



Agro-Transfert
Ressources et Territoires



**STOCKER PLUS DE CARBONE DANS LES SOLS
ET LIMITER LES GAZ À EFFET DE SERRE :
LES LEVIERS DANS L'EXPLOITATION AGRICOLE**



Journée technique régionale Centre-Val de Loire

06/12/2023

Justine Lamerre

Jean-Christophe Mouny

Annie Duparque



Agro-Transfert Ressources et Territoires

Partenaires financiers



Région
Hauts-de-France



Agro-Transfert
Ressources et Territoires

CENTRE DE TRANSFERT D'INNOVATION AU SERVICE DE L'AGRICULTURE DES HAUTS-DE-FRANCE



Innover dans les systèmes
de production



Améliorer les performances
agronomiques d'un agrosystème



Développer la bioéconomie
sur les territoires

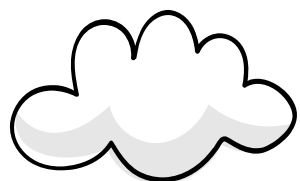


Accompagner la gestion des risques
dans les transitions agricoles

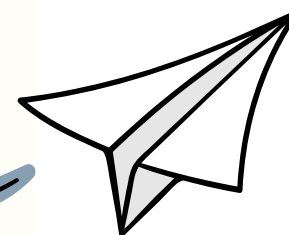


Agro-Transfert
Ressources et Territoires

DÉROULÉ

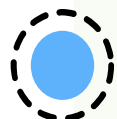


Les leviers d'actions
"bas carbone"



Vers des
exploitations
"bas carbone" 

Comprendre le stockage
de carbone dans les sols



Comprendre la
comptabilité des
émissions de gaz à
effet de serre en
agriculture

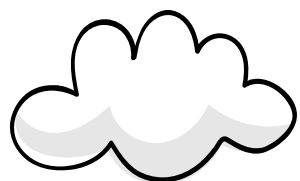


Le secteur agricole dans
la transition climatique et
"bas carbone"

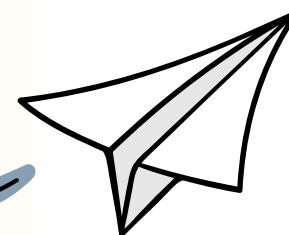


Agro-Transfert
Ressources et Territoires

DÉROULÉ

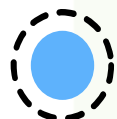


Les leviers d'actions
"bas carbone"



Vers des
exploitations
"bas carbone" 

Comprendre le stockage
de carbone dans les sols



Comprendre la
comptabilité des
émissions de gaz à
effet de serre en
agriculture



Le secteur agricole dans
la transition climatique et
"bas carbone"



Agro-Transfert
Ressources et Territoires

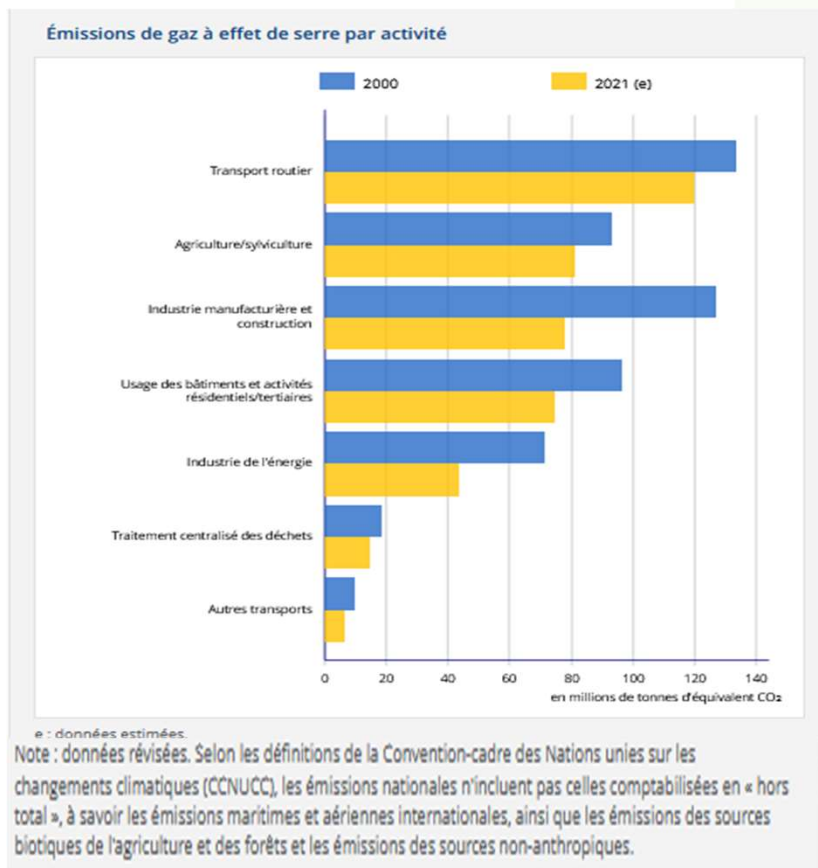
LE SECTEUR AGRICOLE DANS LA TRANSITION CLIMATIQUE



*Quel rôle du secteur agricole ? Quel lien avec l'atténuation du changement climatique ?
Comment aller vers plus de stockage de carbone ?*

QUEL RÔLE DE L'AGRICULTURE DANS L'ATTÉNUATION DU CHANGEMENT CLIMATIQUE ?

=> QUELLE PART DE L'AGRICULTURE DANS LES ÉMISSIONS DE GAZ À EFFET DE SERRE EN FRANCE ?



En 2021, le secteur agricole et sylvicole compte pour **19,4%** des émissions de GES françaises soit 81,2 MtCO₂eq



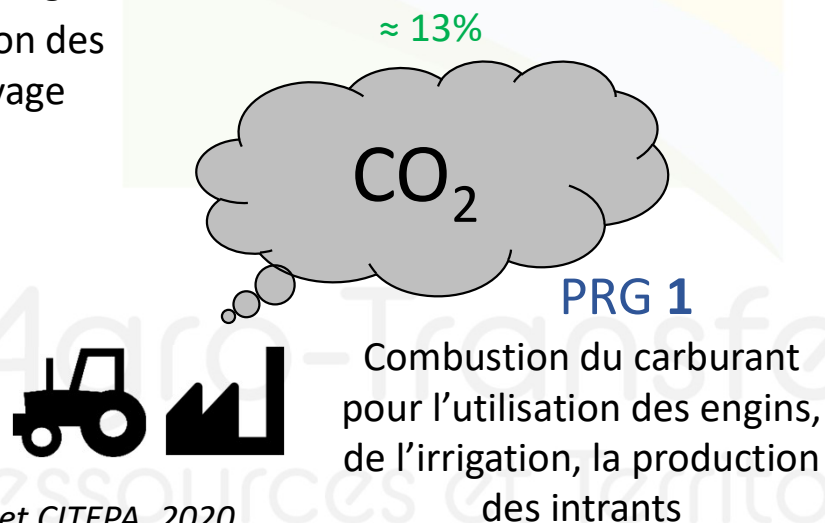
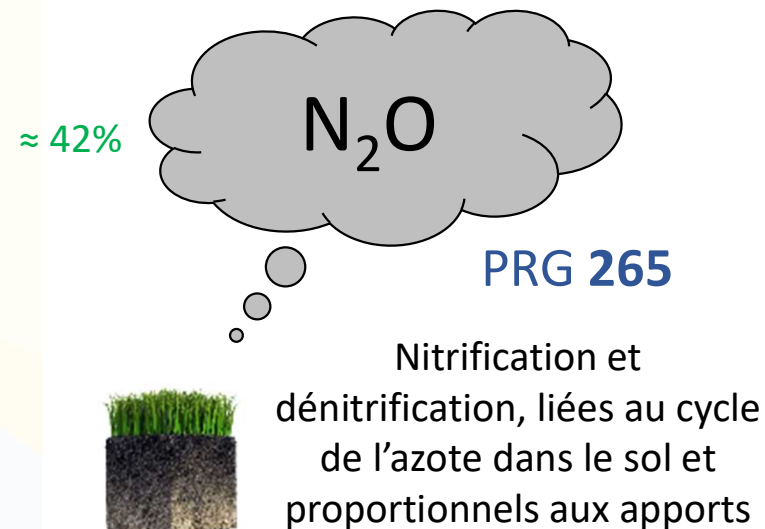
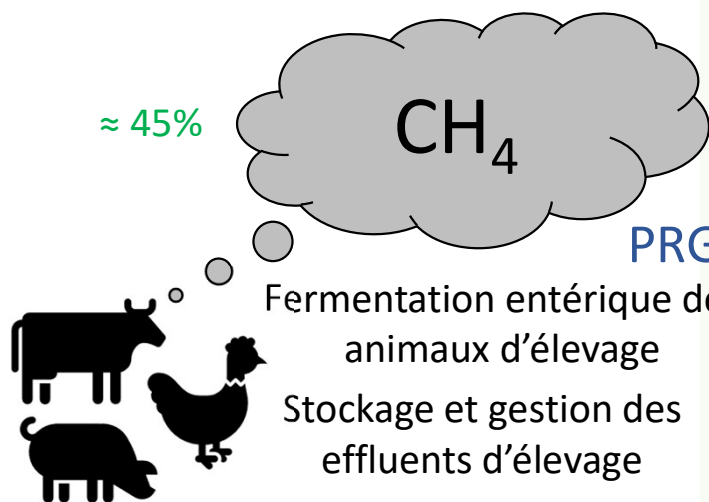
MAIS, il est aussi une Source d'absorption de CO₂ (sol et biomasse) : ce secteur peut aussi **compenser** ces émissions **en stockant du carbone**
1 tC stocké dans les sols = 3,67 tCO₂ séquestré

ATTÉNUER =
RÉDUIRE LES GES ET AUGMENTER L'ABSORPTION

Source : CITEPA, rapport Secten, édition 2022

Agro-Transfert
Ressources et Territoires

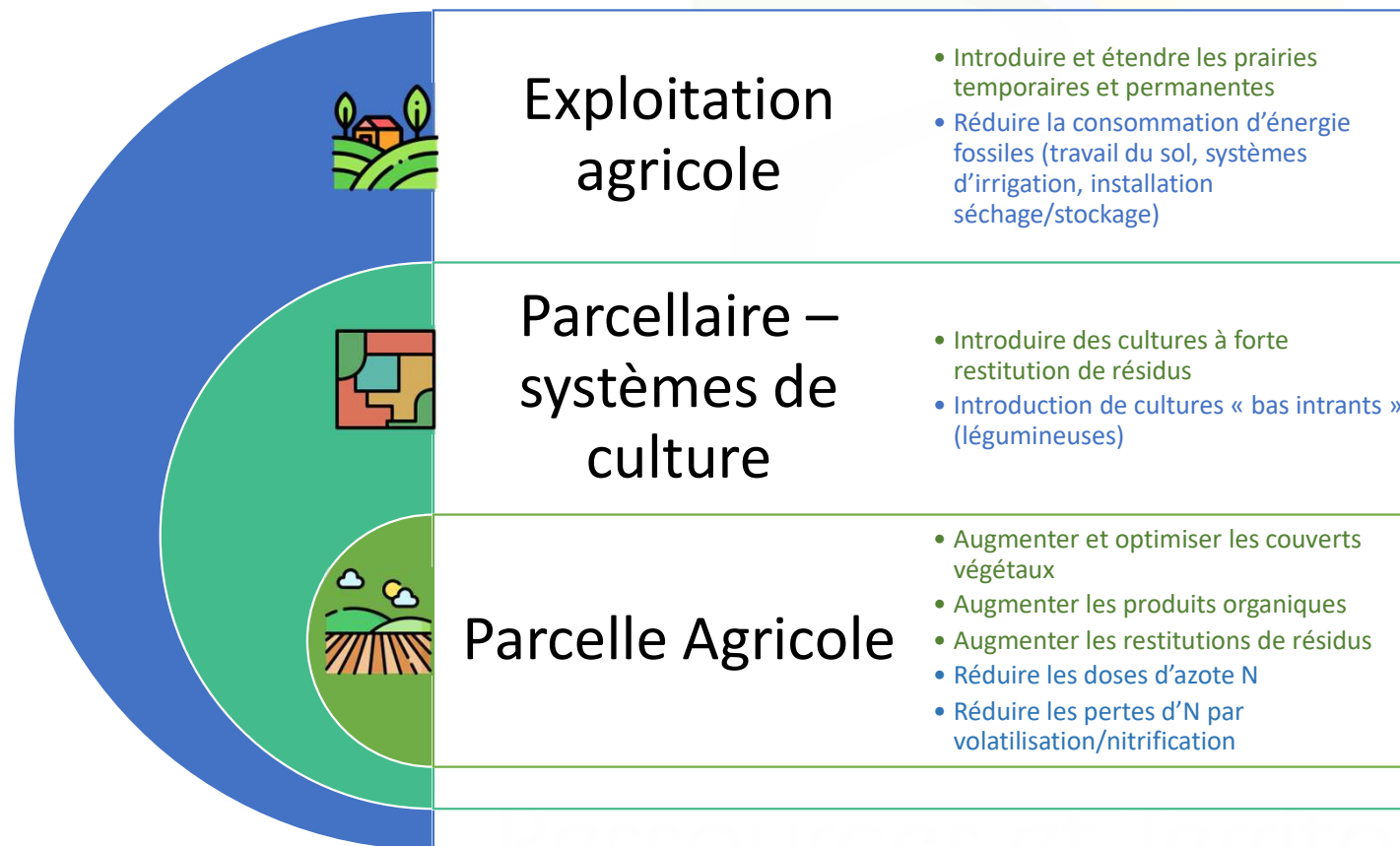
LES GAZ À EFFET DE SERRE EN AGRICULTURE



Source : Guide GESTIM + , 2020 et CITEPA, 2020

PRG = Le Potentiel de Réchauffement Global

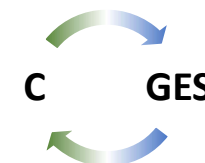
LES ACTIONS POSSIBLES DE LA PARCELLE À L'EXPLOITATION



Leviers pour stocker plus de carbone dans les sols



Comprendre les flux de C dans les sols (bilan humique)



Comprendre les flux de GES sur l'exploitation (bilan GES)



Leviers pour réduire les émissions de GES

VERS LA NEUTRALITÉ CARBONE EN AGRICULTURE ?



