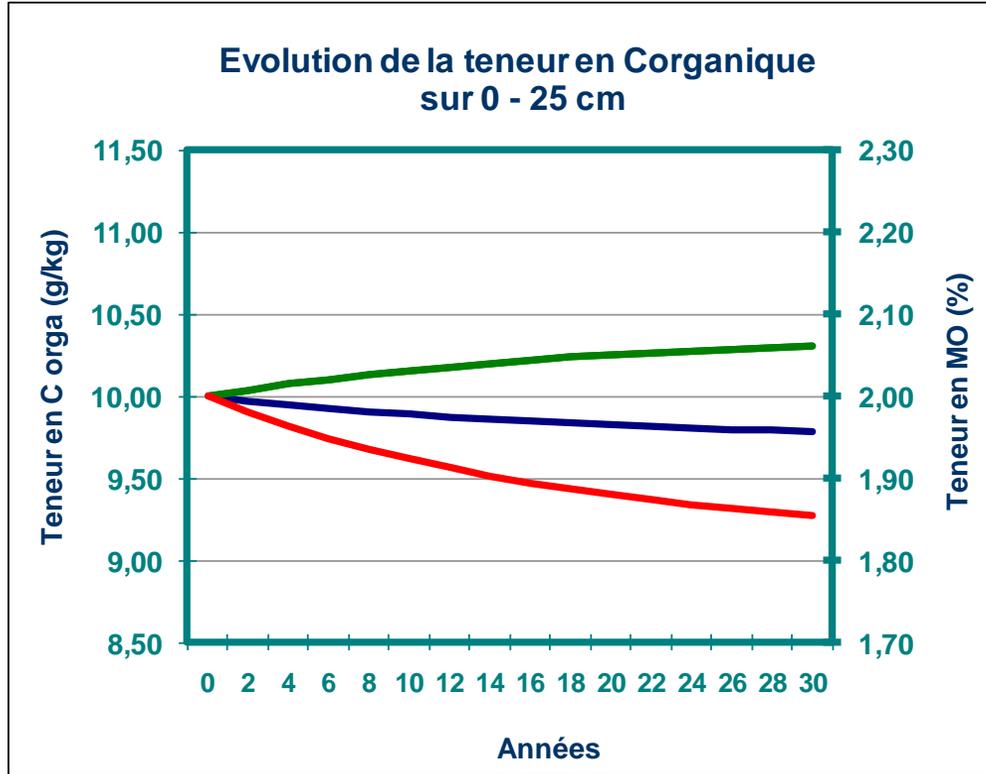
**...CELA DÉPEND DU CLIMAT DE L'ANNÉE !**

# FACTEURS INFLUENÇANT LA DYNAMIQUE DU C

Ca = pool de Carbone actif  
Cs = pool de Carbone stable  
K = vitesse de minéralisation

La dynamique d'évolution des MO du sol dépend :

- de la productivité



Niveaux de rendement :

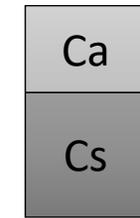
+ 20 % de rendement

Rendement moyen (blé à 80 q/ha)

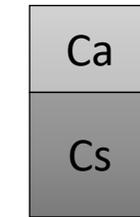
- 20 % de rendement

Entrées de C

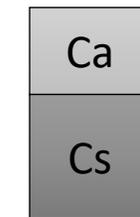
Sorties de C



x K



x K



x K



Simulation réalisée à partir d'une **rotation betterave – blé – féverole – blé en sol limoneux**

