



Contribution de l'agriculture à la réduction des GES pour atteindre la neutralité carbone en 2050 en France

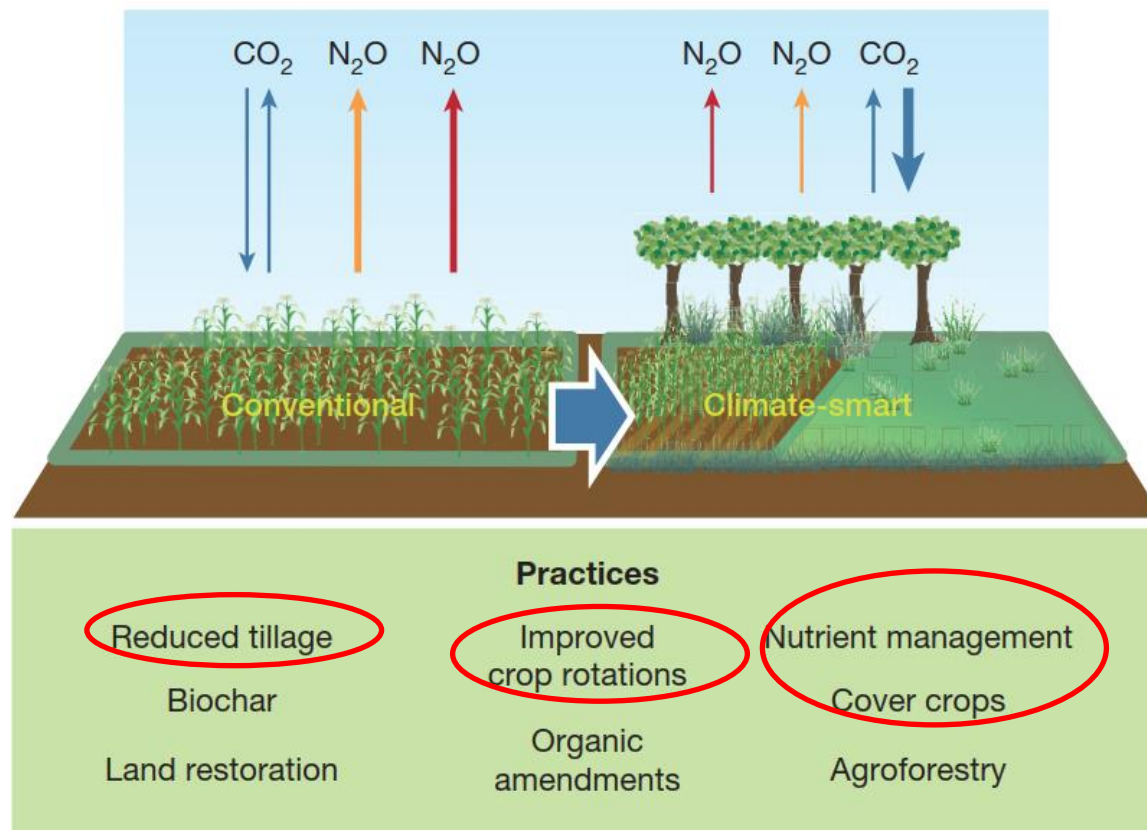


Les grandes cultures et la réduction des émissions de protoxyde d'azote (N_2O)

Marie-Hélène Jeuffroy,
Michel Bertrand, Bruno Mary et Caroline Colnenne-David



Ques pratiques pour des systèmes de culture vertueux pour les GES ?

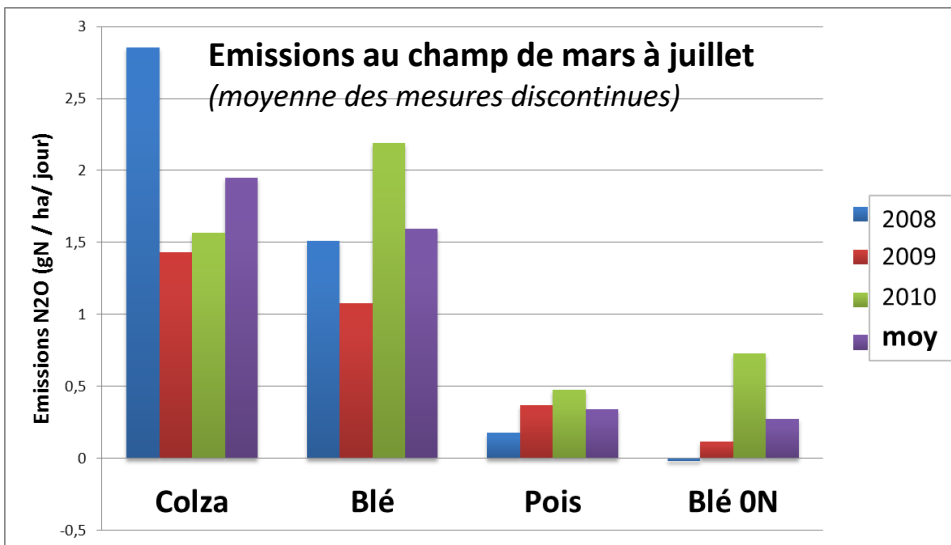


Paustian et al., 2016

Un effet positif des légumineuses sur la réduction des émissions de GES

Un **effet fort de la fertilisation N** de la culture en place sur les émissions printanières

