



TECH&BIO, LE MEILLEUR DES TECHNIQUES AGRICOLES BIO EN CENTRE-VAL DE LOIRE



Comprendre et améliorer le stockage Carbone sur mon exploitation polyculture-élevage Jean-Christophe Mouny – Agro-Transfert Ressources et Territoires



Agro-Transfert
Ressources et Territoires



14/05/2024





Agro-Transfert
Ressources et Territoires

Comprendre et améliorer le stockage Carbone sur mon exploitation polyculture-élevage

Jean-Christophe Mouny – Agro-Transfert R&T



Agro-Transfert Ressources et Territoires



Agro-Transfert
Ressources et Territoires

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

Depuis 1991 à l'initiative de :



Exemple de projet de transfert :

Projet GCEOS (2004-2010)

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

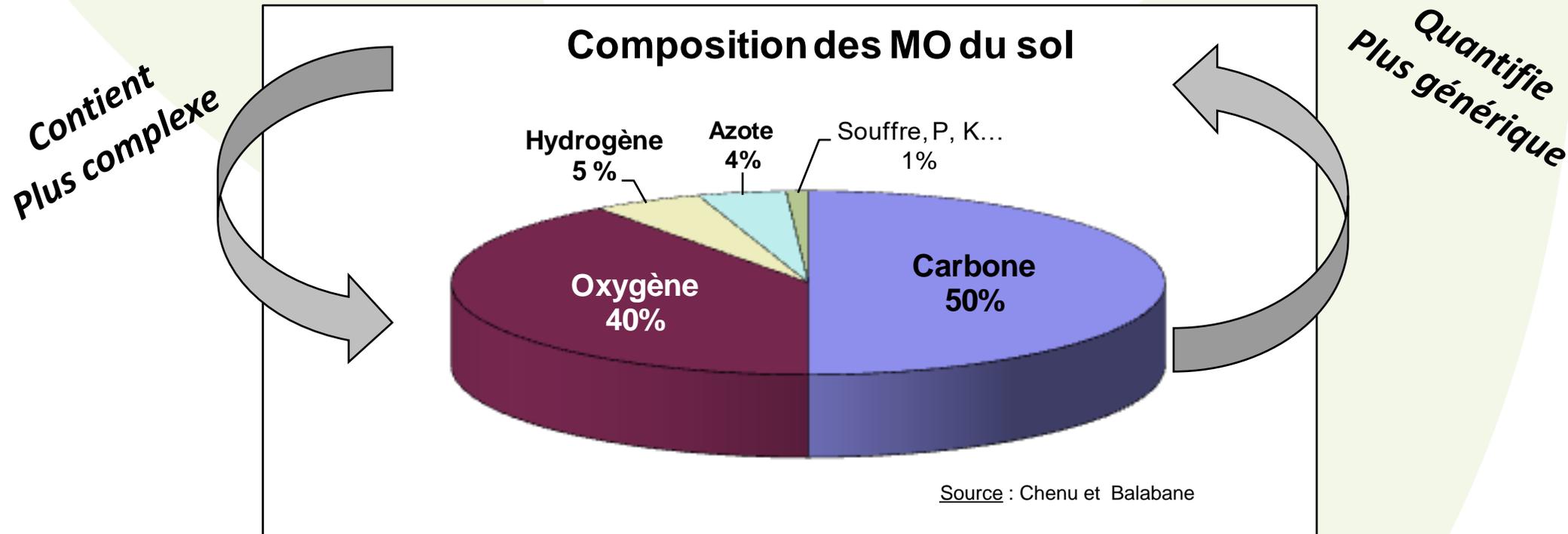
→ Apports de connaissances

→ Simeos-AMG





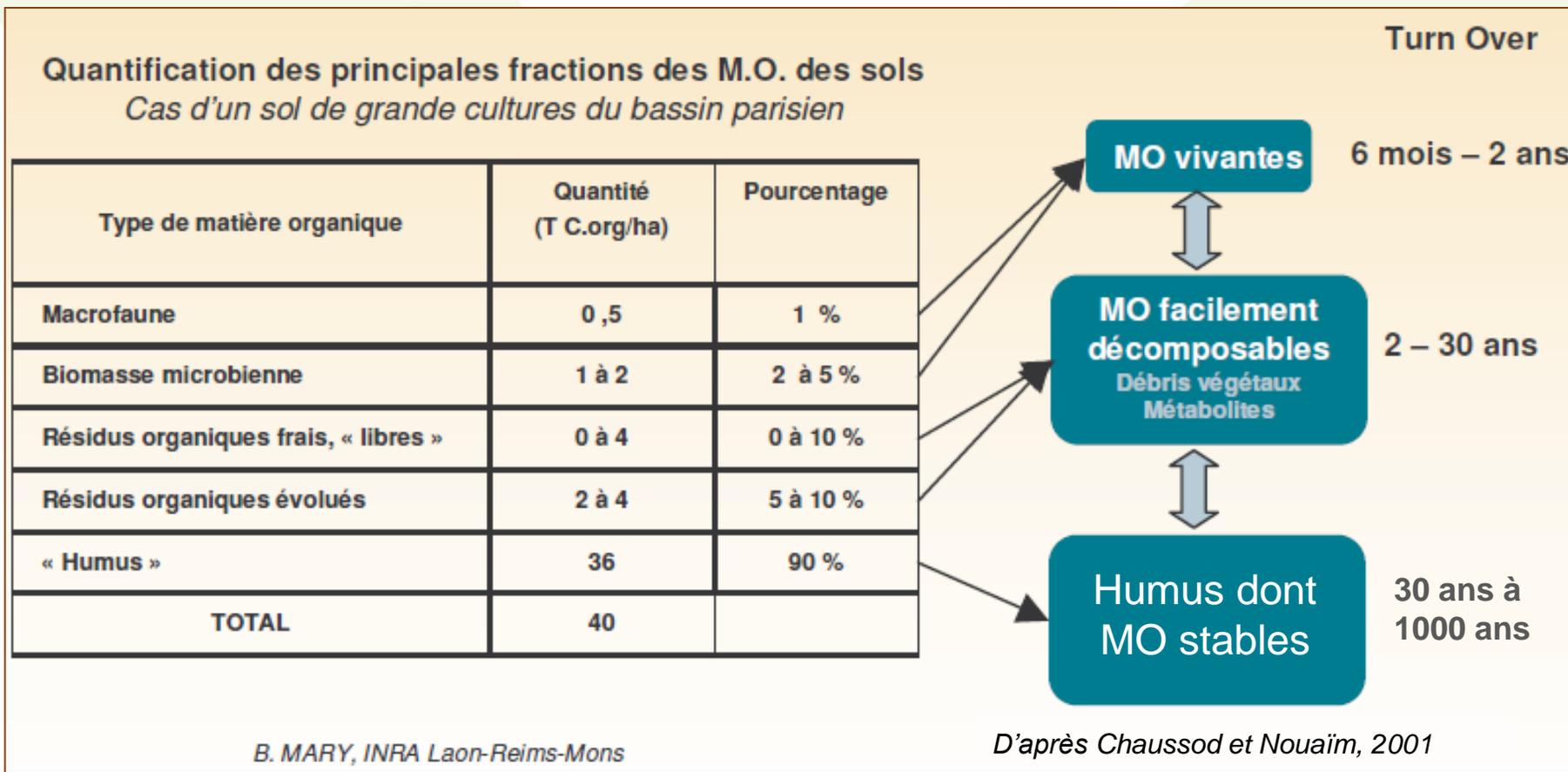
Matières Organiques et carbone organique