Labour 1 an/2 à 25 cm ; pailles restituées, cultures intermédiaires 1 an/4

Simulations réalisées sous Simeos-AMG Version 1.2

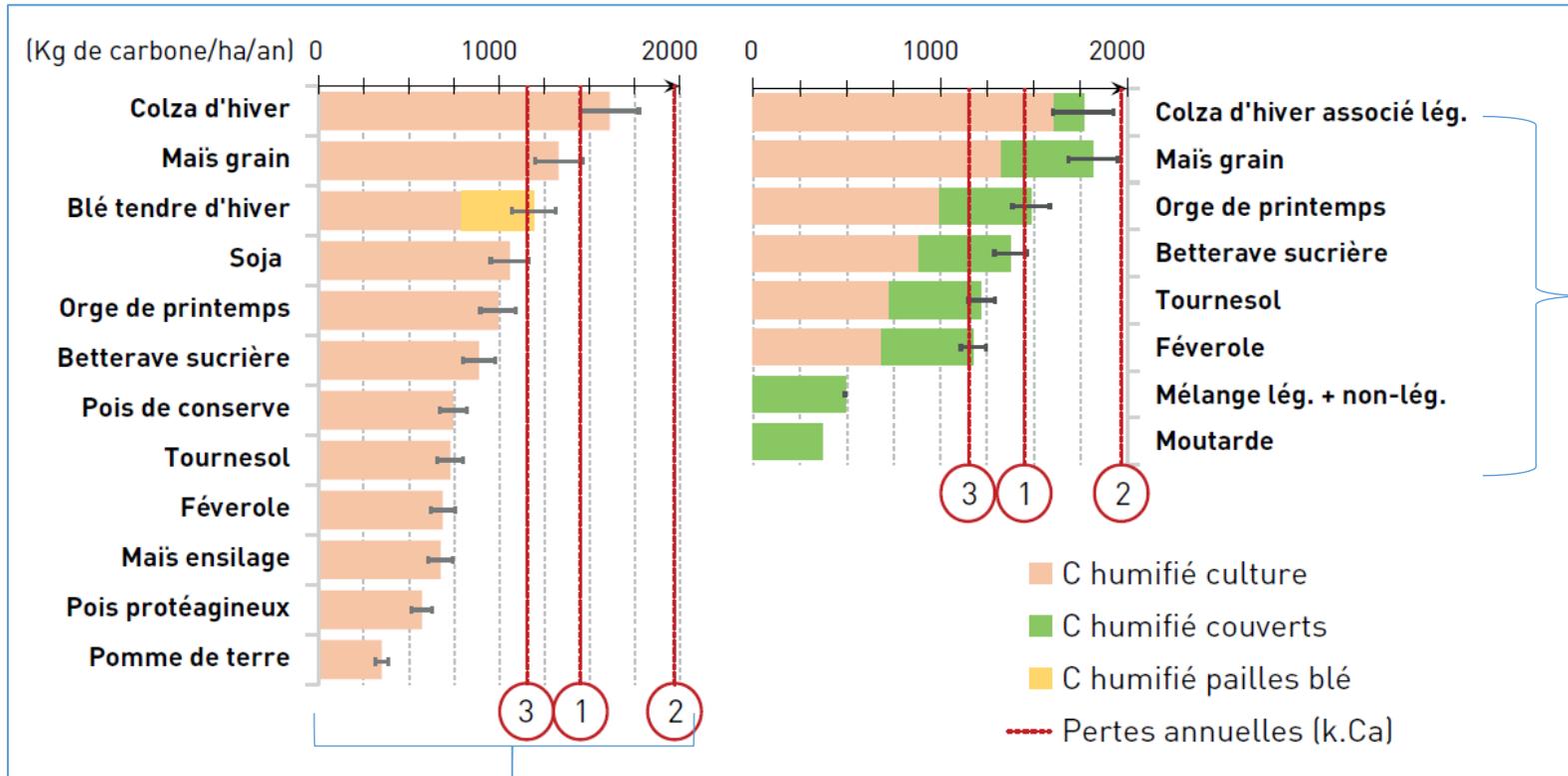
# FACTEURS INFLUENÇANT LA DYNAMIQUE DU C

## CALCUL DES ENTRÉES DE C PAR LES RÉSIDUS DE CULTURES

K1 x m

Classer les cultures

Comparer entrées & sorties



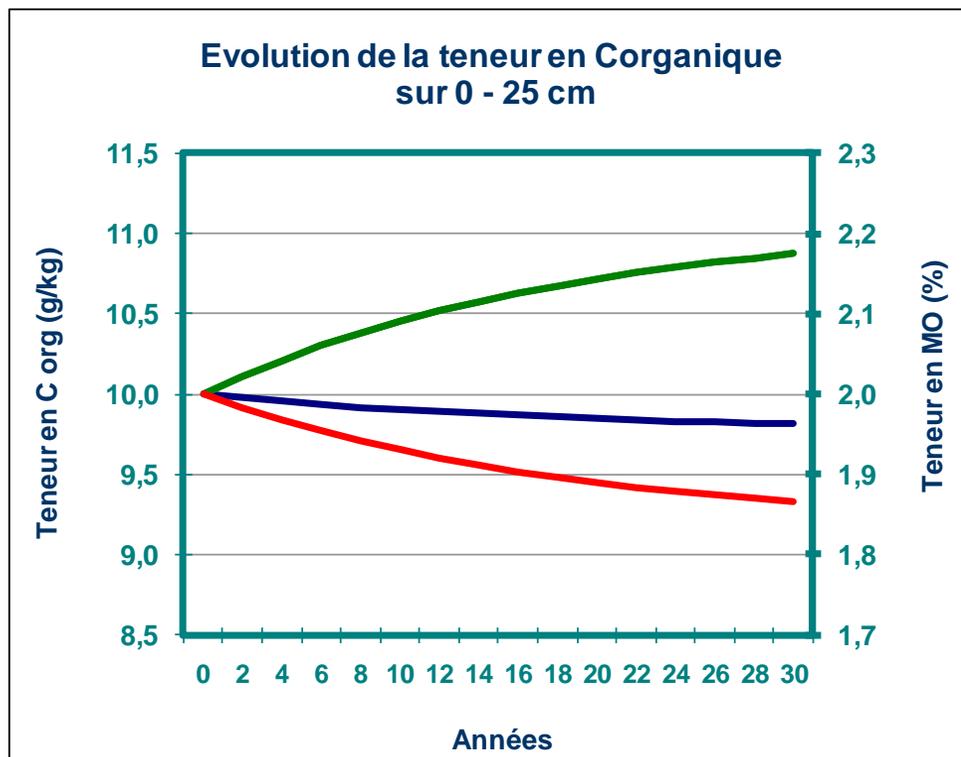
**Figure 3 : Entrées de carbone humifié et pertes moyennes de carbone minéralisé simulées avec Simeos-AMG pour quelques cultures principales (à gauche) et couverts (à droite), seuls ou associés, en interculture ou avec à une culture de rente.** Pertes annuelles par minéralisation pour ① un sol de limon moyen-profond à 1,6 % de matière organique (cas courant) ou ② à 2,0 % (Syppre), ③ un sol argilo-calcaire à 3 % de matière organique. Les rendements utilisés dans la simulation correspondent à des valeurs fréquemment rencontrées en Picardie (ex. : 90 q/ha pour le blé). Incertitude de 10 % sur les résultats.

*Perspectives agricoles, n°466 Mai 2019, p. 19-24*