Le **pois** se comporte comme **le blé non fertilisé** : absence d'émissions liées à la fixation azotée

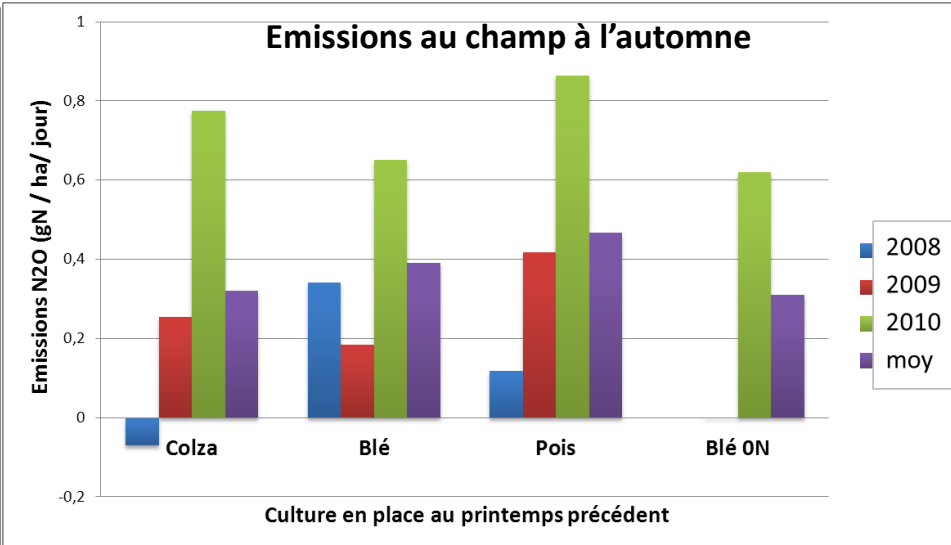
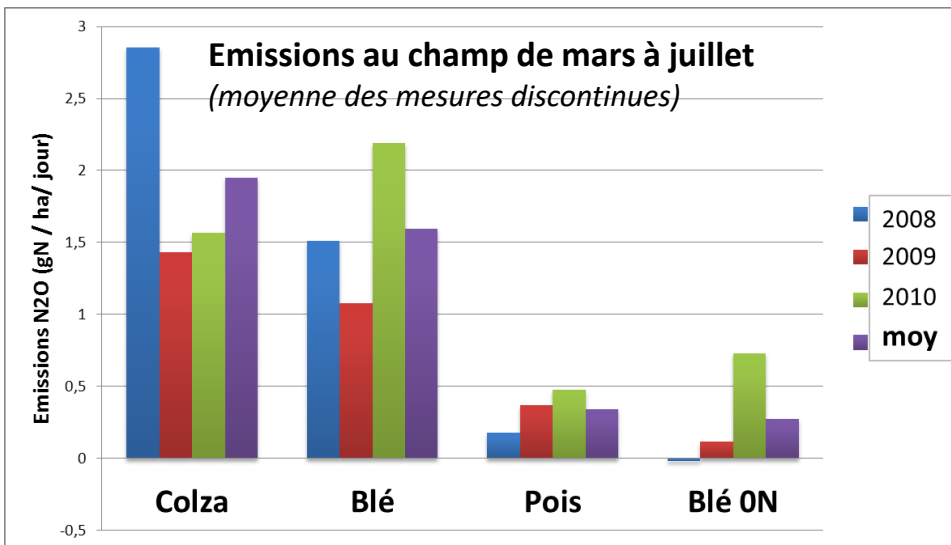


Expérimentation à Grignon (78) pendant 3 ans

(Jeuffroy et al., 2013)

Un effet positif des légumineuses sur la réduction des émissions de GES

- Un **effet fort de la fertilisation N** de la culture en place sur les émissions printanières
- Le **pois** se comporte comme le **blé non fertilisé** : absence d'émissions liées à la fixation azotée
- Pas d'effet significatif du précédent cultural sur les émissions à l'automne

