

Unité Mixte de Recherche Agronomie

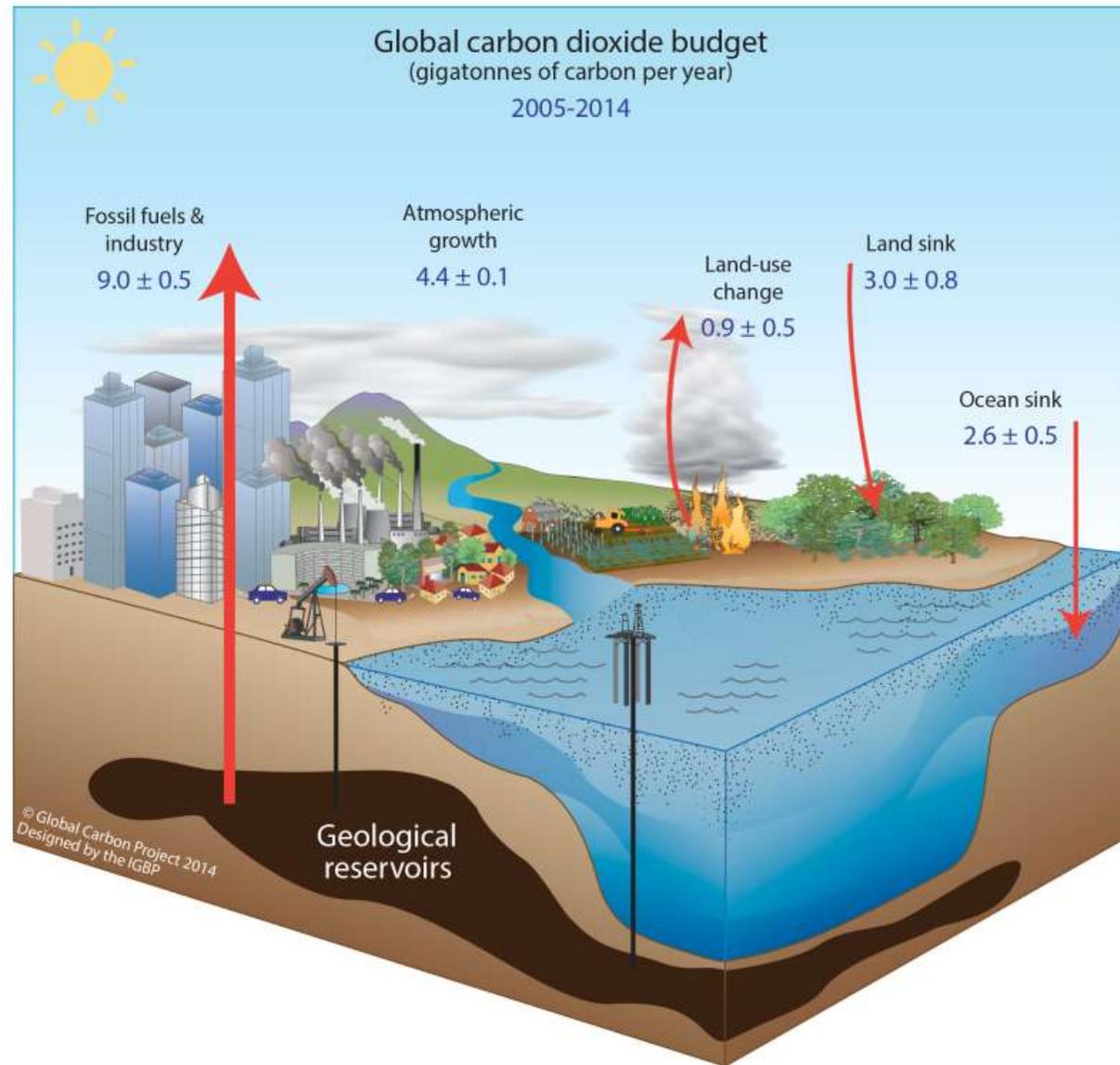
Unité Expérimentale Grandes Cultures Versailles-Grignon

Quels systèmes de culture pour stocker du carbone dans le sol et améliorer le bilan GES ?