Crédits : MTES

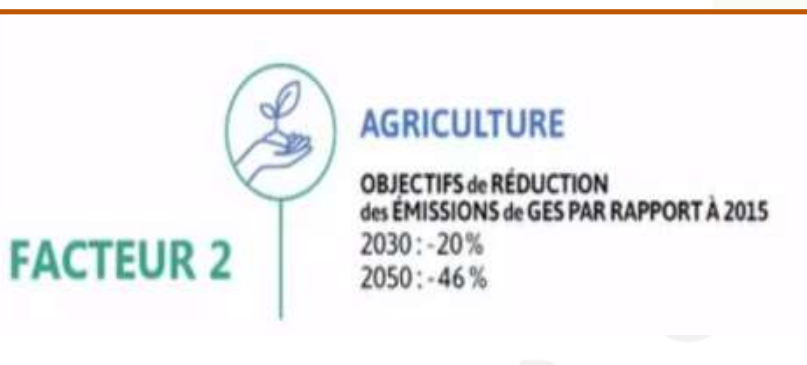
A l'échelle nationale : Stratégie nationale bas carbone

Objectif 2050 : neutralité carbone (zéro émissions nettes)

→ Équilibre entre les émissions de GES et l'absorption dans les puits de carbone (on compense tout ce qu'on émet)

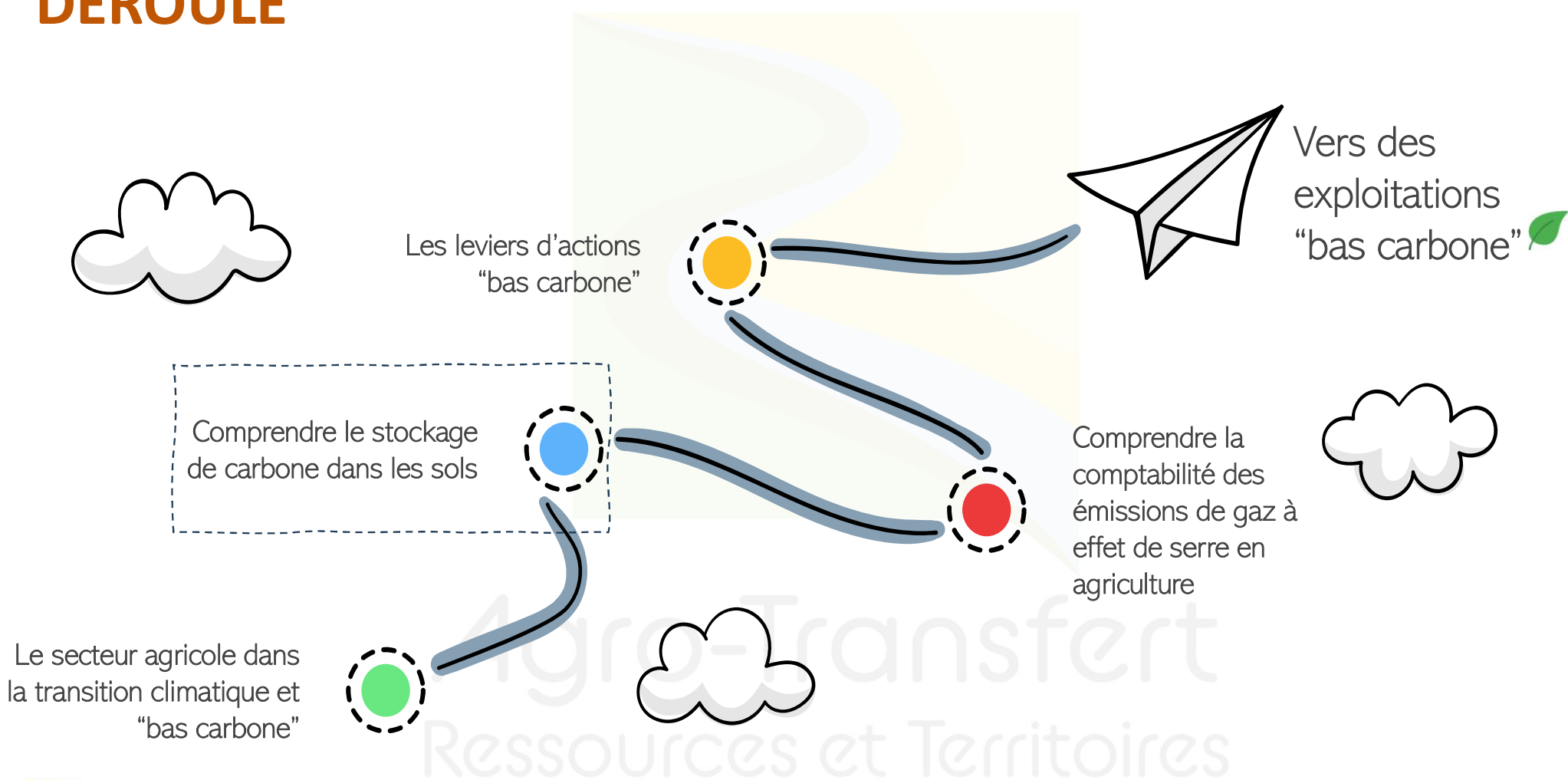
La SNBC définit des budgets carbone (plafonds d'émissions pour 5 ans, et les décline par secteur d'activité et par gaz) – SNBC 3 en cours

Neutralité Carbone non atteignable en agriculture !



Ressources et Territoires

DÉROULÉ



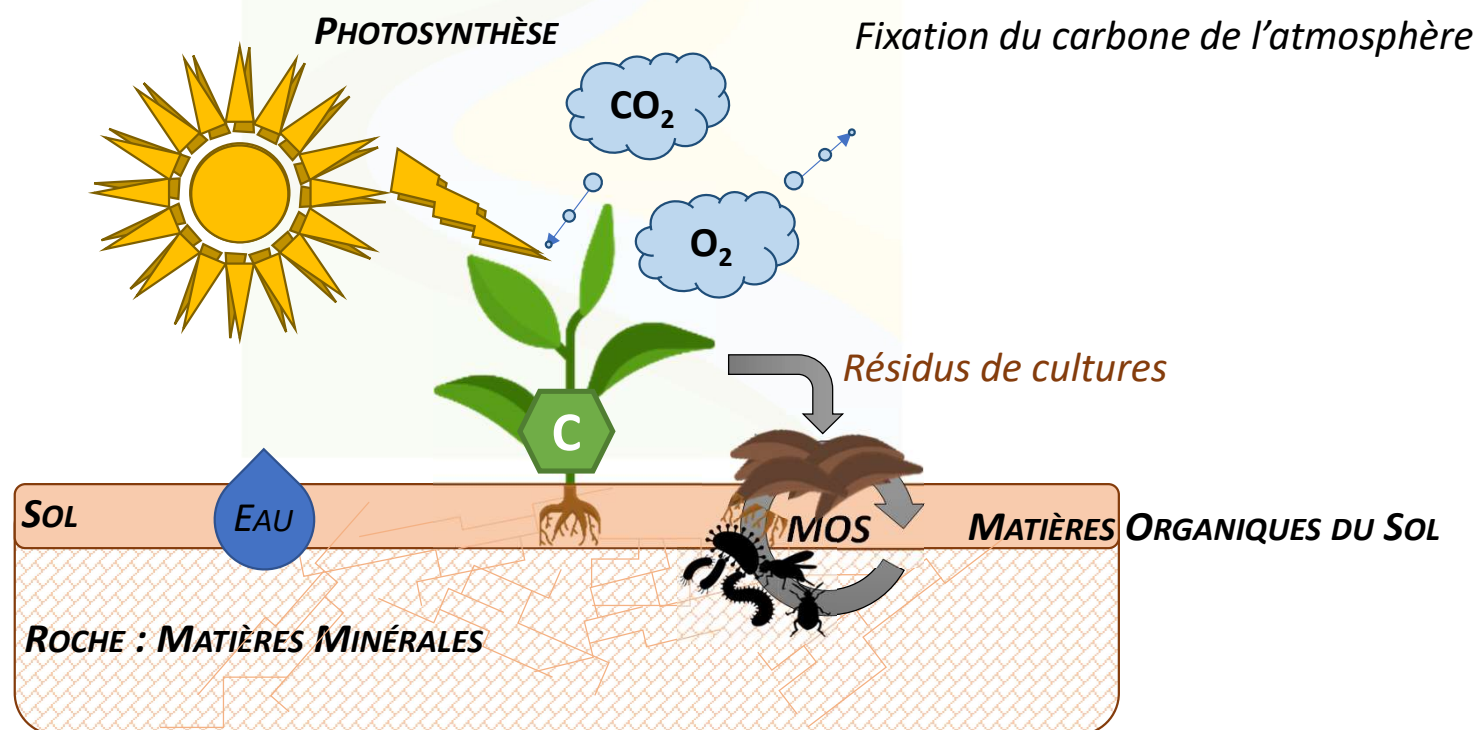
COMPRENDRE LE STOCKAGE DE CARBONE DANS LES SOLS



*Qu'est-ce qu'un bilan humique ? Quel lien avec l'atténuation du changement climatique ?
Comment aller vers plus de stockage de carbone ?*

LE CARBONE DANS LES SOLS : QUÈSACO ?

- De la photosynthèse par les cultures aux matières organiques du sol

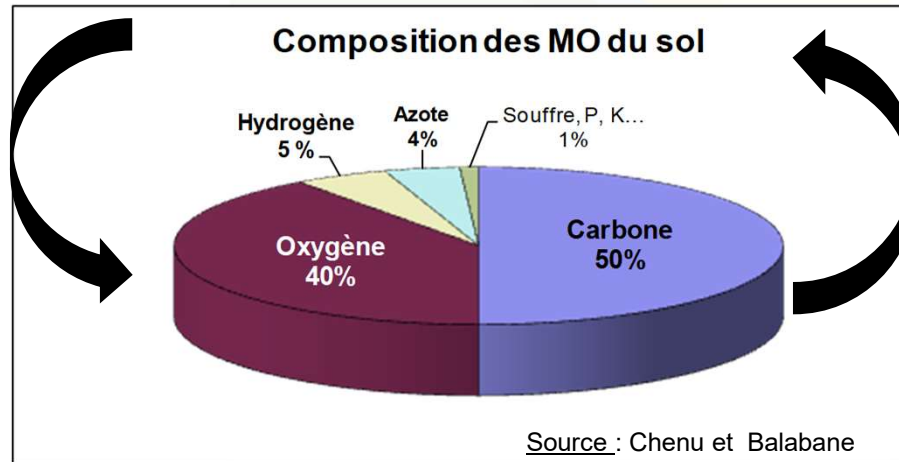
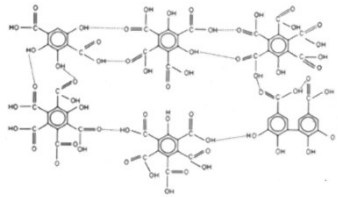


Pas de sol sans MO !

RESSOURCES ET TERRITOIRES

QUELS LIENS ENTRE MATIÈRES ORGANIQUES ET CARBONE ?

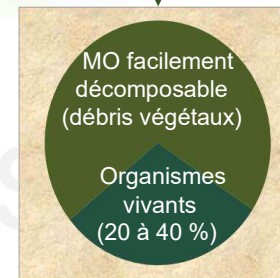
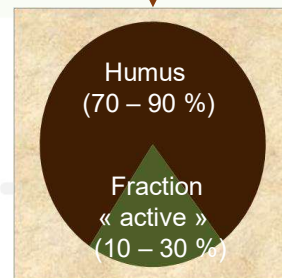
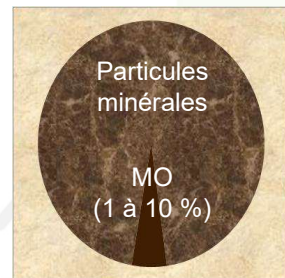
Contient l'autre
Est plus complexe



Permet de quantifier l'autre
Est plus générique

Mesurable et mobilisable à différentes échelles d'études

Le sol :

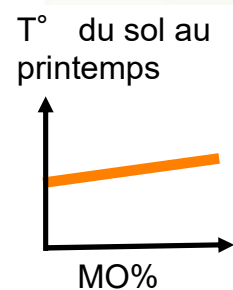
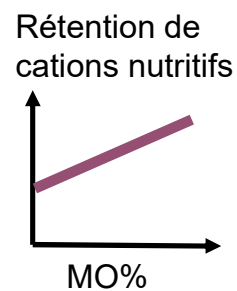
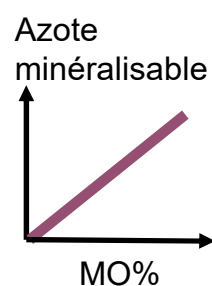


D'après Gaillard, 2001 Source : V. Tomis (AGTRT)

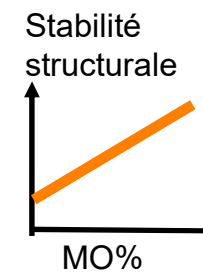
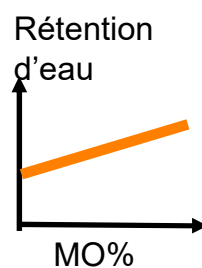
ET EST-CE UNE BONNE CHOSE ?

- La matière organique du sol et le cycle du carbone sont centraux dans les notions de fertilité des sols, qualité des sols et de l'air, et des sols vivants

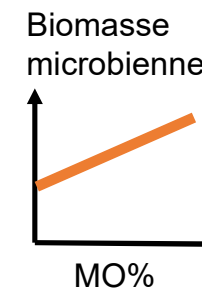
fertilité chimique



fertilité physique



fertilité biologique



Agro-Transfert
Ressources et Territoires

Source : C. Chenu et al, 2011



ET EST-CE UNE BONNE CHOSE ?

- La matière organique du sol et le cycle du carbone sont centraux dans les notions de fertilité des sols, qualité des sols et de l'air, et des sols vivants

Parcelle voisine
avec faible
restitution
organique

(Battance, pertes à la
levée, moindre
développement du blé...)