$$MOS = 1,71 \times COS$$



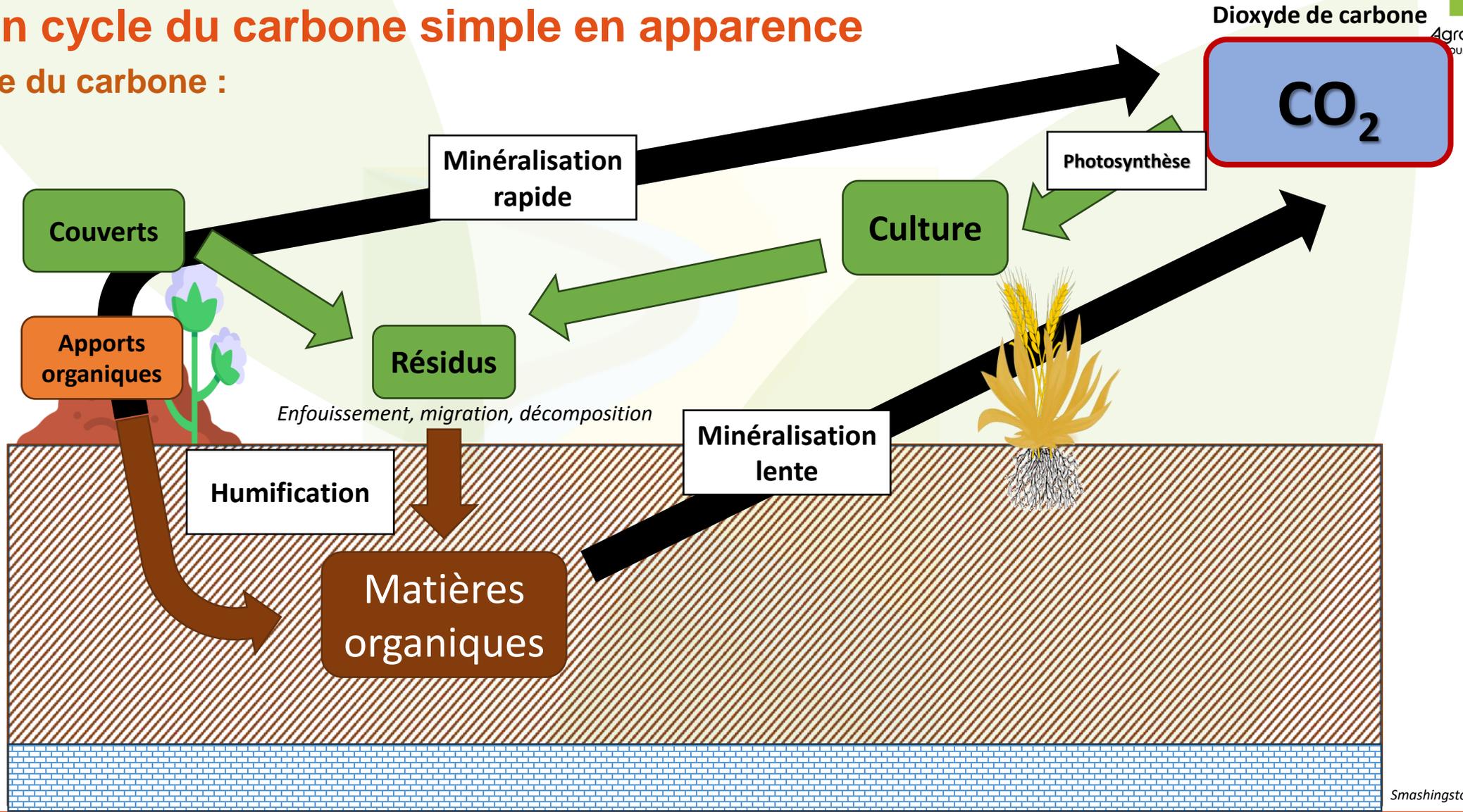
Des Matières Organiques du sol aux durées de vie variables





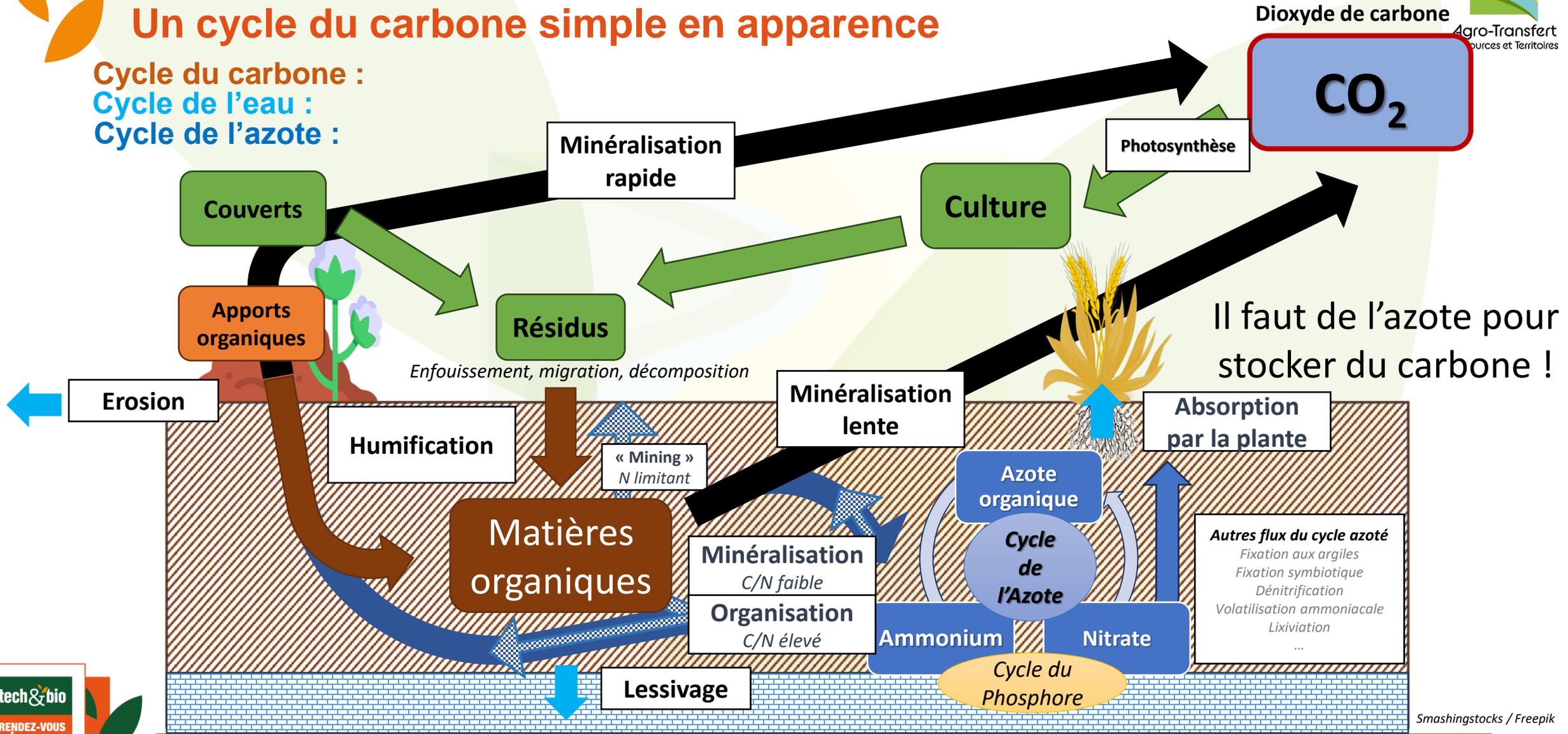
Un cycle du carbone simple en apparence

Cycle du carbone :