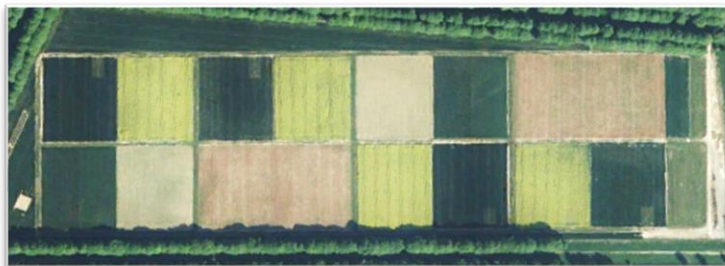


Expérimentation à Grignon (78) pendant 3 ans

(Jeuffroy et al., 2013)

Quelles émissions de GES dans différents SDC ? Dispositif La Cage

- Essai “système” initié en 1998, avec cultures annuelles



Versailles, France



Limon profond (Luvisol)



627 mm

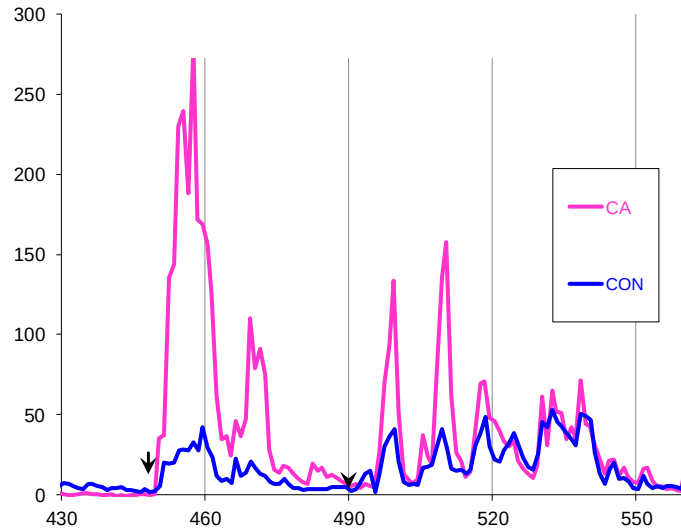


11.3 °C

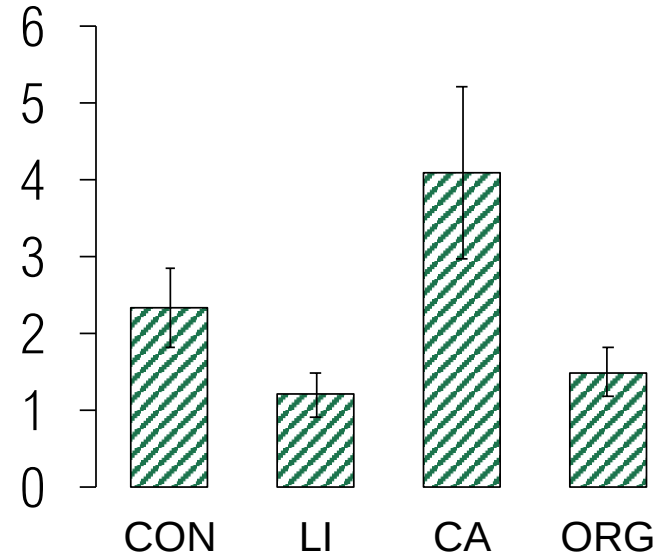
	Conventional CON	Low input LI	Conservation agriculture CA	Organic agriculture ORG
Rotation	Pois - blé – colza –blé	Pois - blé – colza –blé	Pois - blé – colza - blé	Blé – blé – luzerne - luzerne
Couvert			Luzerne	
Labour	1/an	1/2 ans	Semis direct	3/4 ans
Fertilisation N (kg N ha ⁻¹ an ⁻¹)	143	114	104	10