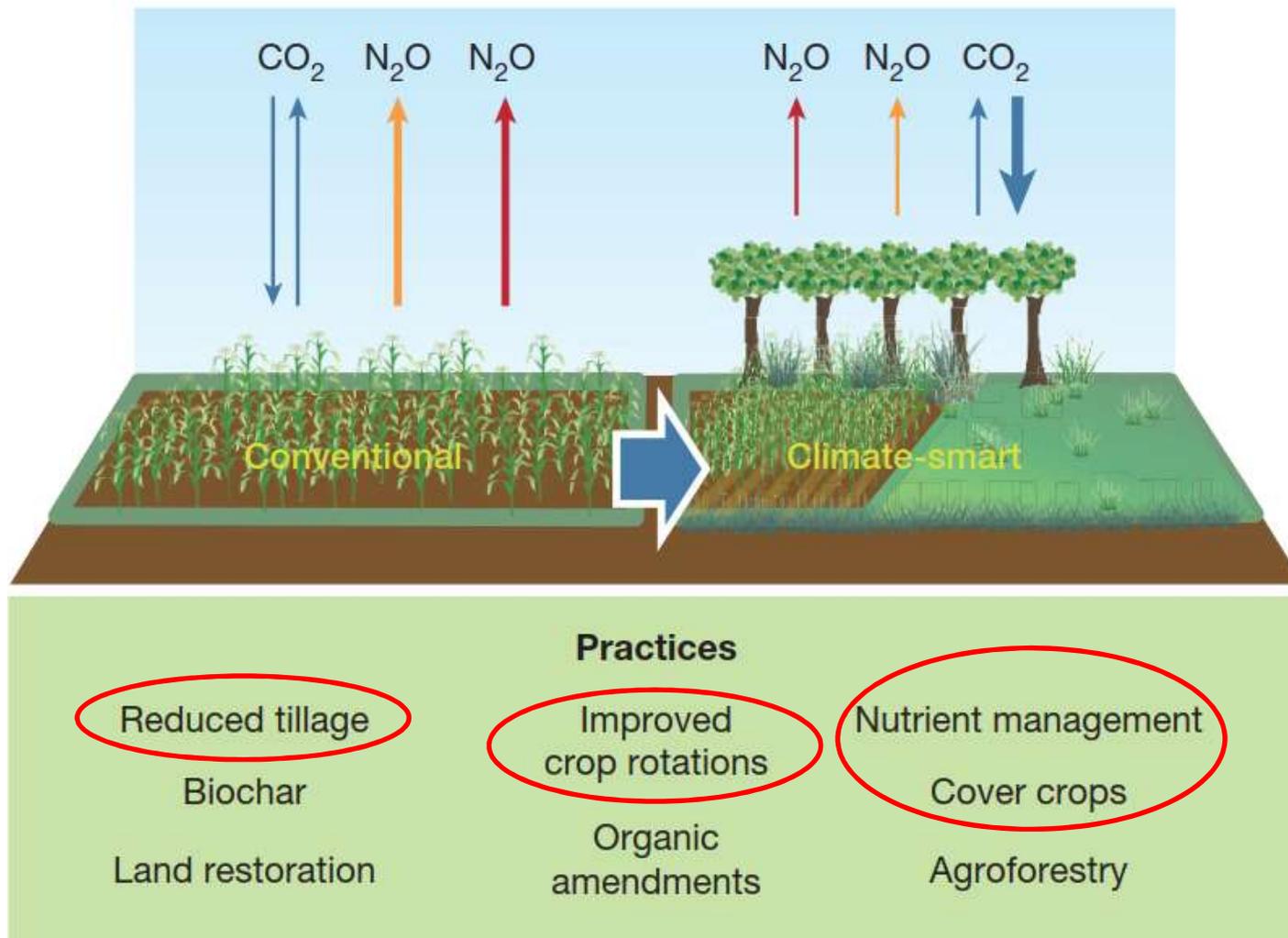
Bruno MARY, UPR Agro-Impact



Flux de carbone (Gt/an) dans la biosphère



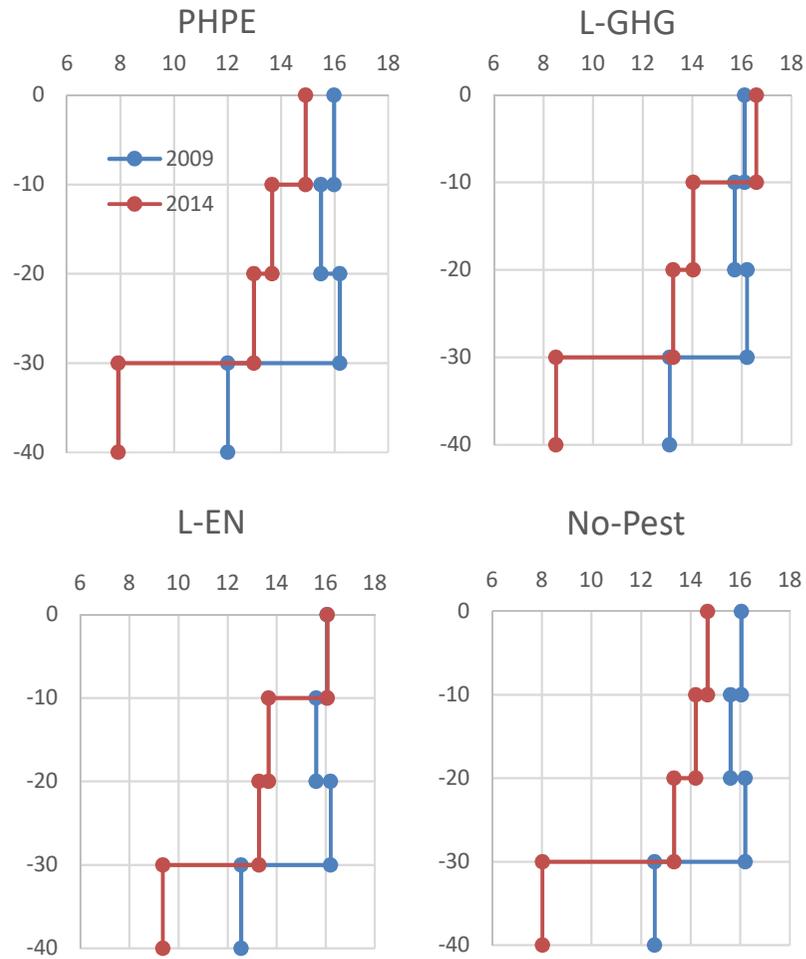
Des systèmes agricoles vertueux pour les GES ?



Le dispositif SIC : leviers techniques

PHPE	0Pest	GES-	EN-
Allongement de la rotation	Allongement de la rotation	Allongement de la rotation	Allongement de la rotation
Diversification de la rotation céréales à paille (3/5) oléagineux (1/5) légumineuse (1/5) Périodes de semis hiver (4/5) printemps (1/5)	Diversification de la rotation céréales (3+1maïs/6) légumineuse (1/6) Périodes de semis Hiver (3/6) printemps (3/6)	Diversification de la rotation céréales (3+1maïs/6) oléagineux (1/6) légumineuse (1/6+3CI) Périodes de semis hiver (4/6) printemps (2/6)	Diversification de la rotation céréales à paille (3/5) oléagineux (1/5) légumineuse (1/5 + 1associée + 1 CI) Périodes de semis Hiver (4/5) printemps (1/5)
Variétés résistantes	Variétés résistantes	Variétés résistantes	Variétés résistantes
Mélanges variétaux	Mélanges variétaux	Mélanges variétaux	Mélanges variétaux
1 labour / 5 ans Quelques travail du sol	4 labours / 6 ans Nombreux travail du sol superficiel	Non travail du sol	Non travail du sol
Quelques interventions de désherbage mécanique	Désherbage mécanique	Aucun désherbage mécanique	Aucun désherbage mécanique
Restitution de toutes les pailles	Restitution des pailles excepté pour le chanvre	Restitution de toutes les pailles	Restitution des pailles excepté pour le lin
Production réduite / apports faible des pesticides de la fertilisation azotée	Réduction de la production / sdc PHPE	Production = PHPE	Réduction de la production / sdc PHPE

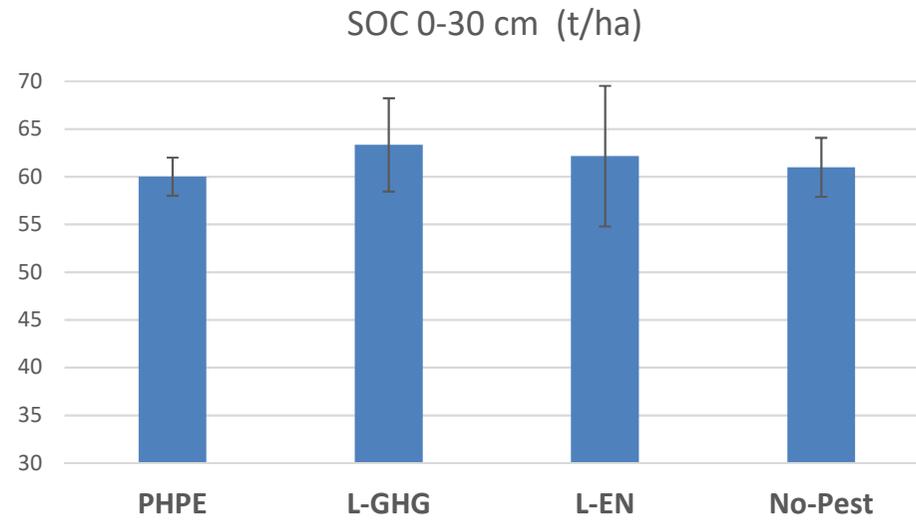
Profils de distribution du C dans le sol en 2009 et 2014 – Essai SIC



➤ Très forte concentration initiale en C pour ce type de situation (16 g/kg)