Un cycle du carbone simple en apparence

Cycle du carbone :
Cycle de l'eau :
Cycle de l'azote :





Un modèle simple et robuste de bilan humique à la parcelle

Le modèle AMG*



www.simeos-amg.org

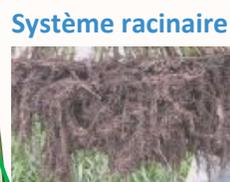


Agro-Transfert
Ressources et Territoires

Les principes du calcul **Variations annuelles de stock = Entrées de Carbone – Sorties de Carbone**

les entrées de Carbone

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



Résidus organiques

Evolution en humus

C/N des résidus ou ISMO des PRO

Minéralisation rapide =
Respiration par la biodiversité du sol
du Carbone des résidus

Minéralisation lente et naturelle
du Carbone du sol

C org actif du sol
C org du sol stable à 100ans

Entrées de C org passées
Pyrolyse RockEval

les sorties de Carbone



Le travail du sol



CO₂

- Climat et sol**
- Température +
 - Sècheresse -
 - Argiles vraies -
 - Calcaire -
 - pH (acidité) + (-)
 - ratio C/N -
 - Taux de MO initial
 - Pool stable -

Agriculteur tributaire

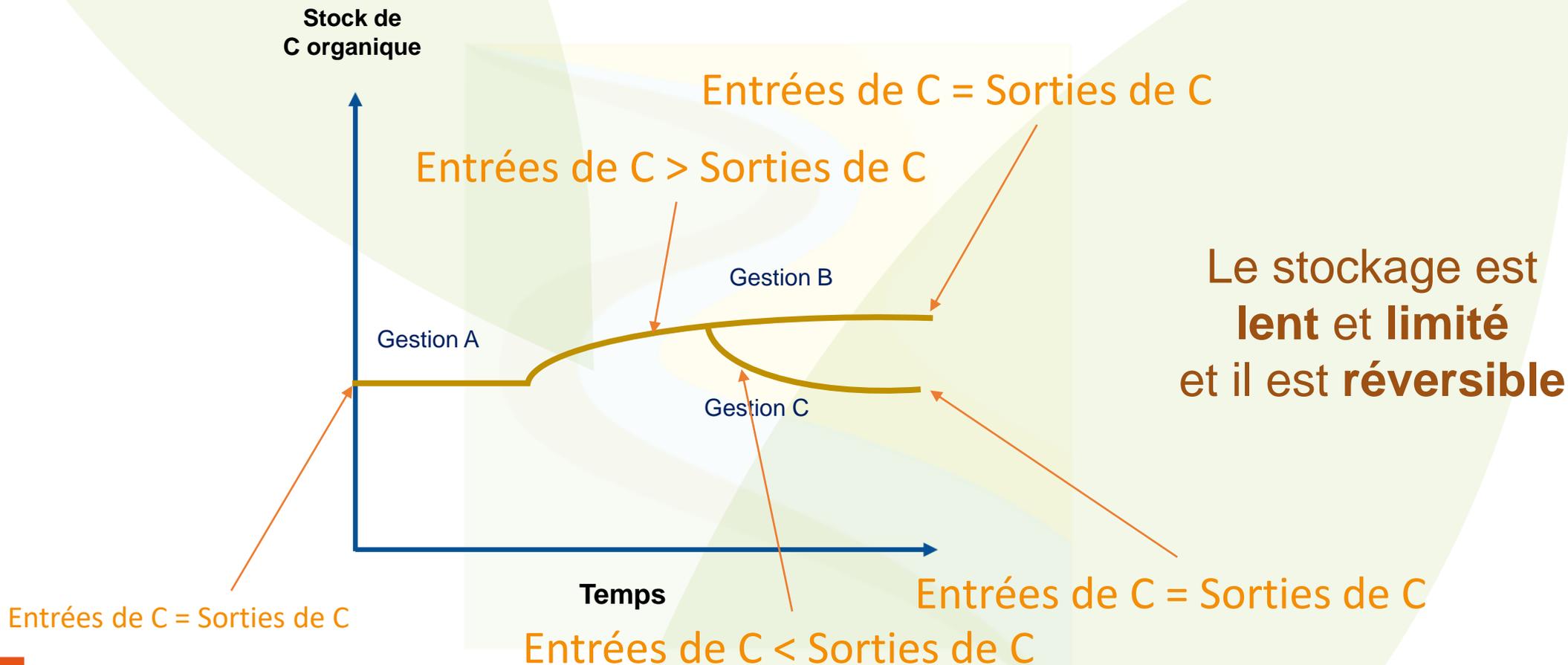
Leviers agronomiques mobilisables

*AMG, du nom de ses auteurs: Andriulo, Mary, Guérif - INRA de LAON



Stockage / déstockage de carbone organique des sols

Changements de pratiques



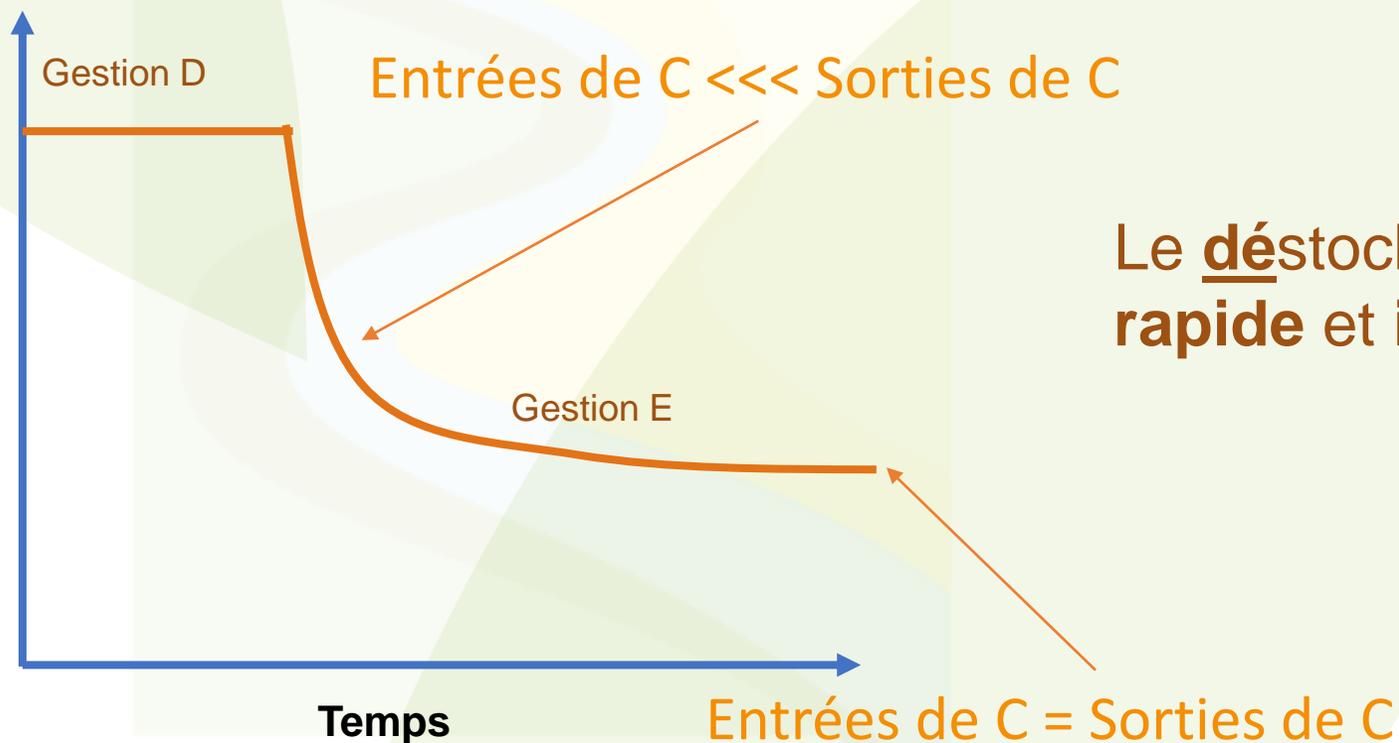


Stockage / déstockage de carbone organique des sols

Changements d'occupation du sol

Etat naturel / prairie LT → Grandes cultures