Dispositif La Cage : Emissions de N_2O mesurées en continu pendant 3 ans

Flux journalier
 $\text{g N ha}^{-1} \text{ jour}^{-1}$

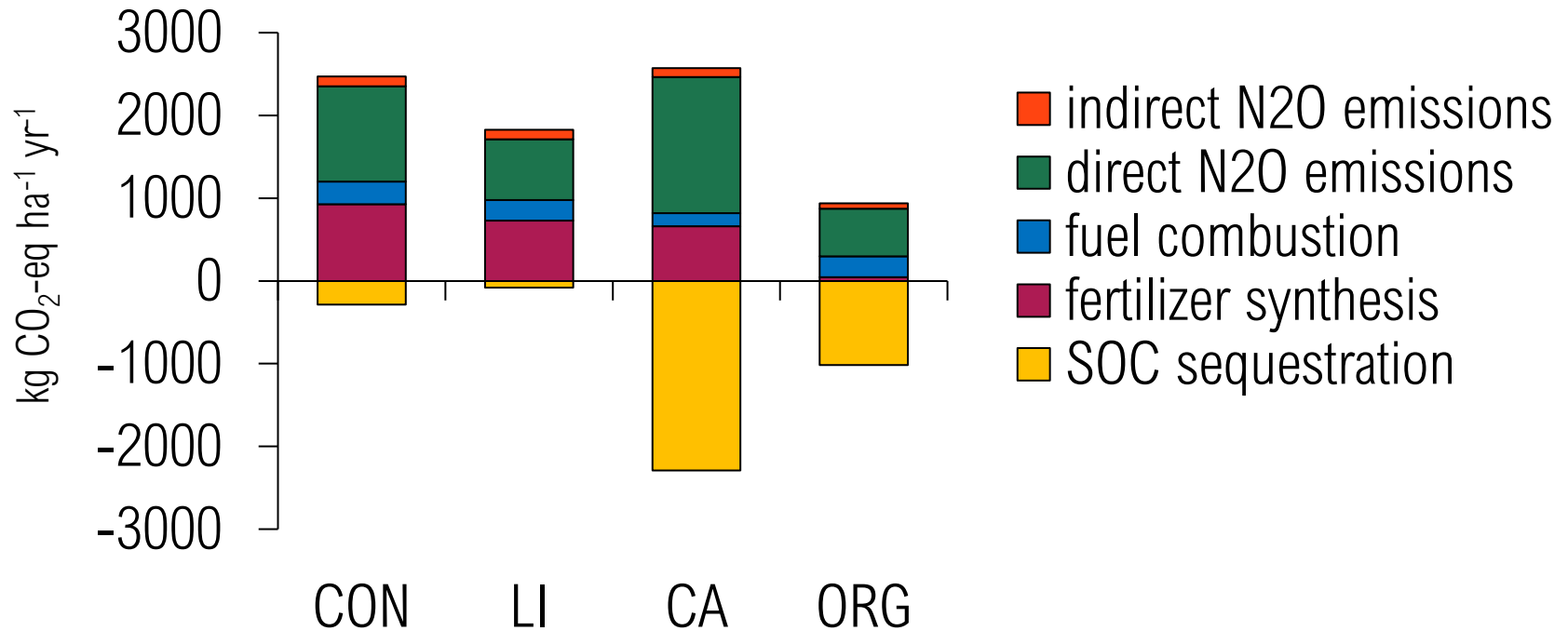


Flux cumulé
 $\text{kg N ha}^{-1} \text{ an}^{-1}$



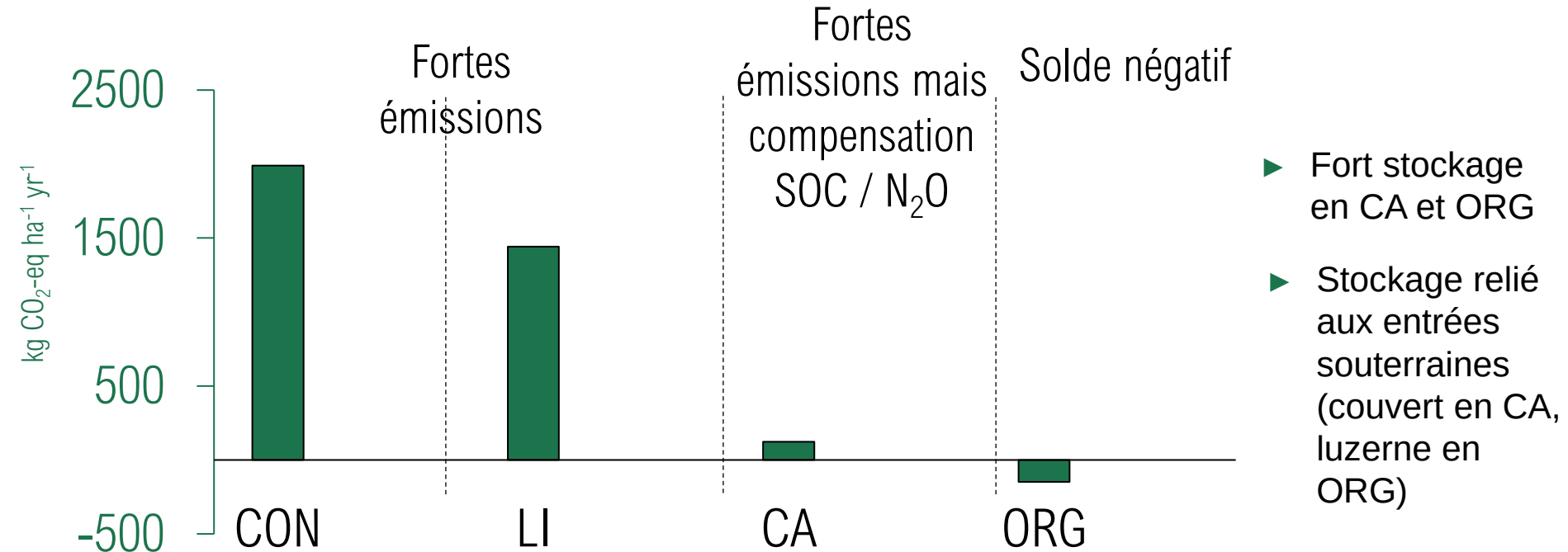
Pertes gazeuses nettement plus fortes en CA que dans les autres systèmes, attribuées au mulch vegetal (de légumineuse)