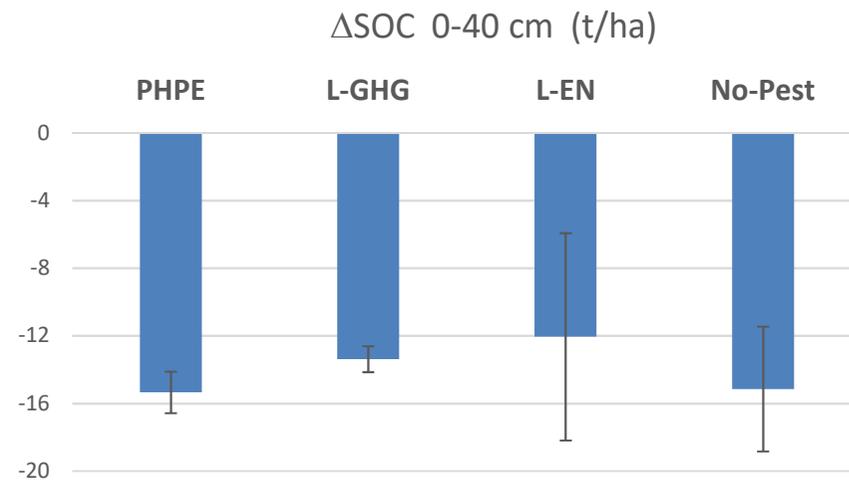
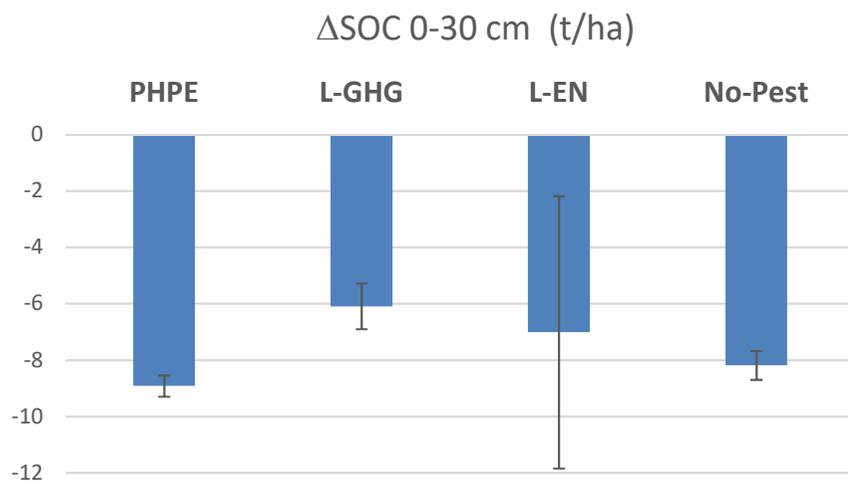
➤ Très forte diminution dans tous les systèmes

Stock de C en 2014



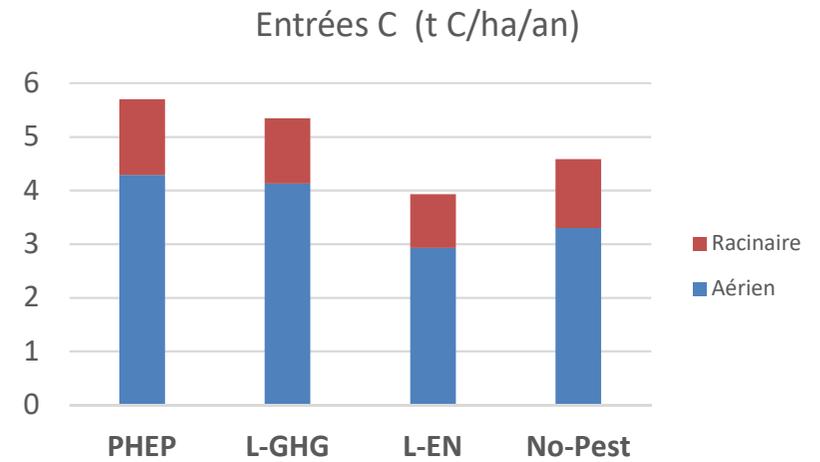
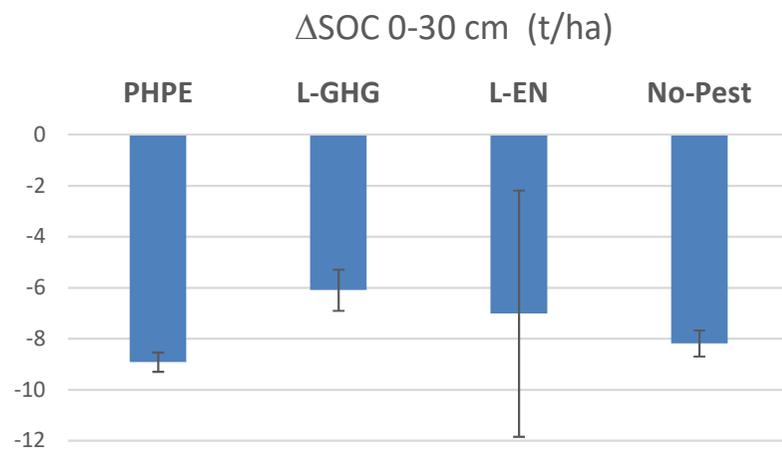
Pas de différence significative entre systèmes

Variations de stock C de 2009 à 2014



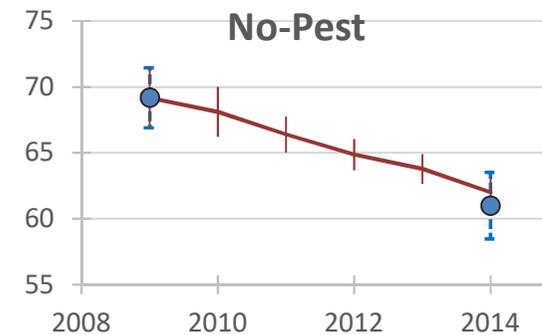
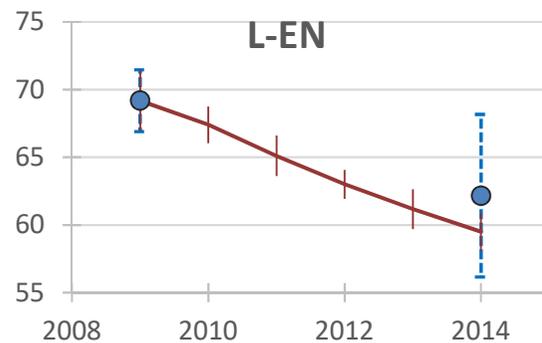
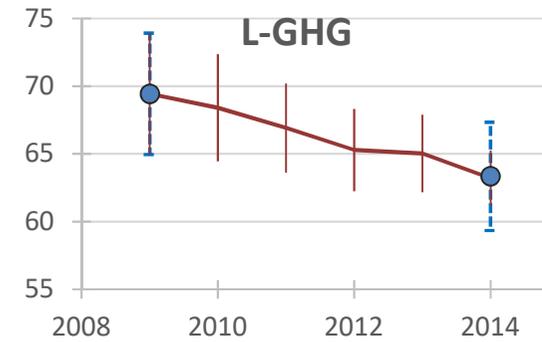
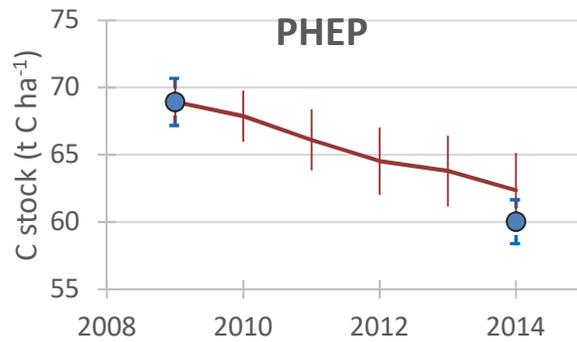
Pas de différence significative entre systèmes