Stock de
C organique



Le déstockage est rapide et important



Estimer l'évolution du carbone organique des sols



Système Légumier en limon

Rotation culturale : Pomme de Terre / Blé / Pois conserve / Blé / Betteraves

Système actuel :

- Labour : 3 ans sur 5
- Prof. de labour : 25 cm
- moutarde (1,5 tMS/ha) : 1an/5

Scénario A

- 1 CI en plus
- Radis 2,5 t MS/ha
- 1 an/5

Scénario D

- + de CI
- Apport de compost
- Diminution profondeur labour

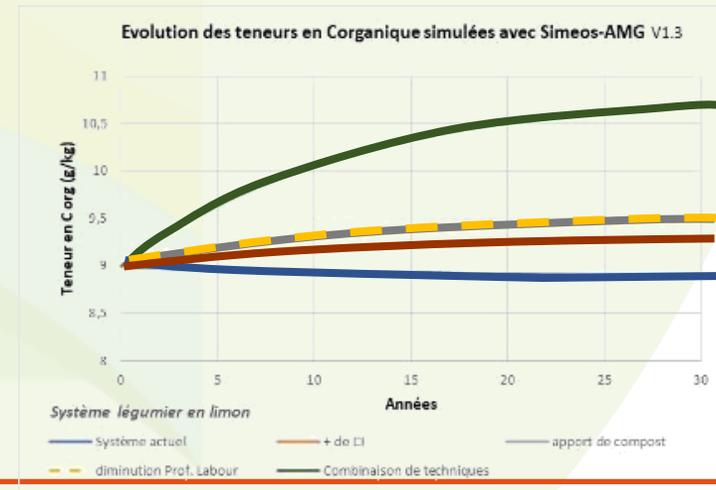
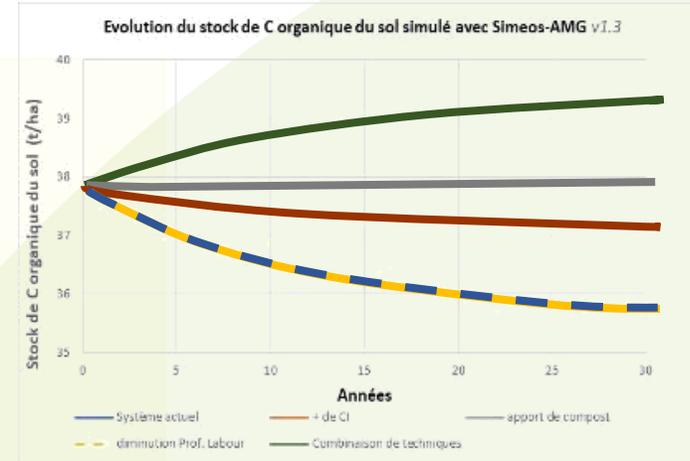
Scénario B

- Apport de 10 T/ha de compost de déchets verts
- 1 an /5

Scénario C

- Diminution profondeur travail du sol 25 => 20 cm

Simulations avec Simeos-AMG (v1.3 – 2019)





Exemple de système de culture dans le Loiret

Maïs – blé irrigué sur limon



Le climat

Température

11,2 °C

Bilan hydrique simplifié P-ETP
(+ irrigation)

640-700 = - 60 mm

Argiles vraies

19%

Calcaire

0,2%

pH

7

ratio C/N

8



Le sol

Maïs grain

120 q/ha

210 mm

Travail 25 cm

Blé dur

75q/ha

45 mm

Travail 20 cm

Pailles et cannes restituées

Mélange de couverts :
2,5 tC/ha

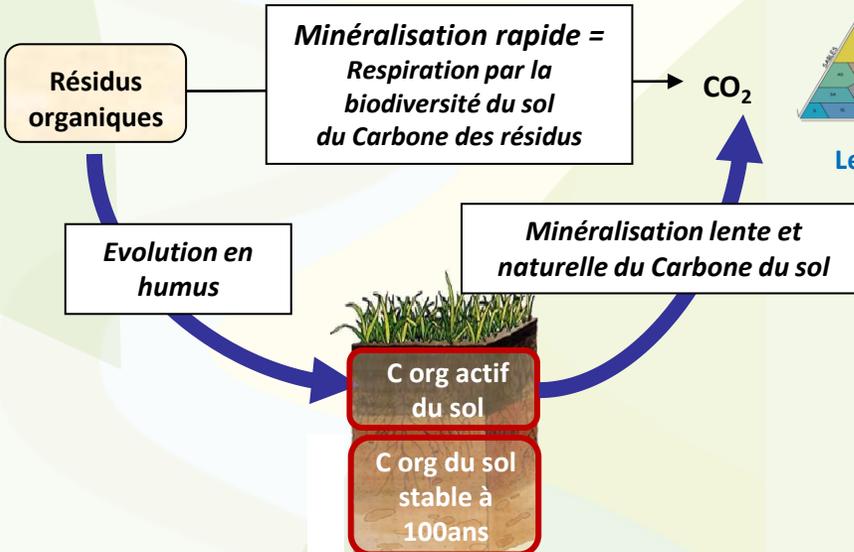
Maïs grain

120 q/ha

210 mm

Travail 25 cm

Boue déshydratée
chaulée 8t/ha



Exemple de système de culture dans le Loiret

Maïs – blé irrigué sur limon



Température

11,2 °C

Bilan hydrique simplifié P-ETP
(+ irrigation)