Composantes du bilan GES (kg eqCO₂ ha⁻¹ an⁻¹) dans l'essai La Cage



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

Bilan net (kg eqCO₂ ha⁻¹ an⁻¹) dans l'essai La Cage



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

Nombre de résultats récents en Europe montrent que **la suppression du travail du sol ou du labour** :

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

Une majorité de résultats d'expérimentations au champ et au laboratoire montre que **l'introduction de couverts végétaux** (CI, couverts plus longs) :

- 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"

Contraintes et objectifs assignés aux SDC innovants dans l'essai SIC

PHPE

Productif à hautes performances environnementales

Un set de critères environnementaux

Haute production

0Pest

Sans pesticide

Sans pesticide de synthèse ni produit autorisé en AB

Un set de critères environnementaux

Haute production

EN-

Energie moins

50% réduction consommation d'énergie fossile / système PHPE

Un set de critères environnementaux

Haute production

GES-

Gaz à effet de serre moins

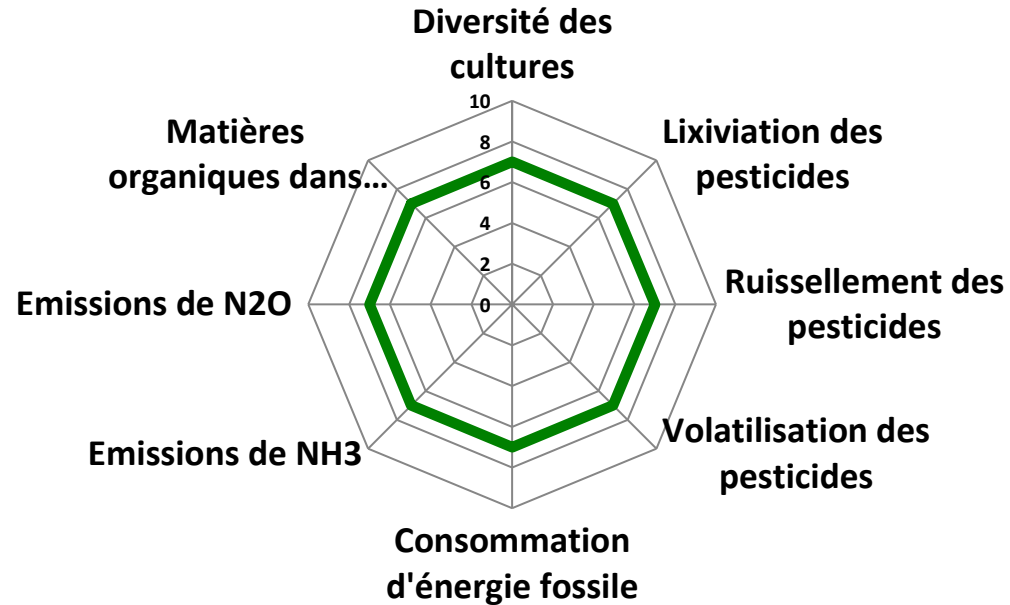
50% réduction émissions de GES / système PHPE

Un set de critères environnementaux

Haute production

Indicateurs agri-environnementaux calculés avec l'outil Indigo® (Bockstaller *et al.* 2008)

Valeurs minimales ($v \geq 7$)
pour satisfaire les critères
environnementaux



Dispositif expérimental

- ✓ Ferme AgroParisTech Grignon (78)
- ✓ 6.2 ha
- ✓ Sol : limon profond homogène
- ✓ 3 répétitions
- ✓ 4 systèmes de culture (sdci)
- ✓ Surface parcelle # 4000m²
- ✓ Début : 2008-2009
- ✓ Durée : 12 ans
- ✓ 2018-2019 : en cours