Variation de stock de 2009 à 2014



Peu de différence dans entrées de C au sol

Simulation des stocks avec le modèle AMG



On peut rendre compte de l'évolution du stock sur la couche 0-30 cm en supposant une très forte proportion de C actif au départ de l'essai ($C_s/C_o = 42\%$)

Cohérent avec forts apports de PRO antérieurement à l'essai

Comparaison avec une situation classique via le modèle AMG

	Stock initial	Fraction stable	Stock stable	Stock actif
	Co	Cs/Co	Cs	Ca
	t/ha	%	t/ha	t/ha
Picardie - IdF	45	65%	29	16
<u>Essai SIC</u>	<u>69</u>	<u>42%</u>	<u>29</u>	<u>40</u>

L'hypothèse « très fort impact de l'apport de PRO avant l'essai » est plausible

Elle suppose cependant que les PRO aient été apportés en très forte quantité (?)

Le surplus N (entrées – sorties)

Données approximatives (à affiner) kg N/ha/an

	N engrais	N fixé	N exporté	N surplus
PHPE	56	21	120	-33
L-GHG	68	23	122	-21
L-EN	19	21	96	-47
No-Pest	35	17	114	-52

Le surplus N est négatif

Si la stoechiométrie (C, N) de la MO est maintenue, le déstockage de C est obligatoire

Conclusions sur l'essai SIC

Vis à vis du stockage de C, les SCI ne se sont pas différenciés significativement

Aucun d'entre eux n'a permis de limiter la chute du stock de MO

Cette chute (-18 à -26 ‰/an) est probablement liée à l'histoire de la parcelle

Un tel stock est très loin du niveau d'équilibre attendu avec le contexte pédo-agro-climatique du site, donc impossible à maintenir

Le surplus N négatif a pu contribuer au déstockage de C

Le premier facteur explicatif du stockage /déstockage est le stock initial (*Goidts & van Wesemael, 2007; Zhao et al, 2013; Luo et al, 2017; Clivot et al, 2019*)

Intérêt de refaire une campagne de mesure SOC à t=10 ans, notamment pour tester l'absence d'effet du travail du sol (L-GHG et L-EN)

Intérêt de synthétiser les mesures d'émissions de N₂O pour établir le bilan GES

Dispositif “La Cage”



ELSEVIER

Contents lists available at [ScienceDirect](#)

Agriculture, Ecosystems and Environment

journal homepage: www.elsevier.com/locate/agee

Alternative arable cropping systems: A key to increase soil organic carbon storage? Results from a 16 year field experiment

Bénédicte Autret^{a,b,*}, Bruno Mary^a, Claire Chenu^b, May Balabane^c, Cyril Girardin^b, Michel Bertrand^d, Gilles Grandeau^d, Nicolas Beaudoin^a



ELSEVIER

Contents lists available at [ScienceDirect](#)

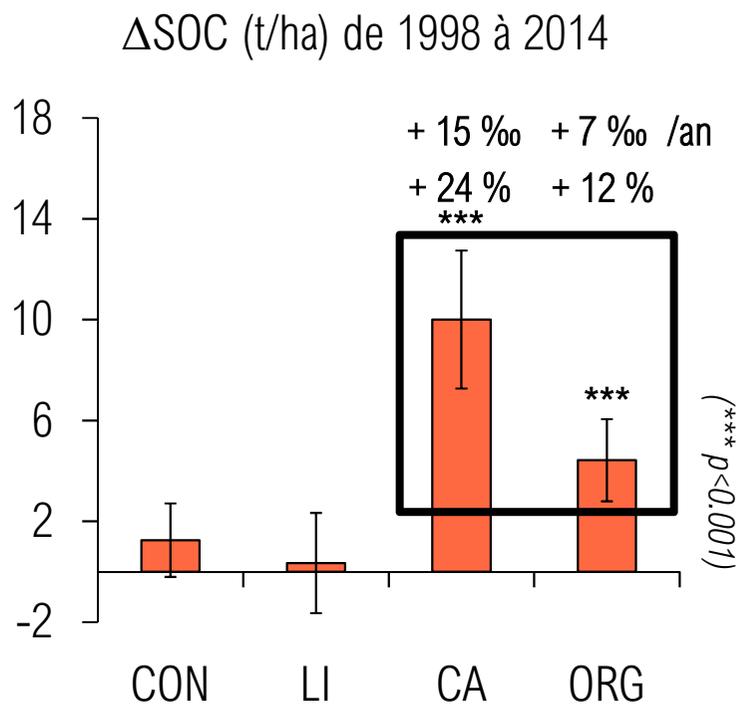
Geoderma

journal homepage: www.elsevier.com/locate/geoderma

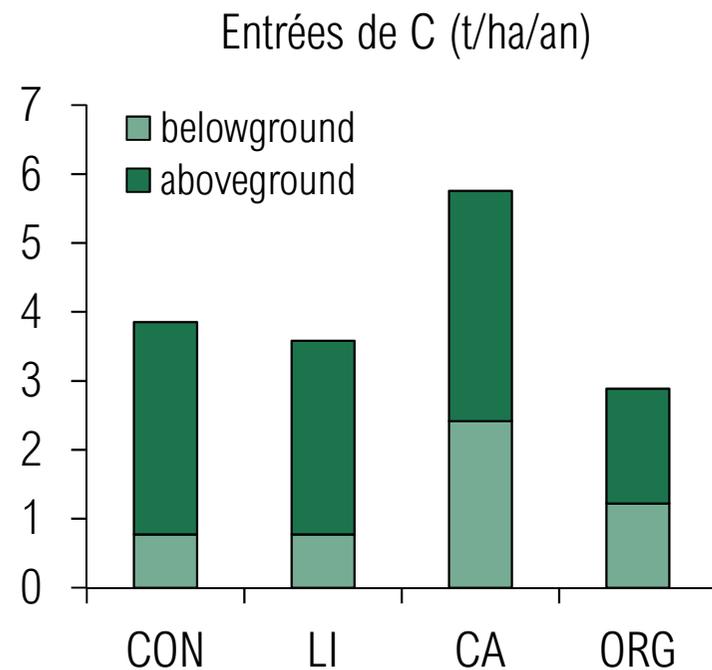
Can alternative cropping systems mitigate nitrogen losses and improve GHG balance? Results from a 19-yr experiment in Northern France

Bénédicte Autret^{a,*}, Nicolas Beaudoin^a, Lucia Rakotovololona^a, Michel Bertrand^b, Gilles Grandeau^b, Eric Gréhan^a, Fabien Ferchaud^a, Bruno Mary^a

Variation des stocks de C



► Fort stockage en CA et ORG



► Stockage relié aux entrées souterraines

Le stockage de C en agriculture de conservation : un effet du non travail du sol ou des couverts ?