640-700 = - 60 mm =

Argiles vraies

19% - - -

Calcaire

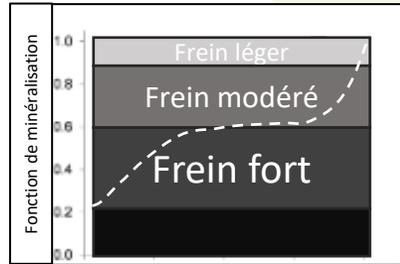
0,2% =

pH

7 - - -

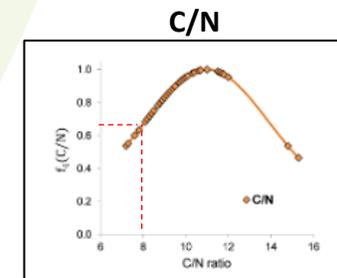
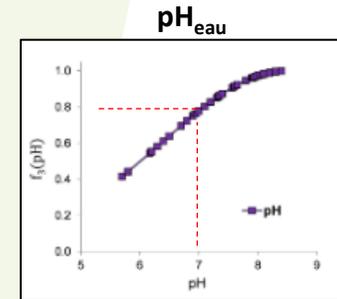
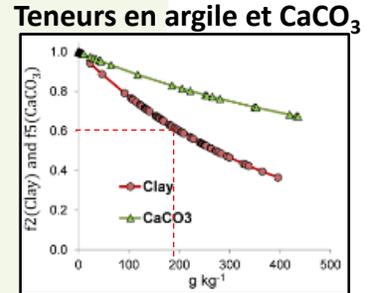
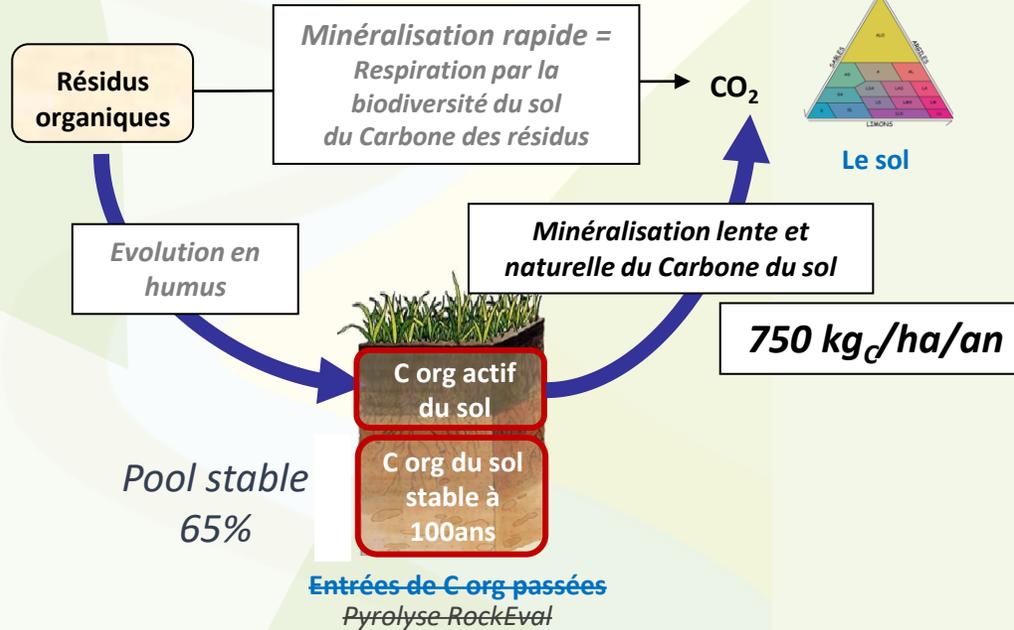
ratio C/N

8 - - -



Impact sur la vitesse de minéralisation lente

- Frein
- = Pas/peu d'effet
- + Boost



Teneur initiale (mesurée en laboratoire)

$$10,5 \text{ g/kg}_{TF} \times 10000 \times$$

25 cm

Mélange des MOS par le travail du sol sur 25cm

$$/100 \times (1-0\%) \times 1,5 \text{ t}_{TF}/\text{m}^3 =$$

$$36,7 \text{ t}_C/\text{ha}$$

Stock initial (Calculé avec la terre fine)



Exemple de système de culture dans le Loiret

Maïs – blé irrigué sur limon



Maïs grain

120 q/ha
210 mm
Travail 25 cm

Blé dur

75q/ha
45 mm
Travail 20 cm

Pailles et cannes restituées

Mélange de couverts : 2,5 tC/ha

Maïs grain

120 q/ha
210 mm
Travail 25 cm

Boue déshydratée chaulée 8t/ha

Rendement x coefficients d'allométrie x teneur en C du résidu

Résidus organiques

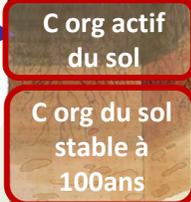
Evolution en humus

Fonction du C/N du résidu ou ISMO faible <-> élevé 40% <-> 20%

Minéralisation rapide = Respiration par la biodiversité du sol du Carbone des résidus

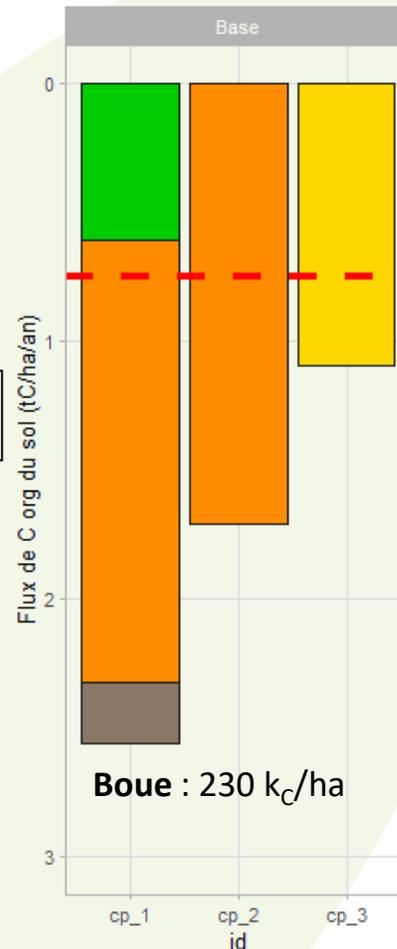
CO₂

Minéralisation lente et naturelle du Carbone du sol



Entrées de C org moyennes estimées : 1,79 tC/ha/an
Sorties de C org initiales estimées : 0,75 tC/ha/an

Mélange de couverts à 2,5 t_{MS}/ha : 610 k_C/ha



Maïs : 1700 k_C/ha
Blé dur : 1100 k_C/ha

- Types d'entrées de C org
- Boue déshydratée chaulée
- Maïs grain
- Blé dur
- Mélange