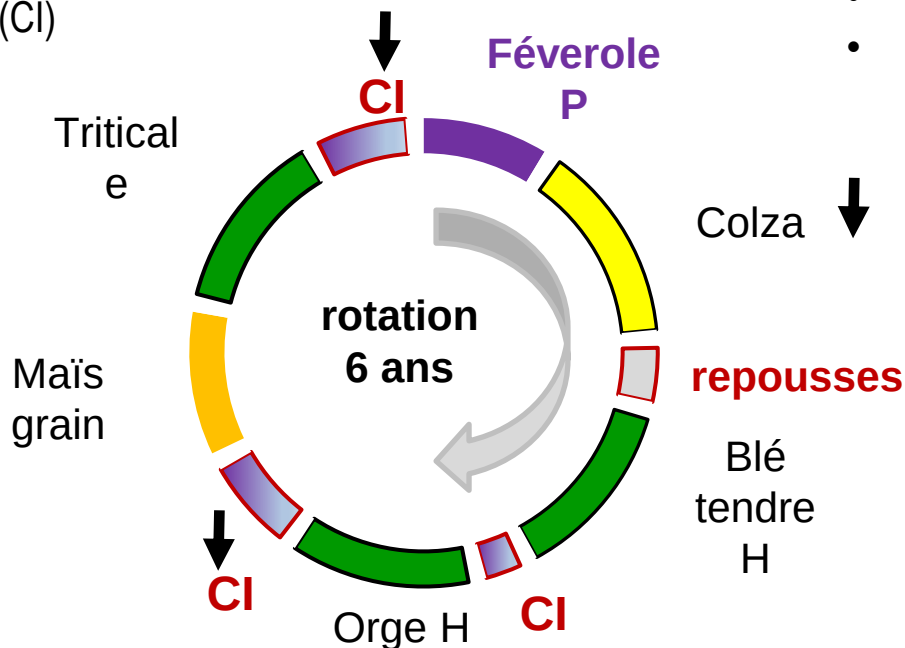
du 2nd cycle de rotation



Favoriser le stockage de C dans le sol

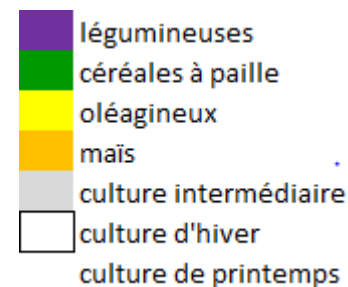
- ✓ implanter des espèces dont les résidus ont un potentiel de stockage élevé
- ✓ maintenir des niveaux élevés de production
- ✓ produire de la biomasse (CI)
- ✓ sans labour

Objectifs de rendement (t/ha ; 0%) = PHPE	
Blé tendre H	6.7
Colza	2.8
Maïs grain	7.0
Féverole P	4.1
Orge H	6.1
Triticale	6.0



Limitier les émissions de N₂O

- ✓ implantations
 - légumineuses
 - espèces à pivots
 - cultures intermédiaires



Evaluation des SDC de l'essai SIC : système GES- (comparaison systèmes dominants PV)

Balance GES (kg C02eq/ha/an - GES'TIM, 2010)

GES-	PHPE	Syst Plaine Versailles
1 052 +/- 183	1 071 +/- 145	2 513 +/- 190

GES- : moyennes à l'échelle de la rotation (2009-2014), écart-types sur trois répétitions

PHPE : moyennes à l'échelle de la rotation (2009-2013), écart-types sur trois répétitions

PV : moyennes à l'échelle de la rotation (2009-2014), écart-types sur la base des trois systèmes de référence, Plaine de Versailles

Bilan carbone (kg C02eq/ha/an - GES'TIM, 2010 – SIMEOS (<http://www.simeos-amg.org/>))

GES-	PHPE	Syst Plaine Versailles
1 202 +/- 86	1 188 +/- 270	2 102 +/- 174

GES- : moyennes à l'échelle de la rotation (2009-2014), écart-types sur trois répétitions

PHPE : moyennes à l'échelle de la rotation (2009-2013), écart-types sur trois répétitions

PV : moyennes à l'échelle de la rotation (2009-2014), écart-types sur la base des trois systèmes de référence, Plaine de Versailles

Part importante des émissions de GES / bilan carbone

	GES-	PHPE
Bilan carbone $\Sigma(\text{émissions tot GES, stock C}) \text{ kg CO}_2\text{eq ha}^{-1}\text{an}^{-1}$	1202	1188
Émissions totales GES $\text{kg CO}_2\text{eq ha}^{-1}\text{an}^{-1}$	1052 (88% bilan C)	1071 (90% bilan C)
Emissions directes GES $\text{kg CO}_2\text{eq ha}^{-1}\text{an}^{-1}$	541 (52% émissions tot)	662 (58% émissions tot)
Emissions Indirectes GES $\text{kg CO}_2\text{eq ha}^{-1}\text{an}^{-1}$	511 (48% émissions tot)	449 (42% émissions tot)
Fertilisation azotée $\text{kg N ha}^{-1}\text{an}^{-1}$	57	56