# FACTEURS INFLUENÇANT LA DYNAMIQUE DU C

Ca = pool de Carbone actif  
Cs = pool de Carbone stable  
K = vitesse de minéralisation

La dynamique d'évolution des MO du sol dépend :  
- de la succession culturale



Rotations culturales :

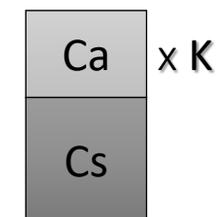
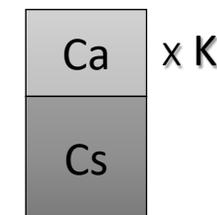
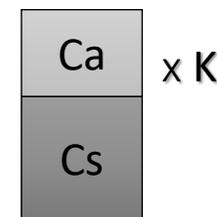
Colza – blé – orge

Bett – blé – féverole – blé

Bett – pdt – blé – haricot – blé

Entrées de C

Sorties de C



Simulation réalisée sur un sol limoneux

Labour 1 an/2 à 25 cm ; pailles restituées, cultures intermédiaires 1 an/4

Simulations réalisées sous Simeos-AMG Version 1.2

# FACTEURS INFLUENÇANT LA DYNAMIQUE DU C

## La dynamique d'évolution des MO du sol dans le cas d'une vigne

### Combinaison de ces facteurs

- Sols pauvres en MO ou très caillouteux → **Stocks initiaux faibles** avec une **part de COS stable plus importante**
- Sols souvent acides ou très calcaires → **Vitesses de minéralisation assez faibles**
- **Sources de C humifié peu nombreuses et peu importantes**