Bon nombre de résultats récents en Europe (e.g. Dimassi et al, 2013, 2014) montrent que **la suppression du travail du sol ou du labour** :

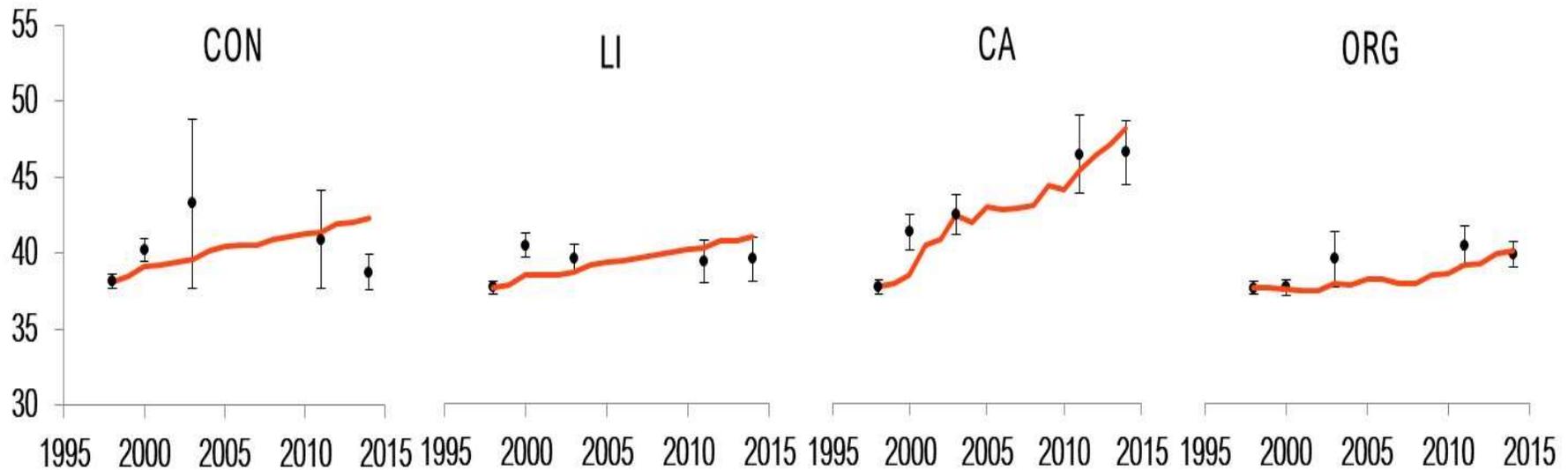
- permet d'augmenter le stock de carbone en climat sec (Espagne)
- ne conduit pas à stocker du carbone en climat tempéré (Boigneville, ...)

Une majorité de résultats d'expérimentations au champ et au laboratoire (e.g. Constantin et al, 2010) montre que **l'introduction de couverts végétaux** :

- conduit à un stockage de carbone très significatif, même pour des couverts jeunes
- quasi proportionnel à la biomasse végétale produite
- avec un fort "rendement humique"

Evolution des stocks de C

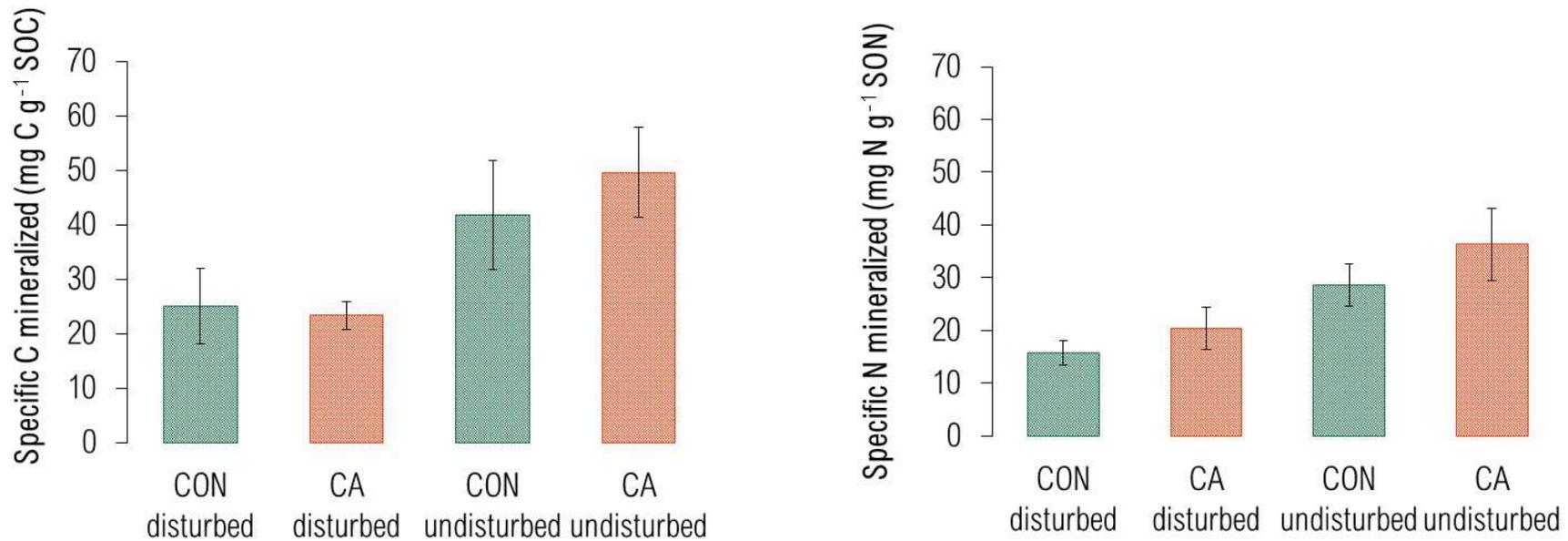
Stocks (t C ha⁻¹) sur 0-30 cm



On arrive à bien reproduire l'évolution des stocks :

- sans considérer d'effet spécifique du travail du sol
- en considérant l'effet des couverts (luzerne)