De nombreux leviers techniques proches entre PHPE et GES-

PHPE	GES-
Allongement de la rotation	Allongement de la rotation
Diversification de la rotation céréales à paille (3/5) oléagineux (1/5) légumineuse (1/5)	Diversification de la rotation céréales (3+1maïs/6) oléagineux (1/6) légumineuse (1/6+3Cl)
Périodes de semis hiver (4/5) printemps (1/5)	Périodes de semis hiver (4/6) printemps (2/6)
Variétés résistantes	Variétés résistantes
Mélanges variétaux	Mélanges variétaux
1 labour / 5 ans Quelques travail du sol	Non travail du sol
Quelques interventions de désherbage mécanique	Aucun désherbage mécanique
Restitution de toutes les pailles	Restitution de toutes les pailles
Production réduite / apports faible des pesticides de la fertilisation azotée	Production = PHPE

Réduire les émissions de GES dans un SDC : une affaire de compromis !!!!

Réduire les émissions de GES		Satisfaire les objectifs environnementaux	Produire
Favoriser le stockage de C	Limitier les émissions N ₂ O		
+ quantités élevées résidus → niveaux « élevés » de production	- ↗ fertilisation azotée	- ↗ pertes azotées	+ ↗ production
+ limiter la minéralisation → pas de travail du sol	- ↗ compaction de l'état structural du sol	- ↗ pertes azotées	- ↘ production
- ↘ quantités résidus de culture / espèces de céréale à paille	+ cultiver légumineuses	+ ↗ diversité espèces	- ↘ production / céréales à paille
- ↘ quantités résidus de culture	+ réduire Qté fertilisant (limiter NO ₃ dispo dans sol)	+ ↘ pertes azotées	- ↘ production
+ implanter un grand nombre d'espèces de céréale à paille		- ↘ diversité espèces	
+ implanter un grand nombre de cultures intermédiaires	+ ↘ disponibilité en NO ₃ ⁻ dans le sol	+ ↘ pertes azotées	- ↘ dispo eau et N dans sol et ↘ biomasse

Réduire les émissions de GES dans un SDC : des difficultés pour atteindre les obj visés

→ Difficultés pour stocker du carbone dans le sol,
car état initial très élevé

**Des
productions
faibles
de biomasse
des cultures
intermédiaires**

**Production de biomasse des
cultures intermédiaires** (t ms/ha)
sur les différentes répétitions
(2009-2014)

GES-		Répétition 1	Répétition 2	Répétition 3
gamme de production (t/ha)	2009			Moutarde brune
0 t/ha	2010	Pois fourrager	Repousse colza, pois fourrager	
0 à 1 t/ha	2011	Trèfle Alexandrie, avoine ptps	Pois ptps	Avoine ptps
1 à 2 t/ha	2012		Trèfle Alexandrie, avoine ptps	
2 à 3 t/ha	2013		Moutarde blanche	Repousses colza, fenugrec
> 3 t/ha	2014		Avoine ptps, lentille fourragère, moutarde blanche	Sarrasin