1,7 %
MO



Ancienne parcelle
enrichie par du
fumier
(+ riche en MO)

2,3 %
MO



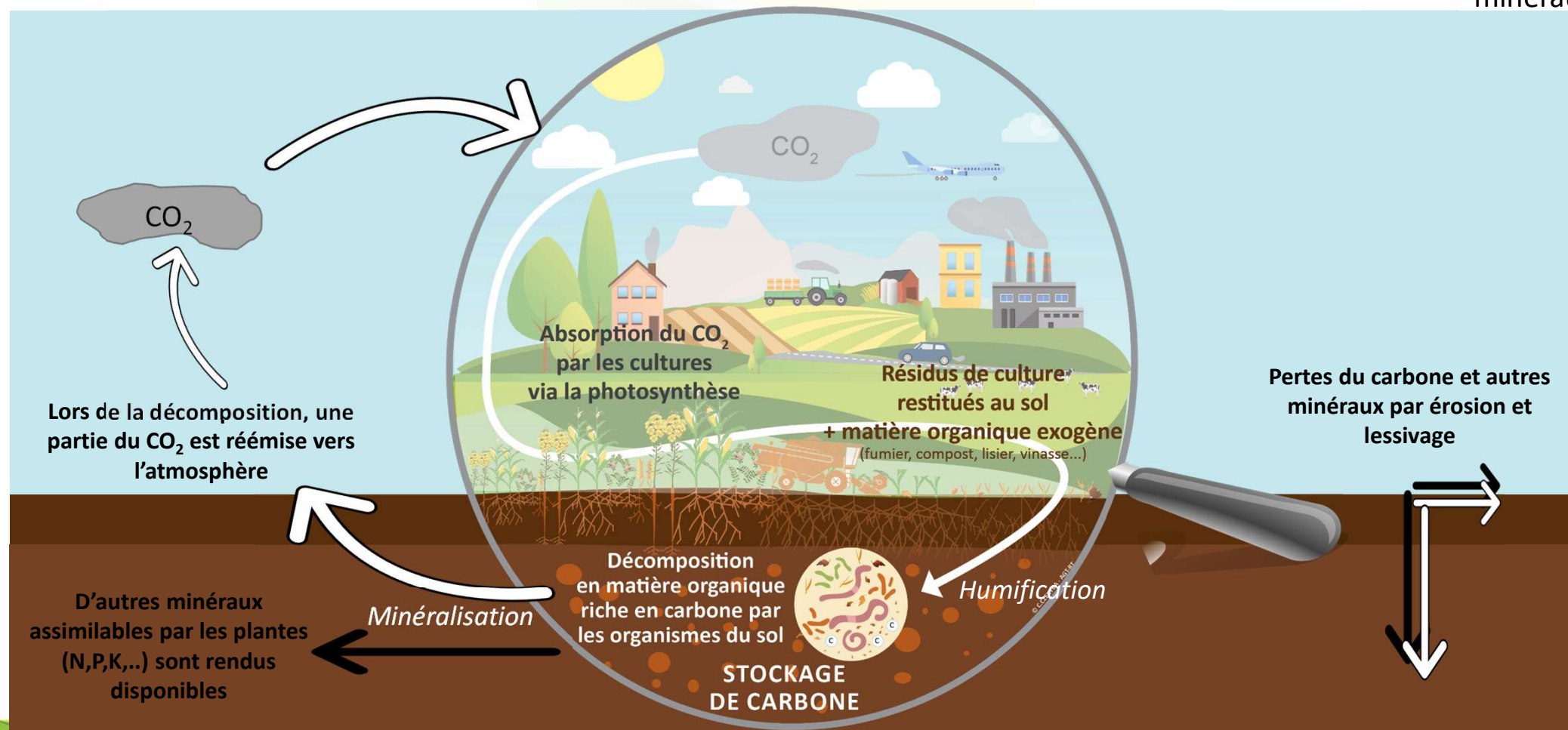
« Le gîte et le couvert »



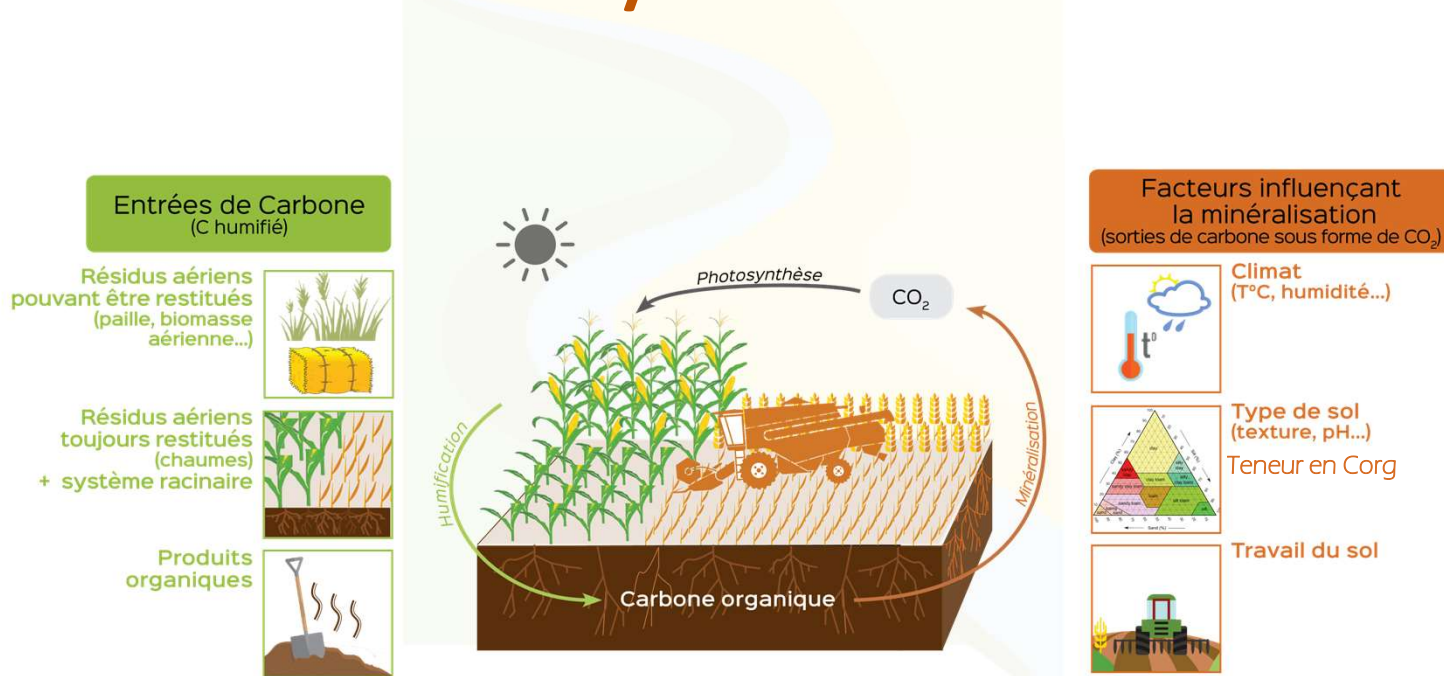
Crédit : Asso-Base

LE CYCLE DU CARBONE

→ Carbone
→ Autres minéraux



VOUS AVEZ DIT STOCKAGE/DÉSTOCKAGE ?



Principe du bilan humique

Stockage Entrées > Sorties

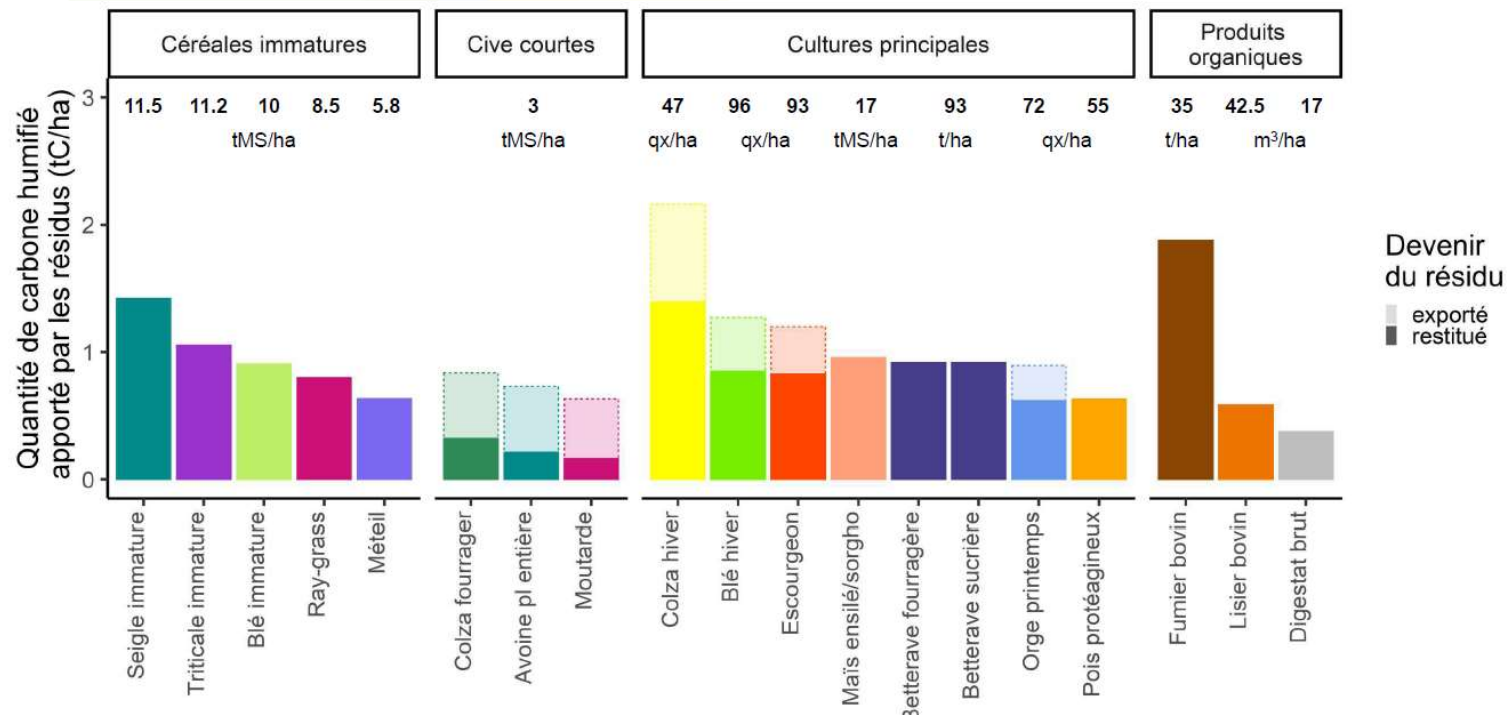
Déstockage Entrées < Sorties

Agro-Transfert
Ressources et Territoires

IMPACT DE LA CULTURE ET DES RÉSIDUS

Les fournitures de carbone humifié des cultures varient en fonction de :

- **L'espèce** : la part de la biomasse produite restituée et la qualité de ces résidus diffère en fonction de l'espèce (coefficient isohumique, k1)
- **Son rendement** : la quantité de résidus potentiellement restituée est proportionnelle à la biomasse végétative produite
- **La restitution des pailles** : moins de paille restituées → moins d'entrées de carbone humifié



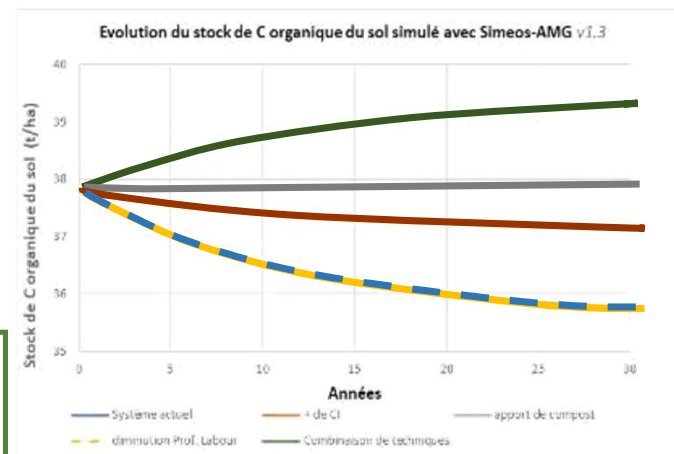
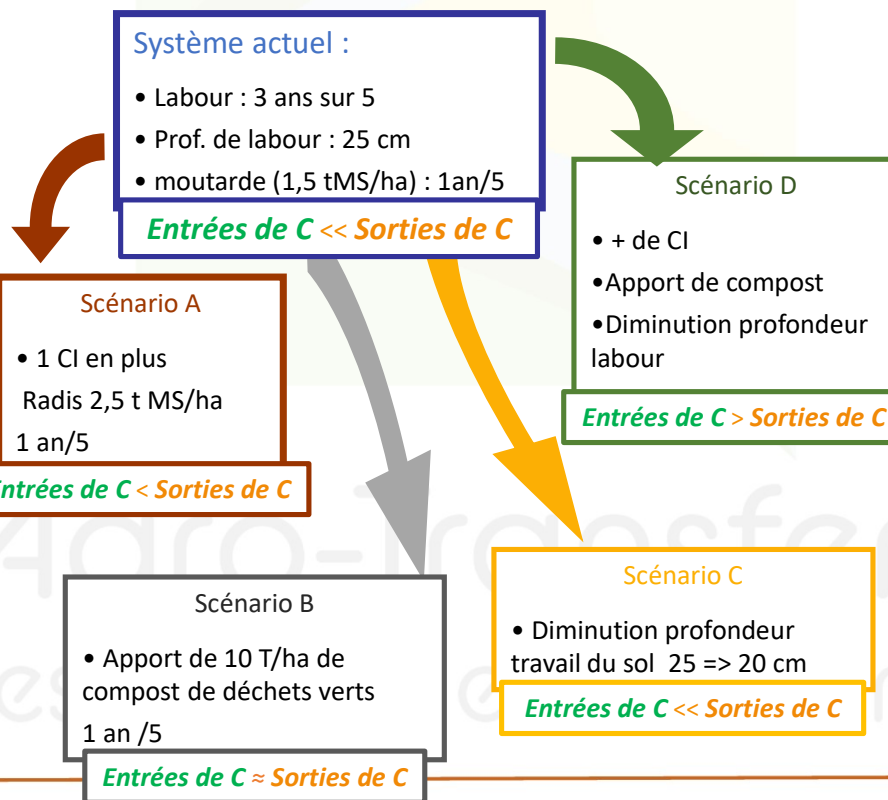
Ressources et Territoires

COMMENT CALCULER LE BILAN HUMIQUE ?