**Sorties de COS  
assez faibles**

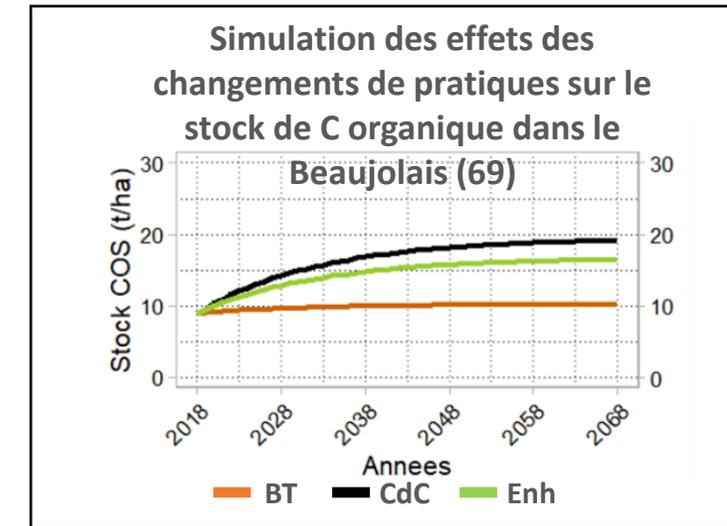
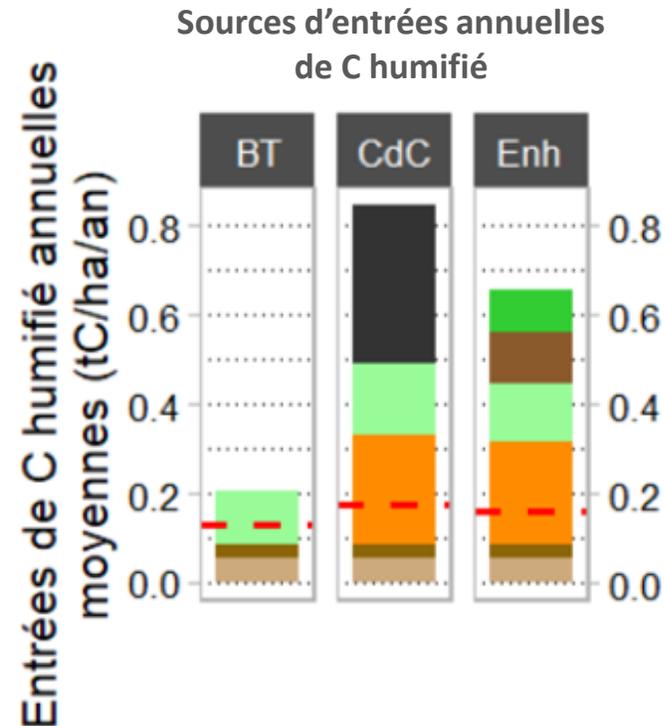
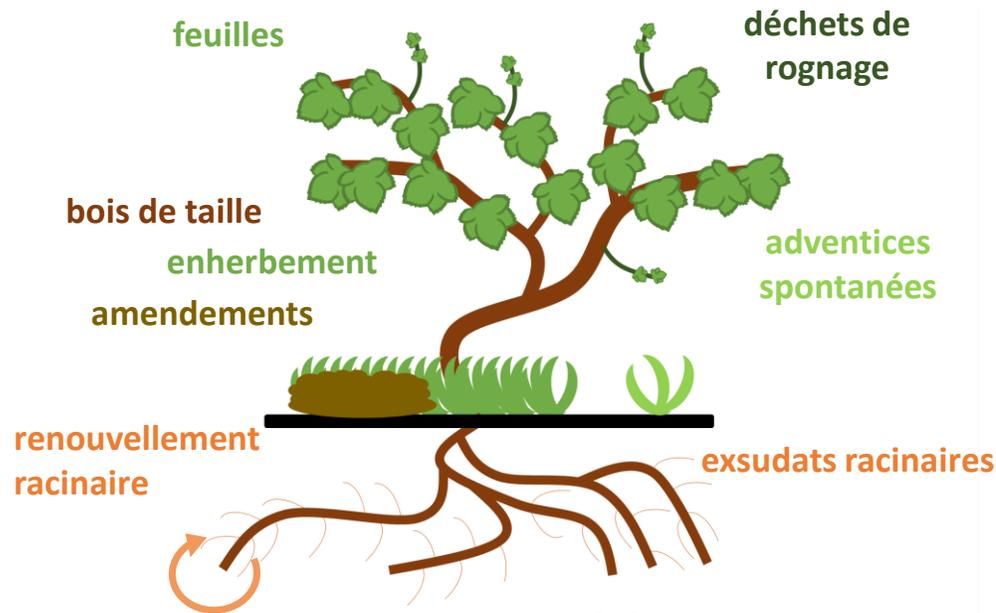