Minéralisation C-N comparée en système CA et CON en sol remanié ou non remanié

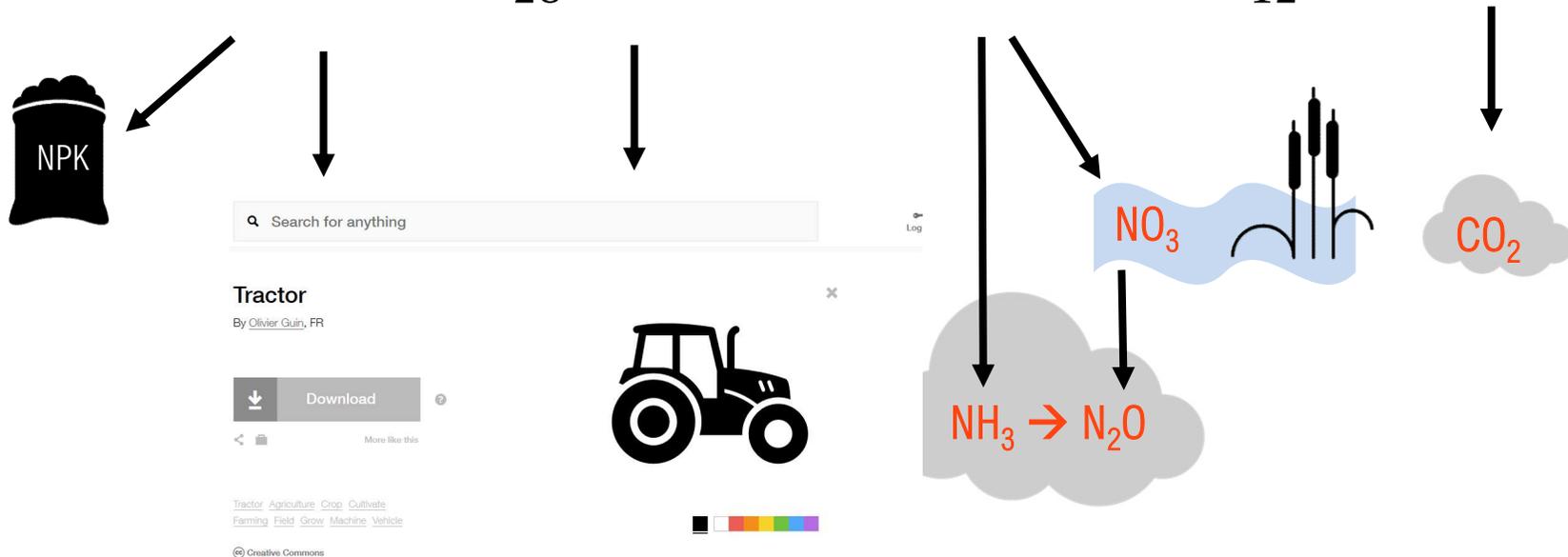


- Taux de minéralisation équivalents en conventionnel (CON) et agr. conservation (CA)
- Pas d'effet du travail du sol sur la minéralisation
- Stockage de C attribué majoritairement aux couverts

Calcul du bilan Gaz à Effet de Serre (GES)

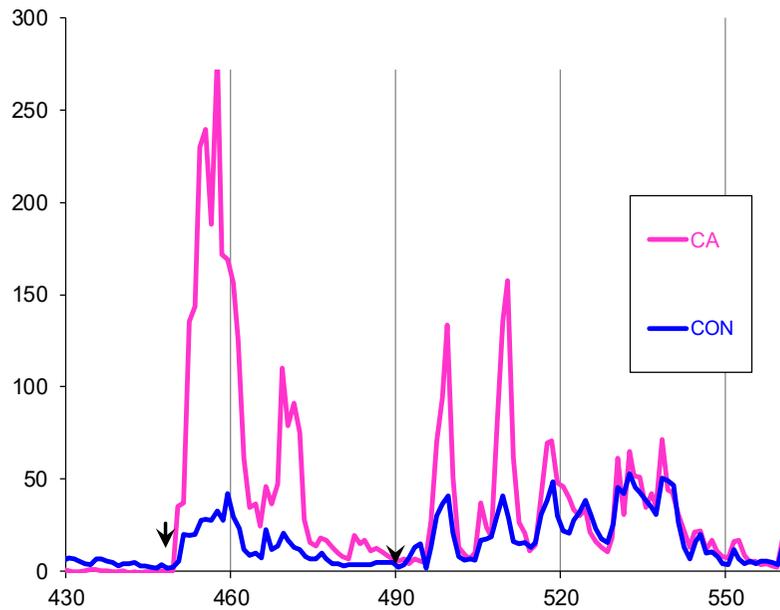
Exprimé en équivalent CO₂

$$GHG_b = F + M + 296 \cdot \frac{44}{28} (\text{direct } N_2O_e + \text{indirect } N_2O_e) - \frac{44}{12} SOC_{storage}$$

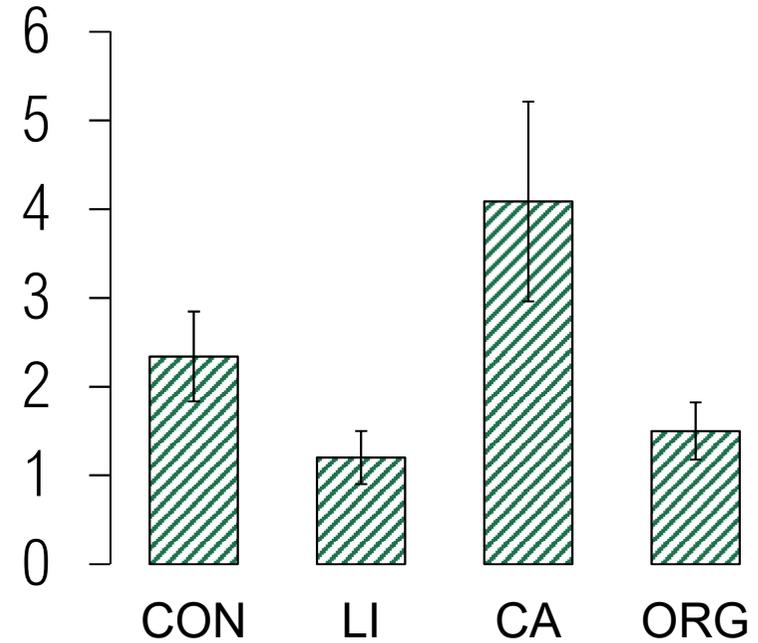


Emissions de N₂O (mesurées)