- **Simeos-AMG : un outil d'aide à la décision**  www.simeos-amg.org
Système Légumier en limon

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

Web : www.simeos-amg.org

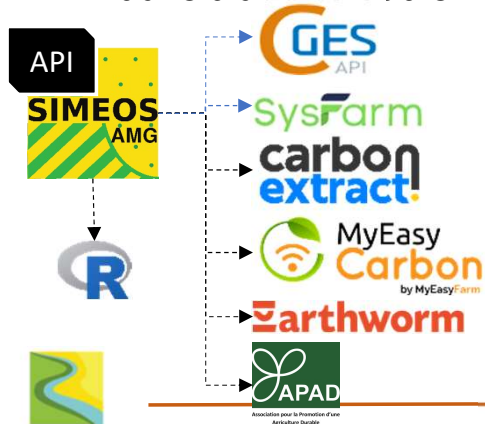


Le stockage est lent et limité et il est réversible

- > lors d'un retour aux précédentes pratiques
- > lors d'accidents de cultures (changement climatique)
- > lors d'un besoin plus important pour les filières agro-alimentaires

Simulations avec Simeos-AMG v1.3 (2019)

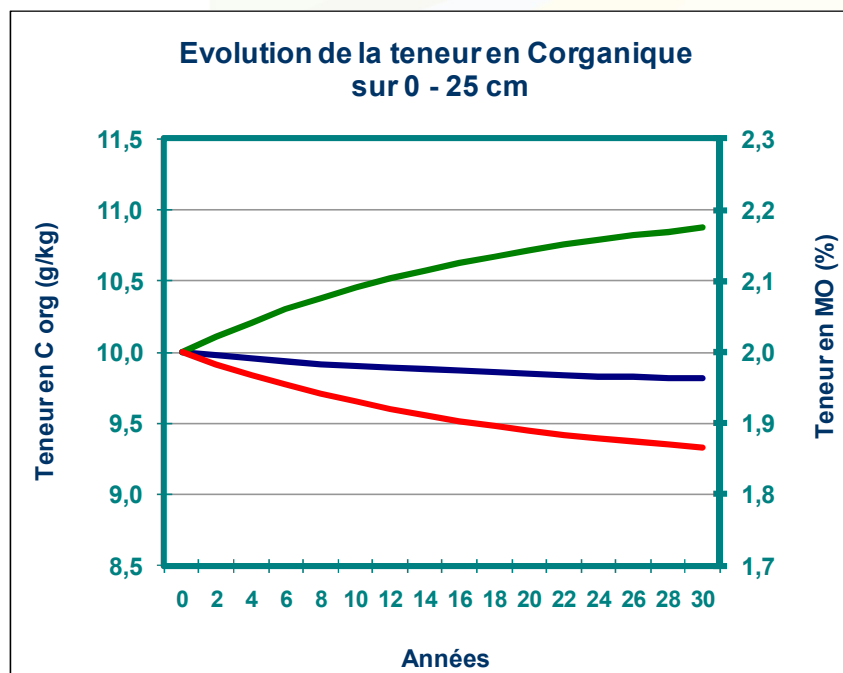
En API dans d'autres outils :



EXEMPLE DE L'IMPACT DES ENTRÉES

Dans cet exemple,

- le type de sol et la teneur en Corg est la même pour les 3 rotations : les sorties de carbone sont les mêmes.
- les rotations sont différentes : **les entrées de carbone sont différentes.**



Rotations culturales :

Colza – blé – orge

Bett – blé – féverole – blé

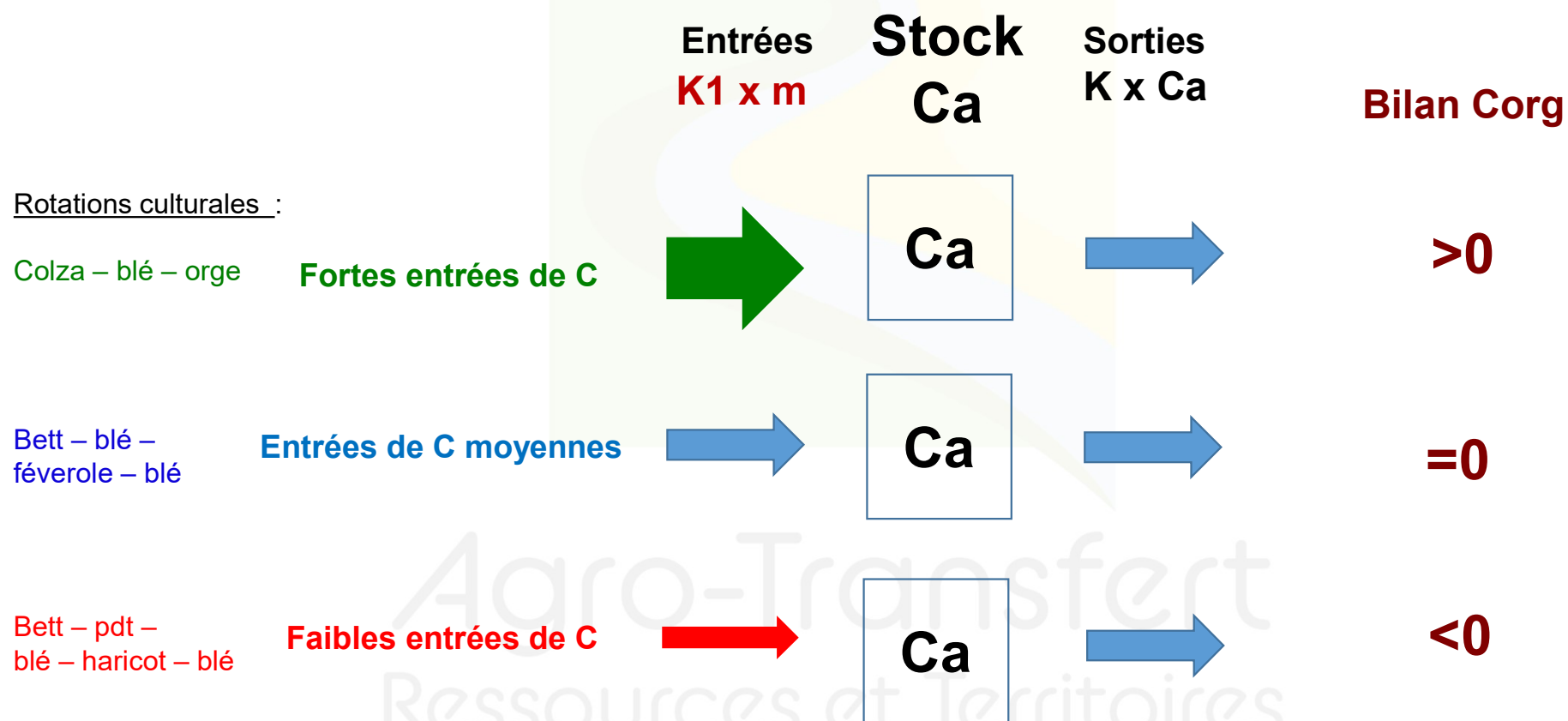
Bett – pdt – blé – haricot – blé

Simulation réalisée sur un sol limoneux

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

Source : Agro-Transfert-RT

EXEMPLE DE L'IMPACT DES ENTRÉES



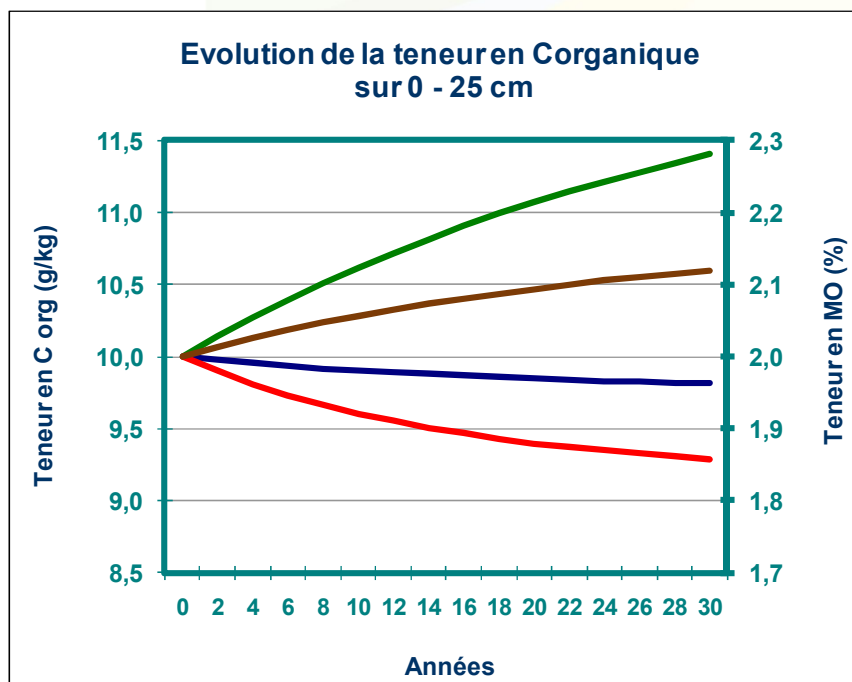
Source : Agro-Transfert-RT, A. Duparque, 2019

*Ca = Carbone actif

EXEMPLE DE L'IMPACT DES SORTIES

Dans cet exemple,

- la rotation est la même dans les 4 situations : les entrées de carbone humifié sont identiques
- La teneur en Corg est la même, mais le type de sol varie : **les sorties de carbone sont différentes.**



Types de sol :

Sol crayeux
(10 % d'argile, 600 g/kg de CaCO₃)

Limon argileux (25 % d'argile)

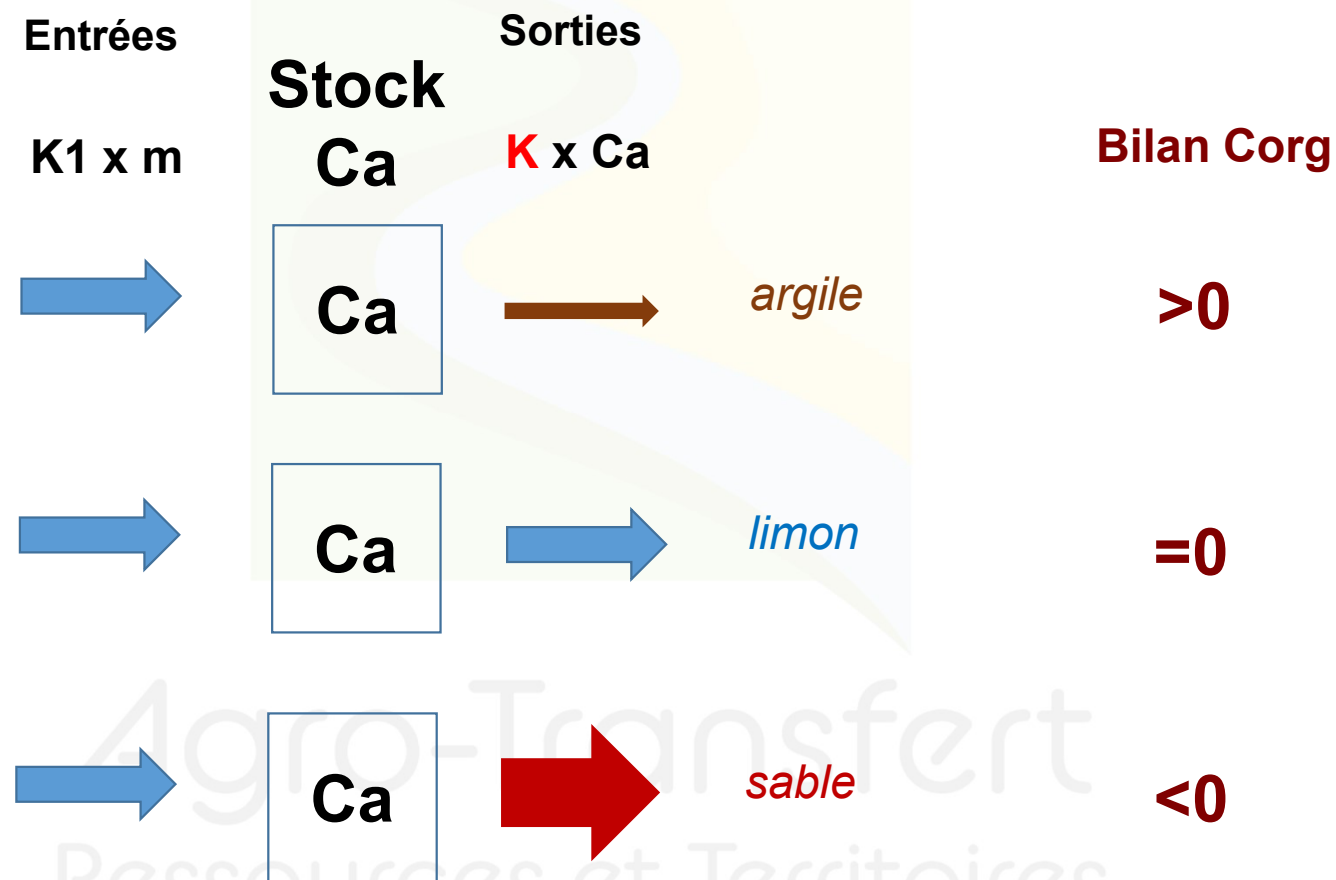
Limon (16 % d'argile)

Sable limoneux (8 % d'argile)

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

Source : Agro-Transfert-RT

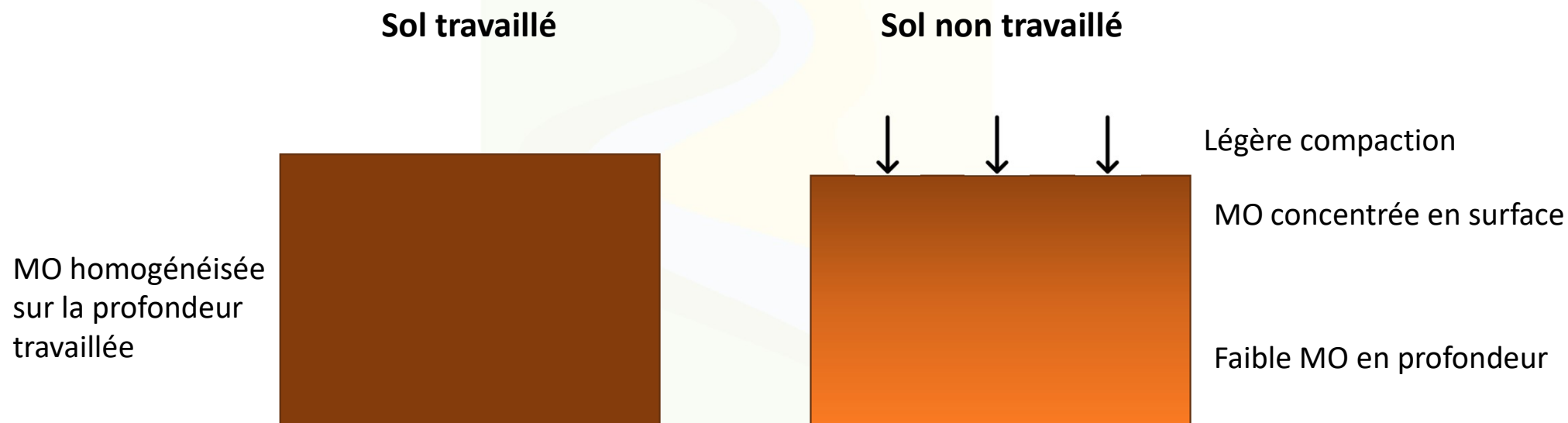
EXEMPLE DE L'IMPACT DES SORTIES



Source : Agro-Transfert-RT, A. Duparque, 2019

*Ca = Carbone actif

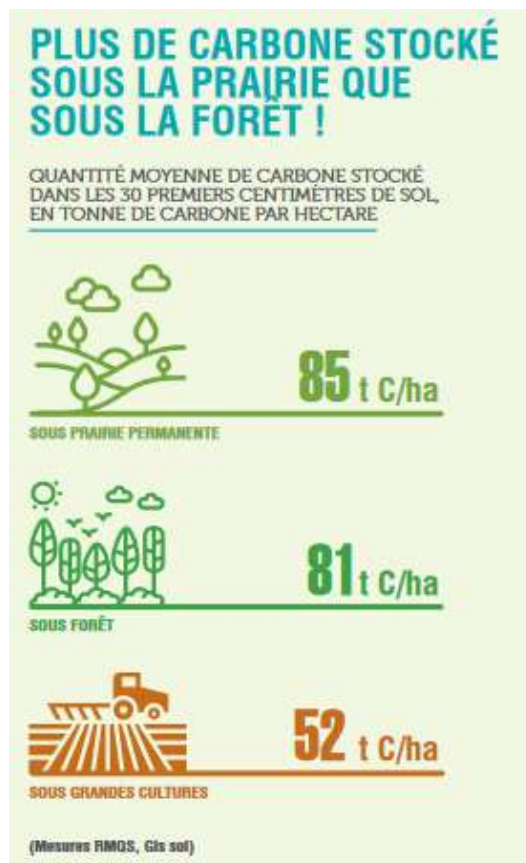
FOCUS SUR L'IMPACT DU TRAVAIL DU SOL



Le stock total de carbone n'est pas ou peu augmenté par les TCS (Mary, 2020; Résultats des essais de la station Arvalis de Boigneville)

MAIS : une couverture végétale du sol abondante, donc des entrées de Corg plus importante permettent de stocker plus de carbone dans les systèmes ACS !