Schéma des sources de carbone (C) frais d'une vigne

# QU'EN EST-IL EN NOUVELLE AQUITAINE ?

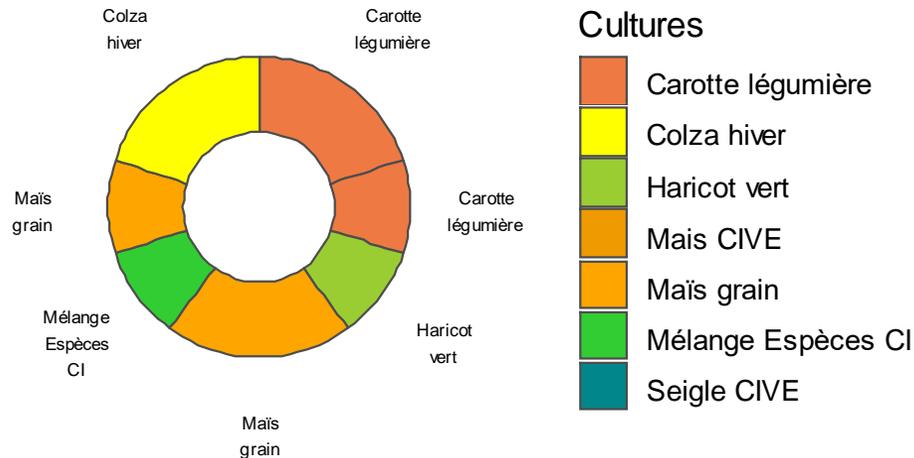
## Exemple d'un système légumier sur sables humifères (Landes)

Sources : AGT-RT - ARTAIM

Température moyenne annuelle : **13.9°C**

Précipitations annuelles moyennes : **820 mm**

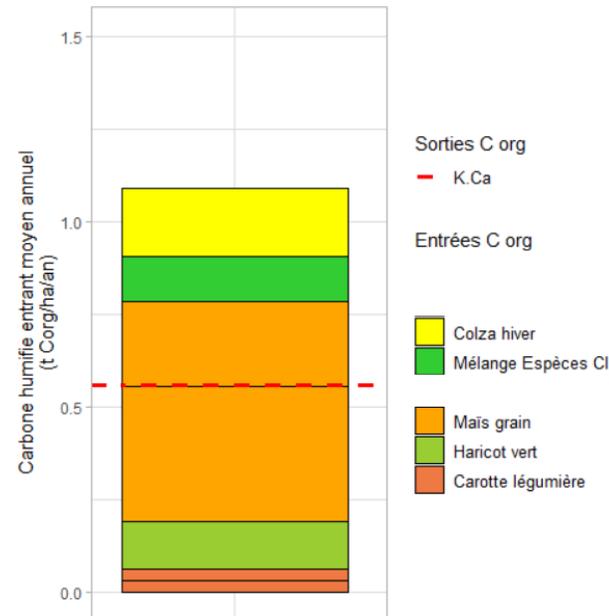
ETP annuelle moyenne : **931 mm**



Type de sol	Argiles Decarbonatees (g/kg)	Calcaire (g/kg)	N total (g/kg)	C org (g/kg)	C/N	pH	Cailloux (%)
Sables	30-100	70-70	0.4-1.5	14.36-26.4	17.6-35.9	5.7-5.7	0

*Peu de frein à la minéralisation*

*Stock initial très élevé* *Très fort frein à la minéralisation*



- Fortes entrées de C hum des maïs
- Entrées de C hum d'un couvert ou d'un haricot non négligeables
- Entrées de C hum d'une carotte très faibles
- Systèmes stockant (dans ces conditions)

Culture	Rdt. normes (/ha)	Rdt. sec (t/ha)
Carotte	40 t	
Haricot	12 t	
Maïs grain	140 qx à 25% hum.	
Maïs doux (maïs grain)	220 qx à 70% hum.	
Colza semence (colza hiver)	20 qx	
CIPAN		2.5

# POUR CONCLURE

Le (dé)stockage de carbone dans les sols agricoles dépend d'un déséquilibre entre :