Flux journalier – blé 2016
g N ha⁻¹ jour⁻¹

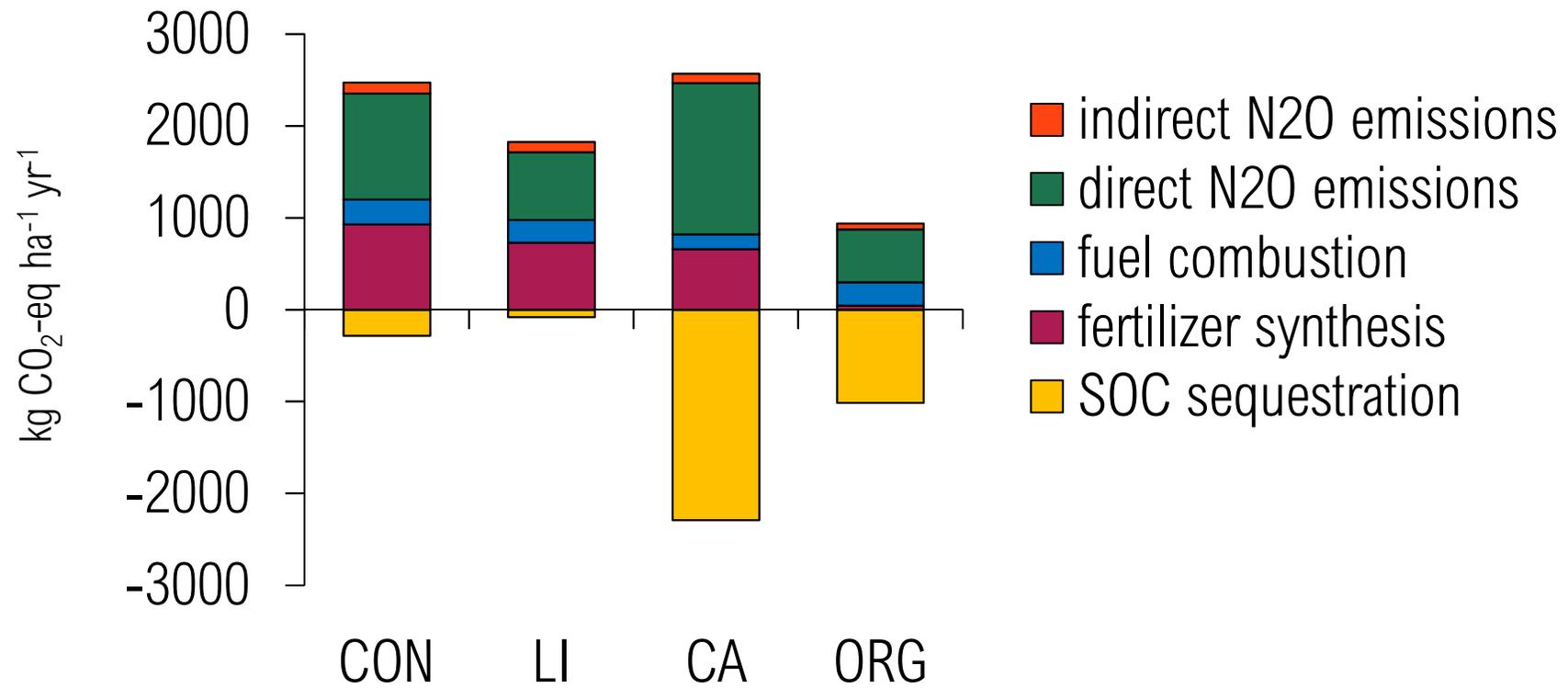


Flux cumulé (2014-2017)
kg N ha⁻¹ an⁻¹

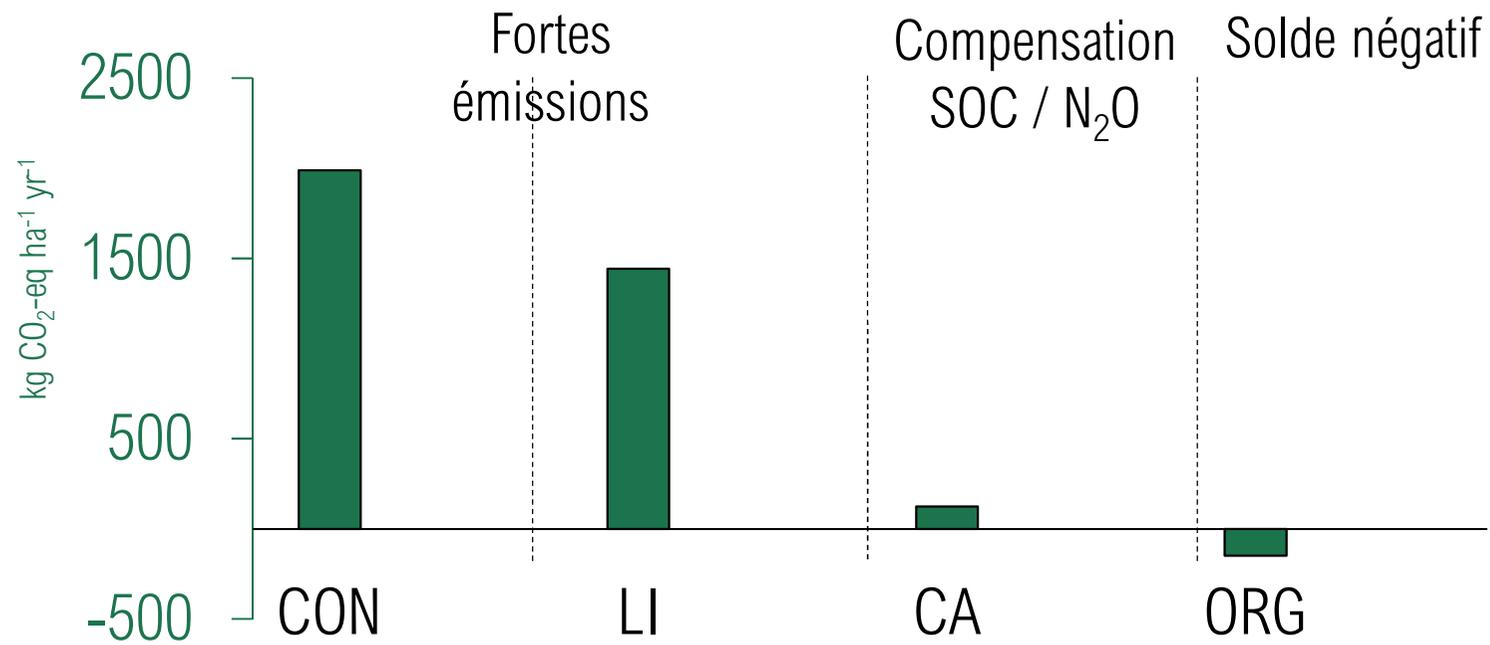


Pertes gazeuses nettement plus fortes en CA que dans les autres systèmes, attribuées au mulch végétal