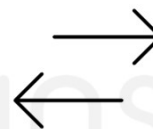
ET SOUS LES PRAIRIES PERMANENTES (>5 ANS) ?



- Stock initial très variable en fonction des pédoclimats et des pratiques
- Variation moyenne annuelle +50 kgCorg/ha/an
- Pratiques stockantes (4p1000) :
 - une intensification modérée des prairies extensives
 - l'exploitation de l'herbe par pâturage plutôt que par fauche
- Changement d'affectation des sols :

+ de 300 à 800 kgC/ha/an

Cultures



Prairies

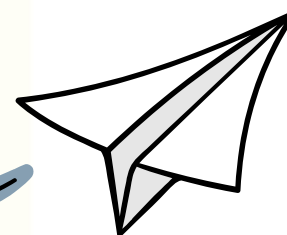
- de 50 à 80% du stock C initial

Source : Idele, Les chiffres clés des prairies et des parcours ET Pellerin et al. (2019). Stocker du carbone dans les sols français, Quel potentiel au regard de l'objectif 4 pour 1000 et à quel coût ? Synthèse du rapport d'étude, INRA (France)

DÉROULÉ

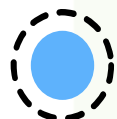


Les leviers d'actions
"bas carbone"



Vers des
exploitations
"bas carbone" 

Comprendre le stockage
de carbone dans les sols



Comprendre la
comptabilité des
émissions de gaz à
effet de serre en
agriculture

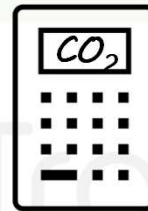


Le secteur agricole dans
la transition climatique et
"bas carbone"



Agro-Transfert
Ressources et Territoires

COMPRENDRE LA COMPTABILITÉ CARBONE EN AGRICULTURE



*Quelles sont les principales émissions ? A quoi sont-elles dues ?
Quels leviers pour les diminuer ?*

QU'EST-CE QU'UN BILAN GES ?



Quantification des émissions de GES (gaz à effet de serre) sur un périmètre donné

- **On peut aussi parler d'analyse de cycle de vie monocritère**
- **Le périmètre d'étude :**
 - Limites pour l'inventaire des émissions : activité, structure, zone géographique, ...
 - en agriculture → les bilan GES sont possibles sur un système de culture, une exploitation, une filière ou encore un territoire

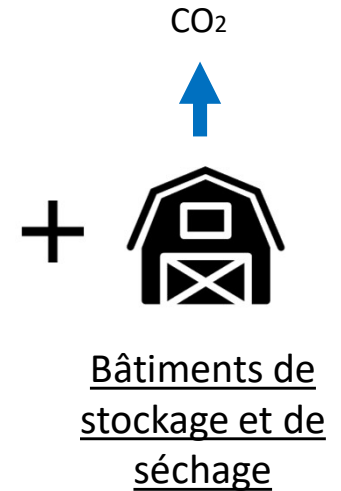
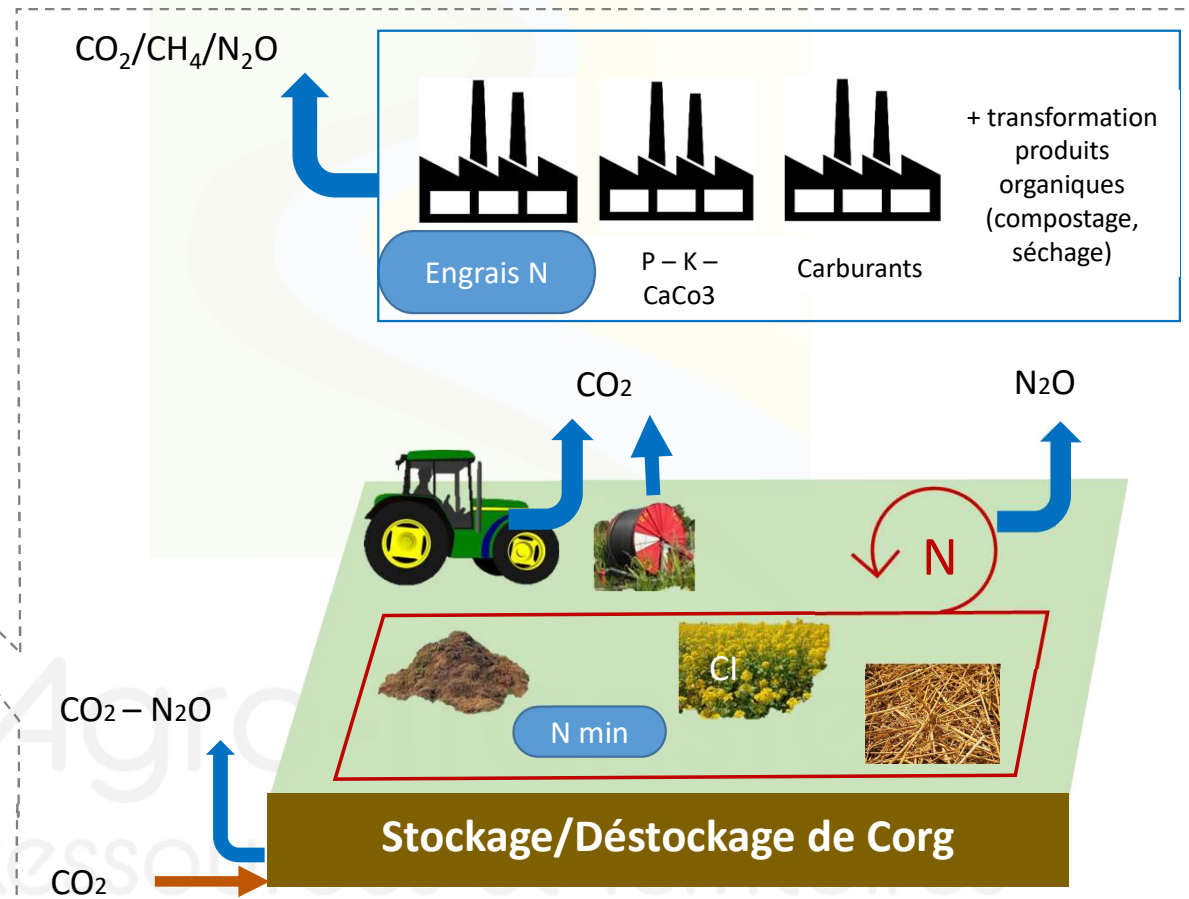


Agro-Transfert
Ressources et Territoires

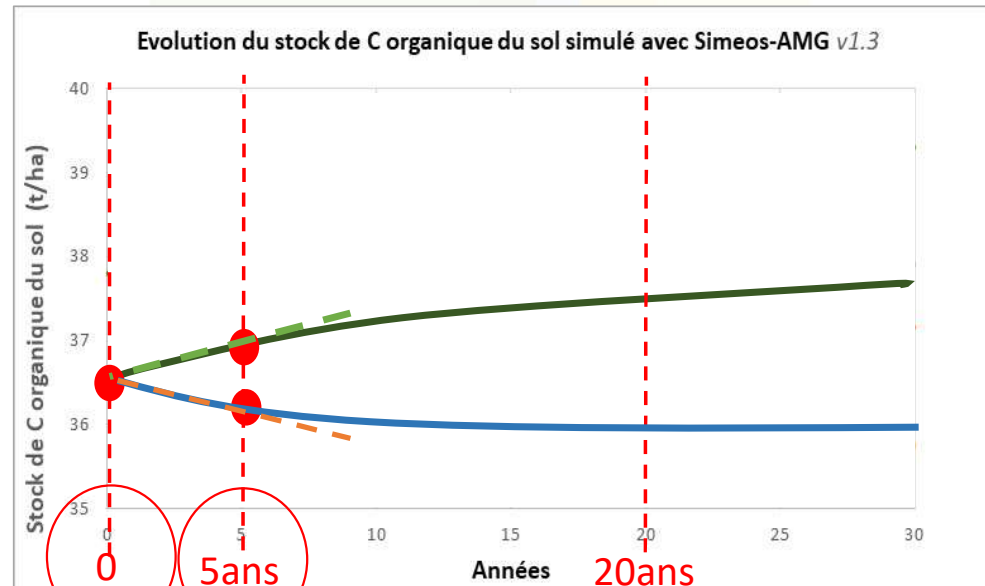
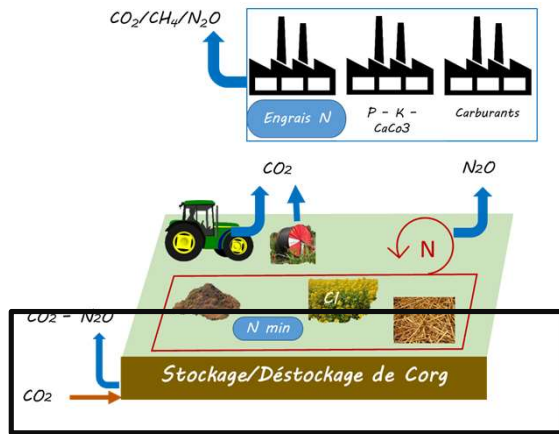
Source : <https://www.bilans-ges.ademe.fr/fr/accueil/contenu/index/page/principes/siGras/0>

LES ÉMISSIONS GES SUR UNE EXPLOITATION (HORS ANIMAUX)