- Les **sorties de COS par minéralisation naturelle** qui elles mêmes dépendent :
  - Du **climat** (chaleur, humidité)
  - Du **sol** (Argiles vraies, calcaire, pH, récalcitrance de la MOS, **historique parcellaire**)
- Les **entrées de C organique** du système qui elles mêmes dépendent :
  - De la **culture** en place et de son **rendement**, ...
  - ...de la **succession** des cultures, en Grande Culture
  - De la **vigueur** de la vigne, en viticulture
  - Des **pratiques** (**gestion des résidus**, **couverts** d'interculture ou permanents, **amendements**, **enherbement** des inter-rangs de la vigne, ... )
- Les **leviers** sur lesquels un agriculteur a la main touchent aux **entrées de COS** et donc aux pratiques qu'il met en place
- Sur du **long terme**, l'influence du type de **travail du sol** est **faible**... des **travaux de recherche** sont **toujours en cours** sur ce point actuellement

# Accompagner le conseil agricole sur la gestion des matières organiques, le stockage de Carbone dans les sols et l'atténuation des bilans de GES

« **Gestion et Conservation  
de l'état organique des sols** » (2004-2011)

Mise en ligne de  : 2012

Méthode **ABC'Terre** : 2016  
Bilan **C** + **GES** à l'échelle de territoires agricoles

API **SIMEOS-AMG-V2** : 2020/21



Bons **Diagnostics Carbone** : 2021

**Depuis 2010 :**

Bilan **Gaz à Effet de Serre** (GES)  
par **Analyse de Cycle de Vie** (ACV)  
*parcelle, exploitation, filière, territoire*

2020 : sortie de l'outil  
et de la démarche **ABC'Terre**

**LABEL BAS  
CARBONE**

2021/22 : Vers une API C-GES couplant: **Simeos-AMG V2** et **Bilan GES compatibles LBC**  
à l'échelle de l'exploitation (LBC, BDC, ...) et du Territoire **ABC'Terre**

**MERCI DE VOTRE ATTENTION**

# Différents travaux à la source d'évolutions d'AMG ou valorisant le modèle et l'outil Simeos-AMG

- **Thèse d'A. Andriulo** (1997-1999) INRA Laon
- **Etude de Richard Wylleman et B. Mary**, 1999, *porteur : INRA Laon ; partenaires : Experts fonciers, Chambres d'agriculture de Picardie*
- **Projet régional CARTOPAILLE** (2004-2007), *porteur : FRCA ; partenaires INRA Laon, Arvalis, Lasalle Beauvais, Agrotransfert-RT*
- **Projet régional de Gestion et Conservation de l'Etat Organique des Sols »** (GCEOS , 2004 – 2011), *Porteur Agro-Transfert-RT, partenaires : INRA Laon, LDAR, Chambres d'agriculture de Picardie, Lasalle Beauvais, Experts fonciers, FRCA*
- **Projet CasDAR « AMG »**, 2009-2012) *porteur Arvalis, partenaires : INRA, Agro-Transfert-RT, LDAR => Consortium « AMG »*
- **Projet CasDAR « Réseau PRO »-** (2011-2014)- *Porteur : INRA Ecosys Grignon, Partenariat large (30 partenaires)*
- **Projet ABC'Terre** (AàP REACCTIF ADEME 2012 ; 2013-2016) *Porteur : Agro-Transfert-RT ; Partenaires : ARAA, UniLasalle, AgroParisTech, INRA (Infosol Orléans, AgroImpact Laon, Agronomie Grignon) LDAR, CRA-Poitou-Charentes*
- **Projet SOLéBIOM** AàP SAS Pivert (2015 – 2018) – *Porteur Agro-Transfert-RT ; partenaires : INRA Agroimpact Laon et Ecosys Grignon, Terres Inovia, Arvalis*
- **Projet ABC'Terre-2A** (AàP GRAINE, ADEME ; 2017 – 2020) ; *Porteur : Agro-Transfert-RT ; partenariat : ARAA, Unilasalle, AgroParisTech, INRA Infosol, LDAR, Chambres d'agriculture de l'Aisne, du Nord\_Pas-de-calais, de Nouvelle Aquitaine*



Siège social  
2 chaussée Brunehaut  
80200 Estrées-Mons  
Tél. : 03 22 97 89 28

Bureaux  
56 avenue Roger Salengro  
62223 Saint-Laurent-Blangy  
Tél. : 03 62 61 42 20

contact@agro-transfert-rt.org  
n° Siret : 353 220 916 00038

RETROUVEZ TOUTES NOS ACTUALITÉS  
[www.agro-transfert-rt.fr](http://www.agro-transfert-rt.fr)