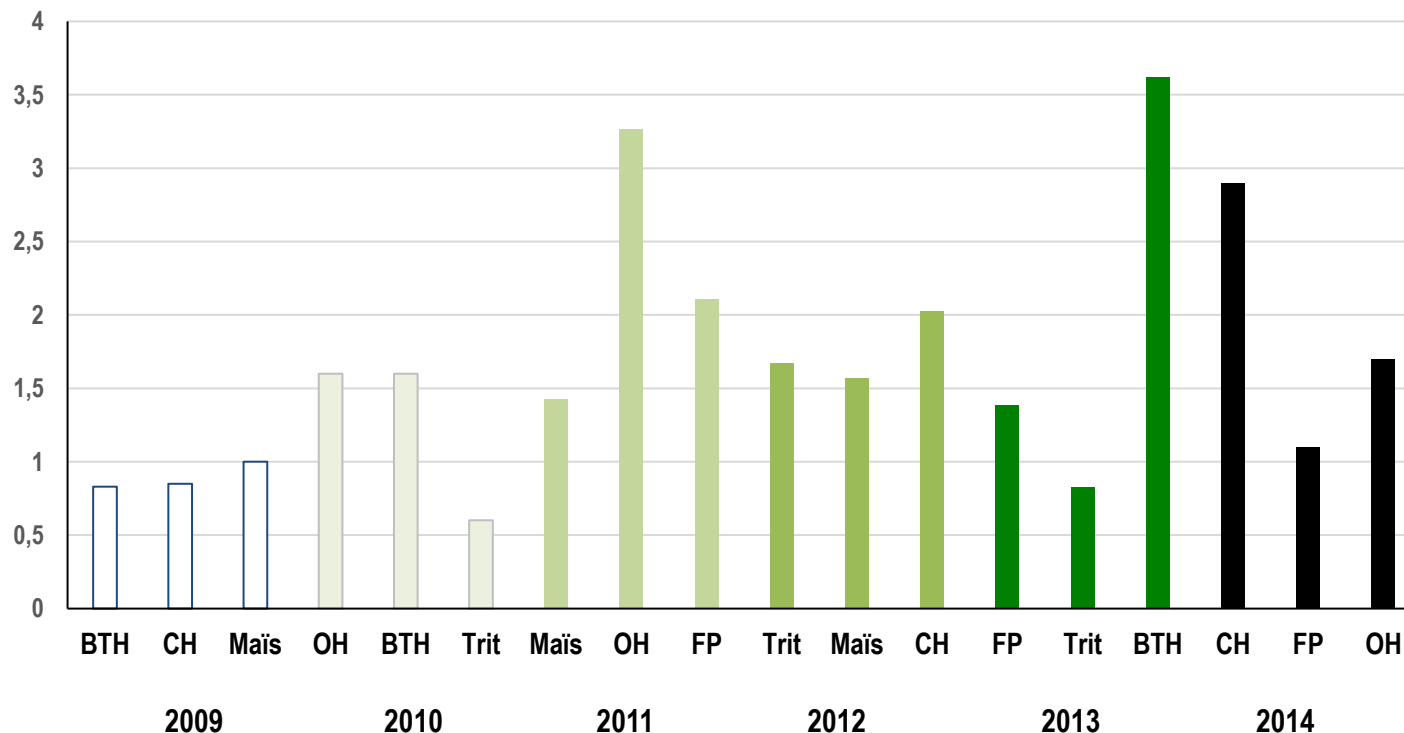
Des niveaux de production du sdci GES- comparables au sdci PHPE

	GES-	PHPE	PV
Blé tendre H	7.38 +/- 0.14	7.27 +/- 0.87	8.1
Colza	2.43 +/- 2.14	3.64 +/- 0.27	4.1
Maïs	6.79 +/- 0.67		8.6

Rendements (t/ha ; 0%)

GES- et PHPE : moyennes de la rotation (2009-2014)), écart-types sur 3 rep
PV : valeurs représentatives de la période 2009-2014

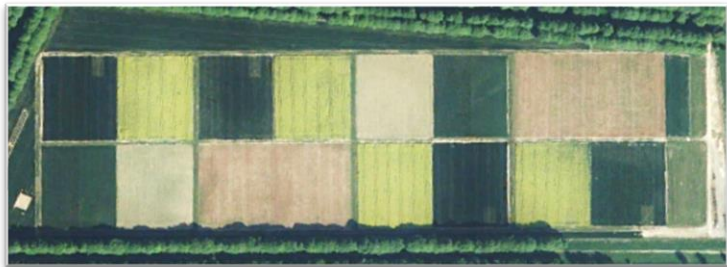
Evolution de l'indice de fréquence de traitement herbicide GES- (détails des trois répétitions, 2009-2014)



Conclusion

- **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, de la réduction des pesticides, de la production, ... ➔ compromis et besoin d'adapter au cas par cas !
- Les impacts environnementaux (NO_3 , SOC, N_2O , IFT, ...) **doivent être tous considérés** et pas pris isolément
- **Les couverts** (notamment CI) **sont gagnants** vis-à-vis de la production agricole, des fuites de nitrate et du stockage de C, mais parfois des difficultés à les gérer
- **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 $\text{N} > 0$. 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, ET d'apporter simultanément du C qui favorise le stockage
- Le stockage de C n'a lieu que sur une période transitoire, mais les autres sources de GES se poursuivent ... la neutralité C n'est pas prêt d'être atteinte !

Merci pour votre attention !



marie-helene.jeuffroy@inrae.fr

Système « Gaz à Effet de Serre Moins » (GESm)

Pour satisfaire la contrainte environnementale :

- i. Stocker du carbone dans le sol : beaucoup de céréales dans la rotation, rendements élevés, CIPAN systématique, pas de labour
- ii. Réduire les émissions de N_2O : introduction de légumineuses dans la rotation, CIPAN systématique pour réduire la disponibilité de NO_3^- dans le sol, optimisation de la fertilisation azotée

Pour satisfaire les critères environnementaux :

- ❖ Diversité végétale importante, diminution des pesticides grâce à des variétés résistantes, CIPAN systématique, etc.

Rotation retenue :

***CIPAN* – Féverole de printemps – Colza d'hiver – *CIPAN* – Blé tendre d'hiver – *CIPAN* – Orge d'hiver – *CIPAN* – Maïs grain – Triticale**