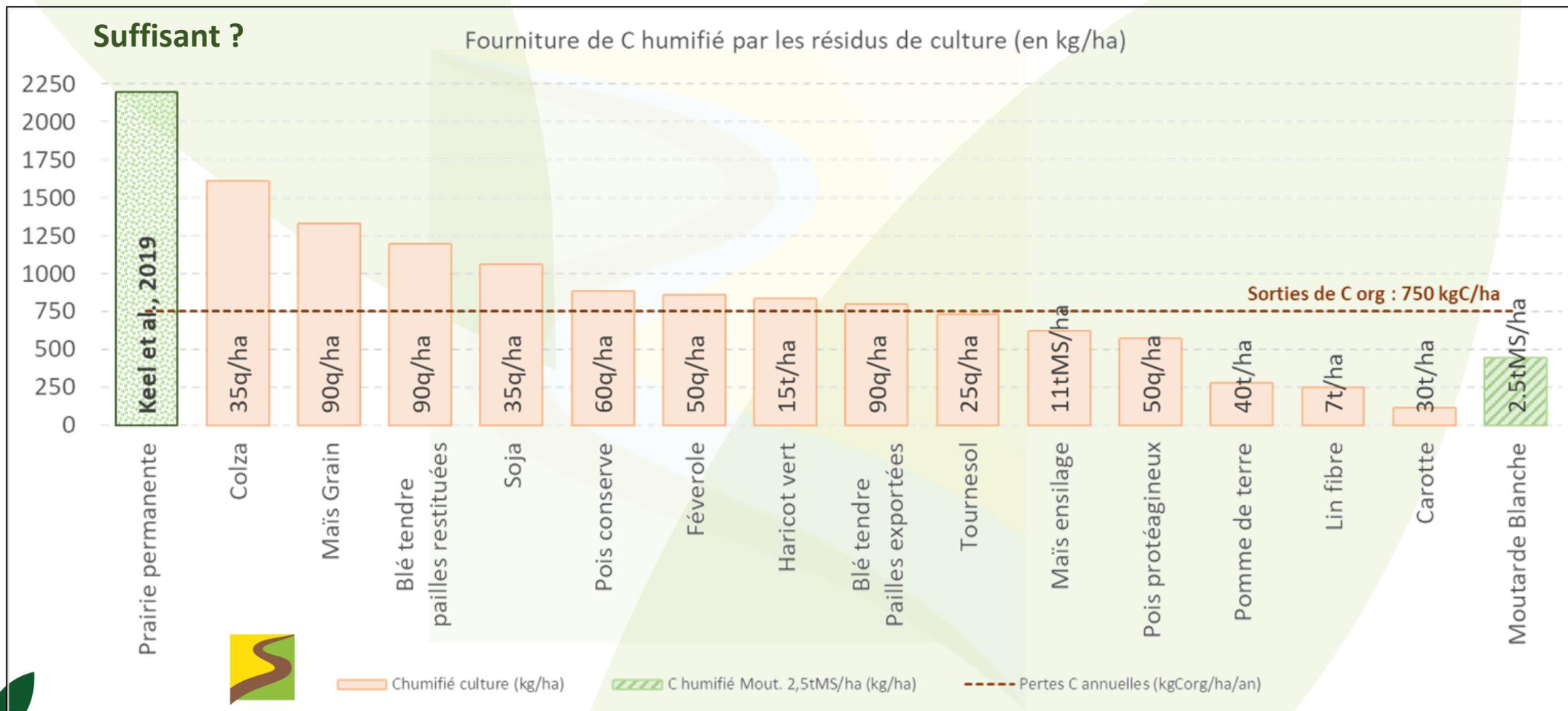




Les entrées de carbone des grandes cultures sur 30 cm



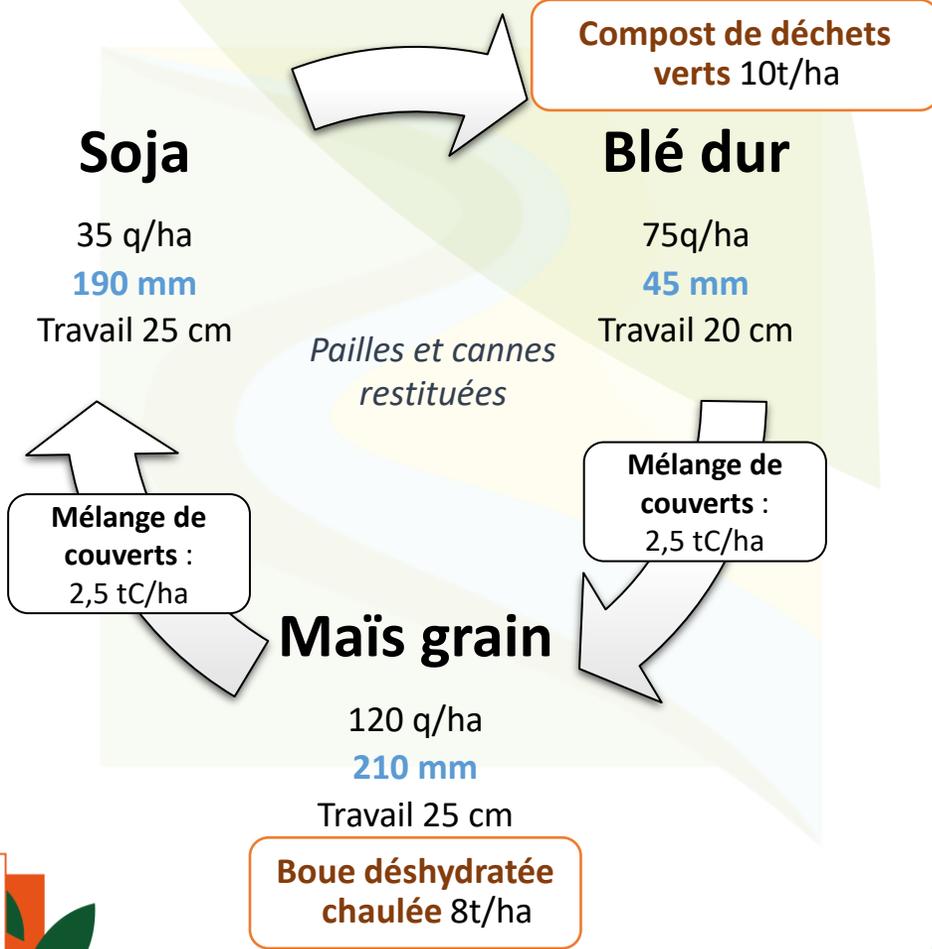
Fonction du rendement (ou biomasse) de la culture et du C/N des résidus de la culture