Parcelle de l'exploitation



INTÉGRER LA SÉQUESTRATION CARBONE AU BILAN DE LA FERME



Recommandation en comptabilité C

Recommandation en agronomie

Si > 0 : Augmentation du stock
= Stockage C

Emissions de CO_2 séquestrées par l'augmentation du stock de carbone

Si < 0 : Baisse du stock
= Déstockage C

Emissions induites par la baisse du stock de carbone

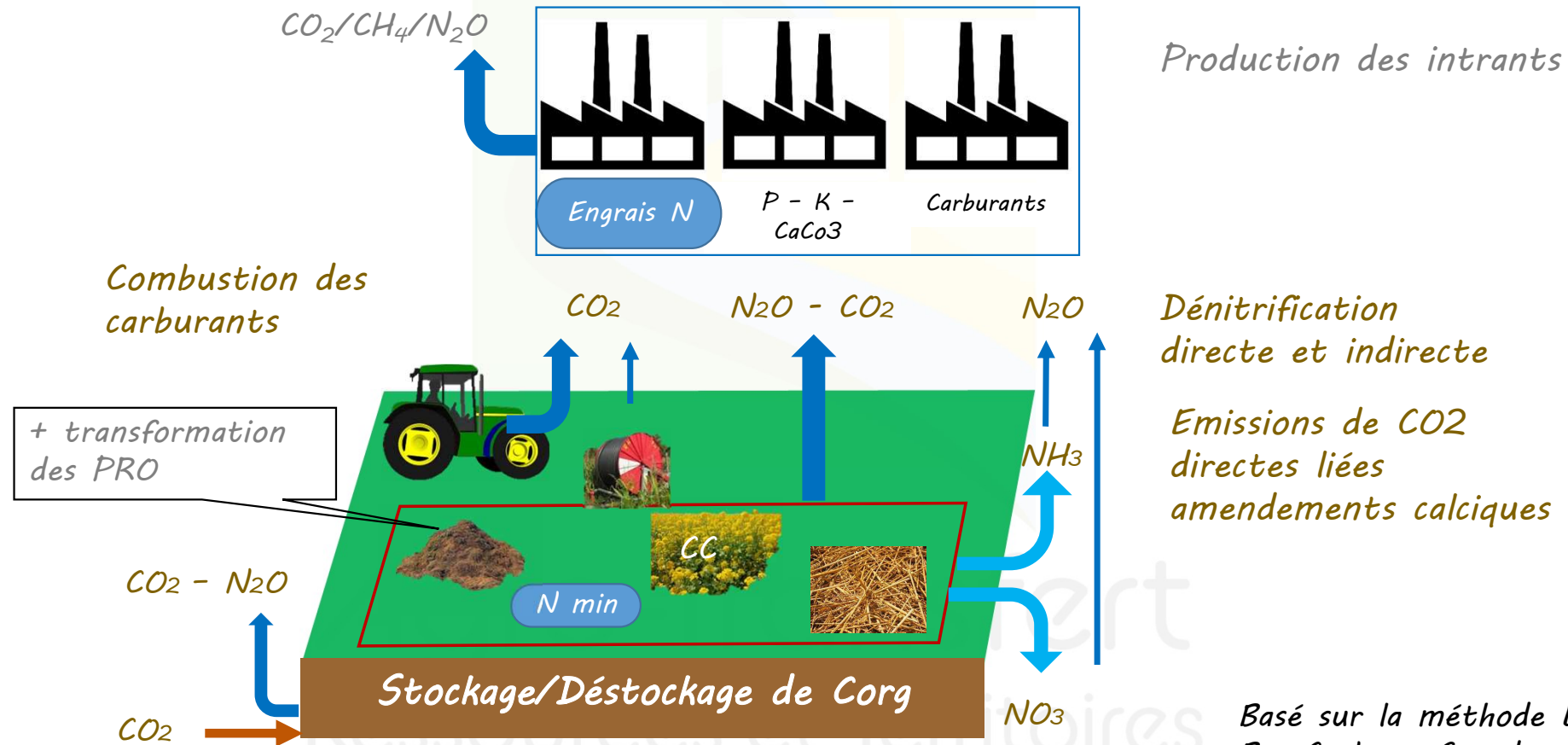
Libération d'azote organique

Emissions de CO_2

Emission N_2O induites

PÉRIMÈTRE DU CALCUL DU BILAN GES – SYSTÈME DE CULTURE

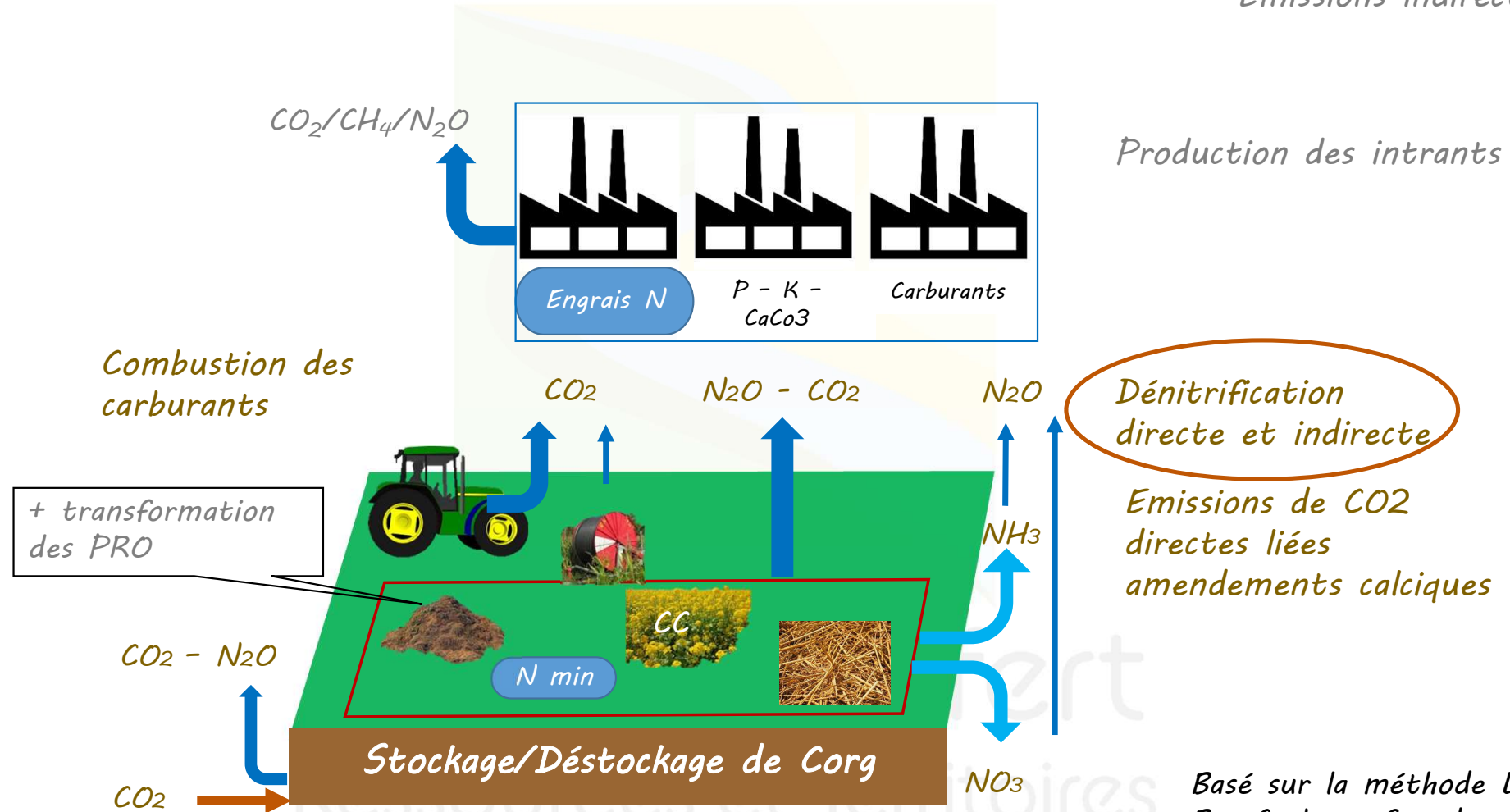
Emissions directes
Emissions indirectes



Basé sur la méthode Label
Bas Carbone Grandes Cultures

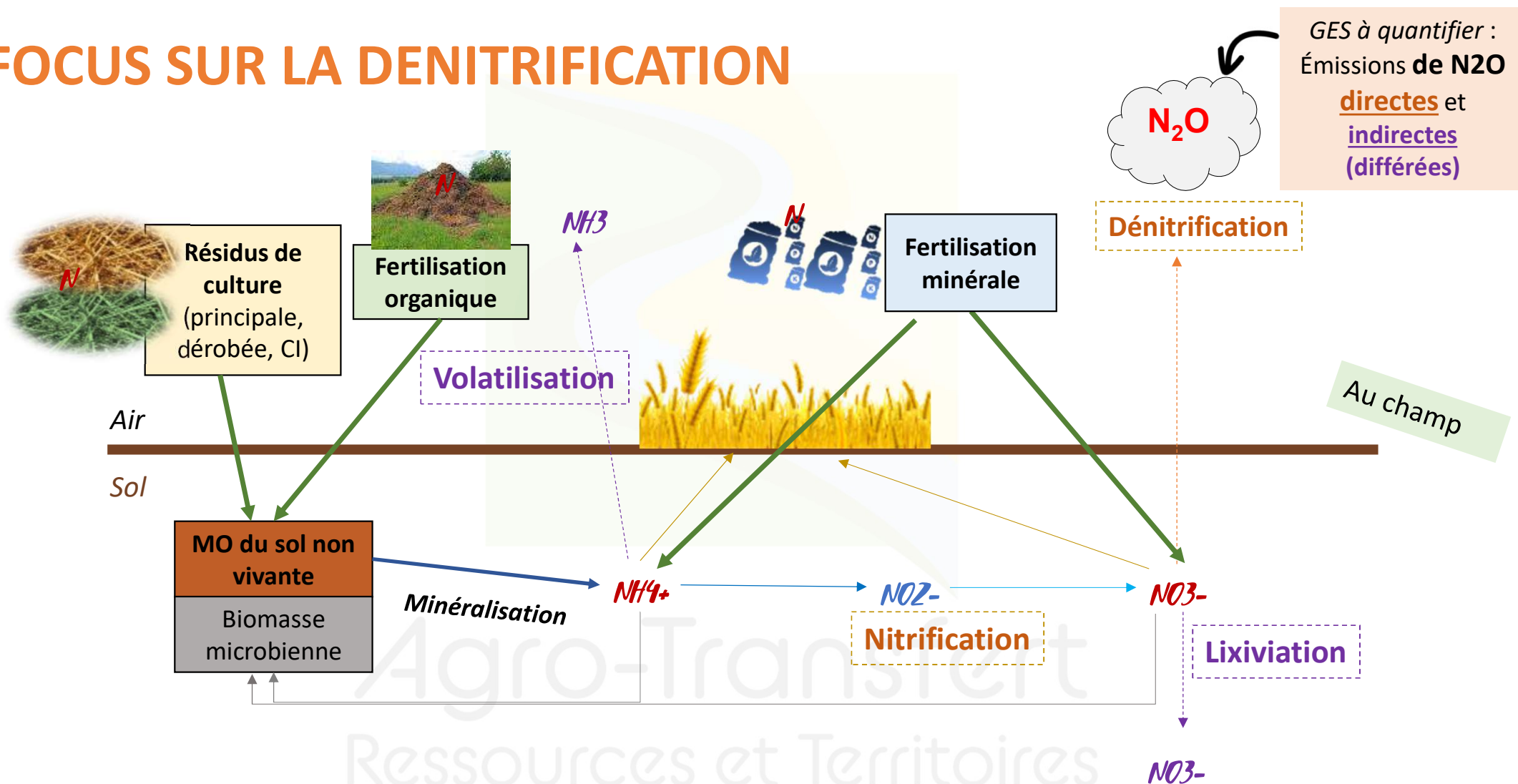
PÉRIMÈTRE DU CALCUL DU BILAN GES – SYSTÈME DE CULTURE

Emissions directes
Emissions indirectes



Basé sur la méthode Label
Bas Carbone Grandes Cultures

FOCUS SUR LA DENITRIFICATION



Agro-Transfert
Ressources et Territoires

Inspiré de : Doré, T., Bail, M. Le, Martin, P., Ney, B., Roger-Estrade, J., & Sebillotte, M. (2006). *L'agronomie aujourd'hui*. 384. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01829191>

EXEMPLE

Faible contribution des combustibles fossiles

La plus grosse part est liée à:

- La production des engrais minéraux
- La dénitrification



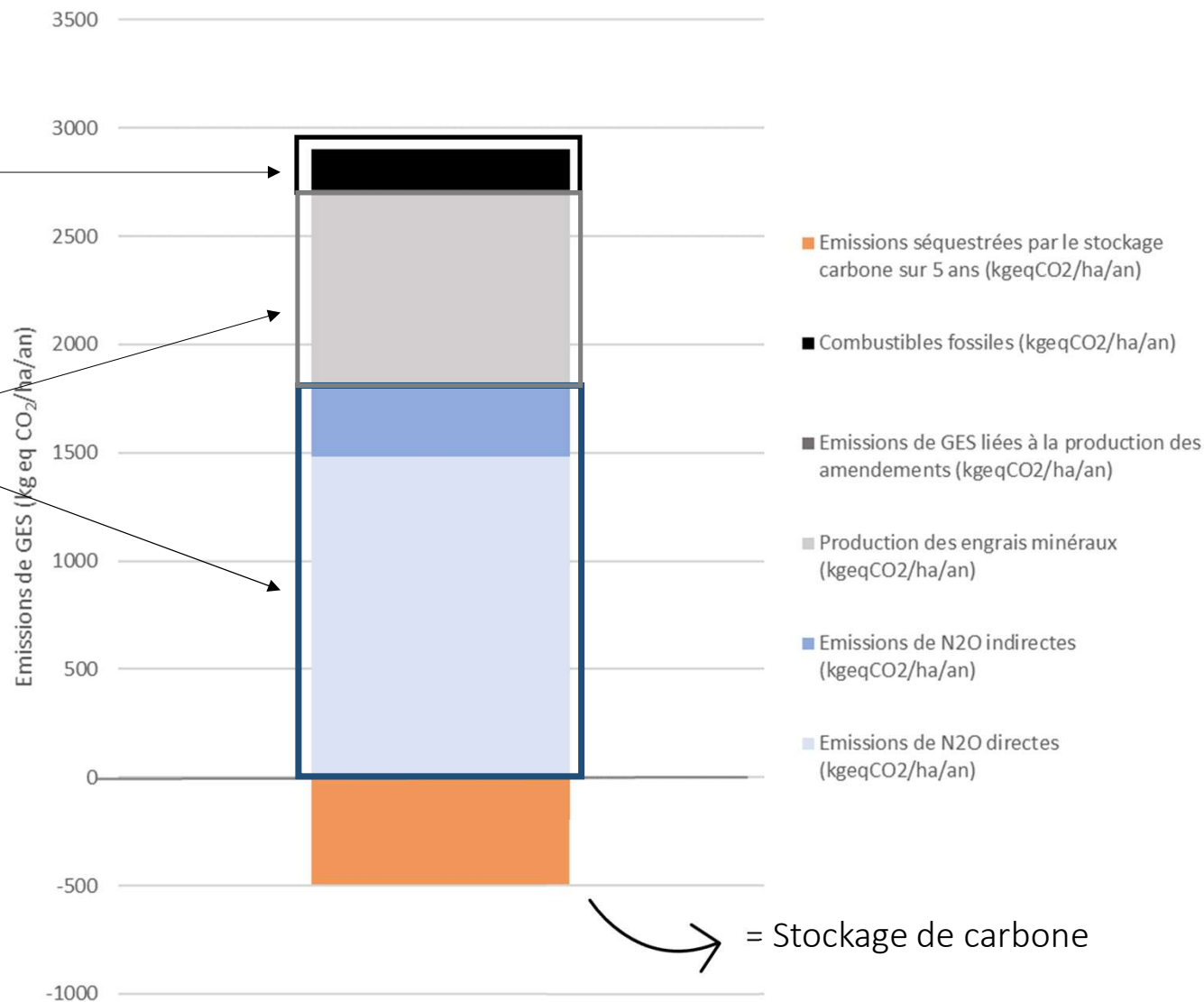
100 ha



Sol limoneux,
36,6tC/ha



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



Agro-
Ress

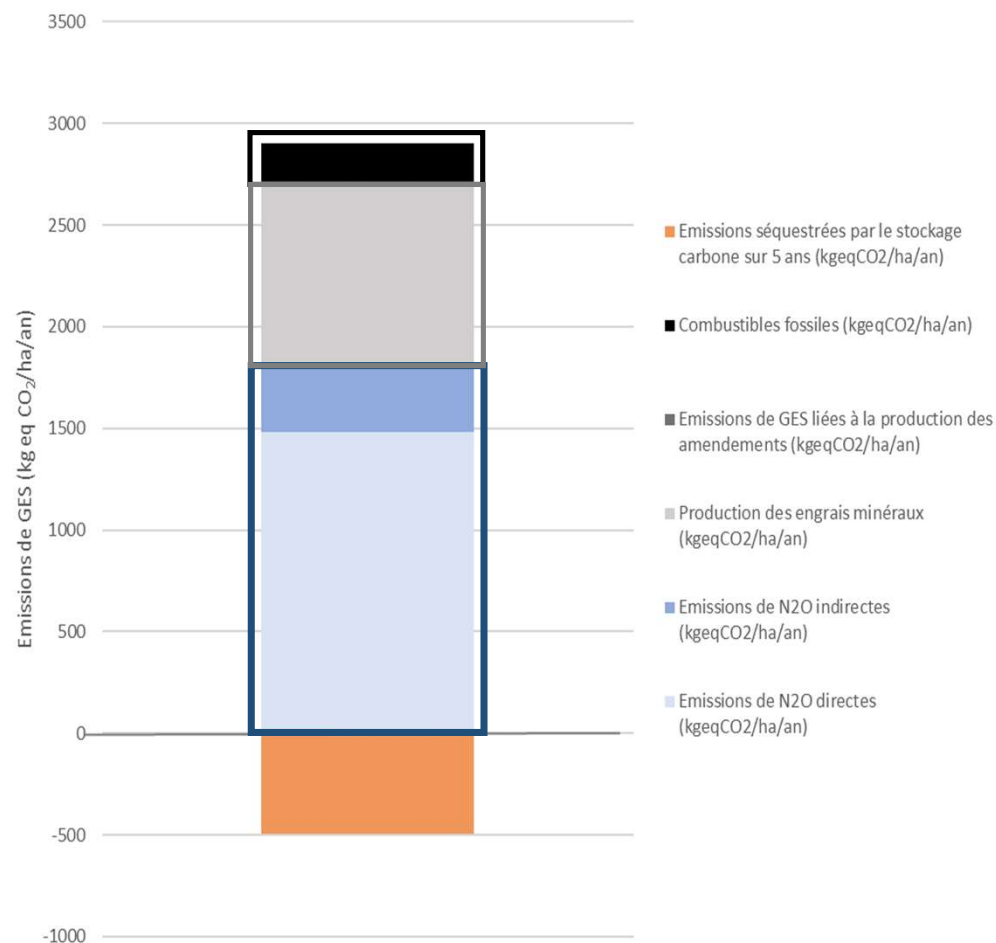
CONTRIBUTION DES POSTES

Les émissions de GES sont principalement liées **aux entrées d'azote, dont la fertilisation**