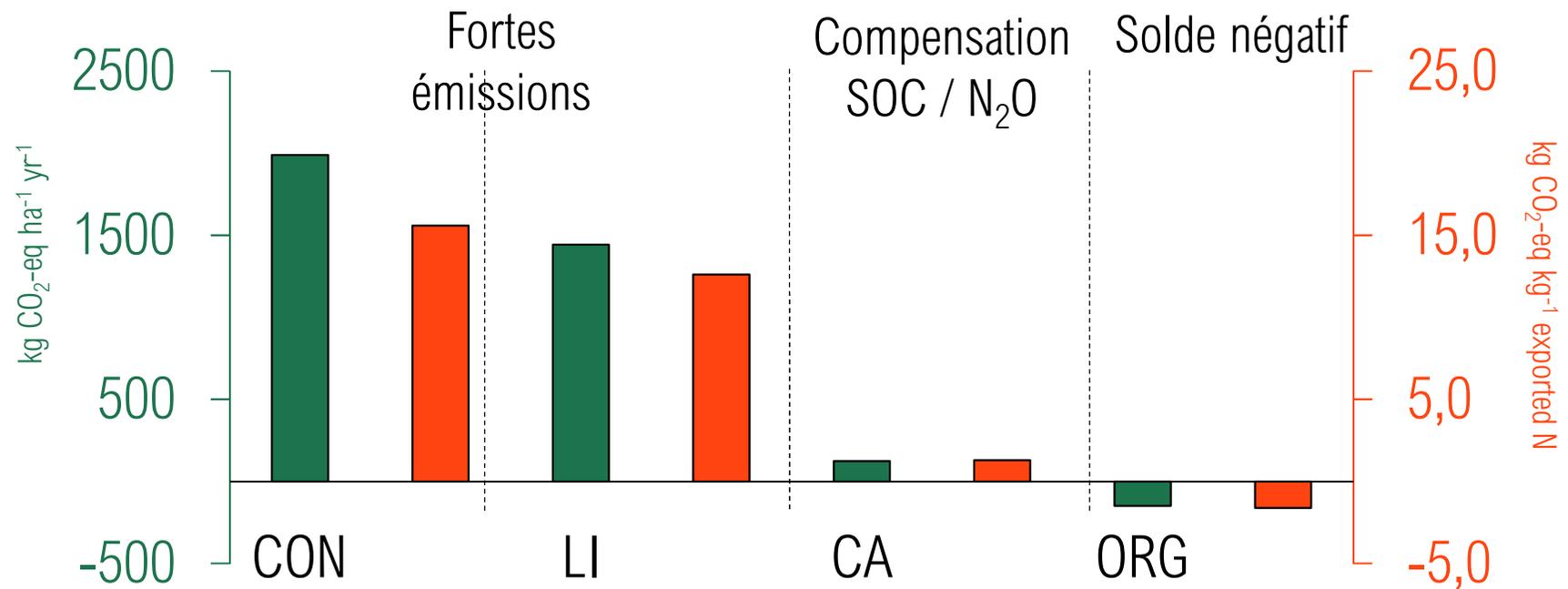
Composantes du bilan GES



Bilan net de GES



Bilan net de GES



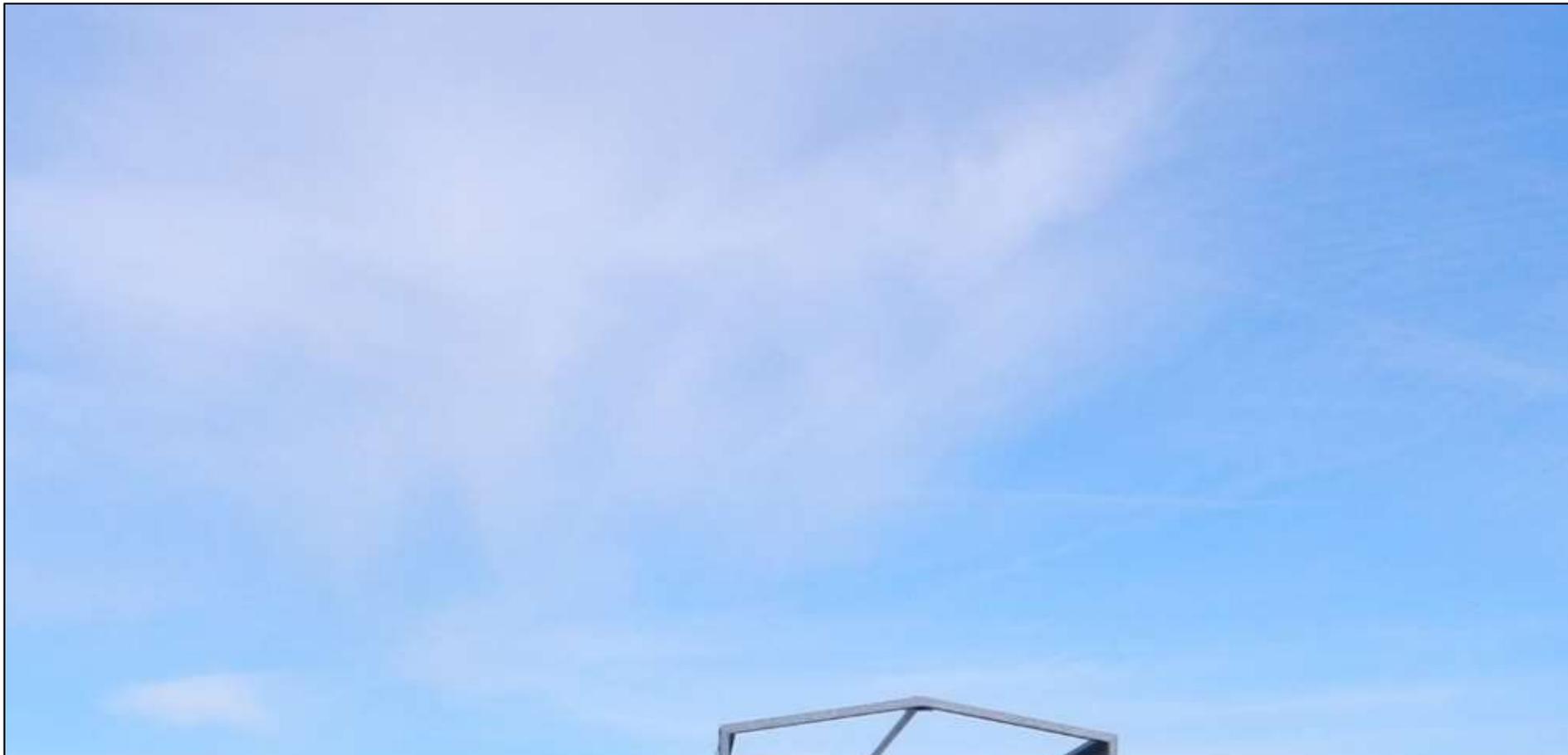
Même classement du bilan GES :
par unité de surface ou par unité d'azote exporté

Conclusions

- **Aucun système de culture n'a toutes les bonnes propriétés vis-à-vis de la production, des fuites de nitrate, des émissions gazeuses et du stockage de carbone**
- **Il peut y avoir une grande diversité de systèmes à l'intérieur d'une même appellation (agriculture de conservation, biologique)**
- **Les impacts environnementaux (NO_3 , SOC, N_2O , ...) doivent être tous considérés et pas pris isolément**
- **Le stockage de carbone 4‰ n'est pas le seul objectif à atteindre car ce n'est pas le seul déterminant du bilan GES**
- **Le stockage de C atteint une limite (30-50 ans) alors que les autres émissions (CO_2 , N_2O) se poursuivent dans le temps**
- **Les couverts (notamment CI) sont win/win vis-à-vis de la production agricole, des fuites de nitrate et du stockage de C**

Conclusions

- La suppression du travail du sol n'améliore pas le stockage de carbone, mais peut stimuler les émissions de N_2O , notamment à cause des mulchs
- Le stockage de carbone requiert de l'azote, nécessite un surplus $N > 0$. Réduire les pertes gazeuses azotées et stocker du carbone peut donc être antagoniste
- Un système favorable semble consister en l'utilisation de légumineuses pérennes (en culture principale et en couvert), car elles permettent :
 - de générer un surplus N positif
 - de fournir de l'azote minéral à court et long terme
 - d'apporter simultanément du C qui favorise le stockage



La Cage avril 2014



Merci de votre attention