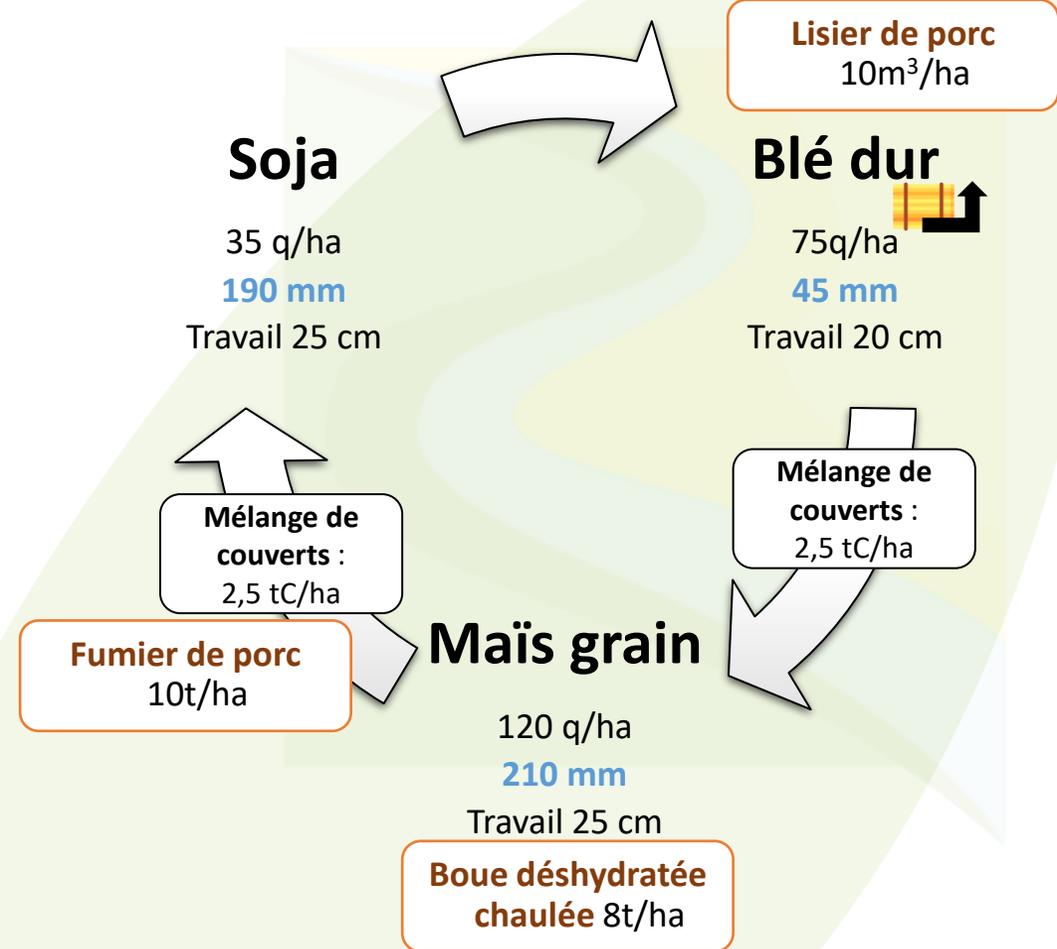
Scénario alternatif 1

Introduction de légumineuses et de composts



Scénario alternatif 2

Introduction de légumineuses et lisier + échange paille/fumier

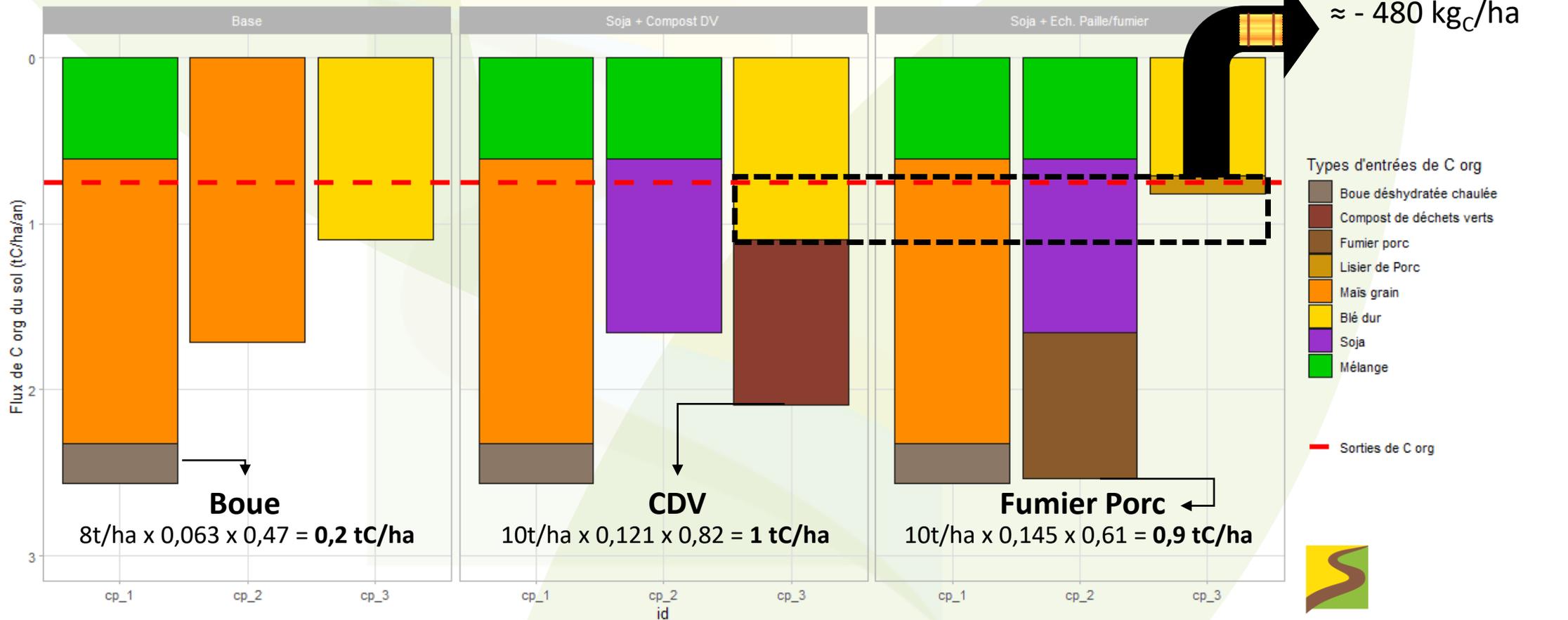




Comparaison des scénarios : entrées de carbone

Entrées de C org des PRO : Dose x teneur en carbone x ISMO (Indice de Stabilité de la Matière Organique)