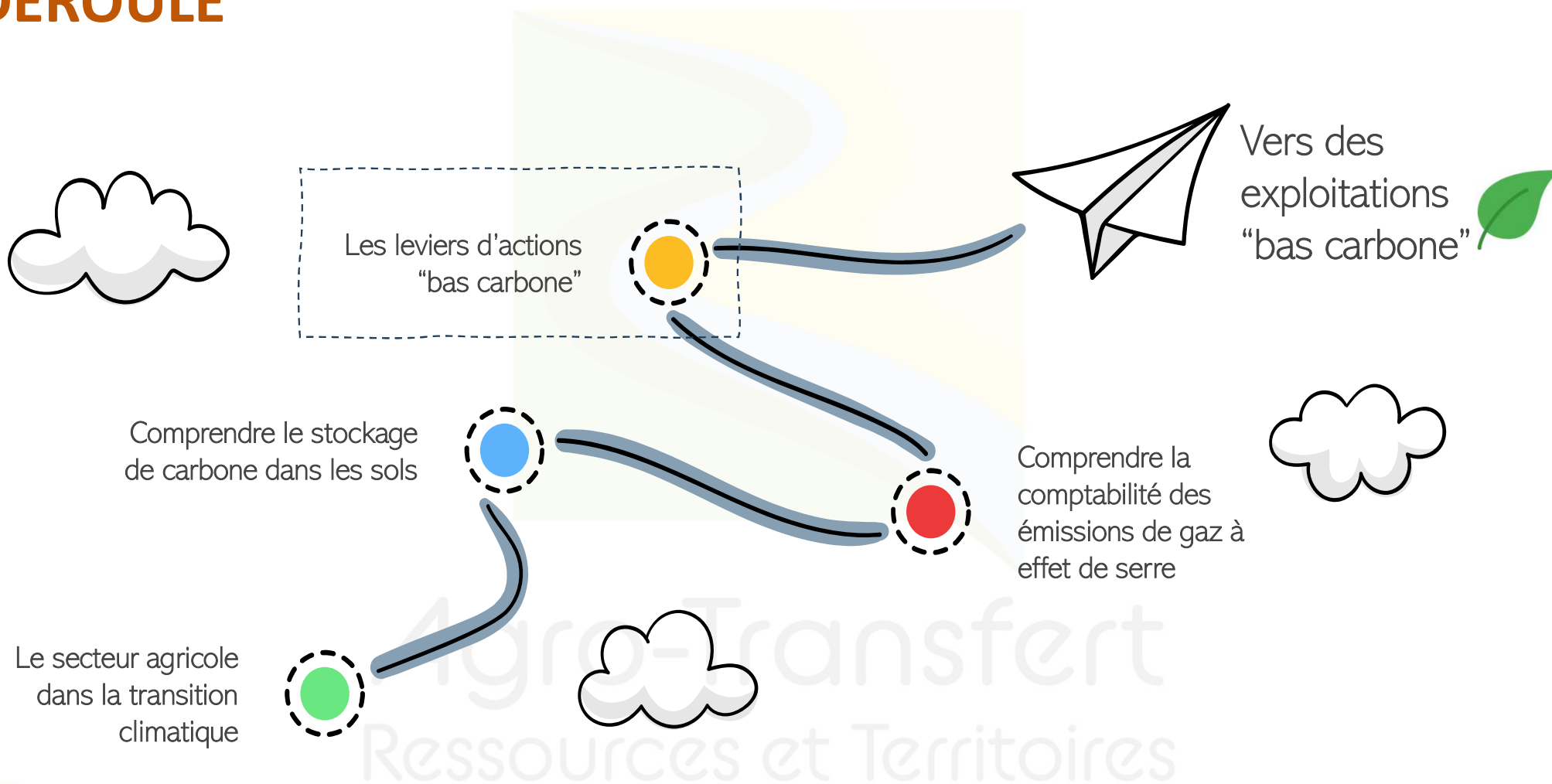
- ☞ AGIR sur les **émissions directes**
→ Jouer sur les **entrées d'azote**
- ☞ AGIR sur les **émissions indirectes**,
 - ↘ les intrants
 - ↗ optimiser l'azote restitué par **les résidus et les PRO**, en le prenant en compte dans la fertilisation



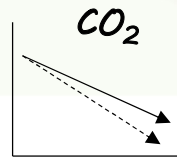
Tout en conservant les **rendements** pour les entrées de Corg = **il faut de l'azote pour stocker du carbone !**



DÉROULÉ



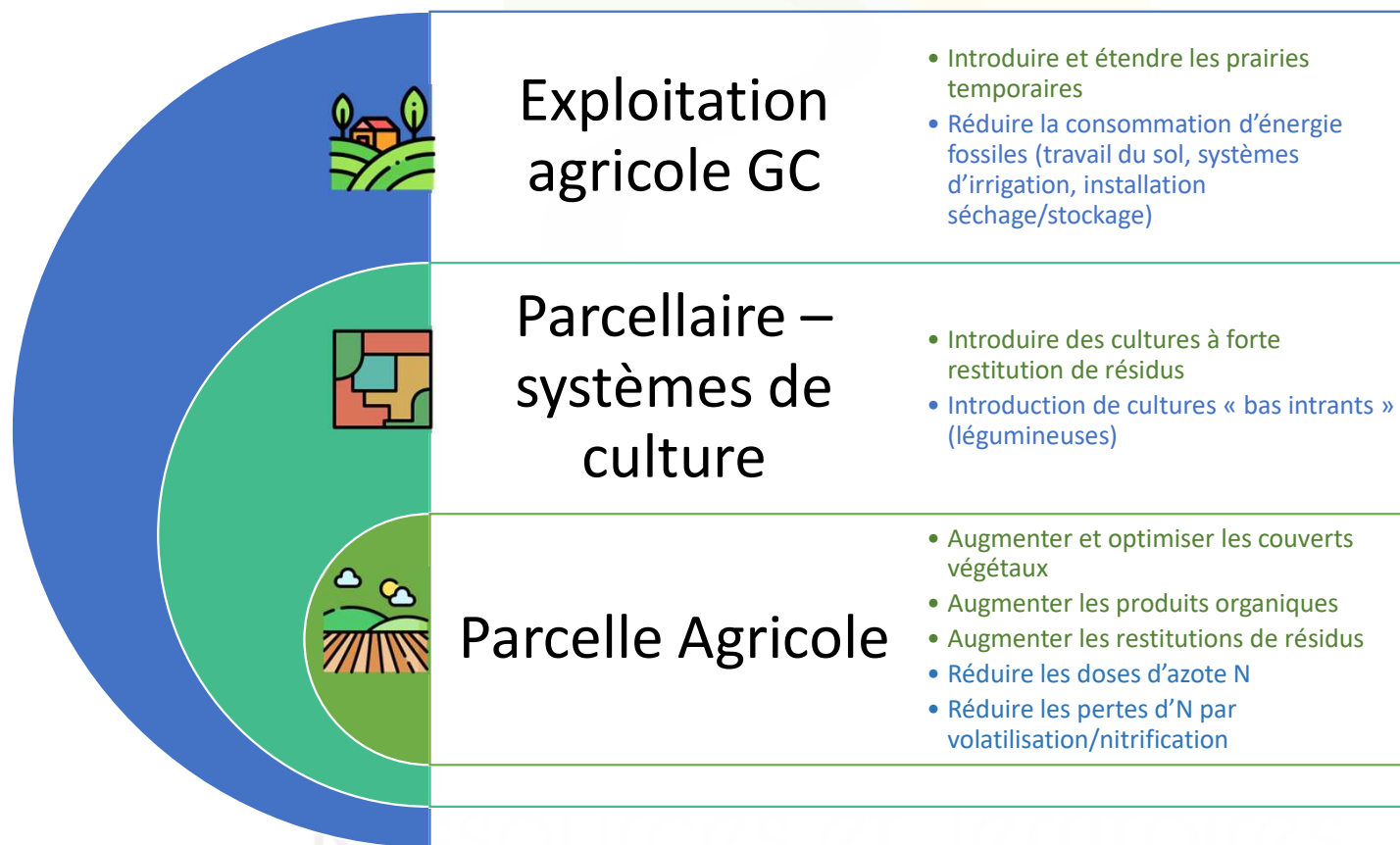
LES LEVIERS D'ACTION



Comment augmenter le stockage et réduire le bilan GES des systèmes de culture ?

Agro-Transfert
Ressources et Territoires

LES LEVIERS « BAS CARBONE » EN GRANDES CULTURES



LES LEVIERS « BAS CARBONE » EN GRANDES CULTURES

• Pour augmenter le stockage de carbone

Augmenter et optimiser l'utilisation des couverts



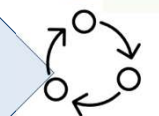
Augmenter l'utilisation des engrais organiques



Augmenter les restitutions de résidus



Insérer des cultures à haute restitution de résidus

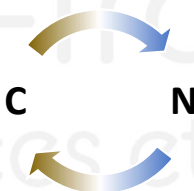


Introduire et étendre les prairies temporaires



Il faut de l'azote pour stocker du carbone : Attention aux effets antagonistes

Importance de la simulation !



• Pour réduire et éviter des émissions

Attention à l'effet sur le rendement

Réduire la dose d'azote minéral apportée sur les cultures



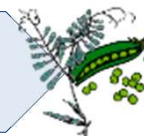
Réduire les pertes N par volatilisation (engrais solide, optimisation des conditions, ...)



Utilisation d'inhibiteurs de nitrification



Introduction de cultures « bas intrants » (légumineuses)



Réduire la consommation d'énergies fossiles (réduction du travail du sol, systèmes d'irrigation électrique)



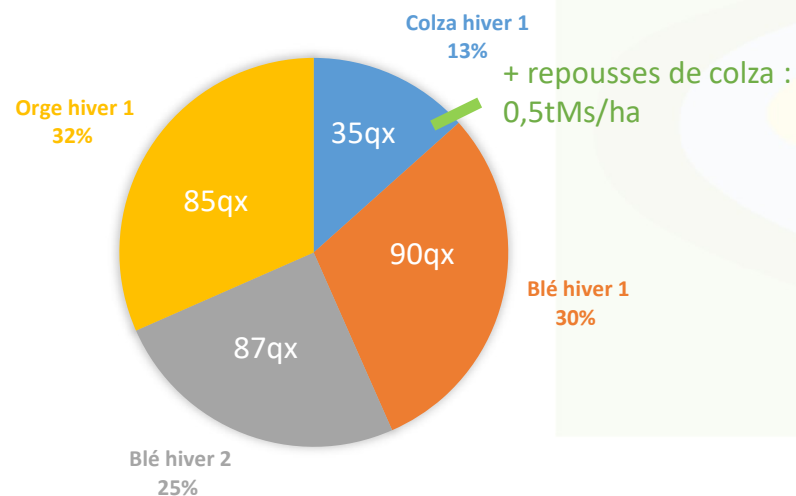
Amélioration de la fertilité des sols

CAS PRATIQUES DES LEVIERS D'ACTION

Exemple

👉 Situation initiale de l'exploitation :

ROTATION CÉRÉALIÈRE CLASSIQUE



Systeme cerealier classique en Limon moyen/caillouteux

- Rendements normaux
- Pas de restitutions des résidus
- Pas de couverts intermédiaires (sauf repousses de colza : 0,5 tMs/ha)
- Labour total sauf blé 1
- Travail du sol max à 20 cm
- ITK classique
- Pratiques de fertilisation minérale classique
- Pas de produits organiques

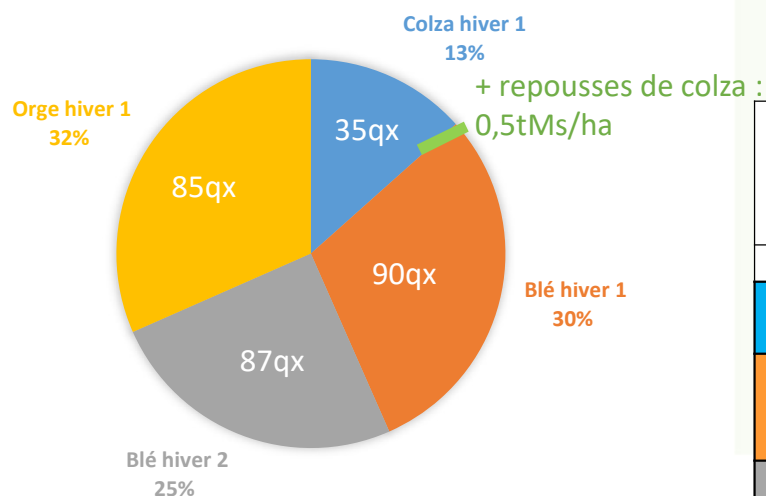
Systèmes de culture de l'exploitation	Données sol								
	Nom du système de culture	Teneur en Argile décarbonaté	Teneur en CaCo3	Taux de cailloux	pH _{eau}	Densité apparente	Teneur en Corg	Teneur en N total	C/N de la MO du sol
<i>libre</i>	<i>g/kg</i>	<i>g/kg</i>	<i>%</i>	<i>décimal</i>	<i>g/cm3</i>	<i>g/kg</i>	<i>g/kg</i>	<i>décimal</i>	<i>cm</i>
limon moyen	184,00	2,10	15,00	7,2	1,5	11,78	1,12	10,5	30

CAS PRATIQUES DES LEVIERS D'ACTION

Exemple

👉 **Situation initiale de l'exploitation :** Système céréalier classique en Limon moyen/caillouteux

ROTATION CÉRÉALIÈRE CLASSIQUE



- Pratiques de fertilisation minérale classique

	Type de l'engrais minéral apporté	Quantité de N apporté	Quantité de P2O5 apportée	Quantité de K2O apportée
	<i>liste</i>	<i>kgN/ha</i>	<i>kgP2O5/ha</i>	<i>kgK2O/ha</i>
CP - Colza hiver1	Solution azotée (30%N)	200	0	0
	PK	0	45	28
CP - Blé hiver1	Solution azotée (30%N)	140	0	0
	PK	0	9	18
	Ammonitrate (33.5%N)	40	0	0
CP - Blé hiver2	Solution azotée (30%N)	220	0	0
	PK	0	18	36
CP - Orge hiver1	Ammonitrate (33.5%N)	127	0	0
	Solution azotée (30%N)	43	0	0
	PK	0	18	36

Agro-Transfert
Ressources et Territoires

CAS PRATIQUES DES LEVIERS D'ACTION

• Déclinaison en 4 projets :

1) Projet n1 :

- Passage de la solution azotée → ammonitrate
- Réduction de la dose : - 20 U (sans impact sur le rendement)

2) Projet n2 :

- Réduction de la dose de – 30 à – 40 U avec impact sur les rendements de 5 à 10 qx/ha