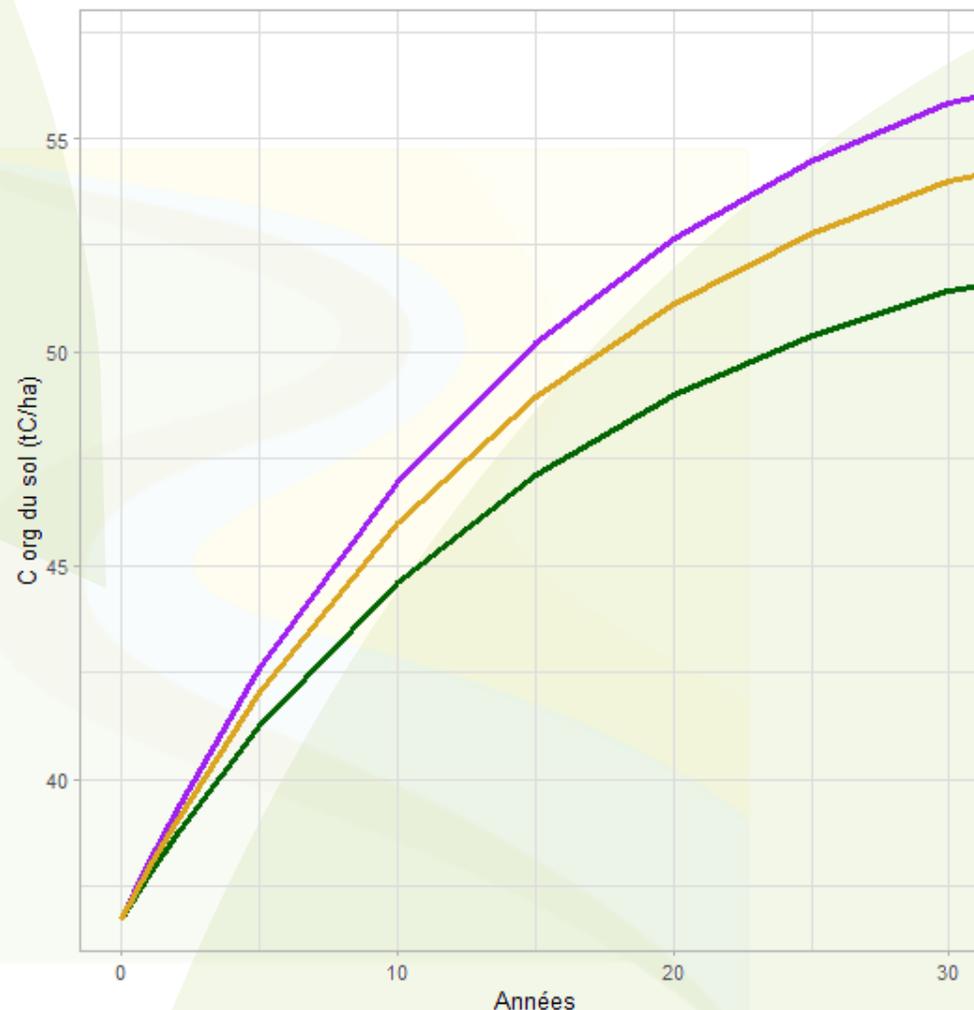
Mélange de couverts à 2,5 t_{MS}/ha : 610 k_C/ha





Comparaison des scénarios : cinétiques du C org des sols

Un classement des scénarios qui suit le classement obtenu avec les entrées de carbone



Plus de **couverts**, apport de **composts**
+ 1,82 tC/ha à 30 ans

Plus de **couverts**, retour de **fumier**
+ 2,57 tC/ha à 30 ans
Malgré **export de pailles**

— Base
— Soja + Compost DV
— Soja + Ech. Paille/fumier

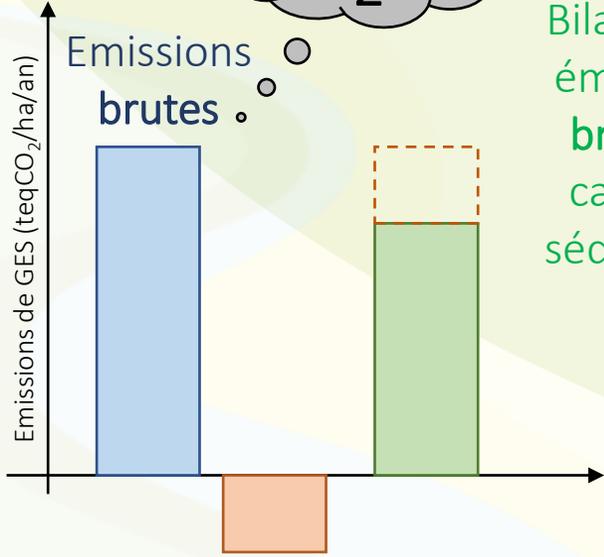


COS et bilan GES

Cycle de l'azote dans le sol

265 CO₂eq

Bilan net =
émissions
brutes –
carbone
séquestrés



Cycle du carbone
dans le sol

C org

3,67 CO₂eq

29 CO₂eq

Animaux
Effluents d'élevage

Carburant fossile

CO₂

1 CO₂eq

(engins, irrigation,
production des intrants)

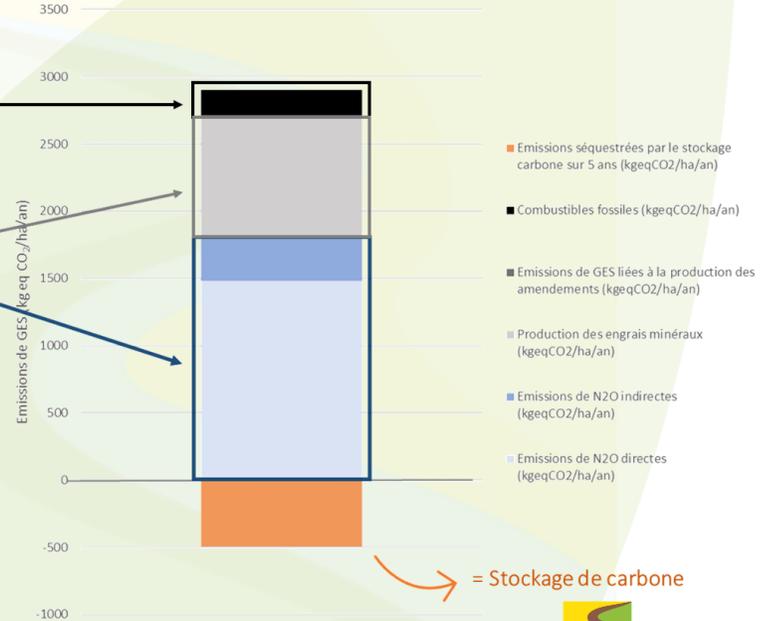
Exemple

GES
API

Faible contribution des
combustibles fossiles

La plus grosse part est liée à :

- La production des engrais minéraux
- La dénitrification



100 ha



Sol limoneux,
36,6tC/ha



1 système de culture
Colza, blé hiver, orge hiver
Pratiques conventionnelles

= Stockage de carbone

API
SIMEQS
AMG

Source : Guide GESTIM + , 2020 et CITEPA, 2020 & Justine Lamerre (AGT RT)



Pour conclure

- Stockage de C org si et seulement si entrées de C org > sorties de C org
- Il faut de l'azote pour stocker du C org : biomasses, humification
- Sorties de C org : minéralisation lente et naturelles des MOS
 - Tributaires du sol et du climat
- **Entrées de C org liées aux pratiques (leviers)**
 - **Couvrir les sols** et soigner ses couverts : *2,5 de biomasse aérienne = 0,6 t_d/ha apporté sur 30 cm*
 - Produits résiduaux organiques (PRO) : ISMO élevé^{et}/_{ou} Teneur en C org élevée (*10t CDV = 1tC/ha*)
 - Restituer ses résidus (pailles, culture) : *Exporter 5tMS/ha de paille = - 480 kg_d/ha*
 - Des cultures à **fortes quantités de résidus** : *Maïs, Colza, Soja, Céréales, luzerne, prairies temporaires, ...*
 - **Le non-travail seul ne permet pas de stocker du C org** (effet faible et variable) mais **stratifie les MOS** et contribue à la **mise en place de bons couverts**
- **Les MOS sont centrales dans les notions de fertilité des sols** : il n'y a pas que le stockage de C org !
- **Le Stockage de C org n'est qu'une partie du bilan C** : effets antagonistes C-N (dénitrification)
- Sur 30 cm : qu'en est-il dans le profil de sol complet ?