3) Projet ci :

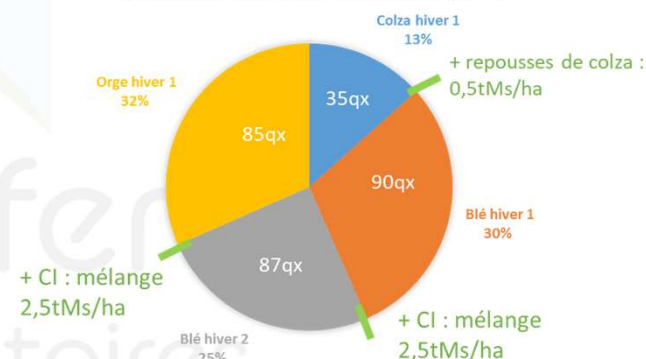
- Ajour CI entre blé 1 et blé 2
- Ajout CI entre blé 2 et orge

4) Projet sd :

- Suppression des déchaumages/labours
- Semis combiné-> semoir semis direct
- NON labour partout profondeur max 1cm

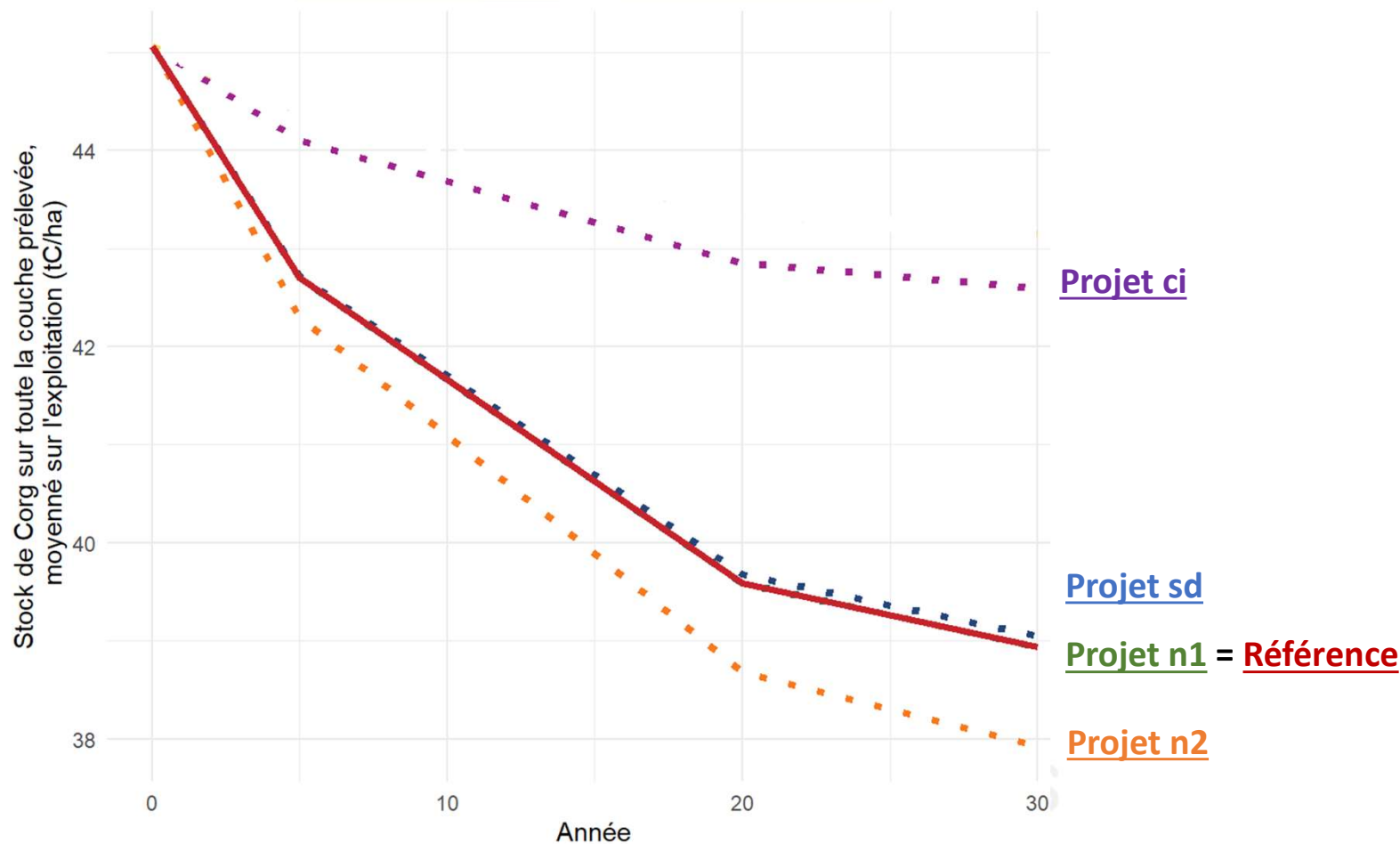
Pratiques modifiées (projet)

ROTATION CÉRÉALIÈRE CLASSIQUE AVEC CI

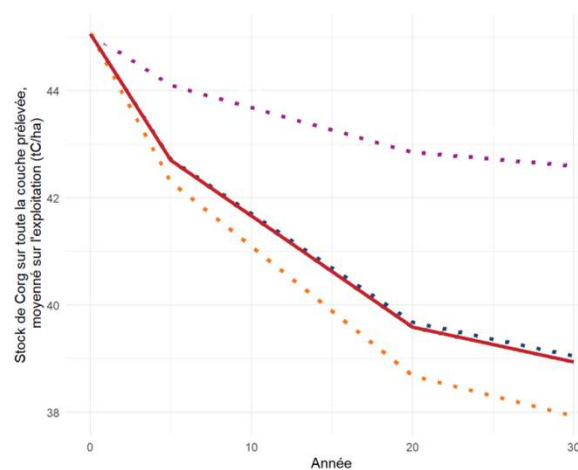
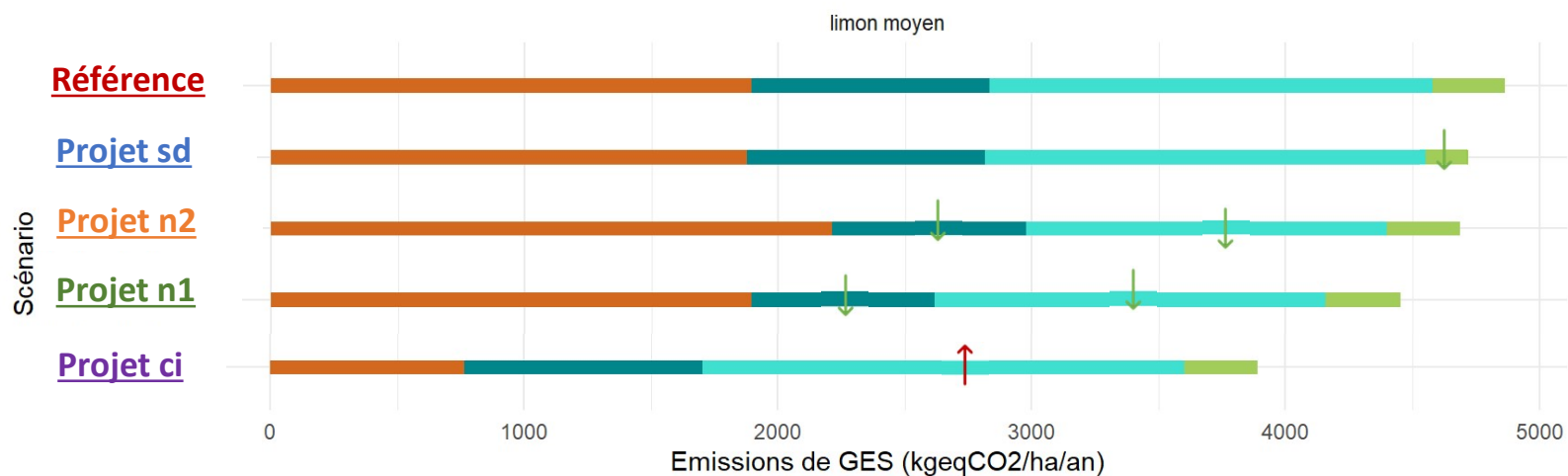


RÉSULTATS DES PROJETS – BILAN C

- **Projet n1 :**
 - Solution azotée → ammonitrate
 - Réduction de la dose sans impact sur le rendement
- **Projet n2 :**
 - Réduction de la dose N avec impact sur rendement
- **Projet ci :**
 - Ajour CI entre blé 1 et blé 2; entre blé 2 et orge
- **Projet sd :**
 - Suppression des déchaumages/labours
 - Semis combiné-> semoir semis direct
 - NON labour partout profondeur max 1cm



RÉSULTATS DES PROJETS – BILAN GES

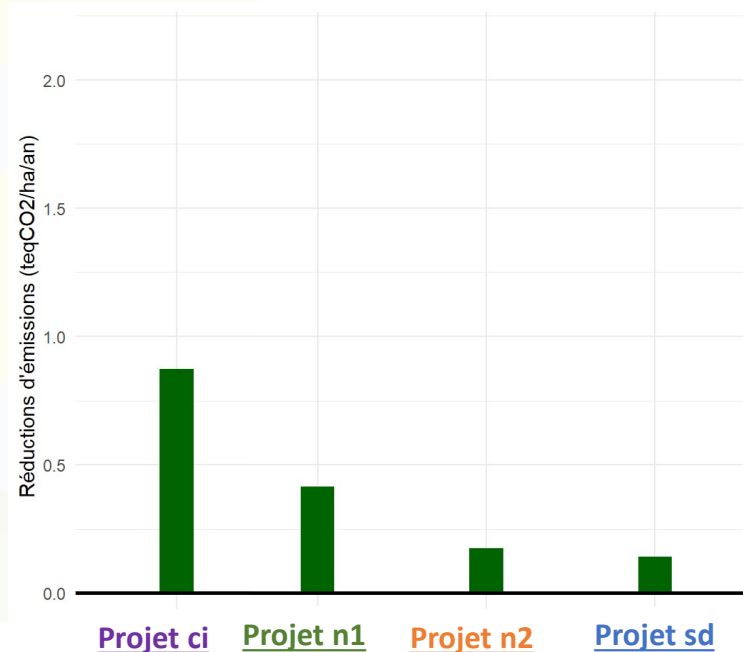
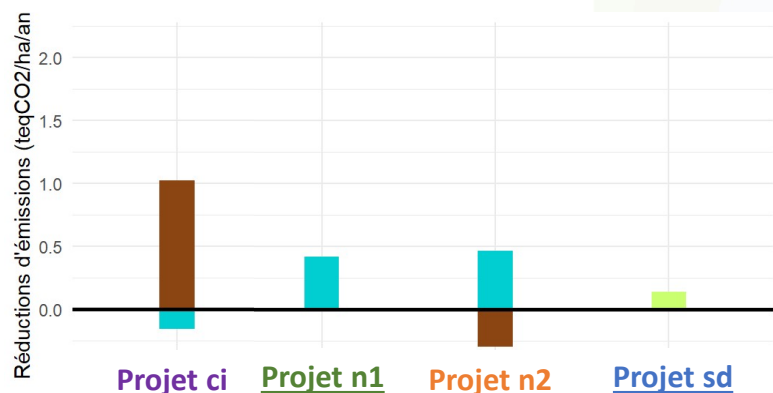


Types d'émissions

- Emissions séquestrées par le stockage de carbone
- Emissions induites par le déstockage de carbone
- Emissions directes liées à la fertilisation
- Emissions indirectes liées à la fertilisation
- Emissions directes et indirectes liées aux combustibles (si méthode C)

RÉSULTATS DES PROJETS – RÉDUCTIONS D'ÉMISSIONS

/!\ Forte dépendance au système initial !



- RE stockage
- RE fertilisation
- RE combustible - méthode A ou B
- RE combustible - méthode C

teqCO2

RE (ha/an)	0.9	0.4	0.2	0.1
RE (/an)	90	40	20	10
CC (€/an)	3 600	1 600	800	400
CC(€)	18 000	8 000	4 000	2 000

X SAU (100ha)
 X prix du CC (40€)
 X 5 ans

Si pas de rabais, entre 2 000 € et 18 000 € sur 5 ans sur toute la ferme

CONCILIER LES LEVIERS STOCKAGE DE CARBONE ET RÉDUCTION GES

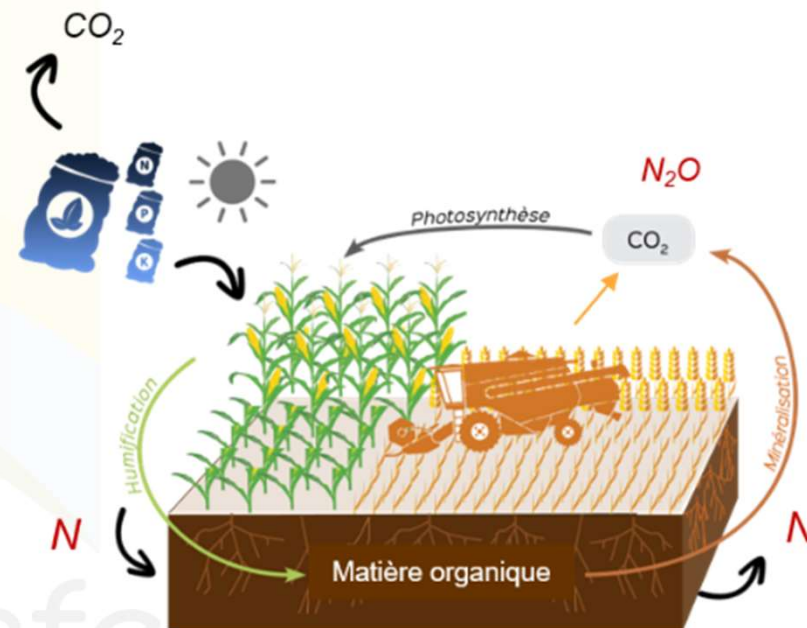
→ REFLEXION GLOBALE



→ Augmenter les entrées de Corg par :

- plus d'intensification des couverts d'interculture (vigilance sur l'augmentation des émissions brutes directes)
- Introduire des cultures ayant des résidus importants (dérobées, fourrage,...)
- Introduire des produits organiques « frais » (fumier, lisier, digestats)

→ Ces solutions pourraient permettre aussi de **réduire les intrants minéraux** pour **réduire le bilan GES**, mais attention aux possibles **effets antagonistes**



Agro-Transfert
Ressources et Territoires

EN COHÉRENCE AVEC LES AUTRES ENJEUX DE L'EXPLOITATION

Transition « bas carbone » rime avec *transition agroécologique*



Solagro / graphisme : lesubouamer.com ©Creative Commons



**MERCI DE VOTRE
ATTENTION !**

Agro-Transfert
Ressources et Territoires



Agro-Transfert Ressources et Territoires

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.org

